

GEOmatik

Geomatik Dergisi
Cilt 9 / Sayı 1 - Nisan 2024

ISSN:2564-6761

**Dergi Hakkında**

Geomatik Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak harita mühendisliği alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmaları 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 yayınlanmasın 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 1

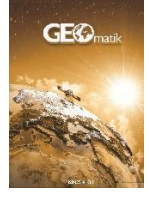
Derin öğrenme uygulamalarında kullanılan uzaktan algılama verilerinden oluşturulmuş açık kaynaklı bina veri setleri: Karşılaştırmalı değerlendirme	
Esra Özaydın, Burcu Amırgan, Gülşen Taşkın, Nebiye Musaoğlu	1-11
Mevcut kavşakların işlevlerinin (yoğunluklarının) CBS ortamında değerlendirilmesi: Samsun- Atakum Örneği	
Aziz Uğur Tona, Erdem Emin Maraş, Vahdettin Demir	12-26
Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı afet risk analizi: Denizli ili örneği	
Nur Sinem Partigöç, Ceyhun Dinçer	27-44
GRACE zaman serilerinin gürültü karakteri analizi	
Özge Güneş, Cüneyt Aydın	45-53
Optik ve radar görüntüleri ile aşırı gradyan artırma algoritması kullanılarak tarımsal ürün desen tespiti	
Fatih Fehmi Şimşek	54-68
Diş Kayalıkları'nın (İmranlı, Sivas) insansız hava aracı (İHA) kullanılarak 3 boyutlu modelinin oluşturulması	
Faruk Aylar, Serkan Gürgöze, Halil İbrahim Zeybek, Ali Uzun, Halithan Şen	69-85
Kentsel alanlarda ağaç yükseklik bilgilerinin ICESat-2/ATLAS ve İHA verilerinden elde edilmesi	
Müge Ağca, Efdal Kaya, Ali İhsan Daloğlu, Aslıhan Yücel, Sercan Yalçınkaya	86-96
Kabuk yoğunluğu değişiminin PITE (Birincil Dolaylı Topografik Etki) üzerindeki etkisi	
Aleyna Öztıp, Ramazan Alpay Abbak, Aydın Üstün	97-105
Farklı makine öğrenmesi yaklaşımları ile Türkiye'nin solar radyasyon tahmini	
Taha Demirgöl, Vahdettin Demir, Mehmet Faik Sevimli	106-122
Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların CBS tabanlı AHP analizlerine dayalı olarak belirlenmesi	
Mucip Demir, Namık Tanfer Altaş	123-140



Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



Derin öğrenme uygulamalarında kullanılan uzaktan algılama verilerinden oluşturulmuş açık kaynaklı bina veri setleri: Karşılaştırmalı değerlendirme

Esra Özaydın^{1,2}, Burcu Amirgan^{*1}, Gülşen Taşkın³, Nebiye Musaoğlu^{1,2}

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama UYG-AR Merkezi, İstanbul, Türkiye, esra@cscrs.itu.edu.tr; burcu.amirgan@cscrs.itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, musaoglune@itu.edu.tr

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, gulsen.taskin@itu.edu.tr

Kaynak Göster: Özaydın, E., Amirgan, B., Taşkın, G., & Musaoğlu, N. (2024). Derin öğrenme uygulamalarında kullanılan uzaktan algılama verilerinden oluşturulmuş açık kaynaklı bina veri setleri: Karşılaştırmalı değerlendirme. *Geomatik*, 9 (1), 1-11

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1257555>

Anahtar Kelimeler

Bina Çıkarımı
Bina Veri Setleri
Derin Öğrenme
Uzaktan Algılama

Derleme Makale

Geliş: 28.02.2023
Revize: 17.04.2023
Kabul: 16.05.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

Bina çıkarımı; arazi kullanımı, şehir planlaması, afet izleme, navigasyon, coğrafi veri tabanlarının güncellenmesi ve kentsel dinamik izleme gibi çeşitli mekânsal uygulamalarda önemli rol oynar. Farklı bölgelerdeki binalar farklı yapısal ve geometrik özelliklere sahip olduğundan görüntülerden otomatik bina çıkarımı zor bir iştir. Son yıllarda uygun veri setleriyle eğitildiklerinde klasik makine öğrenme yöntemlerine göre daha yüksek doğruluklu sonuçlar üreten derin öğrenme modelleri, otomatik bina çıkarımında sıkça kullanılmaktadır. Modellerin yüksek doğrulukta eğitilmesi için kaliteli etiketlerin olduğu bina veri setleri büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, bina tespiti için farklı çözünürlükteki uzaktan algılama görüntülerinden oluşturulmuş ve literatürde sıkça kullanılan açık kaynaklı bina veri setlerini tanıtmaktır. Veri setleri, kaydedildiği platformlara göre havadan, uydudan ve her iki platformdan kaydedilmiş görüntülerden oluşan veriler olarak üç kategoride gruplandırılıp, detayları açıklanmıştır. Bunun yanı sıra veri setleri ile yapılmış karşılaştırmalı çalışmaları içeren güncel literatür özeti verilmiştir. Bina tespiti işlemini doğru şekilde gerçekleştirmek için araştırmacılara rehberlik edecek ve bina veri seti oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken kritik hususları içeren değerlendirmeler sunulmuştur.

Open-source building dataset created from remote sensing data in deep learning applications: Comparative evaluation

Keywords

Building Extraction
Building Dataset
Deep Learning
Remote Sensing

Review Article

Received: 28.02.2023
Revised: 17.04.2023
Accepted: 16.05.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

Building extraction plays a significant role in various geospatial applications such as land use, urban planning, disaster management, navigation, updating geodatabases, and urban dynamic monitoring. Since buildings in different regions have different structural and geometrical properties, building extraction from remote sensing data is a challenging task. In recent years, deep learning models, when trained with proper datasets, are commonly used in building extraction because they achieve better results than traditional machine learning models. The quality of the labeling for the building datasets is an important parameter that affects the performance of the deep learning model. Our aim is to introduce frequently used, open-source building datasets, created from remote sensing images with different resolutions for building detection. The datasets are grouped into three categories according to the platforms on which they are acquired (aerial, satellite, and both platforms), and their details are explained. Moreover, this study provides a summary of the current literature, including comparative studies utilizing these datasets. The objective of this study is to help researchers to accurately perform the building detection process, while emphasizing critical issues to consider during the building dataset creation.

1. Giriş

Uzaktan algılama teknolojisi ve görüntü işleme yöntemlerindeki gelişmeler, binaların ya da diğer objelerin görüntülerden otomatik olarak çıkartılmasını önemli ölçüde kolaylaştırmıştır. Uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen görüntülerden bina çıkarımı, coğrafi veri tabanı güncellenmesi, değişim tespiti, nüfus yoğunluğu tahmini, arazi kullanımı yönetimi, şehir planlaması ve afet yönetimi gibi birçok uygulamada hayati bir rol oynar. 06 Şubat 2023 tarihinde ülkemizde yaşanan Kahramanmaraş Depremleri de uzaktan algılama verilerinin özellikle depremden sonra hızlı bilgi çıkarmada ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Ancak hava koşulları, görüntüye erişim sorunları, çatı tiplerinin farklı olması, algılama geometrilerindeki ve çözünürlük özelliklerindeki farklılıklar görüntülerden bilgi çıkartılmasını kısıtlamaktadır. Depremler sonrasında yeryüzünde oluşan deformasyonların farklı bölgelerde farklı büyüklüklerde oluşması da deprem öncesi/sonrası raster ve vektör verilerin çakıştırılarak analizini zorlaştırmıştır (URL-1). Bu nedenle özellikle tek bir görüntüden bilgi çıkartılmasının önemi daha da artmıştır.

Günümüzde çok yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinin sağladığı zengin detay, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerinin hızlı ve doğru bilgi üretme özellikleri ile birleşince görüntüdeki nesnelere kısa sürede belirlenmesi olanaklı hale gelmiştir. Yapay sinir ağları birçok uygulamada uzun yıllardan beri kullanılırken (Karhunen ve ark., 2015) 2006 yılında yapay sinir ağlarına bağlı olarak geliştirilen ve “yapay sinir ağlarının yeniden doğuşu” ya da “yeni jenerasyon sinir ağları” olarak adlandırılan derin öğrenme kavramı uygulama sonuçlarındaki başarıyı önemli ölçüde arttırmıştır (Hinton ve ark., 2006; Sarker, 2021). Derin öğrenme yöntemlerinin hızlı gelişimi ve yeni ağ tasarımları, büyük boyutlu veriden kısa sürede ve yüksek doğruluklu sonuçlar üretilmesine olanak sağlamaktadır (Ps ve Aithal, 2022).

Derin öğrenme yöntemlerinin hedeflenen nesneyi görüntü üzerinden bulmasında en önemli aşama, doğru etiketlenmiş yüksek kalitede ve çok sayıda veri seti ile ağın eğitilmesidir. Bu amaçla, görüntülerden ayırt edilmek istenen hedefler için, farklı özellikte veri setleri oluşturulmaktadır. Gemi, yol, uçak ve binaların otomatik tespiti için çok yüksek çözünürlüklü optik ya da yapay açıklıklı radar görüntülerinden oluşturulmuş veri setleri ve bu veri setleri kullanılarak otomatik nesne tespitinin yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Patel ve ark., (2022)’de, gemi tespiti için iki farklı veri seti (Airbus Gemi Veri Seti ve Shipsnet) kullanılarak aynı modelin (YOLO v3-v4-v5) farklı versiyonları ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Mehran ve ark., (2023) çalışmasında, Kaggle üzerinden ücretsiz erişilebilen veri setinde (Ships in Satellite Imagery) gemi tespiti için, transfer öğrenme (transfer learning) ve veri artırma (data augmentation) yöntemlerini kullanarak %99 doğruluk elde etmişlerdir. Atik ve ark., (2022)’de, gemi ve uçak sınıflarının da bulunduğu dokuz farklı nesne sınıfının otomatik tespiti için, hava fotoğraflarından oluşan DOTA Veri Setini kullanarak YOLOv2 ve YOLOv3 versiyonlarıyla karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Ozturk ve ark.,

(2020)’de, 1.2 m çözünürlükteki Toronto Yol Veri Setini kullanarak U-Net ve FCN modellerinde hiper parametre testleri gerçekleştirmiştir. Bayramoğlu ve Uzar (2023)’de, yol tespiti için kural tabanlı (rule-based method) yöntem ile U-Net mimarisini kullanarak karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Azam ve ark., (2022)’de ise uçak tespiti amacıyla en uygun nesne dedektörlerini, omurga (backbone) özellik çıkarma ağlarını kullanmışlar ve hiper parametre testlerini gerçekleştirmişlerdir.

Binaların otomatik olarak yüksek doğrulukta tespit edilmesine ilişkin yapılan çalışmalar, uydu görüntülerinin çözünürlüğüne göre farklılıklar göstermektedir. Raghavan ve ark., (2022)’de, çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanarak bina tespitinde veri setlerini çeşitli modellerle eğittiklerinde doğruluk açısından iyi performanslar elde etmişlerdir. Erdem ve Avdan (2020)’de, yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarından oluşan açık kaynaklı INRIA Veri Seti ile bina çıkarımı için U-Net VGG16, U-Net InceptionResNetV2, U-Net DenseNet121 ve topluluk oylaması (majority voting) yöntemlerinin performanslarını değerlendirmişlerdir. INRIA veri seti kullanılarak yapılan bir diğer bina segmentasyonu çalışmasında FCN mimarisinde, SegNet mimarisine göre daha yüksek doğruluk elde edilmiştir (Sarıtürk ve ark. 2020). Çalışmada, topluluk oylaması yöntemi, diğer üç yöntemden elde edilen sonuçların birleştirilerek oluşturulduğu yeni bir modeldir ve en yüksek doğruluk bu model ile elde edilmiştir. Yin ve ark., (2022)’de WHU, Massachusetts ve RSIB (Remote Sensing Imagery for Building Extraction) veri setlerini kullanarak klasik nesne tespiti (YOLOv4, Faster R-CNN, YOLACT ve Mask R-CNN) ve klasik derin öğrenme yöntemlerini (U-Net, PSPNet, HRNet ve DeepLabV3+) kullanarak karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Çok farklı tipte özellik gösteren binaların yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntülerinden otomatik olarak çıkartılması oldukça zor ve kapsamlı bir konudur. Örneğin, binalar özellikleri açısından ülkelere ve buldukları bölgelere göre coğrafi farklılıklar gösterirler. Fiziksel özellikleri açısından bakıldığında farklı geometrilerde yapılar olsa da birçok bina dikdörtgen şeklindedir. Binalar ayrıık veya bitişik düzende, tek katlı, çok katlı ya da gökdelen şeklinde olabilirler. Şehir alanlarında ya da kırsalda farklı özellikler ve farklı malzemelerden (kerpiç, betonarme, cam, çelik vb.) yapılmış binalarla karşılaşmak mümkündür. Ayrıca tarihi binalar ya da farklı çatı tipine sahip binalar da bulunmaktadır. Akbulut ve ark., (2018)’de, hava fotoğraflarından bina çıkarımı amacıyla yapılan çalışmada, geometrik olarak kompleks binaların homojen çatı tipine sahip binalara göre daha düşük doğrulukla tespit edildiğini gözlemlemiştir. Tüm bunlar ile birlikte, bitişik düzende yapıların ayırt edilmesi ya da yüksek katlı binaların neden olduğu gölge etkisi gibi faktörler problemi ayrıca zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla uydu görüntüsü açısından değerlendirildiğinde hem kullanılan uydu görüntüsünün çözünürlük özellikleri hem de ayırt edilmek istenen objenin özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Afet durumunda hızlı bilgi üretilmesi, yerleşim alanlarının, kapalı yolların belirlenmesi ve değişim

analizlerinin kısa sürede yüksek doğrulukla yapılabilmesi için uzaktan algılama verilerinden binaların, hasar ya da enkaz durumunun otomatik tespiti önem taşır. Bu özelliklerin çıkartılmasında amaca uygun veri setinin seçilmesi ve veri seti özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, uzaktan algılama görüntülerinden binaların otomatik olarak çıkartılması için oluşturulan açık kaynaklı bina veri setleri ve özellikleri detaylı olarak açıklanarak avantajlarının ve dezavantajlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu derleme makalesinde farklı platformlardan ve farklı çözünürlükte elde edilmiş açık kaynaklı uzaktan algılama verilerinden bina tespiti konusuna odaklanılmıştır. Literatür taramasında online veri tabanlarından WoS (Web of Science), Scopus ve Google Scholar'dan yararlanılmıştır. Bu veri tabanlarındaki yayınların başlığında, özetinde ve anahtar kelimelerinde yer alan "bina tespiti", "bina çıkarımı", "bina veri seti" ve "segmentasyon" anahtar kelimeleri kullanılarak sorgulamalar yapılmıştır. Sorgulamalara ek olarak 2012 ile 2023 yılları arasında, "uzaktan algılama" kategorisi altında, gelişmiş araştırma aracında yüksek atıf alan (high citation), konu ile alakalı (relevant) ve güncel sıralama (newest to old) kriterlerine dikkat edilmiştir. Filtreleme işlemi sonucunda 200 makale incelenip, probleme en uygun yayınlar atıf olarak gösterilmiştir.

2. Açık kaynaklı bina veri setleri

Literatürde havadan, uydudan ve her iki platformdan kaydedilmiş görüntülerin birlikte kullanıldığı veri setleri bulunmaktadır. Tablo 1'de, sıklıkla kullanılan açık kaynaklı bina veri setleri kapsama alanı, etiket sayısı, mekânsal çözünürlük, karo (tile) sayısı ve karo boyutu özelliklerine göre gösterilmektedir.

Derin öğrenme mimarileri, derin katman yapısı sayesinde birçok katmanı iç içe bulundurur. Derin katmanlarda öğrenmenin gerçekleşmesi için mimariler çok sayıda veri ile eğitilmelidir (Wang ve ark., 2021). Derin öğrenme tabanlı otomatik bina çıkarımı için geniş kapsama alanlı, zengin içerikli, kaliteli etiketlenmiş çok fazla sayıda görüntü örnekleri gerekir (Tan ve ark., 2018). Veri setlerindeki kapsama alanı, etiket sayısı, mekânsal çözünürlük, karo sayısı ve karo boyutu binaların otomatik tespit edilme doğruluğunun önemli belirleyicileridir. Bunun yanı sıra, ayırt edilmek istenen objenin bu görüntülerden ne kadar yüksek doğrulukta ve fazla sayıda etiketlendiği de çalışma sonuçlarının doğruluğunu etkileyen önemli parametrelerdir.

Derin öğrenmede kullanılan uydu veya hava platformlarında kaydedilen görüntülerin yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olması veri boyutunu artırmaktadır. Derin öğrenme modellerini eğitmek için büyük boyuttaki bu veriler genellikle standart karo boyutlarına (128 x 128, 256 x 256, 512 x 512 ve 1024 x 1024) kesilerek kullanılır. Bununla birlikte standart karo boyutlarının dışında farklı boyutlarda oluşturulmuş veri setleri de bulunmaktadır.

Bu çalışmada, literatürde sıklıkla kullanılan açık kaynaklı bina veri setleri kaydedildiği platformlara göre gruplandırılmış ve bu veri setlerinin özellikleri detaylandırılmıştır.

2.1. Hava fotoğraflarından oluşturulan bina veri setleri

Bu bölümde hava fotoğraflarından türetilmiş bina veri setleri yer almaktadır. Hava fotoğrafları uydu görüntülerine göre daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olmasına karşın, alçak seviyeden görüntü kaydedildiği için küçük kapsama alanına sahiptir. Aşağıda açıklanan ISPRS, Massachusetts, INRIA, OpenAI, LandCover.ai, AIRS, Waterloo ve Open Spatial Data bina veri seti bu veri türü ile oluşturulmuştur.

2.1.1. ISPRS (2D Semantic Labeling) veri seti

Almanya'nın iki farklı şehriden görüntüler bulunduran veri mavi, yeşil, kırmızı (MYK) ve yakın kızılötesi (YKÖ) bantlarda kaydedilmiş ortofotolardan oluşturulmuştur (Gerke ve Sohn, 2014). Veri setinde geçirimsiz yüzeyler, bina, kısa bitki örtüsü, ağaç, araba ve arka plan olmak üzere altı sınıfta etiketleme yapılmıştır. YKÖ bandına sahip veri seti, bina etiketleri dışında farklı etiket sınıflarına sahip olmasına rağmen bina segmentasyonu uygulamalarında çokça tercih edilmektedir. Elle oluşturulan bu veri setinde en önemli eksiklik, performans değerlendirmede büyük önem taşıyan test için ayrılan verilerin etiketlerinin bulunmayışıdır.

2.1.2. Massachusetts veri seti

Massachusetts Eyaleti'nin Boston şehrine ait MYK bantlarda kaydedilmiş hava fotoğraflarından üretilen veri seti, sadece binaların etiketlendiği otomatik bina çıkarımı için oluşturulan ilk bina veri seti olma özelliğini taşımaktadır (Mnih, 2013). Veri setindeki 151 görüntünün 137'si eğitim, 4'ü doğrulama ve 10'u ise test verisi olarak kullanılmıştır. OSM (OpenStreetMap) bina verileri kullanılarak oluşturulan, farklı ölçekteki binaları kapsayan veri seti, bina ve arka plan olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Massachusetts kentsel ve banliyö alanlarını, müstakil evleri ve garajlar dahil olmak üzere farklı büyüklükteki bina etiketlerini kapsar.

2.1.3. INRIA (Aerial Image Labeling Dataset) veri seti

Eğitim verileri Austin, Chicago, Kitsap County, Western Tyrol, Vienna; test verileri Bellingham, Bloomington, Innsbruck, San Francisco, Eastern Tyrol şehirlerine ait MYK bantlarda ve 8 bit radyometrik çözünürlükte kaydedilen ortofotolardan türetilmiştir (Maggiori ve ark., 2017). Açık kaynaklı bina ayak izleri (kadastral veriler, OSM, vb.) ile semantik segmentasyon yöntemine uygun olarak hazırlanan bina etiketlerinin gdal kütüphanesi ile bina ve arka plan olarak maske görüntüleri oluşturulmuştur. Görüntü karolarının %50'si eğitim ve %50'si ise test verisi olacak şekilde bölünmüştür. INRIA, görüntülerdeki coğrafi çeşitlik ile beraber yapısal farklılıkları genelleyen bir veri seti oluşturmayı hedeflemektedir. Ayrıca, veri seti içerisinde eğitim ve test için farklı şehirler seçilmesi bu hedefi desteklemektedir. Veri setindeki en önemli eksiklik, 810 km²lik geniş kapsama alanına sahip olmasına rağmen test için ayrılan alanın yani kapsama alanının yarısının etiketlerinin bulunmayışıdır.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılan açık kaynaklı bina veri setleri ve özellikleri.

Kaynak	Veri Seti	İçerik	Alan (km ²)	Etiket Sayısı	Mekânsal Çözünürlük (m)	Karo Sayısı	Karo Boyutu (px)
Hava Fotoğrafları	ISPRS (2012) (URL-2)	Vaihingen	1.38	-	0.09	33 yama	~2.494 x 2.064
		Potsdam	3.42	-	0.05	38 yama	6.000 x 6.000
	Massachusetts (2013) (URL-3)	Boston	340	-	1.00	151 görüntü	1.500 x 1.500
	INRIA (2016) (URL-4)	Austin, Chicago, Kitsap County, Western Tyrol, Vienna, Bellingham, Bloomington, Innsbruck, San Francisco, Eastern Tyrol	810	-	0.30	360	5.000 x 5.000
	Open AI dataset (2018) (URL-5)	Zanzibar	102.6	13.407	0.07	13 görüntü	40.551 x 40.592
	LandCover.ai (2020) (URL-6)	Polonya	216	-	0.25	33* görüntü	9.000 x 9.500
				-	0.50	8* görüntü	4.200 x 4.700
	AIRS (2020) (URL-7)	Yeni Zelanda	457	220.000	0.075	1.047 görüntü	10.000 x 10.000
	Waterloo Building Veri Seti (2021) (URL-8)	Ontario, Kanada'daki Kitchener-Waterloo bölgesi	2.058	117.000	0.012	69.938 yama	512 x 512
	Open Spatial Data Veri Seti (2022) (URL-9)	Polonya	31	21.010	0.10	6.365 görüntü	512 x 512
				0.50	1.263 görüntü	256 x 256	
Uydu Görüntüleri	SpaceNet V1 (2016) (URL-10)	Rio de Janeiro	2.54	382.534	0.50	6.940	438 x 406
	SpaceNet V2 (2017) (URL-11)	Vegas Paris Şanghay Khartoum	216 1.030 1.000 765	151.367 23.816 92.015 35.503	0.30	-	650 x 650
	CrowdAI (2018) (URL-12)	-	-	-	0.30	401.755	300 x 300
	SpaceNet 4 (2019) (URL-13)	Atlanta	665	126.747	0.50	62.000	900 x 900
	xBD Dataset (2019) (URL-14)	15 ülke	5.000	700.000	0.50	22.068 görüntü	-
	SpaceNet 6 (2020) (URL-15)	Rotterdam	120	48.000	0.50	-	900 x 900
	SpaceNet 7 (2020) (URL-16)	100 farklı lokasyon	40.000	11.079.262	4.00	101 veri küpü	1.024 x 1.024
	SemCity Toulouse (2020) (URL-17)	Fransa	50	9.455 (örnek seg.)	0.50	16	876 x 863
	Open Building Veri Seti (2021) (URL-18)	Afrika Kıtası ve Güney Asya	39.1 M	19.4 M	0.50	99.502 1M 8.7M 0.9M	600 x 600 600 x 600 640 x 640 448 x 448
	UHUZAM İstanbul Bina Veri Seti Versiyon 1 (2022)	İstanbul	85	40.000	0.50	150	1500 x 1500
Uydu ve Hava Görüntüleri	WHU (2018) (URL-19)	Aerial Imagery Dataset Satellite Dataset I (Global Cities)	193.2	187.000	0.30	8.189	512 x 512
		Satellite Dataset II (East Asia)	-	-	0.30-2.50	204 görüntü	512 x 512
	WHU-Mix (2021) (URL-20)	5 farklı kıtadaki 5 ülkeden toplanmıştır.	860	34.085	0.45	17.388	512 x 512
		1.213	-	0.09-2.5	51.445	512 x 512	

* Toplamda (33+8) 41 görüntüden 10,674 karo sayısı elde edilmiştir.

2.1.4. OpenAI (Open AI Tanzania Challenge) veri seti

Afrika'nın Zanzibar Adası'ndan örnekler bulunduran veri, 7 cm mekânsal çözünürlükte ve MYK bantlarda kaydedilmiş, hava fotoğraflarından oluşmaktadır. Bu veri setinde, görüntü boyutu 40.551 x 40.592 piksel ve görüntü sayısı 13 olarak sunulmaktadır. Bina geometrisine ve ana hatlarına uygun olarak hazırlanan bina etiketleri, FeatureCollections olarak kodlanan bir GeoJSON dosyası olarak verilmektedir. Veri setindeki en önemli eksiklik, bina etiketlendirmede çok sayıda hata içermesidir (Luo ve ark., 2023) Ayrıca, bu veri Open

Cities AI Dataset'in küçük bir bölümüdür (Open Cities AI Challenge Dataset, 2023).

2.1.5. LandCover.ai (Land Cover from Aerial Imagery) veri seti

Polonya'da, 25 cm çözünürlüklü 33, 50 cm çözünürlüklü 8 olmak üzere toplam 216 km²'lik bir alanda 41 ortofotodan oluşturulan veri setinde hem kırsal alandan hem de şehir merkezinden örnekler bulunmaktadır (Boguszewski ve ark., 2021). Bina, ağaçlık alan, su, yol ve arka plan sınıflarını kapsayan veri seti elle

sayısallaştırma ile oluşturulmuştur. Etiketleme işlemi VGG Image Annotator (VIA) kullanılarak yapılmıştır. Maskeler tek bantlı .geotiff uzantısında sunulmaktadır. Karolar 512 x 512 olacak şekilde, %70-%15-%15 oranında eğitim-doğrulama-test verisi olarak bölünmektedir. Bu veri setinin diğer veri setlerinden en önemli farkı, kırsal alana ait yüksek çözünürlüklü veri içermesi ve birden fazla sınıfın elle etiketlenerek oluşturulmasıdır.

2.1.6. AIRS (Aerial Imagery for Roof Segmentation) veri seti

Yeni Zelanda'da 457 km²'lik bir alanda 7.5 cm mekânsal çözünürlükte, 1.047 sayıda hava fotoğraflarından oluşturulan veri seti, 220.000 adet etiketli bina içermektedir. Karolar 857-94-96 sayısınca eğitim-doğrulama-test verisi olarak bölünmektedir (Chen ve ark., 2019). Etiketleme işlemi yapılırken iki yöntemden faydalanılmıştır. İlk aşamada dijital ortofoto haritaları (Digital Orthophoto Maps) kullanılarak 2B bina ayak izi çıkarılır. İkinci aşamada ise çatı sınırları çizilir ve ardından bu sınırlar bina ayak izine göre hareket ettirilir. Bu veri seti çatı sınırları (roof outlines) yerine bina ayak izi temel alınarak manuel olarak oluşturulmuştur. Bu nedenle, çatı dış çizgisi ile bina ayak izi farklılığından kaynaklanan rölyef ötelenmesinden (relief displacement) etkilenmeyen veri seti, bu özelliğiyle diğer veri setlerinden ayrılmaktadır. Tüm bu işlemler bittikten sonra etiketler çalışma alanının tamamı için iki kez kontrol edilir.

2.1.7. Waterloo bina veri seti

Harvard Üniversitesi tarafından bina tespiti için hazırlanmış bu veri seti, Kuzey Amerika'nın yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip ilk açık erişimli şehir ölçeğindeki veri setidir (He ve ark., 2021). Kanada'da 205.8 km²'lik bir alandan alınan veri seti, 12 cm çözünürlüğe sahip toplam 242 hava fotoğraflarından oluşmaktadır. Etiketleme işlemi manuel olarak Microsoft Word ve ArcGIS programları kullanılarak bina ve arkaplan sınıfları olacak şekilde yapılmıştır. Bu görüntüler ve etiketler 512 x 512 karo boyutunda düzenlenmiştir. Ayrıca etiketler ve görüntüler .tif uzantısında sunulmaktadır. Veri seti, AIRS hariç diğer açık kaynaklı veri setlerine göre hem daha yüksek mekânsal çözünürlüğe hem de kapsama alanına sahiptir (He ve ark., 2022a).

2.1.8. Open Spatial data veri seti

Polonya'da toplamda 31 km² alan kapsayan 8 bit radyometrik çözünürlükte MYK bantlara sahip ortofotodan oluşturulan veri seti iki farklı çözünürlükte 21.010 bina etiketi içermektedir (Glinka ve ark., 2022). Görüntülerin %80'i eğitim, %10'u doğrulama ve %10'u ise test verisi olarak bölünmüştür. Bu veri setinde ortofoto görüntülere ve etiketlere, "The Land and Building Register (EGiB)" (URL-21) kadastral veri sistemi üzerinden erişim sağlanmaktadır. Veri setindeki bina etiketleri, bina ayak izine göre oluşturulmuştur. Bu veri sisteminde bina etiketlerinin ve bina yükseklik bilgilerinin eksik olması dezavantaj sağlamaktadır.

2.2. Uydu görüntülerinden oluşturulan bina veri setleri

Bu bölümdeki bina veri setleri QuickBird, Worldview serisi, IKONOS, ZY-3, GeoEye-1 ve Pleiades gibi uydulardan sağlanan yüksek çözünürlüklü görüntülerden oluşturulmuştur. Uydular, havadan algılama yapan sistemlere göre daha yüksekte çekim yaptığı için geniş kapsama alanına sahiptir. Aşağıda detayları açıklanan SpaceNet Serisi, CrowdAI, xBD, SemCity Toulouse, Open Building ve İstanbul V1 gibi bina veri setleri uydu görüntüleri kullanılarak üretilmiştir.

2.2.1. SpaceNet V1 (Building Detection v1) veri seti

Brezilya'nın Rio de Janeiro şehrine ait MYK ve 8 bit radyometrik çözünürlükte kaydedilmiş WorldView 2 uydu görüntülerinden oluşturulmuştur (Van Etten ve ark., 2018). Görüntü karolarının %60'ı eğitim, %20'si doğrulama ve %20'si ise test verisi olarak bölünmüştür. Bu veri setinin örnek (instance) segmentasyon yöntemine uygun olarak yarı otomatik yöntemler ile elle hazırlanan etiketleri, bina ve arka plan olarak iki sınıfa ayrılmıştır.

2.2.2. SpaceNet V2 (Building Detection v2) veri seti

Vegas, Paris, Şanghay ve Khartoum şehirlerinden örnekler bulunan veri MYK, 16 bit radyometrik çözünürlükte kaydedilmiş WorldView 3 uydu görüntülerinden oluşturulmuştur (Van Etten ve ark., 2018). Vegas, 216 km² kapsama alanına ve 151.367 bina etiketine; Paris, 1.030 km² kapsama alanına ve 23.816 bina etiketine; Şanghay, 1.000 km² kapsama alanına ve 92.015 bina etiketine; Khartoum, 765 km² kapsama alanına ve 35.503 bina etiketine sahiptir. Veri setinin örnek segmentasyon yöntemine uygun olarak yarı otomatik yöntemler ile elle hazırlanan etiketleri, bina ve arka plan olarak iki sınıfa ayrılmış ve görüntü karolarının %60'ı eğitim, %20'si doğrulama ve %20'si ise test verisi olarak bölünmüştür. SpaceNet V2'deki en önemli özellik, dört ülkeye ait mimari ve yapısal farklılıklar bulunduran bina örnekleri içermesidir.

2.2.3. CrowdAI (Mapping Challenge Dataset) veri seti

CrowdAI, dört ülkeye ait geniş kapsama alanında sunulan SpaceNet V2'nin veri boyutu azaltılarak oluşturulan basitleştirilmiş bir versiyonudur (Mohanty ve ark., 2020). SpaceNet V2'deki tüm bantlar yerine sadece MYK bantları kullanılmış, karo boyutu 300 x 300 piksel olarak yeniden boyutlandırılmış ve 8 bit radyometrik çözünürlüğe düşürülmüştür. Veri setinde, toplam karo sayısı 401.755 olarak düzenlenmiş ve görüntü karolarının 280.741'i eğitim, 60.317'si doğrulama ve 60.697'si ise test verisi olarak kullanılmıştır.

2.2.4. SpaceNet 4 (Multi-View Overhead Imagery Dataset (MVOI)) veri seti

7°-54° arasında 27 farklı bakış açısına sahip görüntü içeren veri seti, bakış açısından bağımsız olarak bina tespitini hedefler (Weir ve ark., 2019). MYK, Pan, NIR

bantlarında kaydedilen WorldView 2 uydu görüntüleri nadir (0° - 25°), nadir dışı (25° - 40°), nadirden çok uzak (40° - 55°) olmak üzere üç farklı özellikte görüntü içermektedir. Bina etiketleri nadir görüntüye uygun olarak bina ayak izine göre uzman bir ekip tarafından oluşturulmuştur. Daha sonra bir bağımsız doğrulayıcı ve bir uzaktan algılama uzmanı tarafından etiketlerin kalitesi kontrol edilmiştir. Veri setinin farklı açılarda algılanmış görüntülerden oluşması, afet gibi acil durumlarda ve ideal koşullarda görüntü alınmaması durumunda bilgi çıkarılmasına olanak sağlamaktadır.

2.2.5. xBD (Building Damage) veri seti

15 ülkeden 45.362 km^2 'lik alana ait afet öncesi ve afet sonrası uydu görüntülerinden etiketlenen, yaklaşık 850.736 bina ve bu binalara ait ek açıklamaların bulunduğu xBD Veri Seti bugüne kadarki en büyük bina hasar değerlendirme veri seti olma özelliği taşımaktadır (Gupta ve ark., 2019a). xBD, Maxar/DigitalGlobe Open Data Programı kapsamında 19 farklı alanda gerçekleşmiş, deprem/tsunami, sel, volkanik patlama, orman yangını ve rüzgâr olmak üzere beş afet türüne ait çok yüksek çözünürlüklü (0.5 m GSD) 22.068 adet uydu görüntüsü ile oluşturulmuştur. CrowdAI tarafından şirket içinde geliştirilmiş web tabanlı bir etiketleme aracı kullanılarak bina ve hasar seviyesi etiketlemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra yanlış etiketlenen görüntüler uzmanlar tarafından düzeltilmiştir. Veri seti, doğal afetten sonra bina hasarını değerlendirme sürecini otomatikleştirme amacıyla yapılan xvview2 yarışmasında kullanılmıştır. Karolar %80-%10-%10 oranında eğitim-doğrulama (holdout)-test verisi olarak bölünmüştür. Eğitim veri seti, katılımcılar tarafından doğrulama setine bölünerek kullanılmaktadır. Doğrulama için ayrılan bu kısım, yarışma kapsamında doğrulamada bağımsız değerlendirmeler yapmak için bilinçli olarak katılımcılarla paylaşılmamıştır. xBD Veri Setinde farklı afet türlerinden kaynaklanan hasarı değerlendirmek için, hasar yok (0), küçük hasar (1), büyük hasar (2) ve yıkılmış (3) olacak şekilde dört seviyeli Ortak Hasar Ölçeği (The Joint Damage Scale) kullanılmıştır (Gupta ve ark., 2019b).

2.2.6. SpaceNet 6 (Multi-Sensor All-Weather Mapping) veri seti

SpaceNet 6, Avrupa'nın en büyük limanın bulunduğu Hollanda'nın Rotterdam kentine ait 50 cm mekânsal çözünürlükte WorldView 2 ve dört farklı polarizasyonda Cappella Space's X-bant görüntülerinden oluşmaktadır (Shermeyer ve ark., 2020). Sadece binaların etiketlendiği görüntüler farklı boyutlarda birçok bina, araç ve tekneyi de içermektedir. Bina etiketleri, lidar teknolojilerinden türetilen üç boyutlu binaların olduğu açık kaynaklı olarak sunulan 3DBAG (3D Basisregistratie Adressen en Gebouwen) verisinden derlenmiştir. 3DBAG, tüm Hollanda genelinde hem bina ayak izlerini hem de adreslerini içermektedir. Çok yüksek çözünürlüklü optik ve Yapay Açıklı Radar (YAR) görüntülerinin bir arada yer aldığı SpaceNet 6'da optik veriler, YAR verilerinden bina belirlenmesine yardımcı veri olarak bulunmaktadır. Bu

nedenle, veri setindeki test verileri sadece YAR verilerinden oluşmaktadır. Bu durum, afet sonrası optik veriye ulaşılamaması halinde sadece YAR verileri ile yüksek doğrulukta bina tespitine olanak sağlamaktadır.

2.2.7. SpaceNet 7 (Multi-Temporal Urban Development SpaceNet / MUDS) veri seti

Antarktika hariç olmak üzere 6 kıtada 101 farklı lokasyonu kapsayan 24 görüntü (ayda bir) içeren 4 m mekânsal çözünürlüğe sahip veri seti, MYK bantlarda Planet uydu görüntülerinden oluşmaktadır (Van Etten ve ark., 2021). Görüntülerden manuel olarak oluşturulmuş iki farklı grupta etiketler bulunmaktadır. İlk etiket grubu ile binaların ana hatları tanımlanır, ikinci etiketleme grubu ile bulutların örttüğü binalar ve geo-referanslama hatası gibi durumlarda kullanılmaz veri maskeleri (unusable data masks) ifade edilir. Etiketler bina ve arka plan olarak iki sınıfta üretilmiştir. Toplamda 11.079.262 bina etiketi bulunmaktadır ve her lokasyon (101 adet) bir veri küpü (data cube) olarak sunulmaktadır. Veri boyutunun çok yüksek olması nedeniyle ilk kez bir veri küpü olarak sunulan bina veri setinde zaman serisi analizleri ile değişim analizi de hedeflenmektedir.

2.2.8. SemCity Toulouse veri seti

50 cm mekânsal çözünürlükte MYK Worldview 2 uydu görüntüsünden Fransa'da 50 km^2 'lik bir alanda hem tarihi binaları hem de düzenli yerleşim bölgelerini içeren veri seti, elle sayısallaştırma ile oluşturulmuştur (Roscher ve ark., 2020). Geçirimsiz yüzey, bina, geçirimli yüzey, yüksek bitki örtüsü, araba, su, spor alanları ve arka plan olmak üzere toplam 8 sınıfı içermektedir. Görüntüler ve ilgili etiketler .tif formatındadır. Veri setinin %25'i örnek segmentasyon %75'i ise semantik segmentasyona uygun olarak hazırlanmıştır. Aynı alan için hem örnek segmentasyona hem de semantik segmentasyona olanak sağlaması SemCity Toulouse Veri Setinin diğer veri setlerinden üstünlüğüdür.

2.2.9. Open Building veri seti

Veri seti, Google araştırmacıları tarafından kıta bazında bina algılama modellerinin eğitimi ve analizi için hazırlanmıştır (Sirko ve ark., 2021). Veri seti, Afrika kıtasının %64'ünü kapsayan 19.4 milyon km^2 'lik bir alandan alınmış 50 cm çözünürlükte uydu görüntülerinden ve 516 milyon bina ayak izini tanımlayan poligonlardan oluşmaktadır. Etiketleme işlemi güven skoru değer $[0.60-0.65]$, $[0.65-0.70]$ ve $[>=0.70]$ aralıklarına göre 3 farklı düzeyde gerçekleştirilmiştir. Veri seti 4 kategoriye ayrılarak hazırlanmıştır. İlk kategori kontrollü eğitim için kullanılan tam örnek etiketlerine sahip 600×600 piksel boyutlarındaki 99.902 MYK uydu görüntülerini içerir. İkinci kategori önceden eğitilmiş (pre-train) bir model kullanarak eğitim yapmak için 600×600 boyutunda 1 milyon görüntüden oluşmaktadır. Üçüncü kategori kontrolsüz eğitim için etiketi olmayan 640×640 boyutunda 8.7 milyon görüntüyü içermektedir. Son kategoride ise değerlendirme için oluşturulmuş kısmen

etiketlenmiş (sparsely-labeled), yani gerçek bina yoğunluğu ile eşleşmeyen bölgeleri kapsayan 448 x 448 boyutundaki 0.9 milyon görüntüden oluşmaktadır. Etiketleme işleminde karşılaşılan bazı sorunların üstesinden gelmek için birtakım kurallar benimsenmiştir. Birbirine yakın ve yoğun konumlandırılmış binalarda sınırlar kesin olarak belli olmuyorsa bu binalar “yoğun sınıf (dense class)” sınıfına atanmaktadır. Bina içeren görüntülerde binaları örten ya da kolaylıkla birbirine karışabilecek bitki örtüsü, kaya gibi karışımlar olabilir. Böyle bir durumda her görüntü bir bina algılamasına merkezlenir. Etiketleme yapan kişiler, her görüntü için o merkezin bina içerip içermediğine bakar. Eğer bina içeriyorsa o binanın ayak izini içeren bir etiket oluşturur, bina içermiyorsa o etiket boş olarak işaretlenir.

2.2.10. UHUZAM İstanbul bina veri seti versiyon 1 (İstanbul V1)

İstanbul’un Anadolu ve Avrupa yakalarının 85 km² alan genişliğindeki çeşitli bölgelerini kapsayan, 8 bit radyometrik çözünürlükte ve 0.5 m mekânsal çözünürlükte MYK bantlarında kaydedilmiş Pan ile keskinleştirilmiş Pleiades uydu görüntülerinden oluşturulmuştur (Amirgan ve ark., 2022; Bakırman ve ark., 2022). Anadolu yakası için 21 karo 9764 bina etiketini ve Avrupa yakası için 129 karo 30.047 bina etiketini içermektedir. Etiketler, çatı sınırlarına göre ArcGIS ve QGIS programı ile elle çizilerek, semantik segmentasyona uygun şekilde oluşturulmuştur. Görüntülerin karo boyutu 1500 x 1500 pikseldir. Derin öğrenme uygulamalarında işlem kolaylığı sağlamak için her görüntü 512 x 512 piksel olarak daha küçük karolara bölünmüştür. Etiketlenmiş görüntülerin %70’i eğitim, %20’si doğrulama ve %10’u ise test verisi olarak düzenlenmiştir. Çok yüksek çözünürlüklü Pleiades uydu görüntüsü kullanılarak oluşturulan ilk bina veri seti olması ve bunun yanı sıra tarihi, bitişik, gökdelen, toplu konut, villa, gecekondu, sanayi gibi farklı mimarilerde bina türlerini bulundurması İstanbul V1 veri setinin en önemli özellikleridir. Bu veri setine henüz erişim sağlanamamaktadır fakat kısa süre içerisinde araştırmacılar için paylaşımına açılacaktır.

2.3. Hava ve uydu görüntülerinden oluşturulan bina veri setleri

Bu bölümde ise hava ve uydu görüntülerinden oluşturulan WHU ve WHU-Mix veri setleri açıklanmıştır. Bu veri kombinasyonu ile oluşturulmuş bina veri setlerinde amaç çeşitliliği artırarak mevcut veri setlerindeki genelleme problemini çözmektir. Bu amaçla farklı platformlardan elde edilmiş veri setleri bir araya getirilir. Böylece hem mekânsal çözünürlük hem de bina çeşitliliği açısından veri seti zengin hale getirilir.

2.3.1. WHU veri seti

Farklı coğrafyalara ait biri hava (Hava Fotoğrafi Veri Seti) ve diğer ikisi uydu (Uydu Görüntüsü I-II) görüntülerinden oluşan veri setleri içerik olarak 30 cm’den 2.50 m’ye kadar geniş bir aralıkta mekânsal

çözünürlüğe sahiptir (Ji ve ark., 2018). Yeni Zelanda’nın Christchurch şehrinde görüntüler bulunduran Hava Fotoğrafi Veri Seti; 30 cm mekânsal çözünürlüğe sahip 4.736 eğitim, 2.416 doğrulama, 1.036 test verisi ile raster ve vektör formatında 187.000 bina etiketini içermektedir. Global şehirlerden görüntüler içeren Uydu Görüntüsü I Veri Seti; 0.30-2.50 m mekânsal çözünürlüğe sahip QuickBird, Worldview serisi, IKONOS ve ZY-3 uydularından sağlanan görüntülerden oluşturulmuştur. Farklı uydu görüntülerinden örnekler bulunduran bu veri seti ile atmosferik-radyometrik koşullardan ve uydu algılayıcılarından bağımsız olarak bina tespiti hedeflenmiştir. Doğu Asya için oluşturulan Uydu Görüntüsü II Veri Seti; 45 cm mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri ile 13.662 eğitim, 3.726 test verisi olmak üzere toplam 34.085 bina etiketi içermektedir. Veri Setindeki tüm etiketler, ArcGIS programında manuel olarak yüksek kalitede oluşturulmuştur.

2.3.2. WHU-Mix bina veri seti

WHU-Mix, bina türü, farklı çözünürlük, değişik kaynaklardan algılama ve görüntüleme koşulları yönünden çeşitliliği arttırmak için WHU Bina Veri Seti ile INRIA Veri Setinin manuel olarak yeniden düzenlenmesi ile oluşturulmuştur (Luo ve ark., 2023). Bu düzenleme işlemi ArcGIS ortamında gerçekleştirilmiştir. 1.213 km²’lik alan için, 51.445 uydu ve hava fotoğraflarından oluşturulan veri setinde, mekânsal çözünürlük 0.09-2.5 m arasında değişmektedir. Karo boyutu 512 x 512 olacak şekilde %90-%10 oranında eğitim/doğrulama-test verisi olarak bölünmektedir. Hem etiketler hem de görüntüler .tif uzantısı ile depolanmaktadır Eğitim ve test veri setinde coğrafi bir örtüşme olmaması veri setinin genelleme yeteneğini artırmaktadır.

Bu aşamaya kadar literatürde sıkça kullanılan açık kaynaklı bina veri setleri üç gruba ayrılarak detaylandırılmıştır.

3. Literatürde bina veri setleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar

Literatürde birçok bina veri seti ve bu veri setlerinin farklı yöntemler ve derin öğrenme tabanlı mimariler ile incelendiği çalışmalar mevcuttur. Günümüzde bina tespiti çalışmalarında piksel ya da nesne tabanlı sınıflandırma, morfolojik operatörler (Perihanoğlu ve ark., 2018) ve makine öğrenmesi (Duman ve Başaraner, 2022) gibi klasik yöntemlerin yanı sıra derin öğrenme tabanlı yöntemler tercih edilmektedir. Bu bölümde, sadece bina veri setleri ile derin öğrenme modellerinin karşılaştırmalı olarak irdelendiği çalışmalardan örnekler sunulmuştur.

Ji ve ark., (2018)’de, binaların otomatik segmentasyonu için WHU, Massachusetts ve INRIA veri setlerinde UNet modelini kullanmıştır. Bu mimari üzerinde sırasıyla WHU Veri Seti’nde 0.8580, Massachusetts Veri Seti’nde 0.5520 ve INRIA Veri Seti’nde 0.7140 IoU metriği değerleri elde etmiştir. Modelin Massachusetts’de WHU’ya göre daha düşük doğrulukta tespit yapmasının nedeni Massachusetts’de düşük çözünürlükteki görüntülerin ve etiketlerin olmasıdır. INRIA Veri Seti, WHU ile benzer çözünürlükte

görüntülerden oluşmasına karşın etiket kalitesi düşüktür. Bu da INRIA ve WHU arasındaki 0.144'lük IoU doğruluk farkının sebebinin açıklanmaktadır.

Jiwani ve ark., (2021)'de, MYK bantlarına sahip uydu görüntülerinde otomatik bina çıkarımı için Res-Net omurgasına sahip modifiye DeepLabv3+ mimarisini önermiş ve bu mimariyi kullanarak SpaceNet V2 Veri Seti'nde 0.8900, CrowdAI Veri Seti'nde ise 0.8790 IoU doğrulukları elde etmişlerdir. Çalışmada benzer doğrulukların elde edilmesinin nedeni CrowdAI Veri Seti'nin, SpaceNet V2 Veri Seti'nden sadeleştirilerek türetilmesidir.

Bakirman ve ark., (2022)'de, binaların segmentasyonu için İstanbul V1 Veri Seti'ni oluşturmuş ve bina segmentasyonu için ideal mimarileri, kodlayıcıları ve hiper parametreleri araştırmıştır. Çalışmada, ImageNet veri seti ile önceden eğitilmiş SE-ResNeXt101 kodlayıcı kullanılan UNet++ mimarisinde en yüksek doğruluk elde edilmiştir. İstanbul Veri Seti'nin kullanılabilirliğini ve doğruluğunu test etmek için Massachusetts ve INRIA gibi literatürde kabul görmüş veri setleri kullanılarak çapraz doğrulama (cross evaluation) yapılmıştır. Doğrulama sonucunda, UNet++ mimarisi üzerinde İstanbul V1 Veri Seti'nde 0.9380, INRIA Veri Seti'nde 0.7539 ve Massachusetts Veri Seti'nde 0.9253 IoU değerlerini elde etmiştir.

Luo ve ark., (2023)'de, veri setlerinde genelleme ve çeşitlilik faktörlerinin bina çıkarımındaki etkisini gözlemlemek için AT-MAFCN mimarisini kullanarak WHU-Mix Veri Seti'ni farklı bina veri setleri ile test etmiştir. Çalışma sonucunda Massachusetts'te 0.2237, CrowdAI'da 0.4421, WHU'da 0.5133, INRIA'da 0.5246 ve WHU-Mix'de ise 0.5889 IoU metrik değerlerini elde etmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda yüksek doğrulukta bina çıkarımının hem büyük veri ile hem de çeşitlilik açısından zengin olan verilerle sağlandığını tespit etmiştir.

He ve ark., (2022b)'de, bina çıkarımında veri setlerindeki genelleme problemini çözmek için çalışmalarında farklı mekansal çözünürlüğe ve spektral bantlara sahip farklı tarihli veri setlerini kullanmıştır. Çalışma sonunda, HRNet V2 mimarisi ile WHU'da (30 cm) 0.6774, Waterloo'da (12 cm) 0.7663 ve Waterloo'da (30 cm) 0.3055 IoU değerlerini elde edilmiştir. Buna ek olarak, Waterloo Veri Seti'nde mekansal çözünürlük düşürülerek yapılan segmentasyon sonucunda IoU değerinde %46 azalma tespit edilmiştir. Ayrıca test verisi ile eğitim verisinin benzer içerikte olmasının model performansını arttırdığı gözlemlenmiştir.

Yukarıda verilen karşılaştırmalı çalışmalar bina çıkarımını etkileyen faktörlerin doğruluk üzerindeki etkisini ele almıştır. Yapılan deneyler ve testler sonucunda, veri setlerindeki etiketlerin kalitesinin yüksek olmasının yanı sıra, veri çeşitliliğinin ve miktarının fazla oluşunun modelin bina çıkarımındaki performansını pozitif anlamda etkilediği görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

Bina çıkarımı, risk yönetimi, veri tabanlarının güncellenmesi, kent planlaması, değişim analizi gibi konularda önemli rol oynamaktadır. Özellikle afet sonrası arama-kurtarma işlemlerinin hızlı ve doğru

şekilde yapılabilmesi için binaların konumlarının otomatik tespiti hayati önem taşır. Binaların otomatik tespiti, afetten kaynaklanan ihtiyaçların konum bazlı belirlenmesi ve izlenmesi gibi afet yönetiminde yardımcı olur. Bu kapsamda araştırmacılar tarafından çeşitli veri setleri oluşturulmuş ve metodolojiler geliştirilmiştir. Bu kısımda, önceki bölümlerde açıklanan açık kaynaklı bina veri setlerinin çözünürlük, kapsama alanı, çeşitlilik, genelleme yeteneği ve etiket kalitesi açısından değerlendirilmeler yer almaktadır.

Literatürdeki açık kaynaklı bina veri setleri incelendiğinde, santimetre seviyesinden 4 metreye kadar mekansal çözünürlükte verilerin bulunduğu görülmektedir. Binaların yüksek doğrulukta belirlenebilmesi ve haritalarının oluşturulması için bina sınırlarının görüntülerde net olarak görülmesi gerekir, bu da görüntülerin yüksek mekansal çözünürlüğe sahip olması anlamına gelir. Tablo 1'de, en yüksek mekansal çözünürlüğe sahip 3 veri seti sırasıyla ISPRS (5 ve 9 cm), Open AI (7 cm) ve AIRS (7.5 cm) şeklindedir. ISPRS veri seti, en yüksek mekansal çözünürlüğe sahip olmasına rağmen çok küçük iki alan için oluşturulmuştur. Open Building Veri Seti ise kıta ölçeğinde bir çalışmadır ve Tablo 1'deki en büyük kapsama alanına sahip veri setidir. Kapsama alanı açısından Open Building Veri Seti'ni sırasıyla 40.000 km² ile SpaceNet7 ve 5.000 km² ile xBD takip etmektedir.

Otomatik bina tespiti için geliştirilen veri setlerinin çeşitlilikten yoksun olması, modellerin ve verilerin genelleme yeteneğini kısıtlar. Bu problemin aşılması için yapısal farklılıkları bünyesinde barındıran veri setlerine gereksinim vardır. Yapısal farklılıklar bazen coğrafi konum çeşitliliği ile sağlanabileceği gibi bazen de mimari çeşitlilikler ile de sağlanabilir. Böylece, yapısal çeşitlilik içeren bir veri seti üzerinde eğitilen model kullanılarak farklı veri setlerinde otomatik bina segmentasyonu mümkün olur. INRIA, SpaceNet V2, CrowdAI, WHU, xBD, SpaceNet 7, WHU-Mix, Open Building ve İstanbul V1 veri setleri çeşitli coğrafi alanlardan görüntüler bulundurması sebebiyle yapısal farklılıklar içeren bina etiketlerinden oluşmaktadır. İstanbul V1, çeşitlilik bulunduran diğer veri setlerine kıyasla kapsama alanı daha küçük olmasına rağmen yapısal çeşitliliğin çok yüksek olduğu mimari yapıları içerir.

Bina çıkarma modellerinin performansını daha doğru ve pratik bir şekilde değerlendirmek için, test verilerinin eğitim verileriyle (örneğin, farklı şehirlerden eğitim ve test verileri) belirli bir dağılım farklılığına sahip olması gerekir. Örneğin, eğitim ve test verileri, Massachusetts Veri Seti ve WHU Veri Seti'ndeki aynı şehirdendir ve bu nedenle çeşitlilikten yoksundur. INRIA Veri Seti, farklı şehirlerden bir eğitim seti ve bir test seti sağlasa da test seti etiketleri açık bir şekilde mevcut değildir. Test etiketlerinin bulunmaması durumunda sadece modelin eğitim performansından bahsedilebilir.

Binaların tespitinde görüntü geometrisi de önem taşır ancak afet gibi durumlarda algılama açısı ya da bulutluluk gibi faktörlerin ideal olması oldukça zordur. Bu nedenle veri setlerinin afet gibi acil durumlarda da kullanılabilmesi için farklı algılama koşullarında ve farklı afetlerden örnekler içerecek şekilde oluşturulması da önem taşır. Optik görüntüler dışında YAR verileri ya da nadir dışındaki bakış açılarının olduğu bina veri

setlerinin varlığı çok önemlidir. Örneğin, SpaceNet4 Veri Seti bakış açısına göre üç farklı aralıkta uydu görüntülerinden oluşmaktadır ve bu durum veri setinin genelleme yeteneğini artırmaktadır. YAR ile gece, gündüz, hava koşullarından bağımsız olarak algılama yapılabilmesi özellikle afet durumunda hızlı bilgi çıkartılması açısından optik algılayıcılara göre büyük avantaj sağlar. Yüksek çözünürlükteki optik ve YAR görüntülerinden oluşan SpaceNet 6 Veri Seti ile bu veri kombinasyonu sayesinde, yalnızca tek bir veri türüyle eğitilenlerden daha yüksek doğruluklu sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Shermeyer ve ark., 2020).

Veri setlerindeki etiketlerinin kalitesi, doğruluğu etkileyen en önemli parametredir. Bina etiketleri manuel, otomatik veya yarı-otomatik olarak hazırlanabilir. Etiketler ArcGIS, QGIS gibi harita programları ile yapılabileceği gibi LabelImg, Hyper Label, Roboflow gibi arayüzler kullanılarak da oluşturulabilir. Veri setinde bina sınırlarının manuel etiketlenerek oluşturulması zor ve zaman alıcı bir işlemdir. Bu şekilde oluşturulmuş veri setlerine erişim de kısıtlıdır. Otomatik ve yarı otomatik yöntemler ise genellikle kaliteli etiket sağlamaz. Bina etiketleri ISPRS, WHU, SpaceNet 7, LandCover.ai, SemCity Toulouse, AIRS, Waterloo Bina Veri Seti, İstanbul V1 elle; SpaceNet V1, SpaceNet V2 veri setlerinde yarı otomatik yöntemlerin desteğiyle elle; Massachusetts, Open Bina Veri Seti OSM tabanlı; INRIA, CrowdAI, SpaceNet 6, Open Spatial Data ise açık kaynaklı bina ayak izleri kullanılarak oluşturulmuştur. Massachusetts, INRIA, SpaceNet (SpaceNet V1-V2) ve OpenAI gibi veri setlerinde, bazı bina etiketleri düşük kalitededir. Luo ve ark., (2023)'de düşük kalitedeki etiketlerin model üzerindeki negatif etkisini gözlemlemek için, INRIA Veri Seti'ndeki yanlış etiketleri manuel düzeltip, orijinal ve yeniden düzenlenen INRIA Veri Seti'ni kullanarak eğitim işlemi gerçekleştirmiştir. Eğitim sonucunda etiketleri yeniden düzeltilen veri seti ile IoU metriğinde %20 iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Verileri etiketleyen kişilerin uzmanlık seviyesi, konu hakkındaki yetkinliği gibi faktörler etiket kalitesini büyük oranda etkiler. Etiketlerin analizi sürecinde, bağımsız doğrulayıcılar tarafından kontrol edilmesi de dikkat edilmesi gereken bir başka husustur. Tüm bunlara ek olarak, bazı veri setlerinde kaliteli etiket üretmenin zorluğundan kaynaklı, sadece eğitim ve doğrulama verileri etiketli olarak sunulmaktadır. Test etiketlerinin bulunması durumunda test için performans değerlendirmesi yapılabilirken, aksi halde bu değerlendirmeler yapılamaz. Doğal olarak model eğitiminin test doğruluklarının kıyaslanabilmesi için etiketli test veri setlerine ihtiyaç vardır.

Uzaktan algılama görüntülerinden binaların otomatik çıkarılması amacıyla veri seti üretilirken mekânsal çözünürlüğü yüksek görüntülere ihtiyaç bulunmaktadır. Yüksek mekânsal çözünürlük, etiketleme sırasında bina sınırlarının hassas olarak belirlenmesine olanak sağlar. Veri setinde, bina etiketleri yüksek kalitede oluşturulmalıdır. Ayrıca, farklı türdeki binaların etiketlenmesi ve kaliteli etiket sayısının fazla olması model eğitiminde sonuç doğruluğunu önemli ölçüde etkiler. Bina veri setlerinin oluşturulmasında çeşitlilik içeren, genelleme yeteneği yüksek ve doğru etiketlenmiş verilerin kullanılması sonuç doğruluğunu arttıracaktır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Yazarlar, Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama UYG-AR Merkezi'ne desteği için teşekkür etmektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Esra Özaydın: Literatür taraması, Makale yazımı, Analiz; **Burcu Amirgan:** Literatür taraması, Makale yazımı, Analiz; **Gülşen Taşkın:** Düzenleme, Kontrol ve Yorum; **Nebiye Musaoğlu:** Düzenleme, Kontrol ve Yorum.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Akbulut, Z., Özdemir, S., Acar, H., Dihkan, M., & Karşlı, F. (2018). Automatic extraction of building boundaries from high resolution images with active contour segmentation. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 36-42. <https://doi.org/10.26833/ijeg.373152>
- Amirgan, B., Awad, B., Erer, I., & Musaoğlu, N. (2022). A comparative study for building segmentation in remote sensing images using deep networks: Cscrs Istanbul building dataset and results. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 1-6. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-2-2022-1-2022>
- Atik, M. E., Duran, Z., & Özgünlük, R. (2022). Comparison of YOLO versions for object detection from aerial images. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(2), 87-93. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1010741>
- Azam, B., Khan, M. J., Bhatti, F. A., Maud, A. R. M., Hussain, S. F., Hashmi, A. J., & Khurshid, K. (2022). Aircraft detection in satellite imagery using deep learning-based object detectors. *Microprocessors and Microsystems*, 94, 104630. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2022.104630>
- Bakirman, T., Komurcu, I., & Sertel, E. (2022). Comparative analysis of deep learning based building extraction methods with the new VHR Istanbul dataset. *Expert Systems with Applications*, 202, 117346. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117346>
- Bayramoğlu, Z., & Uzar, M. (2023). Performance analysis of rule-based classification and deep learning method for automatic road extraction. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 83-97. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1062250>
- Boguszewski, A., Batorski, D., Ziemia-Jankowska, N., Dziedzic, T., & Zambrzycka, A. (2021). LandCover. ai: Dataset for automatic mapping of buildings, woodlands, water and roads from aerial imagery. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1102-1110.
- Chen, Q., Wang, L., Wu, Y., Wu, G., Guo, Z., & Waslander, S. L. (2019). Temporary removal: Aerial imagery for

- roof segmentation: A large-scale dataset towards automatic mapping of buildings. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 147, 42-55. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.11.011>
- Duman, H. S., & Başaraner, M. (2022). Şekil göstergeleri ve topluluk öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları ile bina detaylarının şekil karmaşıklık analizi. *Geomatik*, 7(3), 197-208. <https://doi.org/10.29128/geomatik.947334>
- Erdem, F., & Avdan, U. (2020). Comparison of different U-net models for building extraction from high-resolution aerial imagery. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(3), 221-227. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.684951>
- Gerke, M., Rottensteiner, F., Wegner, J., Sohn, G., 2014. ISPRS Semantic Labeling Contest. <https://doi.org/10.13140/2.1.3570.9445>
- Open Cities AI Challenge Dataset. Version 1.0, (2023). Radiant MLHub. <https://mlhub.earth/10.34911/rdnt.f94cxb>
- Glinka, S., Owerko, T., & Tomaszkiwicz, K. (2022). Using open vector-based spatial data to create semantic datasets for building segmentation for raster data. *Remote Sensing*, 14(12), 2745. <https://doi.org/10.3390/rs14122745>
- Gupta, R., Goodman, B., Patel, N., Hosfelt, R., Sajeev, S., Heim, E., ... & Gaston, M. (2019a). Creating xBD: A dataset for assessing building damage from satellite imagery. *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops*, 10-17.
- Gupta, R., Hosfelt, R., Sajeev, S., Patel, N., Goodman, B., Doshi, J., ... & Gaston, M. (2019b). xbd: A dataset for assessing building damage from satellite imagery. *Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1911.09296>
- He, H., Gao, K., Tan, W., Wang, L., Chen, N., Ma, L., & Li, J. (2022b). Super-resolving and composing building dataset using a momentum spatial-channel attention residual feature aggregation network. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 111, 102826. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102826>
- He, H., Jiang, Z., Tan, W., Cai, Y., Fatholahi, S. N., Gao, K., ... & Li, J. (2021). Waterloo Building Dataset: A large-scale very-high-spatial-resolution image dataset for building rooftop extraction. *Abstracts of the ICA*, 3, 1-2. <https://doi.org/10.5194/ica-abs-3-105-2021>
- He, H., Jiang, Z., Gao, K., Narges Fatholahi, S., Tan, W., Hu, B., ... & Li, J. (2022a). Waterloo building dataset: A city-scale vector building dataset for mapping building footprints using aerial orthoimagery. *Geomatica*, 75(3), 99-115. <https://doi.org/10.1139/geomat-2021-0006>
- Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y. W. (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural Computation*, 18(7), 1527-1554. <https://doi.org/10.1162/neco.2006.18.7.1527>
- Ji, S., Wei, S., & Lu, M. (2018). Fully convolutional networks for multisource building extraction from an open aerial and satellite imagery data set. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(1), 574-586. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2858817>
- Jiwani, A., Ganguly, S., Ding, C., Zhou, N., & Chan, D. M. (2021). A semantic segmentation network for urban-scale building footprint extraction using RGB satellite imagery. *Computer Vision and Pattern Recognition* <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.01263>
- Karhunen, J., Raiko, T., & Cho, K. (2015). Unsupervised deep learning: A short review. *Advances in Independent Component Analysis and Learning Machines*, 125-142. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802806-3.00007-5>
- Luo, M., Ji, S., & Wei, S. (2023). A diverse large-scale building dataset and a novel plug-and-play domain generalization method for building extraction. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16, 4122-4138. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3268176>
- Maggiore, E., Tarabalka, Y., Charpiat, G., & Alliez, P. (2017). Can semantic labeling methods generalize to any city? The Inria aerial image labeling benchmark. 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 3226-3229. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2017.8127684>
- Mehran, A., Tehsin, S., & Hamza, M. (2023). An effective deep learning model for ship detection from satellite images. *Spatial Information Research*, 31(1), 61-72. <https://doi.org/10.1007/s41324-022-00482-1>
- Mnih, V. (2013). Machine learning for aerial image labeling. University of Toronto (Canada).
- Mohanty, S. P., Czakon, J., Kaczmarek, K. A., Pyskir, A., Tarasiewicz, P., Kunwar, S., ... & Schilling, M. (2020). Deep learning for understanding satellite imagery: An experimental survey. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 3, 534696. <https://doi.org/10.3389/frai.2020.534696>
- URL-1: https://haberler.itu.edu.tr/docs/default-source/default-document-library/2023_itu_depren_on_raporu.pdf?sfvrsn=bf82d8e5_
- URL-2: <https://www.isprs.org/education/benchmarks/UrbanSemLab/semantic-labeling.aspx>
- URL-3: <https://www.cs.toronto.edu/~vmnih/data/>
- URL-4: <https://project.inria.fr/aerialimagelabeling/>
- URL-5: <https://competitions.codalab.org/competitions/20100>
- URL-6: <https://www.kaggle.com/datasets/adrianboguszewski/landcoverai>
- URL-7: <https://www.kaggle.com/datasets/atilol/aerialimageryforroofsegmentation>
- URL-8: <https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/EXRA2V>
- URL-9: https://github.com/sajmonogy/keras_segmentation_models
- URL-10: <https://spacenet.ai/spacenet-buildings-dataset-v1/>
- URL-11: <https://spacenet.ai/spacenet-buildings-dataset-v2/>

- URL-12: <https://www.aicrowd.com/challenges/mapping-challenge>
- URL-13: <https://spacenet.ai/off-nadir-building-detection/>
- URL-14: <https://xview2.org/dataset>
- URL-15: <https://spacenet.ai/sn6-challenge/>
- URL-16: <https://spacenet.ai/sn7-challenge/>
- URL-17: <http://rs.ipb.uni-bonn.de/data/semcity-toulouse-data-access/>
- URL-18: <https://sites.research.google/open-buildings/#download>
- URL-19: http://gpcv.whu.edu.cn/data/building_dataset.html
- URL-20: [http://gpcv.whu.edu.cn/data/whu-mix\(raster\)/whu_mix%20\(raster\).html](http://gpcv.whu.edu.cn/data/whu-mix(raster)/whu_mix%20(raster).html)
- URL-21: <https://www.geoportal.gov.pl/>
- Ozturk, O., Saritürk, B., & Seker, D. Z. (2020). Comparison of fully convolutional networks (FCN) and U-Net for road segmentation from high resolution imageries. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(3), 272-279. <https://doi.org/10.30897/ijegno.737993>
- Patel, K., Bhatt, C., & Mazzeo, P. L. (2022). Deep learning-based automatic detection of ships: An experimental study using satellite images. *Journal of Imaging*, 8(7), 182. <https://doi.org/10.3390/jimaging8070182>
- Perihanoğlu, G. M., Özerman, U., & Şeker, D. Z. (2018). Kenar algılama ve morfoloji operatörleri kullanılarak detay çıkarımı üzerine bir uygulama. *Geomatik*, 3(2), 120-128. <https://doi.org/10.29128/geomatik.358957>
- Ps, P., & Aithal, B. H. (2023). Building footprint extraction from very high-resolution satellite images using deep learning. *Journal of Spatial Science*, 68(3), 487-503. <https://doi.org/10.1080/14498596.2022.2037473>
- Raghavan, R., Verma, D. C., Pandey, D., Anand, R., Pandey, B. K., & Singh, H. (2022). Optimized building extraction from high-resolution satellite imagery using deep learning. *Multimedia Tools and Applications*, 81(29), 42309-42323. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13493-9>
- Roscher, R., Volpi, M., Mallet, C., Drees, L., & Wegner, J. D. (2020). SemCity Toulouse: A benchmark for building instance segmentation in satellite images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5, 109-116. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-5-2020-109-2020>
- Sarker, I. H. (2021). Deep learning: a comprehensive overview on techniques, taxonomy, applications and research directions. *SN Computer Science*, 2(6), 420. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00815-1>
- Saritürk, B., Bayram, B., Duran, Z., & Seker, D. Z. (2020). Feature extraction from satellite images using segnet and fully convolutional networks (FCN). *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(3), 138-143. <https://doi.org/10.26833/ijeg.645426>
- Shermeyer, J., Hogan, D., Brown, J., Van Etten, A., Weir, N., Pacifici, F., ... & Lewis, R. (2020). SpaceNet 6: Multi-sensor all weather mapping dataset. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition workshops*, 196-197.
- Sirko, W., Kashubin, S., Ritter, M., Annkah, A., Bouchareb, Y. S. E., Dauphin, Y., ... & Quinn, J. (2021). Continental-scale building detection from high resolution satellite imagery. *Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.12283>
- Tan, C., Sun, F., Kong, T., Zhang, W., Yang, C., & Liu, C. (2018). A survey on deep transfer learning. *Artificial Neural Networks and Machine Learning-ICANN 2018: 27th International Conference on Artificial Neural Networks*, Rhodes, Greece, October 4-7, 2018, *Proceedings, Part III* 27, 270-279. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01424-7_27
- Van Etten, A., Hogan, D., Manso, J. M., Shermeyer, J., Weir, N., & Lewis, R. (2021). The multi-temporal urban development spacenet dataset. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 6398-6407.
- Van Etten, A., Lindenbaum, D., & Bacastow, T. M. (2018). Spacenet: A remote sensing dataset and challenge series. *Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.01232>
- Wang, X., Liu, Y., & Xin, H. (2021). Bond strength prediction of concrete-encased steel structures using hybrid machine learning method. *Structures*, 32, 2279-2292. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.04.018>
- Weir, N., Lindenbaum, D., Bastidas, A., Etten, A. V., McPherson, S., Shermeyer, J., ... & Tang, H. (2019). Spacenet mvoi: A multi-view overhead imagery dataset. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 992-1001.
- Yin, J., Wu, F., Qiu, Y., Li, A., Liu, C., & Gong, X. (2022). A multiscale and multitask deep learning framework for automatic building extraction. *Remote Sensing*, 14(19), 4744. <https://doi.org/10.3390/rs14194744>





Mevcut kavşakların işlevlerinin (yoğunluklarının) CBS ortamında değerlendirilmesi: Samsun- Atakum Örneği

Aziz Uğur Tona ¹, Erdem Emin Maraş ², Vahdettin Demir ³

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Türkiye, azizugur.tona@omu.edu.tr

² Samsun Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Pilotaj Anabilim Dalı, Türkiye, erdem.maras@samsun.edu.tr

³ KTO Karatay Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye, vahdettin.demir@karatay.edu.tr

Kaynak Göster: Tona, A. U., Maraş, E. E., & Demir, V. (2024). Mevcut kavşakların işlevlerinin (yoğunluklarının) CBS ortamında değerlendirilmesi (Samsun- Atakum Örneği). Geomatik, 9 (1), 12-26

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1258135>

Anahtar Kelimeler

CBS
Yoğunluk Analizi
Kavşak
Araç Sayımı
Trafik

Araştırma Makalesi

Geliş: 01.03.2023
Revize: 11.04.2023
Kabul: 19.04.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

Bu çalışma, Samsun Atakum İlçesi Atatürk Bulvarı üzerinde yer alan Karayolları kavşağı-Toplu konut bulvarı kavşağı arasındaki dokuz kavşağın yoğunluk durumlarını değerlendirmek ve kavşaklardaki trafik akışının detaylı bir şekilde analiz edilmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, kavşaklar üzerinden 07.00-19.00 saatleri arasında geçen toplam araç sayımları referans alınarak analizler yapılmıştır. Bazı kavşaklarda kamera kullanılarak sayımlar yapılırken bazı kavşaklarda ise saha çalışmalarıyla sayımlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan sayımlar sonucunda oluşturulan veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarından biri olan ArcGIS ortamında Çizgi Yoğunluk Analizi kullanılarak haritalandırılmıştır. Elde edilen haritalar, kavşakların araç sayılarına göre yoğunluk durumlarının görselleştirilmesine olanak sağlamıştır. Sonuçlar incelendiğinde, Karayolları kavşağının en fazla yoğunluğa sahip olduğu, Toplu Konut Bulvarı kavşağının ise en az yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak çalışma alanında trafik akışının ve trafik sıkışıklığının düzenlenmesi için uygulanabilir çözüm önerileri sunulmuştur.

Evaluation of the functions (intensities) of existing intersections in GIS software: A case study of Samsun- Atakum

Keywords

GIS
Density Analysis
Intersection
Vehicle Count
Traffic

Research Article

Received: 01.03.2023
Revised: 11.04.2023
Accepted: 19.04.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

This study was conducted to evaluate the traffic density of nine intersections located between the Karayolları intersection and the Toplu Konut Bulvarı intersection on Atatürk Boulevard in Samsun's Atakum district, and to analyze the traffic flow in detail at these intersections. For this purpose, the total number of vehicles passing through the intersections between 07.00-19.00 hours was taken as a reference for the analyses. While some of the counts were made using cameras at certain intersections, others were carried out through field survey. The data generated from the counts were mapped using the Line Density Analysis in ArcGIS, which is one of the Geographic Information Systems software. The resulting maps allowed for the visualization of the density status of the intersections based on the number of vehicles. When the results were examined, the Karayolları intersection had the highest density, while the Toplu Konut Bulvarı intersection had the lowest. Based on these results, feasible solution proposals were presented for regulating the traffic flow and congestion in the study area.

1. Giriş

Değişen ve sürekli gelişen dünyada, bilim ve teknolojinin hızla ilerlemesiyle beraber sosyal ve ekonomik iyileşme devamında nüfusun artmasına sebep olmuştur. Ülkemizde artan nüfus ve her geçen gün trafiğe çıkan araç sayısının hızlı bir şekilde artması, özellikle şehir merkezlerinin olduğu bölgelerde trafik problemini maksimuma çıkarmaktadır (Tırak, 2019). Önümüzdeki yıllarda böyle bir durumun etkisinin trafik hacminin artışına yansımalarının vazgeçilmez olduğu görülmüş, bu durum da beraberinde yoğunluğa bağlı sorunlara ve gerekli olan ihtiyaçlara çözüm arayışlarını birlikte getirmiştir. Hızlı kentleşmenin ilerlemesiyle ortaya çıkan karmaşık kent dokusunun, yaşanabilir şehirler olarak insanlara sunabilmek için öncelikle belirlenen sorunların çözümüne yönelik önerilerin de dahil edildiği imar planlarının oluşturulması sonrasında ise kentlerin geleceğinin bu imar planlarına göre biçimlendirilmesi gerekmektedir (Öner ve Sesli, 2018). İmar planları oluşturulurken ülkelerin ulaşım sistemi de ele alınması gerekir. Çünkü bu sistem ülkelerin kültürel, sosyal ve ekonomik faaliyetlerinin canlanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu sebeplerden dolayı dikkatli bir ulaşım planlaması için kaynakların verimli bir şekilde kullanılması ile mümkün olacaktır (Atalay ve ark., 2018). Bugünkü kent içi karayolu ulaşımında oluşan trafik sıkışıklıklarının ve kazaların büyük çoğunluğu kent içi kavşaklarda oluşmaktadır. Bundan dolayı kent içi ulaşımında kavşakların önemi her geçen gün artmaktadır. Bütün ulaşım ağı bir arada ele alındığında problemlerin en fazla yoğunlaştığı noktaların kavşak alanları olduğu görülmektedir. Bu nedenle kavşaklar çözüm arayışında ele alınması gereken öncelikli trafik unsurlarıdır. Kavşaklar üzerindeki problemler ele alınırken coğrafi bilgi sistemleri yazılımı kullanılabilir. Çünkü Coğrafi bilgi sistemleri günümüzde birçok alanda sıkça kullanılan bir teknolojidir. Şehir yönetimi uygulamaları, trafik uygulamaları, altyapı uygulamaları gibi uygulamalar bunlardan bazılarıdır (Ernst ve ark., 2019). Özellikle şehir planlama, arazi haritalama gibi alanlarda büyük öneme sahiptir (İşcan ve Güler, 2021).

CBS, özellikle 2000'li yıllardan bu yana, kentsel ve kırsal alanlarda meydana gelen değişiklikleri izleme, analiz etme ve planlama sürecinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır (Çörek Öztaş ve Karaaslan, 2018; Goumehei ve Yan, 2016). CBS' e dair merkezi bir bilgi sistemi, planlama, kavramlaştırma ve geliştirme aşamasından başlayarak bakımına kadar sadece tüm paydaşları değil aynı zamanda akıllı şehir süreçlerinde bulunan her bir alanı da birleştiren bilişim teknolojileri çerçevesi sunar (Urfalı, 2019).

CBS yazılımı elde edilen kriterlere göre yapılan analizlerin haritalandırılmasında karar vericiye yardımcı olmaktadır (Urfalı ve Eymen, 2021). CBS mekânsal verilerin düzenlenmesini, analiz edilmesini, modellenmesini kolaylaştıran bir sistemdir (Doğan ve Yakar, 2018). CBS, farklı sistemlerden gelen raster ve vektör verilerin birleştirilmesini ve bu verilerin ortak bir veri tabanında tutulmasına olanak sağlar (Güven, 2021).

Literatürde, bu çalışmanın konusu olan trafik yoğunluğu ve çalışmada kullanılan yöntem olan çizgi yoğunluk analizi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde;

Öztürk (2006), trafik sıkışıklığını azaltmak için trafik kontrol sistemlerinde kullanılan algılayıcılar, trafiği yönlendirmek amaçlı değişken mesaj işaretleri, kavsak kontrol cihazları vs. tanıtmıştır. Çalışmanın amacı kavsak ve yol ihtiyaçlarına göre, kazaların büyük bir çoğunluğunun olduğu kavşaklarda yapılabilecek olan planlama ve projelendirmelerle, bu sorunu en aza indirmek ve kavşaklardaki trafik akışını, trafik yoğunluğuna göre öncelik verilecek alternatif yollara yönlendirerek, sürücülerin güvenli ve huzurlu bir şekilde gidecekleri yere ulaşmalarını sağlamaktır. Çalışmanın sonucunda akıllı trafik kontrol sistemleri vasıtasıyla bir şehrin ulaşım sorununun en aza düşeceğini, güvenliğin maksimum düzeye çıkarken gereksiz zaman ve maddi kayıpların önleneceğini savunmuştur. Özellikle büyük şehirlerdeki trafik sıkışıklığının sosyal yasama olumsuz etkisinin en aza ineceğini, insanların stresten uzak, huzurlu bir şekilde yolculuk etmelerinin mümkün olacağı vurgulamıştır.

Çiçek (2007), Ankara İlinde 2004 ve 2005 yıllarında meydana gelen ölümlü ve yaralı kazaları Coğrafi Bilgi Sistemi ile irdelemiş ve yapılan altyapı çalışmalarının trafik güvenliği noktasındaki olumlu ya da olumsuz etkilerini araştırmıştır. Yapmış olduğu çalışmada, Ankara ilinin ana hatlarından olan ve Ankara'yı çevreleyen Samsun Yolu, Konya Yolu, İstanbul Yolu ve Eskişehir yolunda meydana gelen kazalar, kaza konum bilgileri ve bu kazaları tematik haritalar üzerinden incelemiş, bu hatlar üzerinde yapılan yol genişletme ve katlı kavşak gibi altyapı çalışmalarının trafik kazalarına ne gibi etkileri olabileceğini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda farklı seviyede yeniden incelenen kavşakların kesişmeli şekilde belirli tipteki kazaların artmasında etkili olduğunu saptamıştır. Yapılan bu çalışma ile kentsel ölçekte planlanan altyapı çalışmalarının trafik güvenliği açısından oluşturabileceği problemleri ortaya koymaya çalışmıştır.

Bozkurt (2010), Kırıkkale İli kent merkezindeki trafiği dağıtıcı ve toplayıcı özelliğe sahip olan Samsun Bulvarı üzerindeki 5 sinyalizasyon kavşak; geometrik özellikleri, sinyal parametreleri, trafik yükü ve akımları, çevresel özellikleri ve kaza verileri açısından incelemiş, mevcut durumda yaşanan problemleri tespit ederek çözüm önerileri sunmuştur. İncelenen bu 5 sinyalizasyon kavşağına yönelik sunulan çözüm önerileri ile Samsun Bulvarı'nın daha güvenli bir trafik akımına sahip olması ve trafik sıkışıklığı konusunda yaşanan problemlerin giderilmesini amaçlamıştır. Bu çözüm önerileri incelendiğinde; Sinyalizasyon sistemlerinin gün ışığından kaynaklanan renk belirginliğini artırıcı önlemlerin alınması (1), İncelenen üç kavşakta bulunan Benzin istasyonlarının giriş çıkışlarının kavşaktaki trafiği olumsuz etkisini azaltıcı düzenlemelerin yapılması (2), Samsun Bulvarı genelinde yayaların güvenli bir şekilde hareketinin sağlanması ve sürdürülebilir yaya ulaşımı için gerekli kaldırım düzenlemelerinin yapılması (3), Minibüslerin yoğun olarak kullandığı bu kavşaklarda durakların yerlerinin trafikte yolcu indirme ve bindirme esnasında yoğunluğa sebebiyet vermesi için gerekli düzenlemelerin ve yaptırımların uygulanması gerektiği (4). Trafik güvenliği açısından çalışmaya konu olan kavşakların kollarındaki tehlike yaratan boyuna eğimler incelenerek geometrik düzenlemelerin yapılması (5).

İncelenen 5 kavşakta, sinyal parametreleri trafik yüklerine uygun olarak yeniden düzenlenmesi gerektiğini öne sürmüştür.

Chavare (2011), çalışmasında Hindistan'ın Nandurbar Bölgesi'ndeki Tapi Nehri'nin bir kolu olan Valheri Nehri'ni morfometrik olarak incelemiştir CBS tekniklerinden çizgi yoğunluk analizini kullanarak akarsu yoğunluğunu hesaplamıştır. Çalışmanın sonucunda akarsu yoğunluğu, akarsu frekansı ve çiftleşme oranı gibi Morfometrik parametreler (yükseklik ve eğim) sel yönetimi, toprak erozyonu değerlendirmesi ve su kaynakları yönetiminde bütünlük karar verme sürecinde önemli olduğunu vurgulamıştır.

Gülenç (2011), Afyonkarahisar'ın mevcut ulaşım altyapısının ve kapasite kullanımının incelenmesi, geometri, kavşak düzenlemeleri, otopark ihtiyacı, toplu taşıma vb. ile ilgili olarak ileriye dönük projeksiyonlarla mevcut sorunlara çözümler önermiştir.

Ertunç (2013), yapmış olduğu çalışmada ilk olarak Antalya İlinin uydu görüntüsünü ArcGIS10 yazılımı ile sayısallaştırmıştır. Antalya il merkezinde 2009 ve 2010 yılları arasında meydana gelen ölümlü-yaralanmalı trafik kaza verilerini kullanarak ArcGIS10 yazılımında bir veri tabanı oluşturmuştur. "kavşak" ve "bulvar-cadde-sokak"lardaki ölümlü-yaralanmalı trafik kazalarını birbirinden ayırmış ve her birinde meydana gelen kazalara ait kaza verilerini (kaza ayı, kaza günü, kaza saat aralığı, kaza oluş türü, kaza karakteri, ölü sayısı, yaralı sayısı, hava durumu, kavşak türü, trafik lambası, yolun geometrik özellikleri, araç sayısı, araç cinsi, sürücünün cinsiyeti-yaş aralığı-öğrenim durumu gibi) kullanarak, kazaların hem görsel hem de grafikler halinde istatistiksel değerlendirmelerini yapmıştır. CBS ortamında kavşaklarda meydana gelen kazaların yoğun olduğu bölgeleri tespit etmiş ve bu tespitler sonucunda 2009 yılında 41, 2010 yılında 57 kavşak kaza kara noktası belirlemiştir. Ayrıca ArcGIS10 yazılımındaki uydu görüntüsü üzerinde bulvar-cadde-kavşaklarda yıllar itibariyle 29 kazaya meyilli bölge tespit etmiş, bunlarda da kazaya sebebiyet veren etkenleri hem görsel hem de grafikler ve çizelgeler halinde istatistiksel olarak değerlendirmiştir.

Shahkar (2015), Trabzon bölünmüş sahil yolunda yer alan uzunluğu 113,5 km olan 010-21 ve 010-22 kesim nolu (Beşikdüzü-Of) yolu üzerinde 2011, 2012 ve 2013 yıllarında meydana gelen trafik kazalarını incelemiştir, Daha sonra kazaların fazla yoğun olduğu kısımları kaza kara noktaları sayı yöntemini kullanarak belirlemiştir. Karayolları Genel Müdürlüğünde bulunan kayıtları veri seti şeklinde Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı ile analiz etmiştir. Trabzon sahil yolu üzerinde ortaya çıkan kazalar kavşak durumu, zaman dilimi, oluş şekli, yaralanmalı, ölümlü, , hava sıcaklığı ve yağış miktarı gibi durumlara göre incelemiştir ve bu faktörlerin kara nokta tespitinde neden olup olmadığını tespit etmiştir. Kara noktalarındaki kaza sebeplerini CBS yazılımı ile incelemelerle açığa çıkarmaya çalışmıştır. Bu yazılımını kullanmasındaki etken CBS'nin mekansal bir bakış açısıyla risk haritalarının oluşturulmasına izin veren özelliklerinin olmasından dolayıdır (**Çepni ve Arslan, 2017**). Böylelikle trafik kaza tutanaklarında yer alan

verileri kullanarak CBS'nin kaza analizindeki etkisini ortaya çıkararak oluşan kazaların analizini yapmıştır.

Güçlü (2016), Van ili için ulaşım da yaşanan problemlerin çözümüne yönelik AUS (Akıllı Ulaşım Sistemleri) uygulamalarını irdelemiş ilgili Uygulama Paketleri üzerinde araştırma yapmıştır. Ulaşım problemleri ele alındığında kent içinde oluşan trafik problemlerinin en fazla kavşaklarda meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu problemlerin birçok nedenden oluştuğu bilinmesine rağmen en büyük sorunun kavşakların daha etkin kullanılmamasından dolayı olduğunu vurgulamıştır. Çalışmanın sonucunda, Cumhuriyet Caddesi hattı boyunca 4 önemli kavşakta (Soydan Kavşağı, Beşyol Kavşağı, İki Nisan Kavşağı ve Eski Vali Konağı Kavşağı) nasıl daha iyi verim alınabileceğini AUS kapsamında irdelemiş ve DKKS (Dinamik Kavşak Kontrol Sistemi) sistemleri ile uygulanmasını önermiştir. Önerilen sistem çerçevesinde aradaki iletişimi sağlayacak Trafik Kontrol Merkezinden altyapı ve trafik sayımlarına kadar birçok öneride bulunmuştur.

Sesli (2017), çalışmasında Kastamonu şehrinde yer alan 25 kavşağı incelemiş, 2 adet kavşak üzerinde ise detaylı olarak durmuştur. İncelenen kavşaklara ilişkin halihazırda karşılaşılan sorunlar, bu sorunlara farklı yaklaşımlar önerileri ve yapılmış olan çalışmaların kontrol işlemleri üzerinde araştırmalar yapmıştır. Çalışmanın sonucunda kavşak tasarımı yapılmadan önce saha çalışması ile kavşaktaki sorunun eksiksiz olarak ve doğru bir şekilde belirlenmesinin sağlanabileceğini vurgulamıştır. Yapılan bu incelemelerin sadece çalışma alanı içerisinde değil daha geniş bir alanda yapılması gerektiğini ve kapsamlı bir şekilde yapılan çalışma sonucunda daha doğru sonuçlara ulaşılabileceğini ifade etmiştir.

Lyu ve ark., (2018), çalışmalarında CBS yazılımında bulunan çizgi yoğunluk analizini kullanarak Çin devletinin en güneyinde yer alan Guangzhou şehrinin metro sistemindeki sel riskinin değerlendirilmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Metro yol ağı yakınlığının kritik seviyelerini 200 m, 400 m, 600 m, 800 m ve 1000 m olarak belirlemiştir. Sel riskine neden olabilecek kırılma seviyesini hesaplamak için arazi kullanım düzeyi, metro hattının yoğunlukları gibi alt indeksleri raster hesaplama araçlarını kullanarak CBS yazılımında belirlemiştir. Çalışmanın sonucunda metro hattının etrafındaki 500 metre aralığın sel riskine yol açtığını bulmuştur.

Yiğit (2019), trafik tesislerinde ağır araç etkisini, takip aralığı, gecikme kuyruk uzunluğu değerleri performans ölçütlerini birlikte inceleyerek tespit etmeye çalışmıştır. Analizler için trafik analiz programı, benzetim programı ve analitik yöntemleri kullanmıştır. Ağır araç etkisini değerlendirmek için önemli bir parametre olan Eşdeğer Otomobil Birimi (EOB) hesaplamıştır.

Yılmaz ve ark., (2019), EMEP/CORINAIR emisyon faktörü veri tabanından taşıt kategorilerine, motor teknolojilerine ve yakıt türlerine göre uygun emisyon faktörlerini seçmiş, seçtiği emisyon faktörleriyle otobüs seferleri ve şahsi araç sayılarını kullanarak trafikten kaynaklı hava kirlenimi emisyon miktarlarını network analizi ile tahmin etmiştir.

Haybat (2020), çalışmasında İzmir ilinin 11 ilçesi içerisinde meydana gelmiş olan trafik kazalarını analiz ederken, çizgi yoğunluk analizini kullanmış ve sonucunda trafik kazalarının hangi konumlarda daha çok oluştuğunu ortaya çıkarmıştır.

Ogato ve ark., (2020), çalışmalarında Etiyopya'nın batı kesimlerinde yer alan ambo kasabesindeki havzaların drenaj yoğunluğunu incelemiştir. Drenaj yoğunluğunu hesaplamak için Sayısal yükseklik modeli verilerini kullanmıştır. Çizgi yoğunluk analizini kullanarak havzaların drenaj yoğunluğunu hesaplamıştır. Drenaj yoğunluklarını 1 ile 5 arası kategorize etmiştir. En yüksek drenaj yoğunluğuna 1 kategorisi verirken en düşük drenaj yoğunluğuna ise 5 kategorisi vermiştir. Çalışmanın sonucunda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli bir perspektiften çizgi yoğunluk analizi ile sel felaketi tehlikesi ve riskinin analizine odaklanmış ve kentsel havzada sürdürülebilir sel felaketi risk yönetimi için stratejik önlemler önermiştir.

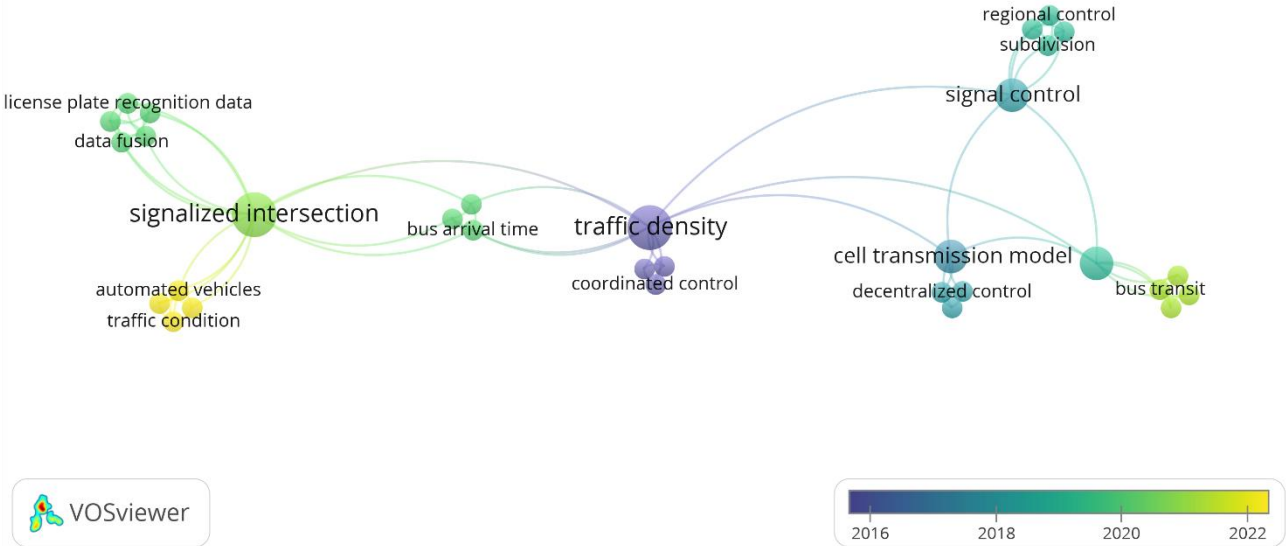
Siyavuş (2022), İlk olarak Üsküdar ilçesinde 2016-2020 yılları arasında meydana gelen trafik kazalarını İstanbul Trafik Denetleme Şube Müdürlüğünden temin ederek kaza türlerini ve oluş sebeplerini incelemiştir. Daha sonra kazaların olduğu noktaları ARCGIS ortamına aktararak haritalandırmıştır. Yol yüzeyleri ve kazaya karışan katmanları yorumlayarak kaza riskinin yüksek olduğu noktaları tespit etmeye çalışmıştır. Çalışmanın sonucunda kazaların büyük bir kısmının merkezlerin dikkatsizliğinden ve kavşaklara da bağlı olarak Altunizade Kavşağı, Paşa Limanı Caddesi ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü girişinde olduğunu tespit etmiştir.

Örnek çalışmalar doğrultusunda bu çalışma

kapsamında da Samsun ili Atakum İlçesi Atatürk Bulvarı üzerinde bulunan Karayolları, İsmet İnönü Bulvarı, D.S.İ. Yeşilyurt, YEDAŞ, Türk iş, Ömürevleri, Atakent TV., Vatan Caddesi ve Toplu Konut Bulvarı kavşakları ele alınmıştır. Bu kavşakların incelenme sebebi yoğun bir trafik akışına sahip olması ve kent için önemli bir yere sahip olmasından dolayıdır. İncelenen kavşaklar üzerindeki analizler CBS yazılımında yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların daha çok trafik kazaları ve bölge kapasiteleri dikkate alınarak trafik yoğunluklarını ele aldığı, ayrıca bu konuda çizgi yoğunluk yöntemi ile ilgili yapılan çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir.

Daha geniş bir açıyla literatür taraması yapmak amacıyla Scopus veri tabanı ve VOSviewer yazılımı kullanılmıştır. Scopus veri tabanı üzerinde "line AND density, AND intersection, AND traffic" anahtar kelimeleriyle tarama yapılmış ve aşağıda Şekil 1'de yer alan ilişki haritası elde edilmiştir.

Şekil 1 de, VOSviewer yazılımı benzer anahtar kelimelerin birbirleriyle ilişkilendirilmesinde ve yıllara göre güncel çalışmaların trendini göstermektedir (VOSviewer, 2022). Şekil 1 incelendiğinde 71 adet akademik çalışmanın daha çok sinyalizasyon kavşakları ve bu kavşakların otonomlaştırılması üzerine son yıllarda odaklanıldığı görülmektedir. Benzer şekilde trafik yoğunluğu merkezinde birçok güncel çalışmaların yapıyor olması konunun güncel araştırılan konulardan biri olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada da çalışma alanı güzergahındaki kavşaklar etrafındaki araç sayımları yapılmış, daha sonra da ArcGIS ortamına aktararak yoğunluk haritaları oluşturulmuştur.



Şekil 1. VOSviewer anahtar kelimelerine ait harita.

2. Yöntem

Çalışmada 9 adet kavşak ele alınmıştır. Çalışma alanı Samsun Atakum ilçesi Atatürk Bulvarı üzerinde Karayolları kavşağı-Toplu Konut Bulvarı kavşağı arasında yer almaktadır. Çalışma alanı Google Earth görüntüsü Şekil 2' de gösterilmektedir.

Atakum ilçesinde bulunan kavşaklardaki yoğunluğu tespit etmek için kavşakların her biri için gün içinde

belirli zaman aralıklarında araç sayımı yapılmıştır. Araç sayımları kavşaklardan bazılarında kamera çekimi ile bazılarında ise saha çalışması ile yapılmıştır. İsmet İnönü Bulvarı kavşağı, Türk iş kavşağı, Ömürevleri kavşağı, Atakent TV. kavşağı, Vatan caddesi kavşağı ve Toplu konut bulvarı kavşağında, kavşakların bütün kollarını ve her bir koldaki tüm trafik akışını gösterecek şekilde yüksekte bir nokta üzerinden kamera ile Karayolları, D.S.İ. Yeşilyurt kavşağı ve Yedaş kavşağında ise ekip

çalışması ile arazi üzerinde ölçümler yapılmıştır. Kamera ile çekim yapılan noktalar Şekil 3-7’de yer almaktadır.

Her bir kavşak kolu ve her bir koldaki farklı trafik akımları (sola ve sağa dönenler ile düz gidenler) için ilgili sayım verileri 15'er dakikalık periyotlarla 07.00-19.00 arasında yapılmış ve trafik cinsleri ayrı olarak

işlenmiştir. İşlenen veriler doğrultusunda yoğunluk analizinin hesaplanması için çizgi yoğunluk analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının amacı çalışma alanının her kısmını kapsadığından dolaydır.



Şekil 2. Çalışma Alanı (Google Earth, 2023).



Şekil 3. İsmet İnönü Bulvarı kavşağı kamera çekim noktası.



Şekil 4. Ömürevleri kavşağı kamera çekim noktası.



Şekil 5. Atakent TV. kavşağı kamera çekim noktası.



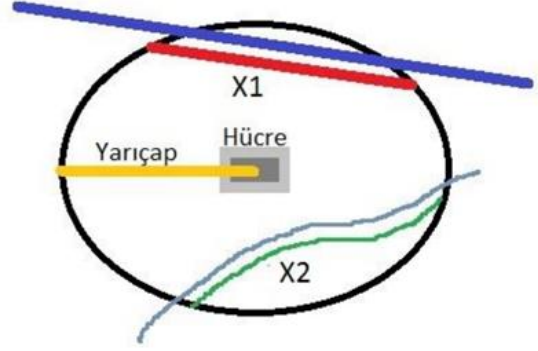
Şekil 6. Vatan Caddesi kavşağı kamera çekim noktası.



Şekil 7. Toplu Konut Bulvarı kavşağı kamera çekim noktası.

2.1. Çizgi yoğunluk analiz yöntemi

Bu yoğunluk analiz yöntemi, her bir raster hücre etrafındaki doğrusal özelliğin yoğunluğunu hesaplar (Ogato ve ark., 2020; Chavare, 2011). Yoğunluk, alan başına düşen uzunluk birimi cinsinden hesaplanır. Arama yarıçapı kullanılarak her raster hücre merkezinin etrafına bir daire çizilir. Her çizginin dairenin içine düşen kısmının uzunluğu popülasyon alanı değeriyle çarpılır. Bu rakamlar toplanır ve toplam dairenin alanına bölünür (Chavare, 2011). Şekil 8' de yöntem detayları yer almaktadır.



Şekil 8. Çizgi Yoğunluğunun uzunluğunu belirlemek için kullanılan raster hücre ve dairesel komşuluk gösterimi (Haybat, 2020).

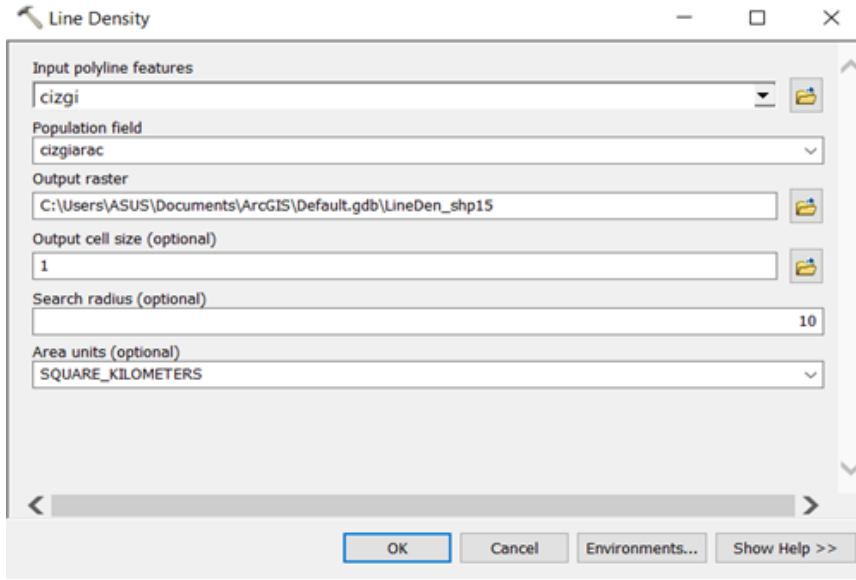
Eşitlik 1'de dairesel komşuluğu ile bir tarama hücresi gösterilmektedir. X1 ve X2 çizgileri, her çizginin daire içine düşen kısmının uzunluğunu göstermektedir. Bu gösterime denk gelen popülasyon değerleri Y1 ve Y2' dir.

$$Yoğunluk = \frac{(X1.Y1) + (X2.Y2)}{Daire Alanı} \quad (1)$$

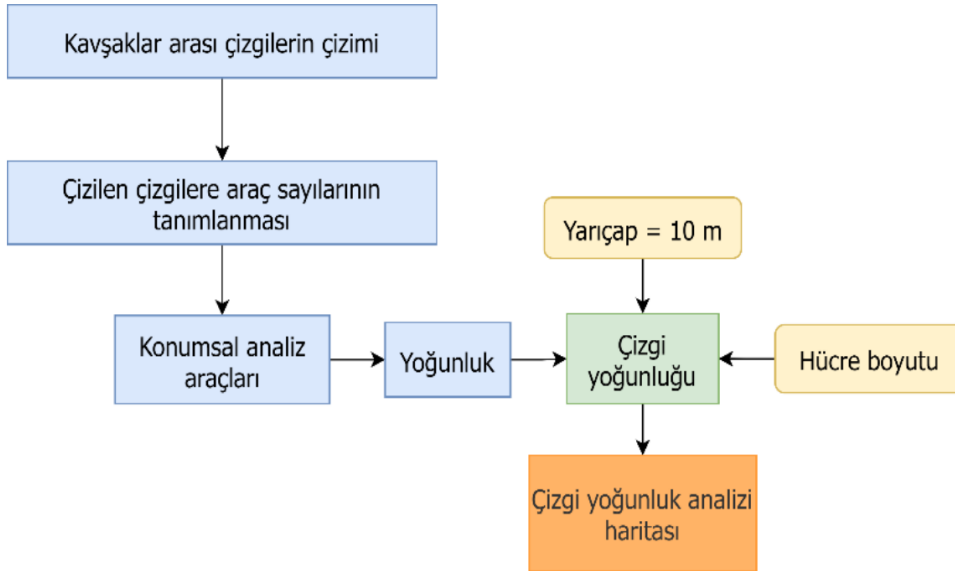
Bu değerler Eşitlik 1 ile elde edilir (Haybat, 2020). Bu çalışmada gün içinde yapılan araç sayımlarının yoğunluk analizinin gösteriminde bu yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının amacı çalışma alanının her kısmını kapsadığından dolayıdır. Çalışmada, hücre boyutu, popülasyon alanı (araç sayıları) ve kullanılan yarıçap gibi parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler, Şekil 9 ve Şekil 10'da CBS ara yüzünde gösterilmiştir. Son olarak çalışmanın iş akış şeması da gösterilerek çalışmanın nasıl yapıldığı açıklanmıştır (Şekil 11).

Table				
cizgi				
	FID	Shape *	Id	cizgiarac
▶	0	Polyline	0	20342
	1	Polyline	0	23574
	2	Polyline	0	2720
	3	Polyline	0	18256
	4	Polyline	0	23242
	5	Polyline	0	2252
	6	Polyline	0	2884
	7	Polyline	0	17962
	8	Polyline	0	23934
	9	Polyline	0	986
	10	Polyline	0	3770
	11	Polyline	0	16504
	12	Polyline	0	21006
	13	Polyline	0	1024
	14	Polyline	0	16348
	15	Polyline	0	4000
	16	Polyline	0	3802
	17	Polyline	0	25940
	18	Polyline	0	5878

Şekil 9. Popülasyon alanı (Araç sayıları).



Şekil 10. Çizgi yoğunluk analizi verileri.



Şekil 11. İş akış şeması.

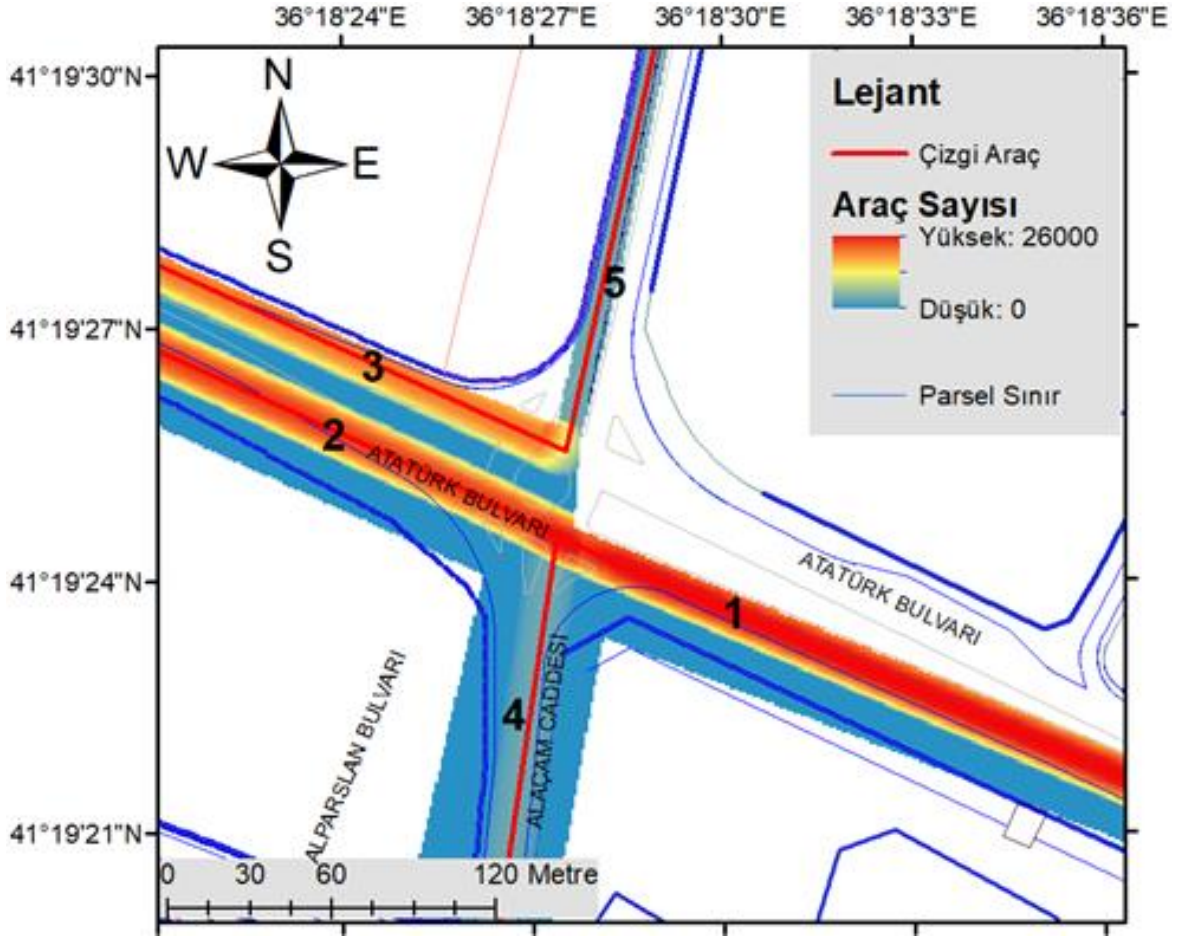
3. Bulgular

Gün içinde belirli aralıklarla kavşaklar üzerinde yapılan araç sayımlarının yoğunluk analizleri tek tek ele alınarak en yoğun olan kavşaklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 12’de Karayolları kavşağındaki yoğunluk analiz haritası gösterilmiştir. Yoğunluk lejanti araç sayısına göre düzenlenmiştir.

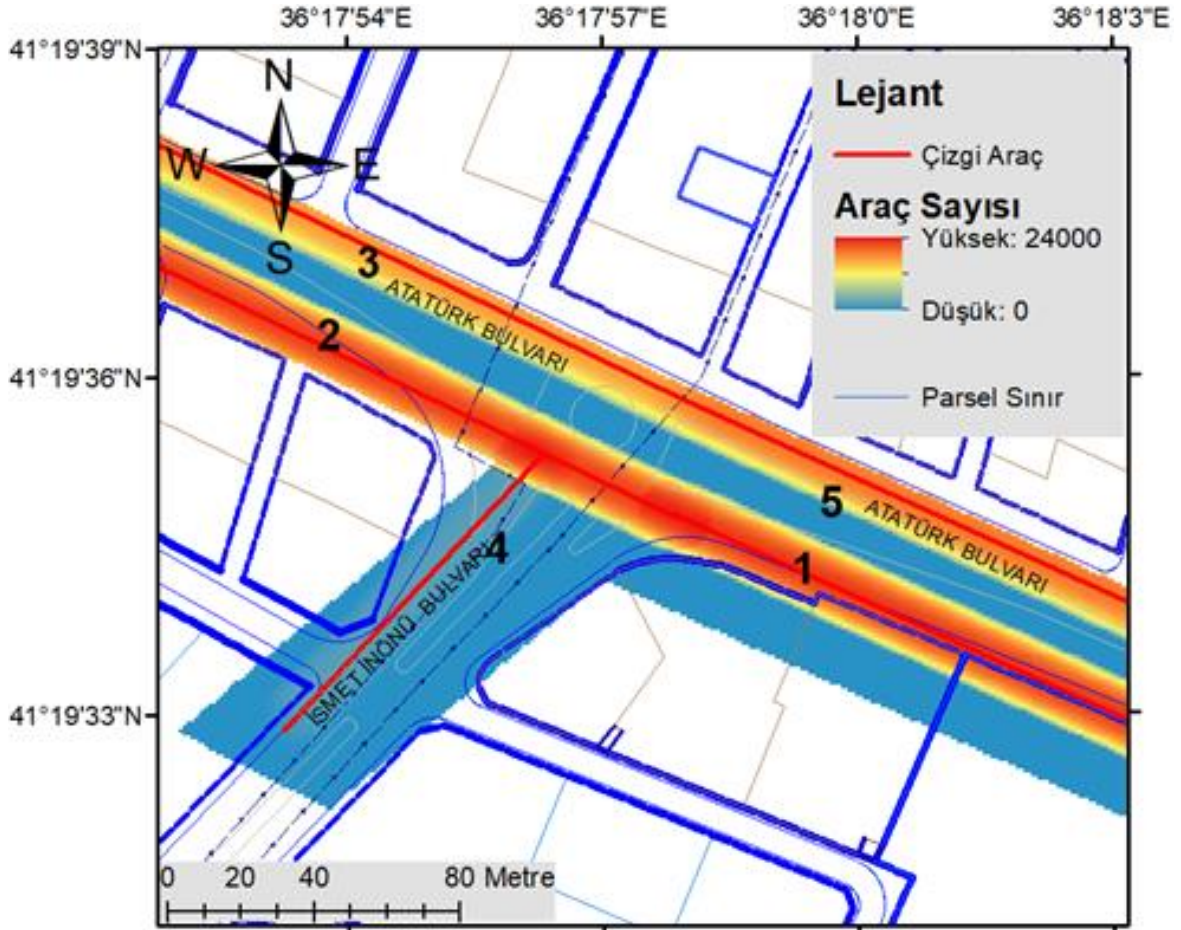
Şekil 12 incelendiğinde güzergâh yönleri 1 ile 5 arası numaralandırılarak yoğunluk düzeyleri gösterilmiştir. 1 numaralı güzergâh Karayolları kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 2 numaralı güzergâh İsmet İnönü Bulvarı kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 3 numaralı güzergâh Karayolları kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 4 numaralı güzergâh Karayolları kavşağından tramvay yönüne doğru giden araçları, 5 numaralı güzergâh da Karayolları kavşağından sahil yönüne doğru giden araçları göstermektedir. En yoğun kısım Karayolları kavşağından Merkez yönüne giden 1 numaralı güzergâhtır. Bu güzergâh yönüne doğru gün içinde toplam 25940 araç geçişi sağlanmıştır. En az yoğun olan kısım ise 4 numaralı

güzergâhtır. Bu yöne gün içinde toplam 3802 araç geçişi olmuştur. Şekil 13’ te İsmet İnönü Bulvarı kavşağındaki yoğunluk analiz haritası gösterilmiştir.

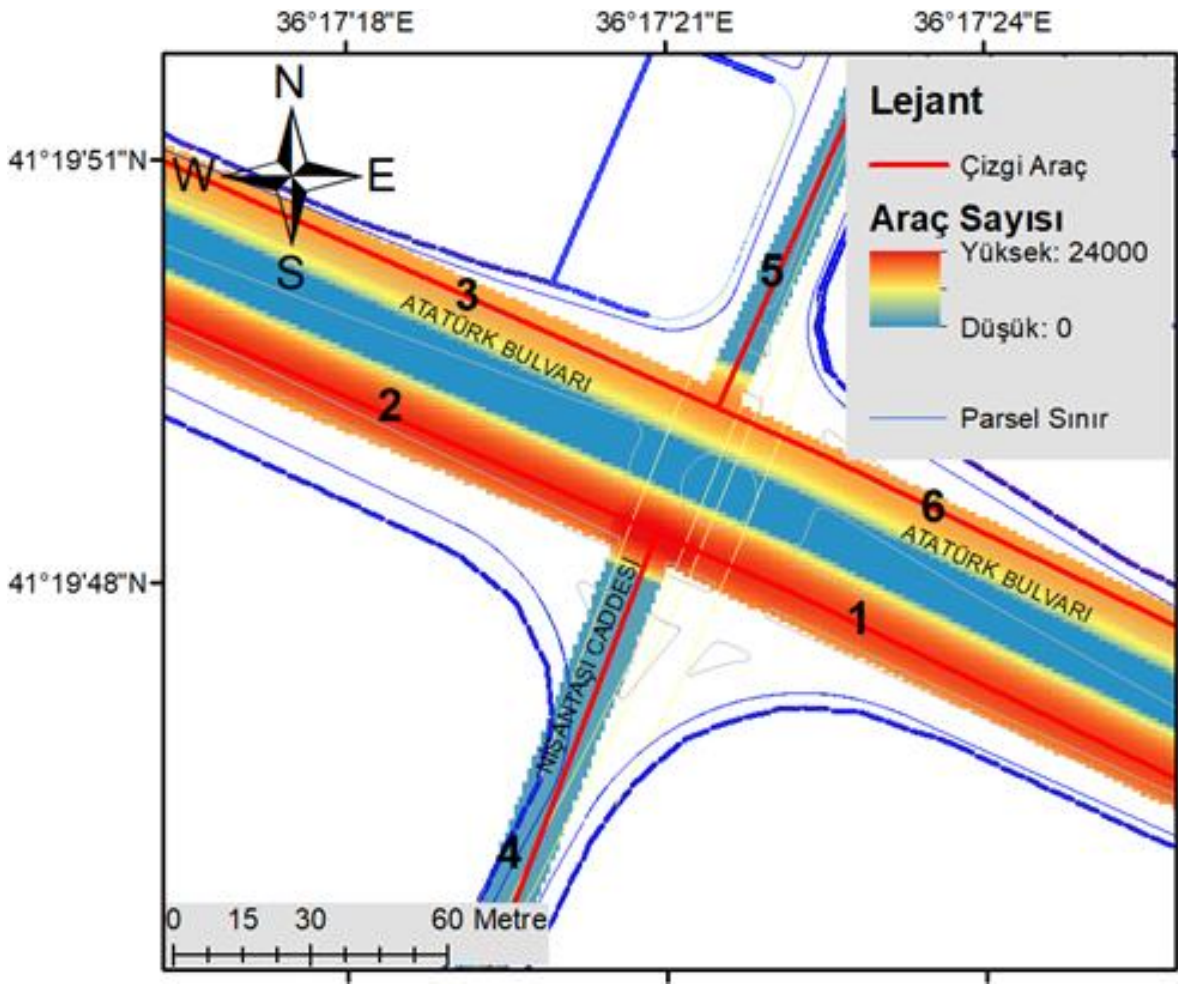
Şekil 13 incelendiğinde güzergâh yönleri 1 ile 5 arası numaralandırılarak yoğunluk düzeyleri gösterilmiştir. 1 numaralı güzergâh İsmet İnönü Bulvarı kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 2 numaralı güzergâh D.S.İ Yeşilyurt kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 3 numaralı güzergâh İsmet İnönü Bulvarı kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 4 numaralı güzergâh İsmet İnönü Bulvarı kavşağından tramvay yönüne doğru giden araçları, 5 numaralı güzergâh da Karayolları kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları göstermektedir. En yoğun kısım İsmet İnönü Bulvarı kavşağından Merkez yönüne giden 1 numaralı güzergâhtır. Bu güzergâh yönüne doğru gün içinde toplam 23574 araç geçişi sağlanmıştır. En az yoğun olan kısım ise 4 numaralı güzergâhtır. Bu yöne gün içinde toplam 2720 araç geçişi olmuştur. Şekil 14’ te D.S.İ. Yeşilyurt kavşağındaki yoğunluk analiz haritası gösterilmiştir.



Şekil 12. Karayolları kavşağı yoğunluk haritası.



Şekil 13. İsmet İnönü Bulvarı kavşağı yoğunluk haritası.



Şekil 14. D.S.İ Yeşilyurt kavşağı yoğunluk haritası.

Şekil 14 incelendiğinde güzergâh yönleri 1 ile 6 arası numaralandırılarak yoğunluk düzeyleri gösterilmiştir. 1 numaralı güzergâh D.S.İ Yeşilyurt kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 2 numaralı güzergâh Yedaş kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 3 numaralı güzergâh D.S.İ Yeşilyurt kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 4 numaralı güzergâh D.S.İ Yeşilyurt kavşağından tramvay yönüne doğru giden araçları, 5 numaralı güzergâh D.S.İ Yeşilyurt kavşağından sahil yönüne doğru giden araçları, 6 numaralı güzergâh da İsmet İnönü Bulvarı kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları göstermektedir. En yoğun kısım Yedaş kavşağından Merkez yönüne giden 2 numaralı güzergâhtır. Bu güzergâh yönüne doğru gün içinde toplam 23934 araç geçişi sağlanmıştır. En az yoğun olan kısım ise 5 numaralı güzergâhtır. Bu yöne gün içinde toplam 986 araç geçişi olmuştur. Şekil 15' te Yedaş kavşağındaki yoğunluk analiz haritası gösterilmiştir.

Şekil 15 incelendiğinde güzergâh yönleri 1 ile 6 arası numaralandırılarak yoğunluk düzeyleri gösterilmiştir. 1 numaralı güzergâh Yedaş kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 2 numaralı güzergâh Türk iş kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 3 numaralı güzergâh Yedaş kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 4 numaralı güzergâh Yedaş kavşağından tramvay yönüne doğru giden araçları, 5 numaralı güzergâh Yedaş kavşağından sahil yönüne doğru giden araçları, 6 numaralı güzergâh da D.S.İ Yeşilyurt kavşağından üniversite yönüne doğru giden

araçları göstermektedir. En yoğun kısım Yedaş kavşağından Merkez yönüne giden 1 numaralı güzergâhtır. Bu güzergâh yönüne doğru gün içinde toplam 23934 araç geçişi sağlanmıştır. En az yoğun olan kısım ise 5 numaralı güzergâhtır. Bu yöne gün içinde toplam 986 araç geçişi olmuştur. Şekil 16'da Türk iş kavşağındaki yoğunluk analiz haritası gösterilmiştir.

Şekil 16 incelendiğinde güzergâh yönleri 1 ile 6 arası numaralandırılarak yoğunluk düzeyleri gösterilmiştir. 1 numaralı güzergâh Türk iş kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 2 numaralı güzergâh Ömürevleri kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 3 numaralı güzergâh Türk iş kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 4 numaralı güzergâh Türk iş kavşağından tramvay yönüne doğru giden araçları, 5 numaralı güzergâh Türk iş kavşağından sahil yönüne doğru giden araçları, 6 numaralı güzergâh da Yedaş kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları göstermektedir. En yoğun kısım Ömürevleri kavşağından Merkez yönüne giden 2 numaralı güzergâhtır. Bu güzergâh yönüne doğru gün içinde toplam 22654 araç geçişi sağlanmıştır. En az yoğun olan kısım ise 5 numaralı güzergâhtır. Bu yöne gün içinde toplam 1024 araç geçişi olmuştur. Şekil 17' de Ömürevleri kavşağındaki yoğunluk analiz haritası gösterilmiştir.

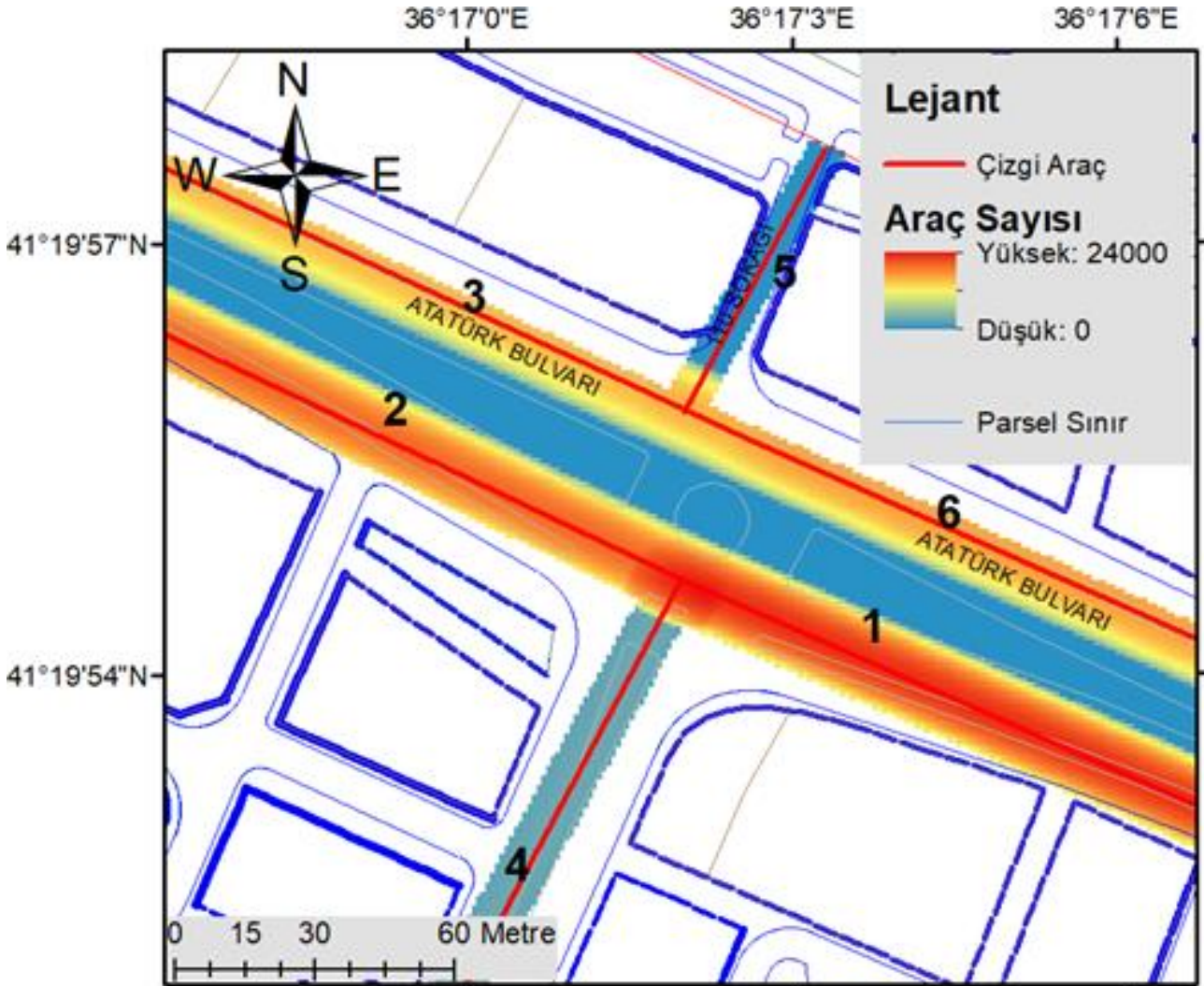
Şekil 17 incelendiğinde güzergâh yönleri 1 ile 6 arası numaralandırılarak yoğunluk düzeyleri gösterilmiştir. 1 numaralı güzergâh Türk iş kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 2 numaralı güzergâh Ömürevleri kavşağından sahil yönüne doğru giden

araçları, 3 numaralı güzergâh Ömürevleri kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 4 numaralı güzergâh Atakent TV. kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 5 numaralı güzergâh Ömürevleri kavşağından tramvay yönüne doğru giden araçları, 6 numaralı güzergâh da Ömürevleri kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları göstermektedir. En yoğun kısım Ömürevleri kavşağından Merkez yönüne giden 6 numaralı güzergâhtır. Bu güzergâh yönüne doğru gün içinde toplam 22654 araç geçişi sağlanmıştır. En az yoğun olan kısım ise 2 numaralı güzergâhtır. Bu yöne gün içinde toplam 924 araç geçişi olmuştur. Şekil 18'de Atakent TV. kavşağındaki yoğunluk analiz haritası gösterilmiştir.

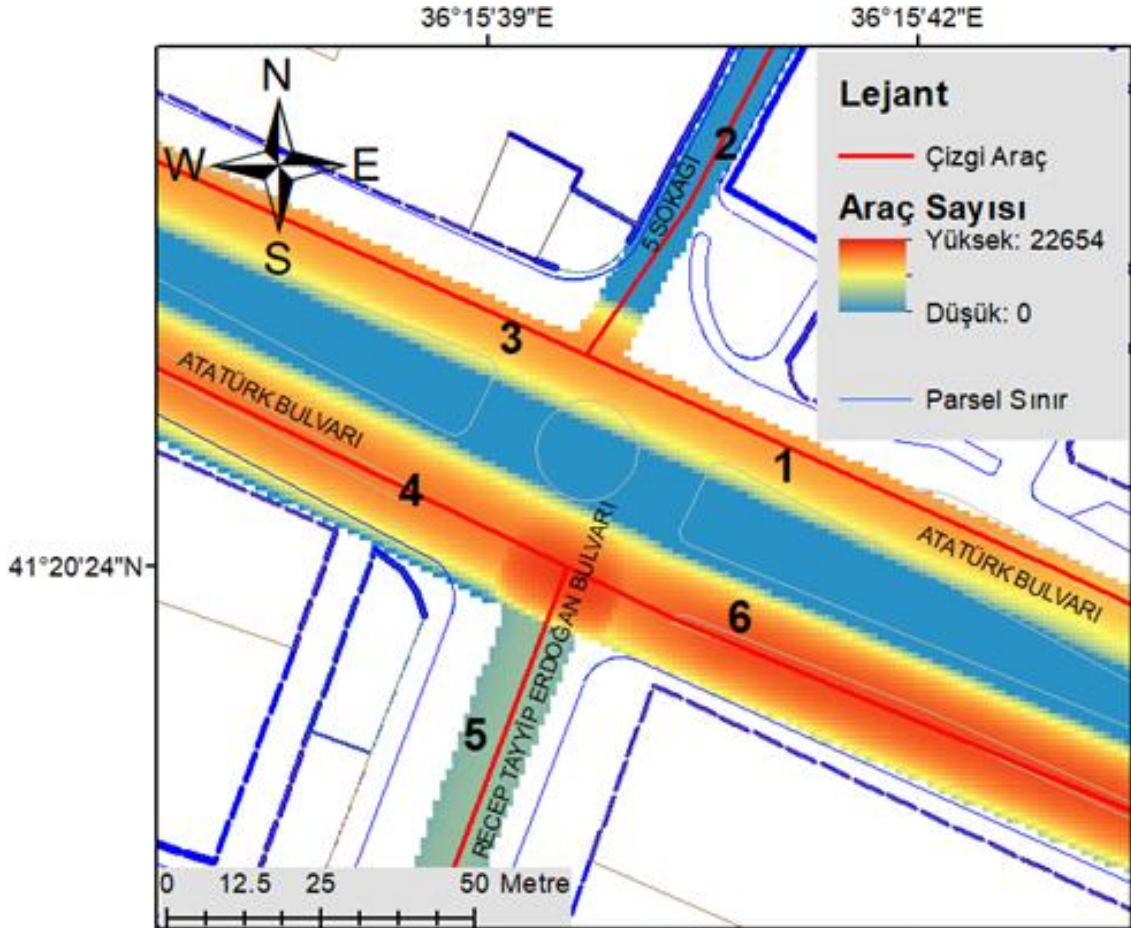
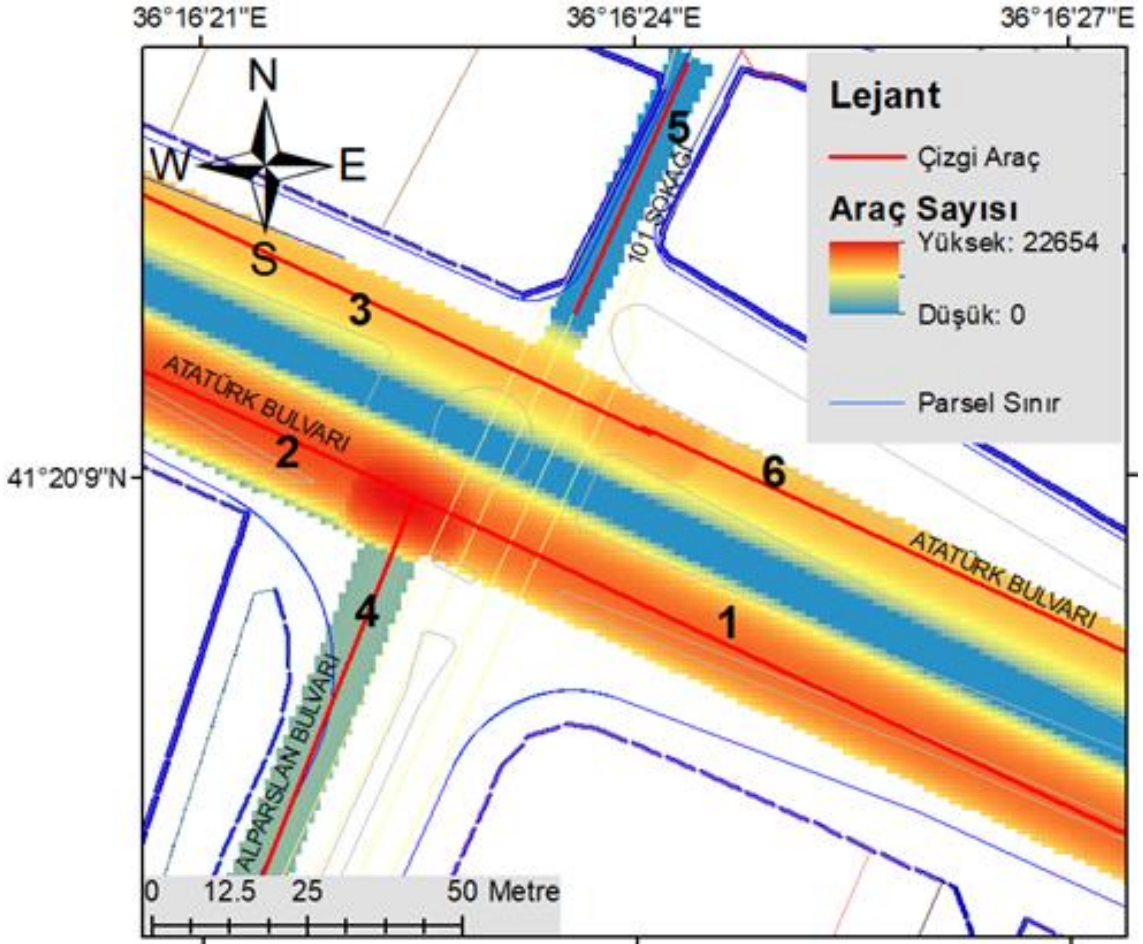
Şekil 18 incelendiğinde güzergâh yönleri 1 ile 5 arası numaralandırılarak yoğunluk düzeyleri gösterilmiştir. 1 numaralı güzergâh Ömürevleri kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 2 numaralı güzergâh Atakent TV. kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 3 numaralı güzergâh Vatan Caddesi kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 4 numaralı güzergâh Atakent TV. kavşağından tramvay yönüne doğru giden araçları, 5 numaralı güzergâh da Atakent TV. kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları göstermektedir. En yoğun kısım Atakent TV. kavşağından

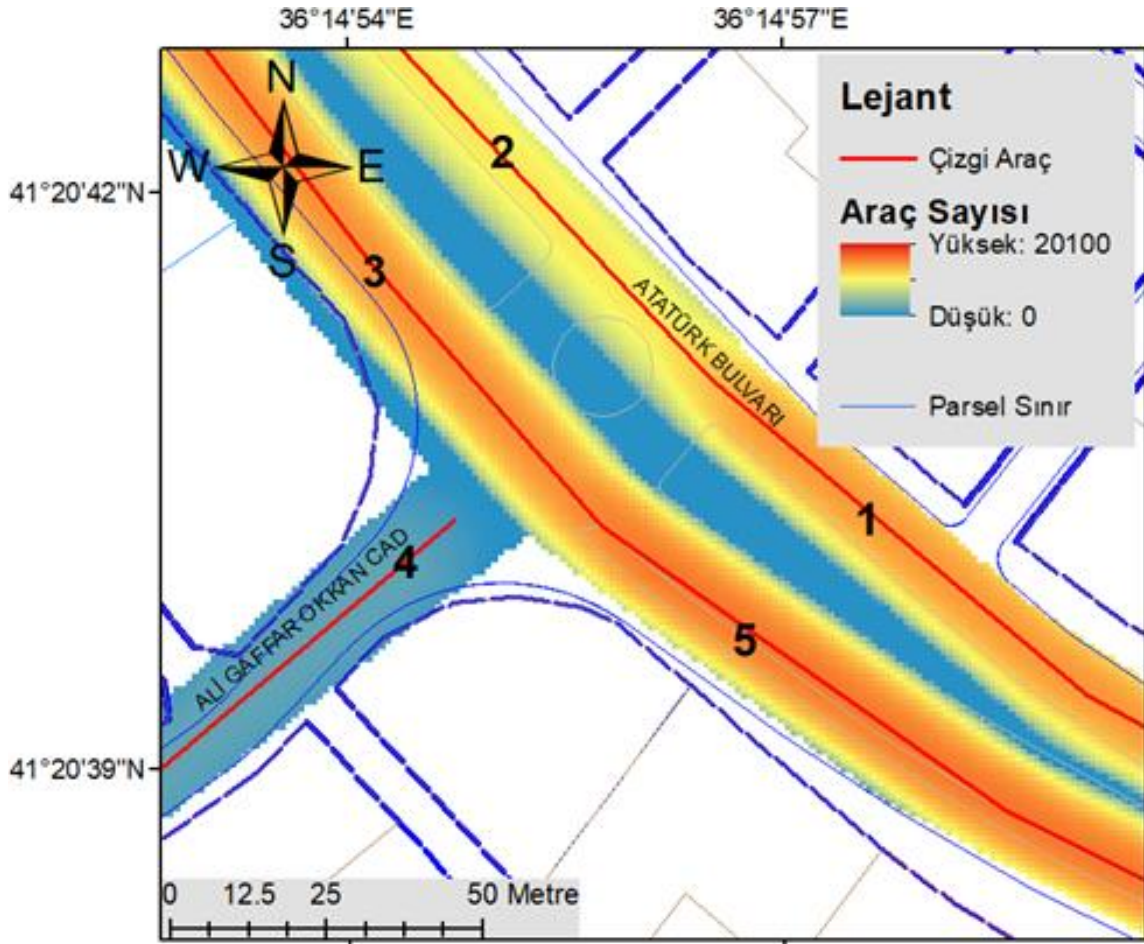
Merkez yönüne giden 5 numaralı güzergâhtır. Bu güzergâh yönüne doğru gün içinde toplam 20106 araç geçişi sağlanmıştır. En az yoğun olan kısım ise 4 numaralı güzergâhtır. Bu yöne gün içinde toplam 3258 araç geçişi olmuştur. Şekil 19'da Vatan Caddesi kavşağındaki yoğunluk analiz haritası gösterilmiştir.

Şekil 19 incelendiğinde güzergâh yönleri 1 ile 5 arası numaralandırılarak yoğunluk düzeyleri gösterilmiştir. 1 numaralı güzergâh Atakent TV. kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 2 numaralı güzergâh Vatan Caddesi kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 3 numaralı güzergâh Toplu Konut Bulvarı kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları, 4 numaralı güzergâh Vatan Caddesi kavşağından tramvay yönüne doğru giden araçları, 5 numaralı güzergâh da Vatan Caddesi kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları göstermektedir. En yoğun kısım Vatan Caddesi kavşağından Merkez yönüne giden 5 numaralı güzergâhtır. Bu güzergâh yönüne doğru gün içinde toplam 18738 araç geçişi sağlanmıştır. En az yoğun olan kısım ise 4 numaralı güzergâhtır. Bu yöne gün içinde toplam 3211 araç geçişi olmuştur. Şekil 20'de Toplu Konut Bulvarı kavşağındaki yoğunluk analiz haritası gösterilmiştir.

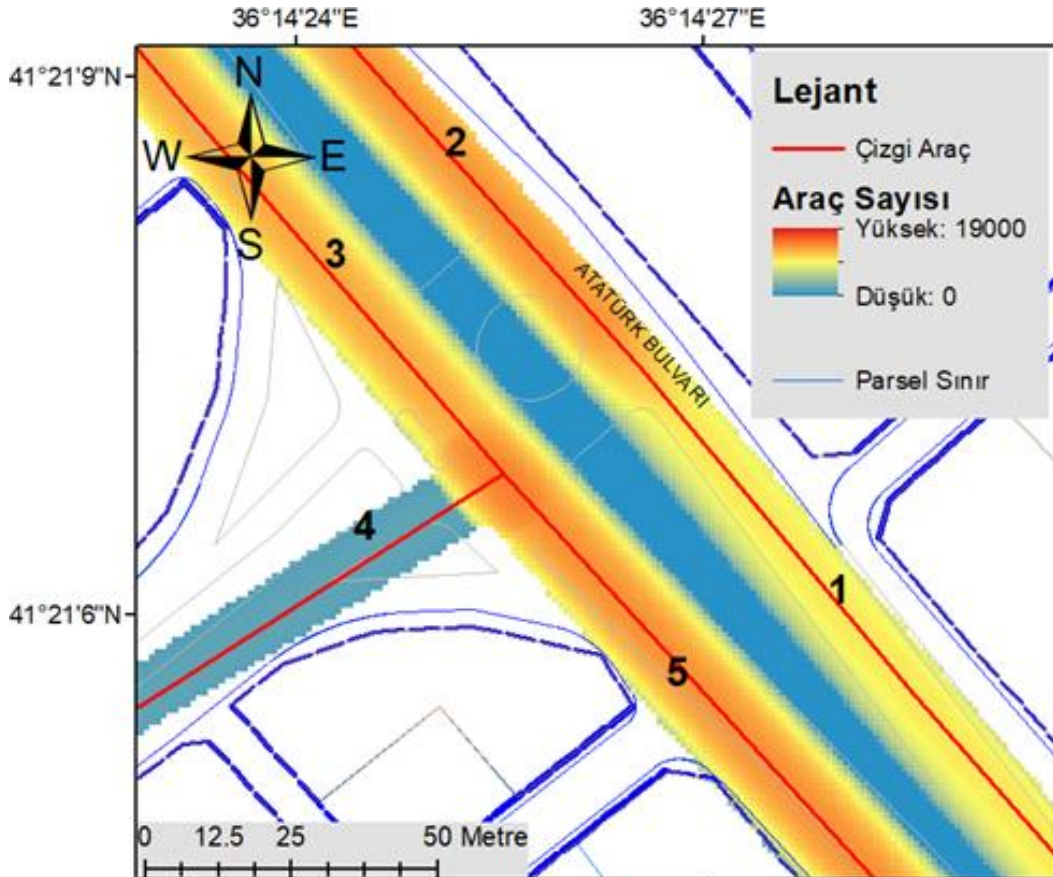


Şekil 15. Yedaş kavşağı yoğunluk haritası.

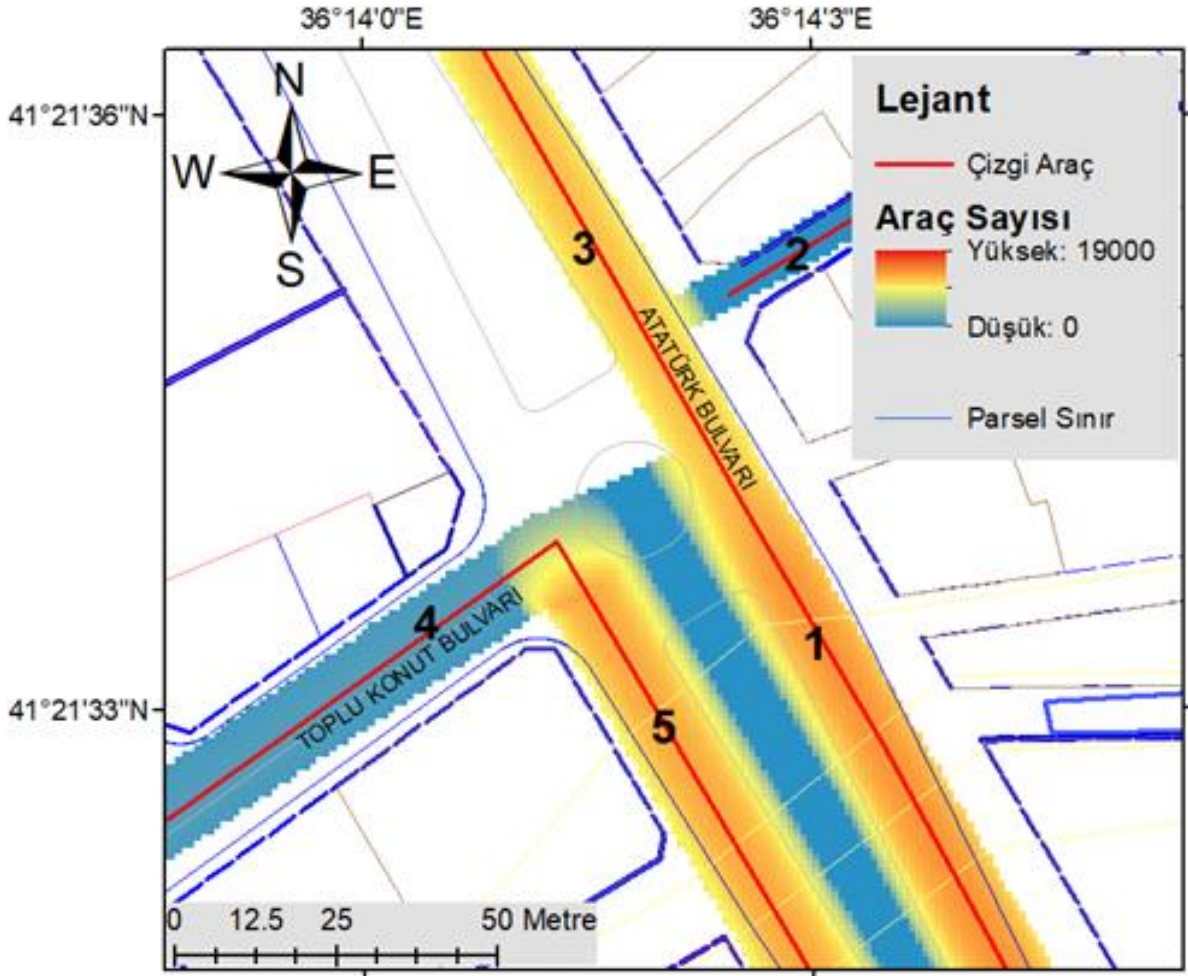




Şekil 18. Atakent TV. kavşağı yoğunluk haritası.



Şekil 19. Vatan Caddesi kavşağı yoğunluk haritası.



Şekil 20. Toplu Konut Bulvarı kavşağı yoğunluk haritası.

Şekil 20 incelendiğinde güzergâh yönleri 1 ile 5 arası numaralandırılarak yoğunluk düzeyleri gösterilmiştir. 1 numaralı güzergâh Vatan Caddesi kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 2 numaralı güzergâh Toplu Konut Bulvarı kavşağından sahil yönüne doğru giden araçları, 3 numaralı güzergâh Toplu Konut Bulvarı kavşağından üniversite yönüne doğru giden araçları, 4 numaralı güzergâh Toplu Konut Bulvarı kavşağından tramvay yönüne doğru giden araçları, 5 numaralı güzergâh da Toplu Konut Bulvarı kavşağından merkez yönüne doğru giden araçları göstermektedir. En yoğun kısım Vatan Caddesi kavşağından Üniversite yönüne giden 1 numaralı güzergâhtır. Bu güzergâh yönüne doğru gün içinde toplam 18494 araç geçişi sağlanmıştır. En az yoğun olan kısım ise 2 numaralı güzergâhtır. Bu yöne gün içinde toplam 844 araç geçişi olmuştur.

4. Sonuçlar

Bu çalışma da Samsun'un Atakum İlçesi Atatürk Bulvarı üzerinde bulunan Karayollarından, İsmet İnönü Bulvarı, D.S.İ. Yeşilyurt, YEDAŞ, Türk iş, Ömürevleri, Atakent TV., Vatan Caddesi ve Toplu Konut Bulvarı kavşaklarının yoğunluk durumları CBS ortamında çizgi yoğunluk analizi yöntemiyle incelenmiş ve araç sayılarına bağlı yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. Araç sayıları gün içinde belirli saat aralıklarında elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; 9 kavşak içerisinde

oluşan yoğunluk sıralamaları aşağıda verilmiştir.

Yoğunluk sıralamaları en yoğunundan en az yoğununa doğru sıralandığında Karayolları kavşağı - Ömürevleri kavşağı- D. S. İ. Yeşilyurt kavşağı - YEDAŞ kavşağı- İsmet İnönü Bulvarı Kavşağı- Türk-iş kavşağı - Vatan caddesi kavşağı- Atakent TV. kavşağı- Toplu Konut Bulvarı kavşağı şeklindedir. Bu sıralamaya göre en yoğun araç yoğunluğunun olduğu kavşak karayolları kavşağı iken en az yoğun olan ise toplu konut bulvarı kavşağıdır.

Bu sayımlar, kavşakların yoğunluk durumlarına göre çeşitli modellerin geliştirilmesine olanak sağlar ve bu modeller sayesinde yoğun olan kavşaklardaki problemler tespit edilerek giderilebilir.

Bu nedenle, araç sayımları yaparak kavşaklar üzerinde oluşan trafiğini yönetmek, daha güvenli ve akıcı bir trafik akışı sağlamak için önemli bir adımdır.

Sonuç olarak, trafik akışının düzenlenmesi ve trafik sıkışıklığının giderilmesi, şehirlerin yaşanabilirliğinin artması için önemli bir faktördür. Bu amaç doğrultusunda, kavşağın yoğunluk durumu ve bölge topografyası ile imar durumu gibi birçok parametre göz önüne alınarak farklı modeller ile trafiğin akıcı bir hale getirilmesi sağlanabilir. Örneğin Karayolları kavşağına köprülü kavşak yapılabilir, kavşaklar etrafındaki yoğunluk durumuna göre, katlı kavşaklar, modern dönel kavşaklar, kavşak etrafına yaya üst geçitleri gibi modeller yapılabilir. Bu çalışmaların yapılması, insanların günlük hayatını kolaylaştıracak ve şehirlerin daha yaşanabilir hale gelmesine yardımcı olacaktır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma Aziz Uğur Tona'nın "Mevcut Kavşakların İşlevinin CBS Destekli Konumsal ve İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi" başlıklı doktora tez çalışmasından hazırlanmıştır.

Araştırmacıların katkı oranı

Aziz Uğur Tona: Literatür taraması, arazi çalışması, makale yazımı; **Erdem Emin Maraş:** Revizyon, yorumlama; **Vahdettin Demir:** Düzenleme, yorumlama ve revizyon.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Atalay, A., Ünal, A., & Çodur, M. Y. (2018). Transportation policies in increasing traffic safety. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2(2), 104-108.
- Bozkurt, Ç. (2010). Kırıkkale Kent Merkezinde Sinyalize Kavşakların İncelenmesi; Samsun Bulvarı Örneği [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi].
- Chavare, S. (2011). Morphometric Analysis using GIS Techniques: a case study of Valheri River basin, tributary of Tapi River in Nandurbar District (MS). *International Referred Research Journal*, 3(31), 62-63
- Çepni, M. S., & Arslan, O. (2017). A GIS Approach to Evaluate Infrastructure Variables Influencing the Occurrence of Traffic Accidents in Urban Roads. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 4(1), 17-24. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.306488>
- Çiçek, M. (2007). Trafik Bilgi Sistemi Verileri ile Ankara İli Trafik Güvenliğinin İncelenmesi [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi].
- Çörek Öztas, Ç., & Karaaslan, Ş. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle İlçeler Düzeyinde Kırsallık Kademelerinin Hazırlanmasına Yönelik Bir Yöntem Önerisi. *Geomatik*, 3(2), 163-182. <https://doi.org/10.29128/geomatik.376253>
- Doğan, Y., & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55. <https://doi.org/10.26833/ijeg.378257>
- Ernst, F., Erdoğan, S., & Bayram, Y. (2019). Human resource management using geographic information systems (GIS): an example from Turkish land registry directorates. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(2), 71-77. <https://doi.org/10.26833/ijeg.450571>
- Ertunç, E. (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Trafik Kazalarının Analizi: Antalya Örneği [Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi].
- Google Earth (2023). <https://www.google.com/intl/tr/earth/>
- Goumehei, E., & Yan, W. (2016). A GIS-based study to evaluate effect of water table changes on DRASTIC model for vulnerability assessment of groundwater: A case study of Kermanshah, Iran. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 3(2). <https://doi.org/10.30897/ijegeo.304476>
- Güçlü, E. (2016). Van Kent İçi Ulaşımında Akıllı Kavşak Yönetimi İçin Bir Planlama Çalışması [Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi].
- Gülenç, K. (2011). Afyonkarahisar Şehir İçi Mevcut Ulaşım Altyapısının İncelenmesi ve Çözüm Önerileri. [Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi].
- Günen, M. A. (2021). Fotogrametrik Nokta bulutunun Görünürlük Analizinde Kullanımı: Gümüşhane Seyir Terası Yer Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 295-299. <https://doi.org/10.31590/ejosat.996605>
- Haybat, H. (2020). Coğrafyada mekânsal istatistik yöntemleri kullanarak trafik kazalarının analizi: İzmir şehir örneği [Doktora Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi].
- İşcan, F., & Güler, E. (2021). Developing a mobile GIS application related to the collection of land data in soil mapping studies. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(1), 27-39. <https://doi.org/10.26833/ijeg.677958>
- Lyu, H. M., Sun, W. J., Shen, S. L., & Arulrajah, A. (2018). Flood risk assessment in metro systems of megacities using a GIS-based modeling approach. *Science of the Total Environment*, 626, 1012-1025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.138>
- Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100659. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>
- Öner, İ., & Sesli, F. A. (2018). İmar Planlarının Trafik Gürültü Değerlerinin Etkisi Açısından İncelenmesi, Samsun Atakum Bölgesi Örneği. *Kent Akademisi*, 11(3), 390-404.
- Öztürk, B. N. (2006). Akıllı Trafik Sistemleri [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi].
- Sesli, G. (2017). Kent İçi Kavşak Tasarımı [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi].
- Shahkar, A. (2015). Trabzon Bölünmüş Sahil Yolu Üzerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Trafik Kazalarının Analizi [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi].
- Siyavuş, A. E. (2022). Üsküdar'da Meydana Gelen Trafik Kazalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Analizi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 65-82. <https://doi.org/10.38002/tuad.1097692>
- Tirak, O. (2019). Kentsel Gelişme Alanlarının Çok Yönlü Düzenlenmesinde İmar Uygulamaları (Van Örneği). *Geomatik*, 4(1), 30-40. <https://doi.org/10.29128/geomatik.445834>
- 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>
- Urfalı, T. (2019). Akıllı Şehir Uygulamaları İçin CBS Tabanlı Yer Seçim Analizleri: Kayseri Örneği [Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi].

VOSviewer (2022) Welcome to VOSviewer, <https://www.vosviewer.com/>
Yılmaz, E., Karakaş, A., Ağaçsapan, B., & Çabuk, A. (2019). CBS tabanlı ulaşım kaynaklı hava kirletici emisyon miktarlarının belirlenmesi. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies, 1(2), 37-57.

Yiğit, B. (2019). Araç Kompozisyonunun Şehir içi Trafik Akımlarındaki Etkilerinin İncelenmesi [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi].



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



Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı afet risk analizi: Denizli ili örneği

Nur Sinem Partigöç^{*1}, Ceyhan Dinçer¹

¹ Pamukkale Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Denizli, Türkiye, spartigoc@gmail.com, cdincer20@posta.pau.edu.tr

Kaynak Göster: Partigöç, N. S., & Dinçer, C. (2024). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı afet risk analizi: Denizli ili örneği, 9 (1), 27-44

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1261051>

Anahtar Kelimeler

Afet Riski
Dirençli Kentler
CBS
Risk Yönetimi

Araştırma Makalesi

Geliş: 06.03.2023
Revize: 24.04.2023
Kabul: 28.04.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

Kentleşme süreçlerinin doğal bir sonucu olarak kentsel alanlarda nüfusun ve yapı yoğunluğunun artışı yerleşim alanlarının sürdürülebilirliğini önemli ölçüde ve olumsuz biçimde etkilemektedir. Kentsel alanların çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesinin ön şartı mekânsal organizasyonun doğru biçimde yapılmasıdır. Disiplinler arası çalışmalarla dirençli yerleşim alanlarının oluşturulması için afet risklerinin ortaya konulması ise mekânsal organizasyona yönelik çalışmalarının en kritik adımını oluşturmaktadır. İşte bu noktadan hareketle, çalışmada yoğun nüfus ve yapı stoğunun yer aldığı kentsel alanlarda mevcut afet risklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak Denizli İl bütünü belirlenmiş olup, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları ve Ağırlıklı Çakıştırma yönteminden yararlanılarak ve kentin afetselliğini önemli ölçüde etkileyen doğal ve yapı çevre unsurlarını dikkate alarak afet riskine yönelik mekânsal analizler yapılmıştır. 8 temel unsur kullanılarak yapılan mekânsal analizler sonucunda, Denizli ilinin kuzey batısının afet riski bakımından daha avantajlı durumda olduğu, ilin merkezinin ve güneyinin ise dezavantajlı bir durumda olduğu tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular ile İl Afet Müdahale Planı ve İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) kapsamında ortaya konulan tespitler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, il bütününde ve ilçeler özelinde afet risklerine yönelik ortaya konulan tespitlerin tutarlılık gösterdiği ve yerel düzeyde yürütülen çalışmaların zaman içerisinde risk yönetimi ve sakinim planlamasına yönelik olacak biçimde önceliklendirildiği görülmüştür.

Geographic information system (GIS) based disaster risk assessment: A case of Denizli

Keywords

Disaster Risk
Resilient Cities
GIS
Risk Management

Research Article

Received: 06.03.2023
Revised: 24.04.2023
Accepted: 28.04.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

The density increases in population and buildings which is an expected result of urbanization processes affects the sustainability of urban areas significantly and negatively. The correct spatial organization is the prerequisite for ensuring the environmental, social and economic sustainability of urban areas. The most critical step of the spatial organization is identifying of disaster risks for urban areas through interdisciplinary studies to become more resilient. Based on this point, the study aims to reveal current disaster risks in urban areas which dense population and building stock exist. Denizli city is determined as the study area. Moreover, spatial analyses are carried out by taking into account the natural and built environment elements affecting the disaster risk significantly and also using Geographical Information Systems (GIS) tools and Weighted Overlay method. As a result of spatial analyses completed using 8 basic parameters, it has been determined that while the north-west of Denizli city is in a more advantageous situation in terms of disaster risk, the center and south of the province are in a disadvantaged situation. The findings obtained from the study are evaluated comparatively with the determinations of the Provincial Disaster Response Plan and the Provincial Disaster Risk Reduction Plan. It is obvious that the findings of study are consistent with the determinations of these plans in both city and district scale. Therefore, it has been seen that the studies in local scale carried out have been prioritized in such a way as to be oriented towards risk management and prevention planning by the time.

1. Giriş

Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşmeleri Programı (UN-HABİTAT) tarafından 2012 yılında yayınlanan Urban Patterns for a Green Economy: Working with Nature başlıklı raporda, mevcut durumda dünya nüfusunun yarısının kentlerde yaşamakta olduğu, 2030 – 2050 yılları arasında geçen sürede kentlerde yaşaması öngörülen nüfusun toplam nüfusun üçte ikisi kadar olacağı ifade edilmektedir. Buna ek olarak, dünya genelinde kentsel alan büyüklüğünün günümüzde ölçülen büyüklüğüne göre yaklaşık 2,5 kat kadar artacağı öngörülmektedir (UN-HABİTAT, 2012). 2050 yılına kadar geçen sürede öngörülen değişimler göz önünde bulundurularak, nüfusun ağırlıklı olarak yoğunlaşacağı kentsel alanlar için denilebilir ki, bu alanlarda kentsel kırılmalık önemli ölçüde artacak ve olası risklere karşı kentler daha hassas hale gelecektir.

Akademik yazında, yalnızca fiziksel çevrenin dayanıklılığını değil, aynı zamanda kentsel yerleşmelerin ve gelişmelerin sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyen doğal ve beşeri afetlerin büyüklüğüne etki eden temel faktörler şu şekilde listelenebilir: Afet olayının fiziksel büyüklüğü, afetin gerçekleştiği alanın yerleşim yerlerine uzaklığı, hızlı nüfus artışı, plansız ve hızlı kentleşme, yapı denetimine ilişkin eksiklikler, yanlış arazi kullanım planlaması ve afet bilinci konusundaki yetersizlikler (Ergünay, 2007).

Farklılaşan jeolojik, topografik ve iklimsel özellikler yerleşim yerleri için önemli afet risklerini beraberinde getirmektedir. Ülkenin toplam nüfusunun yaklaşık %93'nün yoğun yapı stoğunun yer aldığı kentsel alanlarda yaşadığı gerçeğinden yola çıkılarak, son yıllarda doğal afetlerin sayısında, sıklığında ve şiddetinde meydana gelen artışların olası can ve mal kayıpları bakımından afet riskini daha da arttırdığı gözlemlenmektedir. Her ne kadar meydana gelen afetlerin doğa kaynaklı veya insan kaynaklı olup olmadığının tartışması sıklıkla gündeme getirilse de insan kaynaklı faaliyetlerin (kentleşme, rant odaklı büyüme, koruma – kullanma dengesinin dikkate alınmaması, kaynakların sınırsız tüketimi, vb.) olası bir afet olayının etkilerini olumsuz yönde tetiklediği açıkça ortadadır. Örneğin meydana gelen bir deprem sonrasında bir nükleer santralde meydana gelen patlama veya kötü malzeme kullanımı nedeniyle depreme karşı dayanıksız binaların yıkılarak can kayıplarına neden olmasını yalnızca doğal bir afetin sonuçları olarak değerlendirmek gerçekçi olmayacaktır.

Hızlı ve plansız kentleşme sürecinde, küresel iklim değişikliğinin de etkisiyle, kentsel kırılmalığın önemli ölçüde arttığı ortaya konulmaktadır (Kaya, 2018). Genel itibarıyla kırılmalık, günümüz toplumlarını ifade etmek için kullanılan Risk Toplum kavramı ile özdeşleştirilen (Beck, 2011), bir sistemi veya maddi varlığı olası bir tehlikenin etkilerine karşı hassas kılan özellikleri olarak tanımlanmaktadır (UNISDR, 2009; EEA, 2012). Bu bağlamda ele alındığında, kentsel alanların iklim değişikliğine bağlı olarak meydana gelebilecek problemler karşısında ne ölçüde hassas olduğu açıktır. Dolayısıyla, iklim değişikliğine bağlı olarak oluşabilecek problemlerle baş edebilme kapasitesi ve yeni koşullara uyumlanma becerisinin mutlaka ortaya konulması

gerekmektedir. Kentsel alanların afetler karşısında daha dirençli olabilmesi adına, her türlü afete karşı önceden hazırlıklı olunmasını ve kriz planlama süreci yerine risk planlama sürecinin ön plana çıkarılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Etkin bir afet planlama sürecinin en önemli hedefi, bir afet meydana geldikten sonra acilen ve etkin bir şekilde mümkün olan en fazla sayıda insana yardım ulaşmasını sağlayarak, can kayıplarını ve yaralı sayısını azaltmak ve afetin olumsuz etkilerinin iyileştirilmesini hızlandırmak olmalıdır (Değerliuyurt, 2013; Erdin ve ark., 2019).

İşte bu noktadan hareketle, çalışmada yoğun nüfus ve yapı stoğunun yer aldığı kentsel alanlarda mevcut afet risklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak Denizli İl bütünü belirlenmiş olup, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları ve Ağırlıklı Çakıştırma yönteminden yararlanılarak ve kentin afetselliğini önemli ölçüde etkileyen doğal ve yapılı çevre unsurlarını dikkate alarak afet riskine yönelik mekânsal analizler yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular ile Denizli Valiliği İl Afet ve Acil Müdürlüğü (AFAD) tarafından hazırlanan İl Afet Müdahale Planı ve İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) kapsamında ortaya konulan tespitler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. Afet riskinin ortaya konulması: afet tecrübeleri ve kent planlama açısından önemi

Kentleşme süreçlerinin doğal bir sonucu olarak kentsel alanlarda nüfusun ve yapı yoğunluğunun artışı yerleşim alanlarının sürdürülebilirliğini önemli ölçüde ve olumsuz biçimde etkilemektedir. Kentsel alanların çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesinin ön şartı mekânsal organizasyonun doğru biçimde yapılmasıdır. Yapılı çevre ile doğal çevrenin bileşenlerinin bir araya getirilmesi, kentin bütüncül ve çok katmanlı biçimde ele alınabilmesi ve afet riskleri karşısında kentlerin yaşanabilir olma durumunun korunabilmesi adına mekânsal organizasyonun ele alış biçimi oldukça önemli hale gelmektedir. Disiplinler arası (jeoloji mühendisliği, jeofizik mühendisliği, mimarlık, şehir planlama, inşaat mühendisliği, vb.) çalışmalarla yerleşim alanlarında afet risklerinin ortaya konulması ise mekânsal organizasyona yönelik çalışmalarının en kritik adımını oluşturmaktadır.

Küresel düzeyde pek çok ülkeyi ve insanı etkisi altına alan afetler, önceden kestirilemeyen ve çoğunlukla birdenbire gelişen büyük zararlara neden olan, gündelik yaşamı durduran ve/veya kesintiye uğratan ve ulusal veya uluslararası seviyede acil yardım gerektiren durumlar olarak ifade edilmektedir (Hoyois ve ark., 2007; CRED, 2010; Ekinci, 2018). Doğal afetlerin (deprem, sel, fırtına, hortum, tayfun, yıldırım düşmesi, tsunami, heyelan, vb.) ve insan kaynaklı afetlerin (terör saldırıları, savaşlar, nükleer sızıntılar, biyolojik silahlar, çevre ve hava kirliliği, çevresel dengenin bozulması, su ve gıda kaynaklarının aşırı tüketilmesi, vb.) meydana geleceği zaman ve yer tam olarak tahmin edilemese de bu afetler sonucunda meydana gelebilecek olası zararlar ve kayıplar günümüz teknolojisi aracılığıyla tahmin edilebilmektedir. Hatta afetin türü, büyüklüğü ve yeri baz alınarak farklı afet senaryoları oluşturularak, risklerin daha net biçimde anlaşılması sağlanmaktadır. Örnek

olarak, 2002 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ile Japonya Uluslararası İş Birliği Ajansı (JICA) iş birliğinde hazırlanan Türkiye Cumhuriyeti İstanbul ili Sismik Mikro Bölgeleme Dâhil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması başlıklı raporda İstanbul kenti için belirlenen afet riskleri baz alınarak 4 farklı senaryo oluşturulmuş ve her bir senaryo özelinde öngörülen sonuçlar ortaya konulmuştur (JICA ve İBB, 2002).

Afet risklerinin herhangi bir afetle karşılaşmadan tespit edilmesi neden önemlidir? Bu soruya verilebilecek pek çok yanıtın biri, önceki dönemlerde yaşanan ve tarihe iz bırakan afet olaylarında saklıdır. Buna göre, yapılan araştırmalarda öne çıkan uluslararası örnekler şu şekilde sıralanabilir (AFAD, 2018):

- Kuzey Mısır'da meydana gelen depremde (1201 yılı) – Yaklaşık 1,1 milyon kişinin yaşamını yitirmesi,
- Kuzey Çin'de meydana gelen deprem (1556 yılı) – Yaklaşık 830 bin kişinin yaşamını yitirmesi,
- Hindistan- Bengal kentinde meydana gelen kıtlık (1769–1773 yılları arası)- Yaklaşık 10 milyon insanın yaşamını yitirmesi,
- Hindistan- Coringa bölgesinde meydana gelen hortum (1839 yılı)- Yaklaşık 320 bin insanın yaşamını yitirmesi,
- Çin- Henan bölgesinde meydana gelen sel (1887 yılı)- Yaklaşık 900 bin insanın yaşamını yitirmesi,
- İspanya'da ortaya çıkan İspanyol gribi (1918–1919 yılları arası)- Yaklaşık 50 milyonun üzerinde insanın yaşamını yitirmesi,
- Çin- Huaihe Nehri ve Yangtze Nehrine yakın bölgede meydana gelen sel (1931 yılı)- Yaklaşık 400 bin insanın yaşamını yitirmesi.

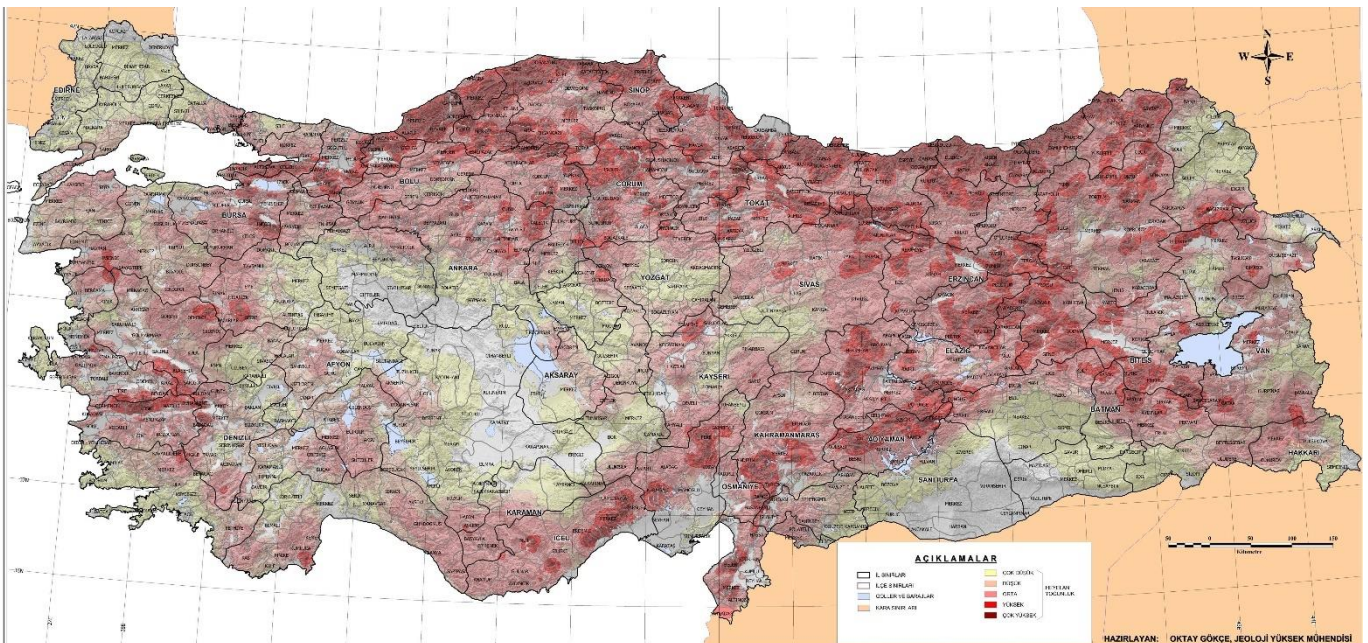
Ulusal düzeyde meydana gelen afetler ilgili literatürden yararlanılarak incelenmiştir. Türkiye'nin sahip olduğu jeomorfolojik, meteorolojik ve klimatolojik özellikleri nedeniyle farklı bölgelerde pek çok afet olayı yaşanmaktadır. Ülke genelinde sıklıkla görülen afetler

incelendiğinde, başta depremler olmak üzere, heyelan, su baskını, kaya düşmesi ve çığ gibi çeşitli afetler ön plana çıkmaktadır (Tablo 1 ve Şekil 1). 1930'lu yıllardan günümüze kadar geçen sürede yaklaşık 600.000 civarında konutun doğal afetler nedeniyle hasar gördüğü; bu hasara neden olan afetlerin ise %66' sının depremlerden, %10'unun heyelanlardan, %7'sinin kaya düşmelerinden ve %2'sinin meteorolojik olaylar ve çığ düşmelerinden kaynaklandığı ortaya konulmaktadır (Özkul ve Karaman 2007).

Tablo 1. Afet türlerine göre afetlerden etkilenen yerleşim birimi sayısı ve oranı (Gökçe ve ark., 2008).

Afetler	Afet Gören Yerleşim Birimi Sayısı	Toplam Yerleşim Birimi Sayısına Oranı (%)
Heyelan	5472	15.31
Kaya Düşmesi	1703	4.76
Su Baskını	2924	8.18
Deprem	3942	11.03
Diğer Afetler	992	2.78
Çığ	605	1.69

AFAD tarafından hazırlanan ve Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri başlıklı rapora göre, 1980 – 2017 yılları arasında meydana gelen afetler incelendiğinde, can kaybı bakımından Türkiye'de bir milyon kişi başına yılda ortalama 6-25 kişinin doğa kaynaklı afetler nedeniyle hayatını kaybettiği görülmektedir (AFAD, 2018). Buna ek olarak, güncel afet olayları incelendiğinde, Ekim 2020'de Ege Denizi'nde meydana gelen deprem (yaklaşık 120 kişinin ölümü, 1100 kişinin yaralanması) ve Şubat 2023'te Kahramanmaraş İli ve Gaziantep İlinde meydana gelen depremler (Nisan 2023 itibarıyla yaklaşık 50.400 kişinin ölümü, 122.000 kişinin yaralanması) sayılabilir. Bu depremler, yakın zamanda can ve mal kayıplarının yaşanmasına neden olan afet olaylarıdır (Şekil 2 ve Şekil 3).



Şekil 1. Türkiye genelinde afete uğramış yerleşim birimleri (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2008).



Şekil 2. Kahramanmaraş ve Gaziantep depremleri sonrası meydana gelen hasarlar (2023 yılı) (1) (URL 1).



Şekil 3. Kahramanmaraş ve Gaziantep depremleri sonrası meydana gelen hasarlar (2023 yılı) (2) (URL 1).

Yukarıda sıralanan uluslararası ve ulusal düzeyde meydana gelen afet olaylarının tecrübe edilmesiyle, kent planlama süreçlerinde afet risklerinin göz önünde bulundurulması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Ülkemizde gözlenen pek çok afet türü arasından öne çıkan depremlerin yaratabileceği kayıpların boyutu, 1999 yılında gerçekleşen Marmara Depremi'ne kadar hem bir kentsel problem olarak hem de yaşam kalitesini direkt olarak etkileyen başat bir unsur olarak dikkate alınmamıştır. Bu duruma gereken hassasiyetin gösterilmediği ilgili yasa ve mevzuat içerisinde de bu konuya yeterince yer verilmemesinden kaynaklanmaktadır. 1999 yılı sonrası süreçte ise “umut verici arayışların” ağırlıkla yapı iyileştirmesi ve bu

başlamda kentsel dönüşüm olarak tanımlanan yenileme operasyonları biçiminde ortaya çıktığı izlenmektedir. Mevzuatın da söz konusu yenileme faaliyetlerini bölge ve parsel ölçeğinde desteklediği bu süreçte, kentlerde güvenli açık alanlara olan gereksinim hiç dikkate alınmazken, kentlerin daha fazla yoğunlaşması problemiyle de karşı karşıya kalmıştır.

Milat olarak kabul edilen Marmara Depremi sonrasında meydana gelen gelişmeler incelendiğinde, Türkiye’de yaşanan afet tecrübelerinden çıkarılması gereken en önemli ders olan risk yönetimi konusunda yeterli farkındalığa sahip olunmadığı ve kriz yönetimi aşamasında olası bir afet durumuna müdahale edilmesi yönündeki çabaların yeterli olduğu kanısının yaygın

olduğu gözlenmektedir. Oysa 2018 yılında AFAD tarafından yayınlanan Türkiye’de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri başlıklı raporda, afetler konusunda bundan sonraki süreçte risk azaltma konusuna öncelik verileceği ve başarılı bir afet yönetiminin temelinde risk azaltma olduğunun altı önemle çizilmiştir (AFAD, 2018). Buna ek olarak, Eylül 2021 döneminde tamamlanan ve Denizli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından yayınlanan İRAP raporunda “Gerçekleşmesi muhtemel her türlü afete ve neden olabileceği risklere önceden sistematik bir şekilde hazırlıklı olmak ve afet yönetim stratejilerini belirlemek, ekonomik ve sosyal zararlarına, can ve mal kayıplarına, kentleri ve insanların hayatını için, nasıl bir şekilde ve ne oranda etkilenebileceğine yönelik analizlerin beklenen afetin gerçekleşmesinden önce yapılması elzemdir.” ifadesi yer almaktadır (AFAD, 2021).

Peki, kent planlama süreçleri ile risk azaltma temelli afet yönetimi süreçlerinin eşgüdümlü olarak yürütülmemesi halinde, başka bir deyişle, yerleşim alanlarının afet riskleri karşısında daha savunmasız ve olası hasarlara açık hale gelmesine neden olan faktörler nelerdir? Bu soruya kent planlama disiplini ile ilişkilendirilebilecek farklı perspektiflerden çeşitli yanıtlar vermek mümkündür. Bu yanıtlar şu şekilde listelenebilir (Doğan, 2016):

2.1. Çevresel faktörler

İklim değişikliğinin etkileri, ormansızlaşma, çölleşme, sınırlı kaynak kullanımındaki gözlenen yanlışlar, yoğun fosil yakıt kullanımı, yapı çevrenin baskısı, salgın hastalık riski, geri dönüşüm ve atık yönetimi süreçlerinin yetersizliği.

2.2. Ekonomik faktörler

Yetersiz ekonomik imkânlar, gelir dağılımında gözlenen eşitsizlik, ekonomik krizler, sosyal sınıfların yer seçim kararları, rant odaklı yaklaşımlar, zorunlu deprem sigortasının yaygınlaşmaması, birim maliyeti düşürmek adına inşa edilen niteliksiz yapı stoğu, afetlerle mücadele için yeterli kaynağın olmayışı.

2.3. Kurumsal faktörler

Modern bütünleşik afet yönetim sistemine geçilememesi, koordineli örgütsel risk yönetiminin olmaması, ilgili kurum ve kuruluşlar arasında gözlenen eşgüdüm sorunları, hazırlık ve acil durum sisteminin merkezileşmesi, kriz durumunda tıkanan hiyerarşik yapı, mevcut kurumlara ve sivil toplum örgütlerine karşı güven eksikliği, yapı denetimin etkin uygulanmaması, afetlere ilişkin kurumsal kültürün olmayışı, afet öncesinde kurumların görev tanımlarının eksikliği.

2.4. Yasal faktörler

Afet risklerinin azaltılması ve dirençli kentlere ilişkin yasal mevzuatın yetersiz olması, afet odaklı arazi kullanım planlanmasına ilişkin mevzuatın eksikliği, denetim mekanizmalarının etkin olmaması, can ve mal kayıplarının yaşanması durumuna ilişkin caydırıcı

hukuki yaptırımların yetersizliği, barınma hakkının yasalarla koruma altına alınmaması, mevzuata ilişkin revizyonlar yapılırken ülkenin sosyo-kültürel yapısına uygun olmayan ülkelerin örnek alınması.

2.5. Teknik faktörler

Afetlerin etkileri ile mücadele konusunda yetersiz fiziki kapasite, toplanma alanlarının yetersizliği, alternatif tahliye güzergâhlarının eksikliği, sık sık imar aflarının çıkarılmasıyla kentsel dokunun bozulması ve kaçak yapılaşmanın meşrulaşması, kentsel dönüşüm süreçlerinin etkin yönetilmemesi, öngörülen afet risklerine karşı kentsel ölçekte alınan önlemlerin yetersizliği, uygun olmayan jeolojik formasyona yüksek katlı yapı yapılmasına göz yumulması, iskân ruhsatı verilmesi aşamasında yapının dayanıklılığının denetlenmemesi, mühendislik ilkelerine uyulmadan inşa edilen yapıların varlığı, yapı içinde tehlikeli kullanımların (soba, doğalgaz kombisi, vs.) olmasının afet etkisini büyütmesi, projelendirmeye yönelik teknik hatalar.

Görüldüğü üzere, nüfus birikim süreçlerinin hızlı biçimde gözlemlendiği kentsel alanlarda kentin kırılabilirliğini ve savunmasızlığını etkileyen pek çok faktör mevcuttur. Yaşanan afet tecrübeleri dikkatle incelendiğinde, toplumun her katmanını çevresel, ekonomik ve sosyal yönden direkt olarak etkileyen afetlere karşı ivedilikle farkındalığın geliştirilmesi ve doğru uygulama örneklerinin yerele özgü dinamikler göz önünde bulundurularak hayata geçirilmesi artık bir zorunluluk haline gelmiştir.

3. Çalışma alanı, veri ve yöntem

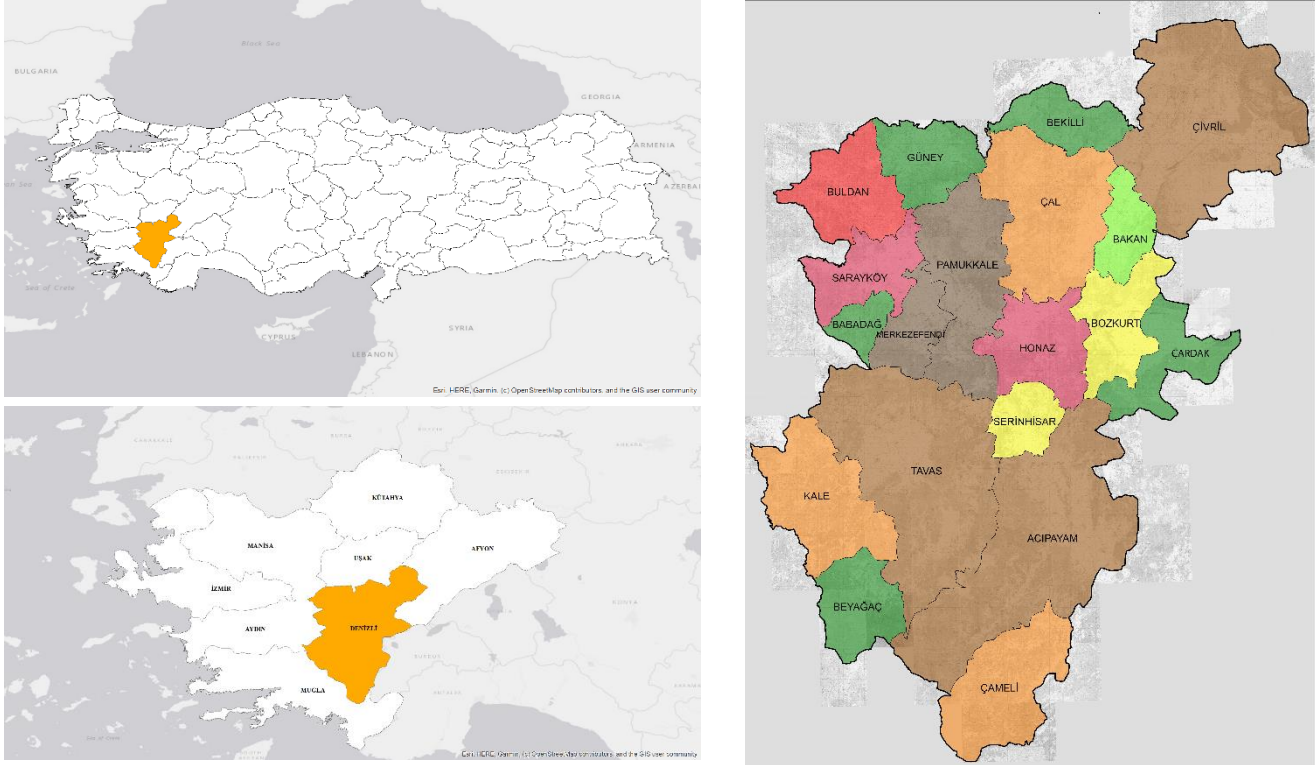
Çalışma alanı olarak Denizli İl bütünü seçilmiştir. Bu seçimin temel gerekçeleri arasında Denizli İlinin I. derece deprem kuşağında yer alması, Denizli İli nüfusunun büyük kısmının (%63 oranında) kentsel niteliğin ağırlıkta olduğu merkez ilçelerde yaşaması, yapı stoğunun ağırlıklı olarak 2000 yılı öncesinde inşa edilmiş olması, tarım alanları ve alüvyon zemin üzerine yapılaşmanın gözlenmesi, dört farklı afet türünün (deprem, yangın, kütle hareketleri, meteorolojik ve iklim değişikliği kaynaklı afetler) belirli zamanlarda ve bölgelerde tekrarlanması ve sıklıkla göç alma – verme durumunda olan kentte yeni ve çok katlı yapılaşmanın hızlanması gibi önemli faktörler yer almaktadır.

Türkiye’de son 30 yılda ekonomi ve nüfus bakımından en çok büyüyen 9 kentten biri olan Denizli İlinde nüfus dinamiklerinin hızla değişmesi dikkat çekmektedir. 1980’li yıllardan yaklaşık 251.000 kişi olan nüfus yaklaşık 40 yıllık zaman diliminde 4,2 kat artarak 1.056,332 kişiye ulaşmıştır (Kara, 2011). Anadolu’da yaşanan sosyo-ekonomik, mekânsal ve toplumsal dönüşümün öncü kentlerinden biri olan Denizli’de 1970’ler döneminde sanayileşme sürecinin ivme kazanmasıyla özellikle tekstil sektöründeki yatırımların ön plana çıktığı ve buna bağlı olarak kırdan kente göçün hızlandığı görülmektedir. 1980 yılında kararname ile “Kalkınma Öncelikli Yöre (KÖY)” kapsamında alınan il, IV. Beş Yıllık Kalkınma Planı (1979 – 1983)’nda yatırımların teşvik edileceği ve kalkınma faaliyetlerinin hızlandırılacağı bölge olarak seçilmiştir. Mevcut turizm

potansiyelinin (Pamukkale travertenleri, bölgedeki şifalı su kaynakları ve tarihi miras) yanı sıra, tarım, hayvancılık, yenilenebilir enerji, sanayi, eğitim, sağlık ve hizmet sektöründe gözlenen gelişmeler sonucunda Denizli kenti zamanla çevresindeki illere göre bir çekim merkezi niteliği kazanmıştır. Dolayısıyla, günümüzde devam etmekte olan göç hareketliliği, kentin sektörel yapısının genişlettiği istihdam olanaklarının dikkat çekmesinin doğal bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır (Şanlı ve Kara, 2019; Belge, 2018).

Kentsel yayılma ve saçaklanmanın tarım alanları ve alüvyon zeminin bulunduğu alanlara doğru gerçekleştiği

Denizli kentinde, hızlı nüfus artışı ve yoğun yapılaşma faaliyetlerinin de etkisiyle, afet risklerine bağlı olarak kentsel dirençliliğin azaldığı gözlenmektedir. Örneğin, yakın tarihte gerçekleşen depremlerin sebep olduğu can ve mal kayıplarının, 1900 - 2021 yılları arasında meydana gelen toplam 371 depremin (47 adedinin büyüklüğü 5 - 6 Mw arasında, 5 adedinin büyüklüğü 6 - 7 Mw arasında) sebep olduğu kayıplara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir (AFAD, 2021). Şekil 4'te Denizli kentinin ülke içerisindeki konumu ve çalışma alanı olarak belirlenen Denizli kentinin ilçeleri sunulmuştur.



Şekil 4. Denizli kentinin ülke içerisindeki konumu ve çalışma alanı.

Denizli kentine ilişkin afet arşiv kayıtları incelendiğinde, yıkıcı etkileri açısından öne çıkan afetler deprem, heyelan, taşkın, kaya düşmeleri, meteorolojik ve iklimsel afetler, endüstriyel kazalar ve yangınlar olarak sıralanmaktadır (AFAD, 2021). Meydana gelen afetlerin direkt ve/veya dolaylı etkileri bakımından kentin tamamının risk altında olduğu görüşünden hareketle, çalışma kapsamında Denizli İl bütününe ilişkin afet riskinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Buna göre, çalışma kapsamında afet riski oluşturan parametreler genel olarak iki gruba ayrılmış olup, doğal ve yapı çevreye ilişkin unsurlar olmak üzere toplam 8 parametre mekânsal analizlerin yapılması sürecinde dikkate alınmıştır:

a. Doğal çevreye ilişkin parametreler

Topoğrafik yapı unsurları (eğim, bakı, yükselti), meteorolojik yapı unsurları (yağış miktarı), fay hatları, hidrolojik yapı ve toprak kabiliyeti

b. Yapılı çevreye ilişkin parametreler

Arazi kullanım deseni.

Çalışma kapsamında doğal ve yapı çevreye ilişkin unsurların temin edilmesinde yararlanılan temel veri kaynakları Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA)'nın güncel olarak yayınladığı 1/25.000 ölçekli haritalarda yer alan bilgiler (fay hatları), Denizli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (AFAD) tarafından hazırlanan sayısal haritalarda yer alan bilgiler (eğim, bakı, yükselti, yağış miktarı), Denizli İl Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan sayısal haritalarda yer alan bilgiler (toprak kabiliyeti), Denizli Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli haritalarda yer alan bilgiler (arazi kullanım deseni, hidrolojik yapı) ve Corine Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırması platformu üzerinden çalışma alanına yönelik 2022 yılına ait güncel uydu görüntüleri biçiminde sıralanabilir. Sıralanan veriler Ekim 2022 - Mart 2023 arasındaki yaklaşık 6 aylık dönemde ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilmiştir.

Tablo 2'de sunulan ve çalışmada kullanılan parametrelere ilişkin sınıflandırmanın yer aldığı tabloda doğal ve yapı çevre unsurları detaylı biçimde ifade edilmiştir. Buna göre, çalışmada eğim unsuru (%0-10, %10 - 20, %20 ve üzeri), bakı unsuru (doğu - batı, güney, kuzey), yükselti unsuru (0 - 500 metre, 500 - 1000

metre, 1000 metre ve üzeri) ve yağış miktarı faktörü (100 – 400 mm, 400 – 700 mm, 700 mm ve üzeri) üçlü bir sınıflamada ele alınmıştır. Ayrıca, fay hatları unsuru (fay hattı var, fay hattı yok), hidrolojik yapı unsuru (kuru düre, mevsimlik akarsu, çay, dere, sürekli akarsu), toprak kabiliyeti unsuru (organik topraklar, kahverengi topraklar, kolüvyal topraklar, hidromorfik topraklar, alüvyal topraklar, kırmızı topraklar) ve arazi kullanım unsuru (tarım alanları, çayır – mera alanları, orman alanları, sanayi alanları, ulaştırma – altyapı, yerleşim alanları) niteliğine göre değerleri değişkenlik gösterecek biçimde sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırmalar, benzer içeriğe sahip ulusal ve uluslararası nitelikteki akademik çalışmaların incelemesi sonucu oluşturulmuştur. Çalışmada alanın jeolojik formasyon niteliklerine yönelik herhangi bir inceleme ve mekânsal analiz yapılmamıştır. Bu sebeple, tabloda bu unsurla ilgili herhangi bir veri ve sınıflandırma yer almamaktadır.

Şekil 5'te sunulan ve doğal yapıya ilişkin parametreler arasında yer alan eğim, bakı ve yükseltiye ilişkin hazırlanan tematik haritalar incelendiğinde, il bütününde % 0 – 10 arasındaki eğimli alanların ve 0 – 1000 metre arasında yükselti değerine sahip alanların ağırlıkta olduğu, doğu ve kuzey yönlü bakı özelliğinin il bütününde ağırlıkta olduğu ancak özellikle merkez ilçelerde (Pamukkale ve Merkezefendi ilçeleri) kuzey ve kuzeydoğu yönlü bakı özelliğinin ön plana çıktığı saptanmıştır. İRAP kapsamında, bu parametrelere ilişkin aktarılan bilgiler incelendiğinde, Denizli kenti ve çevresinde yükselti değerlerinin 125 – 2500 metre arasında değişkenlik gösterdiği, eğim değerlerinin il bütününde ortalama %10 oranında olduğu ve az eğimli alanların toplam alanın %83'ünü oluşturduğu görülmüştür. Alana topoğrafik açıdan bakıldığında, genel olarak, il bütünüünün yaklaşık %47,1'ini dağlar, %28,2'sini ovalardan, %23,2'sini platolardan ve %1,5'ini ise yaylalardan oluştuğu ifade edilebilir (AFAD, 2021). Buna göre, alanın eğim ve yükselti özelliklerinin, heyelan riski başta olmak üzere, pek çok afet riskini olumsuz yönde etkileyebileceği açıktır.

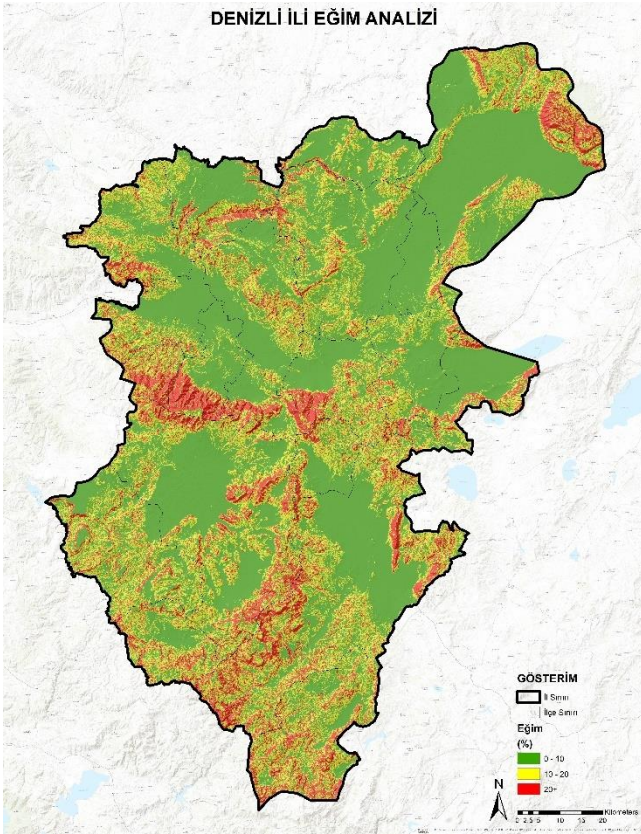
Doğal yapıya ilişkin diğer parametreler arasında yer alan ve Şekil 6'da sunulan fay hatları, hidrolojik yapı ve toprak kabiliyetine ilişkin haritalar incelendiğinde, Denizli il bütününde yer alan toplam 6 fay zonu olduğu ve bu zonların Sarayköy, Babadağ, Pamukkale, Merkezefendi, Honaz, Çivril, Çardak, Bozkurt, Çameli, Acıpayam ve Beyağaç ilçelerini direkt olarak etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca, ilin büyük çoğunluğunun sedimanter birimlerden oluştuğu, tüm ilçelerde kırıntılı kayalar, kireçtaşı birimleri ve karasal ve gölsel karbonatlı birimlerinin yer aldığı İRAP kapsamında aktarılan detaylı bilgilerdir (AFAD, 2021). Büyük Menderes Havzası ve Çürüksu Vadisi boyunca yerleşim alanlarının kurulduğu ve tarımsal üretim faaliyetlerinin sürdürüldüğü Denizli İli ve ilçelerinde görülen alüvyon zemin afet riskini olumsuz yönde etkileyen önemli faktörlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Su varlığı açısından mevcut durumun ortaya konulduğu hidrolojik yapı analizinden elde edilen

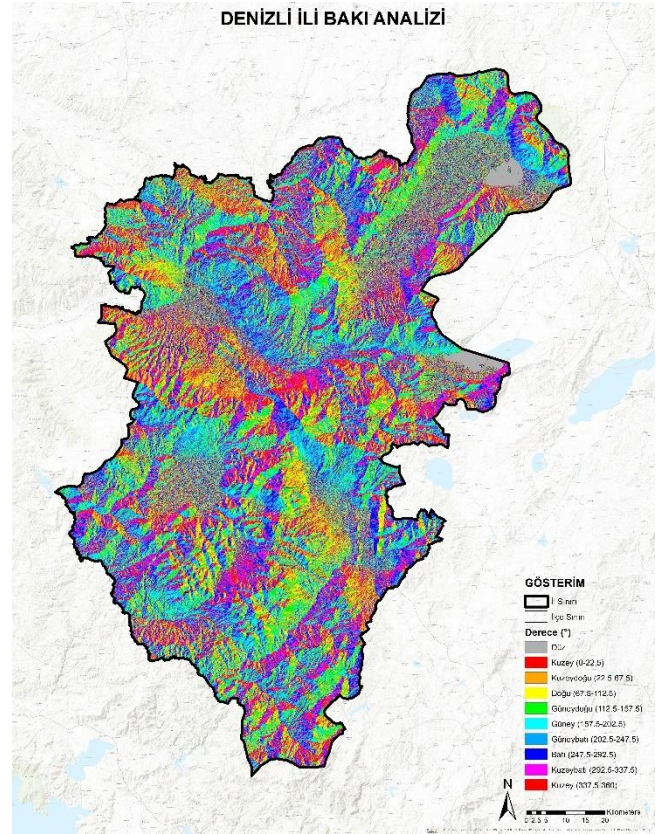
bulgulara göre, il genelinde toplam 23 baraj ve göletin yer aldığı ve zengin yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının bulunduğu görülmüştür. Buna göre, başlıca akarsu kaynakları olarak Büyük Menderes (44,32 m³/sn), Çürüksu Çayı (9,26 m³/sn), Akçay (Bozdoğan Çayı) (17,37 m³/sn), Dalaman Çayı (17,37 m³/sn), Küfi Çayı (3,43 m³/sn), Gökpınar Çayı (2,86 m³/sn) ve Yeni Dere (2,46 m³/sn) sayılabilir (DSİ 21. Bölge Müdürlüğü, 2020). Su varlığının meteorolojik ve iklimsel koşullara bağlı olarak sebep olabileceği afet riskleri bakımından il ve yakın çevresi dezavantajlı durumdadır (Özcan, 2008; Pancar ve Gökçe, 2022). Toprak kabiliyeti açısından incelendiğinde ise, iklimsel koşullar ve topoğrafik etkilerle il bütününde büyük toprak gruplarının oluştuğu (alüvyal topraklar, hidromorfik topraklar, kahverengi topraklar, kolüvyal topraklar, kırmızı topraklar ve organik topraklar) ve özellikle tarıma elverişli alanlarda tuzluluk, meyil, su ve rüzgâr erozyonu gibi bazı olumsuzlukların bulunduğu tespit edilmiştir. Özellikle alüvyal toprak ve kolüvyal toprak türlerinin meydana gelebilecek heyelan ve sel tipi afet olayları için risk arttıran faktörler olduğu bilinmektedir.

Mevcut iklimsel ve meteorolojik özellikler yerleşim alanlarındaki afet riskleri ile direkt olarak ilişkilidir. Bu noktadan hareketle yapılan yağış miktarı analizi ve Denizli İline ilişkin derlenen meteorolojik bilgiler incelendiğinde (Şekil 7), karma iklim (karasal iklim ve Akdeniz iklimi) yapısına sahip ilde ortalama yıllık sıcaklık değerinin 16,2°C ve ortalama yağış miktarının 568,7 mm olduğu saptanmıştır. Yıl boyunca yağmurlu mevsimin yaklaşık 6,5 ay boyunca sürmesi, yaz ve kış dönemleri arasında alana düşen yağış miktarının önemli farklılıklar göstermesi, kışın dönemsel olarak görülen aşırı yağışlar ve yazın yağış miktarının az olmasından kaynaklı görülen kuraklık gibi faktörlere bağlı olarak il ve yakın çevresinde seller ve su taşkınlarına ilişkin afet risklerini önemli ölçüde artmaktadır. Mevsim normallerinin dışında gözlenen aşırı yağış olayları kırsal nitelikli alanlarda sele bağlı olarak yaşanan can ve mal kayıpları ile tarım ürünlerinin su altında kalmasına neden olurken; kentsel nitelikli alanlarda ise su taşkınlarına bağlı olarak yaşanan can ve mal kayıpları ile altyapı unsurlarının zarar görmesine neden olmaktadır (Özcan, 2008; Oğuz ve ark., 2016; Pancar ve Gökçe, 2022).

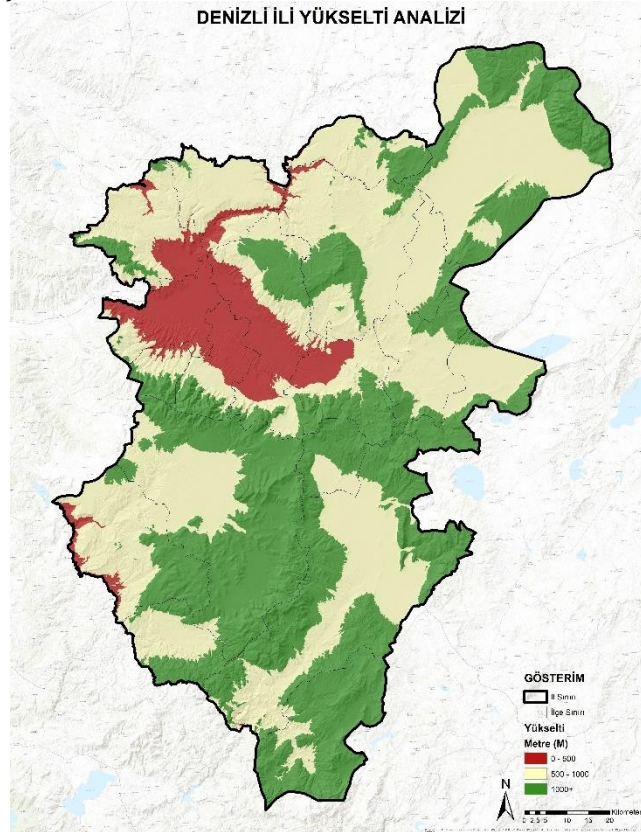
İRAP kapsamında aktarıldığı üzere, iklim sınıflandırılması yöntemleri kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre, Denizli İli yarı kurak, az nemli, kışları serin ve yazları sıcak iklim sınıfındadır. Türkiye geneline göre değerlendirildiğinde ise, Denizli İli kuraklık indeksine göre yarı-kurak bölgede yer alan, az nemli ve iklim özelliği su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan sınıfına giren illerden biridir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021). Buna göre, küresel iklim değişikliğine bağlı olarak gözlenen kuraklık olaylarının il bütünü ve yakın çevresinde gözlemlendiği ve zamanla artacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla, kuraklık tehdidiyle karşı karşıya olan ilin afet riskleri açısından dezavantajlı bir durumda olduğunu söylemek mümkündür.



(5a)



(5b)



(5c)

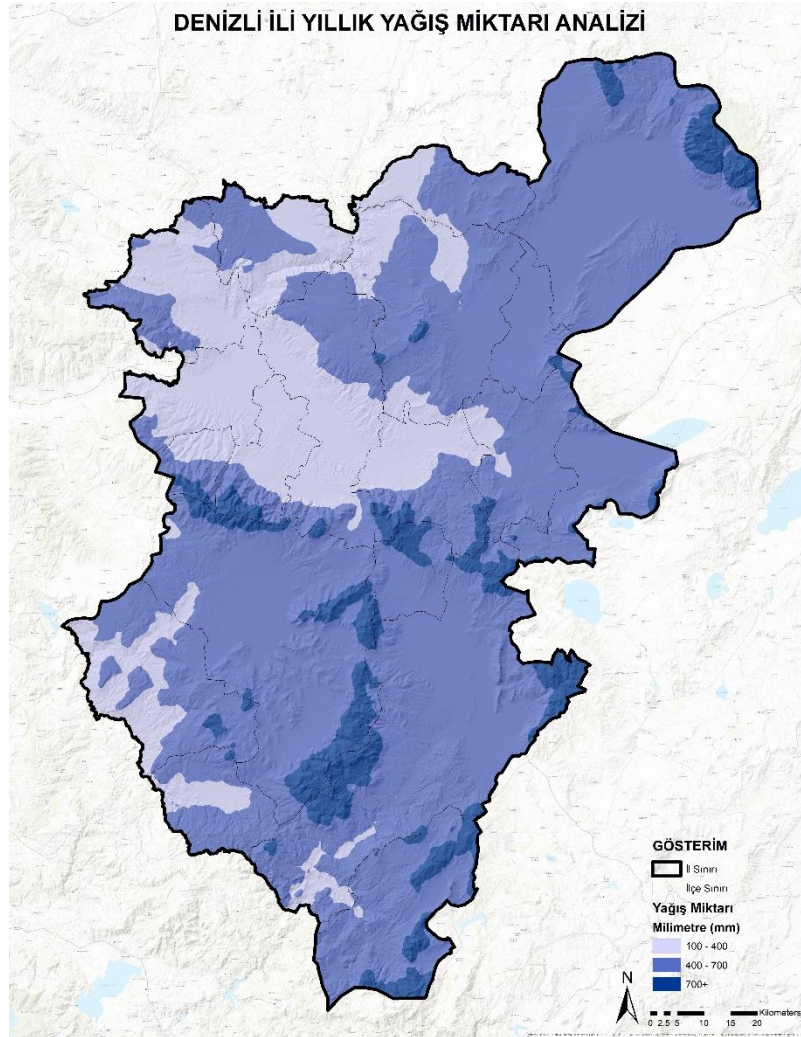
Şekil 5. Doğal çevreye ilişkin tematik haritalar: (5a) Eğim analizi, (5b) bakı analiz, (5c) yükselti analizi.

Corine Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırması platformundan yararlanılarak temine edilen ve 2022 yılına ait güncel uydu görüntüleri incelenmiştir. Bu uydu görüntülerinden yararlanılarak hazırlanan, Şekil 8'de sunulan ve Denizli iline ilişkin mevcut arazi kullanım desenine ilişkin tematik harita incelendiğinde, il

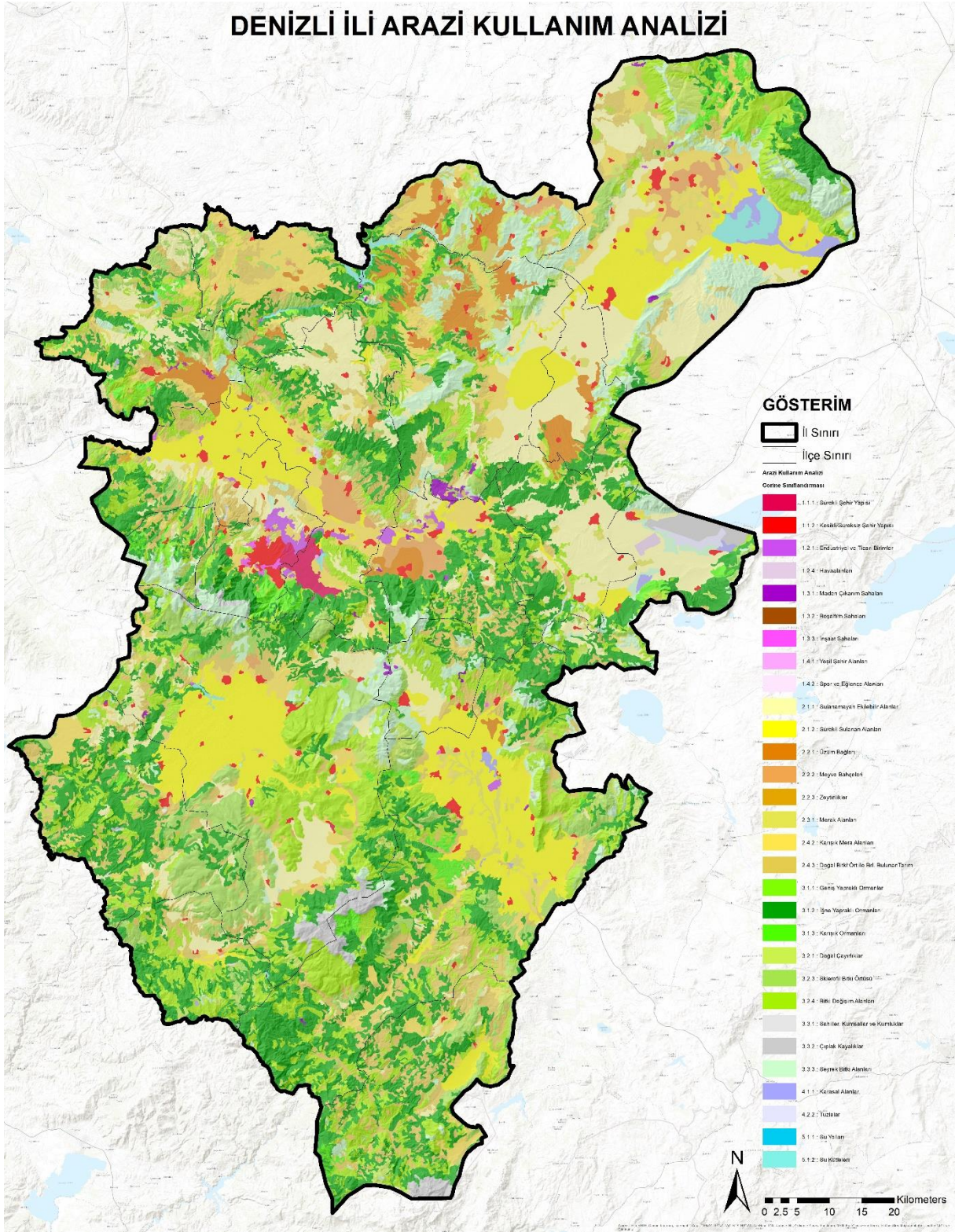
bütününde arazi kullanım türleri arasında orman ve fundalık arazilerin alansal büyüklüğünün en fazla olduğu (%49), tarım arazilerinin (%31), yerleşim alanlarının (%18) ve çayır-mera alanların (%2) diğer arazi kullanım türlerini oluşturduğu tespit edilmiştir. Orman alanlarının genel arazi kullanım türleri içerisinde yüksek oranda yer

Aydeniz İklim Sınıflandırması													
Kuraklık Katsayısı	1,01	İklim Tipi		Kurak									
Erinç İklim Sınıflandırması													
Yağış Etkinlik İndisi	24,52	İklim Tipi		Yarı Nemli									
DeMartonne İklim Sınıflandırması													
Kuraklık İndisi	11,93	İklim Tipi		Yarı Kurak - Nemli Arası									
Trewartha İklim Sınıflandırması (evrensel sıcaklık ölçeğine göre)													
Kış mevsimi iklim tipi	Kışları serin, (6,04)			Yaz mevsimi iklim tipi		Yazları sıcak (27,55)							
Thorntwaite İklim Sınıflandırması													
İklim Sınıfı	C1,B'3,s2,b'3	C1: Yarı Kurak-Az Nemli	B'3: 3. Derece Mezotermal	s2: Su fazlası kış mevsiminde ve Çok kuvvetli olan				b'3: Yaz Buharlaşma Oranı : % 55					
DENİZLİ													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1957 - 2022)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.9	7.2	10.1	14.7	19.6	24.3	27.3	27.0	22.6	17.1	11.6	7.6	16.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.5	12.4	15.9	21.0	26.5	31.4	34.7	34.6	30.2	23.9	17.5	12.3	22.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	2.3	3.1	5.3	9.2	13.4	17.5	20.3	20.0	16.0	11.5	7.1	4.2	10.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.7	4.5	5.6	7.0	9.0	10.9	11.7	10.9	9.2	6.8	5.0	3.5	7.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.15	10.76	11.20	10.02	8.77	5.32	2.09	1.98	3.05	5.91	7.58	12.23	91.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	90.7	70.5	63.4	50.9	42.8	27.6	14.5	10.8	16.0	35.6	54.7	90.1	567.6
Ölçüm Periyodu (1957 - 2022)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.6	25.9	30.8	35.8	39.5	44.1	43.9	44.4	41.6	36.9	29.9	26.6	44.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-10.5	-11.4	-7.0	-2.0	2.7	7.9	12.6	11.6	6.6	-0.8	-4.5	-10.4	-11.4

7a



Şekil 7. Doğal çevreye ilişkin tematik haritalar [(7a) Denizli İli İklim Sınıflandırması (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021) ve (7b) Yağış miktarı analizi.



Şekil 8. Yapılı çevreye ilişkin tematik harita (Arazi kullanım analizi).

Kentlerin planlanması sürecinin temel hedefleri arasında koruma-kullanma dengesi gözetilerek yapılı çevrenin biçimlendirilmesi, günümüz ihtiyaçlarının gelecek nesillerin ihtiyaçlarından feragat edilmeden giderilmesi, sürdürülebilirliğin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutta sağlanabilmesi yer almaktadır. Bunlara ek olarak, vatandaşların sağlıklı, güvenli ve yaşam kalitesi yüksek çevrelerde yaşayabilmesi amacıyla olası afetler öncesinde risk yönetimi süreçlerinin doğru biçimde yürütülmesi hayati nitelik taşımaktadır. Bu doğrultuda, özellikle nüfusun hızla biriktiği kentsel

alanlarda tespit edilen afet türlerine ilişkin riskin niteliksel ve niceliksel olarak ortaya konulması bir gerekliliktir. Afet risklerine yönelik yerleşimler özelinde politika ve stratejilerin geliştirilebilmesi için öncelikli olarak mevcut risklerin ortaya konulması fikri, Eylül 2021 döneminde ülke genelinde tamamlanan İRAP ile başarılı biçimde ortaya konulmuştur (AFAD, 2021). Benzer bir içerik, 2002 yılında Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından hazırlanan Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dâhil Afet

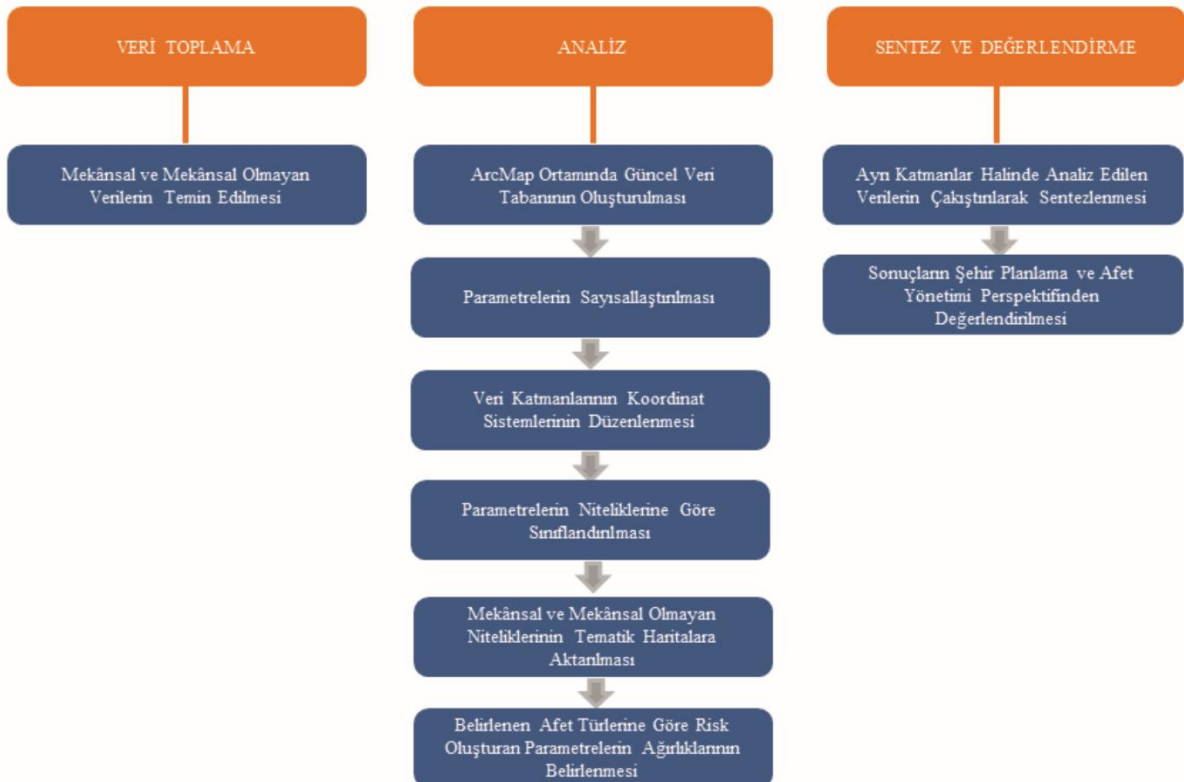
Önleme/Azaltma Temel Plan Çalışması raporunda karşımıza çıkmaktadır (JICA ve İBB, 2002).

Buna göre, çalışma kapsamında Denizli il bütünü için afet risklerine yönelik kapsamlı bir analiz yapılması amaçlanmıştır. Mekânsal ve mekânsal olmayan çok katmanlı analizlerin kısa sürede, doğru biçimde ve amaca uygun görselleştirme teknikleriyle yapılmasına olanak sağlayan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları (Paul, 2022; Yılmaz ve ark., 2023; Kotan ve Erener, 2023) kullanılarak il özelinde afet risklerine yönelik analizler için yöntem olarak Ağırlık Çakıştırma (*Weighted Overlay*) yöntemi seçilmiştir. İleri konumsal analizler için sıklıkla tercih edilen bu yöntem, çok katmanlı ağırlıklı çakıştırma yöntemi olarak bilinmekte olup, çalışmanın parametrelerinin puanlanarak analiz edilmesi sonucunda istenilen ağırlıklarla normalize edilerek çakıştırılması yöntemi olarak tanımlanabilir (URL - 2). Çalışmada, kent in afetselliğini önemli ölçüde etkileyen doğal ve yapılı çevre unsurları dikkate alınarak, Denizli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından ortaya konulan 4 farklı afet türünün (deprem, heyelan, kaya düşmesi, meteorolojik ve iklim değişikliği kaynakları afetler) oluşturabileceği afet risklerine yönelik mekânsal analizler yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular ile Denizli Valiliği İl Afet ve Acil Müdürlüğü (AFAD) tarafından hazırlanan İl Afet Müdahale Planı ve İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) kapsamında ortaya konulan tespitler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında doğal ve yapılı çevreye ilişkin parametrelerin birlikte ve niceliksel olarak değerlendirmeye alındığı Ağırlık Çakıştırma yöntemi, yerleşim yerlerine ilişkin birden fazla afet türünün gözlemlendiği pek çok çalışmada yaygın biçimde tercih edilmiştir. Bu çalışmalara Bitlis İli için yapılan taşkın ve sel riski analizleri (Arıncı, 1999), Malatya İli için yapılan

deprem, heyelan, kaya düşmesi ve taşkın riski analizleri (Karadoğan, 2007), İstanbul İli Beykoz İlçesi için yapılan sel, toprak kayması ve heyelan riski analizleri (Akar ve ark., 2008), Zonguldak İli merkezi için yapılan afet risk analizi (Arca ve ark., 2011), Manisa İli Tekeler Köyü için yapılan heyelan duyarlılık analizi (Yılmaz, 2023), Hatay İli için yapılan deprem riski analizleri (Demirkesen, 2012) ve Van Gölü ve çevresi için yapılan tsunami riski analizleri (Özdemir, 2007) örnek verilebilir. Ayrıca, şehir planlama ve afet planlama süreçlerinin birlikte yürütülmesinde afet risk analizlerinin önemi vurgu yapan araştırmalar (Kızıloğlu ve ark., 2006; Kadioğlu ve Özdamar, 2008; Erkal ve Değerliyurt, 2009; Özşahin, 2013; Nurlu, 2015) da ilgili literatürde yer almaktadır.

Ortaya konulan amaç doğrultusunda, ArcMap yazılımı kullanılarak çalışmaya ilişkin güncel verilerden oluşan bir veri altyapısı oluşturulmuştur. Bahsi geçen veri tabanından yararlanılarak çalışmada sırasıyla şu adımlar izlenmiştir (Şekil 9): (1) Doğal ve yapılı çevreye ilişkin parametrelerin (eğim, baki, yükselti, yağış miktarı, fay hatları, hidrolojik yapı, toprak kabiliyeti ve arazi kullanım deseni) sayısallaştırılması, (2) veri katmanlarının koordinat sistemlerinin düzenlenmesi, (3) parametrelerin niteliklerine göre sınıflandırılması, (4) mekânsal ve mekânsal olmayan niteliklerin tematik haritalara aktarılması, (5) belirlenen afet türlerine göre risk oluşturan parametrelerin ağırlıklarının belirlenmesi, (6) ayrı katmanlar halinde analiz edilen verilerin çakıştırılarak sentezlenmesi ve (7) elde edilen sonuçların Denizli Valiliği İl Afet ve Acil Müdürlüğü (AFAD) tarafından hazırlanan İl Afet Müdahale Planı ve İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) kapsamında ortaya konulan tespitler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi.



Şekil 9. Yöntemin aşamaları.

Mekânsal analizlerin yapılması için çalışma kapsamında temin edilen doğal ve yapılı çevreye ilişkin parametreler kullanılarak afet riskine ilişkin sınıflamalar yapılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Parametrelere ilişkin sınıflandırma.

Parametre	Değerler	Afet Riski Sınıflaması	Kodlama
Eğim (%)	0 – 10	Az riskli	1
	10 – 20	Orta riskli	2
	20 ve üzeri	Çok riskli	3
Bakı	Doğu - Batı	Az riskli	1
	Güney (Güney, Güneydoğu, Güneybatı)	Orta riskli	2
	Kuzey (Kuzey, Kuzeydoğu, Kuzeybatı)	Çok riskli	3
Yükselti (metre)	0 – 500	Az riskli	1
	500 – 1000	Orta riskli	2
	1000 ve üzeri	Çok riskli	3
Yağış Miktarı (mm)	100 – 400	Az riskli	1
	400 – 700	Orta riskli	2
	700 ve üzeri	Çok riskli	3
Fay Hatları	Yok	Az riskli	1
	Var	Çok riskli	3
Hidrolojik Yapı	Kuru dere	Az riskli	1
	Mevsimlik akarsu	Az riskli	1
	Çay	Orta riskli	2
	Dere	Çok riskli	3
	Sürekli akarsu	Çok riskli	3
Toprak Kabiliyeti	Organik topraklar	Az riskli	1
	Kahverengi topraklar	Az riskli	1
	Kolüvyal topraklar	Orta riskli	2
	Hidromorfik topraklar	Orta riskli	2
	Alüvyal topraklar	Çok riskli	3
	Kırmızı topraklar	Çok riskli	3
	Arazi Kullanım Deseni	Tarım alanları	Az riskli
Çayır-mera alanları	Az riskli	1	
Orman alanları	Orta riskli	2	
Sanayi alanları	Orta riskli	2	
Ulaştırma-altyapı	Çok riskli	3	
Yerleşim alanları	Çok riskli	3	

3.1. Eğim

Eğim, biriken yağış miktarını ve akış hızını etkilediği için sel ve taşkınların oluşumunda önemli bir etkidir. Eğim değerinin yüksek olduğu yerlerde toprağın su tutma kabiliyeti, eğim değerinin az olduğu yerlere oranla daha düşüktür. Ayrıca, eğim erozyon riskini arttıran en önemli faktörler arasında yer almaktadır (Özcan, 2008; Duman ve İrcan, 2022). Dolayısıyla, eğim arttıkça belli başlı afet türleri (heyelan, erozyon, sel, taşkınlar) için risk artmaktadır.

3.2. Bakı

Bakı, özellikle sel, taşkın, kuraklık ve erozyon açısından afet riski oluşturan bir etkidir. Topoğrafyanın kuzey ve güney yamaçlarında bakı durumu farklılık göstermektedir. Güneye bakan yamaçlarda, buharlaşmadan dolayı topraktaki su kaybı fazladır, dolayısıyla kuraklık olasılığı bu alanlarda artmaktadır. Kuzeye bakan yamaçlarda ise topraktaki nem fazla olduğu için tutma kapasitesi düşüktür, dolayısıyla sel ve erozyon riski bu alanlarda yüksektir. Bu yüzden sel ve taşkın riski açısından en riskli alanlar kuzeye bakılı yerlerdir (Özdemir, 2007).

3.3. Yükselti

Yükselti değerlerinin yüksek olduğu bölgeler genellikle eğimli alanlardır. Eğim değerlerinin yüksek olduğu alanlardaki akış gücü yüksek akarsular, bu alanlarda sel, taşkın ve erozyon riskini arttırmaktadır. Nehir vadisinin genişlediği kısımlarda, başka bir deyişle yükselti değerlerinin düşük olduğu alanlarda eğim değerleri azalmakta ve buna bağlı olarak afet riskleri azalmaktadır (Duman ve İrcan, 2022).

3.4. Yağış miktarı

İklimsel özellikleri itibarıyla yarı kurak iklim sınıfında olan bölgelerde ilkbahar ve kış mevsiminde yağış miktarının fazla ve sağanak şeklinde olması, özellikle eğimin yüksek olduğu ve bitki örtüsünün seyrek olduğu yamaçlarda erozyon, sel ve taşkın riskini arttırmaktadır.

3.5. Fay hatları

Bir fay hattı için kırılma boyu, kırılma genişliği, kırılma alanı ve yüzey yer değiştirmesine göre afet riskini etkileme derecesi değişkenlik göstermektedir (Fahjan ve ark., 2015). Özellikle yoğun nüfusun yaşadığı yerleşim alanları fay hatlarına yakınsa ve zemin sivilaşmasının olduğu alanlarda konumlanıyorsa alan deprem riski bakımından dezavantajlı durumdadır (Demir ve ark., 2022).

3.6. Hidrolojik yapı

Önemli afet türlerinden biri olan taşkınlar hidrolojik döngünün bir aşamasıdır ve bir yüzey akış biçimidir. Akarsu havzalarında meydana gelen taşkınlar, havzanın jeolojik yapısı, toprak yapısı, topoğrafik yapısı, iklimsel özelliklerle, vb. kaynaklı oluşabilir (Özmen, 2010). Akarsu ve dere yataklarının yanlış ve plansız arazi kullanım kararları neticesinde yapılaşmaya açılması sonucunda mevcut su yatağının daralması doğal afetleri birer felakete dönüştürmektedir (Demir ve Keskin, 2022; Oğuz ve ark., 2016).

3.7. Toprak kabiliyeti

Toprak kabiliyeti, arazinin eğim durumu ve üzerinde geliştiği litoloji ve bitki örtüsünün varlığına bağlı olarak erozyona karşı farklı duyarlılık durumları göstermektedir. Eğimin fazla olduğu, bitki örtüsünden

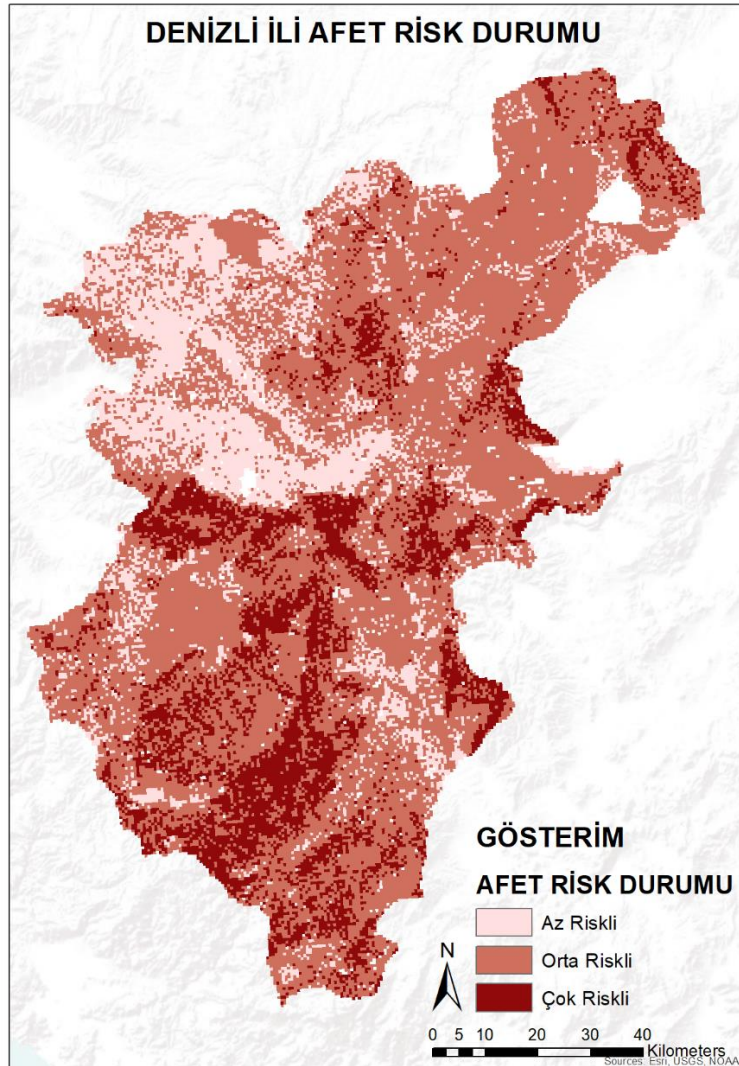
yoksun yamaçlarda toprak ne kadar dirençli bir özelliğe sahip olsa da yağışların şiddetine bağlı olarak erozyona uğrayabilir. Buna karşılık eğimin az olduğu, bitki örtüsünün sık olduğu kısımlarda gelişen dirençsiz toprak yapısı ise erozyona karşı daha az duyarlı olabilmektedir. Kahverengi toprakları eğimli yerlerde gelişen genç topraklardır ve su tutma kapasitesi yüksek olan topraklardır. Hidromorfik topraklar drenajın iyi olmadığı bataklık ve sazlık gibi yerlerde devamlı su altında kalan bir toprak çeşididir ve sulu topraklardır. Alüvyal topraklar, kolüvyal topraklar ve kırmızı topraklar az dirençli ve yumuşak zeminli yapıları nedeniyle heyelan ve sel tipi afet olayları için risk arttıran türler arasında yer almaktadır (Özyavuz, 2011; Duman ve İrcan, 2022).

3.8. Arazi kullanım deseni

Planlama süreçleri mevcut arazi kullanım türlerine ilişkin geliştirilen plan kararlarının afet risklerini artıran bir nitelik taşıması önemli bir unsurdur. Yoğun nüfus ve yapının bulunduğu yerleşim alanları, endüstriyel üretimin yapıldığı sanayi alanları ve kentsel alanlarda ulaşım, erişim, haberleşme, vb. gibi altyapı ve üstyapı birimleri olası bir afet durumunda can ve mal kayıplarının artmasına neden olabilecek ve yüksek risk taşıyan alanlardır. Kent merkezlerinin dışında yer alan

orman alanları, çayırlar, meralar ve tarım alanlarında can ve mal kaybı riski olmamasına karşın, kuraklık, yangın ve sel durumlarında meydana gelebilecek ekonomik kayıplar dikkate alınmalıdır (Erdin ve ark., 2019).

Şekil 10'da sunulan ve Denizli İlinin afet risk durumunu ortaya koyan sentez haritasına göre, ilin merkezinde ve güneyinde yer alan ilçelerin (Pamukkale ve Merkezefendi ilçelerinin güney kesimleri, Tavas, Beyağaç ilçeleri ve Acıpayam ilçesinin güney kesimleri) afet riski bakımından görece daha dezavantajlı durumda olduğu ve yüksek riskli yerleşim alanlarının il bütününe yaklaşık %30'unun oluşturduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, ilin kuzey batısında yer alan ilçelerin (Pamukkale ve Merkezefendi ilçelerinin kuzey kesimleri, Buldan, Güney, Sarayköy, Babadağ ilçeleri) ise daha avantajlı olduğu ve az riskli yerleşim alanlarının il bütününe yaklaşık %35'inin oluşturduğu saptanmıştır. Diğer ilçeler ise (Bekilli, Çal, Baklan, Çivril, Bozkurt, Honaz, Çardak, Serinhisar, Çameli ilçeleri ve Acıpayam ilçesinin kuzey kesimleri) orta riskli olarak sınıflandırılabilir ve bu ilçeler il bütününe yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır. Buna göre, il genelinde kentsel ve kırsal nitelik taşıyan yerleşim alanlarının Denizli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından ortaya konulan 4 farklı afet türünün oluşturabileceği afet risklerinden etkilenme durumu söz konusudur.



Şekil 10. Denizli İli afet risk durumu.

4. Tartışma ve Sonuçlar

İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından hazırlanan ve afet türlerine göre meydana gelen afet olaylarının niceliksel olarak incelendiği Türkiye Afet Bilgi Bankası (TABB) verilerine göre, 1990-2018 yılları arasında ülke genelinde toplam 27.049 adet afet meydana gelmiş olup, bu afetlerin 1871 adedini depremler (%7), 7616 adedini heyelanlar (%28) ve 17.562 adedini diğer afetler (%65) oluşturmaktadır (AFAD, 2018). Genel çerçevede ortaya konulan bu duruma göre, il genelinde gözlenen afet türleri ve ilin sahip olduğu topoğrafik, meteorolojik ve iklimsel özellikler dikkate alındığında, çalışma alanı olarak seçilen Denizli ilinin ülkenin geneliyle afet riskleri bakımından önemli benzerlikler gösterdiği açıktır.

Bölüm 3 (Çalışma Alanı, Veri ve Yöntem)'te ifade edildiği üzere, Denizli kentinin I. derece deprem kuşağında yer alması, ilin nüfusunun %63'ünün merkez ilçelerde (Pamukkale ve Merkezefendi ilçeleri) yaşaması, mevcut yapı stoğunun ağırlıklı olarak 2000 yılı öncesinde inşa edilmiş olması, tarım alanları ve alüvyon zemin üzerine yapılaşmanın gözlenmesi, farklı afet türlerinin belirli zamanlarda ve bölgelerde tekrarlanması ve göç hareketlerinin yeni ve çok katlı yapılaşmayı hızlandırması gibi faktörler dikkate alındığında, yapılan mekânsal ve mekânsal olmayan analizler sonucunda elde edilen ve afet risk durumunu ortaya koyan sentez haritaya göre, il genelinde kentsel ve kırsal nitelik taşıyan yerleşim alanlarının farklı afet türlerinin oluşturabileceği afet risklerinden etkilenme durumunun söz konusu olması beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ayrıca, doğal ve yapılı çevreye ilişkin 8 temel unsur kullanılarak yapılan mekânsal analizler sonucunda, ilin merkezinde ve güneyinde yer alan ilçelerin (Pamukkale ve Merkezefendi ilçelerinin güney kesimleri, Tavas, Beyağaç ilçeleri ve Acıpayam ilçesinin güney kesimleri) afet riski bakımından görece daha dezavantajlı durumda olduğu ve yüksek riskli yerleşim alanlarının il bütünüünün yaklaşık %30'unun oluşturduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, ilin kuzey batısında yer alan ilçelerin (Pamukkale ve Merkezefendi ilçelerinin kuzey kesimleri, Buldan, Güney, Sarayköy, Babadağ ilçeleri) ise daha avantajlı olduğu ve az riskli yerleşim alanlarının il bütünüünün yaklaşık %35'inin oluşturduğu saptanmıştır. Diğer ilçeler ise (Bekilli, Çal, Baklan, Çivril, Bozkurt, Honaz, Çardak, Serinhisar, Çameli ilçeleri ve Acıpayam ilçesinin kuzey kesimleri) orta riskli olarak sınıflandırılabilir ve bu ilçeler il bütünüünün yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır. Özetle, çalışma sonucunda afet riski bakımından Denizli ilinin kuzey batısı daha avantajlı durumda iken, ilin merkezinin ve güneyinin daha dezavantajlı durumda olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın bulguları ile Denizli iline ilişkin yapılan afet odaklı planlama çalışmaları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Bu karşılaştırma, neredeyse tamamı afet riski altında olan ilde olası afetler öncesinde risklerin azaltılması, yaşanabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi ve dirençli kentsel alanlar oluşturulabilmesi için gerekli ve yeterli adımların atılıp atılmadığını incelemek açısından önemlidir. Yapılan inceleme sonucunda, il bütünüünde ve ilçeler özelinde afet risklerine yönelik ortaya konulan tespitlerin tutarlılık

gösterdiği ve yerel düzeyde yürütülen çalışmaların zaman içerisinde risk yönetimi ve sakinim planlamasına yönelik olacak biçimde önceliklendirildiği görülmüştür.

Bu noktadan hareketle, ilk olarak 2018 yılında Denizli Valiliği İl Afet ve Acil Müdürlüğü tarafından hazırlanan Denizli İl Afet Müdahale Planı ele alınmıştır. Bu plan doğrultusunda tespitler ortaya konulmuştur (AFAD, 2018):

i. Denizli ilindeki meydana gelen afetlerin %55'ini depremlerin, %17'sini heyelanların, %16'sını su baskınlarının, %9'unu kaya düşmelerinin ve %3'nü yangınların oluşturduğu saptanmıştır. Operasyonel bir plan niteliği taşıyan ve mevcut afet risklerinin ortaya konulduğu bu plan çalışmasında, afet öncesi, esnası ve sonrasında afet yönetiminin tüm aşamalarında rol alan ana ve destek çözüm ortağı paydaşların görev, yetki ve sorumlulukları yer almadığı görülmüştür.

ii. Merkez ilçeler olarak nitelendirilen Merkezefendi ilçesi (toplam 35.127 bina ve 152.585 bağımsız birim) ve Pamukkale ilçesinde (toplam 49.359 bina ve 169.254 bağımsız birim) yapılaşmış alan toplam alanın yaklaşık olarak %44'üne denk gelmekte olup, yapılaşmış alanların %33'ünün konut alanlarından oluştuğu ortaya konulmuştur. Olası bir afet durumu göz önünde bulundurularak, il bütünüünde belirlenen toplam 129 adet toplanma alanı (106 adedi merkez ilçelerde, 23 adedi diğer ilçelerde olmak üzere) için ağırlık olarak parklar ve açık alanlar tercih edilmiştir. Ancak mevcut toplanma alanlarının yer seçim kriterleri (nüfus, büyüklük, mekânsal konum, mevcut imar planı kararları, mülkiyet durumu vb.) plan raporunda açıkça ifade edilmemiştir.

iii. İlin depremselliğine ilişkin risk analizlerinin yapıldığı ancak bu analizler sonucunda elde edilen bilgilerin imar planlarını yönlendirici veya kısıtlayıcı herhangi bir değerlendirme sürecinde kullanılıp kullanılmadığı ifade edilmemiştir. Bu durum, İl Afet Müdahale Planı hazırlama aşamasında ve afet müdahale aşamasında ana çözüm ortaklarından olan Çevre ve Şehir Bakanlığı İl Müdürlüğü'nün sürecin içinde bulunmasına karşın afete duyarlı planlama yaklaşımının Denizli İl Afet Müdahale Planı'nda benimsenmediğini açıkça göstermektedir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulguların karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği bir diğer önemli çalışma ise 2021 yılında Denizli Valiliği İl Afet ve Acil Müdürlüğü (AFAD) tarafından hazırlanan Denizli İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) raporudur. Bu çalışma, Risk Azaltma ve Sakinim Planlaması süreçlerinin doğru ve etkin biçimde yürütülmesinin temel gerekçesi olarak ön plana çıkmaktadır. Bu plan doğrultusunda tespitler ortaya konulmuştur (AFAD, 2021):

i. Denizli ilindeki meydana gelen afetler yıkıcı etkileri açısından değerlendirildiğinde, sırasıyla deprem, heyelan, taşkın, kaya düşmeleri, meteorolojik ve iklimsel afetler, endüstriyel kazalar ve yangınlar ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda, il bütünüünde toplam 22 adet gözlem istasyonunun etkinliğinin artırılması, mevcut toplanma alanı sayısının 334'e çıkartılması, barınma alanları sayısının 110 adet olarak belirlenmesi ve yaklaşık %31 olan DASK sigortalılık oranının artırılması için politikalar geliştirilmesi gibi çalışmalar yapılmıştır.

ii. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan afete maruz bölge haritası hazırlanmıştır. Buna göre, merkez ilçelerde Gözler bölgesi, Kale ilçesinde Demirciler ve Tabea kenti bölgeleri, Tavas ilçesinde Deliler ve Ortaköy bölgeleri, Buldan ilçesinde Girne, Narlıdere ve Düzalan bölgeleri, Acıpayam ilçesinde Bademli bölgesi, Babadağ ilçesinde Gündoğdu, Gazi ve Bekirler bölgeleri, Çivril ilçesinde Reşadiye bölgesi ve Honaz ilçesinde Akbaş bölgesi afete maruz bölgeler olarak tespit edilmiştir. Planlama çalışmalarıyla afet riskinin yüksek olduğu bu alanların iskâna yasaklı hale getirilmesi sağlanmıştır.

iii. Deprem, heyelan ve kaya düşmesi gibi afet türleri için il bütününde duyarlılık analizleri yapılmış ve tematik haritalar hazırlanmıştır. Bu analizler sonucunda, Babadağ, Çameli, Buldan ve Çivril ilçelerinde heyelan riskinin yüksek olduğu; pek çok ilçenin (Merkezefendi ve Pamukkale ilçelerinin güney kesimleri, Çameli ilçesi, Acıpayam ilçesi, Çivril ilçesi Akdağ bölgesi, Honaz ilçesi Honaz Dağı çevresi, Güney ilçesinde Büyük Menderes nehrinin vadi yamaçları, Çardak ilçesinin güney kesimleri) kaya düşmesine maruz kalabileceği; deprem duyarlılığı bakımından ise ağırlık olarak merkez ilçeler (Pamukkale ve Merkezefendi ilçeleri) ile ilin kuzeybatı kesiminde yer alan ilçelerin (Sarayköy ve Buldan ilçeleri) riskli bölgeler olduğu ortaya konulmuştur.

Belirlenen 4 afet türüne ilişkin GZFT analizleri yapılmış olup, afet risklerinin azaltılmasına yönelik toplam 4 temel amaç, 17 hedef ve 411 eylem plan kapsamında belirlenmiştir. Plan raporunda özellikle her eylem bazında sorumlu ve destekleyici paydaşlar belirlenmiş, eylemlerin gerçekleştirilmesine yönelik öngörülen takvim ortaya konulmuş ve merkezi – yerel yönetim iş birliğine dayanan bir süreç tariflenmiştir.

Denizli Valiliği İl Afet ve Acil Müdürlüğü (AFAD) tarafından Denizli ili için hazırlanan İRAP kapsamında ortaya konulan tespitler ile çalışmadan elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, ilçeler özelinde afet risklerine yönelik ortaya konulan tespitlerin tutarlılık gösterdiği görülmüştür.

Afet sırası ve sonrasına yönelik kriz yönetim aşamalarının hem ulusal hem de kentsel düzeyde yaşanan afetlerden sonra başarıyla uygulandığı bilinse de afet kültürünün ve farkındalığının tam olarak yerleşmediği ülkemizde risk yönetimi aşamalarının eksik kaldığı açıkça ortadadır. Denizli ili örneğinde ise, ortaya konulan tespitler ışığında, yerel düzeyde yürütülen çalışmaların zaman içerisinde risk yönetimi ve sakınım planlamasına yönelik olacak biçimde önceliklendirildiği görülmüştür. Afet riskinin azaltılmasına yönelik bilimsel bilgiye dayanan bu nitelikteki çalışmaların yaygınlaştırılması ve elde edilen bulguların toplumsal afet bilincinin oluşturulmasına katkı koyacak şekilde kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, dünya genelinde Küresel Risk Endeksi bakımından 191 ülke içerisinde 45. sırada olan ülkemizde (AFAD, 2018) ortalama her iki yılda bir gerçekleşen afetlerin özellikle yoğun nüfus ve yapı stoğunun yer aldığı kentsel alanlarda yol açtığı kayıpların önüne geçebilmek için mikro-bölgeleme çalışmalarının hayati önemi olduğu açıkça ortadadır. Mevcut durumda yapılaşmış olan ve kentsel gelişme dinamiklerine bağlı olarak gelişmeye açılacak alanlarda olası afet risklerinin tespit edilmesine yönelik mekânsal

ve mekânsal olmayan incelemeleri kapsayan mikro-bölgeleme çalışmalarında yere özgü niteliklerin (yerel zemin özellikleri, arazinin jeolojik yapısı, yapılaşma dokusu, vb.) dikkate alınmasıyla olası can, mal ve kentsel doku kayıplarının azaltılması mümkün olabilecektir. Uzmanlık gerektiren bu çalışmalar sayesinde, kentsel gelişme süreçlerinin tetiklediği afet risklerinin önceden tespit edilmesi, mevcut afet risklerine yönelik uygun yer seçimi kriterlerinin belirlenmesi ve oluşturulacak afet senaryolarıyla çeşitli önlemler alınabilmesi söz konusu olabilecektir. Unutulmamalıdır ki, afetler gerçekleşmeden önce risk azaltmaya yönelik gerekli önlemlerin alınması, afetler meydana geldikten sonra oluşabilecek pek çok önemli kaybın önüne geçebilecektir.

Araştırmacıların katkı oranı

Nur Sinem Partigöç: Literatür taraması, Mekânsal Analizler, Makale yazımı, Düzenleme; **Ceyhan Dinçer:** Mekânsal Analizler, Makale yazımı, Düzenleme.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Akar, İ., Uysal, C., & Maktav, D. (2008). Determination of natural disaster by integration of remote sensing and GIS: the Yeniçiftlik stream basin model in Istanbul, Turkey. In Proceeding of the the XXIth ISPRS Congress, Beijin, China, 249-253.
- Arca, D., Çıttiroğlu, H.K., Kutoğlu, H.Ş., Çapar, Ö.F., & Arslanoğlu, M. (2011). Zonguldak Kent Merkezi'nin Topoğrafik ve Jeolojik Açından Afet Risk Analizi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 31 Ekim - 04 Kasım 2011, Antalya, Türkiye.
- Arıncı, K. (1999). Bitlis'te Taşkın ve Sel Felaketi (01-02 Mayıs 1995). Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 25, 101-123.
- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı (2008). Afet İşleri Genel Müdürlüğü (AIGM), Türkiye Deprem Riski Haritası, Ankara.
- Beck, U. (2011). Risk Toplumu: Başka Bir Modernliğe Doğru. Çev. Kazım Özdoğan, Bülent Doğan, İthaki Yayınları, İstanbul, 392s
- Belge, R. (2018). Denizli kent kimliğini oluşturan coğrafi öğeler. Ege Coğrafya Dergisi, 27(2), 167-181.
- Birleşmiş Milletler Afetlerin Azaltılması Sekreteryası (UNISDR) (2009). 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva. <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) (2010). World Disaster Report, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Belgium.
- Değerliyurt, M. (2013). Antakya'da Doğal Afet Risk Analizi ve Yönetimi [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi].

- Demir, A., Kemeç, S., & İlke, F. D. (2022). Afet Riski Değerlendirmelerinde Çoklu Tehlike Analizi 'Erciş, Van Örneği'. *Resilience*, 6(1), 15-38. <https://doi.org/10.32569/resilience.1013912>
- Demir, V., & Keskin, A. Ü. (2022). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellemesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Geomatik*, 7(2), 149-162. <https://doi.org/10.29128/geomatik.918502>
- Demirkesen, A. C. (2012). Multi-risk interpretation of natural hazards for settlements of the Hatay province in the east Mediterranean region, Turkey using SRTM DEM. *Environmental Earth Sciences*, 65, 1895-1907. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1171-0>
- Denizli Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (AFAD) (2021). Denizli İl Afet Risk Azaltma Planı. <https://denizli.afad.gov.tr/kurumlar/denizli.afad/Kurumsal-/Il-Afet-Risk-Azaltma-Planı.pdf>
- Doğan, B. (2016). Afet Riski Nedeniyle Kentsel Dönüşüm Örneği. [Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi].
- DSİ 21. Bölge Müdürlüğü, (2020). <https://bolge21.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1175>
- Duman, N., & İrcan, M. R. (2022). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Tabanında Çankırı Merkez İlçesinin Erozyon Risk Analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 20(1), 220-245. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1074770>
- Ekinci, R. (2018). Bitlis ve Yakın Çevresinin Afet Risk Analizi. [Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi].
- Erdin, H. E., Çelik, H. Z., Aydın, M. B. S., & Partigöç, N. S. (2019). Afet ve Acil Durumlar Sonrası Halkın Toplanma Alanlarına İlişkin Kriterlerin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi Yönteminin Oluşturulması, İzmir Kenti Örneği, AFAD-UDAP Çalışması, Proje No: UDAP-G-16-711 08, Ankara.
- Ergünay, O. (2007). Türkiye'nin afet profili. TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık 2007, Ankara, Türkiye
- Erkal, T., & Değerliyurt, M. (2009). Türkiye'de afet yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164.
- European Environment Agency (EEA) (2012). Urban Adaptation to Climate Change in Europe Challenges and Opportunities for Cities Together with Supportive National and European Policies, Report No: 2/2012, <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>
- Fahjan, Y., Pakdamar, F., Eryılmaz, Y., & Kara, İ. (2015). Afet Planlamasında Deprem Riski Belirsizliklerinin Değerlendirilmesi, Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1 (1-2), 21-39.
- Gökçe, O., Özden, Ş., & Demir, A. (2008). Türkiye'de afetlerin mekânsal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı Raporu, Ankara.
- Hoyois, P., Below, R., Scheuren, J. M., & Guha-Sapir, D. (2007). Annual disaster statistical review: numbers and trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), School of Public Health, Catholic University of Louvain, Brussels, Belgium.
- İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) (2018). Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri. https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/35429/xfiles/turkiye_de_afetler.pdf.
- Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA), İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB). (2002). Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dâhil Afet Önleme/Azaltma Temel Plan" Çalışması", Son Rapor, Cilt V, Eylül 2002
- Kadioğlu, M., & Özdamar, E. (2008). Afet zararlarının azaltmanın temel ilkeleri, JICA Türkiye Ofisi, Ankara, 353s.
- Kara, H. (2011). Denizli şehrinde gecekondulaşmanın önlenmesi ve toplu konutlar. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 15 (23), 103 – 118.
- Karadoğan, S. (2007). Malatya Kenti ve Yakın Çevresi İçin Olası Doğal Riskler ve Afet Yönetimi (GIS ortamında örnek bir uygulama). TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim–2 Kasım 2011, Trabzon, Türkiye.
- Kaya, Y. (2018). İklim değişikliğine karşı kentsel kırılabilirlik: İstanbul için bir değerlendirme. *International Journal of Social Inquiry*, 11(2), 219-257.
- Kızıloğlu, F.M., Okuroğlu, M., & Özüng, İ. (2006). Kırsal yerleşimler ve doğal afetler. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23, 53–58.
- Kotan, B., & Erener, A. (2022). Seasonal analysis and mapping of air pollution (PM10 and SO2) during Covid-19 lockdown in Kocaeli (Türkiye). *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 173-187. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1111699>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2021). Denizli İli İklim Sınıflandırması. <https://www.mgm.gov.tr>
- Nurlu, M. (2015). Afet Yönetiminde Bütünleşik Afet Tehlike Haritaları, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14–16 Ekim 2015, Dokuz Eylül Üniversitesi- İzmir, Türkiye.
- Oğuz, K., Oğuz, E., & Coşkun, M. (2016). Coğrafi bilgi sistemleri ile taşkın risk alanlarının belirlenmesi: Artvin İli Örneği. 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 23 – 25 Kasım 2016, Rize, Türkiye.
- Özcan, O., (2008). Sakarya Nehri Alt Havzası'nın taşkın riski analizinin uzaktan algılama ve CBS ile belirlenmesi. [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Özdemir, H., (2007), Havran Çayı Havzası'nın (Balıkesir) CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle taşkın ve heyelan risk analizi. [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi].
- Özkul, B., & Karaman, E. (2007). Doğal afetler için risk yönetimi. TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık 2007, Ankara, Türkiye.
- Özmen, S. (2010). İstanbul ili yangın riski analizi ve yangın riski haritalarının oluşturulması. [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi].
- Özşahin, E. (2013). Türkiye'de Yaşanmış (1970–2012) Doğal Afetler Üzerine Bir Değerlendirme. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25–27 Eylül 2013, Hatay, Türkiye.

- Özyavuz, M. (2011). Bitki örtüsünün ekolojik şartlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri ile analizi, Ganos (Işıklar) Dağı, Tekirdağ. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 8(2), 37-48.
- Pancar, Z. B. & Gökçe, D. (2022). Hidro - Meteorolojik Karakterli Afet Riski Bulunan Alanlardaki Mevcut Mekânsal Planlama Kararları: Serik (Antalya) Örneği, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(2), 229-245.
<https://doi.org/10.29048/makufebed.1139695>
- Paul, S. (2022). Change detection and future change prediction in Habra I and II block using remote sensing and GIS–A case study. International Journal of Engineering and Geosciences, 7(2), 191-207.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.975222>
- Şanlı, C., & Kara, H. (2019), Determination of Thermal Tourism Potential in Karahayıt, Denizli: A Study on Local Tourists, International Journal of Geography And Geography Education, 266-282
- UN-HABITAT (2012). Developing Local Climate Change Plans a Guide for Cities in Developing Countries. Cities and Climate Change Initiative Tool Series.
<https://www.unclearn.org/resources/library/developing-local-climate-change-plans-a-guide-for-cities-in-developing-countries>
- URL-1: Kahramanmaraş ve Gaziantep depremleri sonrası meydana gelen hasarlar (2023 yılı), <https://www.milliyet.com.tr/galeri/kahramanmaraş-ta-7-4-buyuklugunde-deprem-sonrasi-bolgeden-ilk-goruntuler-6899076>
- URL-2: Ağırlıklı Çakıştırma yöntemi, <https://wiki.netcad.com.tr/pages/viewpage.action?pageId=216255486>
- Yılmaz, O. S. (2023). Frekans oranı yöntemiyle coğrafi bilgi sistemi ortamında heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi: Manisa, Demirci, Tekeler Köyü örneği. Geomatik, 8(1), 42-54.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.1108735>
- 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 GISc technologies. International Journal of Engineering and Geosciences, 8(1), 63-75.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.1052556>



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



GRACE zaman serilerinin gürültü karakteri analizi

Özge Güneş*¹, Cüneyt Aydın¹

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ozgeg@yildiz.edu.tr; caydin@yildiz.edu.tr

Kaynak Göster: Güneş, Ö., & Aydın, C. (2024). GRACE zaman serilerinin gürültü karakteri analizi. Geomatik, 9 (1), 45-53

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1307208>

Anahtar Kelimeler

GRACE
Renkli Gürültü
Zamansal Korelasyon
Stokastik Model
Welch Yöntemi

Araştırma Makalesi

Geliş: 07.07.2023
Revize: 22.08.2023
Kabul: 30.08.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

GRACE uydu sistemi 2002'den beri toplam su bütçesi değişimlerinin küresel ölçekte izlenmesine olanak sağlamaktadır. Eşdeğer su kütlesi değişimi cinsinden ifade edilen toplam su bütçesi zaman serilerinin analizinde trend ve mevsimsel sinyalleri içeren fonksiyonel model olan harmonik regresyon yaklaşımı kullanılır. Bu modelde gözlemlerin eşit ağırlıklı ve korelasyonsuz olduğu varsayılmaktadır. Yani, stokastik modelin sadece beyaz gürültüden oluştuğu kabul edilir. Ancak, zaman serisi spektral anlamda analiz edildiğinde zamansal korelasyonların var olduğu ve renkli gürültüyü meydana getirdiği görülmektedir. Bu çalışmada, söz konusu bu gürültüye ilişkin spektral güç yoğunluk değerleri 2002-2022 periyodunu kapsayan, aylık örnekleme Goddard Space Flight Center mascon veri seti kullanılarak analiz edilmiştir. Toplam su bütçesi değişimi zaman serilerinde negatif spektral indekse sahip renkli gürültü yapısı görülmüştür. Küresel ölçekte gerçekleştirilen analizlerde karasal alanları temsil eden mascon (mass concentration) zaman serilerinde kırpışma gürültüsüne benzer özellikte kesirli Brownian güç spektrumunda tanımlı renkli gürültü olduğu ortaya çıkarılmıştır. Aynı zamanda küresel aylık harmonik katsayılarından filtrelenerek üretilen DDK (Decorrelation Filter) veri seti ile de çalışılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Analysis of GRACE time series noise characteristics

Keywords

GRACE
Colored Noise
Temporal Correlation
Stochastic Model
Welch Method

Research Article

Received: 07.07.2023
Revised: 22.08.2023
Accepted: 30.08.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

Total water storage variations have been monitored using the GRACE satellite system since its launch in 2002. In the analysis of total water storage time series, which are defined in terms of equivalent water thickness, the harmonic regression method, a functional model incorporating trend and seasonal signals, is used. In this model, the observations are presumed to be equally weighted and uncorrelated. In other words, only white noise is included in the stochastic model. However, a spectrum analysis of the time series reveals temporal correlations, which result in colored noise. In this study, the power spectral of these colored noise characteristics is examined using the Goddard Space Flight Center mascon dataset with monthly sampling from 2002 to 2022. The total water storage change time series shows a colored noise pattern with a negative spectral index. In global analyses, it has been shown that the mascon (mass concentration) time series representing terrestrial regions has a characteristic of colored noise defined in the fractional Brownian power spectrum, which is similar to flicker noise. Furthermore, the DDK (Decorrelation Filter) dataset, which is derived from monthly spherical harmonic coefficients, is also used, and similar results are obtained.

1. Giriş

Günümüzde değişen iklim koşulları ve küresel ısınmanın etkilerinin artmasıyla su kütlesi değişimlerinin analizi çalışmaları bilimsel olarak önemli bir yer tutmaktadır. 2002'den bugüne, GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) ve onun devamı olan GRACE-FO (GRACE-Follow On), küresel ve bölgesel ölçeklerde toplam su bütçesi (TSB) değişimini izlemek için kullanılmaktadır. GRACE uydu sistemi karalarda, okyanuslarda ve özellikle buzullarda hidrolojik değişimlere karşı duyarlı gözlemler sağlamaktadır (Humphrey ve ark., 2016; Rodell ve ark., 2018; Tapley ve ark., 2019).

GRACE TSB zaman serilerinin analizinde doğrusal trend ve mevsimsel sinyalleri içeren fonksiyonel model kullanılmaktadır (Schmidt ve ark., 2008; Steffen ve ark., 2009). Gözlemlerin eşit ağırlıklı ve korelasyonsuz kabul edildiği bu analizde stokastik model veri setinde yalnızca beyaz gürültü olduğu varsayımı üzerine kurulmaktadır (Williams ve ark., 2014). Ancak günümüzde jeodezik zaman serilerinin zamansal korelasyondan kaynaklanan renkli gürültüye sahip olduğu bilinmektedir. Renkli gürültü, zaman serisindeki değerlerin zamana bağlı olarak korelasyonlu olmasına neden olur. Bu nedenle zaman serilerinde renkli gürültü, zamansal korelasyonlu gürültü olarak da adlandırılır. Spektral indeksin değerine göre beyaz gürültü, kırpışma gürültüsü, rasgele yürüyüş gürültüsü, mavi gürültü ve gri gürültü gibi renkli gürültü türleri zaman serilerinde yer almaktadır. Örneğin, beyaz gürültü farklı frekanslarda sabit bir spektral yoğunluğa sahipken; kırpışma gürültüsü belirli bir frekans aralığında gürültü frekansıyla ters orantılı olarak değişen bir spektral yoğunluk fonksiyonuna sahiptir. Benzer şekilde, rasgele yürüyüş gürültüsü de belirli bir frekans aralığında, gürültü frekansının karesiyle ters orantılı olarak değişen bir spektral yoğunluk fonksiyonuna sahiptir. Bu bağlamda, beyaz gürültü frekans alanında belirgin bir eğilim göstermeyen bir spektral yoğunluğa sahipken; renkli gürültü türleri, beyaz gürültüden farklı olarak ilgili frekans aralığında belirgin bir eğime sahiptir.

Birçok jeodezik zaman serisinde, bu renkli gürültü türlerinden kırpışma ve rasgele yürüyüş gürültüsü beyaz gürültüyle birlikte yer almaktadır (Williams, 2003). Kırpışma gürültüsünün, güneş lekeleri değişiminden, yer dönme parametrelerindeki düzensizliklerden, atomik saat zaman hatalarından rasgele yürüyüş gürültüsünün ise lokal nokta hareketlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunların yanı sıra iklim ve deniz seviyesi değişimleri, yer kabuğu hareketleri gibi jeofiziksel süreçlerin de jeodezik zaman serilerinde renkli gürültü yapısına katkı sağladığı söylenebilmektedir (Gardner, 1978; Mandelbrot, 1983; Williams, 2003; Amiri-Simkooei ve ark., 2007; Williams ve ark., 2014).

Bu kapsamda GNSS (Global Navigation Satellite Systems) zaman serilerinde zamansal korelasyonları ve renkli gürültü yapısını dikkate alan pek çok çalışma literatüre kazandırılmıştır (Williams, 2003; Amiri-Simkooei ve ark., 2007; Santamaria-Gomez ve ark., 2011; Bos ve ark., 2014; Bogusz ve Klos, 2016; Langbein, 2017; Başçiftçi, 2021; Aydın ve ark., 2021). Mao ve ark. (1999), küresel olarak dağılmış 23 noktadan oluşan bir GPS

(Global Positioning System) ağında 3 yıldan oluşan veri setine spektral analiz uygulamıştır. Zaman serilerinin beyaz gürültünün yanı sıra kırpışma gürültüsü içerdiğini göstermiş ve buna uygun bir stokastik yapı kurmuştur. Santamaria-Gomez ve ark. (2011), beyaz gürültü ile güç yasası spektrumunda yer alan renkli gürültü modeli kombinasyonunun GNSS zaman serilerinin stokastik davranışının sadece beyaz gürültüye oranla daha iyi şekilde tanımladığını göstermiştir. Langbein (2012), literatürdeki diğer çalışmalara bir katkı olarak, beyaz gürültü ve güç yasası spektrumunda yer alan renkli gürültü kombinasyonu kullanıldığında, tahmin edilen belirsizliklerin yalnızca beyaz gürültüden oluşan bir modele göre daha gerçekçi bir şekilde elde edilebileceğini öne sürmüştür. GNSS çalışmalarının yanı sıra, Bos ve ark. (2014), renkli gürültünün deniz seviyesi zaman serilerindeki etkilerini incelemiştir. Diğer çalışmalara benzer olarak renkli gürültü yapısının dikkate alınmadığı durumda, doğrusal trend belirsizliğinin 1,5-2 kat daha az tahmin edildiğini göstermişlerdir. Belirtildiği gibi, pek çok jeodezik zaman serilerinde zamansal korelasyonlar incelenmiştir. Ancak diğer jeodezik zaman serilerinin aksine GRACE zaman serilerinde zamansal korelasyonlara daha az odaklanılmıştır. Williams ve ark. (2014), Guo ve ark. (2018) King ve Watson (2020) ile Gunes ve Aydin (2022), GRACE zaman serilerinde zamansal korelasyonlardan bahseden sınırlı sayıda çalışmalardandır.

GRACE zaman serilerinde gerçekleştirilen çalışmaların öncülerinden biri olan Williams ve ark. (2014)'te renkli gürültü yapısının etkilerini Antarktika'daki toplam su bütçesi değişimi zaman serileri üzerinden araştırmıştır. Doğrusal trendin yanı sıra modele ivme parametresi de eklenmiştir. Zaman serilerinde kırpışma gürültüsünden rasgele yürüyüş gürültüsüne doğru değişen bir aralıkta renkli gürültü varlığı tespit edilmiştir. Daha sonrasında ise bu gürültü türlerinin parametre kestirimi üzerindeki etkileri otokorelasyon modellerinden olan AR(1) modeli kullanarak incelenmiştir. Analizlerin Antarktika bölgesine ait zaman serilerine uygulandığını ancak diğer bölgeler için de benzer zamansal korelasyonların ve gürültü yapısının var olduğunu vurgulamışlardır. Literatürde 2020'li yıllara kadar bu konu ile ilgili katkı veren çalışmalar pek yer almamıştır. King ve Watson (2020) Antarktika özelinde bir çalışma yapmış ve RACMO2.3p2 iklim modelinden türetilen kütle değişimi zaman serilerinde zamansal korelasyonların dikkate alındığı otoregresif modellerden AR modeli kullanarak, trend parametresinin belirsizliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Söz konusu çalışmada, renkli gürültü karakteri ayrıca incelenmemiştir. Bu amaçla, bu çalışmada GSFC (Goddard Space Flight Center) veri merkezi tarafından yayımlanan mascon (mass concentration) çözümleri kullanılarak, GRACE gözlemlerinden türetilen toplam su bütçesi değişimi zaman serilerinde gürültü karakteri 2002-2017 ve 2002-2022 periyodu için analiz edilmiştir. Sonuçlar küresel harmonik katsayılarından elde edilen DDK (Decorrelation Filter) zaman serileri ile de karşılaştırılmıştır. DDK zaman serileri GRACE Seviye-2 ürünü olan aylık küresel harmonik katsayılarından hesaplanan filtrelenmiş bir veri setidir ve toplam su kütlesi değişimini temsil etmektedir.

Veri setinin filtreleme adımları ve kullanılan algoritmalar Kusche ve ark. (2009)'da açıklanmaktadır. DDK filtrelemesi ile kuzey-güney yönlü şerit hatalarının büyük bir kısmı giderilirken, hidrolojik sinyalin korunması da amaçlanmaktadır. DDK zaman serileri DDK1'den DDK8'e kadar farklı filtre yarıçaplarıyla farklı mekânsal çözünürlüklerde üretilebilir. Örneğin DDK1 filtresi 530 km, DDK2 340 km ve DDK3 240 km yarıçaplı Gauss filtresine eşdeğer bir mekânsal çözünürlüğe sahipken (Flechtner ve ark., 2014); DDK5 ve DDK7 filtrelerinin sırasıyla yaklaşık 180 km ve 145 km yarıçaplı Gauss filtresine eşdeğer olduğu bilinmektedir (Gauer ve ark., 2023). Çalışma, veri setinin ve renkli gürültünün analizinde uygulanan adımların verildiği Materyal ve Yöntem; analiz sonuçlarının tartışıldığı Bulgular ile devam etmekte ve Sonuçlar bölümü ile tamamlanmaktadır.

2. Yöntem ve Veri Seti

GRACE ve devamı olan GRACE-FO uydusu sistemi 2002'den günümüze küresel ölçekte TSB değişimini yaklaşık 300 km'lik bir uzamsal çözünürlükle izlemektedir. GRACE uydusu görevini 2017 yılında tamamlamış olup, 2018'den beri de GRACE-FO uydusu veri sağlamaktadır. Her iki uydusu sisteminin tasarımı benzerdir ve çalışma prensipleri Dünya yörüngesindeki iki ikiz uydusu arasındaki mesafe değişikliklerini (K-Band Ranging, KBR) ölçmek üzerine kurulmuştur (Tapley ve ark., 2019). GRACE uydusu sistemlerinden elde edilen gözlemler hidrolojik olaylara ve bunların ilgili zamansal değişimlere karşı yüksek hassasiyet sağlar. Böylece yeraltı suyu, yüzey suyu, kar ve buzullardan gelen su kütlesi dahil olmak üzere karasal hidrosferdeki toplam su kütlesinin varyasyonlarını kapsayan TSB değişimleri izlenebilmektedir. Bu gözlemler, Seviye-0'dan Seviye 4'e, farklı şekillerde yayınlanmaktadır. Aylık küresel harmonik katsayılarından üretilen DDK çözümleri Seviye-2 verilerinin, mascon ise Seviye-3 verilerinin en son versiyonudur. Mascon çözümleri, gridler, havzalar ya da bölgelere göre filtrelenmiş, düzeltilmiş ve kullanıma hazır TSB değişimleri veri seti olarak sunulmaktadır (Luthcke ve ark., 2013; Loomis ve ark., 2019).

TSB değişimi, gözlem zamanı t 'ye bağlı jeopotansiyel bir fonksiyondur. Eşdeğer su kütlesi değişimi cinsinden (cm) ifade edilen TSB zaman serilerinin analizinde trend ve periyodik sinyalleri içeren standart bir fonksiyonel model kullanılmaktadır (Eşitlik 1):

$$y(t_j) + e_j = a + bt_j + \sum_{i=1}^2 \{c_i \cos(\omega_i t_j) + s_i \sin(\omega_i t_j)\} \quad (1)$$

Burada, y , TSB değişimleri olmak üzere, a , sıfır eki; b , yıllık trend; c ve s ilgili sinüs sinyalinin kosinüs ve sinüs genlikleri, e modelin toplam hatası ve ω , sinüzoidal sinyalin açısal frekansıdır. T periyoduna göre, $\omega = 2\pi/T$ şeklinde tanımlanmaktadır. En küçük kareler kestirimi ile yapılan çözümler sayesinde toplam su bütçesindeki meydana gelen kütle değişiminin doğrusal trendi, yani yıllık artma ve azalma miktarları belirlenebilmektedir.

Eşitlik (1)'den en küçük kareler yöntemine göre çözüm aşağıdaki biçimde gerçekleştirilir (Eşitlik 2-5):

$$\begin{pmatrix} \vdots \\ \Delta y(t_j) \\ \vdots \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \vdots \\ e(t_j) \\ \vdots \end{pmatrix} = \mathbf{A} \mathbf{x} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} \vdots \\ 1 & t_j & \cos(\omega_1 t_j) & \sin(\omega_1 t_j) & \cos(\omega_2 t_j) & \sin(\omega_2 t_j) \\ \vdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c_1 \\ s_1 \\ c_2 \\ s_2 \end{pmatrix} = \mathbf{A} \mathbf{x} \quad (3)$$

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{y} \quad (4)$$

$$\mathbf{e} = \mathbf{y} - \mathbf{A} \mathbf{x} \quad (5)$$

Burada, \mathbf{A} , katsayılar matrisi; \mathbf{x} , bilinmeyenler vektörü ve \mathbf{P} , TSB değişimlerinin ağırlık matrisidir. Literatürde, doğrusal trend ile mevsimsel sinyalleri içeren bu model, standart harmonik regresyon yaklaşımı olarak anılmaktadır. Dahası, TSB değişimlerinin korelasyonsuz ve birim ağırlıklı olduğu kabul edilir ($P=I$). Ancak, jeodezik zaman serilerinde gözlemler arasında zamana bağlı korelasyonların olduğu ve bu korelasyonların renkli gürültüyü meydana getirdiği bilinmektedir. Bu korelasyonların ihmal edilmesi, zaman serisinden elde edilen kestirim sonuçlarını, özellikle de standart sapmaları etkileyebilmektedir. Bu nedenle, trend parametresinin anlamlılığı istatistiksel olarak değişmekte olup, su potansiyeli bakımından yapılacak değerlendirmelerin güven aralıklarına ilişkin yorumlamalar da değişebilmektedir.

Burada önemli olan, zamana bağlı korelasyonların varlığının araştırılması ve gerekli ise ölçülerin uygun şekilde ağırlıklandırılmasıdır. Bir zaman serisindeki gürültü karakteristiğinin belirlenmesi için, zaman serisi spektral anlamda analiz edilmelidir. Spektral analiz, frekans etki alanının diğer bir deyişle spektral yoğunluk (power spectral density, PSD) fonksiyonunun incelenmesi olarak ele alınmaktadır (Chatfield, 2003; Brockwell ve Davis 2016). Yani, ilgili frekans alanında verinin sadece beyaz gürültü ile yüklü olmadığı, renkli ya da güç yasası gürültüsü (colored noise-power law noise) olarak adlandırılan farklı spektral indekse sahip gürültü türleri ile yüklü olduğu da düşünülmelidir. Periodogram, Lomb-Scargle ve Welch yöntemleri zaman serisini spektral açıdan analiz etmek amacıyla kullanılan yöntemlerden birkaçıdır.

Zamana bağlı olarak sistemi etkileyen gürültü türleri, güç yasası eşitliğine göre, güç spektrumuna sahiptir (Welch, 1967; Mandelbrot ve Van Ness, 1968; Agnew, 1992). Burada, κ , spektral indeks; P_0 ve f_0 , normalizasyon sabitleri ve L_0 , oldukça yavaş değişen sabit bir fonksiyondur. Spektral indeksin değerine göre, $\kappa=0$ beyaz gürültü (white noise, WN); $\kappa=-1$ kırpışma

gürültüsü (flicker noise, FN) ve $\kappa=-2$ rasgele yürüyüş gürültüsü (random walk noise, RWN) olarak tanımlanmıştır. Ayrıca tam sayılı gürültü türlerinin dışında $-3 < \kappa < -1$ aralığında olanlar kesirli Brownian hareketi (fractional Brownian motion), $-1 < \kappa < 1$ aralığında olanlar kesirli beyaz gürültü hareketi (fractional Gaussian noises) olarak adlandırılır (Eşitlik 6).

$$PSD(f) = P_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^\kappa = L_0 f^\kappa \quad (6)$$

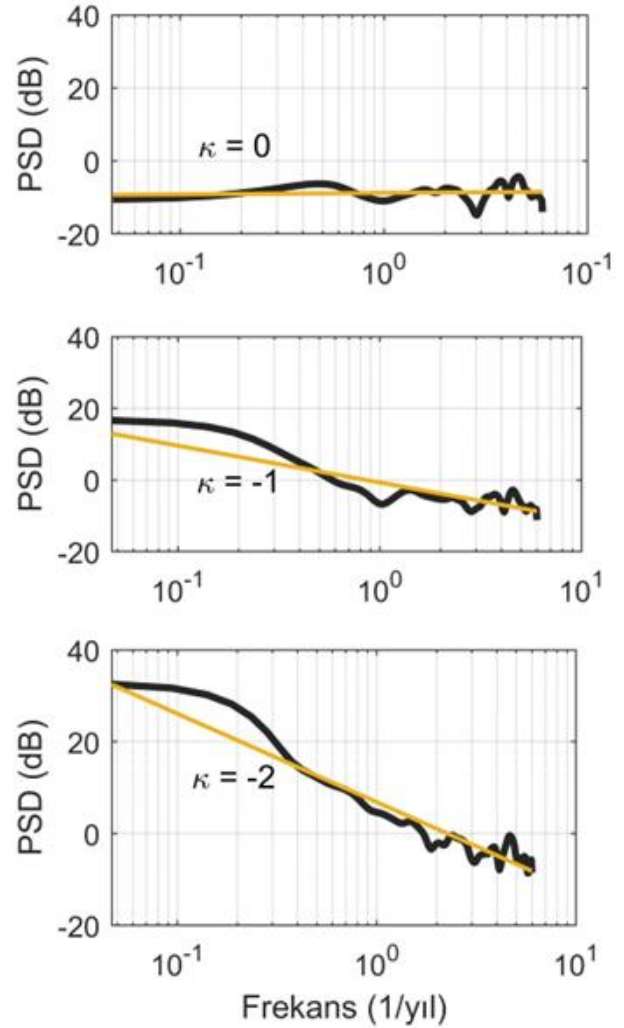
Bir sinyaldeki gürültünün belirlenmesi için, spektral analiz yöntemleriyle elde edilen PSD değerleri desibel (dB) birimine, $10\log(PSD)$ fonksiyonuyla dönüştürülür. Böylece, Eşitlik 3'te verilen PSD, dB biriminde ifade edilebilir (Eşitlik 7):

$$10\log(PSD) = 10\log(L_0) + 10\kappa\log(f) \quad (7)$$

Bu fonksiyon basit bir doğrusal fonksiyon olarak ($a+bx$ gibi) ele alındığında, en küçük kareler kestirimi ile spektral indeks elde edilir. Bu nedenle periyodogramda frekansın doğal logaritmasına karşılık dB birimindeki PSD değerleri çizdirilirse (oluşan grafik log-log grafiği olarak adlandırılmaktadır), ortaya çıkan eğrinin eğimi spektral indeksine karşılık gelir ve gürültünün türü güç spektrumunda tanımlanabilir. Veri setine ait log-log PSD-frekans grafikleri çizdirildiğinde grafiğin eğimi en temel anlamda verinin yüklü olduğu hata türü ile ilgili bilgi sunmaktadır. Sadece beyaz gürültü bulunan veri setlerinin log-log grafiklerinde eğim gözlenmez; bu nedenle spektral indeks $\kappa=0$ olarak tanımlanır. Negatif yönlü eğimli log-log grafikleri ise zaman serisinin kesirli Brownian hareketi spektrumuna sahip olduğunu veya bu aralıktaki bilinen tam sayılı bir gürültü türünü (örneğin kırpışma gürültüsü, rasgele yürüyüş gürültüsü gibi) işaret edebilir. Gürültü türlerinin güç spektrumlarını açıklamak amacıyla, Şekil 1'de beyaz gürültü, kırpışma gürültüsü ve rasgele yürüyüş gürültüsünü içeren, aylık örnekleme ve 20 yıllık periyoda sahip rasgele oluşturulmuş zaman serilerinin log-log grafikleri sunulmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü üzere; $\kappa=0$, yani sadece beyaz gürültü içeren bir zaman serisinin log-log grafiği incelendiğinde, herhangi bir eğim belirgin değildir. Ancak, kırpışma ve rasgele yürüyüş gürültüsü gibi kesirli Brownian spektrumunda yer alan farklı türde gürültülerin bulunduğu zaman serisinde, negatif yönlü bir eğim gözlenir. Beklenildiği üzere, rasgele yürüyüş gürültüsünün eğiminin kırpışma gürültüsünden daha yüksek olduğu Şekil 1'de görülmektedir.

Bu çalışmada GRACE TSB zaman serilerinde renkli gürültü karakterinin analizi için 2002-2022 (Nisan 2002-Aralık 2021) periyoduna sahip, aylık örnekleme RL06v02 GSFC mascon veri seti kullanılmıştır. Dünya üzerinde karasal alanları temsil eden 13028 mascon zaman serisi ile analizler gerçekleştirilmiştir. GSFC mascon çözümleri, 1x1 derecelik gridler ya da havzalara göre türetilen zaman serilerini içerir. Bu mascon çözümleri, GGM05C arka plan statik alanı kaldırılarak üretilir (Ries ve ark., 2016). Yermerkezi ile ilgili

parametre düzeltmesi yapılır ve C20, C30 katsayıları değiştirilir (Loomis ve ark., 2020; Sun ve ark., 2016). Atmosfer ve okyanus yumuşatma etkileri, Dobslaw ve ark. (2017)'ye göre ortadan kaldırılır. Ayrıca, Buzul Çağı Sonrası (GIA) etkisi, ICE-6G_D modeli (Peltier ve ark., 2015) kullanılarak düzeltilir. Loomis ve ark. (2019)'da veri setinin güven aralığı yani belirsizlik durumuyla ilgili bilgi sunan hata ve sızıntı (bias) etkileri de detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Sonuç olarak, TSB 2004.0-2010.0 zaman aralığındaki ortalama kaldırıldıktan sonra TSB değişimleri zaman serisi olarak yayınlanır. Arka planda uygulanan modeller ve açıklamalar ile ilgili ayrıntılı bilgilerin en güncel hali Loomis ve ark. (2019)'da verilmektedir.



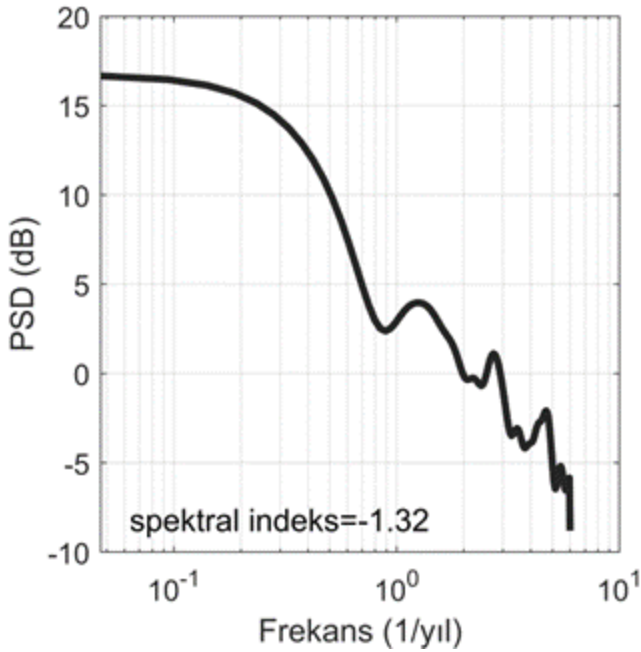
Şekil 1. Beyaz gürültü ($\kappa=0$), kırpışma gürültüsü ($\kappa=-1$) ve rasgele yürüyüş gürültüsü ($\kappa=-2$) yüklü zaman serilerinin PSD-Frekans grafiği (Siyah çizgi, Welch yöntemiyle hesaplanan periyodogramı temsil ederken; sarı çizgi, ilgili gürültü modelini yansıtmaktadır.)

3. Bulgular

GRACE mascon TSB zaman serilerinde gürültü karakterinin zamana bağlı değişimini incelemek için hem GRACE periyodu olarak adlandırılan "2002-2017" hem de GRACE+GRACE-FO periyodu olan "2002-2022" zaman aralığı ayrı ayrı ele alınmıştır. Buna ek olarak, zamansal korelasyonların mascon çözümlerinden bağımsız olduğunu incelemek amacıyla Seviye-2 verileri olan aylık

küresel harmonik katsayılarından hesaplanan ve DDK5 filtresi uygulanmış veri seti de analizlere dahil edilmiştir.

Öncelikle, Eşitlik 1 ve 2’de özetlendiği şekilde modelleme yapılarak en küçük kareler yöntemiyle zaman serilerine ilişkin düzeltmeler (-e) elde edilmiştir. Bu düzeltmeler yardımıyla, PSD-frekans grafikleri (log-log grafiği) Welch yöntemi kullanılarak tüm zaman serileri için oluşturulmuştur (Şekil 2). Elde edilen spektral yoğunluk ve frekans değerleri Eşitlik 4’te yerine konulmuş ve spektral indeks (κ) değerleri kestirilmiştir. Çalışma bölgesinden rasgele seçilen bir mascon zaman serisi için log-log grafiği örneği Şekil 2’de sunulmuştur. Bu grafik incelendiğinde zaman serisinin negatif yönlü bir eğime sahip olduğu görülürken; spektral indeks değeri spektral yoğunluk ve frekans değerleri kullanılarak -1.32 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Rasgele seçilen mascon hüresine (enlem: 53o, boylam:22,5o) ait PSD-Frekans grafiği

Masconların 2002-2017 zaman aralığı için elde edilen spektral indekslerine ilişkin istatistikler Tablo 1’de özetlenmiştir. Bu istatistik sonuçlarına göre, zaman serilerinin %59’u, yani büyük bir çoğunluğu, -1 ile -1,5 arasında spektral indeks değerine sahip renkli gürültü özelliği göstermektedir. %28’i beyaz gürültü ve kırpışma gürültüsüne, %13’ü ise rasgele yürüyüş gürültüsüne yakın olan bir özellik sergilemektedir. Son gruptaki mascon gridlerinden yalnızca 20 adedi için -2’den daha yüksek spektral indeks edilmiştir ki, bu da toplam mascon sayısının %0,12’sine karşılık gelmektedir. Tüm zaman serileri için $-1,18 \pm 0,30$ ortalama değeri bulunmuştur. Bu nedenle, TSB zaman serilerinin genel olarak kırpışma gürültüsüne yakın bir gürültüye sahip olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1. Mascon TSB zaman serilerinden kestirilen spektral indekslerin dağılımı (2002-2017 periyodu).

Spektral indeks	Mascon sayısı	Yüzdesi (%)
0 ile -1 arasında	3631	28
-1 ile -1,5 arasında	7639	59
<-1,5	1758	13

2002-2017 ve 2002-2022 zaman aralıkları için mascon gridlerindeki spektral indeks değerleri Şekil 3’teki global haritalarda gösterilmektedir. Şekil 3’te, kırmızı ile temsil edilen alanlar rasgele yürüyüş gürültüsüne karşılık gelen yerleri, sarı ise kırpışma gürültüsüne karşılık gelen yerleri göstermektedir. Yeşil-mavi tonlarına sahip olan yerler ise beyaz gürültüye en yakın olan yerlerdir. Şekil 3a (ya da Şekil 3b) daha ayrıntılı incelendiğinde, büyük nehirlerin geçtiği bölgelerde -2’ye yakın spektral indeksli renkli gürültünün yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer taraftan, su aktivitesinin az olduğu kuzey Afrika bölgesinde ve Arap yarımadasında spektral indeks -0,5 civarındadır. Kutup bölgeleri incelendiğinde ise, buzul kütle erimesinin yoğun olduğu Batı Antarktika ve Antarktik yarımadası ile kuzeyde Grönland kıyılarında spektral indekslerin kırpışma gürültüsünden rasgele yürüyüş gürültüsüne doğru bir spektrumda yer aldığı görülmektedir. Bu sonuçlar TSB’deki gürültü karakterinin su döngüsünün yoğunluğuna ve değişkenliğine bağlı olduğunu göstermektedir.

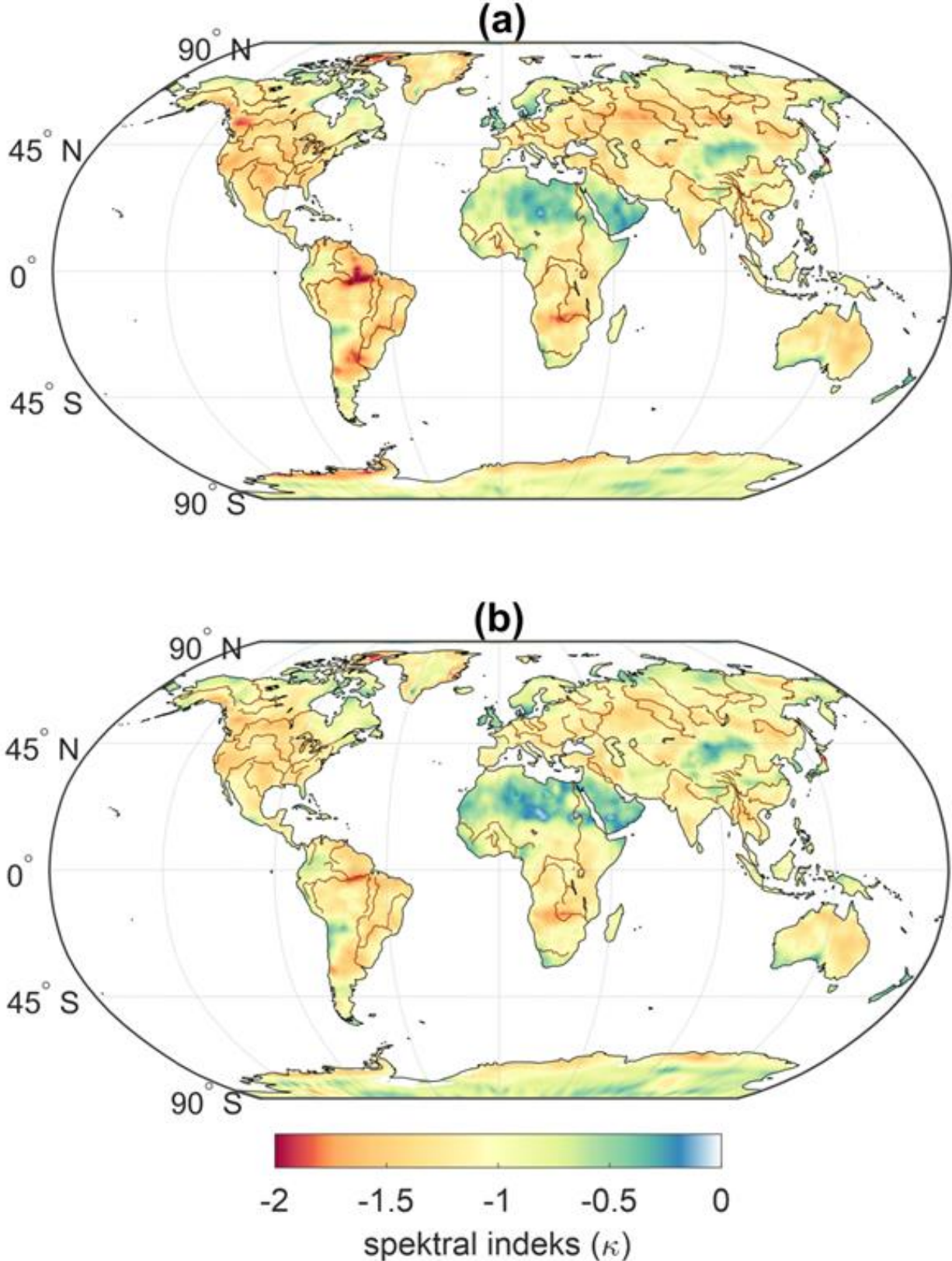
Gürültü karakterinin zamana bağlı nasıl değiştiğini incelemek amacıyla 2002-2022 yıllarını içeren tüm periyotlar için yukarıdaki analizler tekrarlanmış; sonuçlar Şekil 3b’de gösterilmiştir. Spektral indeks değerlerinin -2 ile 0 arasında değiştiği, kutup bölgelerinin kıyı kesimlerinde ve büyük nehirlerin olduğu bölgelerde 2002-2017 periyoduna benzer şekilde ortalama -1,5 değerlerine ulaştığı görülmüştür. Yaklaşık 20 yıllık bu zaman serileri için ortalama spektral indeks değeri $-1 \pm 0,32$ olarak hesaplanmıştır. 2002-2017 GRACE periyodu için elde edilen sonuçlar $(-1,18 \pm 0,30)$ ile karşılaştırıldığında, sonuçların benzer olduğu ancak, zaman serisinin uzunluğu arttıkça gürültünün bilinen tam sayılı gürültü türlerinden kırpışma gürültüsüne biraz daha yaklaştığı görülmektedir. Bu durum, renkli gürültünün zamansal olarak korelasyonlu olduğunu desteklerken, 2017 ile 2022 yılları arasında gerçekleşen hidrolojik ya da iklimsel olayların gürültü karakterini etkilediği düşünülmektedir.

Renkli gürültü karakterinin yalnızca mascon çözümlerine özgü olup olmadığını incelemek için, yukarıdaki analizler DDK veri seti için tekrarlanmıştır. Bu amaçla, nehir havzalarında CSR (Center for Space Research), GFZ (GeoForschung Zentrum) ve JPL (Jet Propulsion Laboratory) veri merkezlerinden temin edilen aylık küresel harmonik katsayıların filtrelenmesiyle oluşturulan DDK5 çözümleri kullanılmıştır (Zaman serileri CNES/GRGS tarafından yönetilen GRACE plotter sayfasından (thegraceplotter.com) elde edilmiştir).

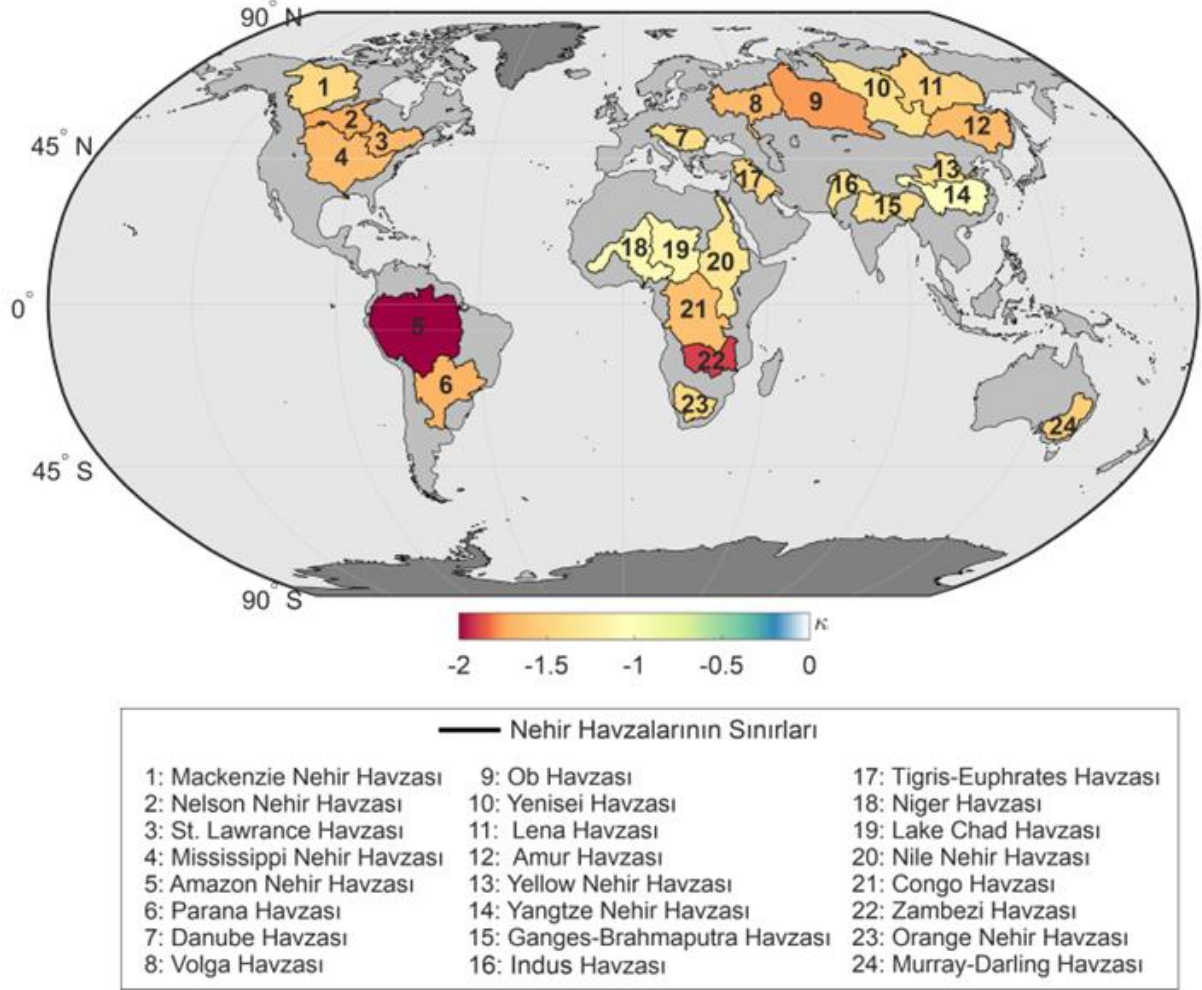
Büyük nehir havzalarının TSB zaman serileri hem GSFC mascon çözümleri hem de DDK5 çözümleri için kullanıcılara doğrudan sunulmaktadır. Böylece Şekil 4’te verilen büyük nehir havzalarına ait zaman serileri ile analizler yapılmış ve mascon çözümlerine ait TSB gürültü karakteri ayrıca gösterilmiştir. Şekil 4’te görüldüğü üzere, büyük nehir havzalarında spektral indeks değerleri -1 ile -2 arasında yer almakta olup; 5 ve 22 no’lu Amazon Nehir ve Zambezi havzalarında rasgele yürüyüş gürültüsüne benzer özellik gözlenmektedir. Bu havzaların yoğun şekilde su aktivitesine maruz kaldığı bilinmektedir. Şekil 4’teki büyük nehir havzalarının

spektral indeksleri, CSR, GFZ ve JPL veri merkezlerine ait DDK5 TSB zaman serileri kullanılarak 2002-2017 zaman aralığında hesaplanmıştır. Havzaların spektral indekslerinin ortalamaları CSR, GFZ ve JPL için sırasıyla, $-1,27 \pm 0,28$; $-1,19 \pm 0,25$ ve $-1,15 \pm 0,27$ şeklinde elde edilmiştir. 2002-2022 periyodunda ise bu değerler sırasıyla $-1,33 \pm 0,28$; $-1,22 \pm 0,29$; $-1,27 \pm 0,28$ olarak kestirilmiştir. Farklı veri merkezlerine ait zaman

serilerinden elde edilen ortalamalar mascon çözümlerinden elde edilen sonuçlar ile benzerdir; oluşan küçük farkların, veri işleme stratejilerindeki farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Böylece, renkli gürültünün yalnızca mascon çözümlerine özgü olmadığı, GRACE sinyalinin kendisinden ileri geldiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3. (a) 2002-2017 ve (b) 2002-2022 yılları arasında mascon TSB değişimi zaman serileri spektral indeks değerleri (kahverengi çizgiler ana nehirleri göstermektedir).



Şekil 4. Büyük nehir havzalarında mascon TSB değişimi zaman serileri spektral indeks değerleri (2002-2017).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, GRACE TSB değişimi zaman serilerinin gürültü karakteri analiz edilmiştir. GSFC mascon çözümlerinin kullanıldığı analizlerde karasal alanları temsil eden mascon hücreleri ele alınmıştır. PSD-frekans grafikleri incelendiğinde zaman serilerinin negatif yönlü bir eğime sahip olduğu; kestirilen spektral indekslerin büyük bir çoğunluğunun -1 ile -1,5 arasında değiştiği, ortalama olarak -1 değerine yakın olduğu belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, TSB değişimi zaman serilerinin genel olarak kırpışma gürültüsüne benzer bir renkli gürültü ile yüklü olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Seviye-2 verisi olan DDK çözümleri ile de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Zaman serisindeki renkli gürültünün trend ve genlik gibi fonksiyonel model parametrelerinin standart sapmalarını etkilediği, modelde dikkate alınmaması neticesinde olması gerekenden daha küçük standart sapmaların elde edildiği bilinmektedir. Bu nedenle, GRACE zaman serilerinin analizinde söz konusu gürültü türlerinin dikkate alınması gerekmektedir; su kütlesi değişimleri için doğru bir istatistiki değerlendirmenin yapılabilmesi buna bağlıdır.

Spektral indekslerin sıfırdan yani beyaz gürültüden farklılaştığı bölgeler, büyük nehirlerin geçtiği yerler, havzalar ve de kutup bölgeleri kıyılarıdır. Su çevriminin az olduğu kuzey Afrika ve Arap yarımadasında ise neredeyse beyaz gürültü özelliğine sahip su bütçesi

zaman serileri gözlenmektedir. Her iki durum, GRACE su bütçesindeki renkli gürültü yoğunluğu ile su çevriminin yoğunluğu ve değişkenliği arasında ciddi bir korelasyon olduğunu göstermektedir. İlerideki çalışmalarda bu korelasyon özelinde incelemeler yapılacaktır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Yazarlar, GRACE mascon zaman serisini sağlayan NASA, GSFC veri merkezine ve DDK verisini sağlayan CNES/GRGS servisine teşekkür eder. Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2021-4341 proje numarası ile desteklenmiştir.

Araştırmacıların katkı oranı

Özge Güneş: Analiz, Makale yazımı, Düzenleme, **Cüneyt Aydın:** Makale yazımı, Düzenleme.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Agnew, D. C. (1992). The time-domain behavior of power-law noises. *Geophysical Research Letters*, 19(4), 333-336. <https://doi.org/10.1029/91GL02832>
- Amiri-Simkooei, A. R., Tiberius, C. C. J. M., & Teunissen, P. J. G. (2007). Assessment of noise in GPS coordinate time series: methodology and results. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B7). <https://doi.org/10.1029/2006JB004913>
- Aydin, C., Duman, H., Günes, Ö., & Ugur Sanli, D. (2021). Effect of stochastic model errors on significance test for velocities in analysis of GPS position time series. *Journal of Surveying Engineering*, 147(1), 04020025. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000341](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000341)
- Başçıftçi, F. (2021). TUSAGA-AKTİF Noktalarında Gürültü Analizi, Türkiye'nin Güneydoğusu Örneği. *Geomatik*, 6(2), 135-147. <https://doi.org/10.29128/geomatik.731486>
- Bogusz, J., & Klos, A. (2016). On the significance of periodic signals in noise analysis of GPS station coordinates time series. *GPS Solutions*, 20, 655-664. <https://doi.org/10.1007/s10291-015-0478-9>
- Bos, M. S., Williams, S. D. P., Araújo, I. B., & Bastos, L. (2014). The effect of temporal correlated noise on the sea level rate and acceleration uncertainty. *Geophysical Journal International*, 196(3), 1423-1430. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt481>
- Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). *Introduction to time-series and forecasting* (3rd ed.). New York: Springer.
- Chatfield, C. (2003). *The analysis of time series: An introduction* (6th ed.). London: Chapman and Hall CRC.
- Dobslaw, H., Bergmann-Wolf, I., Dill, R., Poropat, L., & Flechtner, F. (2017). Product Description Document for AOD1B Release 06, GRACE 327-750, GFZ German Research Centre for Geosciences, Department 1: Geodesy and Remote Sensing.
- Flechtner, F., Sneeuw, N., & Schuh, W. D. (2014). Observation of the system earth from space: CHAMP, GRACE, GOCE and future missions. Berlin, Germany: Springer.
- Gardner, M. (1978). Mathematical games: White and brown music, fractal curves and one-over-f fluctuations. *Scientific American*, 238(4), 16-32.
- Gauer, L. M., Chanard, K., & Fleitout, L. (2023). Data-driven gap filling and spatio-temporal filtering of the GRACE and GRACE-FO records. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, e2022JB025561. <https://doi.org/10.1029/2022JB025561>
- Gunes, O., & Aydin, C. (2022). Applying autoregressive models in analysis of GRACE-Mascon time-series. *Advances in Geodesy and Geoinformation*, 71(2), e25. <https://doi.org/10.24425/agg.2022.141299>
- Guo, X., Zhao, Q., Ditmar, P., Sun, Y., & Liu, J. (2018). Improvements in the monthly gravity field solutions through modeling the colored noise in the GRACE data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(8), 7040-7054. <https://doi.org/10.1029/2018JB015601>
- Humphrey, V., Gudmundsson, L., & Seneviratne, S. I. (2016). Assessing global water storage variability from GRACE: Trends, seasonal cycle, subseasonal anomalies and extremes. *Surveys in Geophysics*, 37, 357-395. <https://doi.org/10.1007/s10712-016-9367-1>
- King, M. A., & Watson, C. S. (2020). Antarctic surface mass balance: Natural variability, noise, and detecting new trends. *Geophysical Research Letters*, 47(12), e2020GL087493. <https://doi.org/10.1029/2020GL087493>
- Kusche, J., Schmidt, R., Petrovic, S., & Rietbroek, R. (2009). Decorrelated GRACE time-variable gravity solutions by GFZ, and their validation using a hydrological model. *Journal of Geodesy*, 83, 903-913. <https://doi.org/10.1007/s00190-009-0308-3>
- Langbein, J. (2012). Estimating rate uncertainty with maximum likelihood: differences between power-law and flicker-random-walk models. *Journal of Geodesy*, 86(9), 775-783. <https://doi.org/10.1007/s00190-012-0556-5>
- Langbein, J. (2017). Improved efficiency of maximum likelihood analysis of time series with temporally correlated errors. *Journal of Geodesy*, 91, 985-994. <https://doi.org/10.1007/s00190-017-1002-5>
- Loomis, B. D., Luthcke, S. B., & Sabaka, T. J. (2019). Regularization and error characterization of GRACE mascons. *Journal of Geodesy*, 93, 1381-1398. <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01252-y>
- Loomis, B. D., Rachlin, K. E., Wiese, D. N., Landerer, F. W., & Luthcke, S. B. (2020). Replacing GRACE/GRACE-FO with satellite laser ranging: Impacts on Antarctic Ice Sheet mass change. *Geophysical Research Letters*, 47(3), e2019GL085488. <https://doi.org/10.1029/2019GL085488>
- Luthcke, S. B., Sabaka, T. J., Loomis, B. D., Arendt, A. A., McCarthy, J. J., & Camp, J. (2013). Antarctica, Greenland and Gulf of Alaska land-ice evolution from an iterated GRACE global mascon solution. *Journal of Glaciology*, 59(216), 613-631. <https://doi.org/10.3189/2013JoG12J147>
- Mandelbrot, B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. New York: W.H. Freeman and Company
- Mandelbrot, B. B., & Van Ness, J. W. (1968). Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. *SIAM Review*, 10(4), 422-437. <https://doi.org/10.1137/1010093>
- Mao, A., Harrison, C. G., & Dixon, T. H. (1999). Noise in GPS coordinate time series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104(B2), 2797-2816. <https://doi.org/10.1029/1998JB900033>
- Peltier, W. R., Argus, D. F., & Drummond, R. (2015). Space geodesy constrains ice age terminal deglaciation: The global ICE-6G_C (VM5a) model. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(1), 450-487. <https://doi.org/10.1002/2014JB011176>
- Ries, J., Bettadpur, S., Eanes, R., Kang, Z., Ko, U., McCullough, C., Nagel, P., Pie, N., Poole, S., Richter, T., Save, H., & Tapley, B. (2016). *The Combined Gravity Model GGM05C*. GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/icgem.2016.002>

- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoin, H. K., Landerer, F. W., & Lo, M. H. (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, 557(7707), 651-659. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1>
- Santamaría-Gómez, A., Bouin, M. N., Collilieux, X., & Wöppelmann, G. (2011). Correlated errors in GPS position time series: Implications for velocity estimates. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(B1). <https://doi.org/10.1029/2010JB007701>
- Schmidt, R., Petrovic, S., Güntner, A., Barthelmes, F., Wünsch, J., & Kusche, J. (2008). Periodic components of water storage changes from GRACE and global hydrology models. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B8). <https://doi.org/10.1029/2007JB005363>
- Steffen, H., Petrovic, S., Müller, J., Schmidt, R., Wünsch, J., Barthelmes, F., & Kusche, J. (2009). Significance of secular trends of mass variations determined from GRACE solutions. *Journal of Geodynamics*, 48(3-5), 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2009.09.029>
- Sun, Y., Riva, R., & Ditmar, P. (2016). Optimizing estimates of annual variations and trends in geocenter motion and J2 from a combination of GRACE data and geophysical models. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(11), 8352-8370. <https://doi.org/10.1002/2016JB013073>
- Tapley, B. D., Watkins, M. M., Flechtner, F., Reigber, C., Bettadpur, S., Rodell, M., ... & Velicogna, I. (2019). Contributions of GRACE to understanding climate change. *Nature Climate Change*, 9(5), 358-369. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0456-2>
- Welch, P. (1967). The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 15(2), 70-73. <https://doi.org/10.1109/TAU.1967.1161901>
- Williams, S. D. P. (2003). The effect of coloured noise on the uncertainties of rates estimated from geodetic time series. *Journal of Geodesy*, 76, 483-494. <https://doi.org/10.1007/s00190-002-0283-4>
- Williams, S. D., Moore, P., King, M. A., & Whitehouse, P. L. (2014). Revisiting GRACE Antarctic ice mass trends and accelerations considering autocorrelation. *Earth and Planetary Science Letters*, 385, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.10.016>



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



Optik ve radar görüntüleri ile aşırı gradyan artırma algoritması kullanılarak tarımsal ürün desen tespiti

Fatih Fehmi Şimşek *¹ 

¹ Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara, Türkiye, f.fehmisimsek@gmail.com

Kaynak Göster: Şimşek, F. F. (2024). Optik ve radar görüntüleri ile aşırı gradyan artırma algoritması kullanılarak tarımsal ürün desen tespiti. Geomatik, 9 (1), 54-68

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1332997>

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
Sentinel-1
Sentinel-2
ÇKS
XGBoost

Araştırma Makalesi

Geliş: 26.07.2023
Revize: 30.09.2023
Kabul: 05.10.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

Bu çalışmada, Sentinel-1 Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR) ve Sentinel-2 (Multispektral) verilerinin, sınıflandırma ile tarımsal ürün deseni tespitine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışma alanı Çukurova Ovası sınırları içerisinde bulunan yaklaşık 2200 km²'lik alanı kapsamaktadır. Çalışma kapsamında 2021 yılına ait çok zamanlı Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri ile aşırı gradyan artırma (XGBoost) algoritması kullanılarak mısır, pamuk, buğday, ayçiçeği, karpuz, yer fıstığı ve narenciye ağaçlarının yanı sıra, buğdaydan sonra ekilen ikinci ürün mısır, soya ve pamuk ürünlerini içeren tarımsal ürün desen sınıflandırması yapılmıştır. Çalışmada referans parsel olarak Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS)'ne kayıtlı parseller kullanılmış olup, ÇKS verisinin yer doğruluk verisi olarak kullanılmasından önce ön düzenleme ve kural tabanlı silme işlemleri gerçekleştirilmiş, ardından hatalı ve yanlış beyanlar elemine edilmiştir. Çalışmada yalnızca Sentinel-1 verileri ile (VH, VV, VH/VV) yapılan sınıflandırma sonucu genel doğruluk değeri %72.3, yalnızca Sentinel-2 verileri ile (R, G, B, NIR, NDVI) yapılan sınıflandırma sonucu genel doğruluk değeri %87.2, Sentinel-1 ve Sentinel-2 verilerinin birlikte kullanıldığı sınıflandırma sonucunda ise genel doğruluk değeri %92.1 olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırma çalışması ürün bazında incelendiğinde en düşük doğruluğu yine sadece Sentinel-1 verileri ile hesaplanan sınıflara ait iken, en yüksek doğruluk oranı Sentinel-1 ve Sentinel-2 verilerinin birlikte kullanıldığı sınıflandırmaya ait olduğu tespit edilmiştir. Özellikle çok yakın fenolojik dönemlere sahip olan ikinci ürünlerde Sentinel-1 ve Sentinel-2 verilerinin birlikte kullanılmasının, başarımlarını oldukça arttırdığı tespit edilmiştir.

Agricultural crop product pattern detection using optical and radar images with extreme gradient boosting algorithm

Keywords

Remote sensing
Sentinel-1
Sentinel-2
FRS
XGBoost

Research Article

Received: 26.07.2023
Revised: 30.09.2023
Accepted: 05.10.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

In this study, the effect of Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) and Sentinel-2 (Multispectral) data on classification and agricultural crop pattern detection was investigated. The study area covers an area of approximately 2200 km² within the borders of Çukurova Plain. Within the scope of the study, agricultural crop pattern classification including corn, cotton, wheat, sunflower, watermelon, peanut and citrus trees, as well as second crop corn, soybean and cotton crops planted after wheat, was performed using the extreme gradient boosting (XGBoost) algorithm with multi-temporal Sentinel-1 and Sentinel-2 images of 2021. Parcels registered in the Farmer Registration System (FRS) were used as reference parcels in the study. Before using the FRS data as ground truth data, pre-editing and rule-based deletion processes were performed, and then erroneous and false declarations were eliminated. In the study, the overall accuracy of the classification using only Sentinel-1 data (VH, VV, VH/VV) was 72.3%, and the overall accuracy of the classification using only Sentinel-2 data (R, G, B, NIR, NDVI) was 87.2%, and the overall accuracy of the classification using Sentinel-1 and Sentinel-2 data together was 92.1%. When the classification study was analyzed on a crop basis, it was determined that the lowest accuracy belonged to the classes calculated only with Sentinel-1 data, while the highest accuracy rate belonged to the study in which Sentinel-1 and Sentinel-2 data were used together. Especially in the second crop with very close phenological periods, it was observed that the use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data together increased the success rate considerably.

1. Giriş

Tarımsal uygulamalar ve özellikle tarımsal ürün desen tespiti küresel gözlem uydularının kullanıldığı en yaygın alanlardan birisidir (Fan ve ark, 2021). Tarımsal üretimin etkili ve etkin bir şekilde yönetilmesi, ürün rekoltesinin tahmin edilmesi, tarımsal sulamanın planlanması ile tarımsal ürünlerin izlenmesinde uzakta algılama teknolojisi aktif bir şekilde kullanılmaktadır (McNairn ve Shang, 2016).

Uzaktan algılamada optik ve sentetik açıklıklı radar (synthetic aperture radar-SAR) uydularının her ikisi de tarımsal uygulamalarda kullanılmaktadır (Lemoine ve Leo, 2015; Lussem ve ark, 2016). Optik görüntüler kullanılarak yapılan sınıflandırma çalışmaları başarılı sonuçlar vermesine rağmen, özellikle kış-bahar aylarında uzun süreli bulut örtüsü olan alanlarda görüntü alımı sınırlanacağından bazı ürünlerin tespiti mümkün olmayabilir ya da istenilen doğruluk seviyesine ulaşılamaya bilememektedir. Bulutlu alanlardaki kısıtlamanın yanı sıra ekim, olgunlaşma, gelişme ve hasat dönemleri aynı olan tarımsal ürünlerin sınıflandırmasında optik görüntülere ait bantlar ve bantlardan üretilen çeşitli vejetasyon indeksleri tek başına yetersiz kalabilmekte olup, sınıflandırma sonucu karışan ürünlerin ayrılması için farklı bilgilere de ihtiyaç duyulabilmektedir. Aktif sensörlere sahip SAR uyduları hava durumlarından etkilenmediğinden herhangi bir yerin görüntü alımında meteorolojik kısıtlama bulunmamakla beraber tarımsal ürün desen tespitinde de kullanılmaktadır. Bu avantajının yanı sıra, karmaşık SAR sinyali (geri saçılan sinyalin faz ve genlik bilgisinin birlikte kaydedilmesi nedeni ile) hedef objenin fiziksel ve geometrik yapısına karşı duyarlı olmakla beraber ürünlerin birbirinden ayrılmasında da önemli rol oynamaktadır (Jiao ve ark 2014; McNairn ve Shang, 2016; Skakun ve ark, 2015).

Tarımsal ürünler, ürün çeşidi ve coğrafya göre yakın dönemlerde yetişebilmekte olduğu gibi, bir ürün hasat edilirken diğer ürünün ekildiği, farklı dönemleri de içermektedir. Bu sebepten dolayı benzer ya da farklı özellik gösteren ürünlerin tespiti için sınıflandırılacak ürünlere ait fenolojik dönemi kapsayan çok zamanlı görüntülerin kullanılması gerekmektedir. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından Copernicus programı kapsamında uzaya fırlatılan Sentinel-1 ve Sentinel-2 uyduları ile istenilen alana ait görüntüler ücretsiz olarak temin edilmekte olup bu uyduların zengin bant sayısı, yüksek zamansal çözünürlüğü ve yeterli mekânsal çözünürlüğü ile tarım ürün desen tespiti çalışmaları için oldukça kullanışlıdır.

Uzaktan algılama uygulamalarında SAR ve optik görüntülerin birlikte kullanımı spesifik özellik içermelerinden dolayı özellikle son yıllarda popüler hale gelmiştir (Duysak ve Yiğit, 2022). Sentinel-1 ve Sentinel-2 verileri kullanılarak tarımsal ürün desen tespiti ile ilgili literatür incelendiğinde, Nasirzadehdizaji ve ark., (2019), Konya İlinde yaklaşık 40km²lik alanda patates, ayçiçeği, mısır ve buğday ürünleri için Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri ile tarımsal ürün desen sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Çalışmada Sentinel-1 SAR uydusuna ait (VH, VV), Sentinel-2 uydusuna ait (B8-B4-B3) bantları kullanılmıştır. Tüm sınıflar için sadece

Sentinel-1, Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu görüntülerinin birlikte kullanılması ile farklı sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Sınıflandırma sonucunda SAR ve optik görüntü ile yapılan sınıflandırma sonucunun (%93) sadece SAR görüntüsü ile yapılan sınıflandırma sonucuna (%88) kıyasla genel doğruluk değerini %5 arttırdığı tespit edilmiştir. Sun ve ark, (2020), Moğol özerk bölgesinde (Çin) Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri kullanarak tarımsal ürün desen tespiti çalışması yapmışlardır. Çalışmada mart-ekim ayları arasında (2018) kalan 18 Sentinel-1 SAR görüntüsü, 8 adet Sentinel-2 görüntüsü kullanılmıştır. Sentinel-1 için (VH, VV, VH/VV) bantları Sentinel-2 için ise tüm spektral bantlar ile NDVI ve NDWI indeksleri kullanılmıştır. Sadece Sentinel-1 bantları ile genel doğruluk %79.46 kapa 0.69, sadece Sentinel-2 bantları ve indeksleri ile genel doğruluk %79.80 kapa 0.72, Sentinel-1 ve Sentinel-2 bantları ve indeksleri kullanılarak yapılan sınıflandırma sonucu genel doğruluk %83.22 kapa 0.77 değeri elde edilmiş olup en yüksek skoru Sentinel-1 ve Sentinel-2 kombinasyonu vermiştir. Ayrıca çalışmada NDVI indeksi ve Sentinel-1 SAR görüntüsüne ait VH bantının sınıflandırma çalışmasında en önemli bantlar olduğu tespit edilmiştir. Mercier ve ark, (2020), Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri ile Kuzey Fransa bölgesinde yetişen buğday ve kolza ürünlerinin sınıflandırma çalışmasında kullanılmak üzere, ürünlerin fenolojik aşamalarını tespit etme çalışması yapılmıştır. Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntülerinin çok zamanlı olarak kullanılması sonucu buğday ürününün kardeşlenme, ekim, hasat aşamalarını, kolza ürünü için, olgunlaşma, ekim ve hasat aşamalarını yalnızca Sentinel-1 ve yalnızca Sentinel-2 görüntüleri ile yapılan fenolojik evrelerin tespitine kıyasla daha doğru ve kesin belirlendiği tespit edilmiştir. VH/VV indeksinin fenolojik aşamaların tespitinde en önemli bant olduğu sonucuna da varılmıştır. Çabuk (2021), Gediz Ovası bölgesinde yalnızca Sentinel-1 görüntüleri ve aşırı gradyan artırma (XGBoost) makineleri algoritması kullanarak buğday, domates, mısır, pamuk, üzüm, yonca ürünleri için sınıflandırma çalışması yapmıştır. Sentinel-1 SAR görüntüsüne ait VH, VV, VH/VV indeksi ve çeşitli doku özellikleri özelliklerinden oluşturulan bantlarla yapılan sınıflandırma sonucunda %83.67 genel doğruluk, kapa 0.81 değeri elde edilmiştir. Cai ve ark, (2019), Dongting sulak alanında (Çin) Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri ve rastgele orman (RF) makine öğrenme algoritmasını kullanarak obje tabanlı pirinç alanların tespiti çalışmasını yapmışlardır. Yalnızca Sentinel-2 bantları (B5, B6, B7, B8, B8A) ile genel doğruluk %84.28 kapa 0.75, Sentinel-2 ve NDVI indeksi ile genel doğruluk %86.53 kapa 0.81, Sentinel-2, NDVI ve Sentinel-1 (VH, VV) bantları kullanılarak % genel doğruluk 95.26, kapa 0.93 değerleri elde edilmiştir. Dobrinic ve ark, (2020), Güney doğu Fransa'da Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntülerini kullanarak arazi örtüsü ve kullanımı sınıflandırması çalışması yapmışlar. Yapılan sınıflandırma çalışması sonucu Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntülerinin beraber kullanıldığı sınıflandırma sonucu yalnızca Sentinel-1 ve yalnızca Sentinel-2 görüntüleri ile yapılan sınıflandırmaya kıyasla daha yüksek sonuç vermiştir. Çalışmada rastgele orman (RF) ve aşırı gradyan artırma (XGBoost) makine algoritmaları

kullanılarak yapılan sınıflandırma sonucunda XGBoost algoritmasının daha yüksek doğruluk verdiği ve RF'den çok hızlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. [Bağcı ve ark. \(2023\)](#), Diyarbakır İlinde Sentinel-1 ve Landsat 8 uydularına ait görüntüler ile yeni bir öğrenme yaklaşımı olan Deep Transfer Encoder algoritmasını kullanarak pamuk ve mısır alanlarının tespiti çalışması yapılmıştır. Çalışmada 2016-2021 yılları arasında Sentinel-1 uydusu için toplam 434 adet, Landsat-8 için ise toplam 693 adet görüntü kullanılmıştır. Sonuçlar, Sentinel-1 veri seti, Landsat-8 veri seti ve Sentinel-1 & Landsat-8 veri setlerinin bant parametrelerinden sırasıyla %85, %95 ve %87,5 doğruluk değerleri elde edildiğini göstermiştir. [Acar ve Altun \(2021\)](#), Landsat-8 görüntülerinden oluşturulan NDVI indeksi ve destek vektör makineleri (SVM) makine öğrenmesi algoritmasını kullanarak Batman İlinde mercimek ve buğday ürünleri için tarımsal ürün desen sınıflandırma çalışması yapmış olup %83.3 başarımla doğruluğuna ulaşılmıştır. [Üstüner ve ark., \(2020\)](#), yem bitkisi, mısır, patates, ayçiçeği ve buğday ürünleri için tarımsal ürün desen tespit çalışması yapmışlardır. Aşırı gradyan artırma (XGBoost) ve hafif gradyan artırma makineleri (LightGBM) algoritmaları ve Sentinel-1 görüntüleri kullanılarak yapılan sınıflandırma sonucunda tüm ürünlerde LightGBM algoritması ile hem de yüksek skor elde edilmiş hem de toplam işlem süresi çok daha kısa sürmüştür. [Saini ve Ghosh \(2021\)](#), SVM, RF, ve XGBoost algoritmalarını ile Sentinel-2 görüntülerini kullanarak Hindistan'ın Roorkee bölgesinde tarımsal ürün sınıflandırma çalışması yapmışlardır. Çalışmada Red-Edge2, Red-Edge3 ve NIR bandının ürün sınıflandırması için en önemli belirleyiciler olduğu ilginç bir şekilde, Red-Edge1 bandının en az değişken önemi ortaya koymuşlardır. Sınıflandırma sonucunda en düşük doğruluğu SVM algoritması vermiş olup, en yüksek sınıflandırma sonucunu XGBoost algoritmasına aittir. XGBoost'un tarımsal sınıflandırma için büyük bir potansiyele sahip olduğundan bahsetmişlerdir.

Bu çalışmada çok zamanlı Sentinel-1 Sentetik Açıklıklı Radar, (Synthetic Aperture Radar-SAR) (Düşey Düşey-VV ve Düşey Yatay-VH bantlar) ve Sentinel-2 verileri ile makine öğrenmesi algoritması kullanılarak tarımsal ürün desen sınıflandırma çalışması yapılmış olup, sınıflandırma sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı olarak Adana ve Mersin ilçeleri arasında kalan alan seçilmiştir. Çalışmada Sentinel-1 SAR verisi olarak (VH, VV, VH/VV) bantları, Sentinel-2 verisi olarak (R, G, B, NIR, NDVI) bantları ve makine öğrenmesi olarak XGBoost makine öğrenme algoritması ile sınıflandırma aşamasında eğitim ve test verisi olarak Çiftçi Kayıt Sistemine (ÇKS) kayıtlı parseller kullanılmıştır. Bu parseller çeşitli düzenleme, silme işlemlerinden sonra, parsellere ait hatalı yanlış beyanlar ile uç değerler uygulanan yöntemle elemine edilmiş ve arazi gerçeği verisi olarak sınıflandırma çalışmasında kullanılmıştır.

Çalışmada mısır, pamuk, buğday, ayçiçeği, karpuz, yer fıstığı ve narenciye ağaçlarının yanı sıra, çift ekim (aynı tarım sezonu içerisinde, ilk ürün ekilip hasat edildikten sonra yerine farklı bir ürünün ekilmesi) yapılan buğday_mısır, buğday_soya, buğday_mısır sınıflarının ürün desen tespiti de yapılmıştır. Özellikle çift ekim yapılan ürünlerin çok yakın fenolojik evrelerde bulunması ve optik görüntülerden oluşturulan indeksler

de kullanıldığında da benzer spektral yansıma değerleri vermesi sebebiyle radar görüntüleri ve bu görüntülerden oluşturulan indeksler sınıflandırma çalışmasına dâhil edilmiştir. Çift ekimli ürünlerin birbirine karışmaması sağlanarak sınıflandırma sonucunun yüksek doğruluk değerini ulaşılması hedeflenmiştir.

Çalışma alanında olduğu gibi büyük alanlara sahip alanlarında ürün deseni belirlenecek her bir sınıf için araziden yeterli sayıda ve çalışma alanına homojen olarak dağılmış veri toplamak hem maliyetli, hem de çok zaman alıcıdır. Çalışmanın bir başka amacı ise geliştirilen yöntemle çiftçi beyan parsellerden yer doğruluk verisi oluşturularak bu sınıflandırma çalışmasında ve bundan sonraki çalışmalarda kullanılabilirliği test edilmiştir.

2. Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı, Adana İli Seyhan, Yüreğir, Karataş ve Yumurtalık İlçeleri ile Mersin İli Tarsus İlçesi'nin güney doğu kısmını kapsamakta olup Çukurova Ovası sınırları içerisinde kalmaktadır. Çalışma alanında yaklaşık 90000 adet tarımsal parseli bulunmakta ve yaklaşık 2200km²lik bir alanı kapsamaktadır ([Şekil 1](#)). Tarımsal üretim çeşidi bakımından ülkenin en zengin ovalarından biri olmakla beraber, yıl içerisinde iki hatta bazı bölgelerde üç farklı zamanda ürün hasadı yapılmakla beraber çok yıllık dikili ürünler de bulunmaktadır.

2.2. Sentinel-1 uydu görüntüleri

Sentinel-1 ve Sentinel-2 uyduları Avrupa Uzay Ajansı tarafından küresel izleme programına veri sağlamak amacı ile fırlatılmış olup algılanan görüntüler ücretsiz elde edilebilmektedir ([Efe ve Algancı, 2023](#)).

Sentinel-1 uyduları, Sentinel 1A- Sentinel 1B olarak ikiz uydu olmakla beraber, her iki uydunun yörüngesi 6 günde bir aynı coğrafi konumda olacak şekilde planlanmıştır. Sentinel 1A uydusu aktif olarak çalışmaya devam ederken, Sentinel 1B uydusu 23 Aralık 2021 tarihinden itibaren uydu içerisindeki güç elektroniği arızası sebebiyle görüntü sağlayamamaktadır. Sentinel-1 uydusu C bantta veri sağlamakta olup, H ve V polarizasyonu ile çift polarizasyonda çalışmayı desteklemektedir ([URL-1](#)). Sentinel-1 verileri, Stripmap modu (SM), İnterferometrik geniş alan modu (IW), Ekstra geniş alan modu (EW) ve Dalga (WV) olmak üzere dört farklı modda çalışmaktadır. Sentinel-1 görüntüleri Single Look Complex (SLC) ve Ground Range Detected (GRD) formatlarında da kullanılabilir. Çalışmada IW modu ve GRD formatı tercih edilmiş olup, 2021 yılına ait çift polarize (VV/VH) C bant görüntüleri kullanılmıştır.

2.3. Sentinel-2 uydu görüntüleri

Sentinel-2 uyduları, Sentinel 2A – Sentinel 2B olmak üzere ikiz uydu olmakla beraber, 5 günlük zamansal çözünürlüğe, farklı bantlara sahip 10m, 20m ve 60m olmak üzere üç farklı konumsal çözünürlüğe ve 13 spektral band içermekte, L1C ve L2A olmak üzere 2 formatta üretilmektedir ([URL-2](#)). Sentinel-2 uydusunun

sık aralıklı çekim periyodu ve 13 spektral banda sahip olması, tarım alanlarının gözlemlenmesi, tarımsal ürünlerin fenolojilerinin izlenmesi ve tarımsal ürün çeşidinin belirlenmesinde avantaj sağlamaktadır.

Çalışmada 2021 yılına ait Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri olmak üzere 11 farklı tarihte görüntü temin edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının görünümü.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri

Uydu	Görüntü Tarihi	Uydu	Görüntü Tarihi
Sentinel-1 GRD	03.27.2021	Sentinel-2 Level 1C	03.29.2021
	04.20.2021		04.15.2021
	05.02.2021		05.05.2021
	05.14.2021		05.20.2021
	06.11.2021		06.14.2021
	07.13.2021		07.14.2021
	08.12.2021		08.11.2021
	09.11.2021		09.07.2021
	10.04.2021		10.02.2021
	10.17.2021		10.17.2021
	10.29.2021		10.27.2021

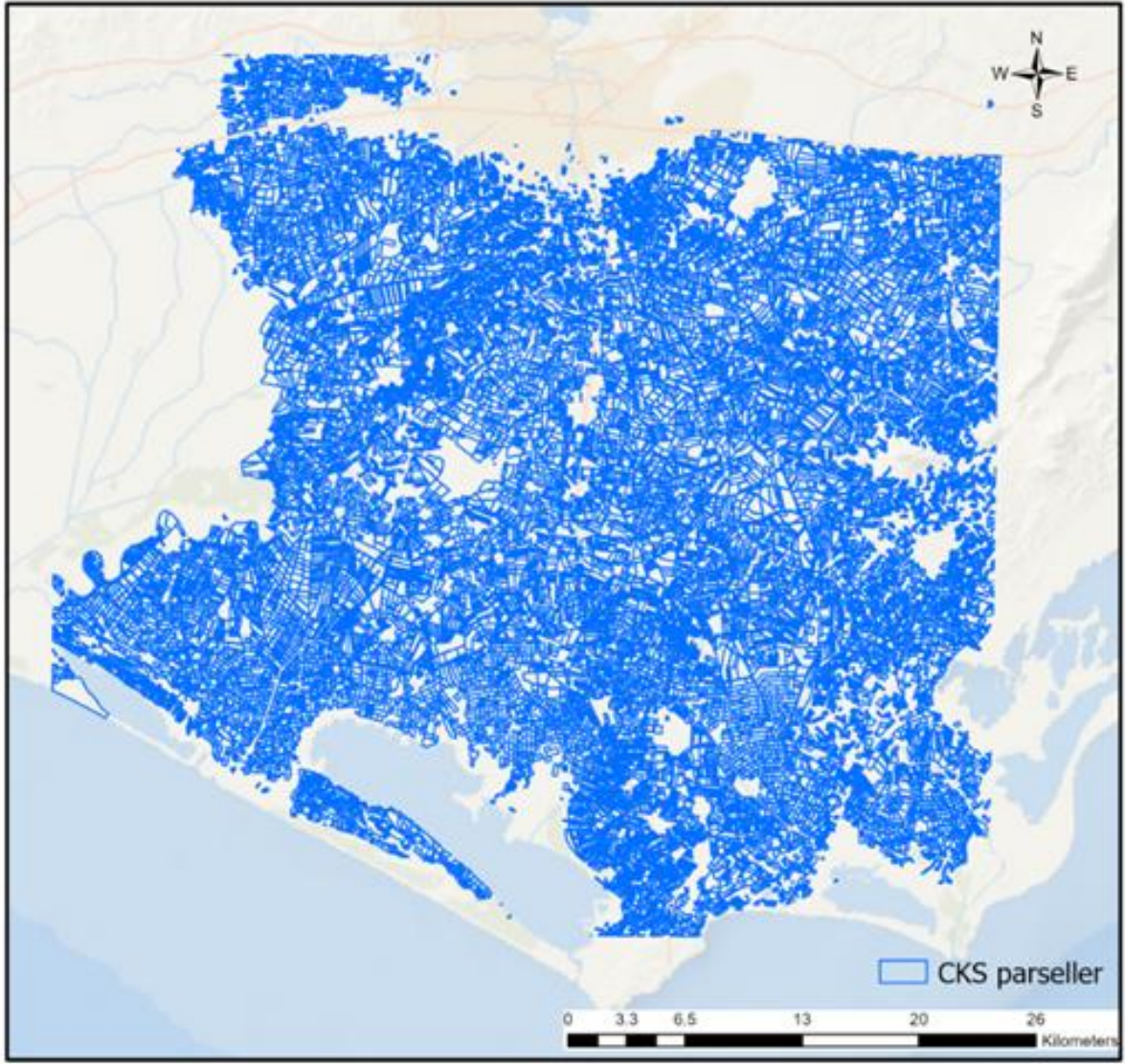
2.4. Yersel referans veriler

Çalışmada yer doğruluk verisi olarak Çifti Kayıt Sistemine kayıtlı parseller kullanılmıştır. Çifti Kayıt Sistemi (ÇKS) Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından çiftçilere ait tarımsal faaliyetlerin kayıt altına alındığı bir sistemdir. Sistemde parsellere ait geometrik bilgi bulunmasının yanı sıra her bir parsel için; il, ilçe, mahalle, ada no, parsel no, tarım parsel no, ekilen ürün bilgisi, alan, yüz ölçümü, kadastral alan, ekim tarihi ve hasat tarihi bilgileri de yer almaktadır. Çalışma alanında 2021 yılına ait kayıtlı 87692 parsel bulunmaktadır. Beyan esaslı bu parseller incelendiğinde, parsellere ait geometri

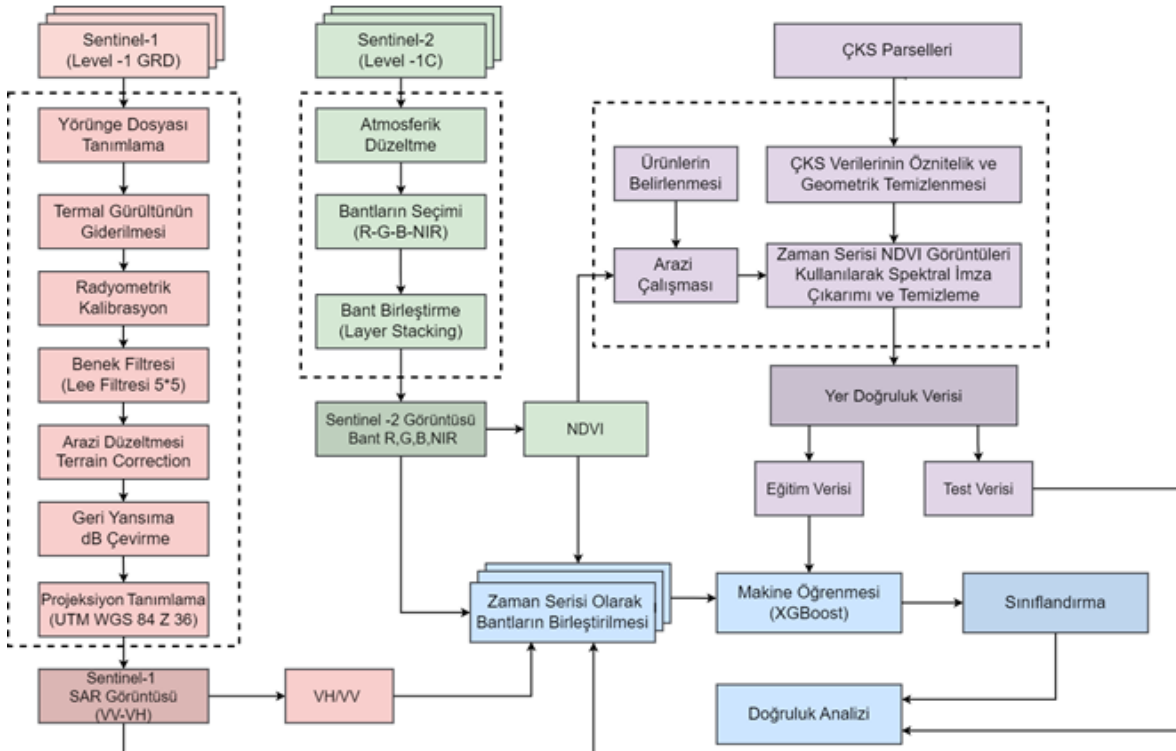
ve öznitelik bilgileri ile arazideki parseller arasında sistematik olan ve olmayan farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılıktan kaynaklı olarak beyan esaslı parseller bir dizi düzenleme ve silme işlemine tabi tutulmuş, bu işlemler sonunda beyan esaslı parsellerden yer doğruluk verisi üretilerek sınıflandırma işleminde eğitim ve test verisi olarak kullanılması sağlanmıştır. ÇKS verisi üzerindeki düzenleme ve silme işlemleri sonrasında 8549 adet parsel referans veri olarak sınıflandırma çalışmasında kullanılmıştır.

3. Yöntemler

Çalışmada kullanılan yöntemin adımlarını özetleyen iş akışı Şekil 3' de gösterilmiştir. Yöntem, uydu görüntüsü ön işleme, referans veri hazırlama, makine öğrenmesi ile sınıflandırma ve doğruluk analizi olmak üzere dört temel adımdan oluşmaktadır. İlk olarak Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntülerine ait gerekli ön işleme adımları uygulanmış, sınıflandırma işleminde kullanılan bantlar ve indeksler belirlenmiştir. Sonrasında ÇKS beyanlı parseller üzerinde düzenleme ve silme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonunda kalan parseller ile zaman seri NDVI ve VH/VV indeksleri kullanılarak her bir ürüne ait spektral ayrılma eğrileri belirlenmiştir. Üçüncü olarak aşırı gradyan artırma (XGBoost) algoritması kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma işlemi yapılmış olup, son olarak, elde edilen sonuçların doğruluk analizleri hesaplanmıştır.



Şekil 2. 2022 yılına ait ÇKS beyanlı parsellerin dağılımı.



Şekil 3. Yönteme ait akış diyagramı.

3.1. Uydu görüntüsü ön işleme

Uydu görüntüleri sistematik ve sistematik olmayan hatalar içermektedir. Bu hataların giderilebilmesi için birtakım düzeltmelerin yapılması gerekmekte olup bu düzeltme ve ön işleme adımlarının yapılacak sınıflandırma çalışmasının doğruluğuna olumlu etkisi bulunmaktadır. Çalışmada önce SAR sonra da optik görüntüler için ön işleme ve özellik çıkarımı işlemleri yapılmıştır. Çok zamanlı IW modunda Level-1 Grid formatında temin edilen görüntülerin ön işleme işlemleri Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından ücretsiz olarak sağlanan SNAP (Sentinel Application Platform) yazılımında yörünge dosyası tanımlama, termal gürültünün giderilmesi, radyometrik kalibrasyon, benek filtresi, topografik düzeltme ve geri yansıma değerlerini db'ye dönüştürme olmak üzere altı adımda gerçekleştirilmiştir.

Yörünge dosyası tanımlama ön işleme adımı ile SAR görüntüsünün uydu yörünge durum vektörlerine güncel düzeltmeler getirilerek doğru uydu konum ve hız bilgisi sağlanmıştır (Altun ve Türker, 2022). SAR görüntülerinde, özellikle düşük geri saçılım alanlarında (durgun deniz, göller vb.) sinyal gürültüleri oluşabilmektedir (Gorelick ve ark, 2017). Sentinel-1 GRD formatı, polarizasyon bilgilerini bulundurmakta ve verilerinin işlenmesi için gerekli olan ön işleme adımlarını sağlamaktadır. Sentinel-1 uydusu, her ölçüm veri seti için kalibre edilmiş GRD verileriyle eşleşen kalibre edilmiş gürültü profilleri oluşturmak için kullanılan doğrusal güçte bir gürültü arama tablosu içermektedir. SAR görüntülerine uygulanan termal gürültü işleme adımı ile uydu görüntülerindeki gürültüler elemine edilmiştir. Piksel değerlerini radyometrik olarak kalibre edilmiş SAR geri saçılım değerlerine dönüştürme işlemi radyometrik düzeltme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Radyometrik kalibrasyon adımıyla Sentinel-1 GRD verilerinin yoğunluk değerleri sigma nought değerine dönüştürülür (Polat ve ark, 2022). SAR görüntülerinde taneli gürültü olarak görünen benek, birçok temel geri yansımalarından yansıyan dalgaların kaynağa gelmesinden kaynaklanmaktadır (Lee ve ark, 1994). SAR görüntülerindeki beneklerin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla filtreler geliştirilmiş olup, bunlardan benek filtresi, görüntüdeki benek gürültüsü azaltılarak görüntünün kalitesini artırmak amacıyla kullanılmaktadır (Filipponi, 2019). Benek filtreleme adımıyla Lee Sigma (5x5) filtresi kullanılarak görüntüdeki gürültüler azaltılmıştır. Arazi düzeltmesi adımıyla, sayısal yükseklik modeli kullanılarak (SNAP yazılımı içinde bulunan) SAR görüntüsündeki topoğrafyanın neden olduğu geometrik düzeltmeler yapılmıştır (Small ve Schubert, 2008). Son işlem adımıyla ise bantlardaki dijital piksel değerleri, logaritmik dönüşüm kullanılarak (db) biriminde geri yansıtım değerlerine dönüştürülmüştür. Tüm işlem adımları uygulandıktan sonra, SAR uydu görüntüleri çalışma alanı ait projeksiyon sistemine (UTM Z36 WGS84) tanımlanarak ve 10 metre mekânsal çözünürlüğe yeniden örneklenecek analize hazır hale getirilmiştir.

Sınıflandırma çalışmasında kullanılacak çok zamanlı Sentinel-1 görüntülerinin ön işleme işlemlerinden sonra her bir görüntüye ait VH/VV oranı hesaplanmıştır. Bu oran optik görüntülerdeki NDVI indeksi gibi bitki gelişimi ve fenolojisi hakkında bilgiler sağlamakta ve geri saçılımın zamansal değişimine bağlı olarak ürünler arasında ayrımı yapılabilmesine imkân vermektedir. VH geri yansıtım değerlerinden VV geri yansıtım değerlerinin çıkarılması ile hesaplanan indeks VH/VV gösterimi ile temsil edilmektedir (Khabbazan ve ark, 2019).

SAR görüntülerinin ön işleme ve özellik çıkarımı işlemlerinden sonra çalışmada kullanılacak çok zamanlı Sentinel-2 görüntülerine ait ön işleme işlemleri yapılmıştır. Temin edilen Sentinel-2 görüntüleri Level 1C formatında olup atmosfer üstü yansıtım değerlerine sahiptir. Sınıflandırma çalışmasında bitkilere ait gerçek yansıtım değerlerinin hesaplanması amacıyla atmosfer üstü yansıtım değerlerinin atmosfer altı yansıtım değerlerine dönüştürülmesi gerekmektedir (Müller-Wilm ve ark, 2017). SNAP yazılımındaki Sen2Cor modülü ile her bir piksele ait atmosfer üstü yansıtım değeri, atmosfer altı yansıtım değerine dönüştürülmüştür. Çalışmada Sentinel-2 uydusunun 10 metre mekânsal çözünürlüklü mavi (B02), yeşil, (B03), kırmızı (B04) ve yakın kızılötesi (B04) bantları kullanılmıştır. Bu bantlardan her bir Sentinel-2 görüntüsüne ait NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) değerleri hesaplanmıştır. NDVI indeksi bitkilerin fenolojik gelişim ve değişimleri hakkında bilgi vermektedir (Zhang ve ark, 2020). Birden farklı tarihte zamana yayılmış olarak temin edilen NDVI görüntüleri ile yıl içerisinde tarımsal ürünlere ait fenolojik süreçlerin tamamı gözlemlenebilmekte ve benzer fenolojik süreçlere sahip sınıfların böylelikle birbirinden ayrılabilmesi sağlanmaktadır (Viana ve ark, 2019). Hem optik hem de radar görüntülerine ait 11 farklı tarihte görüntü çekilmiş olup, radar görüntüleri için girdi bantları, VH, VV, VH/VV, optik görüntüler için ise R, G, B, NIR ve NDVI bantlarıdır. Aynı mekânsal çözünürlüğe sahip (10m) optik ve radar görüntüler ile toplamda 88 farklı özellikli bant sınıflandırma çalışmasında kullanılmak üzere oluşturulmuştur.

3.2. Referans veri hazırlama

Çalışma alanının tamamı Çukurova Ovası sınırları içerisinde kalmakta olup çok zengin tarımsal ürün çeşidine sahiptir. Bölgede pamuk, mısır, buğday, arpa ayçiçeği, karpuz, yer fıstığı en çok yetiştirilen bitkiler olmakla beraber, ayrıca buğday hasadından sonra ikinci ürün olarak pamuk, mısır ve soya ürünleri yetiştirilmektedir. Bölge dikili ürünler bakımından da çok zengin olup, portakal, mandalina, greyfurt ve limon gibi ekonomik değeri yüksek olan meyve ağaçları bulunmaktadır. Söz konusu bu ürünler ÇKS beyanları ile kıyaslandığında çalışma alanının neredeyse tamamını kapsamaktadır. Sınıflandırılacak ürünlerden; buğday, arpa ürünleri buğday sınıfı altında, portakal, mandalina, greyfurt ve limon ağaçları narenciye sınıfı altında toplanmıştır. Bu ürünler dışında, mısır, pamuk, karpuz, yer fıstığı, ayçiçeği sınıfları ile ikinci ürün mısır pamuk ve soya ürünleri de sınıflandırma çalışmasına dâhil

edilmiştir. Çalışma alanında 87692 adet ÇKS beyanlı parsel bulunmaktadır.

ÇKS beyanlı parsellerde geometrik ve öznel olarak hatalar ve uyumsuzlukların olduğu görülmüş, özellikle birden çok hissedar bulunan bir parselde parsel geometrisinin hissedar sayısı kadar tekrarlı olarak tutulduğu gözlemlenmiştir. Yine sistemde operatör kaynaklı yanlış veri girişi sebebiyle (ekilen ürün, ekilen alan, beyan değişikliği) hataların bulunduğu tespit edilmiştir. Diğer bir problem ise beyanların eşleştiği tarım parsellerinde topolojik hatalar, üst üste çakışmalar ya da tarım dışı alanlarda parsellerin bulunduğu tespit edilmiştir (Şimşek ve Durduran, 2023). Beyan esaslı bu parsellerin yer doğruluk verisi olarak kullanılmasından önce hataların ve uyumsuzlukların giderilmesi amacıyla düzenleme ve silme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonucunda 87692 olan çiftçi beyanlı parsel sayısı 16333'e düşmüştür.

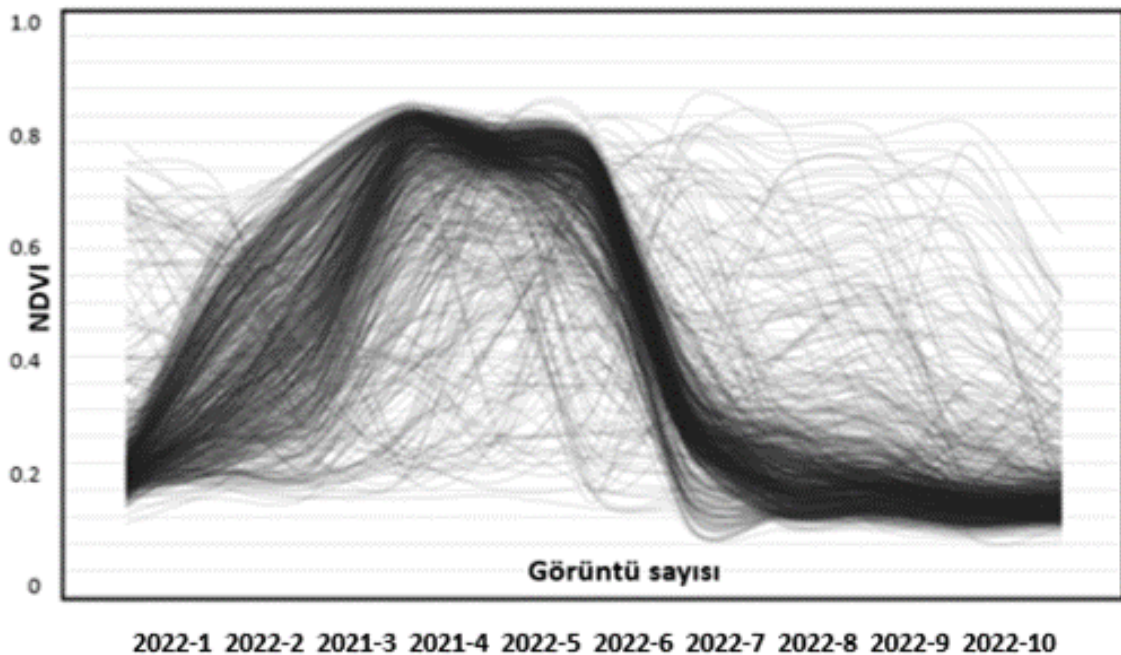
ÇKS'deki en büyük problem ise, ekimi yapılacak ürüne ait beyan verilmesine rağmen arazide tarımsal bir aktivite yapılmaması veya sistemde beyan edilen ürün ile parselde ekili ürün arasında farklılıklar bulunmasıdır. Söz konusu bu hatalı ve yanlış beyanların yer doğruluk verisi olarak sınıflandırma çalışmasında kullanılması için hatalı beyan içeren parsellerin elemine edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çalışma alanında bulunan Tarım İl Müdürlüğü'nden bölgedeki ürünlere ait tarımsal fenolojik takvim istenmiş ve bu takvim sayesinde sınıflandırılacak ürünlerin ekim, gelişim, olgunlaşma ve hasat tarihleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bunun yanı sıra İl Müdürlüğü personelinde çalışmada referans olarak kullanılmak üzere arazide tespiti yapılan ürünlere ait parsel bilgileri temin edilmiştir.

Tarımsal ürün deseninin belirlenmesinde farklı bitki indeksleri kullanılmakta olup bunlardan biride NDVI indeksidir (Türk ve Balçık, 2023). NDVI indeksi ile bitki sağlığı ve gelişimi hakkında bilgiler elde edilebilmektedir (Morsy ve Hadi, 2022). Çok zamanlı NDVI görüntüleri ile her bir parsel çakıştırılmış ve zaman seri şeklinde her bir

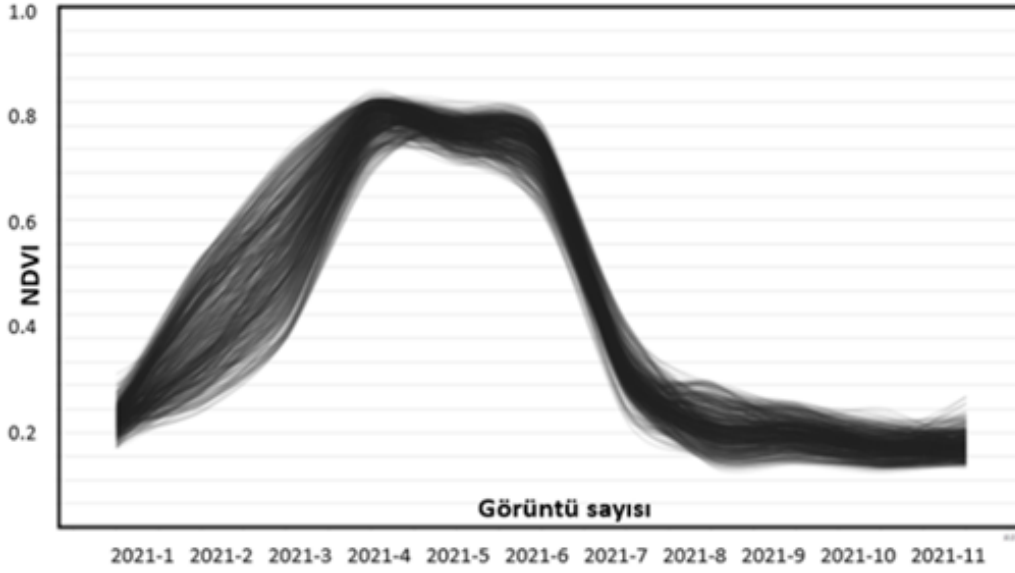
parselin NDVI median değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem sonrasında beyan bilgisi içeren her bir parselin vejetatif gelişim ve değişimi dönemleri belirlenmiş, zaman içerisinde değişkenlik gösteren NDVI değerleri ile spektral ayrılma eğrisi çıkarılmıştır. Her bir parsel için oluşturulan spektral ayrılma eğrileri, temin edilen fenolojik takvim ve arazi çalışması sonucu toplanan her ürüne ait spektral yansıma değerleri referans alınarak kontrol edilmiştir. Beyan esaslı parseller spektral olarak arazide bulunduğu tarih aralığında kendi türünün spesifik yansıma değerini vermemiş ise silinmiş, referans yansıma eğrisi ile aynı ve benzer yansıma değeri vermiş ise tutulmuştur. Şekil 4'de mısır beyanlı parsellere ait orijinal ve temizlenmiş spektral ayrılma eğrileri gösterilmiştir.

SAR görüntülerine ait VH/VV oranı ile de NDVI indeksi gibi her bir ürüne ait spektral ayrılma eğrileri oluşturulmuştur. NDVI değerlerinden oluşturulan spektral ayrılma eğrilerinde uç değerler belirlenip çıkarılmış ve kullanılmamıştır. Bu işlem SAR görüntülerinden üretilen spektral ayrılma eğrilerinde tekrarlanmıştır.

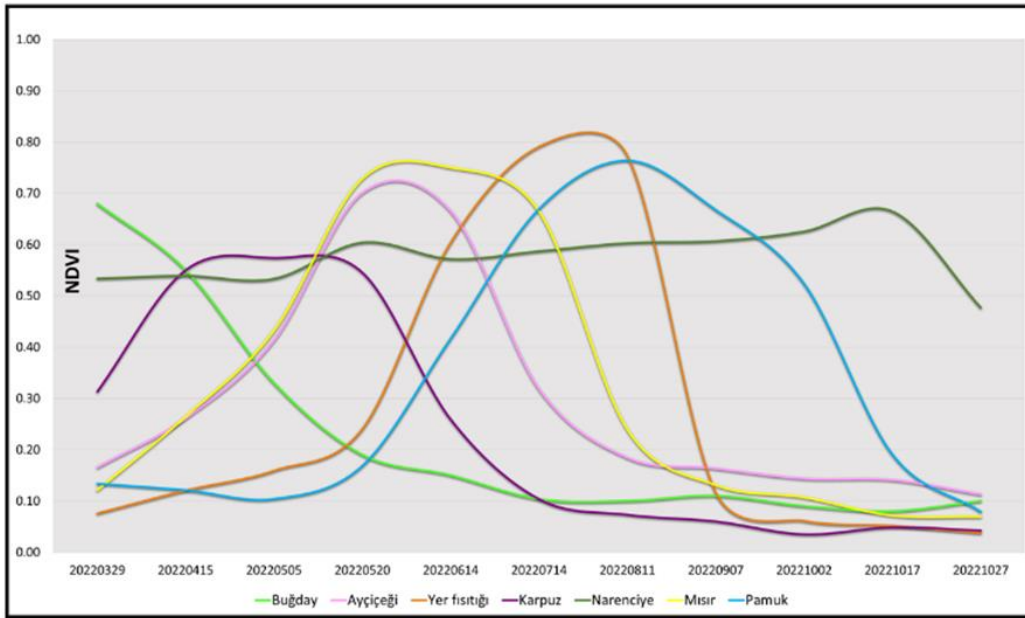
Hem NDVI hem de VH/VV indeksi ile zaman serisi şeklinde oluşturulan spektral ayrılma eğrileri, tek ekim yapılan ürünlerde (buğday, ayçiçeği, yer fıstığı, karpuz, narenciye, mısır, pamuk) her bir tarımsal ürün için farklılık göstermektedir (Şekil 5 ve Şekil 6). Yıl içerisinde çift ekim yapılan ürünlerde (buğday_mısır, buğday_pamuk, buğday_soya) ise optik görüntüler ile NDVI değerlerinden üretilen spektral ayrılma eğrilerinin birbirine yakın olduğu (Şekil 7) SAR görüntüleri ile VH/VV indeksinden üretilen spektral ayrılma eğrilerinin, NDVI eğrilerine kıyasla daha fazla farklılık gösterdiği görülmektedir (Şekil 8). Çift ekimli ürünlerde VH/VV indeksi ile ürünlere ait fenolojik ayırımın belirginleşmesi ile veri temizleme işlemi daha kolay ve doğru bir şekilde yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda 8549 adet ÇKS beyanlı parsel yer doğruluk verisi olarak sınıflandırma çalışmasında kullanılmıştır.



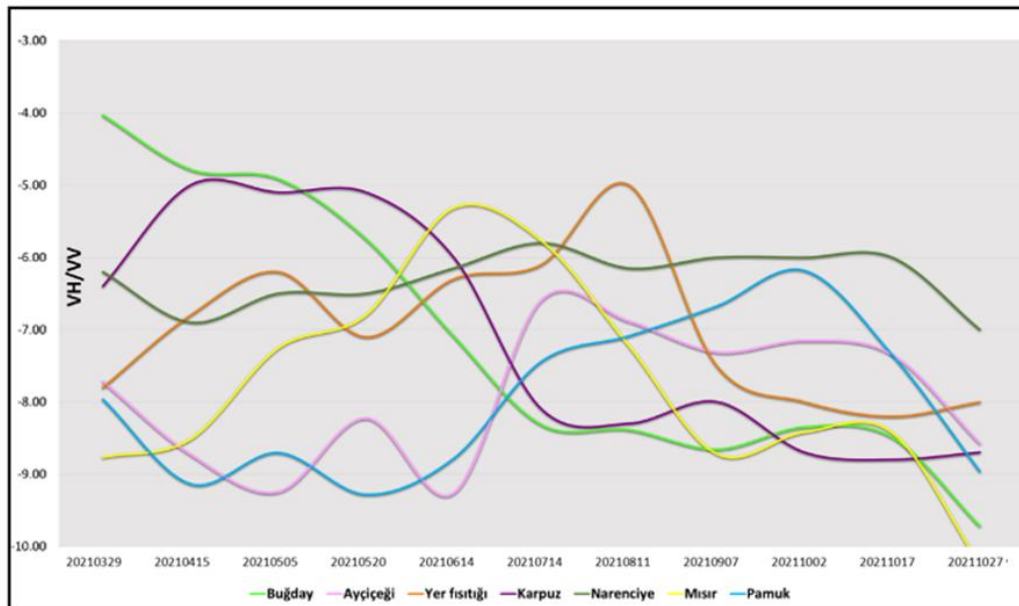
Şekil 4a. Mısır beyanlı parsellere ait spektral ayrılma eğrileri (temizlenmemiş).



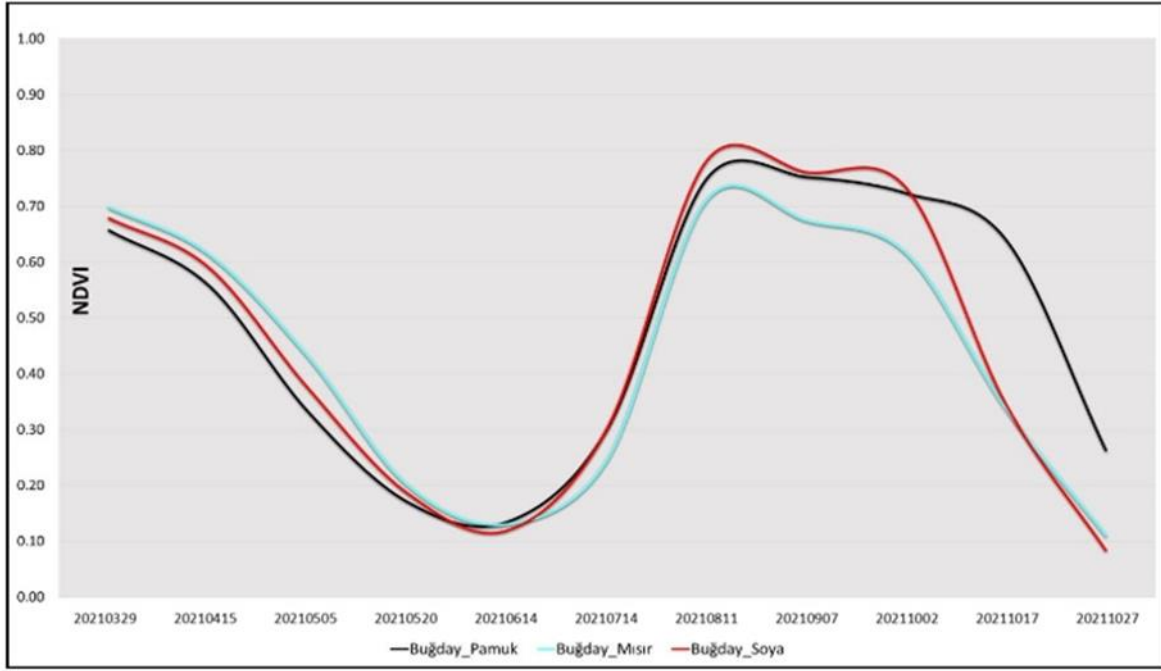
Şekil 4b. Mısır beyanlı parsellere ait spektral ayrılma eğrileri (temizlenmiş).



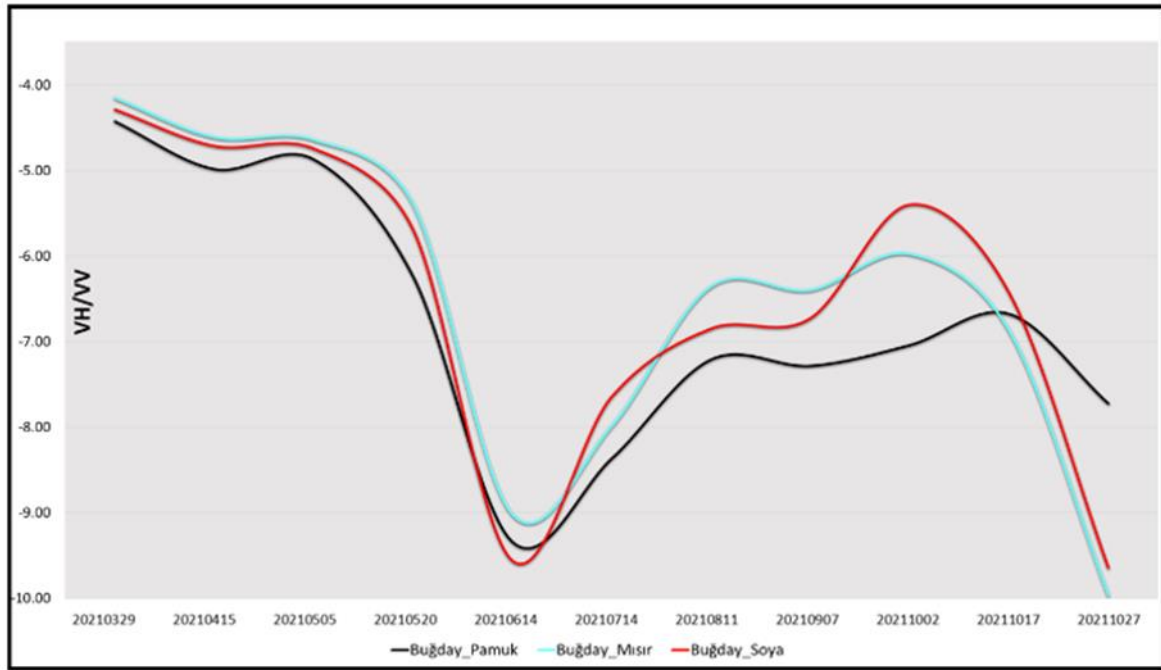
Şekil 5. Tek ekim yapılan ürünlere ait NDVI değerlerine göre zamansal değişim.



Şekil 6. Tek ekim yapılan ürünlere ait VH/VV değerlerine göre zamansal değişim.



Şekil 7. İki farklı zamanda ekim yapılan ürünlere ait NDVI değerlerine göre zamansal değişim.



Şekil 8. İki farklı zamanda ekim yapılan ürünlere ait VH/VV değerlerine göre zamansal değişim.

3.3. Aşırı gradyan algoritması (XGBoost) ile sınıflandırma

Aşırı gradyan artırma (XGBoost) algoritması, ağaç tabanlı bir makine öğrenme algoritmasıdır ve özellikle kendi kendine öğrenen modellerin yüksek performans elde ettiği veri bilimi çalışmalarında başarılı sonuçlar vermekte olup yapay zekâ algoritmaları arasında yapılan yarışmalarda gradyan artırma makineleri (GBM) algoritmasının ölçeklenebilir bir uygulamasıdır (Chen ve Guestrin, 2016). XGBoost, ağaç yapısını artırarak adım adım öğrenerek hata oranını minimize eden ölçeklenebilir bir makine öğrenme algoritmasıdır (Farid ve ark, 2013). XGBoost değişkeni tahmin etmek için bir dizi karar oluşturur ve her ağaç önceki ağaçların tahmin

hatalarını azaltmak için tasarlanmıştır (Mitchell ve Frank, 2017). Farklı düzenleme tekniği kullanarak ağaçların karmaşıklığını kontrol ederek, daha verimli ve yüksek bir performans sağlamaktadır (Patrous, 2018). Yüksek esnekliği sayesinde XGBoost algoritması, kullanıcıların modele yeni bir boyut katan kriterleri değerlendirmesine ve en uygun fonksiyonu tanımlamasına olanak sağlamaktadır. XGBoost aşırı öğrenmeyi ve aşırı uyumluluğu önlemek için, ağaçların derinliği sınırlama, ağaç yapısını basitleştirme ve değişkenlerin önemini belirleme gibi teknikler kullanmaktadır. XGBoost yüksek boyutlu ve düzensiz verilerde başarılı olmakta, endüstriyel uygulamalar, internet arama, finansal hizmetler gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Literatür araştırması sonucunda,

çalışma alanın geniş, kullanılan bant sayısının fazla ve yer doğruluk verisi büyük miktarda olması sebebiyle XGBoost algoritması tercih edilmiştir.

XGBoost algoritmasının avantajları; paralelleştirilmiş ağaç yapısı, derin öncelikli yaklaşımı kullanarak uygulanan ağaç budaması, ön bellek farkındalığı ve çekirdek dışı hesaplama, düzenleme ile aşırı uyumdan kaçınma, kayıp gözlemleri etkili bir şekilde işleme ve çapraz doğrulamadır (Chen ve ark, 2019). Dezavantajları ise çok sayıda ağaç oluşturmadan kaynaklı zaman alıcı hesaplama, çok fazla ağaç ekleme eğiliminden kaynaklı aşırı öğrenme riski taşıma, veri dağılımındaki küçük değişikliklere aşırı duyarlı olma ve eksik verilerle başa çıkmada zorlanabilmesidir (Fitriah ve ark, 2017).

XGBoost modeli eğitilirken yüksek sonuçlar elde etmek için önemli bir faktör parametre ayarlamadır. Parametreler algoritmanın kullanılacağı uygulamaya göre değişkenlik göstermektedir. XGBoost için kullanılan parametreler, ağaç derinliği (max depth): Bir ağacın maksimum derinliği belirler, eta(n): Her ağacın katkısını kontrol eden öğrenme oranı, ağaç sayısı (nrounds): Kullanılacak ağaç sayısı, örneklem sayısı (subsample): Eğitim için kullanılacak rastgele örnek oranı, column sample bytree: Her bir ağacı eğitmek için kullanılacak kolon oranı, nthread: Paralel hesaplamayı kullanacak iş parçacığı sayısıdır. XGBoost parametrelerinde en uygun değerlerin seçilmesi algoritmanın performansını yüksek seviyeye çıkarmak için önemlidir. Literatürde araştırmalar XGBoost parametrelerinin ayarlanması için grid search ve random search olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Grid search yöntemi, belirli bir parametre aralığını seçerek tüm olası kombinasyonları deneyerek en iyi parametre değerini bulurken, random search yöntemi, belirli bir parametre aralığından rastgele örneklem alarak parametre değerlerini belirler (Bort Escabias, 2017). Bu çalışmada grid search yöntemi kullanılmış olup, seçilen en uygun parametrelere için belirlenen değerler Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. XGBoost parametreleri.

Parametre	Değer
Max depth	10
Eta	0.2
nrounds	800
nthread	2
Subsample	1
Colsample_bytree	0.7

Düzenleme ve silme işlemleri sonrası yersel referans veri olarak hazırlanan 8549 adet parselin 4274 adedi eğitim verisi, 4275 adedi ise doğruluk analizinde kullanılmak üzere test verisi olarak seçilmiştir. Çalışmada ürün bazında yersel referans verilerin dağılımı (eğitim ve test parselleri) Tablo 3'de gösterilmiştir. Her bir sınıfa ait parseller QGIS ortamında random selection fonksiyonu ile seçilmiş daha sonra eğitim ve test verisi olarak kendi içinde birleştirilmiştir. Test verisi ile kontrolün daha yüksek oranla yapılması amacıyla eğitim ve test verisi % 50 oranında seçilmiştir.

R Studio yazılımında XGBoost algoritması kullanılarak yalnızca Sentinel-1 bantları ile (VV, VH, VV/VH), yalnızca Sentinel-2 bantları ile (R, G, B, NIR, NDVI) Sentinel-1 ve Sentinel-2 bantlarının (VV, VH,

VV/VH, R, G, B, NIR, NDVI) birlikte kullanılması olmak üzere 3 farklı sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Sınıflandırma çalışmaları sonucunda, referans veri seti ile ilişkili sadece tarımsal ürün desenini temsil eden sınıflandırmanın kalması için, raster veri Tarım Reformu Genel Müdürlüğü tarafından Entegre İdare ve Kontrol Sistemi (Integrated Administration and Control System – IACS) projesi kapsamında oluşturulan fiziksel bloklar ve bu fiziksel bloklar içerisindeki tarım dışını kapsayan poligonlar (yollar, yerleşim alanları, ormanlık alanlar, sulak alanlar, çıplak ve kayalık alanlar) kullanılarak maskelenmiş ve elemine edilmiştir.

Tablo 3. Eğitim ve test verisinin dağılımı.

Ürün	Eğitim Verisi	Test Verisi
Narenciye	1516	1516
Pamuk	844	844
Mısır	980	980
Yer fıstığı	98	98
Ayçiçeği	131	131
Karpuz	58	58
Buğday	230	231
Buğday_Pamuk	139	139
Buğday_Mısır	16	16
Buğday_Soya	262	262
Toplam	4274	4275

4. Bulgular ve Tartışma

Sınıflandırma çalışması sonucunda genel doğruluk, Cohen's Kappa katsayısı ve her bir sınıfa ait üretici ve kullanıcı doğruluk değerleri hesaplanmış ve oluşturulan hata matrisi üzerinde Tablo 4'te gösterilmiş olup, ortaya çıkan sonuçlar yorumlanmıştır. Hata matrisinin her bir sütunu ayrı bir sınıfa karşılık gelirken, satırlar referans verilerin atandıkları sınıfları temsil etmektedir. Hata matrisi sonucunda sınıflandırma çalışmasına ait genel doğruluk değeri hesaplanmıştır. Genel doğruluk değerinin yanı sıra üretici ve kullanıcı doğrulukları da hesaplanmış olup üretici doğruluğu, doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategoriye ait sütun sayısına bölünmesi ile hesaplanır iken kullanıcı doğruluğu, doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategori için olan satır sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Hata matrisindeki genel doğrulukla olasılıklı doğruluk arasındaki farkı gösteren Cohen's Kappa katsayısı da belirlenmiştir (Eşitlik 1-4).

$$KD: \frac{a_{ii}}{\sum_{i=1}^n a_{ik}} \quad (1)$$

$$ÜD: \frac{a_{ii}}{\sum_{i=1}^n a_{ki}} \quad (2)$$

$$\text{Genel doğruluk: } \frac{\sum_{k=1}^N a_{kk}}{\sum_{i,k=1}^N a_{ik}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N a_{kk} \quad (3)$$

$$\text{Kappa katsayısı: } \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (4)$$

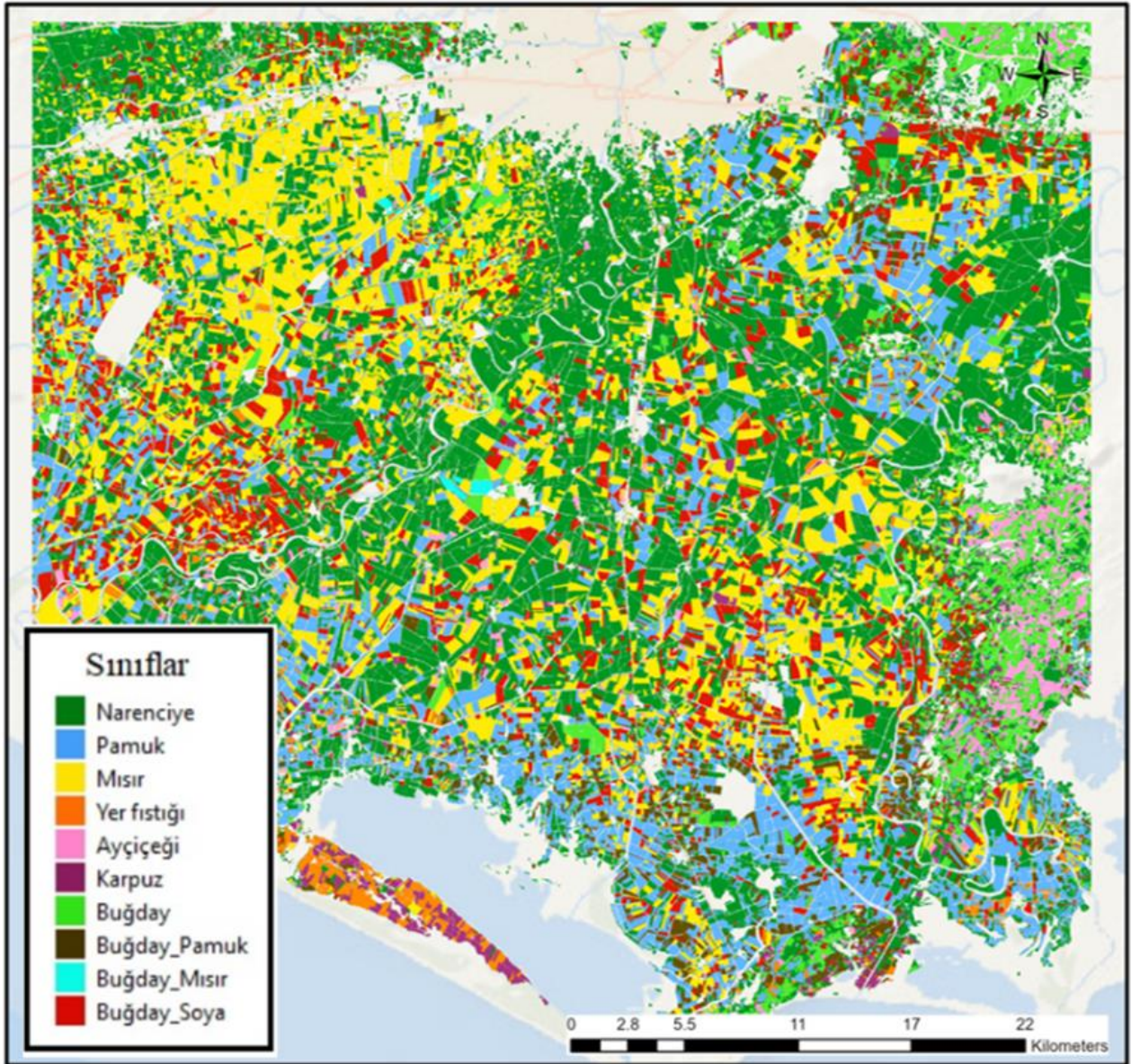
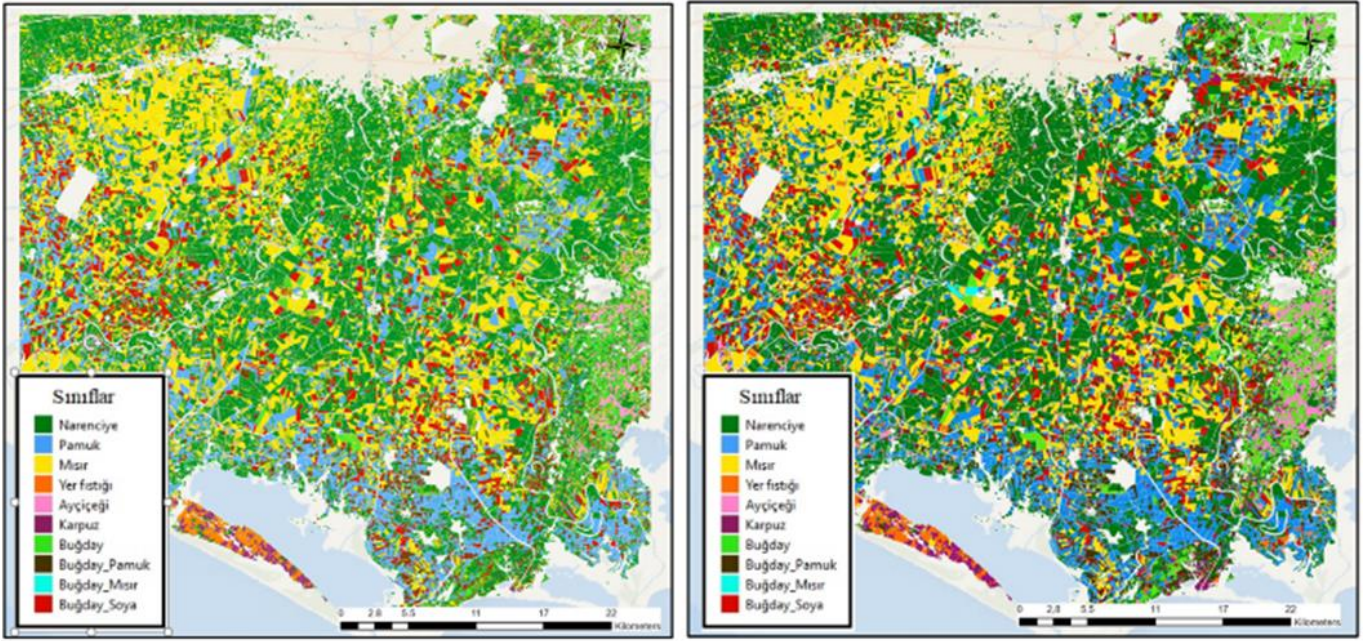
r: hata matrisindeki toplam satır sayısı

x_{ii} : i. satır ve sütundaki piksel sayısı

x_{i+} : i. satırdaki toplam piksel sayısı

x_{+i} : i. sütundaki toplam piksel sayısı

N: matrisin tamamındaki piksel sayısı



Tablo 4. Sınıflandırma sonucunda hesaplanan hata matrisi (*ÜD: Üretici Doğruluğu, *KD: Kullanıcı Doğruluğu).

SINIFLAR	Sentinel-1 (VH, VV, VH/VV)		Sentinel-2 (R, G, B, NIR, NDVI)		Sentinel-1, Sentinel-2 (VH, VV, VH/VV, R, G, B, NIR, NDVI)	
	ÜD (%)	KD (%)	ÜD (%)	KD (%)	ÜD (%)	KD (%)
Narenciye	70.4	73.2	89.3	87.5	90.4	91.5
Pamuk	73.4	76.9	95.2	91.6	95.6	92.3
Mısır	80.3	75.6	96.2	88.5	96.1	89.3
Yer fıstığı	75.6	73.2	88.5	89.1	89.2	89.3
Ayçiçeği	72.3	69.5	81.1	83.5	88.8	88.4
Karpuz	69.8	71.3	73.4	75.6	83.5	85.4
Buğday	80.5	76.9	94.6	93.2	94.5	96.7
Buğday_Pamuk	69.2	68.5	81.3	75.4	93.6	92.8
Buğday_Mısır	69.8	71.8	73.6	74.5	89.4	88.7
Buğday_Soya	72.3	73.4	74.3	75.2	90.5	90.3
Genel Doğruluk	%72.3		%87.2		%92.1	
Kappa Katsayısı	0.71		0.84		0.92	

Tablo 4'te verilen doğruluk değerlerine göre Sentinel-1 bantları (VH, VV) ve VH/VV indeksi ile yapılan sınıflandırma sonucunda %72.3 genel doğruluk 0.71 kapa katsayısı hesaplanmış olup, diğer sınıflandırma sonuçları ile kıyaslandığında en düşük doğruluk değeri veren sınıflandırma olmuştur. Sentinel-2 bantları (R,G,B,NIR) ve NDVI indeksi ile yapılan sınıflandırma sonucunda %87.2 genel doğruluk 0.84 kapa katsayısı hesaplanmış olup, yalnızca Sentinel-1 bantları ile yapılan sınıflandırma sonucundan yüksek, Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri ile yapılan sınıflandırma sonucuna kıyasla daha düşük bir sonuç elde edilmiştir. Sentinel-1 ve Sentinel-2 bantları ve bantlardan oluşturulan indekslerin (VH, VV, VH/VV, R, G, B, NIR, NDVI) kullanıldığı sınıflandırma sonucunda %92.1 genel doğruluk 0.92 kapa sayısı hesaplanmış olup en yüksek doğruluk değerine ait sınıflandırma sonucuna ulaşılmıştır. Her bir sınıf için doğruluk değerleri incelendiğinde, genel doğruluk değeri ve kapa katsayılarında olduğu gibi tüm sınıflara ait en düşük doğruluk Sentinel-1 bantları ile yapılan sınıflandırma sonucuna ait olup, yine her bir bant için en yüksek doğruluk değerini Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri ile yapılan sınıflandırma sonucu vermiştir. Sentinel-1 bantları (VH, VV) ve VH/VV indeksi ile yapılan sınıflandırma sonucu ürün bazında incelendiğinde, en düşük doğruluk veren sınıflar karpuz (ÜD: % 69.8, KD: %71.3), buğday_pamuk, (ÜD: % 69.2, KD: %68.5), buğday_mısır (ÜD: % 69.8, KD: %71.8), olurken en yüksek doğruluk değerine ulaşılan sınıflar, buğday, (ÜD: % 80.5, KD: %76.9) ve mısır (ÜD: % 80.3, KD: %75.6) sınıflarıdır.

Sentinel-2 bantları (R, G, B, NIR) ve NDVI indeksi ile yapılan sınıflandırma sonucu ürün bazında incelendiğinde, en düşük doğruluk veren sınıflar karpuz (ÜD: % 73.4, KD: %75.6), buğday_mısır, (ÜD: % 73.6, KD: %74.5), buğday_soya, (ÜD: % 74.3 KD: %75.2) iken en yüksek doğruluk değerine ulaşan sınıflar, pamuk (ÜD: % 95.2, KD: %91.6), mısır (ÜD: % 96.2 KD: %88.5) ve buğday (ÜD: % 94.6 KD: %93.2) sınıflarıdır. Sentinel-1 ve Sentinel-2 bantları ve bantlardan oluşturulan indekslerin (VH, VV, VH/VV, R, G, B, NIR, NDVI) kullanıldığı sınıflandırma sonucunda karpuz sınıfı en düşük doğruluk değerinde olup (ÜD: % 83.5, KD: %85.4), narenciye, yer fıstığı, ayçiçeği, buğday_mısır sınıfları %90 civarında doğruluk değerine, pamuk, mısır, buğday, buğday_pamuk

sınıflarında ise %95 civarında doğruluk değeri elde edilmiştir.

Sentinel-2 görüntüleri ile yapılan sınıflandırma ile Sentinel-1 ve Sentinel-2 ile görüntüleri yapılan sınıflandırma sonuçları karşılaştırıldığında, narenciye, pamuk, mısır, yer fıstığı ve buğday sınıflarında neredeyse bir değişiklik olmadığı, Sentinel-1 görüntülerinin eklemesi ile yapılan bu sınıflandırmanın sınıfların doğruluk değerini değiştirmede, karpuz ve ayçiçeği sınıflarında hem üretici hem kullanıcı doğruluğunu yukarı çektiği, özellikle rotasyonlu, çift ekim yapılan ürünlerde ise (buğday_pamuk, buğday_mısır, buğday_soya), doğruluk değerini çok yükselttiği tespit edilmiştir.

Çalışmada Sentinel-1 bantları (VH, VV) ve VH/VV indeksi ile yapılan sınıflandırma sonucunda %72.3 genel doğruluk 0.71 kapa katsayısı hesaplanmış olup, buğday ve mısır sınıfları hariç diğer sınıflara ait doğruluk değerleri genel doğruluk değerine yakın sonuçlar vermiştir. Çalışmada tek ürünlerden pamuk ile ayçiçeği, karpuz ile buğday, rotasyonlu ürünlerden ise buğday_pamuk ile buğday_mısır sınıflarının birbirleri ile karıştığı tespit edilmiştir. Radar görüntüleri ile sınıflandırma çalışmasının ürün tespitinde çok yüksek doğruluk vermediği ve tek başına yetersiz kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Sentinel-2 bantları (R,G,B,NIR) ve NDVI indeksi ile yapılan sınıflandırma sonucunda %87.2 genel doğruluk 0.84 kapa katsayısı hesaplanmış olup, ayçiçeği sınıfı mısır sınıfı ile karpuz sınıfı ise mısır, ayçiçeği ve hububat sınıfı ile bir miktar karışmıştır. Rotasyonlu çift ekim yapılan sınıflar ise (buğday_mısır, buğday_pamuk, buğday_soya) Sentinel-2 görüntülerinde spektral ayrılma eğrileri birbirine yakın olan bu sınıflar birbirleri ile karışmış olup söz konusu bu durum doğruluk değerlerini aşağı çekmiştir.

Çift ekim olan sınıflar birbirlerine yakın yansıma yaptıkları NDVI görüntülerden oluşturulan spektral ayrılma eğrilerinde de görülmektedir. Sentinel-1 ve Sentinel-2 bantları ve bantlardan oluşturulan ve vejetasyon indekslerinin (VH, VV, VH/VV, R, G, B, NIR, NDVI) kullanıldığı sınıflandırma sonucunda %92.1 genel doğruluk 0.92 kapa sayısı hesaplanmış olup, sadece karpuz sınıfında çok yüksek doğruluk oranına ulaşamadığı görülmektedir.

Çift ekim yapılan ürünlerde sadece optik görüntülerle yapılan sınıflandırmada sınıfların yüksek doğruluk başarımı göstermediği, optik ile radar görüntüleri ile

yapılan sınıflandırma çalışmasında ise çift ekim yapılan sınıflara ait başarımının, sadece optik görüntüleri kıyasla genel doğruluk değerinin %15 oranında artış yüksek doğruluk oranına ulaştığı tespit edilmiştir. Söz konusu bu durum çift ekim olan alanlarda yapılacak sınıflandırma çalışmalarında radar görüntülerinin de kullanılmasının sınıflandırma başarımını yüksek seviyelere çıkaracağını göstermiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Adana İli Seyhan, Yüreğir, Karataş ve Yumurtalık İlçeleri ile Mersin İli Tarsus İlçesine ait tarımsal alanı kapsayan Çukurova Ovası sınırları içerisinde bulunan, 2021 yılına ait Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu görüntüleri ile R Studio ortamında XGBoost makine öğrenme algoritması kullanılarak piksel tabanlı yaklaşımla tarımsal ürün desen sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Çalışmada yalnızca Sentinel-1 bantları ile (VV, VH, VV/VH), yalnızca Sentinel-2 bantları ile (R, G, B, NIR, NDVI) Sentinel-1 ve Sentinel-2 bantlarının (VV, VH, VV/VH, R, G, B, NIR, NDVI) birlikte kullanılması olmak üzere 3 farklı sınıflandırma çalışması yapılmış ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma çalışmasında hem optik hem de radar görüntüler için 11 farklı tarihte görüntü kullanılmış olup, çok zamanlı görüntülerin kullanıldığı bir sınıflandırma çalışması yapılmıştır.

Çalışmada referans veri olarak ÇKS beyanlı parseller kullanılmıştır. ÇKS beyanlı parsellerin referans veri olarak kullanılmasından önce bir dizi düzenleme ve silme işlemi gerçekleştirilmiştir. Tarım İl Müdürlüğünden sahadan toplanan ürünlere ait parseller temin edilmiş olup çok zamanlı Sentinel-2 görüntülerinden üretilen NDVI indeksine ait bantlar ve çok zamanlı Sentinel-1 görüntülerinden üretilen VH/VV indeksine ait bantlar kullanılarak her bir sınıf için spektral ayrılma eğrileri oluşturulmuştur. Her bir sınıfa ait spektral eğri referans alınarak ÇKS beyanlı parsellerdeki hata ya da uç değer taşıyan parseller eleme edilmiş böylece arazi gerçeği verisi bir başka ifade ile sınıflandırma işleminde kullanılacak referans parseller oluşturulmuştur. Çok zamanlı Sentinel-1, Sentinel-2 görüntüleri ile referans parseller kullanılarak XGBoost kütüphanesi aracılığıyla tarımsal ürün desen sınıflandırma çalışması yapılmıştır.

Çalışmada Sentinel-1 bantları (VH, VV) ve VH/VV indeksi ile yapılan sınıflandırma sonucunda %72.3, Sentinel-2 bantları (R,G,B,NIR) ve NDVI indeksi ile yapılan sınıflandırma sonucunda %87.2, Sentinel-1 ve Sentinel-2 bantları ve bantlardan oluşturulan ve vejetasyon indekslerin (VH, VV, VH/VV, R, G, B, NIR, NDVI) kullanıldığı sınıflandırma sonucunda %92.1 genel doğruluk sonucuna ulaşılmıştır.

Yalnızca Sentinel-1 görüntüleri ile yapılan sınıflandırmanın düşük doğruluk verdiği, ancak optik bir görüntü ile birlikte kullanıldığında genel doğruluk oranı yaklaşık %20 oranında artırarak yüksek doğruluk oranına ulaştığı tespit edilmiştir. Optik ve radar görüntüleri ile yapılan sınıflandırma çalışmasının, sadece optik görüntülerle yapılan sınıflandırma doğruluğuna kıyasla genel doğruluk değerini %5 civarında artırdığı da tespit edilmiştir.

Ücretsiz olarak temin edilebilen Sentinel-1 SAR ve Sentinel-2 görüntülerinin, spektral, mekânsal ve konumsal çözünürlükleri ile bu uydulara ait görüntülerin çok bantlı olarak zaman serisi şeklinde birlikte kullanılması tarımsal ürün desen tespitinin doğru ve yeterli bir seviyede yapılabileceğini göstermiştir.

Sınıflandırma çalışmalarında kullanılan makine öğrenmesi modelinin eğitilmesi için referans (arazi gerçeği) verilerinin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada olduğu gibi büyük alanlara sahip çalışma alanlarında ürün deseni belirlenecek her bir sınıf için araziden yeterli sayıda ve çalışma alanına homojen olarak dağılmış sayıda veri toplamak hem maliyetli hem de zaman alıcı bir eylem olup sürdürülebilir değildir. Söz konusu bu durumdan dolayı ÇKS beyanlı parsellerin yer doğruluk verisi olarak kullanılması alternatifine gidilmiştir. Sistematiğin ve olmayan birçok hata içeren ÇKS beyanlı parsellerde çeşitli işlem adımları gerçekleştirilerek (topolojik düzeltme, düzenleme, silme, spektral ayrılma eğrilerinin referans alınarak uç değerlerin eleme edilmesi), beyan esaslı bu parsellerden yer doğruluk verisi oluşturulmuş ve sınıflandırma çalışmasında kullanılmıştır. Sınıflandırma sonucunun yüksek doğruluk vermesi beyan esaslı parsellerin doğru bir referans veri haline getirildiği, bu ve benzeri çalışmalarda arazi gerçeği verisi olarak kullanılabileceğini de göstermiştir.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Acar, E., & Altun, M. (2021). Classification of the agricultural crops using landsat-8 NDVI parameters by support vector machine. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(1), 78-82. <https://doi.org/10.17694/bajece.863147>
- Altun, M., & Turker, M. (2022). Integration of Sentinel-1 and Landsat-8 images for crop detection: The case study of Manisa, Turkey. *Advanced Remote Sensing*, 2(1), 23-33.
- Bağcı, R. Ş., Acar, E., & Türk, Ö. (2023). Identification of cotton and corn plant areas by employing deep transformer encoder approach and different time series satellite images: A case study in Diyarbakir, Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 209, 107838. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107838>
- Bort Escabias, C. (2017). *Tree Boosting Data Competitions with XGBoost* [Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya].
- Cai, Y., Lin, H., & Zhang, M. (2019). Mapping paddy rice by the object-based random forest method using time series Sentinel-1/Sentinel-2 data. *Advances in Space Research*, 64(11), 2233-2244. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.08.042>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016, August). Xgboost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM Sigkdd International Conference on Knowledge*

- Discovery and Data Mining, 785-794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Chen, X., Wang, Z. X., & Pan, X. M. (2019). HIV-1 tropism prediction by the XGboost and HMM methods. *Scientific Reports*, 9(1), 9997. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46420-4>
- Çabuk, S. (2021). Aşırı Gradyan Artırma Algoritması kullanarak Sentinel-1 zaman serisi görüntülerinden ürün sınıflandırma. [Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi].
- Dobrinić, D., Medak, D., & Gašparović, M. (2020). Integration of multitemporal Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery for land-cover classification using machine learning methods. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 91-98. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-91-2020>
- Duysak, H., & Yiğit, E. (2022). Investigation of the performance of different wavelet-based fusions of SAR and optical images using Sentinel-1 and Sentinel-2 datasets. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 81-90. <https://doi.org/10.26833/ijeg.882589>
- Efe, E., & Alganci, U. (2023). Çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. *Geomatik*, 8(1), 27-34. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1092838>
- Fan, J., Zhang, X., Zhao, C., Qin, Z., De Vroey, M., & Defourny, P. (2021). Evaluation of crop type classification with different high resolution satellite data sources. *Remote Sensing*, 13(5), 911. <https://doi.org/10.3390/rs13050911>
- Farid, D. M., Maruf, G. M., & Rahman, C. M. (2013, May). A new approach of Boosting using decision tree classifier for classifying noisy data. In 2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV), 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICIEV.2013.6572718>
- Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. In International Electronic Conference on Remote Sensing (p. 11). <https://doi.org/10.3390/ECRS-3-06201>
- Fitriah, N., Wijaya, S. K., Fanany, M. I., Badri, C., & Rezal, M. (2017, July). EEG channels reduction using PCA to increase XGBoost's accuracy for stroke detection. In AIP Conference Proceedings, 1862(1). <https://doi.org/10.1063/1.4991232>
- 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>
- Jiao, X., Kovacs, J. M., Shang, J., McNairn, H., Walters, D., Ma, B., & Geng, X. (2014). Object-oriented crop mapping and monitoring using multi-temporal polarimetric RADARSAT-2 data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 96, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.06.014>
- Khabbazan, S., Vermunt, P., Steele-Dunne, S., Ratering Arntz, L., Marinetti, C., van der Valk, D., ... & van der Sande, C. (2019). Crop monitoring using Sentinel-1 data: A case study from The Netherlands. *Remote Sensing*, 11(16), 1887. <https://doi.org/10.3390/rs11161887>
- Lee, J. S., Jurkevich, L., Dewaele, P., Wambacq, P., & Oosterlinck, A. (1994). Speckle filtering of synthetic aperture radar images: A review. *Remote sensing reviews*, 8(4), 313-340. <https://doi.org/10.1080/02757259409532206>
- Lemoine, G., & Leo, O. (2015, July). Crop mapping applications at scale: Using Google Earth Engine to enable global crop area and status monitoring using free and open data sources. In 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 1496-1499. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326063>
- Lussem, U., Hütt, C., & Waldhoff, G. (2016). Combined analysis of Sentinel-1 and RapidEye data for improved crop type classification: An early season approach for rapeseed and cereals. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 959-963. <https://doi.org/10.5194/isprsjournals-XLI-B8-959-2016>
- McNairn, H., & Shang, J. (2016). A review of multitemporal synthetic aperture radar (SAR) for crop monitoring. *Multitemporal Remote Sensing: Methods and Applications*, 317-340. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47037-5_15
- Mercier, A., Betbeder, J., Rapinel, S., Jegou, N., Baudry, J., & Hubert-Moy, L. (2020). Evaluation of Sentinel-1 and-2 time series for estimating LAI and biomass of wheat and rapeseed crop types. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(2), 024512. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.14.024512>
- Mitchell, R., & Frank, E. (2017). Accelerating the XGBoost algorithm using GPU computing. *PeerJ Computer Science*, 3, e127. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.127>
- Morsy, S., & Hadi, M. (2022). Impact of land use/land cover on land surface temperature and its relationship with spectral indices in Dakahlia Governorate, Egypt. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 272-282. <https://doi.org/10.26833/ijeg.978961>
- Müller-Wilm, U., Devignot, O., & Pessiot, L. (2017). Sen2Cor Configuration and User Manual. S2-PDGS-MPC-L2A-SUM-V2. 4.
- Nasirzadehdizaji, R., Sanli, F. B., Cakir, Z., & Sertel, E. (2019, July). Crop mapping improvement by combination of optical and SAR datasets. In 2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics) 1-6. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820604>
- Patrous, Z. S. (2018). Evaluating xgboost for user classification by using behavioral features extracted from smartphone sensors, [Master Thesis, KTH Royal Institute of Technology].
- Polat, A. B., Sanli, F. B., & Akcay, O. (2022). Analyzing rice farming between sowing and harvest time with Sentinel-1 SAR data. *Advanced Remote Sensing*, 2(1), 34-39.

- Saini, R., & Ghosh, S. K. (2021). Crop classification in a heterogeneous agricultural environment using ensemble classifiers and single-date Sentinel-2A imagery. *Geocarto international*, 36(19), 2141-2159. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1700556>
- Skakun, S., Kussul, N., Shelestov, A. Y., Lavreniuk, M., & Kussul, O. (2015). Efficiency assessment of multitemporal C-band Radarsat-2 intensity and Landsat-8 surface reflectance satellite imagery for crop classification in Ukraine. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(8), 3712-3719. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2454297>
- Small, D., & Schubert, A. (2008). Guide to ASAR geocoding. ESA-ESRIN Technical Note RSL-ASAR-GC-AD, 1, 36.
- Sun, L., Chen, J., Guo, S., Deng, X., & Han, Y. (2020). Integration of time series sentinel-1 and sentinel-2 imagery for crop type mapping over oasis agricultural areas. *Remote Sensing*, 12(1), 158. <https://doi.org/10.3390/rs12010158>
- Şimşek, F. F., & Durduran, S. S. (2023). Açık kaynak kodlu Eo-learn kütüphanesi ve çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri ile tarımsal ürün sınıflandırması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 10(1), 45-62. <https://doi.org/10.9733/JGG.2023R0004.T>
- Türk, S. T., & Balçık, F. (2023). Rastgele orman algoritması ve Sentinel-2 MSI ile fındık ekili alanların belirlenmesi: Piraziz Örneği. *Geomatik*, 8(2), 91-98. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1127925>
- URL1: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1>
- URL2: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- Üstüner, M., Abdikan, S., Bilgin, G., & Şanlı, F. B. (2020). Hafif gradyan artırma makineleri ile tarımsal ürünlerin sınıflandırılması. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 1(2), 97-105.
- Viana, C. M., Girão, I., & Rocha, J. (2019). Long-term satellite image time-series for land use/land cover change detection using refined open source data in a rural region. *Remote Sensing*, 11(9), 1104. <https://doi.org/10.3390/rs11091104>
- Zhang, H., Kang, J., Xu, X., & Zhang, L. (2020). Accessing the temporal and spectral features in crop type mapping using multi-temporal Sentinel-2 imagery: A case study of Yi'an County, Heilongjiang province, China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105618. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105618>



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



Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



Diş Kayalıkları'nın (İmranlı, Sivas) insansız hava aracı (İHA) kullanılarak 3 boyutlu modelinin oluşturulması

Faruk Aylar ¹, Serkan Gürgöze ¹, Halil İbrahim Zeybek ¹, Ali Uzun ¹, Halithan Şen ¹

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun, Türkiye, farukaylar@gmail.com; serkangurgoze@gmail.com; zeybekhi@gmail.com; aliuzun@omu.edu.tr; halithan.sen@omu.edu.tr

Kaynak Göster: Aylar, F., Gürgöze, S., Zeybek, H. İ., Uzun, A., & Şen, H. (2024). Diş Kayalıkları'nın (İmranlı, Sivas) insansız hava aracı (İHA) kullanılarak 3 boyutlu modelinin oluşturulması. *Geomatik*, 9 (1), 69-85

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1341633>

Anahtar Kelimeler

Jeomorfoloji
İHA
Fotogrametri
Diş Kayalıkları
Sivas

Araştırma Makalesi

Geliş: 11.08.2023
Revize: 19.09.2023
Kabul: 28.09.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

Kullanım kolaylığı ve sağladığı birçok avantaj insansız Hava Araçlarının (İHA) askeri, sivil (hobi, ticari) ve bilimsel amaçlı kullanımını hızla arttırmaktadır. İçinde pilotu ve yolcusu olmayan, sadece amaca uygun ekipman taşıyarak görevini yerine getiren İHA kullanımı, birçok alanda olduğu gibi jeomorfoloji çalışmalarında da giderek yaygınlaşmaktadır. İHA kullanımı araziye havadan çeşitli açılardan fotoğrafçılıkla ilgili sınırlı değildir. Gelişen İHA teknolojisi sayesinde haritalama, sinematografi, ortofoto ve sayısal yükseklik modeli (SYM) üretimi ile 3B modeller bu hava araçlarının bilimsel amaçlı kullanım alanlarındandır. Bu çalışmada yaklaşık 4.7 km uzunluğundaki Diş Kayalıkları'nın İHA kullanılarak 3B Modellemesinin nasıl yapılabileceği örnek bir uygulama ile açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışma sırasında 3 saat 20 dakika İHA uçuşu gerçekleştirilmiş ve toplam 2.996 koordinatlı ve bindirmeli fotoğraf çekimi yapılmıştır. Bu fotoğraflar bir dizi işlemden geçirildikten sonra Diş Kayalıkları'nın yüksek çözünürlüklü, ortofoto, SYM ve 3B görüntüleri elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda jeomorfoloji alanında İHA kullanımının bazı detayların daha ayrıntılı incelenmesine imkân tanıdığı tespit edilmiştir.

Creating a 3D model of Diş Kayalıkları (İmranlı, Sivas) using unmanned aerial vehicle (UAV)

Keywords

Geomorphology
UAV
Photogrammetry
Diş Kayalıkları
Sivas

Research Article

Received: 11.08.2023
Revised: 19.09.2023
Accepted: 28.09.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

Unmanned ease of use and the many advantages it provides are rapidly increasing the use of UAVs for military, civilian (hobby, commercial) and scientific purposes. The use of UAVs, which do not have a pilot and passenger inside and only carry equipment suitable for the purpose, is becoming increasingly widespread in geomorphology studies as in many other fields. The use of UAVs is not limited to photographing the land from various angles from the air. Thanks to the developing UAV technology, mapping, cinematography, orthophoto and digital elevation model (DEM) production and 3D modeling are among the scientific uses of these aerial vehicles. In this study, it is tried to explain how 3D modeling of the Tooth Rocks, which is approximately 4.7 km long, can be done using UAVs with a sample application. During the study, a UAV flight was performed for 3 hours and 20 minutes and a total of 2,996 coordinated and overlapping photographs were taken. After these photographs were processed through a series of processes, high resolution orthophoto, DEM and 3D images of the Tooth Rocks were obtained. As a result of the study, it was determined that the use of UAVs in the field of geomorphology allows for a more detailed examination of some details.

1. Giriş

Yerkabuğu yüzeyinde oluşan yer şekillerinin bir grubunu mikro şekiller oluşturur (Duszyński ve ark., 2019). Büyük boyutlara sahip olmayan ve bu nedenle oransal olarak mikro-topoğrafya terimi kapsamı içinde yorumlanan bu şekiller, akarsular, buzullar, dalgalar gibi dış etkenlerin ve ayrıca soliflüksiyon, farklı aşınma, heyelan gibi süreçlerin eseri olan şekilleri kapsar (Erinç, 2015; Duszyński ve ark., 2019). Bu şekillerin oluşumunda iç etkenler yapı ve litoloji yolu ile etkisini gösterirken aynı zamanda gelişme modelleri ve doğrultularını da belirler (Erinç, 2015; Yalçınlar, 1996). Ancak hangi yapı ve litoloji üzerinde olursa olsun, mikro-topoğrafya şekillerinin oluşumunda, evriminde, son şekillerin meydana gelişinde ve bu bakımdan yeryüzündeki çeşitli alanların farklılaşmasında dış etken ve süreçler genelde ve ayrıntıda kesin rol oynar (Erinç, 2015; Yalçınlar, 1996). Aynı iklim bölgesi içinde bile kayaç türlerinin farklı olması yer şekillerinin de farklılaşmasını sağlamaktadır (Yalçınlar, 1996; Strahler, 2011). Bununla birlikte yer şekillerinin oluşumunda litolojiyle birlikte tektonik yapının da önemli etkisi vardır (Yalçınlar, 1996; Strahler, 2011). Dış etkenlerin özellikle de akarsuların tektonik yapıya uyum sağlaması şeklinde kendini belli eden bu süreç, yer şekillerinin evrimi bakımından önemlidir. Belli yapılar üzerinde akarsuların bu yapı hatlarına uyumu sonucu, aşınımın evrimine paralel olarak, belli yeryüzü şekilleri meydana gelmektedir (Erinç, 2015).

Dış etkenlerin topoğrafya üzerindeki etkileri belli süreçler yoluyla oluşur. Bu süreçlerden bir kısmı statik, bir kısmı ise mobil olarak etkisini gösterirler (Erinç, 2015). Statik süreçler topoğrafya şekillerini oluşturan malzemeyi buldukları yerde ve herhangi bir biçimde yer değiştirmesine olanak vermeden değişikliklere uğratar. Bu süreçlerin en önemli rolü, kayaçları dış kuvvetler tarafından kolayca taşınabilecek bir hale getirerek aşınım için hazırlamalarıdır (Erinç, 2015; Mason ve ark., 2016). Mobil süreçler ise yer kabuğunu oluşturan malzemenin dış kuvvetler tarafından aşındırılması, taşınması ve biriktirilmesini sağlar (Erinç, 2015; Mason ve ark., 2016). Her iki süreç ve tektonik yapının etkisiyle yeryüzünün bazı bölgelerinde karakteristik yer şekilleri oluşmaktadır. Nitekim, yatay, kıvrımlı, monoklinal, domlu ve faylı yapılarla bu süreçlerin etkisiyle farklı gelişim evrelerinde birbirinden farklı özellikler taşıyan yer şekilleri oluşmuştur (Hoşgören, 2007; Erinç, 2015; Mason ve ark., 2016).

Aralarında direnç farkı bulunan tabakalı arazilerde, yerel iklimin kontrolünde farklı yer şekilleri oluşur (Yalçınlar, 1996; Erinç, 2015; Scheidegger, 2012; Huggett, 2017). Bu şekiller tabakaların değişen eğim değerlerine bağlı olarak farklı adlarla anılır. Araştırmacılar arasında tam bir birlik olmasa da tabakaların eğimi 10 dereceden az ise *kuesta*, 10-45 derece arasında ise *homoklinal sırt*, 45-70 derece arasında ise *hogback* ve 70 dereceden fazla ise *kret* olarak adlandırılır (Cruden, 2003; Cruden & Hu, 1999; Gerrard, 2012; Goudie, 2004; Huggett, 2017; Yalçınlar, 1996; Uzun ve ark., 2023). Kretler, jeomorfolojik bir şekil olarak, Dünyanın birçok ülkesinde tanımlanmış ve incelenmiştir (Cruden ve Hu, 1999; Gerrard, 2012;

Gutiérrez ve Gutiérrez, 2016; Sponemann, 1989). Kret şekillerinin en tanınmışlarından biri Amerika Birleşik Devletleri'nin Utah eyaletindeki Şeytan kaydırığıdır (Devil's slide), (Ege, 2003). Bu jeomorfosit halen turizm amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri'nin Montana eyaletinde de aynı adla (Devil's slide) bir başka jeomorfosit daha bulunmaktadır (Reichard, 2015). Bu çalışmanın konusunu oluşturan Dış Kayalıkları da görünümü ve boyutları itibarıyla dünyadaki en büyük ve tipik kret örneklerden biridir ve turizm amaçlı kullanılma potansiyeli vardır (Uzun ve ark., 2023).

Bu kapsamda gerek Türkiye'de gerekse dünyanın farklı bölgelerinde henüz araştırılmamış olası kret oluşumlarının, bu bölgelerin jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerinin farklı yöntem ve tekniklerin yanı sıra 3 boyutlu modeller oluşturularak araştırılması bu bölgelerin bir jeosit veya jeomorfosit olarak tescil edilmesinde büyük öneme sahiptir (Lejot ve ark., 2007; Smith ve ark., 2009; Rosnell ve Honkavaara, 2012; Harwin ve Luvieer, 2012; Anderson ve Gaston, 2013; Micheletti ve ark., 2015; Erenoğlu, 2021). Jeomorfoloji çalışmalarında İnsansız Hava Aracı (İHA) son yıllarda yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle yüzey araştırmalarında ulaşılması zor alanlara ulaşmada önemli derecede kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca zaman ve ekonomik açıdan büyük ölçüde tasarruf edilmektedir. İHA'lar genellikle araziye yukarıdan çeşitli açılarla fotoğraflama imkânı sağladığı için tercih edilmektedir. Ancak İHA kullanımı sadece fotoğraflama ile sınırlı değildir. Bunun dışında haritalama, sinematografi, ortofoto üretimi, Sayısal Yükseklik Modeli üretimi (SYM) ve 3B modellemeler gibi farklı amaçlar için de kullanılabilir (Ulvi ve Toprak, 2016; Mirdan ve Yakar, 2017; Kasprzak ve ark., 2018; Langhammer ve Vackova, 2018; Doğan, 2019; Prodanov ve ark., 2019a; Gomez-Pazo ve Perez-Alberti, 2021; Senkal ve ark., 2021; Sledz ve ark., 2021; Şenol ve ark., 2021; Aktan ve ark., 2022; Kanun ve ark., 2021; Yılmaz ve ark., 2022). Gelişen teknolojiye dayalı bu tür yöntemler kullanılarak kret gibi özel bazı yer şekillerinin daha detaylı incelenmesi mümkün olabilmektedir (Böhler ve Heinz, 1999; Scherer, 2002). Kretlerin oluşumunu etkileyen yapısal özellikler, kayaç türü, tabaka kalınlığı ve eğimi ile kırık ve fay sistemleri, bağıl yüksekli farkı gibi faktörlerin belirlenmesinde 3B modellemeler önemli kolaylık sağlamaktadır. Bununla birlikte, yer şekillerinin 3B modellemesi için İHA yardımıyla yüksek çözünürlüklü verilerin elde edilmesi, yer bilimlerindeki birçok çalışma için de önem taşımaktadır (Smith ve ark., 2009; Rosnell ve Honkavaara, 2012; Erenoğlu, 2021). İHA teknolojisindeki son yıllardaki gelişmeler sonucunda dijital fotogrametri, yüksek çözünürlüklü topoğrafik veri elde etmenin en etkili yollarından biri haline gelmiştir. Ayrıca, bu tür fotogrametri için gerekli olan düşük mesafeden çekilmiş bindirmeli hava fotoğraflarının temini için yeni bir platform olarak İnsansız Hava Araçlarının (İHA) kullanımının jeomorfoloji çalışmalarında giderek yaygınlaştığı görülmektedir (Lejot ve ark., 2007; Harris ve Norman Wight, 2008; James ve Varley, 2012; Hugenholtz ve ark., 2013; Clapuyt ve ark., 2016; Mizinski ve Niedzielski, 2017; Prodanov ve ark., 2019b; Sledz ve ark., 2021).

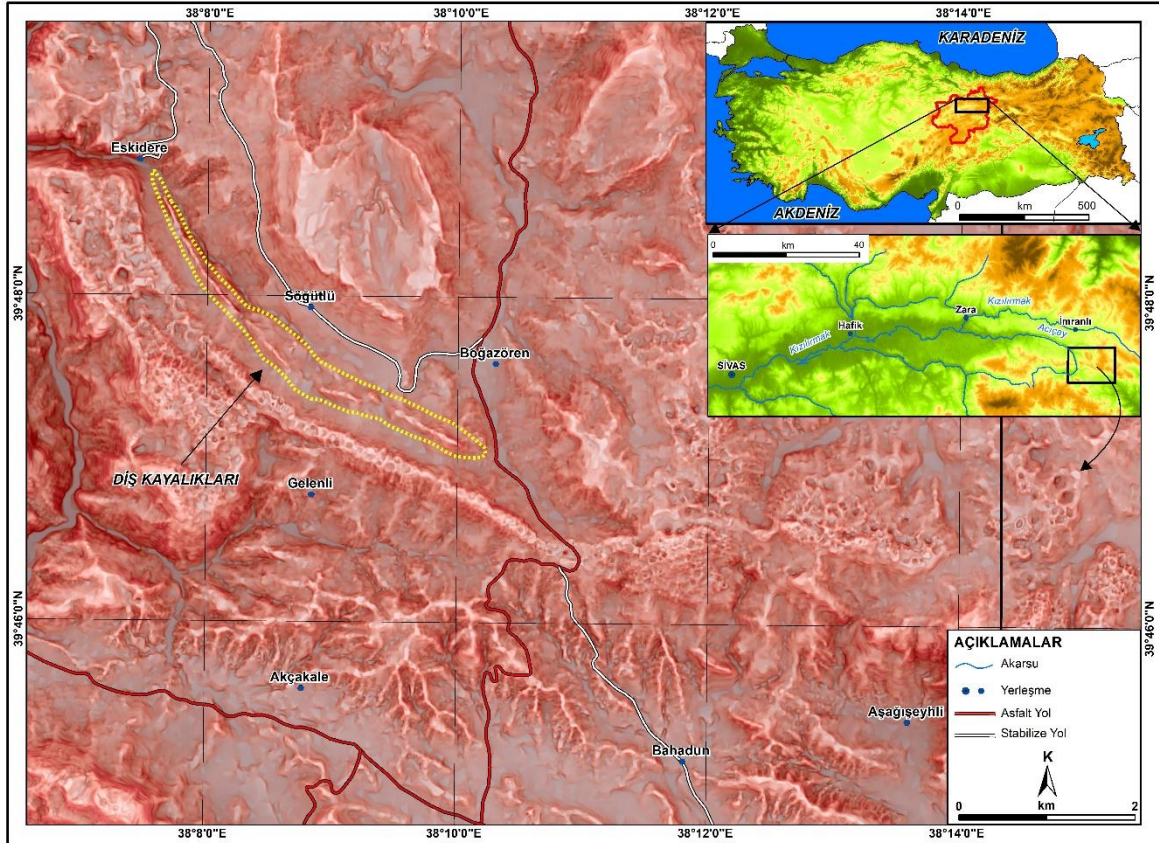
Fotogrametri yöntemi ile oluşturulan 3B modeller gerçek ölçü ve görüntüsünde olmaktadır. Fotogrametrik ölçüm sistemleri, nesnenin coğrafi referansı ile modellenmesinin yanı sıra gerçek nesne geometrisinin belirlenmesini sağlar. Buna ek olarak bu teknolojiler özellikle nesnenin gerçek görüntüsü ile işlendiği için gerçek görüntüye sahip 3B modellemeye imkân tanımaktadır (Şenol ve Kaya, 2019; Ulvi ve ark., 2020; Yiğit ve Ulvi, 2020). Fotogrametri hemen hemen her büyüklükteki objenin detaylı çizimleri için günümüzde yaygın olarak kullanılan, tek veya çok fotoğraftan elde edilen, yüksek doğrulukta bilgileri içeren, üzerinde çeşitli ölçümler ve analizler yapma imkânı sunan bir teknolojidir. Çalışması yapılacak objeye ait fotoğraf verilerinin alımı sırasında kullanılan İHA kamerasının dikey konumda sabit objeye yöneltilerek kullanılan bu teknik "İHA Fotogrametri Tekniği" olarak adlandırılmaktadır (Yiğit ve Ulvi, 2020). Bu teknik ile elde edilen bindirmeli fotoğraflar farklı programlarda işlenerek 3B modeller elde edilmektedir. Bu teknik ile elde edilen 3B modeller mimari, arkeoloji, jeoloji, coğrafya ve tarihi eserlerin restorasyon çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır (Rau ve ark., 2012; Yakar ve ark., 2015; Erenoğlu ve ark., 2017; Murfitt ve ark., 2017; Özcan, 2017; Kasprzak ve ark., 2018; Langhammer ve Vackova, 2018; Yılmaz ve ark., 2018; James ve ark., 2019; Pan ve ark., 2019; Şasi, 2020; Ulvi ve ark., 2020; Yiğit ve Ulvi, 2020; Erenoğlu, 2021; Gomez-Pazo ve Alberti, 2021; Şenol ve ark., 2021; Şenol ve Orman, 2022; Dölek ve Çevik, 2023; Kabadayı ve Erdoğan, 2023).

Bu çalışmada ise yaklaşık 4,7 km uzunluğunda ve yaklaşık güneydoğu-kuzeybatı istikametinde uzanış gösteren, yörede Diş Kayalıkları olarak bilinen kretin İHA

kullanılarak 3B modellemesinin nasıl yapıldığı örneklerle anlatılmıştır. Bu modelleme örnek çalışması ile Diş Kayalıkları'nın jeomorfolojik yapısının ortaya konulmasının yanı sıra geleneksel yöntemlerle elde edilen saha envanteri bilgilerine katkı sunulması amaçlanmaktadır.

2. Doğal çevre özellikleri

Diş Kayalıkları, Sivas ili İmranlı ilçesine bağlı Eskidere ve Boğazören köyleri arasında bulunur (Şekil 1). Kuzeybatı-güneydoğu yönünde doğrusal bir uzanış gösteren Diş Kayalıkları, $39^{\circ} 48' 35.39''$ K - $38^{\circ} 07' 77.80''$ D ile $39^{\circ} 45' 17.15''$ K - $38^{\circ} 12' 30.60''$ D koordinatları arasında yer almaktadır. Diş Kayalıkları'nın oluşumunda da etkili olan en önemli litolojik birim Ağılıkaya formasyonudur. Bu birimdeki kırmızı renkli ve gevşek dokulu çakıtaşı-kumtaşı-çamurtaşı aralanmasından oluşan greler Üst Miyosen-Pliyosen, beyaz renkli kalın jipsler Orta-Üst Miyosen, beyaz-krem renkli fosilli resifal kireçtaşları Alt Miyosen ve çakıtaşı-kumtaşı ile yeşil renkli çamur taşlarından oluşan marnlar Üst Oligosen-Alt Miyosen olarak yaşlandırılmıştır (Kurtman, 1973; Çubuk ve İnan, 1998; Bilgiç, 2016; Uzun ve ark., 2023). Diş Kayalıkları asimetrik bir antiklinalin dikleşmiş güney kanadında yer alan dirençli kayaç paketinin seçici aşınmayla açığa çıkması sonucu oluşmuştur. Özellikle batı kesiminde sandviç yapısına sahip olan bu dirençli kayaç paketi iki kireçtaşı tabakası arasında yer alan bir kumtaşı tabakasından oluşmuştur. Bu paketin dışındaki daha az dirençli marn ve çamurtaşı tabakaları ise seçici aşınmayla boşaltılmış ve Diş Kayalıkları açığa çıkmıştır (Uzun ve ark., 2023).



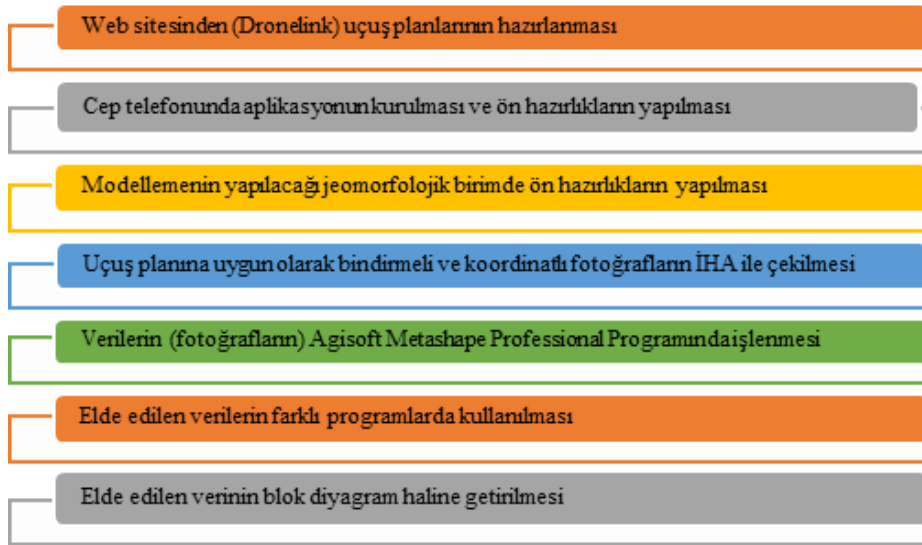
Şekil 1. Çalışma sahasının lokasyon haritası.

Türkiye geneli için, Köppen-Geiger iklim sınıflandırması kullanılarak yapılan bir çalışmada, araştırma sahası "Dsb" harfleri ile gösterilen, orta enlemlerin kışları soğuk ve nemli, yazları ılık ve kurak geçen tipik karasal iklim sahası içinde yer almaktadır (Öztürk vd., 2017). Diş Kayalıkları'nın çevresinde kahverengi topraklar yaygındır. Genellikle kaba bünyeli olan bu toprakların derinliği eğime bağlı olarak birkaç cm ile 45-50 cm arasında değişmektedir. Diş Kayalıkları'nın her iki yanında, anakayadan ufalanmış malzemelerin birikmesiyle genç ve kalın bir kolüvyal örtü oluşmuştur. Diş Kayalıkları'nın çevresinde antropojenik stepler yaygındır. Yörede kışların soğuk geçmesi, ormanların yakacak olarak kullanılmasının başlıca sebebinin oluşturmuştur. Ormandan açılan ve uygun eğim ve toprak şartlarına sahip alanlar tarıma açılmışken, yüksek eğimli alanlar ise genellikle mera alanı olarak

kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yörede parçalar halinde kalmış ağaç topluluklarına rastlanmaktadır. Bu orman bakiyelerinin başlıca elemanlarını meşe (*Quercus sp.*) ve ardıçlar (*Juniperus sp.*) oluşturmaktadır. Bunlara yer yer akçağaçlar (*Acer sp.*) katılmaktadır (Uzun vd., 2023).

3. 3B Modellemenin İşlem Basamakları ve Uygulanması

İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanılarak Diş Kayalıkları olarak bilinen kretin 3B modelinin oluşturulmasında takip edilmesi gerek işlemler diğer yapılacak çalışmalara örnek olması bakımından aşağıda verilmiştir (Şekil 2). Modelleme sırasında karşılaşılan zorluklar ve bunların çözümüne yönelik öneriler işlem basamaklarının açıklanması sırasında detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 2. 3 Boyutlu modelleme oluşturulmasında işlem basamakları.

Bu çalışma için DJI Mavic Pro İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanılmıştır. Bu İHA hem taşınabilirliğinin kolay olması hem de ana gövdesine entegre kameranın 4K özellikte olmasından dolayı çok başarılı fotoğraf çekme kabiliyetine sahiptir. 3B Modelleme için gerekli fotoğrafların çekiminde kullanılan İHA'nın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. DJI Mavic Pro serisi İnsansız Hava Aracının teknik özellikleri (URL-1).

Parametreler	Özellikleri
Engel Sensörü	3 yönlü
Hareketli Gimbal	3 eksenli
Sabit irtifa	Var
Ağırlık	650-750 gr
Batarya	3830 mAh LiPo
Ebat	31-35 cm
Uçuş Hassasiyeti (GPS Modlu)	Dikey ± 0.8 m. Yatay ± 2.0 m.
Kamera	4K
Maksimum Hız	45-65 kmh
Uçuş Mesafesi	5000-6000 m
Fotoğraf Pixel	12 megapixel
Max Çözünürlük	4000x3000
Lens	28 mm
ISO Hassasiyeti	100-3200

3.1. Web Sitesinden (Dronelink) Uçuş Planlarının Hazırlanması

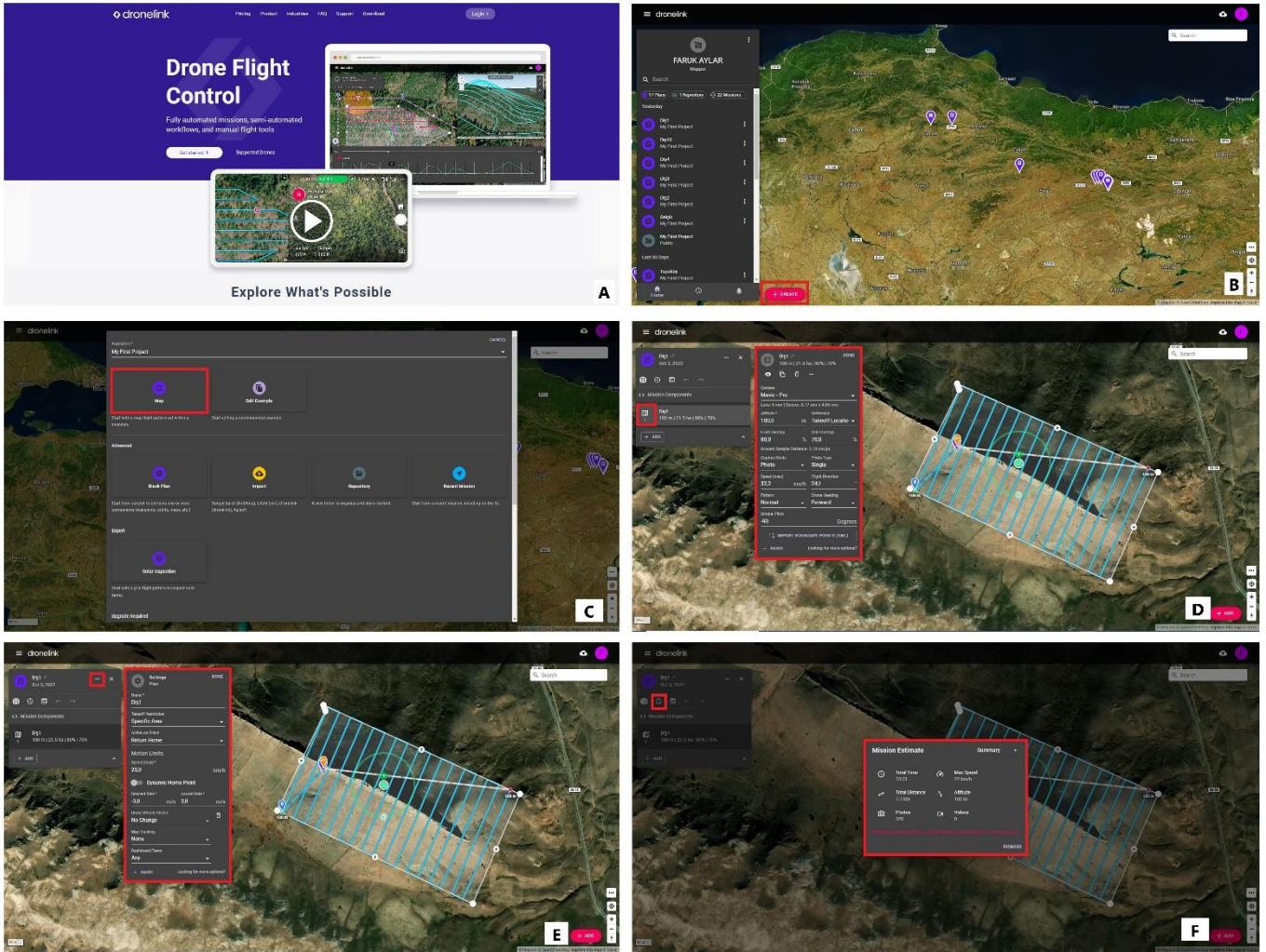
İnsansız Hava Aracı (İHA) ile bir nesnenin serbest uçuş şeklinde havadan bindirmeli fotoğraflarının çekilmesi pek mümkün olmamaktadır. Bu tür fotoğrafların çekilebilmesi için İHA'nın sabit bir yükseklikten uçuşması ve kameranın görüş açısının ayarlanarak fotoğrafların belli bir oranda birbiri üstüne gelecek şekilde çekiminin gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu zorluğun aşılması için en kolay çözüm yolu İHA'nın hazırlanan uçuş planı ile kendi kendine uçuşması ve verilen talimatlar çerçevesinde ilgili nesnenin fotoğraflarını çekmesidir. Özellikle bu işe yeni başlamış veya haritalama konusunda yeteri kadar deneyimi olmayan araştırmacıların bu çalışmada anlatılan yöntemi uygulayarak ihtiyaçları olan verileri elde etmeleri mümkün olabilecektir. Piyasada İHA kullanılarak 3B modelleme yapılabilen farklı programlar ve web uygulamaları bulunmaktadır. Bu çalışmada uçuş planlarının hazırlanmasında Dronelink web sitesi kullanılmıştır (Şekil 3).

Bu web sitesine giriş yapıldıktan sonra çıkan haritadan uçuş yapılacak alan belirlenir (Şekil 3A, 3B). Ardından Create butonu yardımıyla yeni uçuş planı için

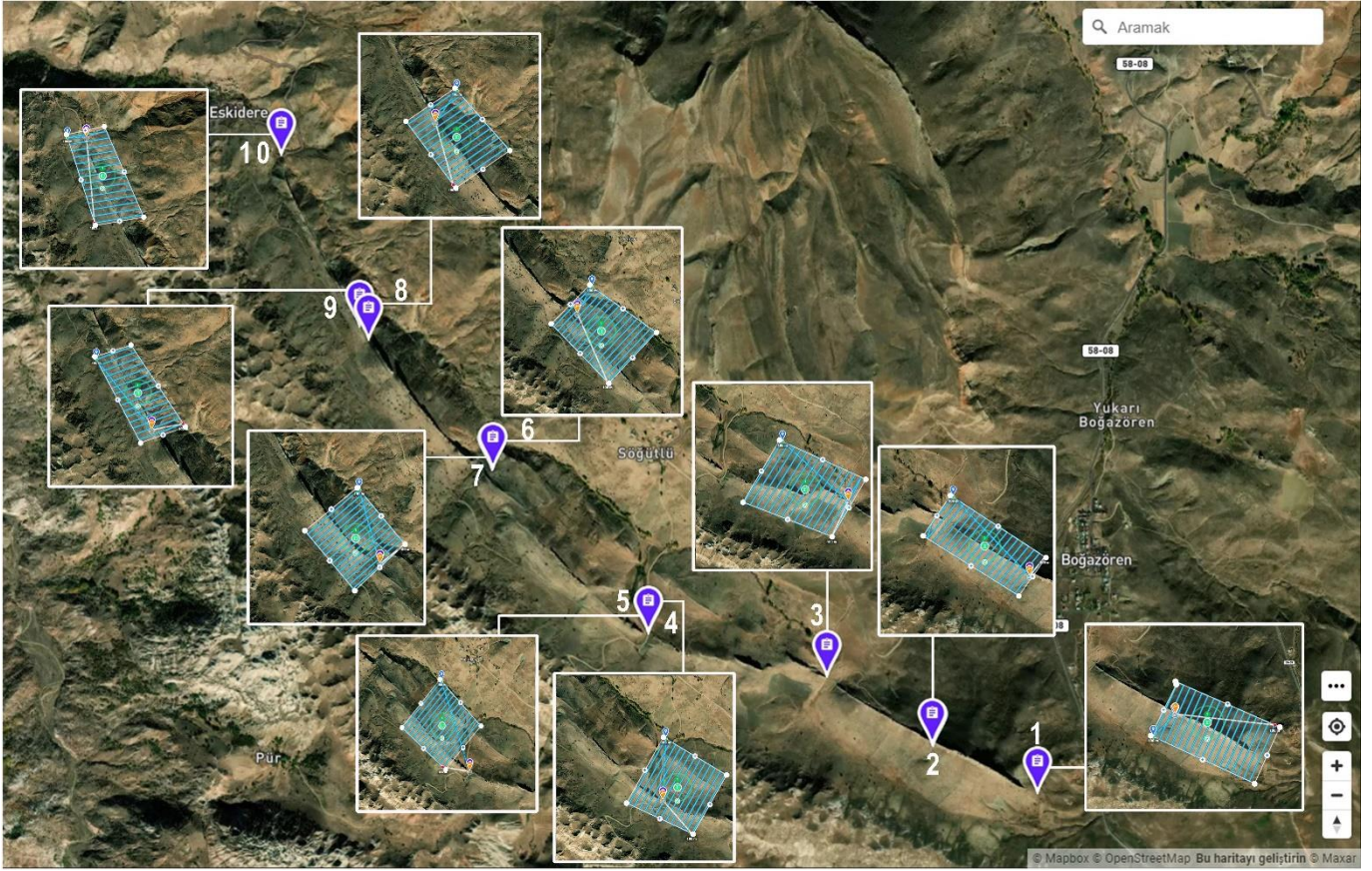
işlem başlatılır. Karşımıza çıkan menüden Map butonuna basılarak harita üzerinde uçuş yapacağımız alanda uçuşun ilk başlatılacağı yer seçilir (Şekil 3C). Burada dikkat edilmesi gereken husus uçuşun başlayacağı yerin ulaşımının kolay olması ve nispeten düz bir yer olmasıdır. Ayrıca bu ilk kalkış yerinin seçiminde topoğrafik durumunda göz önüne alınması gerekmektedir. Uçuş yüksekliği bu ilk kalkış yerine göre İHA tarafından otomatik olarak belirleneceği için modelleme yapılacak sahanın en yüksek noktası ile kalkış yeri arasındaki nispi yüksekliğin belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada harita üzerinde ızgara şeklinde uçuş rotası gösterilmektedir. Modellemesini yapacağımız yer şeklini içine alacak şekilde bu ızgaranın ayarlanması gerekmektedir (Şekil 3D, 3E). Bu aşamada ayrıca Settings penceresinde ye alan Name kısmına uçuş planımızın adını, Takeoff Restriction seçeneğini Specific Area ve Speed (max) kısmını ise ister programın verdiği değerde bırakılabilir ya da özellikle hızı istenirse kullanıcı değer olarak girebilir. Bu ayarlardan sonra Done butonu ile yapılan işlem kaydedilir. Yan tarafta üzerinde uçuş planının isminin bulunduğu pencerede yer alan Map kısmına basılarak ince ayar kısmına geçilir. Buradaki en önemli ayarlardan birisi Camera bölümüdür.

Burada açılan menüden uçuş yapacak İHA'nın markası doğru seçilmelidir. Ardından daha önce açıklandığı üzere topoğrafik duruma bağlı Altitude kısmına uçuş yüksekliği yazılmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken durum uçuş yüksekliği arttıkça daha az fotoğraf çekileceği ve uçuş süresinin kısaldığıdır. Buna karşılık elde edilecek SYM (DEM) görüntüsünün kalitesi de düşecektir. Bir diğer deyişle uçuş yüksekliği ile SYM (DEM) arasında ters orantı vardır.

Bu menüde Front Overlab ve Side Overlab bindirmeli fotoğrafların birbirine yüzde olarak ne kadar çıkışacağını ifade etmektedir. Olduğu gibi bırakılabilir ya da %80 olarak her iki kısım da ayarlanabilir. Bu bölümde en son Gimbal Pitch kısmında kamera açısının -90 derece olup olmadığı kontrol edilerek done ile yapılan işlemler kaydedilir (Şekil 3F). Bu aşamadan sonra İHA uçuşa hazır hale gelmiştir. Bununla birlikte bu çalışmada olduğu gibi çalışılan alan büyük ise bu planlamadan alanın tamamını kapsayacak şekilde tekrar yapılması gerekmektedir. Örneğin Diş Kayalıkları yaklaşık 4.7 km uzunluğunda olduğundan toplam 10 uçuş planı hazırlanarak alanın tamamının fotoğraflama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Dronelink web sitesinde İHA ile uçuşun yapılabilmesi için (A) öncelikle üye olmak gerekmektedir. Bu işlemin ardından arayüz açıldıktan sonra (B) Create butonu ile planlama başlatılır. (C) Çıkan menüden map seçilerek plan harita üzerinde planlanmaya başlar. (D ve E) Ardından uçuş için gerekli parametreler ayarlanır. (F) Son aşamada yapılan uçuş planı kontrol edilir.



Şekil 4. Dış Kayalıkları'nın Dronelink web sitesinde hazırlanmış uçuş planları. Numaralandırılan yerler İHA'nın ilk uçuşa başlayacağı yeri göstermektedir. Küçük görüntüler ise toplam 10 uçuş planının yerini göstermektedir.

3.2. Cep telefonunda uygulamanın kurulması ve ön hazırlıkların yapılması

Büro çalışmaları sırasında Dronelink web sitesinden çalışmasını yapacağımız nesne ile ilgili uçuş planlaması yapıldıktan sonra, uçuş planının arazi çalışmaları sırasında kullanılması için ilgili programın cep telefonuna uygulamanın kurulması gerekmektedir. Bu uygulama hem Android tabanlı cep telefonları hem de IOS tabanlı cep telefonları için kullanılabilir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli bir ayrıntı ise bazı İHA'lar da kumanda cihazının kendinden ekranlı olabileceğidir. Bu tür İHA'lar da kumandaya uygulama kurulmadığı için bu sistemin çalışması mümkün olmamaktadır.

Gerekli uygulamanın kurulmasının ardından Dronelink web sitesine üye olurken kullanılan kullanıcı adı ve parola bu uygulama içinde geçerlidir (Şekil 5). Cep telefonuna kurulum tamamlandıktan sonra bu bilgiler girilerek giriş sağlanmış olur (Şekil 5A ve 5B). Bu program yardımı ile web sitesinde hazırladığımız uçuş planlarını arazide uygulamamız mümkün olmaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken önemli husus bu tür programların çalışması için internete ihtiyaç duyulmasıdır. Arazi çalışmaları sırasında bulunduğumuz konum itibarıyla internetin bazı alanlarda çekmeyeceği için bazı önlemler alınmalıdır. Bunun için web sitesinde uçuş planını hazırladıktan sonra cep telefonundan uygulama açılır ve bütün uçuş planlarının sağ tarafındaki menüden Download for offline seçeneği ile hazırlanmış olduğumuz plan telefonun hafızasına indirilir (Şekil 5C ve 5D). Bu aslında arazi çalışmalarında bir

problem yaşamamak için alınan bir tedbirdir. Bütün uçuş planları için aynı işlem yapıldıktan sonra telefona kurulan uygulamadan her uçuş planı ayrı ayrı açılarak kontrol edilir ve arazi çalışmaları için bu hazırlık aşaması tamamlanmış olur.

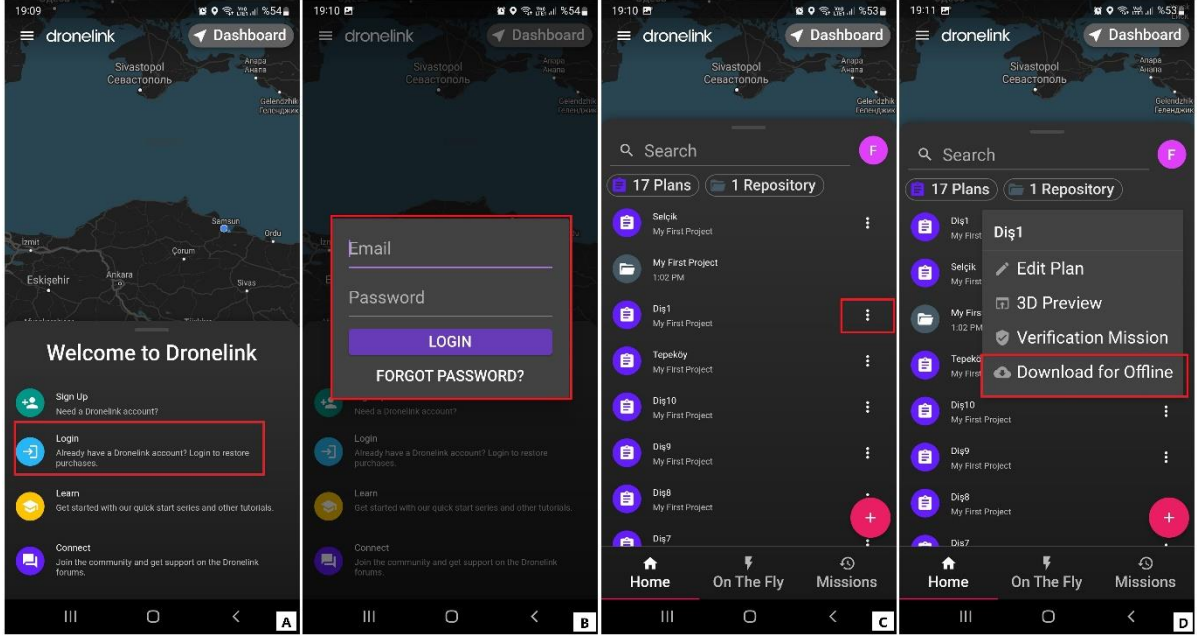
3.3. Modellemenin Yapılacağı jeomorfolojik birimde ön hazırlıkların yapılması

Ön hazırlık çalışmalarının ardından İHA ile daha önce hazırlanan uçuş planının gerçekleştirilebilmesi için arazide bazı hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Öncelikle modellemenin yapılacağı jeomorfolojik birimde tek bir uçuş yapılacaksa Dronelink web sitesinde hazırlanan uçuş planında İHA'nın ilk kalkış yeri doğru olarak belirlenir. Aksi takdirde sistem hata verecektir. Bu nedenle daha önce ifade edildiği üzere uçuşun ilk başlayacağı yerin ulaşımının kolay olması ve İHA'nın rahatlıkla kalkış yapabileceği şekilde düz olması önemlidir. Eğimli sahalarda İHA'nın ilk çalışma sırasında devrilerek kanatlarının hasar alması veya kalkış yerinde kanatların hareketini engelleyecek nesnelerin bulunması İHA'ya zarar verecektir.

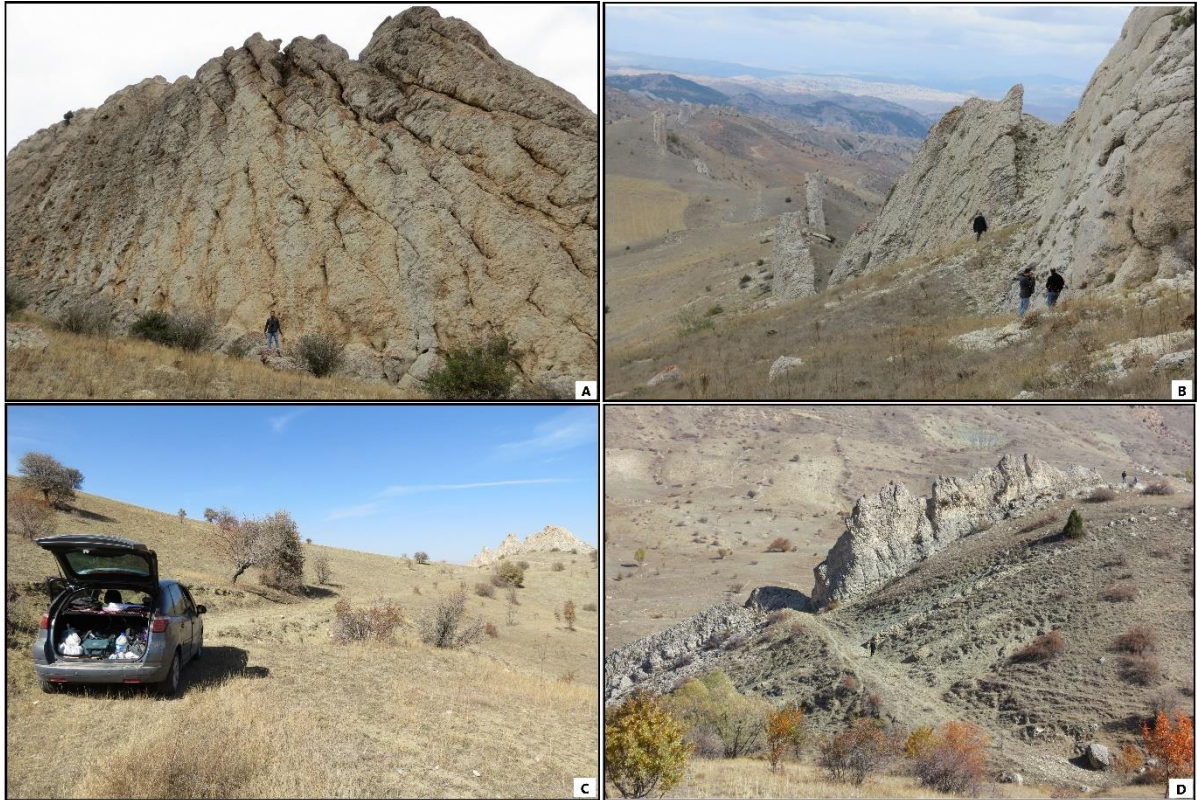
Uçuş planının hazırlanması sırasında bu durum harita üzerinde bazı hallerde gözden kaçırılabilir. Dolayısıyla araziye çıkıldığında uçuşun ilk başlayacağı yerin tam olarak tespit edilmesinden sonra buranın İHA uçuşu için hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Birden fazla uçuş yapılacaksa İHA'nın her kalkış yapacağı yerin belirlenmesi ve yukarıdaki talimatların yapılması önemlidir. Araziye çıkılarak jeomorfolojik birimde yapılacak ön hazırlıklardan bir diğeri İHA'nın uçuş planı

kapsamında kalkış yaptıktan sonra kumanda ile İHA arasındaki bağlantının kesilmemesidir. Şekil 6A'da görüleceği gibi İHA pilotu Diş Kayalıkları'nın güneyinde bulunmaktadır. Ancak İHA havalandıktan ve Diş Kayalıkları'nın kuzeyine geçtikten sonra bağlantı kesileceği için sorun yaşanacaktır. Bu sorunu yaşamamak için İHA pilotunun bağlantının kesilmeyeceği uygun bir konumda bulunması

gerekmektedir. Buna göre hazırlanan uçuş planının arazide uygulanması için en az 3 kişilik bir ekibin bulunması gerekmektedir. İHA pilotunun uçuşu gerçekleştirdiği anda ekipteki diğer kişilerin bağlantının kesilmeyeceği uygun alanların tespiti, diğer uçuş planları için İHA'nın kalkış yapacağı yerlerin belirlenmesi ve kalkış için hazırlanmasında yardımcı olmaları hem güvenlik hem de zaman açısından önemlidir (Şekil 6B).



Şekil 5. Dronelink uygulamasını kurduktan sonra (A ve B) önce programa giriş yapılır. Ardından her uçuş planı ayrı ayrı internetin olmadığı yerde sorunsuz çalışması için (C ve D) telefonun hafızasına indirilir.



Şekil 6. Uçuş planının hazırlanması sırasında havalandırılan İHA'nın kumanda ile bağlantısının kesilmesine neden olan bir engel bulunmamalıdır (A). Bu nedenle ilk kalkış yerinin hem haritadan hem de araziden kontrol edilmesi gerekmektedir (B). Ulaşım aracının bataryaların şarj edilebilmesi için kalkış yerinin yakınına getirilmesi önemlidir (C). Arazi çalışmaları sırasında İHA pilotu ile bataryaların şarj edildiği yer arasında ekipten en az bir kişinin bu bataryaları taşımaya gerekmektedir (D).

Arazideki ön hazırlık aşamalarından birisi de İHA'nın bataryalarının şarj edilmesidir. Önceden hazırlanan uçuş planında uçuşun ne kadar sürede gerçekleşeceği bilgisi bulunmaktadır (Şekil 3F). Farklı model ve özellikteki İHA'ların uçuş sırasında havada kalma süreleri belli olmakla birlikte kullanım sayısına bağlı olarak bataryalarının ömrü kısalmakta ve havada daha kısa süre kalmaktadırlar. Bundan dolayı İHA pilotu önceki deneyimlerinin yanı sıra İHA kumanda ekranındaki batarya süresini dikkate almalıdır. Eğer uçuş süresi İHA'nın batarya süresinden fazla ise İHA bataryası belli bir seviyeye geldiğinde (genellikle %20 veya %15) uçuşu yarıda keserek kalkış noktasına kendi kendine otonom olarak iniş yapacaktır. Bu durumda kumanda ekranı kesinlikle kapatılmamalıdır. İHA'nın bataryası değiştirildikten sonra açılmalı, kumandada bağlantı sağlandıktan sonra devam et butonuna basılarak uçuş tekrar başlatılmalıdır. İHA bu işlemten sonra kaldığı yere tekrar otonom olarak geri dönecek ve fotoğraflama işlemine kaldığı yerden otomatik olarak devam edecektir.

Görüleceği üzere modelleme dar alanlı veya küçük bir jeomorfolojik birimde yapılıyorsa İHA için tek batarya yeterli olabilmektedir. Ancak Diş kayalıkları gibi yaklaşık 4.7 km uzunluğunda büyük bir jeomorfolojik birimde yapılıyorsa çok sayıda (10 adet) uçuş yapılacağından bataryaların şarj edilmesi gerekmektedir (Şekil 6C). Böyle bir durumda araziye ulaşım sağlanan araç İHA'nın kalkış yapacağı yere yakın bir yere konumlandırılır. İHA'ların bataryalarının farklı şekillerde şarj etmek mümkündür. Diş Kayalıkları'nın 3B modellemesi sırasında bataryalar çalışır vaziyetteki aracın çakmaklığından ve yine çakmak çıkışından bir aparat ile 12V – 220V çeviren bir çevirici yardımıyla bataryalar arazide şarj edilmiştir. Burada önemli bir hatırlatma da şarj edilen bataryaların İHA pilotuna götürülmesidir. Bazı hallerde bataryaların şarj edildiği ulaşım aracı ile pilot arasında epey mesafe olabilmektedir. Bu durumda ekipten birinin devamlı pilot ile araçta bataryaları şarj eden kişi arasında bataryaları taşınması gerekmektedir (Şekil 6D).



Şekil 7. DroneLink web sitesinden daha önce hazırlanan uçuş planlarında İHA'nın kalkış yeri (A ve B) ve arazide bu kalkış yerinin görünümü (C ve D). İHA ile çekilen koordinatlı ve bindirmeli fotoğraflar bilgisayar ortamında birbirini takip eden sıralı bir şekilde düzenlenmelidir (E ve F).

3.4. Uçuş planına uygun bindirmeli ve koordinatlı fotoğrafların İHA ile çekilmesi

Büro çalışmaları sırasında 3B modellemesi yapılacak jeomorfolojik birimin uçuş planlarının hazırlanması ve arazide ön hazırlıkların tamamlanmasının ardından artık İHA ile koordinatlı ve bindirmeli fotoğrafların çekim aşamasına geçilebilir. Bu aşamada yukarıda açıklanan talimatlara uygun olarak İHA ilk kalkış yerine getirilir ve kumandadan konumun doğruluğu kontrol edilir. Diş Kayalıkları'nın Dronelink web sitesinde hazırlanan Diş1 ve Diş4 uçuş planlarında ve arazideki kalkış yerleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 7A, 7B, 7C, 7D). Örnek olarak verilen her iki alan içinde İHA'nın ilk kalkış yerinden havalandıktan sonra koordinatlı ve bindirmeli fotoğraf çekimi için başlangıç yerine gittiğini ve uygun konuma geldikten sonra ızgara şeklinde görülen alanda çekimi gerçekleştirdiği görülmektedir (Şekil 7A, 7B). Çekim tamamlandıktan sonra İHA kalkış yaptığı yere tekrar iniş gerçekleştireceğinden İHA pilotunun iniş alanının güvenli olup olmadığını kontrol etmesi gerekmektedir.

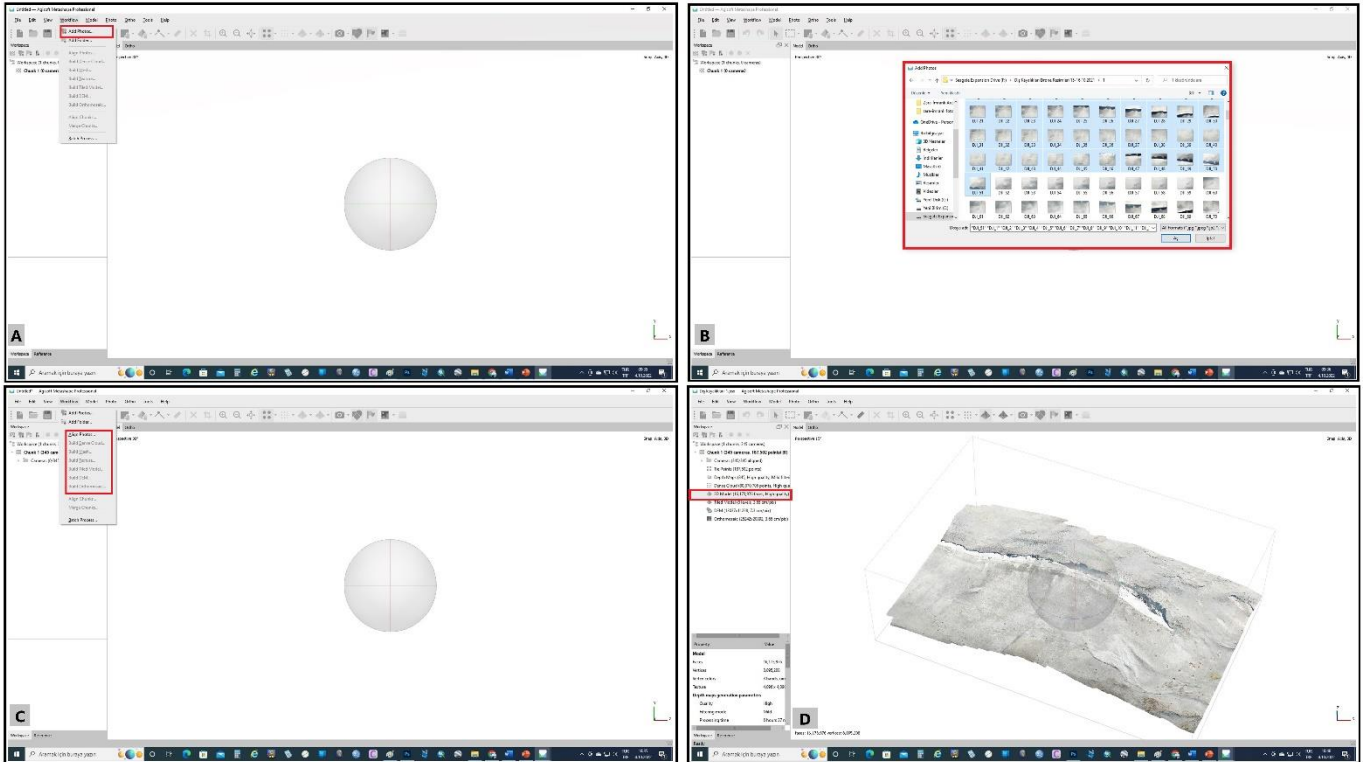
Diş Kayalıkları'nın tamamının 3B modellemesi için Dronelink web sitesi üzerinden çalışma alanı 10 ayrı parçaya ayrılmış ve 10 uçuş planı hazırlanmıştır. Ardından 2021-2022 yıllarında araziye çıkılarak İHA ile koordinatlı ve bindirmeli fotoğraflar çekilmiştir. Yaklaşık 4 gün süren bu çalışmada İHA toplam 3 saat 20 dakika uçuş gerçekleştirmiş ve 2.996 adet fotoğraf çekmiştir. İHA ile koordinatlı ve bindirmeli fotoğraf çekimi tamamlandıktan sonra bu fotoğraflar bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus her uçuşa ait fotoğrafların ayrı klasörler halinde bulunmasıdır. Bu işlemin ardından her uçuşa ait

fotoğraflar bilgisayar ortamında ilk fotoğraftan son fotoğrafa kadar birbirini takip eden (örneğin; 1, 2, 3,385 veya DJI-1, DJI-2, DJI-3, DJI-385 gibi) numara sırasında eksiksiz olarak düzenlenmelidir (Şekil 7E, 7F).

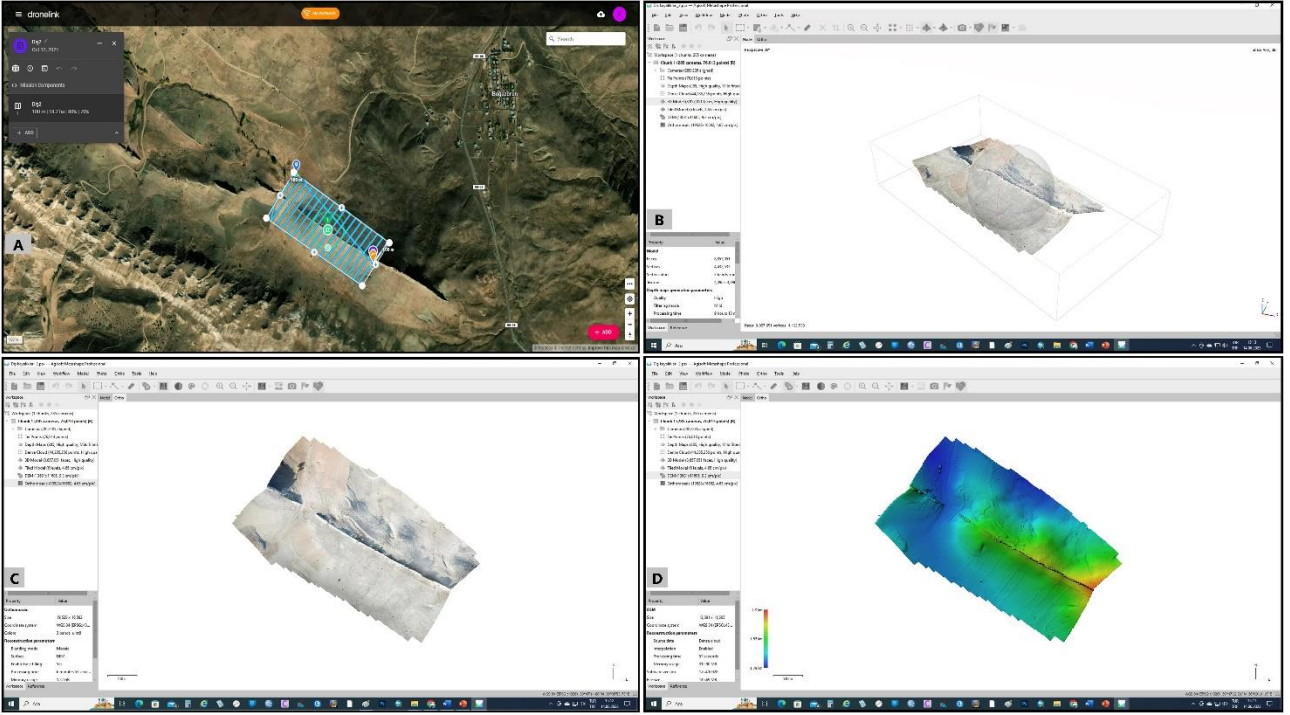
3.5. Verilerin (Fotoğrafların) Agisoft Metashape Professional programında işlenmesi

Arazi çalışmaları ile bindirmeli ve koordinatlı fotoğraf çekimlerinin tamamlanmasının ardından 3B modelleme oluşturmak için elde edilen bu veri "Agisoft Metashape Professional" programında işleme tabi tutulmaktadır. Bu verilerin işlenmesinde farklı programlar (Context Capture, Agisoft Photoscan, Photomodeler UAS, 3DF Zyper, Pix4D Mapper, Autodesk ReCap, DJI Terra, vb.) kullanılabilir. Bu çalışmada hem kullanımının kolay olması hem de veri işlemedeki hızı nedeniyle "Agisoft Metashape Professional" programı kullanılmıştır.

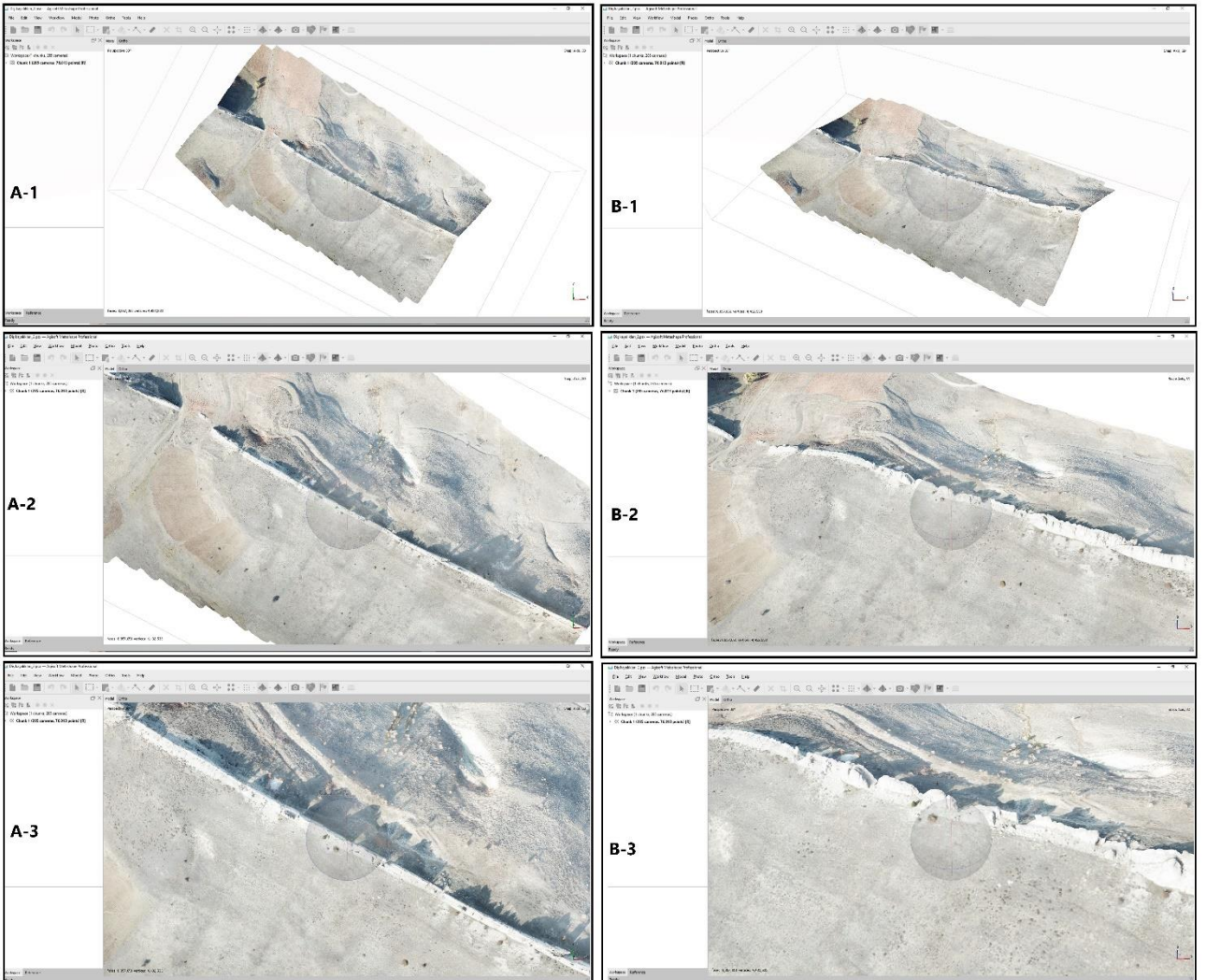
Çekilen fotoğrafların yukarıda açıklanan şekilde düzenlenmesinin ardından "Agisoft Metashape Professional" programı açılarak Worklow sekmesindeki (Şekil 8A) Add Photos seçeneğinden (her uçuş planı için çekilen ve ayrı klasörler halinde düzenlenen) modellemesini yapacağımız ilk alanın tüm fotoğrafları seçilir (Şekil 8B). Ardından aynı sekmedeki Align Photos, Build Dense Cloud, Build Mesh, Build Texture, Build Tiled Model, Build DEM ve Build Orthomosaic seçeneklerin hepsi bu sıra takip edilerek uygulanır (Şekil 8C). Bu işlemlerin tamamlanmasının ardından modellemesi yapılan jeomorfolojik birimin 3B görüntüsü oluşacaktır (Şekil 8D).



Şekil 8. Agisoft Metashape Professional programına İHA ile çekilen bindirmeli ve koordinatlı fotoğrafların yüklendikten sonra (A ve B), 3B modelleme için Worklow sekmesindeki seçeneklerdeki işlemler sıra ile yapılır (C). Bu işlemlerin ardından 3B modelin görüntüsü hazır hale gelecektir (D).



Şekil 9. İHA uçuş planının yapıldığı (Diş2) Boğazören köyü güneyinde (A), koordinatlı ve bindirmeli olarak çekilen fotoğrafların Agisoft programında işlenmesinden sonra elde edilen 3B (B), Ortofoto (C) ve SYM (D) görüntüleri.



Şekil 10. Agisoft Metashape programında piksel kaybı yaşanmaması için yapılan ayarların yüksek kalitede olması önem taşımaktadır. Diş Kayalıklarının 2 parçası için elde edilen modelin yatay düzlemde (A-1, A-2, A-3) ve 3B görüntünün (B-1, B-2, B-3) büyütülmesi sırasında detaylar piksel kaybı yaşanmadan net olarak görülebilmektedir.

Bu işlemler fotoğraf sayısına göre uzun zaman alabilmektedir. Dolayısıyla işlemlerin güçlü bir bilgisayarda yapılması ve işlem sırasında programın kesintiye uğramaması önemlidir. Worklow sekmesindeki işlemleri yaparken ayarlar otomatik olarak gelmektedir. Ancak kullanıcı isterse bu ayarlar üzerinde istediği değişiklikleri yapabilmektedir. Yapılan bu işlemler neticesinde çalışması yapılan jeomorfolojik birimden (Şekil 9A) İHA ile çekilen bindirmeli ve koordinatlı fotoğraflar yardımıyla 3B model (Şekil 9B), Ortofoto (Şekil 9C) ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Şekil 9D) üretilebilmektedir.

Diş Kayalıkları ile ilgili yapılan çalışmada 10 uçuş planı hazırlanmış ve elde edilen her uçuş planına ait görüntüler yukarıda anlatılan işlemlerden geçirilerek 2 ile 5 metre arasında değişen çözünürlüğe sahip SYM, Ortofoto ve 3B görüntüler elde edilmiştir. Çözünürlükteki bu farkın oluşmasında Diş Kayalıkları'nın 4,7 km gibi oldukça uzun bir jeomorfolojik birim olmasının yanında uçuş planlarındaki uçuş yüksekliklerinin her alana farklı yüksekliklerde ayarlanması etkili olmuştur. Ancak İHA tabanlı üretilen yüksek çözünürlüklü bu SYM verisi, sayısal izohipslerden üretilen ve yaklaşık 10 m çözünürlüğe sahip SYM verisinden daha ayrıntılı bilgiler sunabilmektedir. Bu aşamadan sonra araştırmacılar İHA tabanlı ürettikleri bu görüntüleri ihtiyaç duyulan konunun içeriğine bağlı olarak çeşitli resim işleme programlarında kullanabilir ve farklı analizler yapabilirler.

Bu aşamada araştırmacıların karşılaşabileceği sorunlardan birisi de Agisoft Metashape Professional programı ile elde edilen SYM, Ortofoto ve 3B görüntülerin dışa aktarımıdır. Bu durumda programın File sekmesindeki Export seçeneğinde dışarı aktarmak istediğimiz görüntünün seçenekleri vardır. Örneğin programda 3B olarak görünen bir veri dışarı aktardığımızda 2B olarak çıkmaktadır. Bu nedenle File>Export>Export Model kombinasyonu ile veri dışarı aktarılırken açılan penceredeki Kayıt Türü seçeneğinden dosya uzantısını belirlemek gerekmektedir. Bu çalışmada dosya uzantısı olarak Wavefront OBJ (*.obj) seçilmiş ve bütün resim işleme programlarında sorunsuz bir şekilde kullanılmıştır. Aynı şekilde bu sekmedeki diğer seçeneklerden ortofoto ve SYM verileri de dışa aktarılıp farklı programlarda kullanılabilir. 3B oluşturulan görüntünün dışa aktarılması sırasında piksel kaybı yaşanmaması açısından ayarların genelde yüksek tutulması önemlidir (Şekil 10).

3.6. Elde edilen verilerin farklı programlarda kullanılması

İHA tabanlı görüntülerin Agisoft Metashape Professional programında işlenmesi sonucu farklı dosya uzantıları ile dışarı aktarılan bu veriler birçok program ile birlikte (Adobe Photoshop, ArcGIS, Global Mapper, vb.) kullanılabilir. Burada Adobe Photoshop ve ArcGIS programları ile yapılabilecek bazı işlemler kısaca verilecektir. Adobe Photoshop programı açıldıktan sonra daha önceden *.obj uzantılı olarak dışa aktarılan dosya programda açılır (Şekil 11A). Bu dosya boyutu biraz

büyük olduğu için programın açılması biraz zaman alabilir. Dosya açıldıktan sonra kullanacağımız 3B görüntünün konumlandırması yapılmalıdır (Şekil 11B). Konumlandırma işlemi tamamlandıktan sonra programın Dosya sekmesindeki Dışa Aktar seçeneğinden istenilen resim formatında (png, gif, jpeg, vb.) kayıt yapılabilmektedir (Şekil 11C).

Bu işlem yapılırken 3B modelin görüntü kalitesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Eğer dışa aktarma yaparken düşük piksel kullanılırsa elde edilen görüntünün kalitesi iyi olmayacaktır. Bu durumda özellikle görüntünün büyütülmesi sırasında karecikler şeklinde düşük pikselden kaynaklanan sorunlarla karşılaşabilmektedir. Diş Kayalıklarının 3B modellemesi için yapılan çalışmalarda yüksek çözünürlük elde etmek için piksel değeri yüksek tutulmuştur.

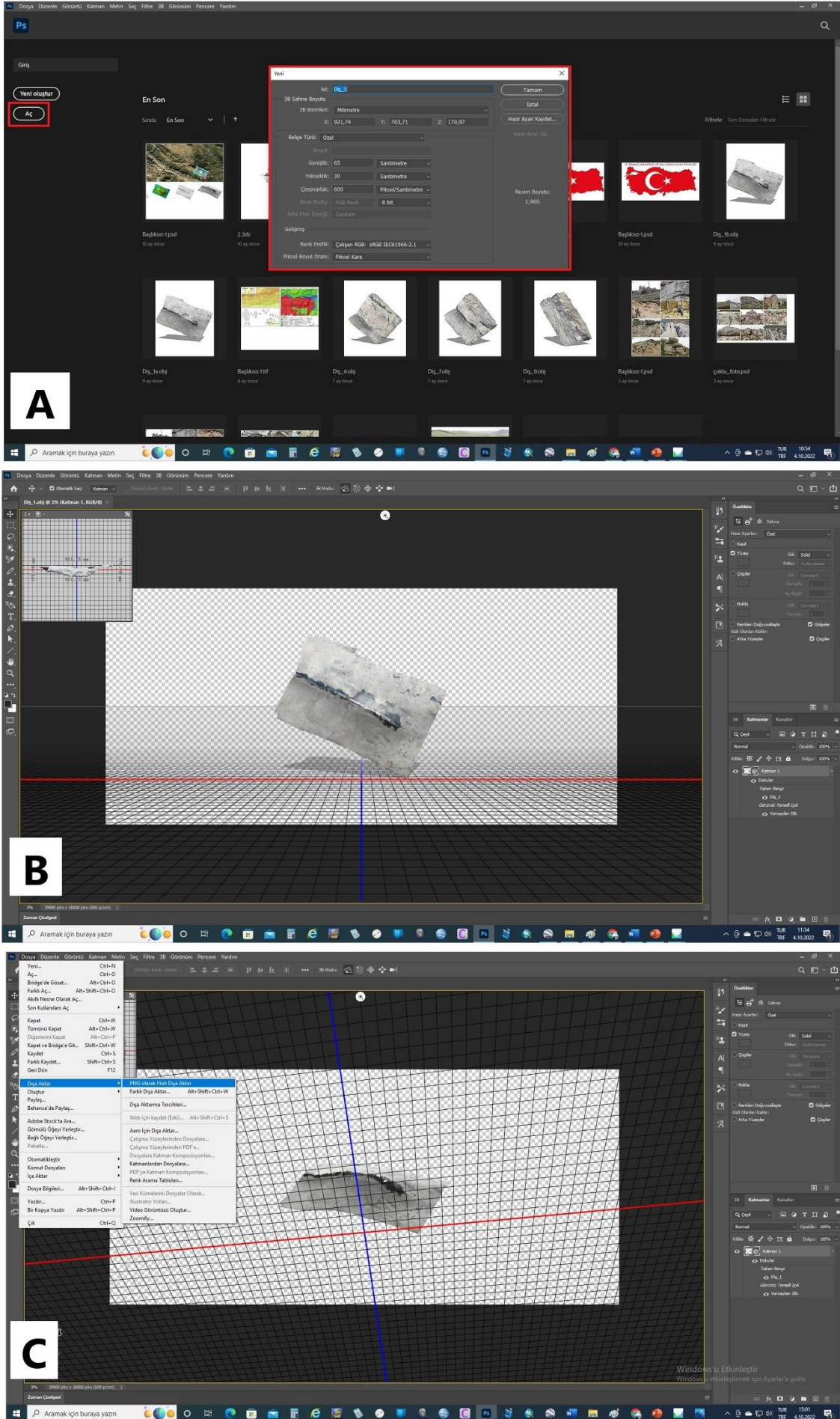
3.7. Elde Edilen Verilerin Blok Diyagram Haline Getirilmesi

Farklı aşamalardan sonra elde edilen 3B model farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilir. Bu görüntünün elde edilmesinden sonra farklı resim işleme programları ile görüntünün blok diyagram haline getirilmesi mümkün olmaktadır. Bu maksatla araştırmacıların bilgisayarlarında gelişmiş bir resim işleme programı bulunmasa bile her bilgisayarda bulunan kullanımı oldukça basit Paint veya Paint 3D programlarında da bu işlem yapılabilmektedir. Diş Kayalıklarının 3B modelinin blok diyagram haline getirilmesinde Adobe Photoshop programı kullanılmıştır. Oluşturulan yüksek çözünürlüklü 3B model programda açıldıktan sonra programın farklı menüleri kullanılarak blok diyagram haline dönüştürülebilmektedir (Şekil 12).

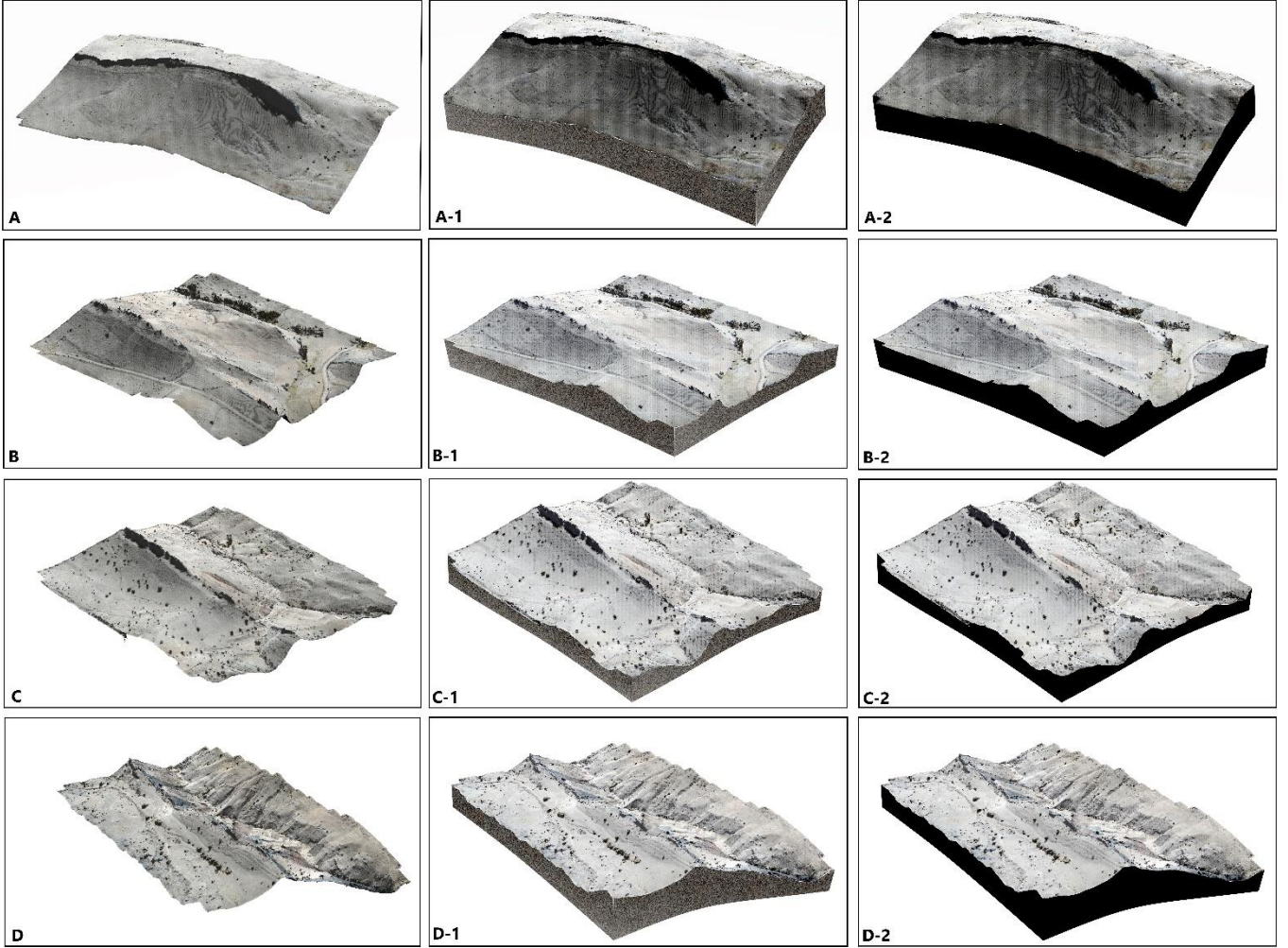
Bu işlem sırasında kullanılacak 3B model ile blok diyagram oluşturulmasından sonra kullanılacak amaca göre renklendirme veya dolgu yapılması önemlidir. Özellikle kontrast renklerin ve modelin rengine uygun yapısal şekiller ile dolgu yapılarak blok diyagramın oluşturulmasında etkili olacaktır. Diş kayalıklarının 4 bölümünden elde edilen 3B modeller ile bunların blok diyagramları Şekil 12'de verilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Farklı disiplinlerde elde edilen bu 3B model görüntüleri farklı amaçlarla kullanılabilir. Örneğin jeologlar morfoloji ile litolojiyi birlikte göstermede bu görüntüleri kullanırken, arkeologlar kazı çalışmaları sırasında ortaya çıkan tarihi eserleri ön plana çıkarabilmektedir. Ayrıca sanat tarihçiler morfolojiden bağımsız sadece tarihi veya kültürel bir eserin 3B modelini ortaya çıkarmak için bu görüntüyü kullanmaktadır. Jeomorfolojik araştırmalarda ise çalışılan sahanın daha bütüncül bir şekilde görülmesinin yanı sıra, elde edilen 3B model yardımıyla birçok detayın ayrıntılı bir şekilde incelenmesi mümkün olabilmektedir (Şekil 13), (Kasprzak vd., 2018; Langhammer ve Vackova, 2018; Prodanov vd., 2019b; Gomez-Pazo ve Perez-Alberti, 2021; Sledz vd., 2021; Şenol vd., 2021).



Şekil 11. Adobe Photoshop programında *.obi uzantılı dosya açıldıktan sonra (A) dosya programda istenilen şekilde konumlandırılır (B) ve ardından işlem tamamlandıktan sonra istenilen uzantıda (C) resim olarak dışarı aktarılır.



Şekil 12. Adobe Photoshop programında *.obi uzantılı dosya açıldıktan sonra Dış Kayalıkları'nın farklı bölümlerine ait 3B modeller oluşturulmuş (A, B, C, D) ve bu 3B modeller aynı programda blok diyagram haline dönüştürülmüştür (A-1, A-2, B-1, B-2, C-1, C-2, D-1, D-2).



Şekil 13. Kasprzak vd. (2018)'nin tor topoğrafyasının detaylarını ortaya koymak için yaptıkları 3B modelleme (A). Şenol vd. (2021)'nin kültürel mirasın korunmasına yönelik Kanlıdivane için yaptıkları 3B modelleme (B). Dış Kayalıklarının 7. parçası için oluşturulmuş 3B modelleme (C).

Bu kapsamda yapılan bazı çalışmalara bakıldığında; [Yılmaz vd., \(2018\)](#) İHA ile ürettikleri Aksaray Üniversitesi Kampüsü'nün ortofoto görüntülerinin küçük boyutlu alanlar için beklenen doğruluğu sağladığını ifade etmişlerdir. [Kaya vd., \(2021\)](#) ise yaptıkları çalışmada İHA teknolojisini arkeolojik kalıntıların belgelendirilmesinde kullanmışlardır. [Seyrek vd., \(2021\)](#) de yine yaptıkları çalışmada yakın tarihe ışık tutan Kolankaya Siperlerinin haritalanmasında İHA teknolojisini kullanmışlardır. İHA kullanımını farklı

amaçlarda kullanan bir çalışma ise [Ziba ve Yılmaz \(2019\)](#), tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar İHA teknolojisini Karayolu projeleri için harita üretiminde kullanmışlardır. Yine [Şen, \(2018\)](#) Afet yönetiminde İHA teknolojisini Konya Karapınar'da son zamanlarda sayısı giderek artan obrukların yerinin tespitinde kullanmıştır. [Turoğlu \(2019\)](#) benzer bir çalışma yaparak son zamanlarda büyük can ve mal kayıplarına yol açan şehir seli ve taşkınlarının önlenmesinde İHA teknolojisini kullanmaktadır. Görüleceği üzere İHA teknolojisi artık

birçok alanda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma ile de jeomorfoloji çalışmaları başta olmak üzere farklı alanlarda çalışacak araştırmacılara basit olarak bu teknolojinin nasıl kullanılacağı açıklanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma sonucunda oluşturulan 3B model doğal varlıkların belgelenmesi ve özelliklerinin ortaya konulması bakımından önem arz etmektedir. Diş kayalıkları hem Türkiye hem de Dünya doğal mirası açısından eşsiz bir oluşumdur. Bu nedenle bu jeomorfositin korunması ve gelecekte karşılaşılabilecek sorunlara karşı çözüm üretilebilmesi açısından bu tür çalışmaların önemli olduğu düşünülmektedir. Olası bir doğal afet veya beşerî müdahaleler karşısında doğal miras niteliğinde olan bu jeomorfositte meydana gelebilecek deformasyonlara karşı kanıt oluşturması açısından da bu tür çalışmalar ayrıca bir belge niteliğindedir.

Diş Kayalıkları Dünyadaki en büyük ve tipik kret örneklerden biridir ve turizm amaçlı kullanıma potansiyeli vardır. Diş Kayalıkları Türkiye'deki en büyük kret şeklidir (Uzun vd., 2023). Bu çalışma eşsiz bir doğal miras alanı olan bu jeomorfositin tanıtımına katkı yapmak amacıyla hazırlanmıştır. Sivas ili İmranlı ilçesine bağlı Boğazören ve Eskidere köyleri arasında bulunan Diş Kayalıkları'nın İHA tabanlı 3B modelleme çalışması, benzer çalışmalarından farklı olarak süreci basit ve araştırmacılara kolaylık sağlayacak şekilde açıklamaya çalışan ilk örneklerdendir. Bu çalışma jeomorfolojik yer şekillerin haritalanmasında ve özellikle 3B modelinin oluşturulmasında İHA teknolojisinin kullanımına ilişkin basit örnek bir uygulamayı içermektedir. İHA teknolojisi düşük maliyet ve riski dışında, araştırmacıları tehlikeli bölgelere veya ulaşılması güç alanlara daha kolay ve güvenli ulaşma imkânı sunmaktadır. Çalışma sahasını oluşturan Diş Kayalıkları, 4.750 m uzunluğunda ve yaklaşık 6-8 m genişliğinde iki vadi yamacının birleştiği zirvede bir duvar gibi kuzeybatı-güneydoğu istikametinde uzanış göstermektedir. İHA'nın havada kalma süresi ve Diş Kayalıkları'nın başlangıç ve bitiş yerleri arasındaki kot farkından dolayı Diş kayalıkları yükseklik, bütünlük, ulaşım imkânı, vb. nedenlerle 10 parçaya bölünmüş ve her parça için ayrı ayrı uçuş planları hazırlanmıştır. Bu uçuş planlarına bağlı olarak gerçekleştirilen İHA uçuşları sırasında bindirmeli ve koordinatlı fotoğraflar çekilmiştir. Çalışma sırasında yaklaşık 3 saat 20 dakika İHA ile uçuş gerçekleştirilmiş ve 2.996 fotoğraf çekilmiştir. Ardından bu fotoğraflar işlenerek 2 ila 5 metre çözünürlüğe sahip SYM, Ortofoto ve 3B Modeller elde edilmiştir.

Bunun yanında İHA teknolojisi kullanılarak çekilen bindirmeli ve koordinatlı fotoğraflardan elde edilen sayısal veriler 3B nokta bulutu, sayısal yükseklik modeli, ortofoto, eküdistans aralığı 1-2 m civarında izohips üretimi, sayısal arazi modelinin yanında bu verilerin kullanılmasıyla baki, eğim, vadi yoğunluğu, topoğrafya, vb. birçok haritanın oluşturulmasında da kullanılabilir. Ayrıca elde edilen veriler farklı kaynaklardan elde edilen (Harita Genel Müdürlüğü, MTA, Tarım ve Orman Bakanlığı, vb.) verilere entegre edilebilmekte ve mekânsal analizlerde kullanılabilir.

Bu çalışma ile İHA teknolojisi kullanımının jeomorfolojik araştırmalarda zaman, maliyet, güvenlik ve

harita niteliği bakımından katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu tür çalışmaların yaygınlaşması hem niteliğin artmasına hem de araştırmacılara arazi çalışmalarında önemli katkı sağlayacaktır. Hiç şüphesiz teknolojik gelişmelere bağlı olarak sensör ve batarya kalitesinin artması ile hem uçuş süresi uzayacak hem de daha kaliteli görüntü alınması mümkün olacaktır. Bu gelişmeler ile İHA'lar ile daha büyük, kapsamlı ve detaylı verilerin elde edilmesi gerçekleşecektir.

Araştırmacıların katkı oranı

Faruk Aylar: Literatür taraması, Ana metnin oluşturulması, arazi çalışması. **Serkan Gürgöze:** Harita ve şekillerin çizimi, arazi çalışması. **Halil İbrahim Zeybek:** Arazi çalışması, Modelleme, Makale yazımı. **Ali Uzun:** Arazi çalışması, Ana metnin oluşturulması ve makalenin kontrolü, Modelleme. **Halithan Şen:** Arazi çalışması, Harita ve şekillerin çizilmesi, Literatür taraması.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146. <https://doi.org/10.1890/120150>
- Aktan, N., Çolak, A., & Yılmaz, H. M. (2022). Production of orthophoto by UAV data: Yaprakhisar example. *Advanced UAV*, 2(1), 17-23.
- Bilgiç, T. (2016). 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Divriği-İ39 Paftası. Ankara
- Böhler, W., & Heinz, G. (1999, October). Documentation, surveying, photogrammetry. XVII CIPA Symposium. Recife, Olinda. Brazil
- Clapuyt, F., Vanacker, V., & Van Oost, K. (2016). Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms. *Geomorphology*, 260, 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.011>
- Cruden, D. M. (2003). The shapes of cold, high mountains in sedimentary rocks. *Geomorphology*, 55(1-4), 249-261. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(03\)00143-0](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00143-0)
- Cruden, D. M., & Hu, X. Q. (1999). The shapes of some mountain peaks in the Canadian Rockies. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 24(13), 1229-1241. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199912\)24:13<1229::AID-ESP42>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199912)24:13<1229::AID-ESP42>3.0.CO;2-1)
- Çubuk, Y., İnan, S. (1998). İmranlı ve Hafik Güneyinde (Sivas) Miyosen Havzasının Stratigrafik ve Tektonik Özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 120(120), 36-38.
- Doğan, Y. (2019). 3D Modelling of Bridges by UAV Photogrammetry Method. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 7-11

- Dölek, İ., & Çevik, A. (2023). Malazgirt savaş alanının tespiti, tarihi ve arkeolojik yüzey araştırması projesi kapsamında Malazgirt İlçesi sınırlarında bulunan kültürel miras eserlerin 3B modellemesi: Bir kültür envanteri çalışması. *Kültürel Miras Araştırmaları*, 4(1), 43-48. <https://doi.org/10.59127/kulmira.1294595>
- Duszyński, F., Migoń, P., & Strzelecki, M. C. (2019). Escarpment retreat in sedimentary tablelands and cuesta landscapes—Landforms, mechanisms and patterns. *Earth-Science Reviews*, 196, 102890. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102890>
- Ege, C. (2003). Nature's version of a playground slide—Devils Slide, Morgan County, Utah. *Utah Geological Survey* 35, 12.
- Erenoglu, O. (2021). UAV-based 3D modeling of formation processes for fairy chimney-like structures, Çanakkale, NW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(17), 1698. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07872-z>
- Erenoglu, R. C., Akcay, O., & Erenoglu, O. (2017). An UAS-assisted multi-sensor approach for 3D modeling and reconstruction of cultural heritage site. *Journal of Cultural Heritage*, 26, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.007>
- Erinç, S. (2015). *Jeomorfoloji I*. İstanbul: Der Yayınevi
- Gerrard, J. (2012). *Rocks and landforms*. Springer Science & Business Media.
- Goudie, A. (2004). *Encyclopedia of geomorphology* (Vol. 2). Psychology Press.
- Gómez-Pazo, A., & Pérez-Alberti, A. (2021). The use of UAVs for the characterization and analysis of rocky coasts. *Drones*, 5(1), 23. <https://doi.org/10.3390/drones5010023>
- Gutiérrez, F., Gutiérrez, M., (2016). Structural landforms. *Landforms of the Earth: An Illustrated Guide*, 3-19.
- Harris, W., & Norman White, G. (2008). X-ray diffraction techniques for soil mineral identification. *Methods of soil analysis part 5—Mineralogical methods*, 5, 81-115. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.5.c4>
- Harwin, S., & Lucieer, A. (2012). Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *Remote Sensing*, 4(6), 1573-1599. <https://doi.org/10.3390/rs4061573>
- Hoşgören, M. Y. (2007). *Jeomorfolojinin Ana Çizgileri I*. İstanbul: Çantay Yayınevi.
- Hughenoltz, C. H., Whitehead, K., Brown, O. W., Barchyn, T. E., Moorman, B. J., LeClair, A., ... & Hamilton, T. (2013). Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model. *Geomorphology*, 194, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.03.023>
- Huggett, R. J. (2017). *Fundamentals of Geomorphology* (Fourth Edition). London and New York: Taylor&Francis Group, Routledge.
- James, M. R., & Varley, N. (2012). Identification of structural controls in an active lava dome with high resolution DEMs: Volcán de Colima, Mexico. *Geophysical Research Letters*, 39(22). <https://doi.org/10.1029/2012GL054245>
- James, M. R., Chandler, J. H., Eltner, A., Fraser, C., Miller, P. E., Mills, J. P., ... & Lane, S. N. (2019). Guidelines on the use of structure-from-motion photogrammetry in geomorphic research. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(10), 2081-2084. <https://doi.org/10.1002/esp.4637>
- Kabadayı, A., Erdoğan, A. (2023). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29-35. <https://doi.org/10.53030/tufod.1313200>
- Kanun, E., Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). Cultural heritage modelling using UAV photogrammetric methods: a case study of Kanlıdivane archeological site. *Advanced UAV*, 1(1), 24-33.
- Kasprzak, M., Jancewicz, K., & Michniewicz, A. (2018). UAV and SfM in detailed geomorphological mapping of granite tors: an example of Starościńskie Skały (Sudetes, SW Poland). *Pure and Applied Geophysics*, 175, 3193-3207. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1730-8>
- Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Ulukavak, M. (2021). Arkeolojik Kalıntıların Belgelenmesinde Yersel ve İHA Fotogrametrisinin Birlikte Kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 09-14. <https://doi.org/10.53030/tufod.899089>
- Kurtman, F. (1973). Sivas-Hafik-Zara ve Imranlı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 80(80), 1-36.
- Langhammer, J., & Vacková, T. (2018). Detection and mapping of the geomorphic effects of flooding using UAV photogrammetry. *Pure and Applied Geophysics*, 175, 3223-3245. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1874-1>
- Lejot, J., Delacourt, C., Piégay, H., Fournier, T., Trémélo, M. L., & Allemand, P. (2007). Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(11), 1705-1725. <https://doi.org/10.1002/esp.1595>
- Mason, J. A., Muller, P. O., Burt, J. E., Blij, H. J. (2016). *Physical Geography* (Fifth Edition). New York: Oxford University Press.
- Mırdan, O., Yakar, M. (2017). Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı ile Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar. *Geomatic*, 2(3), 118-125. <https://doi.org/10.29128/geomatik.306914>
- Micheletti, N., Chandler, J. H., Lane, S. N. (2015). Section 2.2: Structure from motion (SfM) photogrammetry. In: Clarke LE, Nield JM (eds) *Geomorphological Techniques* (Online Edition). British Society for Geomorphology, London, UK.
- Miziński, B., & Niedzielski, T. (2017). Fully-automated estimation of snow depth in near real time with the use of unmanned aerial vehicles without utilizing ground control points. *Cold Regions Science and Technology*, 138, 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.03.006>

- Murfitt, S. L., Allan, B. M., Bellgrove, A., Rattray, A., Young, M. A., & Ierodiaconou, D. (2017). Applications of unmanned aerial vehicles in intertidal reef monitoring. *Scientific Reports*, 7(1), 10259. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10818-9>
- Özcan, O. (2017). İnsansız hava aracı (İHA) ile farklı yüksekliklerden üretilen sayısal yüzey modellerinin (SYM) doğruluk analizi. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-7.
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G., & Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Coğrafya Dergisi*, (35), 17-27. <https://doi.org/10.26650/JGEOG295515>
- Pan, Y., Dong, Y., Wang, D., Chen, A., & Ye, Z. (2019). Three-dimensional reconstruction of structural surface model of heritage bridges using UAV-based photogrammetric point clouds. *Remote Sensing*, 11(10), 1204. <https://doi.org/10.3390/rs11101204>
- Prodanov, B., Lambev, T., Bekova, R., & Kotsev, I. (2019a). Applying Unmanned Aerial Vehicles for high-resolution geomorphological mapping of the Ahtopol coastal sector (Bulgarian Black Sea coast). *Proc. SGEM*, 19, 465-472.
- Prodanov, B., Kotsev, I., Lambev, T., Dimitrov, L., Bekova, R., & Dechev, D. (2019b). Drone-based geomorphological and landscape mapping of Bolata Cove, Bulgarian coast. *Proceedings of IMAM*, 592-598.
- Rau, J. Y., Jhan, J. P., Lo, C. F., & Lin, Y. S. (2012). Landslide mapping using imagery acquired by a fixed-wing UAV. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 195-200. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-195-2011>
- Reichard, S. (2015). Old Yellowstone: History of the Devil's Slide. In "Yellowstone Insider".
- Rosnell, T., & Honkavaara, E. (2012). Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors*, 12(1), 453-480. <https://doi.org/10.3390/s120100453>
- Scherer, M. (2002). About the synthesis of different methods in surveying. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5/C7), 423-429.
- Senkal, E., Kaplan, G., & Avdan, U. (2021). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on archaeological sites. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 81-89. <https://doi.org/10.26833/ijeg.696001>
- Seyrek, E. C., Narin, Ö. G., Koçak, T., & Uysal, M. (2021). Yüzey araştırmalarında İHA fotogrametrisinin kullanımı: Kolankaya Siperleri örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(2), 69-75. <https://doi.org/10.53030/tufod.1021793>
- Śledź, S., Ewertowski, M. W., & Piekarczyk, J. (2021). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) surveys and Structure from Motion photogrammetry in glacial and periglacial geomorphology. *Geomorphology*, 378, 107620. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107620>
- Strahler, A. (2011) *Introducing Physical Geography*. Danvers: John Wiley&Sons, Inc.
- Scheidegger, A. E. (2012). *Theoretical geomorphology*. London: Springer Science & Business Media.
- Smith, M. J., Chandler, J., & Rose, J. (2009). High spatial resolution data acquisition for the geosciences: kite aerial photography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(1), 155-161. <https://doi.org/10.1002/esp.1702>
- Sponemann, J. (1989). Homoclinal ridges in Lower Saxony. *Catena Supplement*, 15, 133-149.
- Şasi, A. (2020). Kültürel Mirasların İnsansız Hava Aracı ile Fotogrametrik Üç Boyutlu Modelleme Çalışmalarında Karşılaşılan Sıkıntılar ve Öneriler. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(1), 7-13.
- Şen, M. (2018). Afet Yönetimi İçin İHA Görüntülerinin Kullanımı ve Karapınar Obrukları Örneği. [Yüksek Lisans Tezi Necmettin Erbakan Üniversitesi].
- Şenol, H. İ., & Kaya, Y. (2019). İnternet tabanlı veri kullanımıyla yerleşim alanlarının modellenmesi: Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 11-16.
- Şenol, H. İ., & Orman, E. (2022). Diyarbakır Mardin Kapı'nın Yersel Fotogrametri Yöntemiyle 3B Belgelemesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 1-6. <https://doi.org/10.53030/tufod.1099940>
- Şenol, H. İ., Yiğit, A. Y., Kaya, Y., & Ulvi, A. (2021). İHA ve yersel fotogrametrik veri füzyonu ile kültürel mirasın 3 boyutlu (3B) modelleme uygulaması: Kanlıdivane Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 29-36. <https://doi.org/10.53030/tufod.935920>
- Turoğlu, H. (2019). Şehir seli ve taşkını araştırmalarında sayısal yüzey modellemesi (SYM) ve insansız hava aracı (İHA) verisi kullanımı. *Coğrafya Araştırmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları*, 1, 01-28. Pegem Akademi Yayınevi.
- Ulvi, A., & Toprak, A. S. (2016). Investigation of three-dimensional modelling availability taken photograph of the unmanned aerial vehicle; sample of kanlıdivane church. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 1-7. <https://doi.org/10.26833/ijeg.285216>
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik*, 5(1), 19-26. <https://doi.org/10.29128/geomatik.560179>
- Uzun, A., Aylar, F., Zeybek, H. İ., Gürgöze, S., Bahadır, M., & Alemdağ, S. (2023). Natural Walls of Anatolia: formation and development of Diş Kayalıkları as a structural landform (Sivas, Türkiye). *Journal of Mountain Science*, 20(7), 1807-1823. <https://doi.org/10.1007/s11629-023-7998-5>
- Yakar, M., Toprak, A. S., Ulvi, A., Uysal, M. (2015). Konya Beyşehir Bezariye Hanının (Bedesten) İHA ile Fotogrametrik Teknik Kullanılarak Üç Boyutlu Modellemesi. 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-28 Mart, Ankara.
- Yalçınlar, İ. (1996) *Strüktürel Jeomorfoloji*. Konya: Özeğitim.
- Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, Ö., Ulvi, A., Yaman, A., Bilgilioğlu, S. S. (2018). İnsansız Hava Aracı ile Ortofoto Üretimi

ve Aksaray Üniversitesi Kampüsü Örneği. Geomatik 3(2), 129-136.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.369553>
Yılmaz, H. M., Aktan, N., Çolak, A., & Alptekin, A. (2022). Modelling Ozancık village (Aksaray) in computer environment using UAV photogrammetry. Mersin Photogrammetry Journal, 4(1), 32-36.
<https://doi.org/10.53093/mephoj.1132303>
Yiğit, A. Y., & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2(2), 46-54.

Zıba, H. E., & Yılmaz, H. M. (2019). Karayolu projeleri için İHA ile şeritvari harita üretimi. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 1(1), 23-32.
URL-1. DJI Destek. (2023).
https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3_Pro/DJI_Mavic_3_Pro_User_Manual-TR.pdf



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



Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



Kentsel alanlarda ağaç yükseklik bilgilerinin ICESat-2/ATLAS ve İHA verilerinden elde edilmesi

Müge Ağca ¹, Efdal Kaya ², Ali İhsan Daloğlu ³, Aslıhan Yücel ⁴, Sercan Yalçinkaya ⁵

^{1,4,5} İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, mugekaan@gmail.com; aslihanhannucel@gmail.com; sercan@geocode.com.tr

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Hatay, Türkiye, kayaefdal@gmail.com

³ PVI Elektrik Otomasyon Sanayi Ticaret Ltd. Şti., Ankara, Türkiye, alihsan.daloglu35@gmail.com

Kaynak Göster: Ağca, M., Kaya, E., Daloğlu, A. İ., Yücel, A., & Yalçinkaya, S. (2024). Kentsel alanlarda ağaç yükseklik bilgilerinin ICESat-2/ATLAS ve İHA verilerinden elde edilmesi. *Geomatik*, 9 (1), 86-96

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1384320>

Anahtar Kelimeler

İHA
ICESat-2/ATLAS
Ağaç Yükseklik
Lazer
Foton

Araştırma Makalesi

Geliş: 01.11.2023
Revize: 27.11.2023
Kabul: 30.11.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

Günümüzde nüfusun artması ile birlikte kentsel alanlar hızlı bir şekilde büyümektedir. Kentsel alanlardaki ağaçların belirlenmesi ve yükseklik bilgilerinin elde edilmesi karbon salınımlarının belirlenmesi, gölge, hava kirliliği gibi birçok disiplin tarafından önemsenen çalışmalar için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın genel amacı İnsansız Hava Aracı ve uzaysal ICESat-2/ATLAS sistemlerinden elde edilen veriler kullanılarak kentsel alanlarda ağaç yüksekliklerinin belirlenmesidir. Çalışma alanı olarak İzmir ilinin Balçova ilçesi seçilmiştir. Çalışmada ileri teknolojilerden elde edilen veriler arazide yerinde toplanan veriler ile karşılaştırılmıştır. Kentsel alanda ICESat-2 sisteminden elde edilen yükseklik bilgilerinin doğruluğu RMSE, MSE, MAE, ME, R², Pearson korelasyon katsayısı, Spearman korelasyon katsayısı ve Kendall korelasyon katsayıları hesaplanarak nicel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışma alanına ait yüksek kalite ve doğrulukta topografik veriler ve ortofoto oluşturulmuştur. Sonuç olarak, yapılan tüm istatistiksel analizler değerlendirildiğinde hem ICESat-2/ATLAS verilerinin (R²: 0.97) hem de İHA verilerinin (R²: 0.98) kentsel alanlarda ağaç yüksekliklerinin belirlenmesinde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada ülkemizde henüz çok yeni bir veri seti olan ICESat-2/ATLAS verilerinin ağaç yükseklik bilgilerinin çıkarılmasındaki performansı analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ileride yapılacak olan benzer çalışmalara altlık olacak niteliktedir.

Obtaining tree height information in urban areas from ICESat-2/ATLAS and UAV data

Keywords

UAV
ICESat-2/ATLAS
Tree Height
Laser
Photon

Research Article

Received: 01.11.2023
Revised: 27.11.2023
Accepted: 30.11.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

Nowadays, urban areas are growing rapidly with the increase in population. Identifying trees and obtaining height information in urban areas is of great importance for studies that are important in many disciplines, such as determining carbon emissions, shadow and air pollution. The general purpose of this study is to determine tree heights in urban areas using data obtained from Unmanned Aerial Vehicle and spaceborne ICESat-2/ATLAS systems. Balçova district of İzmir province was chosen as the study area. In the study, data obtained from advanced technologies were compared with data collected on-site in the field. The accuracy of the elevation information obtained from the ICESat-2 system in the urban area was evaluated quantitatively by calculating RMSE, MSE, MAE, ME, R², Pearson correlation coefficient, Spearman correlation coefficient and Kendall correlation coefficients. In addition, high quality and accurate topographic data and orthophotos of the study area were created. As a result, when all statistical analyzes were evaluated, it was seen that both ICESat-2/ATLAS data (R²: 0.97) and UAV data (R²: 0.98) gave successful results in determining tree heights in urban areas. In this study, the performance of ICESat-2/ATLAS data, which is a very new data set in our country, in extracting tree height information was analyzed. The results obtained from the study will serve as a basis for similar studies to be conducted in the future.

1. Giriş

Günümüzde şehir alanlarının büyümesi ve gelişmesi ile birlikte, kentsel alanlar dünyada önemli bir küresel etkiye sahip olmuştur. Şehir alanlarının büyümesi insanlığa yararlı koşulları sağlamanın yanında zararlı birçok etkiye de neden olmaktadır. Yerleşim yerlerindeki ağaçların belirlenmesi ve yükseklik bilgilerinin elde edilmesi yerleşim yerlerindeki planlama, gürültü ve çevre kirliliğinin filtrelenmesi, gölge, iklim düzenlemesi ve yönetim faaliyetlerinin takip edilmesi bakımından oldukça önemlidir (Dirik ve ark., 2014; Qin ve ark., 2022).

Günümüzde ağaç tespiti ve yükseklik bilgilerinin elde edilmesi için hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, havasal (Hao ve ark., 2023; Mielcarek ve ark., 2018; Alexander ve ark., 2018) ve yersel lazer sistemleri (Montoya ve ark., 2023; Anderson ve ark., 2021) gibi farklı uzaktan algılama ve fotogrametrik yöntemler kullanılmaktadır. Özellikle son dönemlerde kullanım alanı gittikçe artan İnsansız Hava Araçları (İHA) birçok disiplin tarafından kullanılmaktadır. Bu sistemlerden elde edilen hava fotoğrafları değerlendirilerek bölge ile ilgili detaylı yüzey ve yükseklik modeli bilgileri elde edilebilmektedir. İHA sistemleri, düşük maliyetli, hızlı, hassas ve tekrarlı ölçü elde etme özelliklerinden dolayı birçok yersel ölçüm çalışmalarında kullanılmaktadır (Ağca ve ark., 2020). Bu sistemlerin bilimsel çalışmalara olan katkısı kendini kanıtlamış durumdadır. Bu sistemler ile 2B ve 3B modeller (Barazzetti ve ark., 2010; Fiorillo ve ark., 2015; Kohoutek ve Eisenbeiss 2012; Yılmaz ve ark., 2022; Neitzel ve Klonowski 2012), bina yükseklik tayinleri (Abdullah ve ark., 2021; Noor ve ark., 2019; Gruen ve ark., 2013) ve topografik haritalama (Manyoky ve ark., 2012; Konolige ve Agrawal 2008; Remondino ve ark., 2012) gibi çalışmalar yapılmıştır. Daha spesifik olarak İHA sistemleri tarım (Grenzdörffer ve ark., 2008; Kaya ve Polat, 2023; Zarco-Tejada ve ark., 2013), afet sonrası değerlendirme (Bendea ve ark., 2008; Najatishendi ve ark., 2022; Chou ve ark., 2010), arama kurtarma çalışmaları (Molina ve ark., 2012), arkeolojik araştırmalar (Chiabrando ve ark., 2011; Fiorillo ve ark., 2015; Oczipka ve ark., 2009; Rinaudo ve ark., 2012), bitki örtüsü analizleri ve ağaç yüksekliklerinin belirlenmesi (Berni ve ark., 2009a; Nofrizal ve ark., 2022; Berni ve ark., 2009b; Durgun ve ark., 2022; Saliu ve ark., 2021) gibi çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

ICESat-2/ATLAS (Ice, Cloud and Land Elevation Satellite/Geoscience Laser Altimeter System/Advanced Topographic Laser Altimeter System) uydusu NASA tarafından geliştirilerek 15 Eylül 2018'de yörüngeye fırlatılmıştır. Bu sistem dünya üzerinde yoğun bir gözlem ağına ve çoklu foton sayma teknolojisine sahip ilk uzay tabanlı lidar cihazıdır (Narine ve ark., 2019a; Neuenschwander ve Magruder, 2019). ICESat-2/ATLAS sistemi dağ buzulu ve buz tabakalarındaki yükseklik değişimlerinin izlenmesi, arazi ve bitki örtüsü yükseklikleri, deniz yüzeyi yükseklikleri ve bulut katmanları hakkında bilgi sağlamaktadır. ICESat-2/ATLAS sisteminden elde edilen veriler, ormanlık alanlarda (Neuenschwander and Magruder, 2019; Narine ve ark., 2019a; Narine ve ark., 2019b; Narine ve ark., 2020) geoid yüksekliklerinin belirlenmesinde (Agca ve Daloglu, 2023), göllerde (Zhang ve ark., 2019),

denizlerde (Ma ve ark., 2020; Pang ve ark., 2022), volkanik faaliyetlerin incelenmesi (Simurda ve ark., 2022) ve zemin tespiti (Xing ve ark., 2020) gibi çeşitli çalışma alanlarında kullanılmıştır. ICESat-2/ATLAS verisinin yeni olması nedeniyle ağaç yüksekliği ile ilgili literatürde oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır. Qin ve ark., 2022 yılında yapmış oldukları çalışmada nesne tabanlı bir model geliştirerek ICESat-2 verilerini ve GF-2 görüntülerini entegre etmişler ve geliştirdikleri modeli kullanarak şehir ağaçlarının karbon stoğunu ve ağaç yüksekliklerini tahmin etmişlerdir. Zang ve ark., 2023 yılında yapmış oldukları çalışmada Malakka Yarımadası'ndaki yıllık palmiye yüksekliklerini belirlemek için ICESat-2 ve meşcere yaşı verilerini birleştiren mekansal olarak açıklayıcı haritalama yöntemlerini incelemişlerdir. Da Cunha Neto ve ark., 2021 yılında yaptıkları çalışmada UAV-LiDAR sisteminin Araucaria angustifolia ağaçlarının bireysel ağaç yüksekliklerini türetme potansiyeli değerlendirmişler ve ağaç yüksekliklerini türetirken nokta yoğunluğunun etkisini değerlendirmişlerdir. Yapılan analizler incelendiğinde literatürdeki bu tür çalışmalarda ICESat-2/ATLAS ve İHA verilerinin performanslarının karşılaştırılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada ICESat-2/ATLAS verilerinin ağaç yükseklik bilgilerinin elde edilmesindeki performansı değerlendirilmiştir. ICESat-2/ATLAS sisteminden elde edilen veriler yükseklik tayininde sıkça kullanılan İHA sistemlerinden elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Fotogrametrik lazer sistemlerinden ve hava fotoğraflarından elde edilen yükseklik bilgilerinin doğruluğu yersel ölçümler ile test edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda ICESat-2/ATLAS verilerinin ağaç yüksekliklerinin belirlenmesinde yersel LİDAR, havasal LİDAR ve uydu görüntülerine alternatif veri olma potansiyeline sahip olduğu saptanmıştır.

2. Çalışma alanı

İzmir ili, Balçova ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı İzmir Körfezi'nin güneyinde, 38°23'32" kuzey enlemi ve 27°2'47" doğu boylamında yer almaktadır. Deniz seviyesine göre yüksekliği ise 27 metredir. Yaklaşık 30 hektarlık bu alanda yoğun bir kentsel yapılaşma gözlemlenmektedir. Bu alan içerisinde yüksek katlı binalar belirgin bir yoğunluğa sahipken, ağaç popülasyonunun yoğunluğu ise daha düşüktür. Ayrıca, alan içerisinde park alanları ve kapsamlı yol ağları gibi çeşitli kullanım alanları da bulunmaktadır.

3. Yöntem

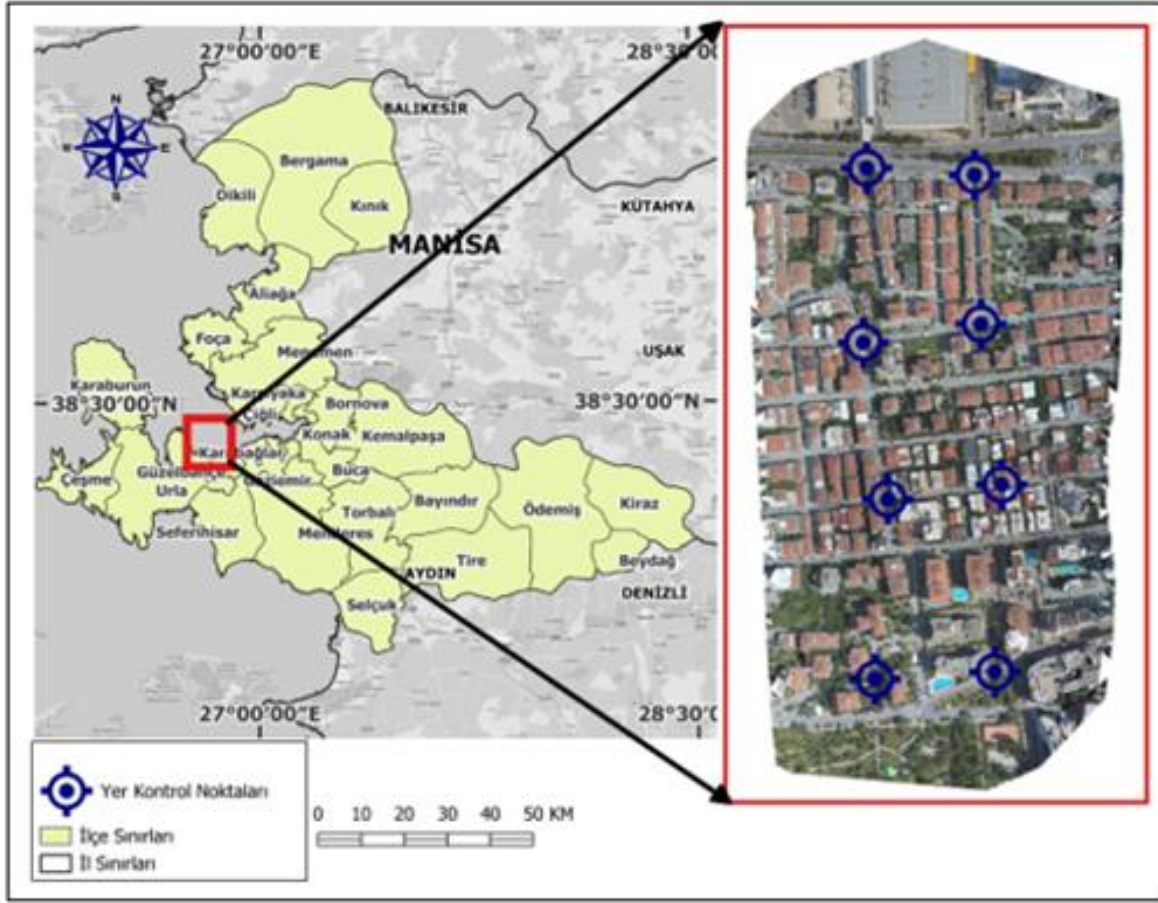
Bu çalışmada yersel, İHA ve ICESat-2/ATLAS verileri olmak üzere toplam üç farklı veri seti kullanılmıştır.

3.1. Arazi verileri ve veri analizi

Çalışma alanımız oldukça yoğun kentleşmenin olduğu bir alanı içermektedir. Üretilen ortofoto sayısallaştırılmış ve alanda toplam yaklaşık 150 adet binanın 50 adet ağacın olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında olgunlaşmış kızılçam, karaçam, selvi ve palmiye ağaçları bulunmaktadır. Analizlerde toplam 22 adet ağaç

kullanılmıştır. Bunun nedeni ICESat-2 sistemlerinden elde edilen veriler ile sayısallaştırma sonucunda elde edilen ağaç verileri içerisinde çıkan tekil ağaç sayısı 22

adettir. Ağaç yüksekliklerinin elde edilmesinde Bosch DLE 50 dijital lazer ölçme aleti kullanılmıştır. Kullanılan cihazın teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı ve yer kontrol noktalarının dağılımı.

Tablo 1. Bosch DLE 50 dijital lazer ölçme aleti teknik özellikleri.

Ölçüm Aralığı	0.05-50 m
Ölçüm Hassasiyeti	
— Tipik	±1.5 mm
— Maksimum	±3 mm
Ölçüm Süresi	
— Tipik	<0.5 s
— Maksimum	4 s
Lazer Sınıfı	2
Lazer Tipi	635 nm, <1mW
Lazer Işın Çapı (25 C°de), yaklaşık	
— 10 m mesafede	6 mm
— 50 m mesafede	30 mm

Arazi çalışmalarında her bir ağacın bulunduğu noktanın TOPCON GR5 marka Global Positioning System (GPS) aleti ile X, Y ve Z koordinat bilgileri elde edilmiştir. Konumları belirlenen her bir ağacın yükseklik ölçümü dijital lazer metre ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Ölçümler ağacın iz düşüm noktasından alınmış olup havanın çok aydınlık olmadığı vakitlerde yapılmasına özen gösterilmiştir. Araziye elde edilen yükseklik ölçümleri İHA ve ICESat-2 sistemlerinden elde edilen ağaç yükseklik bilgilerinin test edilmesinde kullanılmıştır.

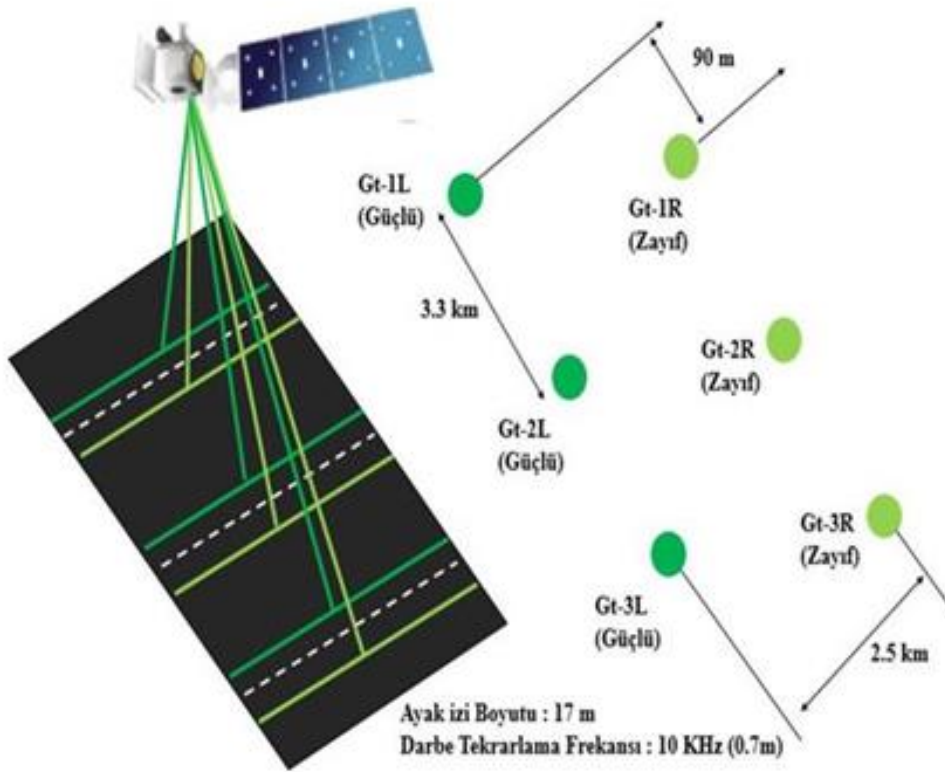
3.2. ICESat-2/ATLAS verileri ve veri analizi

ICESat-2, Dünya üzerindeki buzulları, ormanları, gölleri, kentsel alanları ve daha fazlasını kapsayan tüm yüzeylerden yükseklik bilgisi toplamak için üretilen uzay tabanlı bir lidar sistemidir (Nie ve ark., 2018; Narine ve ark., 2009). ICESat-2 uydusuna monte edilmiş olan ATLAS sistemi, 532 nm dalga boyunda 10 kHz lazer tekrarlama hızı ile çalışan bir foton sayma sistemidir. ATLAS cihazının sahip olduğu tekli foton sayma

teknolojisi, mekânsal çözünürlüklerin daha iyi, örnekleme sıklığının daha fazla olmasına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla yeryüzüne ait bilgiler daha detaylı olarak toplanmaktadır (Markus ve ark., 2017; Ağca, 2020).

ICESAT-2/ATLAS sistemi yeryüzüne saniyede 10,000 foton darbesi göndermektedir (<https://nsidc.org/data/icesat-2>). ICESat-2/ATLAS sisteminden yeryüzüne gönderilen lazer ışınları birbirine 3.3 km uzaklıkta olup üç çift ışın hattından oluşmaktadır. Her bir çift lazer ışını, kendi içinde 90 m mesafededir (Şekil 2). Ayrıca her ışın 17m çapında bir ayak izine ve 0.7m örnekleme aralığına sahiptir (Narine

ve ark., 2019a; Neuenschwander ve Magruder, 2019; Narine ve ark., 2020). Saniyede yeryüzüne gönderilen lazer ışın sayısı ve örnekleme aralığı dikkate alındığı zaman çalışma alanımıza ait yoğun bir veri seti bulunmaktadır. Güçlü ışın hattı üzerinde arka arkaya gönderilen güçlü ışınlar arasındaki mesafe 70 santimetredir. Sonuç olarak, o hat üzerinde detaylı bir profil verisi elde edilebilmektedir. Çalışma alanı üzerine düşen tüm ICESat-2/ATLAS veri setleri irdelenmiş, her bir hattın profili çıkarılmış ve o hat üzerindeki ağaçlar tespit edilmiştir. Tespit edilen ağaçlar üzerinden ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. ICESat-2/ATLAS foton verileri ve ayak izlerinden bir görünüm.

Güçlü ışın hatları zayıf ışın hatlarına göre 4 kat daha fazla etki sağlamaktadır (Neuenschwander ve Magruder, 2019; Markus ve ark., 2017; Narine ve ark., 2020). ATLAS cihazı tarafından gönderilen her bir fotonun seyahat süresi, uydunun durumu ve çarpıp yansıdığı yüzeyin bilgisi ile birleştiğinde yeryüzü ile ilgili konum (X, Y, Z) ve zaman (t) bilgisi sunmaktadır. Toplanan tüm veriler, tek bir kaynak olan Global Coğrafi Konumlu Foton Veri (ATL03) setinde toplanacak şekilde tasarlanmıştır. ATL03 veri seti uzay aracı ile ilgili bilgiler, sistem parametreleri ile ilgili bilgiler, yardımcı veriler ve arazi konum bilgilerini içeren foton verilerini içerisinde bulundurmaktadır. ICESat-2/ATLAS sistemi veri üretimine başladığı ilk günden bu zamana kadar kullanıcılara farklı sürümlerde veri setleri sunmuştur. Mevcut sistem hala gelişim sürecinde olduğu için elde edilen verilerin sürümleri de bu gelişim süreci içerisinde yer almaktadır. İndirilen ATL03 veri seti "Global Coğrafi Konumlu Foton verileri" olarak adlandırılmıştır. Bu veri seti uzay aracı ile ilgili bilgiler, sistem parametreleri ile

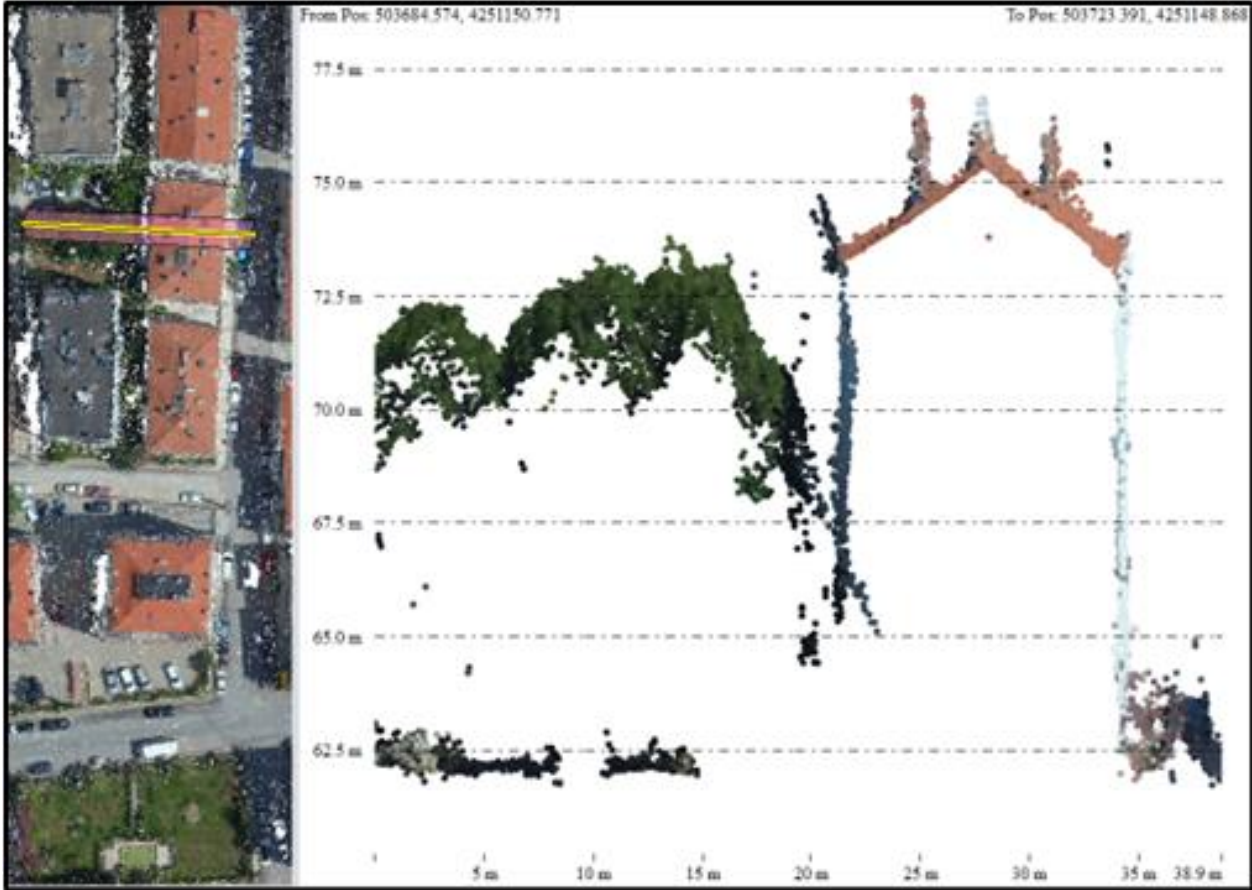
ilgili bilgiler, yardımcı veriler ve arazi konum bilgilerini içermektedir.

Çalışma kapsamında ICESat-2/ATLAS sistemi tarafından kullanıma sunulan 21 adet veri seti içinden çalışmamızın amacına uygun olan ATL03 ve ATL08 ICESat-2/ATLAS veri setleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veri setlerinin tümü filtrelenmiş, temizlenmiş, sadece sinyal fotonları seçilmiş ve çalışma alanımıza uygun olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmada kullanılan veri setleri OPENALTIMETRY (Advanced Discovery, Processing, and Visualization Services for ICESat and ICESat-2 Altimeter Data) websitesinden (.csv) ve (.hdf5, H5) formatlarında indirilmiştir. İndirilen ATL03 ve ATL08 veri setlerinin kullanılabilmesi için tek bir veri setinin oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle ATL03 ve ATL08 veri setleri Python v3.8 yazılımı kullanılarak birbirleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu işlem her bir ATL08 fotonuna ait kentsel alan bilgilerinin, ATL03 foton sınıflandırma parametreleri içerisindeki karşılıkları bulunarak yapılmıştır. Sonuç olarak çalışma alanındaki

her bir fotona ait yatay ve düşey konum (enlem, boylam, elipsoid yükseklik), zaman, sinyal güvenilirliği (0=Gürültü, 1=Arka plan, 2=Düşük, 3= Orta, 4= Yüksek) ve foton sınıf (zemin=1, kanopi= 2, kanopi tepesi=3) bilgileri elde edilmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda kullanılacak olan veri setindeki fotonların sınıflarının zemin ve kanopi tepesinden olmasına, güvenilirlik seviyelerinin ise yüksek olmasına dikkat edilmiştir. Bunun için ilişkilendirilmiş veri setine PhoReal yazılımı yardımıyla filtreleme işlemi uygulanmıştır. Tüm bu

işlemler, ICESat-2 sisteminin güçlü (gt-2r) ve zayıf (gt-2l) lazer ışınları için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

PhoReal yazılımında ICESat-2 verileri analiz edildikten sonra .csv uzantılı olarak kaydedilmiştir. Noktalara ait konumsal bilgiler kullanılarak QGIS içerisinde .csv verileri aktarılmıştır. İHA sistemlerinden elde edilen nokta bulutu üzerine ICESat-2'den elde edilen nokta dosyaları eklenmiştir. ICESat-2/ATLAS'ın çalışma alanı içerisinde düştüğü yerdeki zemin ve tepe yükseklik bilgileri nokta dosyaları ile nokta bulutu üzerinden profil çizilerek ağaç yükseklik bilgileri elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanımız içerisinde yer alan veriler üzerinde profil çizilerek yükseklik bilgilerinin toplanması.

3.3. İHA verileri ve veri analizi

Bu çalışmada Yuneec H520 model İHA sistemi ile 100 m irtifada 90° kamera açısı ile %80 ileri ve %60 yan bindirme oranları kullanılarak toplam 82 adet hava fotoğrafı çekilmiştir. İHA sistemine entegre E90 kameradan 20 megapiksel çözünürlükte yüksek kalitede veriler elde edilebilmektedir. Veriler yaklaşık 30 hektarlık bir alanda toplanmıştır. Toplamda sekiz adet yer kontrol noktası (YKN) kullanılmıştır. Pix4D yazılımı kullanılarak 8 adet YKN, fotoğraflar ile eşleştirilmiş ve konumlandırılmıştır. YKN'lerin çalışma alanı üzerindeki dağılımları Şekil 1'de gösterilmiştir. Noktaların program tarafından hesaplanan değerleri ile girilen değer arasındaki farklar kullanılarak elde edilen toplam hata miktarları hesaplanmıştır. Üretilen verinin kök ortalama kare hataları (RMSE) Tablo 2'de verilmiştir. İHA ile elde edilen görüntüler ve YKN'ler fotogrametrik dengelemede kullanılarak oluşturulan model arazi koordinat sistemine dönüştürülmüştür.

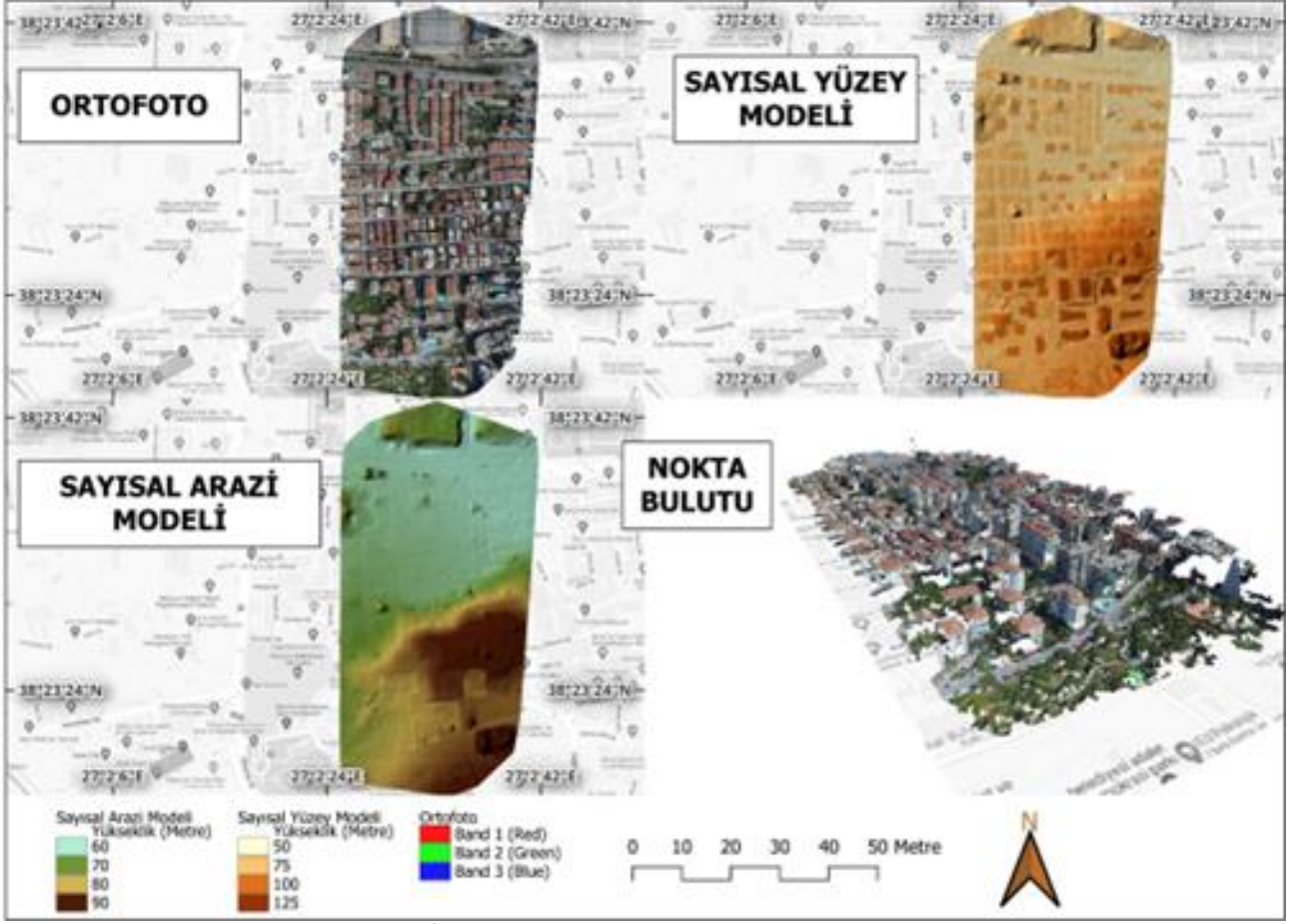
Tablo 2. Üretilen veriden elde edilen RMSE değerleri

	RMSEX (m)	RMSEY (m)	RMSEZ (m)
Kök Ortalama Kare Hata Değerleri	0.027	0.057	0.099

Çalışmada fotogrametrik analizler için Pix4D Mapper yazılımı kullanılmıştır. Pix4D Mapper yazılımı üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada fotoğraflar analiz edilerek fotoğrafların içerisindeki ortak noktalar görüntü eşleme teknikleriyle eşleştirilmiştir. Daha sonra çalışma alanına ait yoğun nokta bulutu verileri oluşturulmuştur. Araziyi tam olarak yansıtmak ve yüksek kalitede veri elde etmek amacı ile topografik veriler elde edilirken filtreleme ve gürültü noktaları azaltımı gibi ön işlemler gerçekleştirilmiştir. Tüm işlemler sonucunda çalışma alanının raster formatında sayısal yüzey modeli (SYM), sayısal arazi modeli (SAM) ve ortofotosu üretilmiştir. İHA sisteminden elde edilen fotoğraflar kullanılarak oluşturulan ortofoto, SYM, ve

SAM verileri Şekil 4’te gösterilmiştir. Oluşturulan ortofotonun yer örneklem aralığı 4.01 cm/piksel’dir. Her m² başına düşen ortalama nokta yoğunluğu yaklaşık 31,52’dir. Çalışma kapsamında SYM verisinin yaklaşık 20

cm çözünürlüğünde olması arazideki detayların ayırt edilebilmesi bakımından yeterli görülmüştür. Bu nedenle SYM verisinin çözünürlüğü 5 x GSD olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4. İHA sistemlerinden elde edilen sayısal veriler.

İHA sistemlerinden elde edilen veriler analiz edildikten sonra hedef objelere ait yükseklik bilgisini çıkarmak için çeşitli yollar kullanılabilir. Yapılan analizlerde QGIS 3.32 yazılımının içerisinde yer alan yükseklik profili çizdirme özelliği kullanılarak her bir ağacın yüksekliği belirlenmiştir.

Çalışmada hem İHA hem de İCESat-2/ATLAS verilerinden elde edilen zemin yükseklik bilgilerinin doğruluğunun nicel olarak değerlendirilebilmesi için kök ortalama kare hata (RMSE), ortalama kare hata (MSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama hata (ME), belirleme katsayısı (R²), Pearson korelasyon katsayısı, Spearman korelasyon katsayısı ve Kendall korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Yapılan istatistiksel analizlerde RMSE için Eşitlik 1, MSE için Eşitlik 2, MAE için Eşitlik 3, ME için Eşitlik 4, R² için Eşitlik 5, Pearson korelasyon katsayısı için Eşitlik 6, Spearman korelasyon katsayısı için Eşitlik 7 ve Kendall korelasyon katsayıları için Eşitlik 8 kullanılmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2}{n}} \quad (1)$$

e : Hesaplanan değer ile kesin değer farkları
 n : Ölçü sayısı

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (2)$$

n : Gözlem sayısı
 Y_i : Gerçek değer
 \hat{Y}_i : Tahmin edilen değer

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (3)$$

n : Gözlem sayısı
 Y_i : Gerçek değer
 \hat{Y}_i : Tahmin edilen değer

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (4)$$

n : Gözlem sayısı
 Y_i : Gerçek değer
 \hat{Y}_i : Tahmin edilen değer

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (5)$$

Y_i : Gerçek değer
 \hat{Y}_i : Tahmin edilen değer
 \bar{Y}_i : Gerçek değerlerin ortalaması

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (6)$$

r: Pearson korelasyon katsayısı
n = gözlem sayısı

$$r_s = 1 - 6 \frac{\sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad (7)$$

r_s: Sıra korelasyon katsayısı
D: Sıra numaraları arasındaki fark

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (8)$$

S: Kendall korelasyon katsayısı
n: Veri sayısı
x_j ve x_k: (j>k) zamanlarındaki veri noktası
sgn(x_j - x_k): İşaret işlevi

4. Bulgular

Bu çalışmada ağaç tespiti ve yükseklik tayinleri ICESat-2/ATLAS ve İHA verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistemlerden elde edilen veriler arazide yerinde yapılan ölçümler ile karşılaştırılmıştır.

Verilerin nicel olarak değerlendirilebilmesi için hesaplanan RMSE, MSE, MAE ve ME hata değerleri **Tablo 3**'te verilmiştir. R², Pearson korelasyon katsayısı, Spearman korelasyon katsayısı ve Kendall korelasyon katsayılarının değerleri **Tablo 4**'te verilmiştir. Hesaplamalar sonucunda yersel-İHA ikilisine ait hata değerlerinin, yersel-ICESat-2 ikilisine ait hata değerlerinden daha düşük, hesaplanan korelasyon değerlerinin ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yersel-İHA ve yersel-ICESat-2 ikililerine ait hata değerleri arasındaki farkın minimum 8 cm, maksimum ise 13 cm olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Yersel-İHA ve Yersel-ICESat-2 arasındaki istatistiksel analiz sonuçları- 1.

	ME (m)	MAE (m)	MSE (m)	RMSE (m)
Yersel-İHA	0.019	0.274	0.100	0.316
Yersel-ICESat-2	0.146	0.387	0.183	0.427

Tablo 4. Yersel-İHA ve Yersel-ICESat-2 arasındaki istatistiksel analiz sonuçları- 2.

	R ²	Pearson	Spearman	Kendall
Yersel-İHA	0.98	0.99	0.97	0.91
Yersel-ICESat-2	0.97	0.99	0.94	0.84

Şekil 5 incelendiğinde yersel ölçüm sonucunda elde edilen ağaç yükseklikleri ile ICESat-2 sistemlerinden elde edilen ağaç yükseklikleri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda R² değeri 0.97 çıkmıştır. Bu değer 1'e yakın olması sonucunda iki değişken arasında yüksek derecede aynı yönlü doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Ayrıca, regresyon analizi sonucunda minimum değer -0.5166, birinci dilim değeri -0.3819, medyan değerinin 0.1152, üçüncü dilim değerinin 0.3258 ve maksimum fark değerinin 0.666 çıktığı

görülmüştür. Regresyon analizinin diğer önemli çıktılarında birisi de p değeridir. Bu değer herhangi bir değişken için 0.05'ten büyük çıkarsa o değişkenin anlamsız olduğu anlaşılır. Kısaca bağımlı değişken üzerinde etki yaratmadığı düşünülür. Model sonucunda p değeri 2.2e-16 değerinden daha küçük çıkmıştır.

Şekil 6 incelendiğinde yersel ölçüm sonucunda elde edilen ağaç yükseklikleri ile İHA sistemlerinden elde edilen ağaç yükseklikleri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda R² değeri 0.98 çıkmıştır. Bu değer 1'e yakın olması sonucunda iki değişken arasında yüksek derecede aynı yönlü doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Yapılan istatistiksel regresyon modelinin özelliklerine bakıldığında minimum değer -0.49029, birinci dilim değeri -0.26657, medyan değerinin -0.03838, üçüncü dilim değerinin 0.27144 ve maksimum fark değerinin 0.58748 çıktığı görülmüştür. Model sonucunda p değeri 2.2e-16 değerinden daha küçük saptanmıştır. Yapılan tüm istatistiksel analizler için R programı kullanılmıştır.

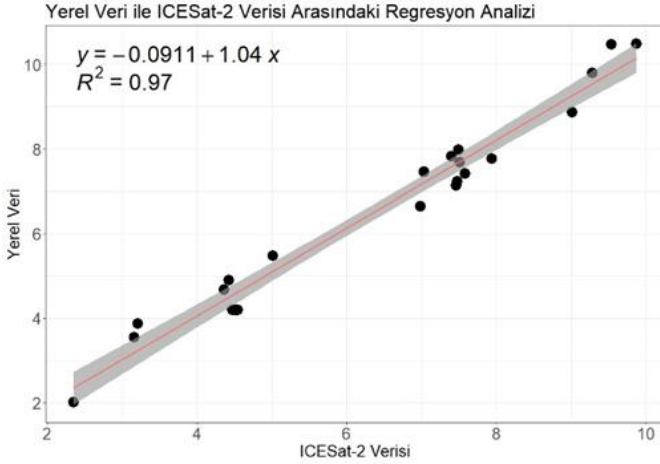
Sonuç olarak, tüm istatistiksel analizler değerlendirildiğinde hem ICESat-2/ATLAS verilerinin hem de İHA verilerinin kentsel alanlarda ağaç yüksekliklerinin belirlenmesinde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Regresyon analizi sonucunda ICESat-2 verilerinden elde edilen R² değerinin İHA sistemlerinden elde edilene göre düşük çıktığı görülmüştür. **Şekil 7** ICESat-2/ATLAS sisteminden elde edilen veriler ile İHA sisteminden elde edilen verilerin üst üste çakıştırılmış halini göstermektedir. **Şekil 7**'de hava fotoğrafı üstünde görülen yeşil renkli üçgenler ICESat-2/ATLAS verilerinden elde edilen tepe noktalarının düştüğü fotonları gösterirken, kırmızı daireler ise zemin sınıfına ait fotonların düştüğü noktaları göstermektedir. **Şekil 7a** tepe ve zemin fotonlarının binalar üzerinden geçen hattını, **Şekil 7b** is zemin ve tepe fotonlarının ağaçlar üstünden geçen hattını yakından göstermektedir. Yersel ölçümler ile İHA ve ICESat-2/ATLAS sistemlerinden elde edilen veriler arasındaki farklar incelendiğinde bazı ağaç verilerinin binalara yakın olduğu görülmektedir. İHA sistemlerinden elde edilen verilerde görüntü işleme tekniklerinden kaynaklı eşleme problemlerinde farklılıklar çıkabilir. ICESat-2 sistemlerinden elde edilen veriler incelendiğinde fotonların bazı durumlarda ağacın tam tepe noktasından geçmediği ve ağacın tepeye yakın noktalardan geçtiği saptanmıştır. Bu tür durumlar sonuçlarda farklılık yaratabilmektedir.

5. Sonuçlar

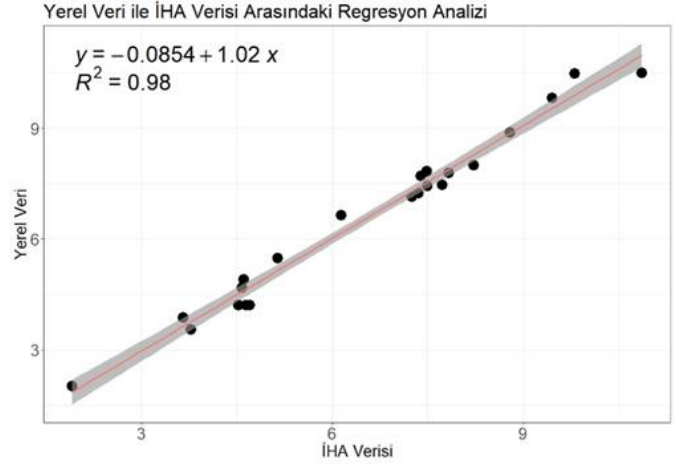
Bu çalışmada kentsel alanlarda yer alan ağaç yükseklikleri İHA ve uzaysal lazer sistemlerinden elde edilen veriler ile belirlenmiştir. ICESat-2/ATLAS ve İHA verilerinin performansları yersel ölçümler yardımıyla test edilmiştir. Ağaç yüksekliklerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalarda ağaçların türü, yaşı ve sıklığı büyük rol oynamaktadır. Ağaçların yaprağını dökmüş hali ile yapraklı hali arasında da yükseklik farkı ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda büyüme evresindeki genç ağaçların yüksekliği, gövde kalınlığı ve taç genişliği de çok hızlı değişim göstermektedir. Gelişimini tamamlamış ve olgunlaşmış ağaçlarda uzama yok denecek kadar

azdır. Yapılan bu çalışmada bahsedilen hususlara dikkat edilmiştir. Çalışma alanı olarak seçtiğimiz Balçova ilçesi, İzmir'in en eski yerleşim yerlerinden biri olup

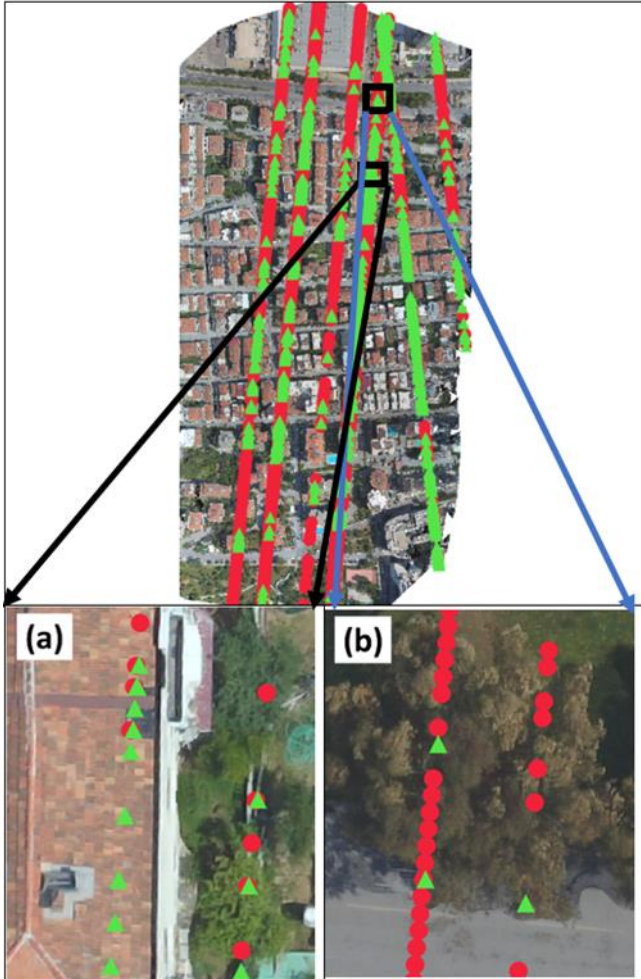
şehirleşmenin tamamlandığı bir bölgedir. Ayrıca, çalışma alanımızda her daim yeşil ve olgunlaşmış kızılçam, karaçam, selvi ve palmye ağaçları bulunmaktadır.



Şekil 5. Yersel veri ile ICESat-2 verisi arasındaki regresyon analizi sonucu.



Şekil 6. Yersel veri ile İHA verisi arasındaki regresyon analizi sonucu.



Şekil 7. Ortofoto üzerinde ICESat-2/ATLAS verilerinin tepe (yeşil üçgen) ve zemin (kırmızı daire) fotonlarının binalar üzerinden (7a) ve ağaçlar üstünden geçen hatlarının (7b) görünümü.

İHA sistemleri son yıllarda bu tür çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fakat, ICESat-2/ATLAS verilerinin bu tür çalışmalarda kullanımı yok denecek

kadar azdır (Qin ve diğ. 2022). ATLAS cihazının sahip olduğu tekli foton sayma teknolojisi, mekânsal çözünürlüklerin daha iyi, örnekleme sıklığının daha fazla olmasına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla yeryüzüne ait bilgiler daha detaylı olarak toplanmaktadır. Bu çalışmada her iki ışın demeti kullanılmış ve hem güçlü hem zayıf sinyallerin ağaç yükseklik belirlenmesinde başarılı olduğu görülmüştür.

Literatüre bakıldığında Qin ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada 1642.41 km²'lik oldukça büyük bir alan seçilmiştir. Çalışmalarında ağaç yükseklik bilgilerini de içeren ağaç parametrelerinin toplanmasında kullandıkları Geofen-2 uydusu CAST (Çin Uzay Teknolojileri Akademisi) tarafından geliştirilmiştir. Bu uydu 45 km²'lik alanda 0.8 m pankromatik, 3.2 m multispektral yer örnekleme mesafesine sahip görüntüler toplayabilmektedir. Ancak uydu görüntüleri ile ağaçların dikey yapısına ait bilgiler elde edilememektedir. Ayrıca ağaç yüksekliklerinin fazla olduğu bölgelerde spektral sinyaller zayıflamakta, hassasiyetini kaybetmekte ve çalışmanın doğruluğunu düşürmektedir. Bizim çalışmamız da ise çalışma alanı olarak 30 hektarlık bir bölge seçilmiştir. Çalışmamızda ICESat-2/ATLAS verilerine ek olarak İHA görüntüleri de kullanılmıştır. İHA görüntülerinden oluşturulan ortofotonun yer örnekleme aralığına (4.01 cm/piksel) bakıldığında, GF2 görüntülerine ait yer örnekleme aralığından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum İHA sistemleri yardımıyla toplanacak olan ağaç parametrelerinin uydu görüntüsünden elde edilecek olan parametrelerden daha iyi olacağını göstermektedir. Sonuç olarak çalışmamızda ICESat-2/ATLAS verilerinin ağaç yükseklik tahminleri uydu görüntülerine kıyasla çok daha doğru sonuçların alındığı İHA sistemi ile karşılaştırılmıştır. Ağaç yüksekliklerinin belirlenmesinde havasal ve yersel LİDAR verileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı yüksek maliyette olmasıdır. Bu çalışmada ağaç yüksekliklerinin belirlenmesinde kullanılan İHA verilerinin elde edilmesi havasal ve yersel LİDAR

sistemlerine göre çok daha düşük maliyet gerektirir. Ayrıca, çalışmada kullanılan diğer bir sistem olan İCESat-2/ATLAS verileri ise ücretsiz olarak temin edilmektedir. Çalışmamız bu yönüyle İCESat-2/ATLAS sisteminin bu tür çalışmalarda kullanımının yaygınlaşmasını sağlayacak ve hem yerli hem de yabancı literatüre katkıda bulunacaktır.

Bu çalışmada kullanılan ICESat-2/ATLAS verileri ülkemizde çok bilinmeyen ve dolayısı ile araştırmacılar tarafından çok kullanılmayan bir veri türüdür. Çalışmadan elde edilen sonuçlar mühendislik alanında bilimsel çalışmalar yapan araştırmacılar için büyük önem arz etmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü ve İskenderun Teknik Üniversitesi Mimarlık ve Şehir Planlama bölümüne bu çalışmadaki verileri analiz etmemiz için gerekli olan bilgisayar donanımlarını bizlere sunduğu için teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı

Müge Ağca: Arazi çalışması, Veri analizi, Makale yazımı, Düzenleme; **Efdal Kaya:** Arazi çalışması, Veri analizi, Makale yazımı; **Ali İhsan Daloğlu:** Veri analizi, Literatür taraması, Makale yazımı; **Aslıhan Yücel:** Veri analizi, Literatür taraması, Makale yazımı; **Sercan Yalçınkaya:** İHA verilerinin toplanması

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Abdullah, S., Rashid, M. F. A., Tahar, K. N., & Osoman, M. A. (2021). Tree Crown Mapping based on unmanned aerial vehicle (UAV) towards a green-sustainable residential. *Planning Malaysia Journal*, 19(2), 97-107. <https://doi.org/10.21837/pm.v19i16.955>

Ağca, M., & Daloglu, A. I. (2023). Local Geoid height calculations with GNSS, airborne, and spaceborne Lidar data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 26(1), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.12.009>

Ağca, M. (2020). PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 Lazer Sistemleri ve Kullanım Alanları. *Geomatik*, 5(1), 27-35. <https://doi.org/10.29128/geomatik.560344>

Ağca, M., Gültekin, N., & Kaya, E. (2020). İnsansız hava aracından elde edilen veriler ile kaya düşme potansiyelinin değerlendirilmesi: Adam Kayalar örneği, Mersin. *Geomatik*, 5(2), 134-145. <https://doi.org/10.29128/geomatik.595574>

Alexander, C., Korstjens, A. H., & Hill, R. A. (2018). Influence of micro-topography and crown characteristics on tree height estimations in tropical forests based on LiDAR canopy height models. *International Journal of Applied Earth*

Observation and Geoinformation, 65, 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.10.009>

Anderson, C. T., Dietz, S. L., Pokswinski, S. M., Jenkins, A. M., Kaeser, M. J., Hiers, J. K., & Pelc, B. D. (2021). Traditional field metrics and terrestrial LiDAR predict plant richness in southern pine forests. *Forest Ecology and Management*, 491, 119118. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119118>

Barazzetti, L., Scaioni, M., & Remondino, F. (2010). Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation. *The Photogrammetric Record*, 25(132), 356-381. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2010.00599.x>

Bendea, H., Boccardo, P., Dequal, S., Giulio Tonolo, F., Marenchino, D., & Piras, M. (2008). Low cost UAV for post-disaster assessment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B8), 1373-1379.

Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Suarez, L., González-Dugo, V., & Fereres, E. (2009b). Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(6), 6.

Berni, J. A., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., & Fereres, E. (2009a). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 722-738. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2010457>

Chiabrando, F., Nex, F., Piatti, D., & Rinaudo, F. (2011). UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas: two tests in the Piedmont region (Italy). *Journal of Archaeological Science*, 38(3), 697-710. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.10.022>

Chou, T. Y., Yeh, M. L., Chen, Y. C., & Chen, Y. H. (2010). Disaster monitoring and management by the unmanned aerial vehicle technology. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(7B), 137-142.

Da Cunha Neto, E. M., Rex, F. E., Veras, H. F. P., Moura, M. M., Sanquetta, C. R., Käfer, P. S., ... & Dalla Corte, A. P. (2021). Using high-density UAV-Lidar for deriving tree height of *Araucaria Angustifolia* in an Urban Atlantic Rain Forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 63, 127197. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127197>

Dirik, H., Erdoğan, R., Altınçekiç, H. S., & Altınçekiç, H. (2014). Kent Ağaçlarının İşlevleri, Koruma Önemi ve Değer Belirleme Yaklaşımları. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15(2), 161-174. <http://dx.doi.org/10.17474/acuofd.74718>

Durgun, H., Çoban, H. O., & Eker, M. (2022). İnsansız hava aracıyla elde edilen hava fotoğraflarından kızılçam ağaçlarının çap ve boylarının ölçümü ve gövde hacminin tahmini. *Turkish Journal of Forestry*, 23(4), 255-267. <https://doi.org/10.18182/tjf.1199567>

Fiorillo, F., Jiménez Fernández-Palacios, B., Remondino, F., & Barba, S. (2015). 3D Surveying and modelling of

- the Archaeological Area of Paestum, Italy. *Virtual Archaeology Review*, 4(8), 55-60. <https://doi.org/10.4995/var.2013.4306>
- Grenzdörffer, G. J., Engel, A., & Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31(B3), 1207-1213.
- Gruen, A., Huang, X., Qin, R., Du, T., Fang, W., Boavida, J., & Oliveira, A. (2013). Joint processing of UAV imagery and terrestrial mobile mapping system data for very high resolution city modeling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 175-182. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-175-2013>
- Hao, J., Li, X., Wu, H., Yang, K., Zeng, Y., Wang, Y., & Pan, Y. (2023). Extraction and analysis of tree canopy height information in high-voltage transmission-line corridors by using integrated optical remote sensing and LiDAR. *Geodesy and Geodynamics*, 14(3), 292-303. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2022.11.008>
- Kaya, Y., & Polat, N. (2023). A linear approach for wheat yield prediction by using different spectral vegetation indices. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 52-62. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1035037>
- Kohoutek, T. K., & Eisenbeiss, H. (2012). Processing of UAV based range imaging data to generate detailed elevation models of complex natural structures. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 405-410. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-405-2012>
- Konolige, K., & Agrawal, M. (2008). FrameSLAM: From bundle adjustment to real-time visual mapping. *IEEE Transactions on Robotics*, 24(5), 1066-1077. <https://doi.org/10.1109/TRO.2008.2004832>
- Ma, Y., Xu, N., Liu, Z., Yang, B., Yang, F., Wang, X. H., & Li, S. (2020). Satellite-derived bathymetry using the ICESat-2 lidar and Sentinel-2 imagery datasets. *Remote Sensing of Environment*, 250, 112047. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112047>
- Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D., & Eisenbeiss, H. (2012). Unmanned aerial vehicle in cadastral applications. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 57-62. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-57-2011>
- Markus, T., Neumann, T., Martino, A., Abdalati, W., Brunt, K., Csatho, B., ... & Zwally, J. (2017). The Ice, Cloud, and land Elevation Satellite-2 (ICESat-2): science requirements, concept, and implementation. *Remote Sensing of Environment*, 190, 260-273. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.12.029>
- Mielcarek, M., Stereńczak, K., & Khosravipour, A. (2018). Testing and evaluating different LiDAR-derived canopy height model generation methods for tree height estimation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 71, 132-143. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.002>
- Molina, P., Colomina, I., Vitoria, T., Silva, P. F., Skaloud, J., Kornus, W., ... & Aguilera, C. (2012). Searching lost people with UAVs: the system and results of the close-search project. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 441-446. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-441-2012>
- Montoya, R. C., D'Amato, A. W., Messier, C., & Nolet, P. (2023). Mapping temperate forest stands using mobile terrestrial LiDAR shows the influence of forest management regimes on tree mortality. *Forest Ecology and Management*, 544, 121194. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121194>
- Najatishendi, E., Ergene, E. M., Uzar, M., & Şanlı, F. B. (2022). Production of flood risk maps: Ayancık Stream Example. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(1), 14-23. <https://doi.org/10.53093/mephoj.1123378>
- Narine, L. L., Popescu, S. C., & Malambo, L. (2019a). Synergy of ICESat-2 and Landsat for mapping forest aboveground biomass with deep learning. *Remote Sensing*, 11(12), 1503. <https://doi.org/10.3390/rs11121503>
- Narine, L. L., Popescu, S. C., & Malambo, L. (2020). Using ICESat-2 to estimate and map forest aboveground biomass: A first example. *Remote Sensing*, 12(11), 1824. <https://doi.org/10.3390/rs12111824>
- Narine, L. L., Popescu, S., Neuenschwander, A., Zhou, T., Srinivasan, S., & Harbeck, K. (2019b). Estimating aboveground biomass and forest canopy cover with simulated ICESat-2 data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.037>
- Narine, L. L., Popescu, S., Zhou, T., Srinivasan, S., & Harbeck, K. (2009). Mapping forest aboveground biomass with a simulated ICESat-2 vegetation canopy product and Landsat data. *Annals of Forest Research*, 62(1), 69-86.
- Neitzel, F., & Klonowski, J. (2012). Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 39-44. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-39-2011>
- Neuenschwander, A. L., & Magruder, L. A. (2019). Canopy and terrain height retrievals with ICESat-2: A first look. *Remote Sensing*, 11(14), 1721. <https://doi.org/10.3390/rs11141721>
- Nie, S., Wang, C., Xi, X., Luo, S., Li, G., Tian, J., & Wang, H. (2018). Estimating the vegetation canopy height using micro-pulse photon-counting LiDAR data. *Optics Express*, 26(10), A520-A540. <https://doi.org/10.1364/OE.26.00A520>
- Nofrizal, A. Y., Sonobe, R., Hiroto, Y., Morita, A., & Ikka, T. (2022). Estimating chlorophyll content of *Zizania latifolia* with hyperspectral data and random forest. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 221-228. <https://doi.org/10.26833/ijeg.953188>
- Noor, N. M., Abdullah, A. A. A., Abdullah, A., Ibrahim, I., & Sabeek, S. (2019). 3D city modeling using Multrotor drone for city heritage conservation. *Planning*

- Malaysia Journal, 17(1), 338–349. <https://doi.org/10.21837/pm.v17i9.610>
- Oczipka, M., Bemmann, J., Piezonka, H., Munkabayar, J., Ahrens, B., Achtehik, M., & Lehmann, F. (2009). Small drones for geo-archaeology in the steppes: locating and documenting the archaeological heritage of the Orkhon Valley in Mongolia. In *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology* IX, 7478, 53-63. <https://doi.org/10.1117/12.830404>
- Pang, X., Chen, Y., Ji, Q., Li, G., Shi, L., Lan, M., & Liang, Z. (2022). An Improved Algorithm for the Retrieval of the Antarctic Sea Ice Freeboard and Thickness from ICESat-2 Altimeter Data. *Remote Sensing*, 14(5), 1069. <https://doi.org/10.3390/rs14051069>
- Qin, H., Zhou, W., Qian, Y., Zhang, H., & Yao, Y. (2022). Estimating aboveground carbon stocks of urban trees by synergizing ICESat-2 LiDAR with GF-2 data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 76, 127728. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127728>
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2012). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling—current status and future perspectives. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 25-31. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011>
- Rinaudo, F., Chiabrande, F., Lingua, A., & Spano, A. (2012). Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry can be an answer. *The International archives of the photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 583-588.
- Saliu, I. S., Satyanarayana, B., Fisol, M. A. B., Wolswijk, G., Decannière, C., Lucas, R., ... & Dahdouh-Guebas, F. (2021). An accuracy analysis of mangrove tree height mensuration using forestry techniques, hypsometers and UAVs. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248, 106971. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106971>
- Simurda, C., Magruder, L. A., Markel, J., Garvin, J. B., & Slayback, D. A. (2022). ICESat-2 applications for investigating emerging volcanoes. *Geosciences*, 12(1), 40. <https://doi.org/10.3390/geosciences12010040>
- Xing, Y., Huang, J., Gruen, A., & Qin, L. (2020). Assessing the performance of ICESat-2/ATLAS multi-channel photon data for estimating ground topography in forested terrain. *Remote Sensing*, 12(13), 2084. <https://doi.org/10.3390/rs12132084>
- Yilmaz, H. M., Aktan, N., Çolak, A., & Alptekin, A. (2022). The use of unmanned aerial vehicle (UAV) data in village development plans: A case study of Aksaray Yaylak Village. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 68-72. <https://doi.org/10.53093/mephoj.1202261>
- Zang, J., Ni, W., & Zhang, Y. (2023). Spatially-explicit mapping annual oil palm heights in peninsular Malaysia combining ICESat-2 and stand age data. *Remote Sensing of Environment*, 295, 113693. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113693>
- Zarco-Tejada, P. J., Guillén-Climent, M. L., Hernández-Clemente, R., Catalina, A., González, M. R., & Martín, P. (2013). Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Agricultural and Forest Meteorology*, 171, 281-294. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.12.013>
- Zhang, G., Chen, W., & Xie, H. (2019). Tibetan Plateau's lake level and volume changes from NASA's ICESat/ICESat-2 and Landsat Missions. *Geophysical Research Letters*, 46(22), 13107-13118. <https://doi.org/10.1029/2019GL085032>





Kabuk yoğunluğu değişiminin PITE (Birincil Dolaylı Topografik Etki) üzerindeki etkisi

Aleyna Öztop^{*1}, Ramazan Alpay Abbak¹, Aydın Üstün²

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Türkiye, aleynaoztop@gmail.com; raabbak@ktun.edu.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Türkiye, aydin.ustun@kocaeli.edu.tr

Kaynak Göster: Öztop, A., Abbak, R. A., & Üstün, A. (2024). Kabuk yoğunluğu değişiminin PITE (Birincil Dolaylı Topografik Etki) üzerindeki etkisi. *Geomatik*, 9 (1), 97-105

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1374075>

Anahtar Kelimeler

Jeoit belirleme
Kabuk yoğunluğu
PITE
Stokes-Helmert yöntemi
Topoğrafya

Araştırma Makalesi

Geliş: 10.10.2023
Reviz: 16.11.2023
Kabul: 20.11.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

Jeoit belirleme çalışmalarında 1 santimetre doğruluklu jeoit modeli oluşturmak ana hedeftir. Bu hedefin en hızlı ve en pratik şekilde çözülmesi bazı mühendislik problemlerinin çözülmesini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle jeoit belirlemek için kullanılan yöntemler gün geçtikçe geliştirilmektedir. Stokes-Helmert yaklaşımı klasik jeoit modelleme seçeneklerinden biridir. Sınır değer probleminin çözümünde topoğrafya dikkatli bir şekilde ele alınmaz ise istenen hedefe ulaşmaya engeldir. Stokes-Helmert yaklaşımının son aşamasında PITE'nin (Birincil Dolaylı Topografik Etki) hesabıyla kesin jeoit yüksekliği elde edilmektedir. Yoğunluk değişimi, PITE'nin hesabında ve dolayısıyla, jeoit yüksekliklerinde anlamlı farklılığa neden olur. Bu farkı görmek için bir sayısal yükseklik modeli ve kabuk yoğunluğu modelinden yararlanmak yeterlidir. Topoğrafyayı ilgilendiren yerbilimleri çalışmalarında yoğunluk değeri genelde ortalama 2.67 gr/cm^3 alınır. Ancak bu değer bazı bölgelerde %20'lere yaklaşan farklılık gösterir. Yoğunluk değişimindeki böyle bir oran PITE hesabından bulunan değerleri desimetre mertebesinde etkiler. Bu çalışmada yoğunluk değişiminin PITE üzerindeki etkisi incelenecektir. Bu sayede ülkemizde santimetre doğruluklu jeoit belirleme çalışmalarına önemli bir katkı sağlanacaktır. PITE değerleri hesap noktasının yüksekliğine ve yoğunluğuna bağlıdır. Sayısal uygulama sonucunda değişken yoğunluklu PITE değerleri -43 cm ile -1 cm arasında değişirken, sabit yoğunluk kullanıldığında bu değerler -39 cm ile 10 cm arasındadır.

The effect of crustal density variation on PITE (Primary Indirect Topography Effect)

Keywords

Geoid determination
Crust Density
PITE
Stokes-Helmert Method
Topography

Research Article

Received: 10.10.2023
Revised: 16.11.2023
Accepted: 20.11.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

In geoid determination studies, the main goal is to create a geoid model with an accuracy of 1 centimeter. Solving this goal in the fastest and most practical way makes it easier to implement some engineering problems. For this reason, the methods used to determine the geoid are being developed day by day. The Stokes-Helmert approach is one of the classical geoid modeling options. If the topography is not handled carefully in the solution of the boundary value problem, it is an obstacle to achieving the desired goal. In the final stage of the Stokes-Helmert approach, the exact geoid height is obtained by calculating the PITE (Primary Indirect Topographic Effect). The density change causes a significant difference in the PITE's calculation and, therefore, in the geoid heights. To see this difference, it is enough to use the digital elevation model and the crustal density model. In geosciences studies related to topography, the density value is usually taken as an average of 2.67 g/cm^3 . However, this value varies in some regions, approaching 20%. Such a ratio, which can be observed in the density change, affects the values obtained from the PITE calculation at the decimetre level. In this study, the effect of density change on PITE will be examined. In this way, an important contribution will be made to the centimeter accuracy geoid determination studies in our country. The PITE values depend on the height and density of the calculation point. As a result of numerical application, the density change gives PITE values between -43 cm and -1 cm, while under constant density these values are between -39 cm and 39 cm.

1. Giriş

Jeoit (geometrik anlamda yeryüzünün gerçek şekli olarak adlandırdığımız yüzey), her noktasında çekül doğrultularını dik açılarla kesen ve okyanus yüzeyi ile kısmen çakışık olduğu varsayılan yüzey şeklinde ifade edilmiştir (Gauss, 1828). Günümüzde jeoidi yüksek doğrulukla belirlemek jeodezik çalışmalar için hayati önem arz etmektedir (Yılmaz, 2023). Yeryüzündeki noktaların ortometrik yükseklikleri ve deniz tabanının derinliği jeoitten itibaren ölçülür. Ülkemizde altyapı projelerinde ve birçok harita mühendisliği uygulamalarında jeoidi referans alan ortometrik yükseklik kullanılmaktadır (Abbak, 2011).

Fiziksel jeodezinin temel amacı, yeryuvarının gravite alanını dolayısıyla gerçek anlamda jeoidi belirlemektir. Jeoidi yer merkezinden itibaren tanımlamak yerine üzerinde her türlü jeodezik hesabın gerçekleştirildiği dönelel elipsoitten olan sapmalarıyla tanımlamak uygulamada bir takım kolaylık sağlar (Abbak, 2021). Bu kapsamda iki farklı yüzey arasındaki bozucu potansiyelin sınır değer probleminin çözülmesi ile jeoidi elde etmek mümkün olmaktadır. Jeoidi gravite alanının bir sınır yüzeyi olarak tanımlamak için jeoit üzerindeki kütleler kaldırılır ve gravite gözlemleri jeoide indirgenir. Topoğrafyanın jeoide olan etkisini en doğru biçimde tespit etmek jeoit belirleme çalışmalarının en önemli hususlarından birisi haline gelmiştir (Demir ve ark., 2018).

Veri türü göz önüne alınarak sınıflandırma yapıldığında, jeoit belirleme için dört temel yöntem sıralanmaktadır. Bunlar; astro-jeodezik, gravimetrik, GNSS-nivelman ve hibrit yöntemlerdir (Abbak, 2021). Bu yöntemlerden gravimetrik yaklaşım bölgesel çalışmalarda yüksek doğruluklu çözüm sağlamaktadır. Gravimetrik jeoit modeli oluşturulmasında gravite verilerinin yanı sıra topoğrafik yükseklikler de kullanılmaktadır. Bu nedenle, jeoit belirlemede topoğrafyanın yoğunluk değeri de önemlidir. Ortalama kabuk yoğunluğu değeri (2.67 gr/cm^3), gerçekte her bölgede farklı değerlere sahiptir. Bu da topoğrafik düzeltme hesabında kullanılan ortalama yoğunluk değerinin değişken olarak ele alınması anlamına gelmektedir.

Jeoidin yeterli bir doğrulukla belirlenip belirlenemeyeceği yıllardır tartışma konusu olmuştur. Bazı bilim insanları bunun yapılamayacağını söylemiştir. Çünkü yeryuvarı içindeki kütle yoğunluğu dağılımının jeoidi belirli bir doğruluk seviyesine izin verecek kadar doğru bir şekilde bilinmemektedir. Stokes yaklaşımının doğruluğu bu anlamda sorgulanırken, Molodenski'nin kuazijeoit belirleme teorisinin ilgi görmesinin temel nedeni budur (Heiskanen ve Moritz, 1967). GNSS'nin ortaya çıkması ve elipsoidale yüksekliğin hassas bir şekilde ölçülme yeteneği sayesinde bu tartışmaya olan ilgi daha da artmıştır. Son yıllarda uluslararası farklı jeodezik çalışma grupları tarafından yüksek doğruluklu jeoit/kuazijeoit hesaplama çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu çabaların amacı bir santimetre veya daha yüksek doğrulukla jeoit veya kuazijeoidin belirlenmesidir.

Stokes-Helmert yöntemiyle cm doğruluklu gravimetrik jeoit belirleme çalışmaları 1990'lı yıllarda

başlamıştır. İlk uygulamalar Martinec ve Vanicek (1994a; 1994b) çalışmaları olmuştur. Daha sonra, Novak (2000), Tenzer ve ark., (2003), Ellmann ve Vanicek (2007), Vanicek ve ark., (2013), Foroughi (2018), Guo ve ark., (2019), Vajda ve ark., (2020) Stokes-Helmert yöntemine göre jeoit belirleme konusunu kapsamlı uygulama örnekleriyle ele almıştır. Janak ve ark., (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Fransa'nın Auvergne bölgesinde kabuk yoğunluğu hesaba katılarak Stokes-Helmert yöntemiyle jeoit belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yöntemin son yıllarda ilgi görmesinin temel sebeplerinden birisi, diğer jeoit belirleme yöntemlerine göre topoğrafyayı daha çok ön planda tutmasıdır.

Stokes-Helmert metodunda, yeryüzünde ölçülen serbest hava gravite anomalilerinden topoğrafik ve atmosferik kütlelerin etkisinin yanı sıra gravite alanının uzun dalga boylu bileşenleri kaldırılır. Elde edilen artık (rezidual) gravite anomalileri ile Stokes integrali uygulanır. Daha sonra çıkarılan atmosferik ve topoğrafik kütlelerin etkisi ve uzun dalga boylu bileşenler yeniden yerine konur. Bu süreçte topoğrafik kütlelerin yerine konmasına birincil dolaylı topoğrafik etki (PITE: Primary Indirect Topography Effect) adı verilir (Ellmann ve Vanicek, 2007). Topoğrafik kütlelerin etkileri belirlenirken yoğunlukla yer kabuğunun yoğunluğu için ortalama değer kullanılır. Ancak kullanılan ortalama yoğunluk değeri yalnızca hesap basitleştirme işleminden ibarettir. Küresel ya da bölgesel kabuk yoğunluk modellerinin ortaya çıkmasıyla birlikte günümüzde kabuk yoğunluğuna bağlı topoğrafik düzeltme değerleri belirli bir yaklaşımla tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada, kabuk yoğunluğu modeli kullanılarak birincil dolaylı topoğrafik etkinin (PITE) nasıl değiştiği ve bu değişimin jeoit doğruluğuna katkısı incelenmiştir.

2. Yöntem

Sayısal uygulama için Fransa'nın Auvergne test bölgesi seçilmiştir. Çalışma sahası, $45^\circ \leq \varphi \leq 47^\circ$ kuzey paralelleri, $2^\circ \leq \lambda \leq 4^\circ$ doğu meridyenleri arasında kalan yaklaşık 40000 km^2 yüzölçümüne sahip bir alanı kaplamaktadır (Şekil 1'de iç çerçevede gösterilen alan). Çalışma sahasında en küçük, ortalama ve en büyük yükseklik değerleri sırasıyla, 500 m, 1000 m ve 1900 m olarak belirlenmiştir. Jeoit modeli hesabında iki katlı entegrasyon söz konusu olduğu için çalışma sahasının dışında da yersel veri olması gerekmektedir. Bu nedenle hesaplamada çalışma sahasının 1.5° lik dışındaki veriler de kullanılmıştır (Şekil 1'deki tüm bölge). Araştırma için girdi verisi olarak; sayısal yükseklik modeli (SRTM1) ve küresel kabuk yoğunluğu modeli (UNBCRUST) kullanılmıştır. Söz konusu verilere ilişkin temel bilgiler aşağıda sırayla verilmiştir.

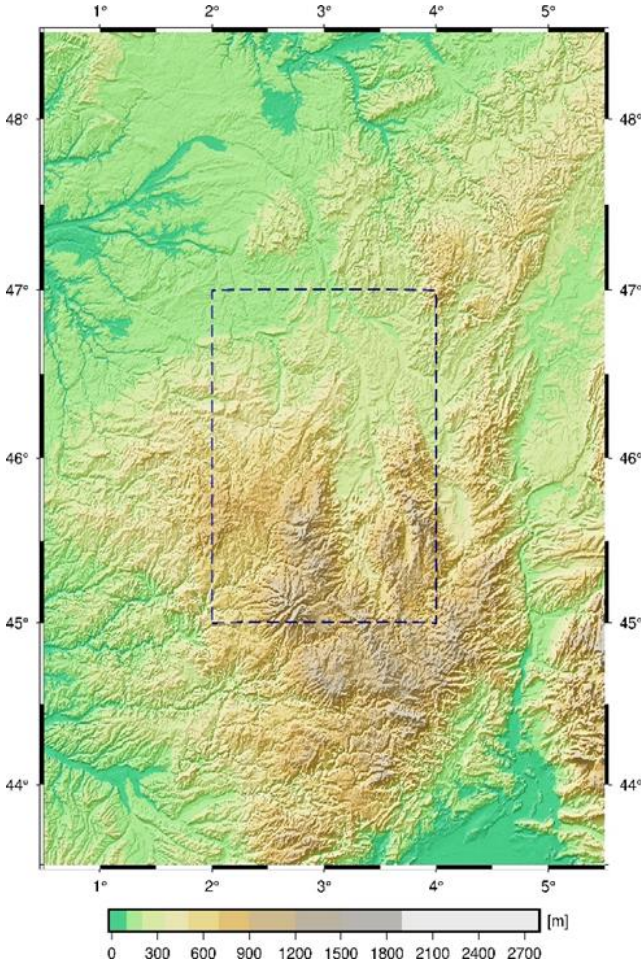
2.1. Sayısal yükseklik modeli

Sayısal yükseklik modeli (SYM), fiziksel yeryüzünün bilgisayar ortamındaki gösterimidir. Bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte SYM üretimi, uzaktan algılama yöntemleriyle global ve yüksek çözünürlüklü olarak gerçekleştirilebilmektedir. SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), sentetik yapay açıklıklı radar

teknolojisi kullanan yeryüzünün topografyasını belirleme amaçlı bir uzaktan algılama görevidir. Bu görev NASA tarafından üstlenilmiştir. Proje kapsamında, SRTM mekiğinin 2000 yılı Şubat ayındaki 15 günlük uçuşuyla yeryüzü topografyası radar interferometresi tekniği yardımıyla belirlenmiştir (Farr ve ark., 2007; İl ve ark., 2018).

SRTM projesinden üretilen 1 saniye çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli bu çalışmada SRTM1 olarak adlandırılmıştır. SRTM1 modelinin tüm yeryuvarında düşey doğruluğu 16 m iken, çalışma bölgemizde

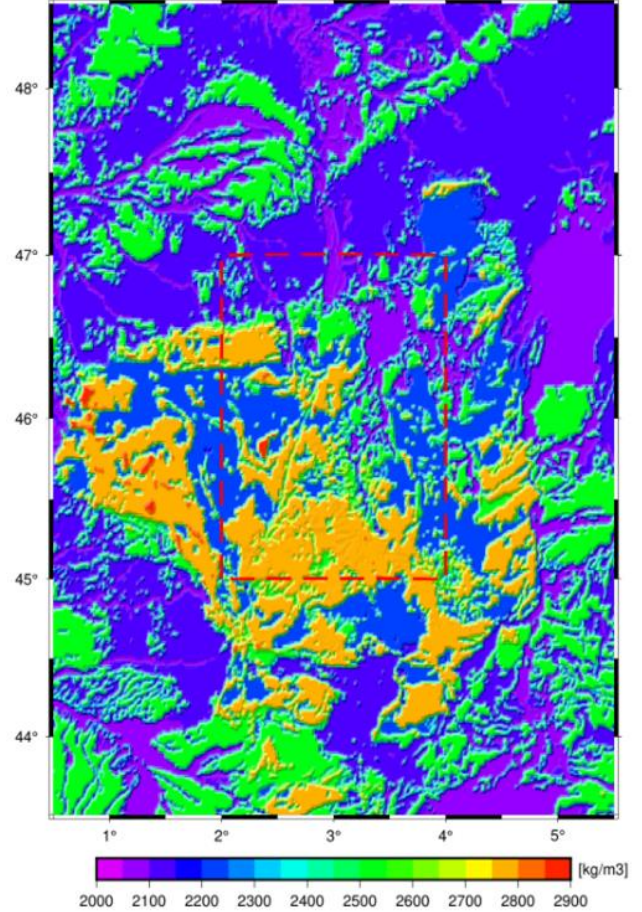
doğruluğu 3 m'den daha iyidir (Abbak, 2014). Bu model yatay ve düşey datum olarak sırasıyla WGS84 elipsoidini ve EGM96 jeoidini referans alır (Bildirici ve ark., 2007; Bildirici ve Abbak, 2020). Şekil 1'deki haritanın çiziminde SRTM1 modeli kullanılmıştır. Diğer yandan, jeoidin dağlık alanlardaki değişimi göz önüne alınarak, jeoit modeli için çözünürlük 0.01° (36 saniye) olarak seçilmiştir. Bu nedenle bu çalışma için SRTM1 verilerinin aritmetik ortalamalarıyla 0.01° çözünürlüklü yükseklik değerleri (360 000 grid noktası) oluşturulmuştur.



Şekil 1. Çalışma bölgesinin topoğrafik haritası (çizgili çerçeve jeoit alanını belirtmektedir).

2.2. Kabuk modeli

Uygulama kapsamında kullanılan bir diğer veri ise New Brunswick Üniversitesi tarafından geliştirilen UNB_Topo_Dens küresel kabuk modelidir. Bu makalede, söz konusu modele kolaylık açısından UNBCRUST denecektir. UNBCRUST, küresel olarak topoğrafik yoğunluk hakkında yüksek çözünürlüklü bilgi sağlayan ilk modeldir. Topoğrafik yoğunluk modellerinin çoğunluğu gravite alanı bilgisi ve sismolojik veriler ile belirlenir. Bu model yeryuvarı üzerinde ölçülen gravite gözlemlerinden türetilen Bouguer anomalilerinden yola çıkarak yoğunluğu elde etmektedir. Modelin analizi, tüm yeryuvarı için ortalama topoğrafik yoğunluğun 2247 kg/m³ olduğunu ortaya koymaktadır (Sheng ve ark., 2019). UNBCRUST sayesinde yeryuvarının tümünde topoğrafik yoğunluk değişimleri ve belirsizlikleri elde



Şekil 2. Çalışma bölgesinin yoğunluk haritası (çizgili çerçeve jeoit alanını belirtmektedir).

edilebilir hale gelmiştir. UNBCRUST, 30 saniye çözünürlüklü ve 2 boyutlu bir topoğrafik yoğunluk modeli olarak sunulmaktadır. Modelin indirme bağlantısı ve diğer teknik detaylar için Sheng ve ark. (2019) çalışmasına bakılabilir.

2.3 Stokes-Helmert yöntemi

Bu çalışmada jeoit modelini belirlemek için Stokes-Helmert metodu ele alınmıştır. Stokes-Helmert metodu bir jeodezik sınır değer probleminin çözümüdür. Aynı zamanda bir Kaldır-Hesapla-Yerine Koy (RCR: remove-compute-restore) tekniğidir (Sjöberg, 2005). Topoğrafik yüzeyde gravite ölçüleri yapılırken, Stokes yöntemiyle sınır değer probleminin çözümü için ölçülen değerlerin sınır yüzeyi olarak adlandırılan jeoide indirgenmesi gerekmektedir. Sınır koşulunu sağlaması için gravite

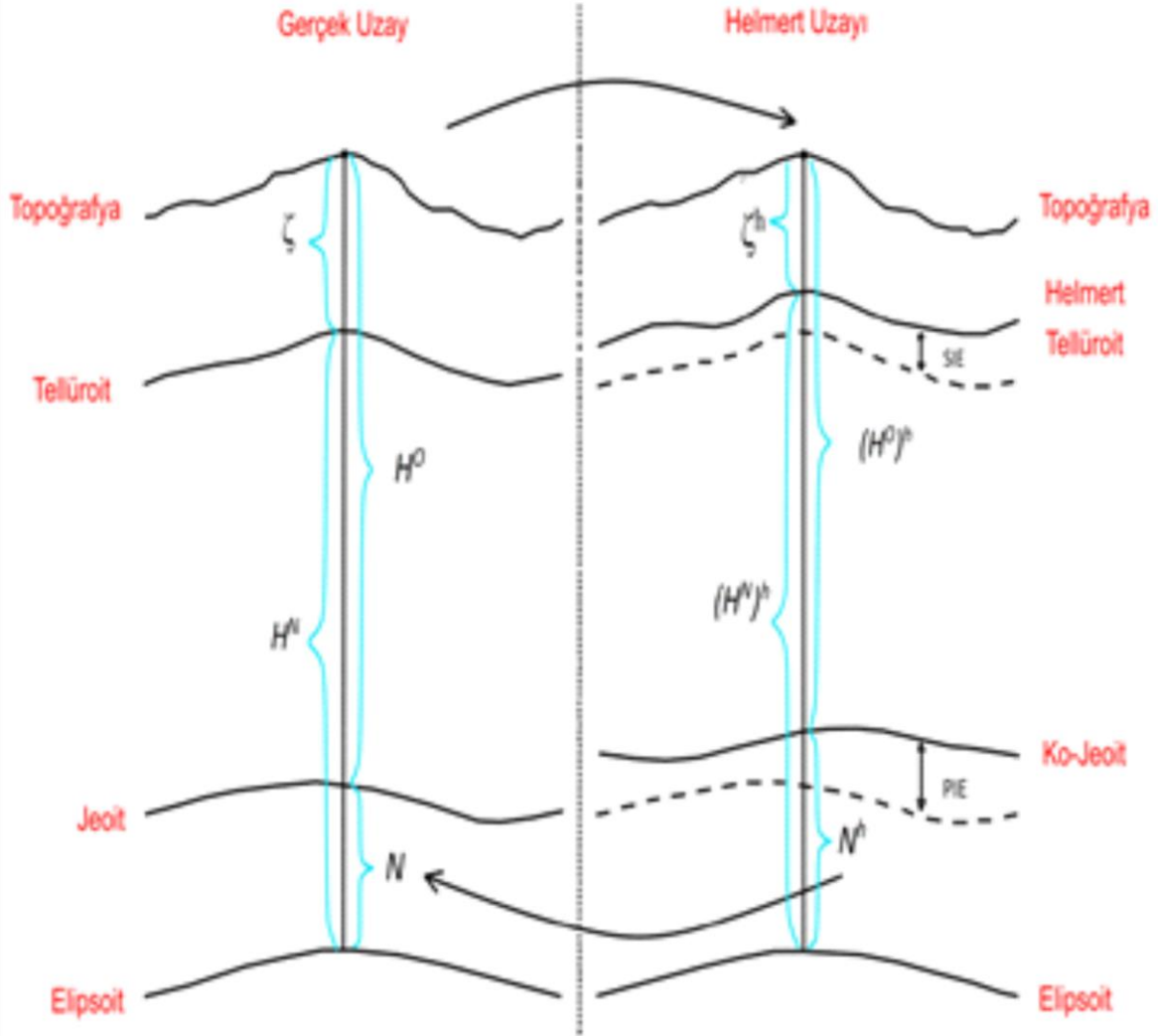
anomalilerinin jeoide kadar aşağı uzanımı (downward continuation) gerekmektedir. Bu nedenle topoğrafya ve atmosferin varlığına ilişkin birçok düzeltme hesaba katılmaktadır.

Bilindiği gibi topoğrafik etkilerin değerlendirilmesi günümüzde kesin jeoit modellemede en ciddi sorunlardan biridir. Bu nedenle topoğrafik etkilerin küresel yeryuvarı için özenle formüle edilmesi ve değerlendirilmesi gerekir.

Topoğrafik kütlelerin etkisini dikkate almanın bir yolu, Helmert'in ikinci yoğunlaştırma (2nd condensation) modelini kullanmaktır. Bu modele göre, yeryuvarının topoğrafik kütleleri, jeoit üzerinde bulunan sonsuz ince bir yoğunlaşma tabakası ile değiştirilebilir. Stokes-Helmert yönteminin tam anlamıyla uygulanabilmesi için gerçek uzaydaki niceliklerin ilk olarak Helmert uzayına dönüştürülmesi gerekir (Şekil 3). Böylece "Helmertize" edilmiş gravite alanı daha sonra düşük ve yüksek

frekanslı parçalara ayrılabilir (Vanicek, 1987). Şekil 3'de ifade edilen tellüroit, yeryüzündeki bir noktanın gerçek potansiyeli ile normal potansiyelinin sayısal olarak eşit olduğu yüzeydir (Abbak, 2021). İkincil dolaylı topoğrafik etki, literatürde SITE olarak adlandırılır.

Küresel jeopotansiyel modeller, gravite alanının uzun dalga boylu bilgisi için en doğru kaynaktır. Oysa kısa dalga boylu bilgi Stokes entegrasyonundan elde edilir. Entegrasyon, hesap noktasının etrafındaki bir alanla sınırlıdır. Burada Stokes kernel şeması kullanılmalıdır. Bu şemada, uzak nokta etkilerinin küresel jeopotansiyel modelden değerlendirilip, yersel gravite anomalilerinden çıkarılarak artık gravite anomalileri elde edilir. Artık gravite anomalileriyle gerçekleştirilen Stokes entegrasyonu, Helmert artık ko-jeoit ile sonuçlanır. Hesaplama aşamasında, gerçek uzaydaki jeoit, Helmert ko-jeoit yüksekliklerinden birincil dolaylı topoğrafik ve atmosferik etkiler çıkarılarak elde edilir.



Şekil 3. Stokes-Helmert yönteminde gerçek ve Helmert uzayı (Ellmann ve Vanicek, 2007). H^0 ve H^N sırasıyla ortometrik ve normal yükseklik türünü ifade eder. Bunların h ile gösterimi Helmert uzayındaki karşılıklarını temsil eder.

$$N = \frac{R}{4\pi\gamma_0} \iint_{\sigma_0} S^L(\psi) (\Delta g^h - \sum_{n=2}^L \Delta g_n^h) d\sigma + \frac{R}{2\gamma_0} \sum_{n=2}^L \frac{2}{n-1} \Delta g_n^h + \frac{V^t - V^{ct}}{\gamma_0} \quad (1)$$

Stokes-Helmert metoduna göre jeoit yüksekliği, Eşitlik 1 ile elde edilir. Burada, R ortalama yeryuvarının

yarıçapı, γ_0 normal gravite, $S^L(\psi)$ modifiye edilmiş Stokes fonksiyonu, ψ hesap ve entegrasyon noktaları

arasındaki jeosentrik açı, Δg^h Helmert gravite anomalisi, Δg_n^h küresel yerpotansiyel modelden türetilen n. dereceden Helmert gravite anomalisi, $d\sigma$ sonsuz küçük yüzey elemanı, V^t topografyanın gerçek çekim potansiyeli, V^{ct} yoğunlaştırılmış (condensed) topografyanın çekim potansiyelidir. Jeoit yüksekliğini belirleyen bu eşitlikte, eşitliğin sağındaki ilk terim yersel gravite etkisi, ikinci terim küresel yer potansiyel model (KYM) etkisi, üçüncü terim ise topoğrafik etkiyi (PITE'yi) göstermektedir.

2.4 PITE

Jeoidin kesin olarak belirlenimin en zor kısmı topoğrafik etkilerin değerlendirilmesindeki eksikliklerdir. Öncelikle yaygın olarak kullanılan düzlemsel yaklaşım yerine topoğrafik etkilerin küresel biçimde formüle edilmesi sonuçların doğruluğunu artırmaktadır. Stokes-Helmert metodunda, doğrudan ve dolaylı topoğrafik etkiler bulunmaktadır. Bu etkileri gidermek için kullanılan topoğrafik kütlelerin yoğunlaşması Helmert'in ikinci yoğunlaşma metodu olarak adlandırılır. Oluşturulan Helmert yüzeyi potansiyelinin gerçek

potansiyelden farklı olmasına neden olur. Sonuç olarak Helmert kojeoidi ile gerçek uzaydaki jeoit, tam olarak aynı değildir. Başka bir deyişle PITE gerçek uzayda jeoit elde etmek için Helmert'in uzayına eklenen bir dönüşüm terimidir. Helmert'in ikinci yoğunlaşma yönteminin en önemli üstünlüğü ise PITE'nin yeryuvarının tamamında 2 m'den daha büyük olmamasıdır. PITE'nin kullanım şekli jeoidin üzerindeki kütlelerin Helmert'in ikinci yoğunlaştırma tabakasıyla sıkıştırılıp jeoidin üzerine eklenmesidir. Özetle, topoğrafya ince bir kâğıt gibi düşünülüp, jeoidin üzerine eklenir.

Küresel yaklaşıma göre modellenen en kapsamlı PITE formülü, [Eşitlik 2](#) ile verilir ([Ellmann ve Vanicek, 2007](#)). [Eşitlik 2](#)'de görüldüğü üzere PITE beş terimden oluşmaktadır. Buradaki son iki terimde yoğunluk değişimi ($\delta\rho$) yer almaktadır. Eşitlikte geçen G Newton çekim sabiti, Ω hesap noktalarının φ, λ değerleri, Ω' entegrasyon noktalarının φ, λ değerleri, ρ_0 2.67 gr/cm³ olarak alınan ortalama kabuk yoğunluğunu, H^0 ortometrik yüksekliği, R yeryuvarının ortalama yarıçapını, γ_0 ise normal graviteyi temsil eder. Ayrıca l hesap noktası ile integral yüzey elemanı $d\Omega$ arasındaki yatay mesafeyi gösterir ve [Eşitlik 3](#) ile hesaplanır:

$$\begin{aligned} \frac{\delta V^t(R, \Omega)}{\gamma_0(\Phi)} = & -4\pi G \rho_0 \frac{[H^0(\Omega)]^2}{\gamma_0} \left[\frac{1}{2} + \frac{H^0(\Omega)}{3R} \right] + \frac{G}{\gamma_0(\Phi)} \rho_0 \iint_{\Omega' \in \Omega_0} \int_{r'=R+H^0(\Omega)}^{R+H^0(\Omega')} l^{-1}[R, \psi(\Omega, \Omega'), r'] r'^2 dr' d\Omega' \\ & - \frac{G}{\gamma_0(\Phi)} \rho_0 \iint_{\Omega' \in \Omega_0} \frac{r_t^3(\Omega') - r_t^3(\Omega)}{3} l^{-1}[R, \psi(\Omega, \Omega'), R] d\Omega' \\ & + \frac{G}{\gamma_0(\Phi)} \iint_{\Omega' \in \Omega_0} \delta\rho(\Omega') \int_{r'=R}^{R+H^0(\Omega')} l^{-1}[R, \psi(\Omega, \Omega'), r'] r'^2 dr' d\Omega' \\ & - \frac{G}{\gamma_0(\Phi)} \iint_{\Omega' \in \Omega_0} \delta\rho(\Omega') \frac{r_t^3(\Omega') - r_t^3(\Omega)}{3} l^{-1}[R, \psi(\Omega, \Omega'), R] d\Omega' \end{aligned} \quad (2)$$

$$l = \sqrt{r'^2 + R^2 - 2Rr' \cos\psi} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \int_{r'=R+H^0(\Omega)}^{R+H^0(\Omega')} l^{-1}[R, \psi(\Omega, \Omega'), r'] r'^2 dr' d\Omega' \\ & = \left[\frac{1}{2} r' \right. \\ & \quad + 3R \cos\psi(\Omega, \Omega') l[R, \psi(\Omega, \Omega'), r'] \\ & \quad \left. + \frac{r^2}{2} (3\cos^2\psi(\Omega, \Omega') - 1) \ln|r' - r\cos\psi(\Omega, \Omega') + l[r(\Omega), \psi(\Omega, \Omega'), r'] \right] \Big|_{r'=R}^{R+H^0(\Omega')} \end{aligned} \quad (4)$$

[Eşitlik 1-3](#)'ten anlaşıldığı üzere bir bölgede PITE büyüklüğünü hesaplamak için 2 ve 3 katlı integrallerin çözülerek SYM ve kabuk yoğunluğu ile değerlendirilmelidir.

[Eşitlik 2](#)'deki 3 katlı integral içeren ikinci terim uygulamak zor olduğu için bu terimi 2 katlı integrale dönüştürmek gerekir. Bunun için [Eşitlik 4](#) kullanılmaktadır ([Foroughi, 2009](#)). Burada $R = 6371000$ m ortalama yeryuvarı yarıçapı ve r' entegrasyon noktasının radyal bileşeni olarak ifade edilmektedir.

3. Uygulama

Bu çalışmanın uygulama kısmında, Fransa'nın Auvergne bölgesinde çalışma sahası olarak seçilmiştir. Bu bölgenin tercih edilmesindeki en büyük etken, daha

önceden bu alanda birçok jeoit belirleme yönteminin sınanmış olmasıdır. Bu sayede daha önceden bu alan için yapılan Stokes-Helmert yöntemi çözümü ([Janak ve ark., 2017](#)) ile kontrollü bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir.

Stokes-Helmert yöntemine göre PITE hesabında iki yol izlenmiştir. Birincisinde yer kabuğunun yoğunluğu değişken olarak ele alınmış, UNBCRUST modelinden interpolasyonla bölge için elde edilen yoğunluk değerleri kullanılmıştır. İkincisinde yer kabuğunun yoğunluğu sabit kabul edilerek (2.67 gr/cm³) hesaplama yapılmıştır. Daha sonra bu iki PITE değeri karşılaştırarak sonuçlar tartışılmıştır. Son olarak daha önceden yapılan çalışmadan elde edilen PITE değerleri ile bu çalışmadan elde edilen PITE değerleri arasındaki farklar incelenmiştir. Bu işlemler için yazarlar tarafından C programlama dilinde geliştirilen PITESOFT yazılımı kullanılmıştır.

3.1 PITE uygulaması

Öncelikle [Eşitlik 2](#)'nin tüm terimleri (5 adet terim) hesaba katılarak değişken yoğunluklu PITE hesabı

gerçekleştirilmiştir. Buna göre [Şekil 4](#)'te PITE değerinin çalışma bölgesindeki dağılımı görülmektedir. Sayısal sonuçlara göre; PITE çalışma sahasında -43 cm ile -0.8 cm arasında değişen değerler almıştır ([Tablo 1](#)).

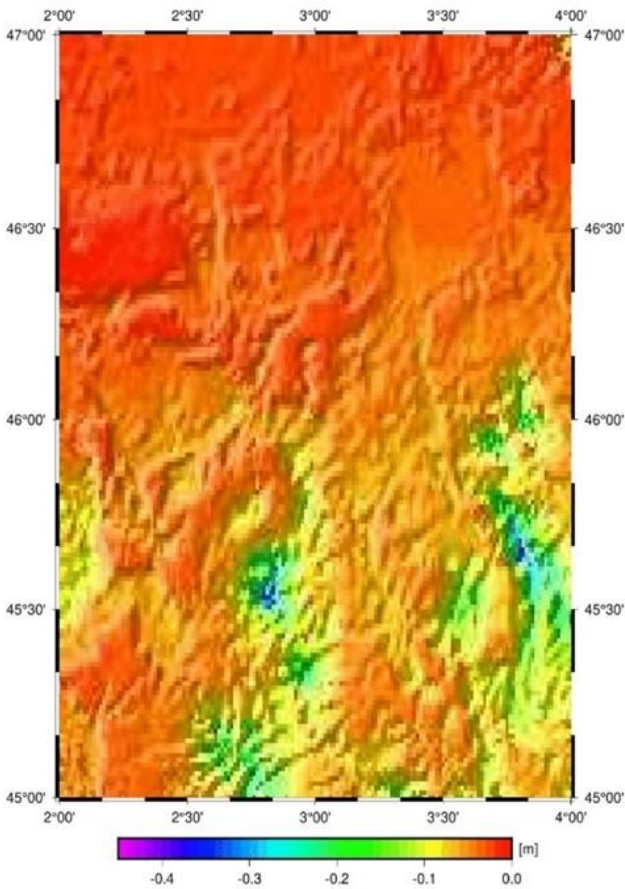
Tablo 1. Uygulama sonuçları (cm).

Model	En az	En çok	Ort.	KOH	STD
PITE değişken yoğunluklu	-43.19	-0.08	-5.28	6.89	0.05
PITE sabit yoğunluklu	-39.01	-1.10	-4.69	5.66	0.03
Farkları	-10.02	39.01	-0.06	1.51	1.39

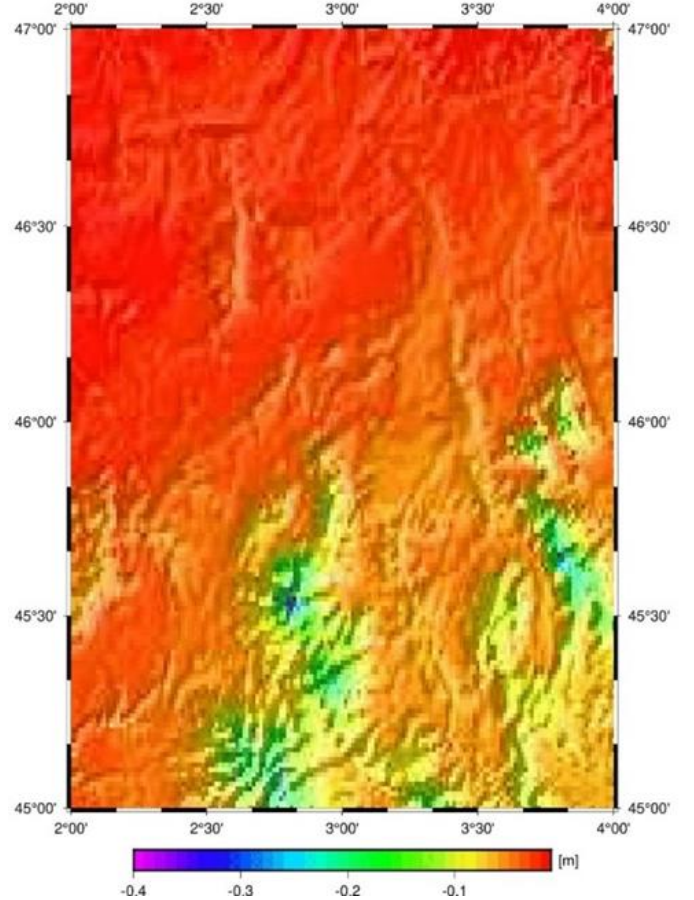
3.2 Sabit yoğunluklu PITE uygulaması

İkinci işlem olarak [Eşitlik 2](#)'de verilen ilk üç terim incelenmiştir. Başka bir deyişle bu işlemde yoğunluk

değişimi ele alınmamıştır. Sayısal sonuçların coğrafi dağılımı [Şekil 5](#)'te görülmektedir. PITE, -39.0 cm ile -1.1 cm arasında değerler almıştır ([Tablo 1](#)).



Şekil 4. Çalışma bölgesinde değişken yoğunluklu PITE değerleri.



Şekil 5. Çalışma bölgesinde Sabit Yoğunluklu PITE.

3.3 Değişken yoğunluklu PITE ile Sabit Yoğunluklu PITE Farkı

Son olarak; yoğunluk değişiminin PITE değerine ne kadar etki ettiğini belirlemek için iki yöntemle elde edilen PITE değerleri aynı grid noktalarında birbirinden çıkarılmıştır ([Şekil 6](#)). Bu işlemin sonucunda iki tür PITE arasında -10.0 cm ile 39.0 cm değişen farklar gözlenmiştir ([Tablo 1](#)). Bu aralık, santimetre doğruluklu jeoit modeli için kabuk yoğunluğunu hesaba katmanın önemli olduğunu göstermektedir.

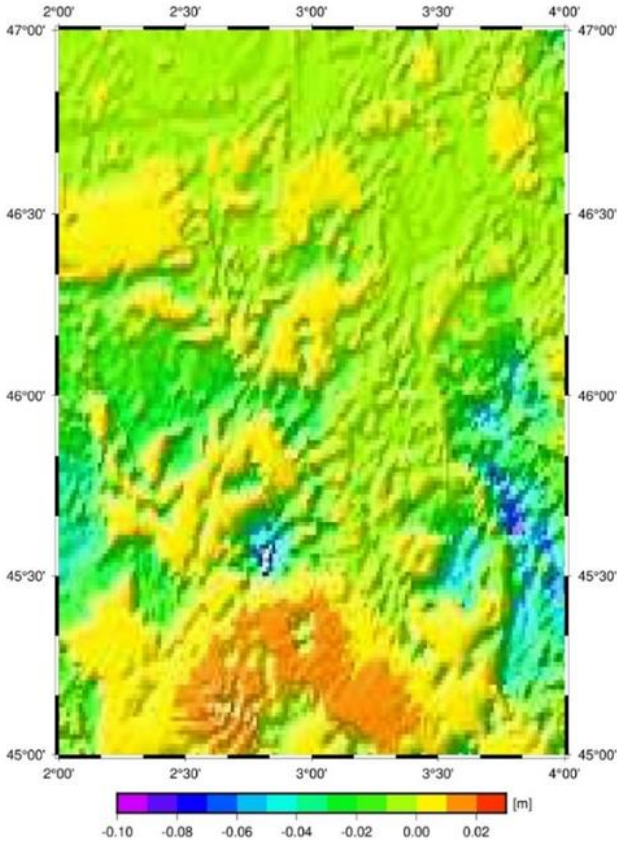
3.4 Karşılaştırma

Daha önce bu bölgede çalışma gerçekleştiren ve en güncel yaklaşım olarak ele alınan [Janak ve ark., \(2017\)](#) çalışmasında, sayısal yükseklik modeli için SRTM3 ve yoğunluk için UNBCRUST modelini kullanmıştır.

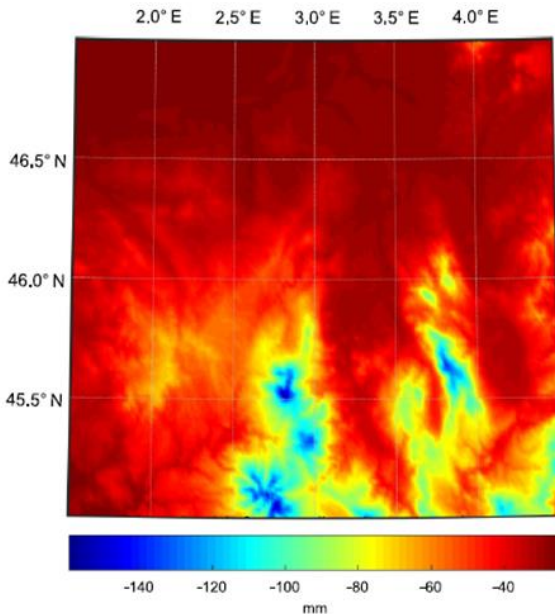
[Janak vd. \(2017\)](#), çalışma alanını $1.5^{\circ} \leq \lambda \leq 4.5^{\circ}$ doğu meridyenleri $45^{\circ} \leq \varphi \leq 47^{\circ}$ kuzey paralelleri olarak belirlemiş ve bu alanı integrasyon için 2° genişletmiştir. [Janak ve ark. \(2017\)](#) tarafından [Eşitlik 2](#)'nin tüm terimlerinin uyguladığı (değişken yoğunluklu) PITE çözümü [Şekil 7](#)'de görülmektedir. Sayısal sonuçlara göre PITE -16 cm

ile -2.5 cm arasında değişen değerler almıştır. Ayrıca, ortalaması 4.4 cm ve standart sapması 2 cm olarak belirlenmiştir.

Janak ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilmiş olan PITE çözümü ile bu çalışmadaki PITE çözümü arasındaki farkların oluşmasının temel sebeplerinden birisi kullanılan sayısal yükseklik modellerinin farklı olmasıdır. Ayrıca üretilen jeoit modellerinin çözünürlükleri arasında farkın olması diğer bir etkidir. Farkların dağılımı incelendiğinde büyük değerlerin sayısı 10 civarında olduğu da görülmüştür.



Şekil 6. Değişken yoğunluklu PITE ile sabit yoğunluklu PITE farkı.



Şekil 7. PITE değerleri (Janak vd., 2017).

3.5 Korelasyon analizi

Korelasyon, iki değişken arasındaki matematiksel ve fiziksel ilişkinin standartlaştırılmış haline denir. Bu ilişki korelasyon katsayısıyla belirlenmektedir. Korelasyon katsayısı, Eşitlik 5 ile hesaplanır. Eşitlikte geçen σ_{xy} iki büyüklük arasında arasındaki kovaryansı, σ_x ve σ_y büyüklüklerin standart sapmalarını ifade etmektedir. Korelasyon değeri -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Korelasyon değeri sınırlara yaklaştıkça (+1 ve -1), iki büyüklük arasında kuvvetli pozitif/negatif ilişki olduğunu ifade eder (Abbak, 2020).

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (5)$$

PITE ile grid topoğrafik yükseklik (H) değerleri arasındaki ilişkinin derecesini anlamak için korelasyon hesaplanmıştır. Buna göre hesaplanan korelasyon katsayısı -0.53 olup, bu iki büyüklük arasında negatif yönlü orta kuvvetli bir ilişki söz konusudur (Şekil 8). Bir başka deyişle yükseklik arttıkça, PITE değeri azalmaktadır. Bu durum okuyucuyu şaşırtmasın, çünkü PITE mutlak olarak artmakta ancak düzeltme olduğu için - işareti sayesinde küçülmektedir. Şekil 8'deki mavi çizgi, iki büyüklük arasındaki regresyon doğrusudur. Verilerin, regresyon doğrusundan fazlaca yayılmış olması PITE'nin tek bir yükseklik değerinden değil, entegrasyon (1.5 derece yarıçaplı alan) içine giren tüm yükseklik değerlerinden etkilendiğini belirtmektedir.

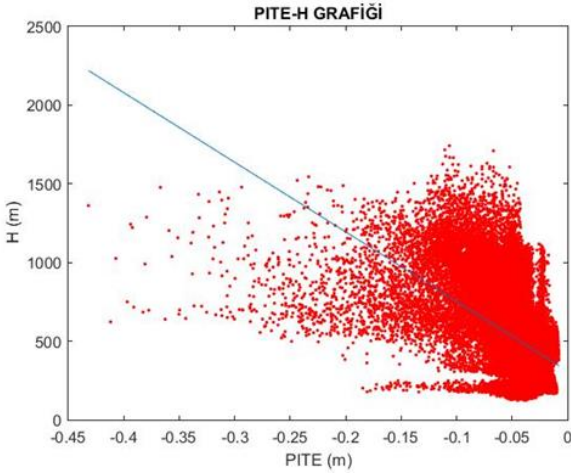
Benzer şekilde PITE ile yoğunluk arasındaki korelasyon da hesaplanmıştır. Buna göre iki büyüklük arasındaki korelasyon katsayısı -0.05 olup, ilişkinin derecesi negatif yönlü çok zayıftır (Şekil 9). Her ne kadar yoğunluk değişimi sonuçlarda anlamlı farklara neden olsa da korelasyon katsayısı çok düşük çıkmıştır. Bunun da nedeni PITE'nin hesabında tek bir noktadaki yoğunluk değerinin değil, entegrasyon (1.5 derece yarıçaplı alan) içine giren tüm yoğunluk değerlerinin etkin olmasından kaynaklanır. Şekil 9'daki mavi çizgi, iki büyüklük arasındaki regresyon doğrusudur. Aynı zamanda UNBCRUST modelinin 30" çözünürlüklü olması sayısal yükseklik modelinin ise 1" çözünürlüğe sahip olması da bu durumu etkilemektedir. Model uyumsuzluğunun sonucu olarak Şekil 9'daki yatay yönlü nokta dağılımı ortaya çıkmaktadır. Başka bir deyişle yükseklik değişse de yoğunluklar yani PITE değerleri hep aynı kalmaktadır. Bu da yoğunluk modellerinin de pek gerçekçi olmadığını yüzeysel kaldığını kanıtlar.

4. Sonuçlar

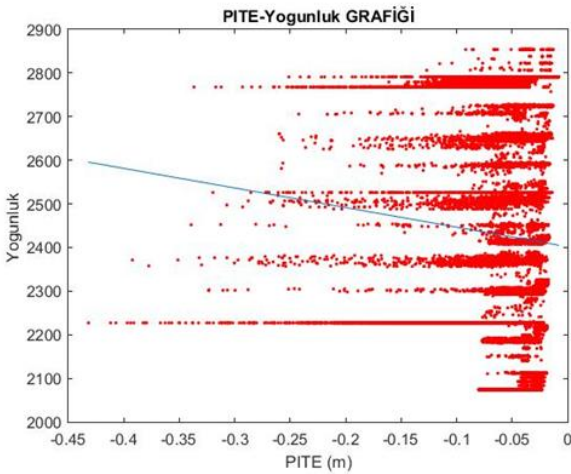
Bu çalışmada gravimetrik jeoit belirleme yöntemi olan Stokes-Helmert yaklaşımının temel teorisi incelenmiştir. Bu yaklaşımı diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliği ise Helmert'in ikinci yoğunlaştırma yöntemini kullanmasıdır. Bu yöntemle beraber topoğrafik kütleler sıkıştırılıp jeoit üzerine eklenmektedir. Jeoit belirlemenin en temel sorunu topoğrafyanın varlığıdır ve bu yöntemde topoğrafya üç farklı biçimde ele alınmaktadır.

Stokes-Helmert yönteminde birincil ve ikinci dolaylı topoğrafik etkinin hesaplanması gerçek ve Helmert

uzayları arasındaki dönüşüm için gereklidir. Birincil topoğrafik etkinin hesaplanmasındaki temel amaç jeoit yüksekliğinin belirlenmesinde doğrudan etkisi olmasıdır. Bu nedenle bu çalışmada birincil topoğrafik etki incelenmiştir.



Şekil 8. PITE ile H değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 9. PITE ile yoğunluk değerleri arasındaki ilişki.

Bu çalışmanın uygulaması bir test bölgesi olan Fransa Auvergne'de gerçekleştirilmiştir. Birincil topoğrafik etki için formüller C programlama dilinde kodlanmıştır. Topoğrafik etkinin ilk üç teriminde yoğunluk değişiminin etkisi yoktur. Son iki terimde yoğunluk değişiminin topoğrafik düzeltmeye olan etkisi bulunmaktadır. Yapılan uygulamanın amacı kabuk yoğunluğunun birincil topoğrafik düzeltmeye ne kadar etki ettiğini gözlemektir. Uygulama sonucunda, değişken yoğunluklu birincil topoğrafik etki -43.0 cm ile -0.8 cm arasında değerler almıştır. Topoğrafik etkinin incelenmesinde yoğunluk değişiminin ele alınması ile alınmaması arasındaki fark ise -10 ile 39 cm arasında değişmektedir.

Stokes-Helmert yönteminin üstün tarafı topoğrafyanın varlığını her koşulda hesaba katmasıdır. Zayıf tarafı ise hesaplama işlemlerinin zorluğudur. Stokes-Helmert yönteminde jeoit belirleme diğer yöntemlere göre daha uzun bir sürede belirlenmesine rağmen jeoit belirleme çalışmalarında uygulanması tavsiye edilir. Bu yöntem santimetre altı doğruluk beklenen Türkiye jeoit modeli belirleme çalışmalarında kullanılabilir. Ülkemizde yüksek dağlık bölgelerin olması

ulusal jeoidin yüksek doğrulukla belirlenmesi için önemli bir engeldir. Topoğrafyanın etkisini en aza indirmek için PITE hesabında yoğunluk değişiminin dikkate alınması bizi şu ana kadar üretilen ulusal jeoit modellerinden daha doğruluklu bir sonuca ulaştırabilir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma 120Y246 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar Stokes-Helmert yaklaşımı konusundaki faydalı tartışmalarından dolayı Harita Genel Müdürlüğü'nde çalışan Doç. Dr. Müh. Alb. Mehmet SİMAV'a teşekkür eder. Yazarlar, editöre ve hakemlere yapıcı eleştirilerinden dolayı teşekkür eder.

Araştırmacıların katkı oranı

Aleyna Öztop: Kavramsallaştırma, literatür taraması, verilerin analizi ve değerlendirilmesi, **Ramazan Alpay Abbak:** Verilerin temin edilmesi, yazım denetimi, içerik açısından makalenin kontrol edilmesi, sonuçların incelenmesi, **Aydın Üstün:** Kavramsallaştırma, içerik açısından makalenin kontrol edilmesi, sonuçların incelenmesi.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazılım Erişebilirliği

Bu çalışma kapsamında C++ programlama dilinde geliştirilen yazılımı, www.github/aabbak/PITESOFT adresinden ücretsiz bir şekilde indirilebilir. Yazılımın kullanımına ilişkin bilgilerin yanı sıra test verileri de ilgili sayfada bulunmaktadır.

Kaynakça

- Abbak, R. A. (2014). Effect of ASTER DEM on the prediction of mean gravity anomalies: a case study over the Auvergne test region. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 49(4), 491-502. <https://doi.org/10.1007/s40328-014-0062-8>
- Abbak, R. A., (2011). Global Yer Potansiyel Modellerin Spektral Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Jeoit Belirleme İçin Yerel Olarak İyileştirilmesi. [Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi].
- Abbak, R. A., (2020). Hata Kuramı ve Parametre Kestirimi, Atlas Akademi Yayınları, Genişletilmiş 2. Baskı, Konya.
- Abbak, R. A., (2021). Fiziksel Jeodezi Teori ve Uygulama, Atlas Akademi Yayınları, Genişletilmiş 4. Baskı, Konya.
- Bildirici, İ. Ö., & Abbak, R. A. (2020). Türkiye ve çevresinde SRTM sayısal yükseklik modelinin doğruluğu. *Geomatik*, 5(1), 1-9. <https://doi.org/10.29128/geomatik.551071>
- Bildirici, İ. Ö., Üstün, A., Uluğtekin, N., Selvi, H. Z., Abbak, R. A., Buğdaycı, İ., & Doğru, Ö. (2007). SRTM Verilerine Dayalı Ülke Bazında 3"x3" Çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması. *Türkiye Ulusal*

- Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Sempozyumu, 5-7 Haziran 2007.
- Demir, S., Abbak, R. A., & İl, H. T. A. (2018). Global Yerpotansiyel Modellerin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Katkısı. *Geomatik*, 3(3), 213-224. <https://doi.org/10.29128/geomatik.403776>
- Ellmann, A., & Vaníček, P. (2007). UNB application of Stokes-Helmert's approach to geoid computation. *Journal of Geodynamics*, 43(2), 200-213. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2006.09.019>
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., ... & Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2), 1-33. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Foroughi, I. (2009). SHGEO Software package I-II, University of New Brunswick Department of Geodesy and Geomatics Engineering.
- Foroughi, I. (2018). Accuracy of the classical height system. [Doctoral Thesis, The University of New Brunswick].
- Gauss, C. F. (1828). Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona, Göttingen
- Guo, D., He, H., & Sang, P. (2019). Precise geoid computation using Stokes-Helmert's scheme and strict integrals of topographic effects. *Geodesy and Geodynamics*, 10(4), 290-296. <https://doi.org/10.1016/j.jgeog.2019.04.005>
- Heiskanen, W. A. & Moritz, H., (1967). *Physical Geodesy*. W.H. Freeman and Co., San Francisco and London.
- İl, H. T. A., Abbak, R. A., Bildirici, I. Ö., & Demir, S. (2018). SRTM1 ve ASTER Sayısal Yükseklik Modellerinin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Katkısı. *Geomatik*, 3(3), 203-212. <https://doi.org/10.29128/geomatik.402331>
- Janák, J., Vaníček, P., Foroughi, I., Kingdon, R., Sheng, M. B., & Santos, M. C. (2017). Computation of precise geoid model of Auvergne using current UNB Stokes-Helmert's approach. *Contributions to Geophysics & Geodesy*, 47(3), 201-229. <https://doi.org/10.1515/congeo-2017-0011>
- Martinec, Z. (1994a). Direct topographical effect of Helmert's condensation for a spherical approximation of the geoid. *Manuscript Geodesy*, 19, 257-268.
- Martinec, Z., & Vaníček, P., (1994b). Indirect effect of topography in the Stokes-Helmert technique for a spherical approximation of the geoid. *Manuscript Geodesy*, 19, 417-421.
- Novak, P., (2000). Evaluation of Gravity Data for the Stokes-Helmert Solution to the Geodetic Boundary-Value Problem. Technical Report, no. 207, UNB, Fredericton.
- Sheng, M. B., Shaw, C., Vaníček, P., Kingdon, R. W., Santos, M., & Foroughi, I. (2019). Formulation and validation of a global laterally varying topographical density model. *Tectonophysics*, 762, 45-60. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.04.005>
- Sjöberg, L. E. (2005). A discussion on the approximations made in the practical implementation of the remove-compute-restore technique in regional geoid modelling. *Journal of Geodesy*, 78, 645-653. <https://doi.org/10.1007/s00190-004-0430-1>
- Tenzer, R., Novák, P., Janák, J., Huang, J., Najafi, M., Vajda, P., & Santos, M. (2003). A review of the UNB approach for precise geoid determination based on the Stokes-Helmert method. Honoring the academic life of Petr Vanicek. *Rep*, 218, 132-178.
- Vajda, P., Foroughi, I., Vaníček, P., Kingdon, R., Santos, M., Sheng, M., & Goli, M. (2020). Topographic gravimetric effects in earth sciences: Review of origin, significance and implications. *Earth-Science Reviews*, 211, 103428. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103428>
- Vanicek, P. (1987). The Canadian geoid-stokesian approach. *Manuscript Geodaet.*, 12, 86-98.
- Vaníček, P., Kingdon, R., Kuhn, M., Ellmann, A., Featherstone, W. E., Santos, M. C., ... & Avalos-Naranjo, D. (2013). Testing Stokes-Helmert geoid model computation on a synthetic gravity field: experiences and shortcomings. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 57, 369-400. <https://doi.org/10.1007/s11200-012-0270-z>
- Yilmaz, N. (2023). Assessment of latest global gravity field models by GNSS/Levelling Geoid. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 111-118. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1070042>



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



Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



Farklı makine öğrenmesi yaklaşımları ile Türkiye'nin solar radyasyon tahmini

Taha Demirgöl ^{*1}, Vahdettin Demir ¹, Mehmet Faik Sevimli ¹

¹ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, demirgultaha@gmail.com; vahdettin.demir@karatay.edu.tr; mehmet.faik.sevimli@karatay.edu.tr

Kaynak Göster: Demirgöl, T., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2024). Farklı makine öğrenmesi yaklaşımları ile Türkiye'nin solar radyasyon tahmini. Geomatik, 9 (1), 106-122

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1374383>

Anahtar Kelimeler

Solar Radyasyon
HELIOSAT
Makine Öğrenmesi
3600 Grid
Türkiye

Araştırma Makalesi

Geliş: 11.10.2023
Revize: 16.11.2023
Kabul: 20.11.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

Solar radyasyon (SR), enerji dönüşümü, yeşil bina konsepti, meteoroloji, küresel iklim değişikliği, tarım ve hayvancılık ile ilgili çalışmalar için önemli bir parametredir. Solar radyasyonun belirlenebilmesi için gereken alıcıların tüm noktalar için temin edilememesinden dolayı bu parametrenin çeşitli yöntemlerle tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin 3600 grid noktasının 2004-2021 yıllarına ait yıllık ortalama solar radyasyon değerleri ($kWsa/m^2$) kullanılarak ülke çapında farklı test noktaları için solar radyasyon tahmini gerçekleştirilmiştir. Solar radyasyon değerleri, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (MARS) ve en küçük kareler destek vektör regresyonu (LSSVR) olmak üzere 2 farklı makine öğrenmesi tekniği kullanılarak MATLAB platformunda tahmin edilmiştir. Solar radyasyon haritaları için ise ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon tekniği kullanılmıştır. Tahmin edilen veriler ArcMap ortamında haritalandırılmıştır. Solar radyasyon, komşu ölçüm grid noktalarına ait konum bilgileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Modellerde kullanılan veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiş uydu tabanlı model olan heliospheric optical satellite model (HELIOSAT) verileridir. Farklı kombinasyonlar kullanılarak test noktalarından elde edilen SR tahminleri gözlenen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda, karekök ortalama karesel hata, ortalama mutlak hata, ortalama mutlak bağıl hata, Nash-Sutcliffe modeli verimlilik katsayısı ve determinasyon katsayısı yöntemleri kullanılmıştır. Tahmin edilen SR değerlerine ait gidiş, saçılma grafikleri, Taylor ve Violin diyagramları oluşturulmuştur. Ayrıca Kruskal-Wallis testi ile Wilcoxon testi uygulanmıştır. Makine öğrenmesi yöntemlerinden LSSVR çok başarılı tahmin sonuçları vermiştir. Böylece, makine öğrenme algoritmalarının literatürde yer alan kabul görmüş geleneksel yöntemlere göre daha kolay ve alternatif bir yöntem olabileceği gösterilmiştir.

Türkiye's solar radiation forecasting with different machine learning approaches

Keywords

Solar Radiation
HELIOSAT
Machine Learning
3600 Grid
Türkiye

Research Article

Received: 11.10.2023
Revised: 16.11.2023
Accepted: 20.11.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

SR is an important parameter for studies related to energy conversion, green building concept, meteorology, global climate change, agriculture and animal husbandry. Since the receivers required to determine solar radiation are not available for all points, this parameter needs to be estimated by various methods. In this study, the annual average solar radiation values (kWh/m^2) of Türkiye's 3600 grid points for the years 2004-2021 were used to estimate solar radiation for different test points across the country. SR values were estimated using two different machine learning techniques, namely MARS and LSSVR on MATLAB platform. Inverse distance weighting interpolation technique was used for solar radiation maps. The estimated data were mapped in ArcMap environment. SR was estimated using the location information of neighboring measurement grid points and the periodicity component of year values. The data used in the models are the data from HELIOSAT, obtained from the MGM. SR estimates obtained from the test points using different combinations were compared with the observed data. In these comparisons, root mean square error, mean absolute error, mean absolute relative error, Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient and coefficient of determination methods were used. Grid-based variation, scatter graphs, Taylor and Violin diagrams of the estimated SR values were created. In addition, Kruskal-Wallis test and Wilcoxon test were applied. LSSVR, one of the machine learning methods, gave very successful prediction results. Thus, it is shown that machine learning algorithms can be an easier and alternative method compared to the traditional methods accepted in the literature.

1. Giriş

Dünyamız için elzem bir enerji kaynağı olan güneş yüksek enerji potansiyeli olan çevreci bir enerji kaynağıdır (Kılıç ve Kumaş, 2019). Geçmişten günümüze kullanılmakta olan yersel ölçüm istasyonları Solar Radyasyon (SR) değerlerini ölçüm aletleri vasıtasıyla ölçmektedir. Fakat, bu aletlerin maddi ve insan gücü maliyetleri ve kalibrasyon ihtiyacı yüzünden global çapta çoğu bölgede ölçümü yapılamamaktadır. Solar (Güneş) enerji, gezegenimizde bulunan enerjinin büyük bir kısmının kaynağıdır ve günümüzde yaşanan fosil enerji kaynaklarına ulaşımın güçlüğü bazı faktörlerden ötürü arttığından yakın gelecekte, bilhassa da gelişmekte olan ülkelerde çok büyük bir önem kazanacağı beklenmektedir (Guermoui ve ark., 2020). Güneşten çıkıp atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşan SR, ulaştığı alanın iklim koşullarını etkiler. Yapılarda enerji sistemlerinin tasarımı, güneş enerjisi sistemlerinin kurulacağı alanın doğru tespiti ve yapılardaki ısı ve ışık miktarının belirlenebilmesi için SR bilgisine sahip olmak gerekmektedir. Bu amaç için en iyi veri kaynağı, yapılması planlanan güneş sisteminin lokasyonunda uzun dönem gözlenen verileridir. Ancak SR gözlem istasyonlarının yetersizliği, bu parametreyi elde etmekte güçlük çıkarmakta ve SR ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesi ihtiyacının her geçen gün önemini arttırmaktadır (Ahmad ve Tiwari, 2011). Güneşten yeryüzüne ulaşan elektromanyetik enerji olarak tanımlanabilen SR, günümüzde güneş ışınları ile doğrudan ya da dolaylı ilişkisi olan, başta güneş panelleri ile elektrik üretiminde kullanılan santrallerde, tarım ve hayvancılıkta, meteorolojik araştırmalarda, doğal aydınlatma sistemlerinde ve seralarda olmak üzere pek çok farklı alanda kullanılmaktadır (Jiang, 2009; Şeker, 2021). SR, tarımda bitkilerin gelişme aşaması, büyümesi ve biyokütle birikimi için referans terleme-buharlaşmanın hesaplanmasında önemli bir etken olup (Çitakoğlu, 2015), günümüzde iklim değişimi ile ilgili olası senaryoların incelenmesinde SR verileri kullanılmaktadır (Bora ve ark., 2015). Güneş enerjisi santrallerinin tasarım aşamasında SR değerlerinin bilinmesi elzemdir (Çitakoğlu ve Demir, 2021). Bu nedenle SR'nin alternatif yöntemlerle tahmin edilebilmesi, güneş enerjisi santrallerinin tasarlanma ve geliştirilme aşamaları için büyük bir öneme sahiptir. Yapılarda ısınma veya soğutma, atmosferik enerji dengesi çalışmaları doğal veya yapay yollarla biriken temiz su kaynaklarının buharlaşma seviyesinin dengede tutulması ve meteorolojik tahminler gibi pek çok konuda SR değerlerinin bilinmesi gerekmektedir (Özgören ve ark., 2012). Çalışılacak olan coğrafi bölgelerde solar radyasyon değerlerinin doğru tahmin edilmesi, birçok mühendislik, akademik, kamu kurumları ve özel sektör çalışmaları için oldukça önem arz etmektedir. Türkiye'nin yıllık ortalama SR verileri incelendiğinde 2005 yılındaki günlük ışınlam değeri 3,6 kWsa/m² olarak kaydedilmiş olup, toplam yıllık radyasyon dönemi yaklaşık 2610 saat olarak hesaplanmıştır (Sözen ve Arcaklioğlu, 2005). 2022 yılında ise T.C. Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı resmî web sitesinde yayınlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, günlük ışınlam değeri 4,2 kWsa/m² olarak gözlenmiş olup,

ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olarak hesaplanmıştır (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2023). Gözlem yapılan coğrafi bölgelerde ölçülen güneşlenme süresi, rüzgâr hızı, hava basıncı, nispi nem, buhar basıncı ve hava sıcaklığı gibi meteorolojik değerlerin SR'nin en doğru şekilde ölçülmesi için kullanılabilecek önemli parametreler olduğu belirtilmektedir (Kılıç ve Kumaş, 2019). Ancak SR'nin ölçülmesi yukarıda anlatılan sebeplerden ötürü zaman, insan gücü ve ekipman/bakım maliyetleri açısından çeşitli dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle, uydu tabanlı veya gözlem istasyonlarından elde edilen SR değerlerinden faydalanılarak tahmin yöntemlerinin geliştirilmesine ve test edilmesine olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır (Gül ve Çelik, 2017). SR, günümüzde başta mühendislik olmak üzere pek çok alanda yapılan bilimsel faaliyetler için ihtiyaç duyulan önemli bir değişken haline gelmiştir. Gözlenen verinin yetersizliğinden ötürü, bu gözlenen verilerden yola çıkarak SR gözlemi yapılamayan istasyonların verilerinin elde edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda SR tahmini için gözlem verileri referans alınarak çalışılan metotlar artmaktadır (Alizamir ve ark., 2020). SR değerleri nem, sıcaklık, rüzgâr hızı ve bulut örtüsü gibi günümüzde kolaylıkla elde edilebilen iklimsel değişkenler kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Günümüzde, SR değerlerini tahmin etmek için pek çok yöntem önerilmiştir. Bunlardan geleneksel olanları matematiksel denklemlerle elde edilen ampirik yöntemlerdir. Ampirik modellerin avantajlı yönü kolay hesaplanabilir olması ve SR değerlerini tahmin etmede faydalı bir yöntem olarak kabul görmüş olmasıdır. Ampirik yöntemlerin dezavantajlı yönü ise kısa dönem SR değerlerini tahmin ederken bulut örtüsü, nem miktarı, rüzgâr hızı ve yağışlı geçen süreler gibi hava koşullarındaki ani değişimler sebebiyle kısa dönem güneş radyasyonu verilerini isabetli bir şekilde tahmin edemiyor olmasıdır. Ayrıca, literatürde bazı araştırmacıların bu yöntemlerin, yağışlı günlerde yoğun bulutlardan SR'nin büyük ölçüde etkilendiğini, nem oranı yüksek bölgelerde hem bağımlı hem de bağımsız parametreler arasındaki karmaşık ve nonlineer ilişkileri aktaramadıklarını belirtmişlerdir (Ağbulut, ve ark., 2021). Bu sebeplerden ötürü meteorolojik değişkenler yerine coğrafi değişkenlerle yapılan tahminler (enlem, boylam, periyodiklik ve yükseklik gibi) daha kolay ve ucuzdur. Günümüzde ampirik modellere alternatif olan makine öğrenimi modelleri gibi modeller isabetli sonuçlar vermesi sebebinden ötürü SR tahminleri için alternatif bir yol olarak görülmektedir. Literatürde yaygın olarak tercih edilen yöntemler yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulamalarıdır. Çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları arasında, çevre dostu ve yüksek potansiyel barındıran güneş enerjisi, endüstriyel, kentsel ve tarımsal üretim için umut verici bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir.

3600 grid noktasıyla yapılan akademik çalışmalar için Google Akademik, TRDizin, Web of Science, Scopus ve Ulusal Tez Merkezi de dahil olmak üzere literatür taraması yapılmış fakat bir çalışma bulunamamıştır. Bu makalenin özgünlüğü 3600 grid noktası ile tahmin yapılmış olmasıdır. SR tahmini ile ilgili yapılan bazı önemli çalışmalar incelendiğinde, Bhardwaj ve ark.

(2013), SR tahmini için gizli markov modeli ve genelleştirilmiş bulanık modelin bir kombinasyonunu kullanarak şekil tabanlı kümeleme modelini kullandıkları görülmektedir. Araştırmacılar, 6 giriş (ortam sıcaklığı, nispi nem, atmosfer basıncı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, güneş spektrumu) ve 1 çıkış (SR tahmini) kullanmışlardır. Çalışma sonucunda kullanılan modelin başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Wang ve ark. (2017), Çin'deki 21 değişik bölge için günlük küresel SR tahmininde grid bölmeli adaptive-network based fuzzy inference systems (ANFIS)-SC, ANFIS-GP ve M5-Tree yöntemlerini çalışmışlar ve 7 giriş (nispi nem, güneşlenme süresi, ortalama sıcaklık, hava basıncı, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık ve su buharı basıncı) 1 çıkış (SR tahmini) belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda üç farklı model içinde en iyi sonucu M5-Tree yönteminin verdiğini ve en başarılı sonucu veren bölgenin ortalama mutlak hata (OMH) değerinin 2,1 (MJ/m²gün), karekök ortalama karesel hata (KOKH) değerinin 2,79 (MJ/m²) ve determinasyon katsayısının (R²) 0,85 olduğunu, en başarısız sonuç veren istasyonun ise OMH değerinin 2,95 (MJ/m²gün), KOKH değerinin 3,87 (MJ/m²) ve R²'nin 0,74 olduğu görülmektedir. Cornejo ve ark. (2019), İspanya'nın Toledo şehri için 1 yıllık saatlik SR değerleriyle destek vektör regresyonu (SVR), aşırı öğrenme makineleri (ELM), gauss süreç regresyonu (GPR) ve çok katmanlı algılayıcı (MLP) son teknoloji makine öğrenmesi yöntemleriyle yapmış oldukları çalışmada farklı makine öğrenmesi regresyon tekniklerinin başarı seviyelerini analiz etmişler ve kıyaslanan yöntemlerden en iyi sonucu ELM'nin verdiğini tespit etmişlerdir. Demirgöl ve ark. (2023) yapmış oldukları çalışmada Türkiye'nin aylık ortalama SR değerlerini (kWs/m²), M5 model ağacı (M5-tree), sezgisel regresyon tekniği kullanarak yapmış oldukları SR modellemesinde komşu ölçüm istasyonlarına ait konum bilgileri ve periyodiklik bileşeni olan ay değerlerini kullanarak tahminler gerçekleştirmişlerdir. Modellerde için MGM'den temin edilen uydu tabanlı hibrit bir model olan HELIOSAT model verilerinin 2004-2018 yıllarını kapsayan uzun dönem aylık ortalama SR verilerini kullanan araştırmacılar çalışmalarında Türkiye'nin 81 iline ait ölçüm ortalamalarını kullanmıştır. 81 noktadan alınan 12 aylık verilerin %75'i eğitim sürecinde kullanılırken %25'i test sürecinde kullanan araştırmacılar rastgele seçilen test istasyonlarından elde edilen solar radyasyon tahminleri gözlenen verilerle karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma kriteri olarak KOKH, OMH, Ortalama Mutlak Bağlı Hata (OMBH) ve R² kullanılmışlardır. Güzel ve ark. (2023), Türkiye'nin Isparta ili için MGM'den temin ettikleri meteorolojik verileri kullanarak SR tahmini yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada rastgele orman, k-en yakın komşu (k-nearest neighbor (k-NN)), yapay sinir ağları ve derin öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. Ele ettikleri sonuçlar içinde en iyi sonuçları yapay sinir ağları ve derin öğrenme yöntemlerinin verdiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den temin edilmiş olan 2004-2021 yılları arasını kapsayan, heliospheric optical satellite (HELIOSAT) modeli ile işlenen, 3600 grid noktasına ait uydu verileri kullanılarak Türkiye'de çeşitli veri paketleri için SR

değerlerinin tahmin edilmesi üzerinedir. Çalışmada, solar radyasyon değerlerinin tahmin edilmesi için 2004-2021 yılları arasındaki 3600 grid noktasına ait veriler 2 farklı makine öğrenmesi yönteminde uygulanmıştır. SR değerlerinin tahmin edilmesi için kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (MARS) ve en küçük kareler destek vektör regresyonu (LSSVR)'dur. Karşılaştırma ve hata kriteri olarak ise literatürde tahmin konulu çalışmalarda çokça tercih edilen kriterlerden KOKH, OMH, OMBH, R² ve Nash-Sutcliffe eşitliği (NSE) kullanılmıştır. SR haritaları için ise ters mesafe ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın hedefi ise MGM'den temin edilen veri setlerinin Türkiye'nin uzun dönem yıllık ortalama SR değerlerini makine öğrenmesi yöntemlerinin eğitilmesi ve test edilmesi için kullanarak, kullanılacak yöntemlerin avantajlı ve dezavantajlı yönlerinin ortaya konulması, geçmiş (eksik verilerin tamamlanması) yıllar için SR değerlerinin tahmin edilmesidir. Türkiye'nin 3600 grid noktasına ait uzun dönem yıllık ortalama solar radyasyon değerlerinin çeşitli kombinasyonları kullanılarak elde edilen tahmin değerleri beş farklı karşılaştırma ve hata kriteri ile değerlendirilmiş ve bu tahminler kullanılarak IDW enterpolasyon yöntemi ile ArcMap platformunda Türkiye'nin SR haritaları oluşturulmuştur. İki farklı makine öğrenmesi yöntemi ile elde edilen en iyi paketleri ve bu paketlere ait KOKH değerleri ile detaylı KOKH haritaları oluşturulmuştur. KOKH haritaları ile hataların dağılımı incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bu sayede yakın geleceğimiz için hayati risk oluşturabilecek kuraklık, su kıtlığı gibi doğal afetler için önceden tedbir alınabilmesinde ve yenilenebilir enerjilerin başında gelen güneş enerjisi santralleri için en verimli bölgelerin belirlenebilmesinde fikir oluşturması hedeflenmektedir. Böylece, makine öğrenme algoritmalarının literatürde yer alan kabul görmüş geleneksel yöntemlere göre daha kolay ve alternatif bir yöntem olabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışmada, makine öğrenmesi yöntemleri ile modellerin etkisinin araştırılması için elde edilen sonuçların grafiksel karşılaştırma (Taylor, Violin diyagramları, gidiş ve saçılma grafikleri) yoluyla değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca Kruskal-Wallis ve Wilcoxon testleri yapılmıştır. Çalışmanın hedefleri detaylandırılacak olursa; temin edilen 3600 grid noktasına ait verilerin eğitim ve test grubu olarak sınıflandırılma işlemi için uygun formata dönüştürülmesi sağlanmıştır. Gruplandırma için MGM'den temin edilen 3600 grid noktasına ait SR değerleri %75 eğitim (2700 grid) %25 test (900 grid) olacak şekilde 4 farklı veri paketi (M1, M2, M3 ve M4) oluşturulmuştur. Makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması yapılarak avantaj veya dezavantajları incelenmiştir. Farklı şekilde ölçülmüş veri paketlerine ait modellerin karşılaştırması yapılarak hangi parametrelerin ve hangi yöntemin daha başarılı olduğu incelenmiştir. Son olarak elde edilen bulguların tartışılması avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumların belirlenmesi ve yorumlanması ile konumsal olarak SR değerlerinin nasıl değişebileceğinin makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tahmin edilmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Method

Bu çalışmada Türkiye'nin 3600 grid noktası için SR tahmini yapılacaktır. Bu bölümde çalışma alanı ve temin edilen verilere ait bilgiler, makine öğrenmesi yöntemleri ve enterpolasyon yöntemine ait bilgiler verilecektir.

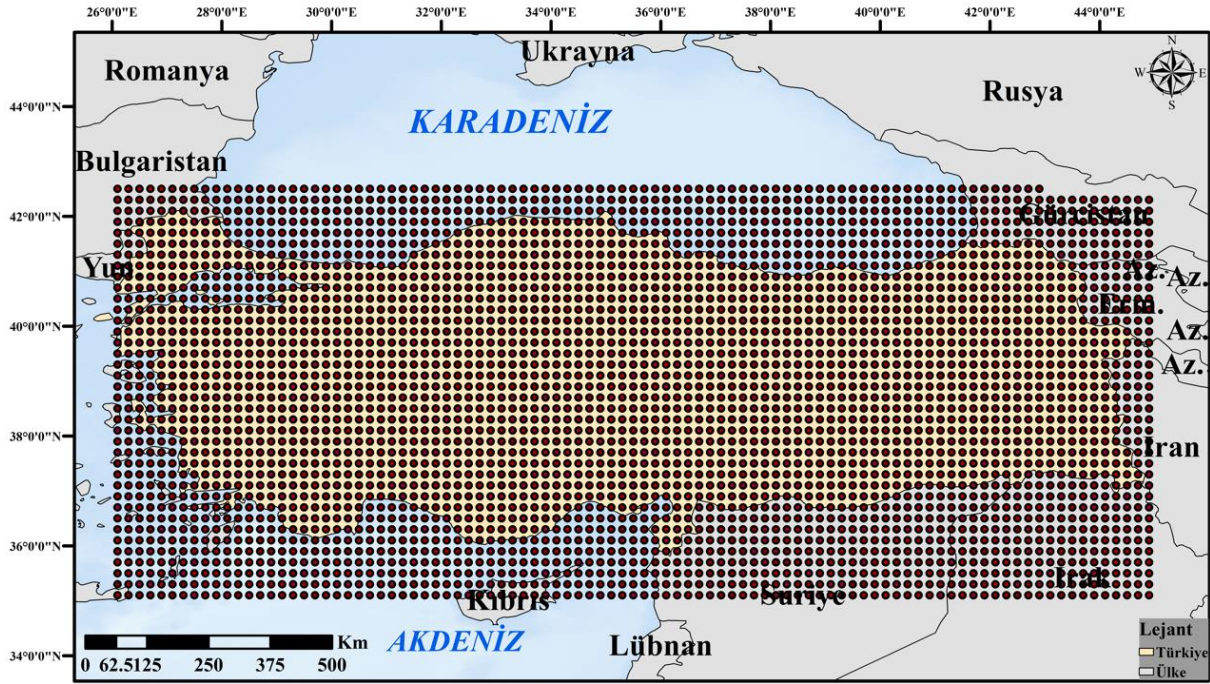
2.1. Çalışma Alanı

26°-45° doğu boylamları ve 36°-42° kuzey enlemleri arasında yer alan Türkiye, tipik Akdeniz iklimine sahip olmasından dolayı her mevsim güneş alan ve güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olan bir ülkedir (Sözen ve Arcaklıoğlu, 2005). Çalışma alanı olan

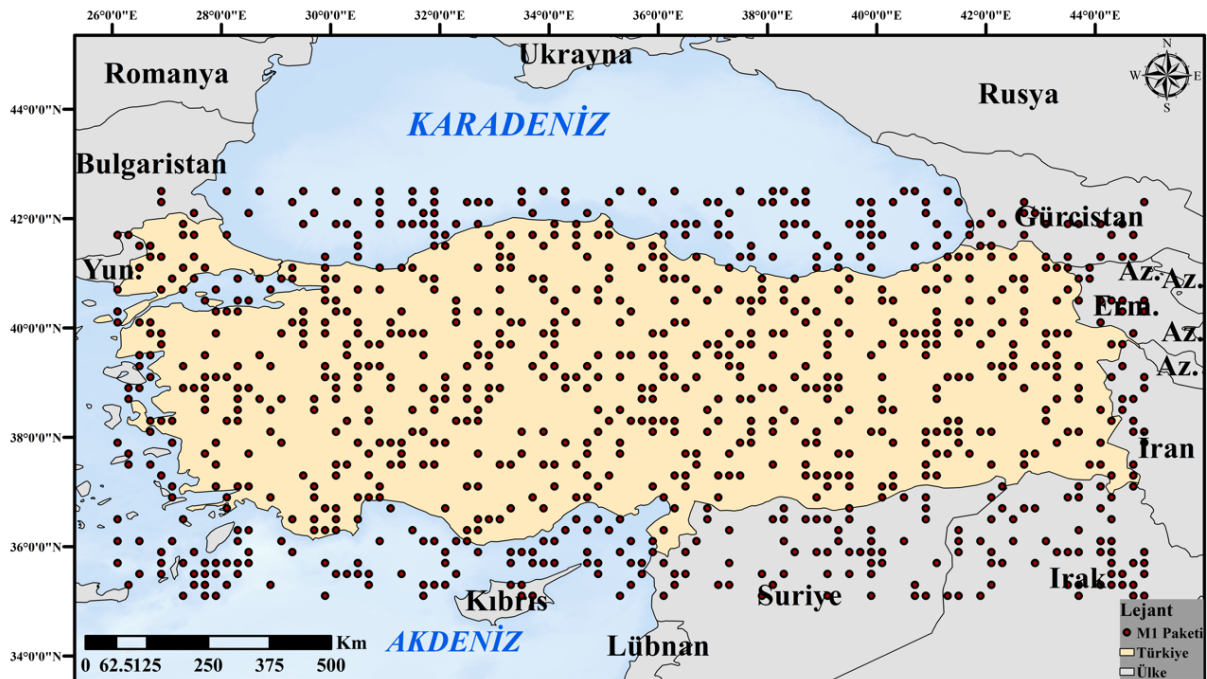
Türkiye'de yer alan 3600 grid noktasına ait noktasal konumlar Şekil 1'de verilmiştir. Bu grid noktalarına ait ortalama yıllık SR verileri MGM'den temin edilmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022).

Şekil 1'de görülen çalışma alanı 0,2°x0,2° çözünürlükte 3600 gridden (ızgara) oluşmaktadır. Çalışmada 3600 grid noktasının 900 gridden oluşan ve rastgele seçilerek hazırlanan M1, M2, M3 ve M4 test modellerine ait haritalar Şekil 2-5'te verilmiştir.

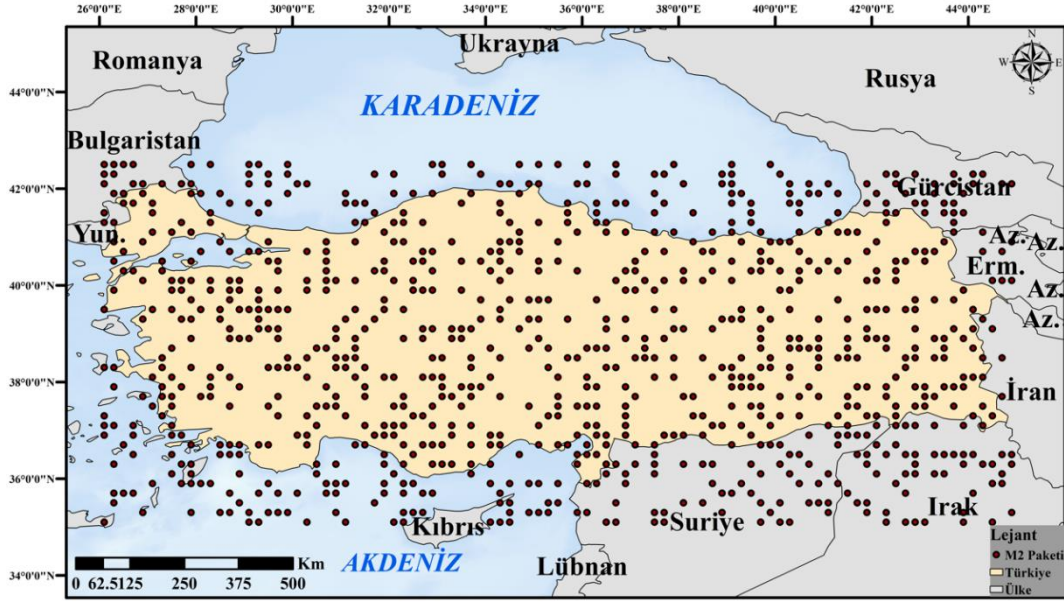
Şekil 2-5'te M1, M2, M3 ve M4 paketlerine ait gridlerin konumlarının gösterildiği haritalar görülmektedir. Gridler rastgele seçilerek hazırlanmıştır ve tüm paketlerin çalışma alanına homojen dağıldığı görülmektedir.



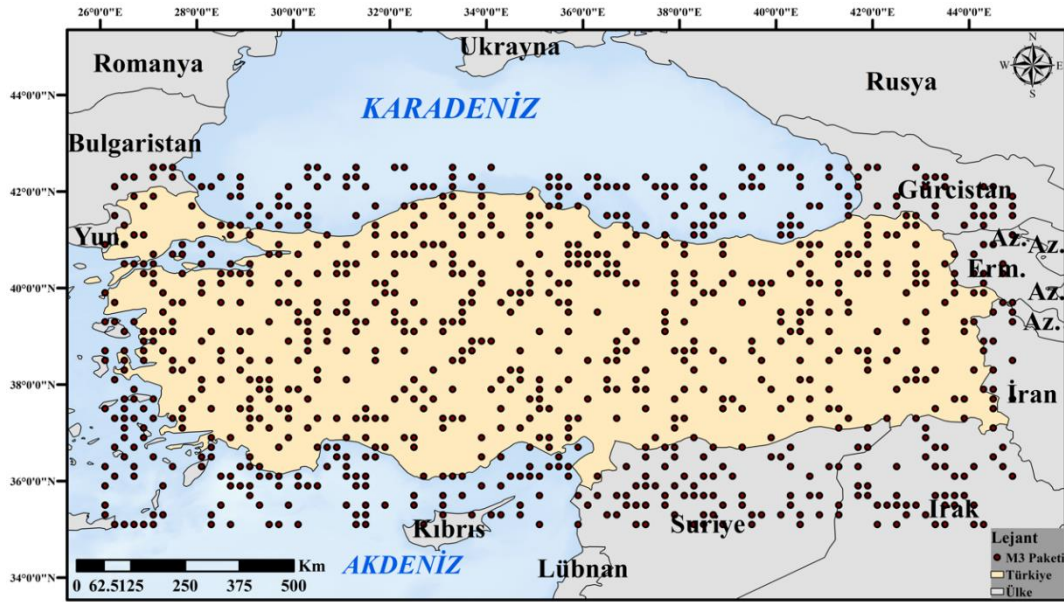
Şekil 1. Türkiye'nin 3600 grid noktasından oluşan çalışma alanı.



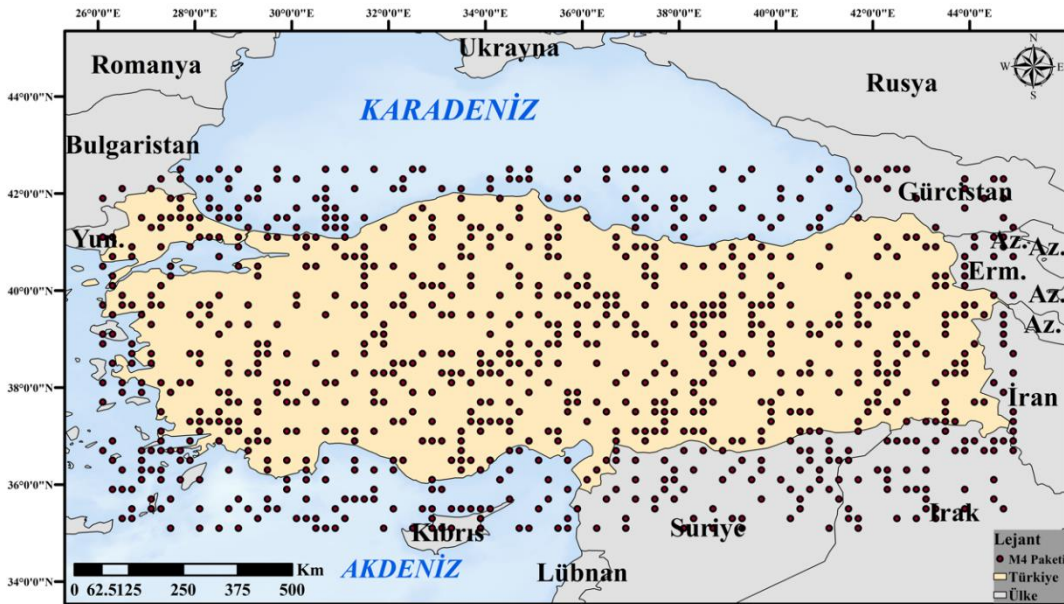
Şekil 2. Türkiye'nin M1 modeline ait çalışma alanı.



Şekil 3. Türkiye'nin M2 modeline ait çalışma alanı.



Şekil 4. Türkiye'nin M3 modeline ait çalışma alanı.



Şekil 5. Türkiye'nin M4 modeline ait çalışma alanı.

2.2. Veri

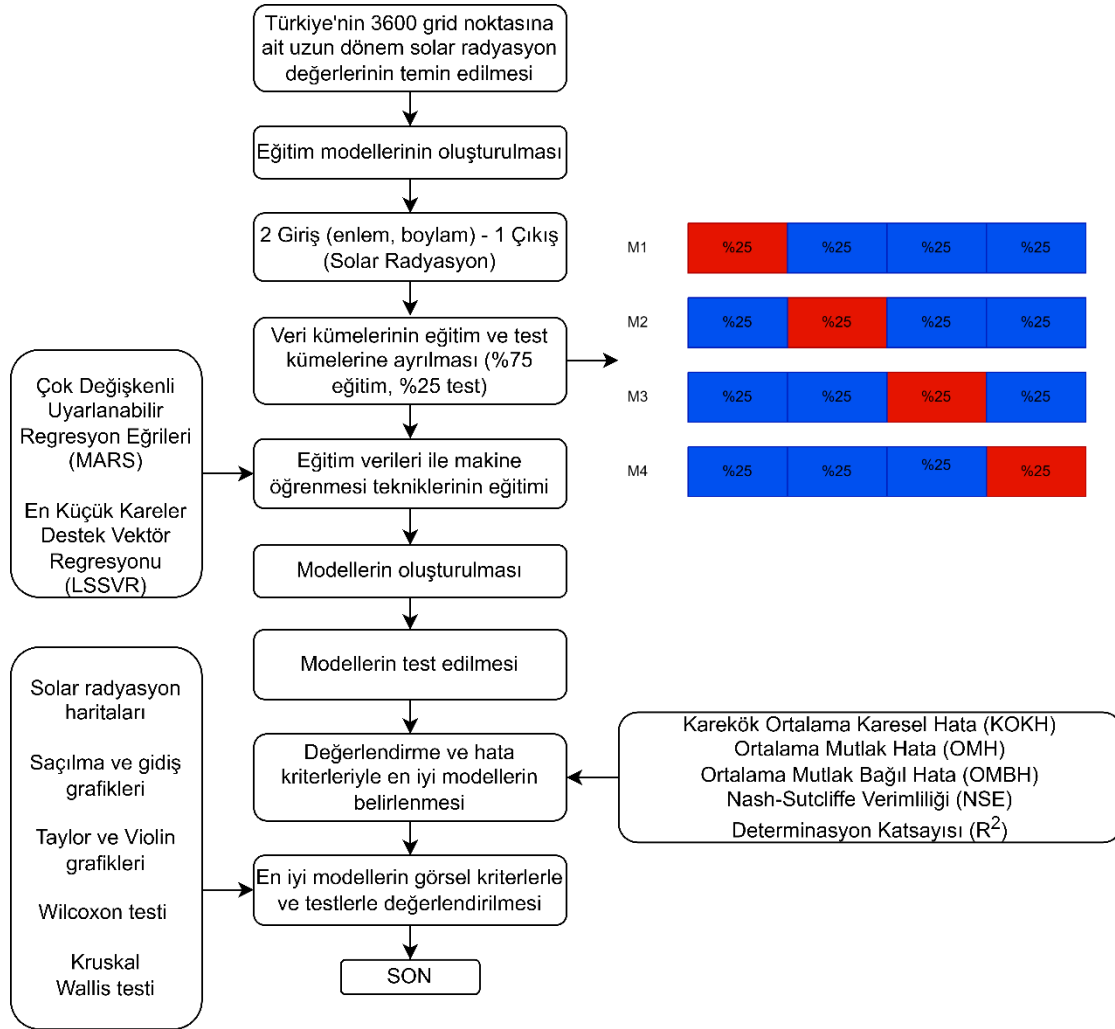
Bu çalışmada enlem ve boylam parametrelerinin tercih edilmesinin sebebi sadece coğrafi parametreler ile yapılan tahmin çalışmalarının başarılı olup olmayacağını görmek ve literatüre bu parametrelerle yapılan SR tahmin sonuçları kazandırılarak katkıda bulunmak istenmesidir. Çalışmada kullanılacak olan verilere ait tanımlayıcı istatistik bilgileri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde standart hata değeri incelendiğinde 3600 grid noktasına ait değerlerin ana kütleyle yakın olduğu görülmektedir. Standart sapma ve standart hata değerleri incelendiğinde 3600 grid noktasına ait değerlerin iyi olduğu görülmektedir. 3600 grid noktasına ait veri setinde çarpıklık katsayısı $-1 < -0.0028 < +1$ aralığında olduğu için normal dağılımdan sapmadığı ve sola çarpık olduğu görülmektedir. Basıklık katsayısı sıfırdan küçük olduğu için yassı basık olduğu görülmektedir. Ancak 3600 grid sayısına ait veri setinin

basıklık katsayısı sıfıra çok yakın olduğu için kusursuz eğriye çok yakındır. Genel olarak basıklık ve çarpıklık olmadığı görülmektedir. Çalışmaya ait iş akış şeması Şekil 6’da verilmiştir.

Tablo 1. 3600 gride noktasına ait 2004-2021 uzun dönem yıllık ortalama solar radyasyon değerlerinin ($kWsa/m^2$) tanımlayıcı istatistik bilgileri.

Parametre	Değer
Ortalama	4.5459
Standart Hata	0.0075
Ortanca	4.5673
Standart Sapma	0.4470
Basıklık	-0.496
Çarpıklık	-0.003
Varyans	0.1998
En büyük	5.6422
En küçük	3.2977
Veri sayısı	3600



Şekil 6. İş akış şeması.

2.3. Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (MARS) yöntemi

Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (multivariate adaptive regression splines) (MARS) yöntemi 1991 yılında Jerome Friedman tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemin amacı bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkene olan etkisini

çözümlemekte kullanılmaktadır (Friedman, 1991). Bu yöntemi kullanabilmek için isminden de anlaşılacağı üzere birden fazla değişken olması gerekir. Bu yöntemin çalışma prensibi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında regresyon analizi yaparak ortaya çıkan modeller arasından optimum modeli seçmek üzerinedir (Yüksel, 2016). Bu yöntem neticesinde elde edilen eşitlikler doğrusal regresyon olmadığı için bağımlı ve

bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin daha doğru tespit edilebilmesi için düzleştirme eğrileri kullanılmaktadır (Yüksel, 2016). MARS, sürekli doğrusal olmayan (sezgisel) sayısal çıktıları tahmin etmek için kullanılan bir sezgisel regresyon modelidir. MARS algoritmasının iki unsuru vardır: ileri ve geri adımlar. İleri adım yöntemi, ilgili girdi değişkenlerinin bir koleksiyonunu seçmek için kullanılır (De Andrés ve ark., 2011). Geri adım yöntemini kullanarak önceden seçilmiş koleksiyondaki gereksiz değişkenleri kaldırır. Aşağıdaki temel denklem, X değişkeninden (giriş) Y değişkenine (çıkış) bir fonksiyon çizmek için kullanılır. Yeni Y değerleri, giriş aralığındaki sapma noktasında tanımlanan iki temel fonksiyon veya her iki değişken değeri kullanılarak elde edilir (Sharda ve ark., 2006). MARS modelinin formülasyonu Eşitlik 1’de verilmiştir (Demir ve Yaseen, 2023).

$$Y = B_0 + \sum_{n=2}^k a_n B_n(X_i) + \varepsilon \quad (1)$$

Bu formülde bağımlı değişken Y ile ifade edilmektedir. B_0 model sabit terimini, k temel fonksiyon adedini, a_n n’inci temel fonksiyonun katsayısını, $B_n(X_i)$ t’inci bağımsız değişken için n’inci temel fonksiyonu, X bağımsız değişkeni ve ε hata terimini göstermektedir (Friedman, 1991).

2.4. En küçük kareler destek vektör regresyonu (LSSVR) yöntemi

1995 yılında Vladimir Vapnik ve arkadaşları, AT&T Bell Laboratuvarlarında giriş parametreleri ile çıkış parametreleri arasındaki lineer olmayan ilintiyi minimum hatayla hesap etmek için tasarlanan en küçük kare destek vektör makine modellerini (LSSVR) geliştirdiler (Cortes ve Vapnik, 1995; Suykens, 2001; Smola ve Schölkopf, 2004). LSSVR, SVR’den (destek vektör regresyonu) türetilen, gerçek hayatta karşılaşılan problemleri regresyon, fonksiyon tahmini ve sınıflandırma kombinasyonu ile çözmek için uygulanabilecek mükemmel uygunlukta bir yöntemdir. 1999 yılında Suykens ve Vandewalle tarafından LSSVR modeli projelendirilerek (Suykens ve Vandewalle, 1999), karmaşık zaman serisi tahminine uygulandı. LSSVR ve SVR arasındaki temel fark, denklemlerin dikkate alınmasıdır; eğitim aşamasında, LSSVR doğrusal denklemler kullanırken, SVR ikinci dereceden optimizasyonda kullanır. Geri yayımlı sinir ağları (BPNN), kısmi en küçük kare regresyon (PLS) ve çok değişkenli doğrusal regresyon (MLR) gibi diğer geleneksel modeller, LSSVR’den hesaplama açısından daha kapsamlıdır. Dolayısıyla bu modeli uygulamak diğerlerine göre daha kolaydır. Mevcut zaman serisindeki veriyi önceki zaman serilerindeki verilerle istatistiksel olarak karşılaştırarak giriş (X) ve çıkış (Y) arasındaki en iyi işlevi bulmak için kullanılır (Yaseen ve ark., 2016). Bu prosedürü, çok boyutlu bir özellik uzayı ve doğrusal olmayan bir ilişki fonksiyonu kullanarak gerçekleştirir. Regresyon fonksiyonu Eşitlik 2 ile ifade edilebilir (Demir ve Yaseen, 2023).

$$q(p) = \text{sign}[w^T p + b] \quad (2)$$

İki sınıfın verileri ayrılabilir olduğunda, Eşitlik 3’teki gibi ifade edilebilir.

Girdi verileri $p_k \in R_n$ ve çıktı verileri $q_k \in R$ olan belirli bir eğitim kümesi düşünülmelidir. R sınıf etiketleri $q_k \in \{-1, +1\}$ ve doğrusal sınıflandırıcı ile Eşitlik 2’teki gibi elde edilmektedir.

$$\begin{cases} w^T p_k + b \geq +1, & \text{eğer } q_k = +1 \\ w^T p_k + b \leq -1, & \text{eğer } q_k = -1 \end{cases} \quad (3)$$

2.5. IDW Enterpolasyon Yöntemi

Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) Metodu, en çok tercih edilen jeostatistik olmayan ve örnek noktalar tarafından örnekleme noktalara veri oluşturmak için kullanılan bir enterpolasyon metodudur. Yalnızca komşu noktalardan tahminler ürettiği için, yerel bir ara değer tahmini yapar (Yılmaz ve ark., 2023; Doğan ve ark., 2023). Bu verilerin oluşturulması, çeşitli noktalarla komşuluklar değerlendirilerek uygulanan enterpozisyonel mesafeye ve formüle bağlıdır (Taylan ve Damçayiri, 2016; Demirgöl ve ark., 2023). Yönteme ait genel Eşitlikler 4-5’de yer almaktadır.

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (4)$$

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}} \quad (5)$$

Burada; w_i ağırlıkları temsil eder ve değerlerinin toplamı Eşitlik 5’teki gibi olmalıdır. f_i bilinen yükseklik değerini temsil eder, p bir güç parametresi olarak alınır ve üs ile gösterilir, h_i örnek noktalar ile enterpolasyon noktaları arasındaki uzamsal mesafeyi temsil eder (Krige, 1951; Shepard, 1968).

3. Bulgular

Farklı veri setlerinin farklı kombinasyonlarının farklı yöntemlerin tahminlerinde çalışılmasıyla beraber ortaya çıkan tahminlerin birbirleriyle karşılaştırılması sonucunda avantaj ve dezavantajlı yönlerinin incelenmesi elzemdir. Bu çalışmada kriterleri belirlerken literatürde en yaygın kullanılan 5 kriter tercih edilmiştir. Hidrolojik ve meteorolojik tahminler değerlendirilirken gözlenmiş değer ile modelde tahmin edilen değer arasındaki hata ölçütlerinin kullanımına sıklıkla rastlanılmaktadır (Yaseen, 2021). Literatürde yaygın olarak kullanılan karşılaştırma kriterlerinden Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH), Ortalama Mutlak Bağıl Hata (OMBH), determinasyon katsayısı (R^2)’dir ve bu çalışmada da benzer karşılaştırma kriterleri kullanılmıştır.

Karşılaştırma kriterlerinin Eşitlik 6-9'da gösterilmektedir. Eşitlik 6-9'da kullanılan N veri sayısı, SR_p tahmin edilen solar radyasyon değeri, SR_o gözlenen solar radyasyon değeridir. Denklem 10'da ise G_i gözlenen verileri, M_i modelin tahmin ettiği verileri, \bar{G} gözlenen verilerin ortalamasını, n veri adedini göstermektedir. Değerlendirme kriterlerinin performans değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SR_p - SR_o)^2} \quad (6)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |SR_p - SR_o| \quad (7)$$

$$OMBH = \frac{1}{N} \left(\frac{\sum_{i=1}^N |SR_p - SR_o|}{SR_o} * 100 \right) \quad (8)$$

$$R^2 = \left(\frac{N * (\sum SR_o * SR_p) - (\sum SR_o) * (\sum SR_p)}{\sqrt{(N * \sum SR_o^2) - (\sum SR_o)^2} * \sqrt{(N * \sum SR_p^2) - (\sum SR_p)^2}} \right)^2 \quad (9)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \quad (10)$$

Tablo 2. Değerlendirme kriterleri performans değer aralıkları (Demirgöl, 2023).

Performans Kriteri	KOKH/OMH/OMBH	R ²	NSE
Mükemmel uyum	0	0.9 < R ² < 1	0.75 < NSE < 1
Çok iyi uyum	0 < KOKH < 0.05	0.75 < R ² < 0.9	0.65 < NSE < 0.75
İyi uyum	0.05 < KOKH < 0.1	0.5 < R ² < 0.75	0.5 < NSE < 0.65
Orta uyum	0.1 < KOKH < 0.2	0.25 < R ² < 0.5	0.25 < NSE < 0.5
Zayıf uyum	0.2 < KOKH < 0.5	0 < R ² < 0.25	0 < NSE < 0.25
Kabul edilemez uyum	KOKH > 0.5	0	0

Tablo 2'de verilen performans aralıklarından KOKH, OMH ve OMBH kriterleri tahmin değerlerimiz ile gözlenen değerlere yakınlığını belirlemek için kullandığımız kriterlerdir. Bu yüzden bu kriterler sıfıra ne kadar yaklaşırsa tahmin değerlerimiz ile gözlem değerlerimiz arasındaki fark o kadar azalmış olur. R² ve NSE için ise tam tersine veriler arasındaki uyum ne kadar fazlaysa 1 değerine o kadar yaklaştığı söylenebilir (Bayram ve Çitakoğlu, 2023). Bu çalışmada kullanılan veriler MGM'den temin edilen SR verileridir ve birimler kWsa/m² cinsindedir. Karşılaştırma kriterlerinden Karekök Ortalama Karesel Hata, Ortalama Mutlak Hata hata sonuçları olduğundan modeldeki hata sonuçlarının birimleri de aynı şekilde kWsa/m²'dir. Hata sonuçlarının yüksek olması modelin gerçek veriye göre uzakta yani kötü sonuç verdiğini gösterir. Düşük olması ise modelin gerçek veriye göre yakın, hatası düşük ve modelin uygun olduğunun göstergesidir. J. E. Nash ve J. V. Sutcliffe tarafından bulunan Nash-Sutcliffe verimliliği (NSE), oluşturulan modellerin tahmin yeteneğini test eden gösterge değerini verir (Nash ve Sutcliffe, 1970). NSE değeri -∞ ile 1 değerleri arasında değişebilir. Negatif bir değer aldığında modelin başarısız olduğu kabul edilir. 0 ile 1 arasındaki değerler kabul edilebilir değerlerdir. Eğer sonuç 1 veya 1'e çok yakın çıkarsa modelin tahmin ettiği değer ile gözlenen değer arasında çok iyi bir uyum olduğu anlaşılmaktadır (Aydın ve Düzen, 2011). Çalışmanın önemli noktalarından bir tanesi de eğitim ve test veri paketlerinin hazırlanması adıdır. Makine öğrenmesi ile tahmin çalışmalarında eğitilen veya test edilen verinin fazlalığı, homojenliği, eksiksizliği,

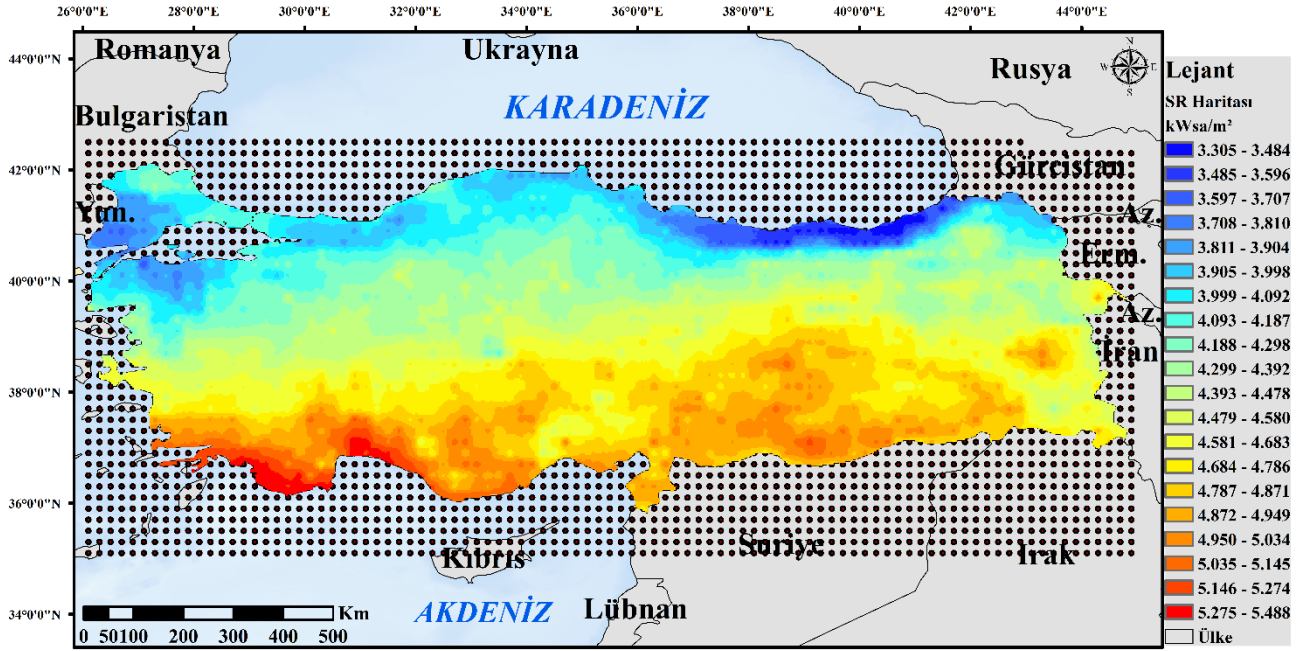
periyodikliği gibi etmenler doğrudan sonuca etki etmektedir (Alan ve Karabatak, 2020). Bu nedenle veri setlerinin/kombinasyonlarının hazırlanması son derece elzemdir. Bu çalışmada birçok farklı eğitim ve test veri paketi kullanılarak modellemeler gerçekleştirilmiştir.

3.1. 3600 Grid Noktası İçin Uzun Dönem SR Modelleme

MARS ve LSSVR makine öğrenmesi yöntemlerinde kullanılmak üzere 3600 grid noktasının 2004-2021 yıllarına ait yıllık ortalama SR değerleri %75 eğitim %25 test istasyonu olacak şekilde M1, M2, M3 ve M4 veri paketleri oluşturulmuştur. MGM'den elde edilen veri seti uzun dönem yıllık ortalama SR değerlerine ait olduğu için bu veri paketinde periyodiklik parametresi kullanılamamıştır. MGM tarafından HELIOSAT yöntemiyle elde edilen 2004-2021 uzun dönem yıllık ortalama solar radyasyon değerlerine ait SR haritası ise Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'de 3600 grid için 2004-2021 uzun dönem yıllık ortalama solar radyasyon değerleri ile IDW enterpolasyon tekniği kullanılarak hazırlanmış SR haritası görülmektedir. 3600 grid noktasına ait değerlerle oluşturulan veri paketlerine ait tanımlayıcı istatistik bilgileri Tablo 3'te verilmiştir.

2 giriş (enlem-boylam), 1 çıkış (SR tahmini) olacak şekilde iki farklı makine öğrenmesi yöntemi için modellemelerin yapıldığı toplamda 8 farklı model oluşturulmuş ve değerlendirme kriterleri Tablo 4-7'de verilmiştir.



Şekil 7. 3600 grid noktasının HELIOSAT yöntemiyle elde edilen değerlerine ait SR haritası.

Tablo 3. 3600 grid noktalarına ait tanımlayıcı istatistik bilgileri.

3600 Grid Noktası	M1	M2	M3	M4
Ortalama	4.5288	4.5541	4.5243	4.5762
Standart Hata	0.0149	0.0152	0.0149	0.0146
Ortanca	4.5190	4.6056	4.5181	4.6128
Standart Sapma	0.4459	0.4550	0.4459	0.4392
Basıklık	-0.5357	-0.4303	-0.4855	-0.4849
Çarpıklık	0.0420	-0.1171	0.1238	-0.0595
Varyans	0.1988	0.2070	0.1988	0.1929
En büyük	5.6422	5.6209	5.6001	5.6245
En küçük	3.2977	3.3030	3.3002	3.3726
Veri sayısı	900	900	900	900

Tablo 4. 3600 grid MARS eğitim modellerine ait değerlendirme kriterleri.

Değerlendirme Kriterleri	M1	M2	M3	M4
KOKH	0,1943	0,1921	0,1930	0,1952
OMH	0,1567	0,1546	0,1552	0,1579
OMBH	3,4680	3,4179	3,4324	3,5028
NSE	0,8113	0,8129	0,8137	0,8112
R ²	0,8113	0,8129	0,8137	0,8112

Tablo 5. 3600 grid MARS test modellerine ait değerlendirme kriterleri

Değerlendirme Kriterleri	M1	M2	M3	M4
KOKH	0,1922	0,1992	0,1960	0,1912
OMH	0,1554	0,1616	0,1577	0,1528
OMBH	3,4464	3,5979	3,5043	3,3445
NSE	0,8142	0,8085	0,8070	0,8104
R ²	0,8142	0,8095	0,8084	0,8128

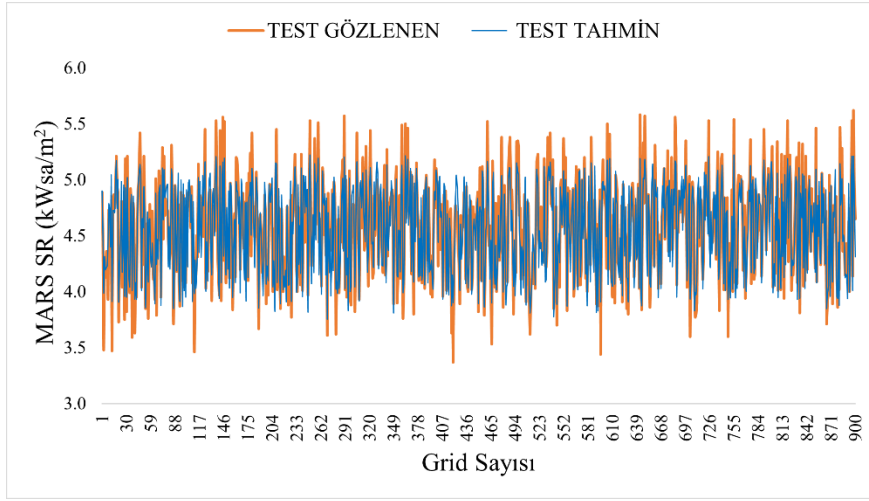
MARS makine öğrenmesi yöntemiyle MATLAB platformunda 2 giriş (enlem-boylam), 1 çıkış (SR değeri) olarak analiz edilen eğitim aşamasında en iyi sonucu M2 paketi verirken en kötü sonucu ise M4 veri paketinin verdiği görülmüştür. Ancak tüm veri paketleri birbirlerine çok yakın değerler verirken R² ve NSE kriterlerinin kötü olduğu görülmektedir.

MARS makine öğrenmesi yöntemiyle MATLAB platformunda 2 giriş (enlem-boylam), 1 çıkış (SR değeri) olarak analiz edilen test aşamasında en iyi sonucu M4 paketi verirken en kötü sonucu ise M2 paketinin verdiği görülmüştür. Ancak tüm veri paketlerinde R² ve NSE

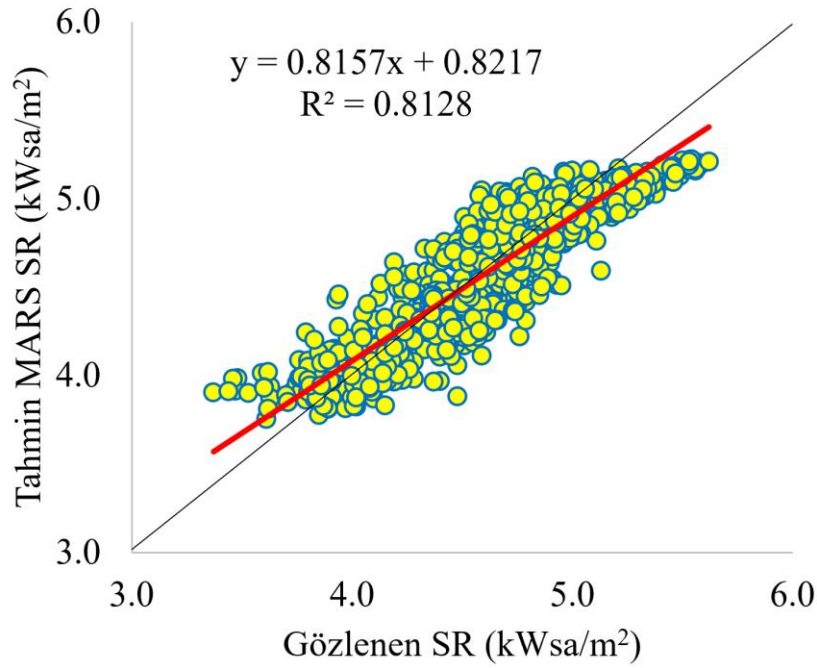
kriterlerinin kötü olduğu görülmektedir. 3600 grid noktası için MARS test modeline ait 900 grid noktası için gidiş ve saçılma grafiği Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

Şekil 8'de görüldüğü gibi model genel olarak gözlenen değerlere yakın değerler tahmin edememiştir.

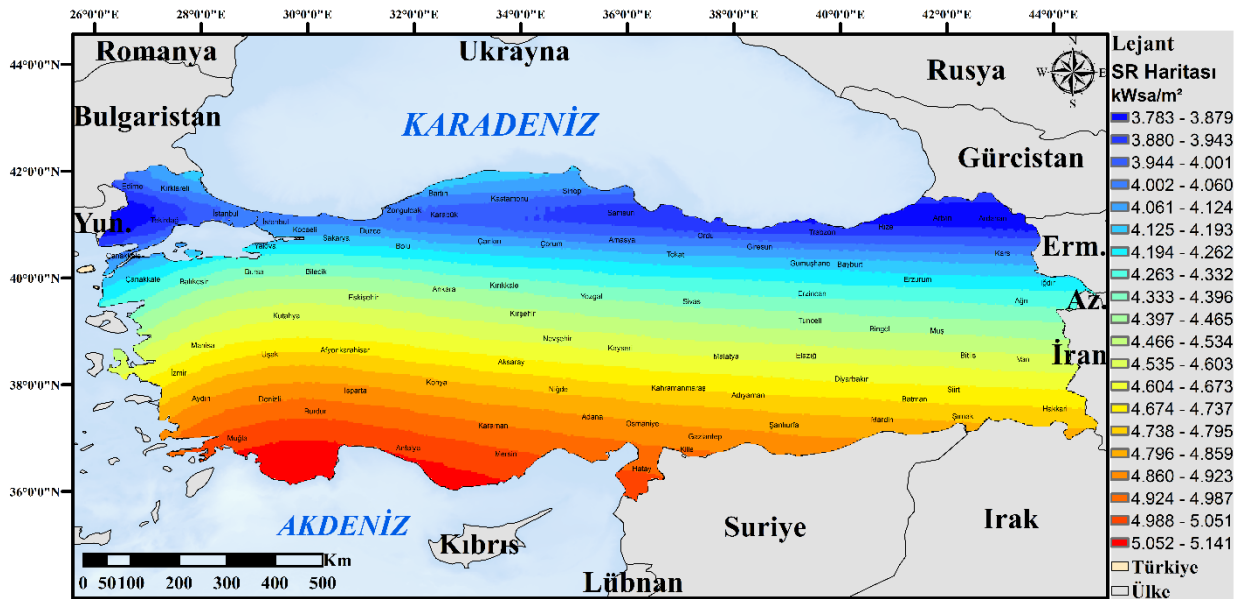
Şekil 9'da görüldüğü gibi model genel olarak doğrusal çizginin yakınında toplanmıştır. Ancak LSSVR yöntemine göre daha başarısız olduğu görülmektedir. MARS yöntemiyle en iyi sonucu veren M4 modelinin eğitim ve test tahmin değerleri ile ArcMap platformunda IDW enterpolasyon yöntemiyle hazırlanan SR haritası Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 8. 3600 grid M4 paketi MARS modeline ait gidiş grafiği.



Şekil 9. M4 paketi 900 grid noktasının MARS test modeline ait saçılma grafiği.

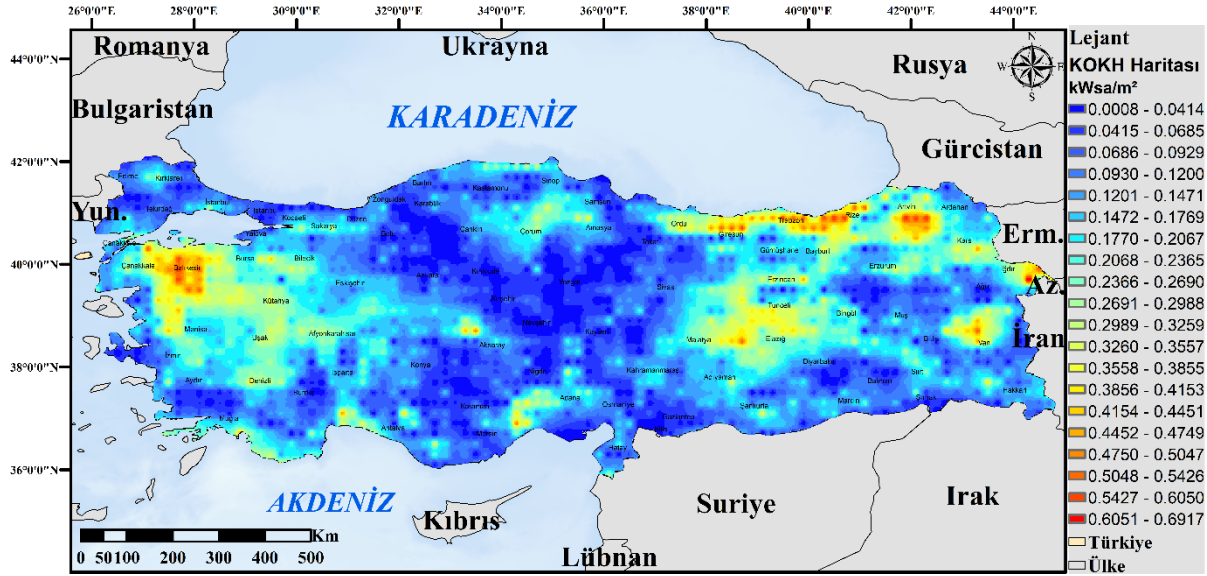


Şekil 10. 3600 grid M4 paketi MARS modeline ait SR haritası.

Şekil 10'da Türkiye'nin 3600 gridinin 2004-2021 uzun dönem yıllık ortalama SR değerlerinin M4 paketi ile eğitilen MARS yönteminin tahmin ettiği SR değerlerinin IDW enterpolasyon yöntemiyle ArcMap ortamında oluşturulmuş SR haritası görülmektedir. Haritanın Şekil 7'deki gözlem değerleri ile oluşturulmuş SR haritasına benzerlik gösterdiği ancak LSSVR kadar başarılı olamadığı ve çalışma alanında paraleller oluşturarak tahminlerde bulunduğu yani nispeten başarısız tahminler yaptığı görülmektedir. Bu başarı oranının daha net görülebilmesi için karekök ortalama karesel hata değerleri ile bir harita daha oluşturulmuştur. M4 paketi

MARS yöntemi ile tahmin edilen eğitim ve test verilerine ait KOKH haritası Şekil 11'de verilmiştir.

Şekil 11'de M4 paketi MARS yöntemi ile elde edilen SR tahmin değerlerinin gözlenen değerlerle KOKH değerlerine ait KOKH haritası verilmiştir. KOKH için başarı ölçütü sıfıra olan yakınlıdır. Harita incelendiğinde Türkiye'nin İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin genelinde homojen ve başarılı tahminler yapıldığı görülmektedir. Ancak MARS yönteminde KOKH değerlerinin yüksek olduğu noktaların bölgeler oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 11. 3600 grid M4 paketi MARS modeline ait KOKH haritası.

Tablo 6. 3600 grid LSSVR eğitim modellerine ait değerlendirme kriterleri.

Değerlendirme Kriterleri	M1	M2	M3	M4
KOKH	0,0794	0,1072	0,1091	0,1101
OMH	0,1420	0,0784	0,0801	0,0802
OMBH	1,7932	1,7705	1,8069	1,8165
NSE	0,9420	0,9417	0,9405	0,9400
R ²	0,9420	0,9417	0,9405	0,9400

Tablo 7. 3600 grid LSSVR test modellerine ait değerlendirme kriterleri.

Değerlendirme Kriterleri	M1	M2	M3	M4
KOKH	0,1137	0,1154	0,1096	0,1065
OMH	0,0821	0,0844	0,0815	0,0790
OMBH	1,8571	1,9100	1,8469	1,7668
NSE	0,9350	0,9357	0,9396	0,9411
R ²	0,9350	0,9359	0,9399	0,9414

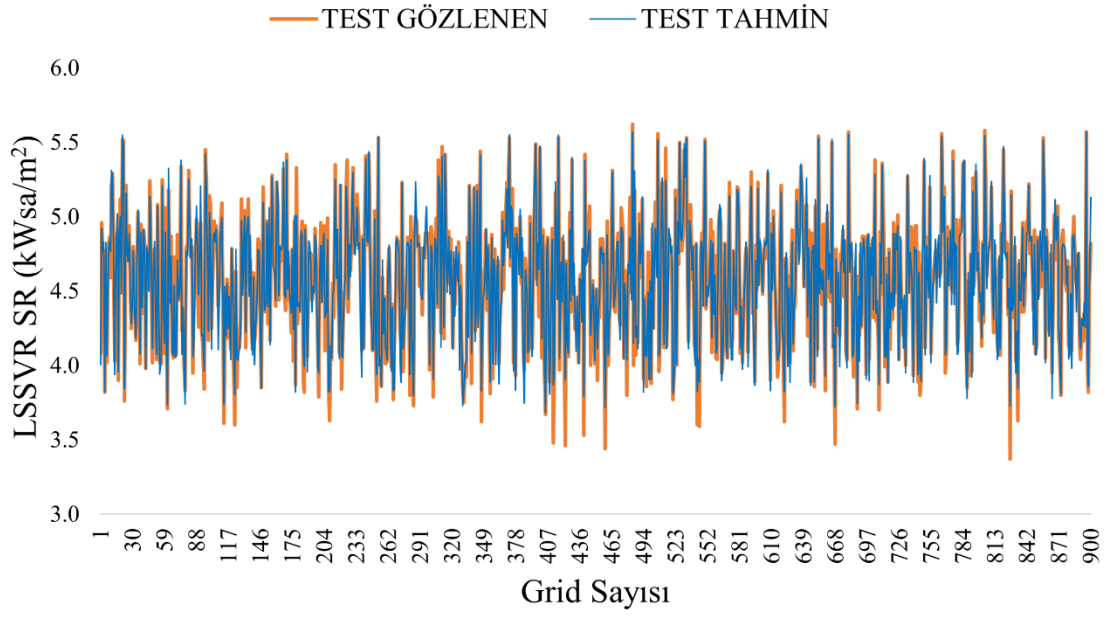
LSSVR makine öğrenmesi yöntemiyle MATLAB platformunda 2 giriş (enlem-boylam), 1 çıkış (SR değeri) olarak analiz edilen eğitim aşamasında en iyi sonucu M1 paketi, en kötü sonucu ise M4 veri paketinin verdiği gözlenmiştir. Ancak tüm veri paketlerinde birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir.

LSSVR makine öğrenmesi yöntemiyle MATLAB platformunda 2 giriş (enlem-boylam), 1 çıkış (SR değeri) olarak analiz edilen eğitim aşamasında en iyi sonucu M4 paketi, en kötü sonucu ise M2 veri paketinin verdiği gözlenmiştir. Ancak tüm veri paketlerinde birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. 3600 grid noktası için LSSVR test modeline ait 900 grid noktası için giriş ve çıkış grafiği Şekil 12 ve Şekil 13'te verilmiştir.

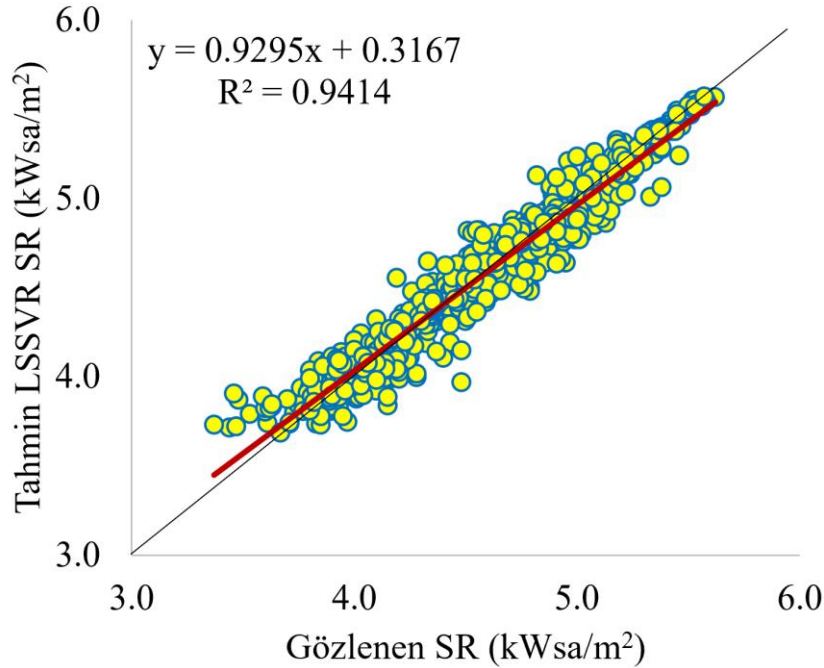
Şekil 12'de görüldüğü gibi model genel olarak gözlenen değerlere yakın değerler tahmin etmiştir.

Şekil 13'te görüldüğü gibi model genel olarak doğrusal çizginin yakınında toplanmıştır. LSSVR yöntemiyle en iyi sonucu veren M4 modelinin eğitim ve test tahmin değerleri ile ArcMap platformunda IDW enterpolasyon yöntemiyle hazırlanan SR haritası Şekil 14'te verilmiştir.

Şekil 13'te görüldüğü gibi model genel olarak doğrusal çizginin yakınında toplanmıştır. LSSVR yöntemiyle en iyi sonucu veren M4 modelinin eğitim ve test tahmin değerleri ile ArcMap platformunda IDW enterpolasyon yöntemiyle hazırlanan SR haritası Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 12. 3600 grid M4 paketi LSSVR modeline ait gidiş grafiği.



Şekil 13. M4 paketi 900 grid noktasının LSSVR test modeline ait saçılma grafiği.

Şekil 14'te Türkiye'nin 3600 gridinin 2004-2021 uzun dönem yıllık ortalama SR değerlerinin M4 paketi ile eğitilen LSSVR yönteminin tahmin ettiği SR değerlerinin IDW enterpolasyon yöntemiyle ArcMap ortamında oluşturulmuş SR haritası görülmektedir. Haritanın Şekil 7'deki gözlem değerleri ile oluşturulmuş SR haritasına çok benzediği yani oldukça başarılı tahminler yaptığı görülmektedir. Bu başarı oranının daha net görülebilmesi için karekök ortalama karesel hata değerleri ile bir harita daha oluşturulmuştur. M4 paketi LSSVR yöntemi ile tahmin edilen eğitim ve test verilerine ait KOKH haritası Şekil 15'te verilmiştir.

Şekil 15'te M4 paketi LSSVR yöntemi ile elde edilen SR tahmin değerlerinin gözlenen değerlerle KOKH değerlerine ait KOKH haritası verilmiştir. KOKH için

başarı ölçütü sifıra olan yakınlığıdır. Harita incelendiğinde Türkiye genelinde homojen ve çok başarılı tahminler yapıldığı görülmektedir. 3600 gride ait tahminlerin Doğu Karadeniz'in uç kısımları ile Akdeniz'in iki gridinde hata oranının yüksek olduğu görülmektedir. 3600 gride ait gözlem verileri ile MARS ve LSSVR tahminlerinin Taylor ve Violin grafikleri Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmiştir.

Şekil 16'da Taylor diyagramının tam ve yakınlaştırılmış kesitine ait görsel verilmiştir. Bu diyagramda gözlem değerine en yakın, karekök ortalama karesel sapma değerinin en düşük ve korelasyon katsayısının en büyük olduğu yöntem en başarılı yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu görsele göre en başarılı sonucu LSSVR yönteminin verdiği görülmektedir. Ancak

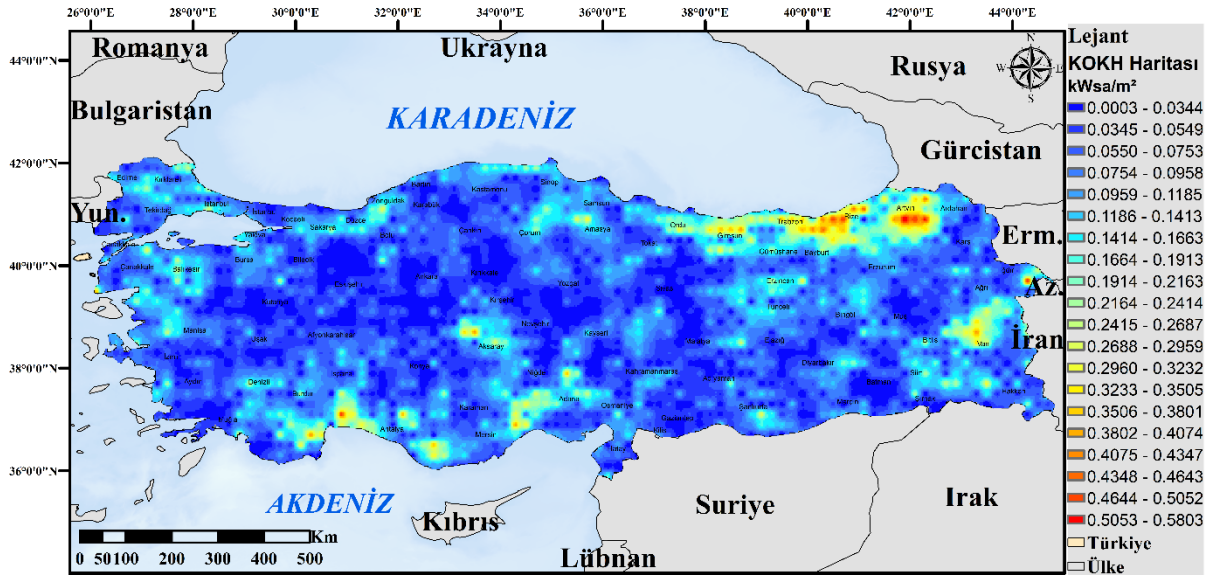
MARS yöntemi ile elde edilen değerlerin LSSVR yöntemine göre başarısız olduğu görülmektedir.

Violin diyagramı verilerin dağılımını ve olasılık yoğunluğunu görsellere bakarak değerlendirme

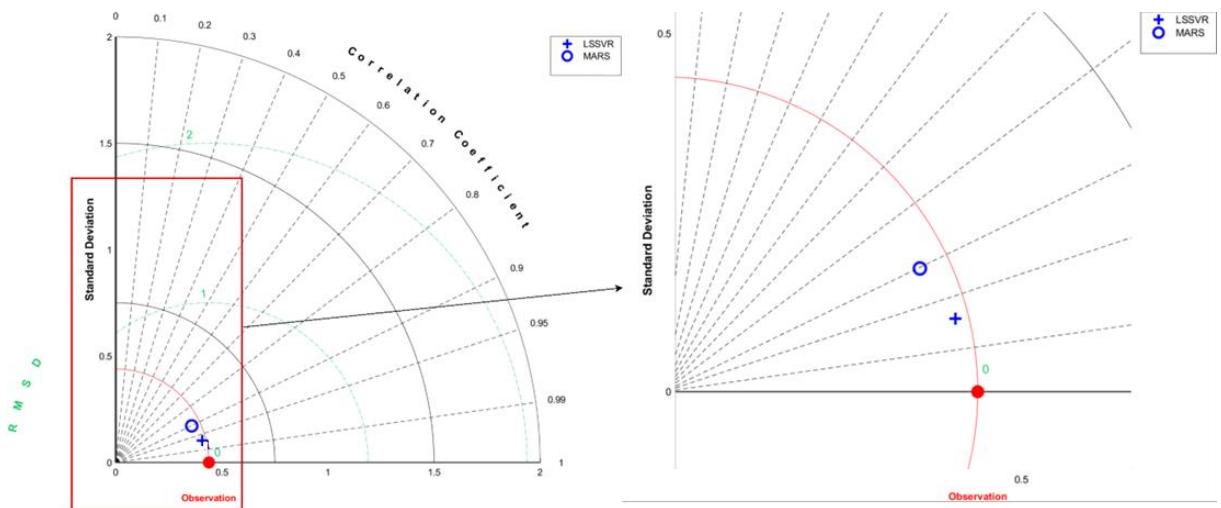
yaşamamız içindir. LSSVR yöntemini ile gözlem değerlerinin birbirine oldukça benzediği görülmektedir. Ancak MARS yönteminin LSSVR ve gözlem değerleri ile nispeten ayrıştığı görülmektedir.



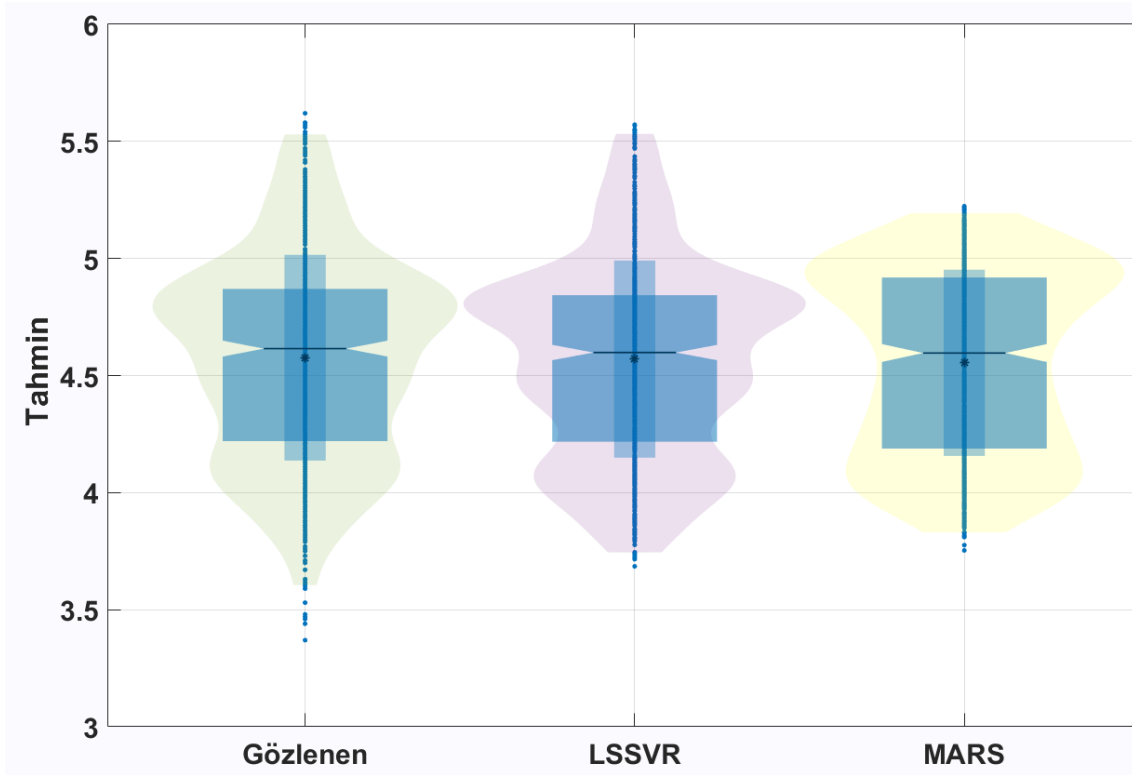
Şekil 14. 3600 grid M4 paketi LSSVR modeline ait SR haritası.



Şekil 15. 3600 grid M4 paketi LSSVR modeline ait KOKH haritası.



Şekil 16. 3600 grid gözlem/tahmin paketlerine ait Taylor diyagramı.



Şekil 17. 3600 grid gözlem/tahmin paketlerine ait Violin diyagramı.

3600 grid noktasına ait veri seti modellerine Wilcoxon testi ve Kruskal Wallis testi yapılarak değerlendirilmiştir.

Tek kuyruklu Wilcoxon işaretli sıralar testi parametrik olmayan veri setlerinde bir modelin diğer modellerden daha doğru tahmin yapıp yapmadığını belirlemekte kullanılan bir test yöntemidir. Eğer iki model aynı tahmin hatasına sahipse ($e_1 = e_2$) sıfır hipotezi (H_0) ile değerlendirilmektedir. Birinci model ikinci modelden daha küçük bir hataya sahipse ($e_1 < e_2$) ise alternatif hipotez (H_1) kullanılır (Uncuoğlu ve ark., 2022). Bu çalışmada %95 anlamlılık düzeyi için Wilcoxon işaretli sıralar testi uygulanmıştır. Eğer p-value 0.05'ten büyük ise H_0 değeri geçerlidir. Eğer p-value 0.05'ten küçük ise H_0 değeri %95 anlamlılık düzeyinde güvenle reddedilir.

Wilcoxon testinin sonuçları incelendiğinde 3600 grid noktasına ait veriler kullanılarak MARS yöntemi ile yapılan tahminlerin p-value değeri 0,001 ve LSSVR yöntemi ile yapılan tahminlerin p-value değeri 0,059 olduğu görülmektedir. Modeller içinde MARS yöntemi 0,05'ten küçük olduğu için anlamlı düzeyinde güvenle reddildiği görülmektedir. Fakat bu sonuç LSSVR için tahminlerle gözlenen değerlerin benzer popülasyondan geldiğini veya gözlenen değerlerin tahmin edilen değerlerle uyumlu olduğunu (temsil edildiğini) göstermektedir.

3600 grid noktasına ait verilerle tahmin edilen 2 modele istatistiksel anlamlılık testi olan Kruskal Wallis testi yapılmıştır. Kruskal Wallis testine ait sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Kruskal-Wallis testi.

Modeller	3600 Grid Noktası	
	p-value	H_0
MARS	0.8470	Ret
LSSVR	0.5947	Ret

Tablo 8'de verilen Kruskal-Wallis testi %95 anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilmiştir (Uncuoğlu ve ark., 2022). Tablo 8'de görüldüğü üzere yöntemlerin tamamında gözlem değeri ile aralarında anlamlı farklılık bulunamamıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, MGM'den temin edilen Türkiye'nin 3600 grid noktasına ait 2004-2021 yıllarını kapsayan uzun dönem yıllık ortalama SR değerleri için önce rastgele karıştırma yapıp daha sonra 4 eşit parçaya bölünmüş ve her biri %25 test, %75 eğitim seti olmak üzere M1, M2, M3 ve M4 paketleri oluşturulmuştur. Karşılaştırma kriteri olarak KOKH, OMH, OMBH, R^2 ve NSE kullanılmıştır. Ayrıca yöntemlerin yapmış olduğu tahmin verileri ile gözlem verilerinin gidiş ve saçılma grafikleri ile Taylor ve Violin diyagramları oluşturulmuştur. Çalışmada, günümüz veya geleceğe ait SR değerlerinin tahmin edilmesinin yanı sıra yıllık ortalama SR verilerine göre farklı yöntem ve algoritmalarla gözlem verisi olmayan istasyonların değerlerinin tahmini de amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın yaptığı tahminlerin karşılaştırması yapılması için literatür taraması yapıldığında 3600 grid noktasıyla yapılan akademik çalışmalar için literatür taranmış fakat bir çalışma bulunamamıştır. Ancak farklı veri setleri ile Türkiye'de yapılan Solar radyasyon tahminlerine ait veriler incelendiğinde; Sözen ve Arcaklıoğlu (2005), Türkiye'deki 12 istasyona ait ortalama günlük SR değerleri tahmini için yapay sinir ağları (YSA) yöntemi ile üç farklı algoritma (Scaled konjugat gradyan, Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmaları ve Pola-Ribiere eşlenik gradyan) ve lojistik sigmoid transfer fonksiyonunu kullanmış ve giriş parametresinde 6 giriş (enlem, boylam, yükseklik,

periyodiklik, ortalama güneşlenme süresi ve ortalama sıcaklık) çıkış parametresinde 1 çıkış (SR tahmini) kullanarak yapmış oldukları bu çalışmada 12 istasyon içinden en başarılı sonuç veren istasyonun Artvin istasyonu ($R^2=0,999$) olduğu, en başarısız sonuç veren istasyonun Çanakkale istasyonu ($R^2=0,998$) olduğunu belirtmiştir. Özgören ve ark. (2012), Türkiye'nin herhangi bir noktasına ait aylık ortalama günlük global SR değerini tahmin etmek için çoklu non-lineer regresyon (MNLR) metodu ile bir YSA modeli oluşturarak Türkiye'nin 31 istasyonundan elde edilen parametreler ile (1 giriş 1 çıkışla başlayıp 10 giriş 1 çıkışlı kombinasyona kadar) oluşturdukları 10 model içinde en başarılı tahmini veren modelin R^2 değerinin 0,9872, en başarısız sonucu veren modelin ise R^2 değerinin 0,9771 olduğu ifade etmişlerdir. Kuncan ve Şahin (2017), Türkiye'deki aylık ortalama günlük SR tahmini gerçekleştirdikleri çalışmalarında 53 istasyon için tercih ettikleri yapay sinir ağırları yönteminde 20 farklı model elde etmişlerdir. Çalışmada 5 giriş parametresi (SR ay değerleri, yeryüzü sıcaklığı, yükseklik, enlem ve boylam) ve 1 çıkış parametresi (SR tahmin) kullanan Kuncan ve Şahin 20 model içinden en iyi sonucu veren modelin KOKH değerinin 1,550 (MJ/m^2), en başarısız modelin ise KOKH değerinin 1,782 (MJ/m^2) olduğunu ifade etmişlerdir. Çıtakoğlu ve Demir (2021), Türkiye'nin aylık ortalama SR değerlerini üç değişik derin öğrenme algoritması kullanarak [uyarlanabilir moment tahmini (ADAM), momentumlu stokastik gradyan inişi (SGDM) ve kök ortalama kare yayılımı (RMSPProp)] 4 giriş (enlem, boylam, yükseklik ve periyodiklik) ile 1 çıkış (SR tahmini) parametresi uygulamışlardır. 81 il istasyonuna ait SR tahminlerinde en iyi sonucu veren istasyonun OMH değerinin 0,17 ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{gün}$), KOKH değerinin 0,228 (MJ/m^2) ve R^2 değerinin 0,987, en başarısız sonucu veren istasyonun ise OMH değerinin 0,174 ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{gün}$), KOKH değerinin 0,238 (MJ/m^2) ve R^2 değerinin 0,985 olduğunu ifade etmişlerdir. Ağbulut ve ark. (2021), Türkiye'de farklı SR ortalamalarına sahip dört il istasyonunun (Kırklareli, Tokat, Nevşehir ve Karaman) günlük küresel SR değerlerini tahmin etmek için 4 farklı makine öğrenme yöntemi [destek vektör makinesi, yapay sinir ağırları, k en yakın komşu (k-NN) ve derin öğrenme] kullanılmış olup, çalışmada 5 giriş parametresi (maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, bulut örtüsü, atmosfer dışı SR, gün uzunluğu) kullanarak 1 çıkış parametresi (SR tahmini) elde etmişlerdir. 4 farklı makine öğrenmesi yönteminden en iyi sonucu veren modelin KOKH değerinin 2,157 (MJ/m^2) ve R^2 değerinin 0,936, en başarısız sonucu veren modelin KOKH değerinin 2,776 ve R^2 değerinin 0,883 olduğunu belirlemişlerdir. Demirgöl ve ark. (2023), Türkiye'nin 81 ili için yapmış oldukları SR tahmini çalışmalarında M5-tree kullanılarak elde edilen modellerde en başarılı sonuçlar; KOKH= 0.3604, OMH= 0.1451, OMBH= 3.6029 ve $R^2= 0.9879$ olarak elde edildiği belirtilmiştir. Böylece M5-tree yönteminin literatürde yer alan yöntemlere alternatif bir yöntem olabileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, elde edilen sonuçlar incelendiğinde; MARS yönteminde en iyi sonuç M4 paketinde (KOKH=0,1912, OMH=0,1528, OMBH=3,3445, NSE=0,8104, $R^2= 0,8128$), en kötü sonuç ise M2 paketinde (KOKH=0,1992, OMH=0,1616, OMBH=3,5979,

NSE=0,8085, $R^2=0,8095$) görülmüştür. LSSVR yönteminde ise en iyi sonuç M4 paketinde (KOKH=0,1065, OMH=0,0790, OMBH=1,7668, NSE=0,9411, $R^2=0,9414$), en kötü sonuç ise M2 paketinde (KOKH=0,1154, OMH=0,0844, OMBH=1,9100, NSE=0,9357, $R^2= 0,9359$) görülmüştür. Genel olarak 3600 gride ait 2004-2021 uzun dönem yıllık ortalama SR değerleri ile yapılan tahminlerde LSSVR yönteminin çok başarılı olduğu ancak MARS yönteminin daha başarısız olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin MARS yönteminin daha az sezgisel olması olduğu düşünülebilir.

Ayrıca 3600 gride ait modellemelerde periyodiklik değişkeni olmadığı halde nokta sayısının yani veri sayısının çok daha fazla olmasının yarattığı avantaj bu eksikliği başarılı bir şekilde kapatamamıştır. Makine öğrenmesi yöntemleri ile SR tahmini yapmak için veri sayısının ve değişken sayısının artırılmasıyla çok daha başarılı sonuçlar vereceği söylenebilir. Tüm bu çalışma ışığında Türkiye'nin eksikliğini büyük ölçüde hissettiği SR yersel ölçüm istasyonlarının yerini makine öğrenmesi yöntemlerinin rahatlıkla doldurabileceği söylenebilir. Çalışmanın sonucunda solar radyasyonun makine öğrenmesi yöntemiyle oldukça başarılı bir şekilde tahmin edilebildiği gözlenmiş olup, makine öğrenmesi yöntemlerinin meteorolojide ve enerji sektöründe kullanımının yaygınlaşmasının güneş enerjisinden daha etkili bir şekilde yararlanılmasına neden olacağı düşünülmektedir. Bu sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında literatürde kullanılan yöntemlerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma Taha Demirgöl'ün "Farklı Makine Öğrenmesi Yaklaşımlarını Kullanarak Türkiye'de HELIOSAT Tabanlı Güneş Radyasyonunun Modellenmesi" başlıklı yüksek lisans tez çalışmasından hazırlanmıştır.

Yazarlar desteklerinden dolayı KTO Karatay Üniversitesine teşekkür etmektedir. Bu çalışma, KTO Karatay Üniversitesi BAP Komisyonu tarafından (Proje no:10042305) desteklenmiştir

Araştırmacıların katkı oranı

Taha Demirgöl: Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme, Makale yazımı; **Vahdettin Demir:** Kurgu, Düzenleme, **Mehmet Faik Sevimli:** Son kontrol.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Ağbulut, Ü., Gürel, A. E., & Biçen, Y. (2021). Prediction of daily global solar radiation using different machine learning algorithms: Evaluation and comparison. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110114. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110114>
- Ahmad, M. J., & Tiwari, G. N. (2011). Solar radiation models—A review. *International Journal of Energy Research*, 35(4), 271-290.

- <https://doi.org/10.1002/er.1690>
- Alan, A., & Karabatak, M. (2020). Veri seti-sınıflandırma ilişkisinde performansa etki eden faktörlerin değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(2), 531-540.
<https://doi.org/10.35234/fumbd.738007>
- Alizamir, M., Kim, S., Kisi, O., & Zounemat-Kermani, M. (2020). A comparative study of several machine learning based non-linear regression methods in estimating solar radiation: Case studies of the USA and Turkey regions. *Energy*, 197, 117239.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117239>
- Aydın, H., & Düzen, H. (2011). Comparison of measured and calculated evaporation values of open water surface: The case of Lake Van (Turkey). 5th Atmospheric Science Symposium, 275-284.
- Bayram, S., & Çitakoğlu, H. (2023). Modeling monthly reference evapotranspiration process in Turkey: application of machine learning methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 67.
<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10662-z>
- Bhardwaj, S., Sharma, V., Srivastava, S., Sastry, O. S., Bandyopadhyay, B., Chandel, S. S., & Gupta, J. R. P. (2013). Estimation of solar radiation using a combination of Hidden Markov Model and generalized Fuzzy model. *Solar Energy*, 93, 43-54.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.020>
- Bora, E., Tekeli, M., & Etöz, M. (2015). Menemen Ovasında Referans Bitki Su İhtiyacı ve Ölçülen Solar Radyasyonun Zamansal Değişimi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 65-76.
- Citakoglu, H. (2015). Comparison of artificial intelligence techniques via empirical equations for prediction of solar radiation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 28-37.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.020>
- Cornejo-Bueno, L., Casanova-Mateo, C., Sanz-Justo, J., & Salcedo-Sanz, S. (2019). Machine learning regressors for solar radiation estimation from satellite data. *Solar Energy*, 183, 768-775.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.079>
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20, 273-297.
<https://doi.org/10.1007/BF00994018>
- Çitakoğlu, H., & Demir, V. (2021). Solar Radyasyonun Derin Öğrenme Kullanılarak Tahmin Edilmesi: Türkiye Örneği. *International World Energy Conference*, 167-175.
- De Andrés, J., Lorca, P., de Cos Juez, F. J., & Sánchez-Lasheras, F. (2011). Bankruptcy forecasting: A hybrid approach using Fuzzy c-means clustering and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1866-1875.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.117>
- Demir, V., & Yaseen, Z. M. (2023). Neurocomputing intelligence models for lakes water level forecasting: a comprehensive review. *Neural Computing and Applications*, 35(1), 303-343.
<https://doi.org/10.1007/s00521-022-07699-z>
- Demirgöl T. (2023). Farklı makine öğrenmesi yaklaşımlarını kullanarak Türkiye'de HELİOSAT tabanlı güneş radyasyonunun modellenmesi. [Yüksek Lisans Tezi. KTO Karatay Üniversitesi].
- Demirgöl, T., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2023). Model-Ağacı (M5-tree) yaklaşımı ile HELIOSAT tabanlı güneş radyasyonu tahmini. *Geomatik*, 8(2), 124-135.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.1137687>
- Doğan, A., Başeğmez, M., & Aydın, C. C. (2023). Geniş çalışma alanlarında jeofizik ve jeoteknik ölçümlerin yerine geçebilecek vekil özelliklerin CBS ile belirlenmesi. *Geomatik*, 8(3), 293-305.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.1161434>
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (2023). <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
- Friedman, J. H. (1991). Multivariate adaptive regression splines. *The annals of statistics*, 19(1), 1-67.
<https://doi.org/10.1214/aos/1176347963>
- Guermoui, M., Melgani, F., Gairaa, K., & Mekhalfi, M. L. (2020). A comprehensive review of hybrid models for solar radiation forecasting. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120357.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120357>
- Gül, M., & Çelik, E. (2017). ANFIS kullanılarak Tunceli ili için global güneş radyasyonu tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(4), 891-899.
- Güzel, B., Seveli, O., & Okatan, E. (2023). Predicting Solar Radiation Based on Meteorological Data Using Machine Learning Techniques: A Case Study of Isparta. *International Journal of Engineering Research and Development*, 15(2), 704-713.
<https://doi.org/10.29137/umagd.1268055>
- Jiang, Y. (2009). Computation of monthly mean daily global solar radiation in China using artificial neural networks and comparison with other empirical models. *Energy*, 34(9), 1276-1283.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.05.009>
- Kılıç, B., & Kumaş, K. (2019). Burdur ili güneşlenme değerlerinin yapay sinir ağları metodu ile tahmini. *Teknik Bilimler Dergisi*, 6(1), 38-44.
- Krige, D. G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 52(6), 119-139.
- Kuncan, F., & Şahin, M. (2017, September). Yapay sinir ağı ve uydu dataları kullanılarak güneş radyasyonunun tahmini. In *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, 1-10.
<https://doi.org/10.1109/IDAP.2017.8090288>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). https://mgm.gov.tr/kurumci/radyasyon_iller.aspx
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.
[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Ozgoren, M., Bilgili, M., & Sahin, B. (2012). Estimation of global solar radiation using ANN over Turkey. *Expert systems with applications*, 39(5), 5043-5051.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.036>
- Sharda, V. N., Patel, R. M., Prasher, S. O., Ojasvi, P. R., & Prakash, C. (2006). Modeling runoff from middle Himalayan watersheds employing artificial intelligence techniques. *Agricultural Water*

- Management, 83(3), 233-242.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.003>
- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference, 517-524.
<https://doi.org/10.1145/800186.810616>
- Smola, A. J., & Schölkopf, B. (2004). A tutorial on support vector regression. *Statistics and computing*, 14, 199-222.
<https://doi.org/10.1023/B:STCO.0000035301.49549.88>
- Sozen, A., & Arcaklioglu, E. (2005). Solar potential in Turkey. *Applied Energy*, 1(80), 35-45.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.02.003>
- Suykens, J. A. (2001). Support vector machines: a nonlinear modelling and control perspective. *European Journal of Control*, 7(2-3), 311-327.
<https://doi.org/10.3166/ejc.7.311-327>
- Suykens, J. A., & Vandewalle, J. (1999). Least squares support vector machine classifiers. *Neural processing letters*, 9, 293-300.
<https://doi.org/10.1023/A:1018628609742>
- Şeker, M. (2021). Yapay Sinir Ağı (YSA) Kullanılarak Meteorolojik Verilere Dayalı Solar Radyasyon Tahmini. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(69), 923-935. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236920>
- Taylan, E. D., & Damçayırı, D. (2016). Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. *Teknik Dergi*, 27(3), 7551-7559.
- Uncuoglu, E., Citakoglu, H., Latifoglu, L., Bayram, S., Laman, M., Ilkentapar, M., & Oner, A. A. (2022). Comparison of neural network, Gaussian regression, support vector machine, long short-term memory, multi-gene genetic programming, and M5 Trees methods for solving civil engineering problems. *Applied Soft Computing*, 129, 109623.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109623>
- Wang, L., Kisi, O., Zounemat-Kermani, M., Zhu, Z., Gong, W., Niu, Z., ... & Liu, Z. (2017). Prediction of solar radiation in China using different adaptive neuro-fuzzy methods and M5 model tree. *International Journal of Climatology*, 37(3), 1141-1155.
<https://doi.org/10.1002/joc.4762>
- Yaseen, Z. M. (2021). An insight into machine learning models era in simulating soil, water bodies and adsorption heavy metals: Review, challenges and solutions. *Chemosphere*, 277, 130126.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130126>
- Yaseen, Z. M., Kisi, O., & Demir, V. (2016). Enhancing long-term streamflow forecasting and predicting using periodicity data component: application of artificial intelligence. *Water resources management*, 30, 4125-4151. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1408-5>
- Yilmaz, C. B., Bodu, H., Yüce, E. S., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2023). Türkiye'nin uzun dönem ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin üç farklı enterpolasyon yöntemi ile tahmini. *Geomatik*, 8(1), 9-17.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.984310>
- Yüksel, S. (2016). Türkiye'de cari işlemler açığının belirleyicileri: Mars yöntemi ile bir inceleme. *Bankacılar Dergisi*, 96(27), 102-121.





Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların CBS tabanlı AHP analizlerine dayalı olarak belirlenmesi

Mucip Demir ^{*1}, Namık Tanfer Altaş ²

¹ Kafkas Üniversitesi, Dede Korkut Eğitim Fakültesi, Türkçe ve Sosyal Bilgiler Eğitimi Bölümü, Coğrafya Eğitimi Anabilim Dalı, Türkiye, mucipdemir@hotmail.com

² Atatürk Üniversitesi, Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi, Türkçe ve Sosyal Bilgiler Eğitimi Bölümü, Coğrafya Eğitimi Anabilim Dalı, Türkiye, ntanfer@atauni.edu.tr

Kaynak Göster: Demir, M., & Altaş, N. T. (2024). Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların CBS tabanlı AHP analizlerine dayalı olarak belirlenmesi. *Geomatik*, 9 (1), 123-140

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1375650>

Anahtar Kelimeler

Deprem
Deprem Hasar Riski
GIS
AHP
Kars

Araştırma Makalesi

Geliş: 13.10.2023
Revize: 27.10.2023
Kabul: 09.11.2023
Yayınlanma: 05.02.2024



Öz

Dünya ve Türkiye'nin birçok yerinde meydana gelebilecek depremlerdeki olası kayıpların önlenmesine yönelik tedbirler alınması için deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların ve bu alanlara ait özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak son yıllarda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak Kars kenti belediyesi idari sınırları dâhilindeki deprem hasar risk potansiyeli taşıyan sahaların ve bu sahalarla ait özelliklerin mekânsal olarak tespit edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın veri analiz aşamasında, araştırma kriterlerinin ağırlık değerlerinin belirlenmesi amacıyla AHP ikili karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen ağırlık değerlerinin kullanılmasıyla CBS yazılımı üzerinde Weighted Overlay analizi yapılarak araştırma sahasında deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlar haritalandırılarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, 7152 km² alana sahip Kars kentindeki toplam arazi varlığının %'51,5'ini oluşturan kısmının deprem hasar risk potansiyeli taşıdığı belirlenmiş olup bu özellikteki arazilerin başta Gölyeri ve Paşaçayırı mahallerinde yoğunlaştığı anlaşılmıştır.

Determination of areas with earthquake damage risk potential in Kars city based on GIS-based AHP analysis

Keywords

Earthquake
Earthquake Damage Risk
GIS
AHP
Kars

Research Article

Received: 13.10.2023
Revised: 27.10.2023
Accepted: 09.11.2023
Published: 05.02.2024

Abstract

In order to take measures to prevent possible losses in earthquakes that may occur in many parts of the world and Türkiye, it is necessary to determine the areas with earthquake damage risk potential and their characteristics. For this purpose, the use of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods has become increasingly important in recent years. In this study, it is aimed to spatially determine the areas with earthquake damage risk potential within the administrative borders of Kars city municipality and their features by using the Analytical Hierarchy Process (AHP), one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods based on Geographic Information Systems (GIS). In the data analysis phase of the study, AHP pairwise comparisons were made in order to determine the weight values of the research criteria. By using the weight values obtained, Weighted Overlay analysis was performed on the GIS software and the areas with earthquake damage potential in the research area were mapped and determined. As a result of the study, it was determined that 51.5% of Kars city, which has an area of 7152 km², has earthquake damage risk potential, and it has been understood that the lands with this feature are mainly concentrated in Gölyeri and Paşaçayırı.

1. Giriş

Deprem, Dünya'nın kayalardan oluşan kabuğunun hızlı hareketinden kaynaklanan yüzey sarsıntısı olarak tanımlanmaktadır (Hoşgören, 1993). Depremler insanlığı varoluşundan bu yana etkileyen en önemli doğal olaylardan biri olup çok büyük miktarlarda telafi edilemeyecek can kaybına neden olmaktadır.

Dünya genelinde depremlere büyük oranda genç oluşumlu alanlar maruz kalmaktadır (Hoşgören, 1993). Bu alanlar;

1. Pasifik Sismik Kuşağı: Büyük okyanus ve çevresinde bulunan Asya kıtasında Japonya, Kore, Filipinler Çin kıyıları, Amerika kıtasında ABD batı kıyıları, Meksika, güney Şili ve Peru gibi ülkeleri kapsamaktadır. Dünya üzerinde bir yıl içinde meydana gelen tüm sarsıntıların % 81'inin bu alanda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

2. Alp-Himalaya Sismik Kuşağı: İspanya'dan başlayarak doğu yönünde kuzey Akdeniz kıyılarındaki Fransa, İtalya Yunanistan Türkiye İran Pakistan, kuzey Hindistan gibi ülkeleri kapsayarak büyük okyanusa uzanmaktadır. Dünya üzerinde bir yıl içindeki tüm sarsıntıların % 17'sinin bu kuşakta gerçekleştiği tespit edilmiştir.

3. Atlantik Ortası Sismik Kuşağı: Atlantik okyanusu ortasında kuzey güney yönünde uzanan bu kuşakta İzlanda yer almaktadır (Aydm ve Sağdıç, 2020).

Dünya genelinde bahsi geçen sahalarda 1900 yılından itibaren meydana gelen 1350 depremde 857.246 insan ölüp milyonlarca insan yaralanırken çok büyük ekonomik kayıp oluşmuştur (USGS, 2023).

Dünyanın genç oluşumlu alanlarında Anadolu yarımadası üzerinde bulunan Türkiye'de ise Avrasya, Afrika ve Arabistan levhalarının arasında Alp-Himalaya sismik kuşağının yakınsama-sıkışma sahasında bulunması nedeniyle önemli miktarda fay oluşmuş olup bu fayların büyük kısmının aktif olması nedeniyle en eski dönemlerden günümüze kadar sürekli olarak depremler meydana gelmektedir. Bu nedenle Türkiye dünyanın en büyük deprem tehlikesi altında bulunan ülkeleri arasında yer almaktadır (Hoşgören, 1993).

Türkiye'de depremlere en çok Batı Anadolu, Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu fay zonlarında bulunan alanlar maruz kalmaktadır. Türkiye Deprem Tehlike Haritası 2023 yılı verilerine göre 781.953 km yüzölçümüne sahip ülkemizin %92'si ve 85.279.553 olan nüfusumuzun % 95'i doğrudan deprem tehlikesi altında bulunmaktadır (AFAD, 2023).

Türkiye'de çoğu bahsi geçen alanlarda olmak üzere 1900 yılından bugüne kadar geçen sürede 143 büyük deprem meydana gelmiş bu depremlerde 142.528 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Bu depremlerden sonuncusu ve en büyük etkiye sahip olanları 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş, Pazarcık merkezli olarak 7,8 M_w ($\pm 0,1$) ve Kahramanmaraş Elbistan merkezli olarak 7,5 M_w büyüklüklerinde meydana gelmiştir. Bu iki ana deprem ve sonrasında meydana gelen artçı depremlerden Kahramanmaraş ve çevresindeki 10 il ve 13,500.000 kişi etkilenmiştir. Depremler sonucunda toplam 59.259 kişi hayatını kaybederken 107,204 kişi yaralanmıştır Depremlerde 507,000 bağımsız bölümden oluşan 227,000 binanın

yıkık, acil yıkılacak ve ağır hasarlı duruma gelirken 2,7 milyona yakın kişi evsiz kalmıştır (AFAD, 2023).

Dünya ve Türkiye'nin birçok yerinde meydana gelen depremlerde telafi edilemeyecek düzeyde can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Bu nedenle yerleşim yeri seçimi ve planlanmasında olası depremlerde meydana gelebilecek kayıpların önlenmesine yönelik tedbirler alınması için deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların ve özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Kuşçu ve ark., 2019). Buna rağmen yerleşim alanlarının deprem risk potansiyelinin belirlenmesine, etki eden çok fazla, farklı tercih unsuru ve kriteri bulunması nedeniyle bu alanların belirlenmesi, oldukça karmaşık ve analizi güç bir mekânsal karar alma problemi dizisi oluşturmaktadır. Bu problem dizisinin çözülmesi ve deprem hasar risk potansiyelinin düşük olabileceği optimum koşullara sahip yerleşim alanlarının belirlenmesi için son yıllarda CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri tercih edilmektedir (Al-Garni ve Awasthi, 2017).

Türkiye'nin depremsellik bakımından oldukça aktif alanlarından Kuzeydoğu Anadolu'da yer alan Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların mekânsal dağılımı ve risk düzeyinin tespitine yönelik olarak literatürde CBS tabanlı ÇKKV yöntemlerine dayalı olarak henüz bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmayla farklı bilim disiplinleri ilgi alanında bulunan deprem hasar risk potansiyeli kriterlerinin CBS tabanlı ÇKKV yöntemleri, kullanılarak bütüncül şekilde analiz edilmesiyle Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın sonuçlarının gerek Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesi, gerek olası depremler için afet yönetim planları hazırlanması gerekse daha sonra yapılacak bilimsel çalışmalar için öncül bilgi seti oluşturarak faydalılık sağlayacağı değerlendirilmektedir.

ÇKKV yöntemlerinde, belirlenmiş bir hedefe yönelik, birbirine bağımlı fakat birbirinden farklı kriterler arasındaki ilişkilere dayalı olarak analizler yapılmaktadır. Bu şekilde teknik, bir dizi alternatif derecelendirmek, sıralamak veya bir dizi alternatif içinde en iyi veya en uygun çözümlenmeyi yaparak optimum sonuçlar elde edilebilmektedir (Köksalan, ve ark., 2011).

ÇKKV, birçok alanda ortaya çıkan karmaşık problemlerin çözüm sürecinde oldukça fazla kriteri dikkate alarak en iyi alternatifini belirlemeyi amaçlayan temel karar verme yöntemleri dizisidir. ÇKKV yöntemleri optimum bir çözüme ulaşmak için, karar verenlerin tercihlerine dayalı olarak yapılandırma, karar verme ve planlama adımları için kullanılır (Taherdoost, & Madanchian, 2023; Coşkun, & Toprak, 2023; Sarı, & Sen, 2017; Yemenicioglu, ve ark., 2016; Yılmaz, ve ark., 2023).

Deprem hasar risk potansiyel araştırmalarında ÇKKV yöntemlerinden Coğrafi Bilgi Sistemleriyle bütünlükte birlikte kullanılabilen; Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP) Çok Boyutlu Tercih Analizi için Linear programlama (LINMAP), Çok Nitelikli Fayda Teorisi yöntemi (MAUT), İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sırası Tekniği (TOPSIS) ve Eleme Seçim Çeviri Gerçekliği (ELECTRE) gibi yöntemler tercih edilmektedir (Al-Garni ve Awasthi, 2017).

Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada, araştırma yönteminin belirlenmesine yönelik yapılan literatür incelemeleri sonucunda; adı geçen diğer ÇKKV yöntemlerine göre; aşağıdaki nedenlerle Analytic Hierarchy Prosesi (AHP), yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir.

- Daha yüksek esneklik ve önemli bir tanımlama kapasitesi göstermesi,
- Karar problemlerini hiyerarşik kriter kategorileri halinde yeniden yapılandırıp sorunu oluşturan her bir ögeye göreceli önem vermesi,
- Objektif ve subjektif değerlendirmeleri analize dahil ederken bunların tutarlılığını doğrulaması ve karar verme sürecindeki potansiyel önyargıları azaltması,
- Bireysel ikili karşılaştırmaların geometrik ortalaması yoluyla grup karar verme problemlerini analiz edebilmesi,
- Ölçek üretme kapasitesi nedeniyle riskli ve belirsiz durumları kolaylıkla açıklayabilmesi, (Tavana ve ark, 2023).

AHP, (Saaty, 1980) tarafından geliştirilmiş olup halen çok girdili ve kriterli karmaşık karar alama problemlerinin karar önceliğinin belirlenmesi ve efektif olarak çözülmesinde kullanılan en yaygın çok kriterli karar verme yöntemidir.

AHP, karar vericinin yargısına dayalı olarak, belirli bir dizi alternatif için göreceli öncelikleri bir oran ölçeğinde ölçmeyi amaçlar ve bir karar vericinin sezgisel yargılarının yanı sıra alternatiflerin karşılaştırmasının tutarlılığının önemini vurgular. Karar verme sürecinde, bir karar verici, yargılarını bilgi ve deneyime dayandırıp buna göre karar verdiğinden, AHP yaklaşımı karar vericinin davranışıyla iyi uyum sağlar (Al Harbi, 2001).

2. Amaç, veri ve yöntem

Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) analizlerine dayalı olarak Kars kentindeki deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların mekânsal dağılımının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada hiyerarşik sırasıyla;

- Ön literatür araştırmalarından elde edilen sonuçlar doğrultusunda çalışma yöntemi olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi seçilmiştir.
- Çalışmanın ana amacı doğrultusunda yapılacak CBS analizleri için Kars Belediyesi, Kars AFAD İl Müdürlüğü ve Kars Kadastro İl Müdürlüğü gibi devlet kuruluşlarından sayısal veri setleri elde edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Araştırma verileri ve kaynakları.

Kriter	Veri Seti	Dosya Tipi	Veri Yapısı
Litoloji	MTA	Shape file	Vektör
Hidrojeoloji	DSİ	Shape file	Vektör
Arazi Eğimi	HGM	Shape file	Vektör
Fay Mesafe	MTA	Shape file	Vektör
Yer İvmesi	AFAD	GeoTiff	Raster
Yapı Kat Sayısı	İmar Planı	Shape file	Vektör

- Çalışmada kullanılacak sayısal özellikteki veri setlerinin coğrafi projeksiyon sistemleri ve mekânsal çözünürlükleri standardize edilmiştir (Şekil 2).
- Çalışma için standardize edilmiş verilerden, araştırma alanına ait Litoloji, Hidroloji, Arazi Eğimi, Fay Hatlarına Olan Mesafe, Maximum Yer İvmesi, Yapı Kat Sayısı kriter haritaları üretilmiştir (Şekil 1).
- Araştırma tematik kriter haritaları için yeni sınıflandırma işlemi yapılmıştır (Şekil 1).
- Araştırma tematik kriterleri arasında Goepel (2018), tarafından geliştirilen web tabanlı çevrimiçi (AHP-OS) sistemi kullanılarak AHP ikili karşılaştırmaları yapılmış ve ikili karşılaştırma tutarlılık CR değerleri oranı hesaplanmıştır.
- Araştırma kriterlerinin AHP analizleri sonucu belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak ArcGIS 10.8. CBS yazılımı Spatial Analyst (Mekânsal Analiz) araçları Weighted Overlay (Ağırlıklı Bindirme) bölümünde bindirme işlemi yapılmış böylece araştırma sahasında deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlar haritalandırılarak tespit edilmiştir (Şekil 1).
- “Kars deprem hasar risk potansiyel haritası” üzerinde ArcGIS 10.8. CBS yazılımı Zonal Statistic (Alan İstatistikleri) aracı kullanılarak yapılan hesaplamalarla sahaya ait istatistiksel sonuçlar belirlenerek aynı haritanın gösterim kısmına işlenmiştir.
- Kars deprem hasar risk potansiyel haritası” ile çalışma alanında yerinde yapılan gözlemlerle elde edilen veriler, mekânsal bakımdan karşılaştırılarak araştırmanın fiziki güvenilirliği kontrol edilmiş elde edilen sonuçlar karar haritası gösterim bölümüne işlenmiştir.

3. Çalışma sahasının konumu ve depremselliği

Çalışma sahasını oluşturan Kars kenti, Kuzeydoğu Anadolu’da kuzeyden Ardahan, batıdan Erzurum, güneyden Ağrı, güneydoğudan Iğdır illeri doğudan ise Ermenistan’la sınırlı olan Kars ilinin idari merkezi durumundadır. Kars kentinin yer aldığı merkez ilçe ise; kuzeyden, Susuz, Arpaçay, Akyaka, doğudan Digor, güneyden Kağızman, batıdan Selim ilçeleri idari alanları ile komşudur (Demir, 2014; Şekil 2).

Kars kentsel idari alanı kuzeyden; Çakmak, Bozkale doğudan; Mezra, güneyden; Derecik, Karacaören, Cumhuriyet batıdan; Kümbetli köyleri arasında 7.152 hektarlık alana yayılmaktadır (Demir, 2013).

Kars Kenti; kuzeyde, ortalama 1900 metre irtifaya sahip, Leylek, Diktepe, Çakmak, Karatabya, Körkuyu ve Domalak tepeleri ile güneyde ortalama 1800 metre irtifaya sahip Mollaömer, Toy, Totoşkaya, tepeleri arasındaki, Kars platosunun kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan düşük eğimli bölümünde yer almaktadır (Demir, 2013).

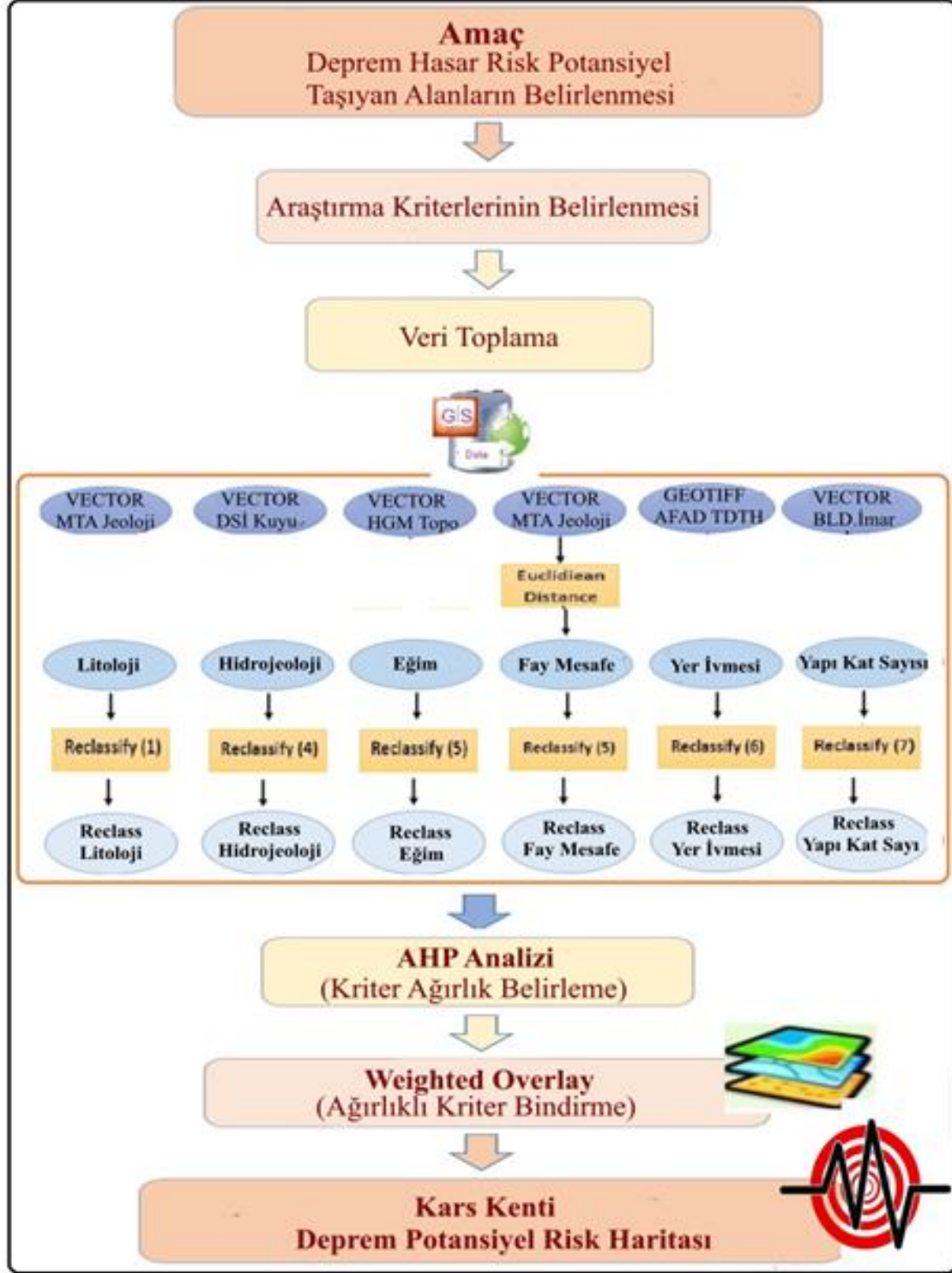
Kars kenti ve çevresinde sert karasal iklim koşullarının hâkim olması nedeniyle beşerî faaliyetler fazla gelişmemiş olup yaşam büyük oranda kamu istihdamına ve hayvancılık ürünleri ticaretine dayanmaktadır (Demir ve Alım 2017). Kars kenti, 2022 yılsonu itibarıyla 91,450 nüfusa sahip olup bütün il nüfusunun % 30’nu oluşturmaktadır. Kentte nüfus büyük

oranda merkezi mahallelerde ikamet etmekte olup nüfus yoğunluğu 1270 kişi/km²'dir (Demir, 2015).

Türkiye'nin depremsellik bakımından oldukça aktif alanlarından Kuzeydoğu Anadolu'da yer alan Kars ilinde tarihi süreçte can ve mal kaybına neden olan birçok deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyük kısmı Kars kentine ortalama 50 km mesafedeki ilin sınır

alanlarında yer alan faylardan kaynaklanmıştır (Demir, 2013; Şekil 2).

Kars kentinde can ve mal kaybına neden olan en önemli deprem 1664 yılı mayıs ayında 60 km uzaklıktaki Gümrü Kenti civarında meydana gelmiştir. Depremde Kars kentindeki birçok yapı ciddi şekilde tahrip olmuştur (Gündüz, 2008).



Şekil 1. Araştırma hiyerarşik modeli.

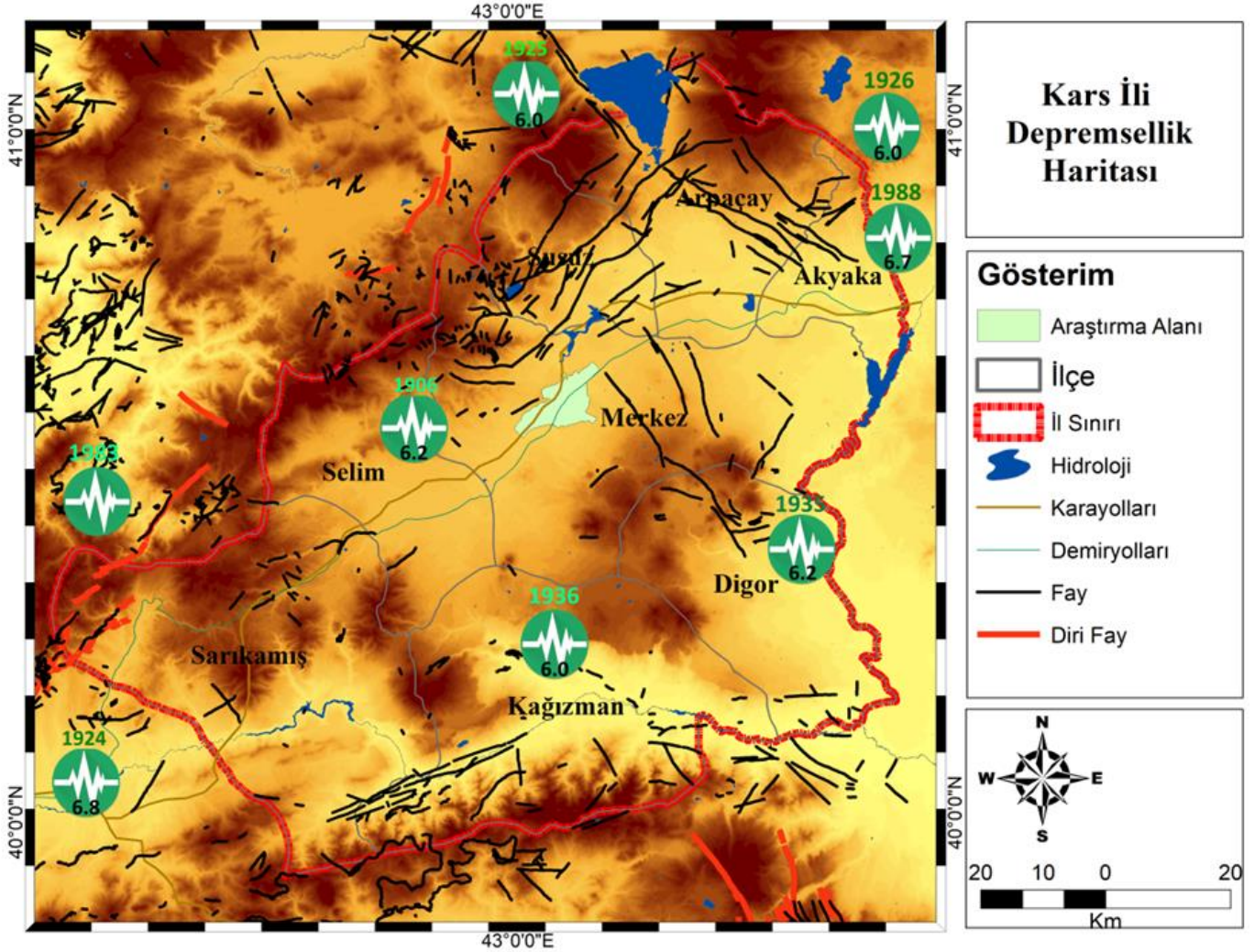
Kars ilini aletsel dönemde etkileyen ilk önemli deprem 1926 yılında Arpaçay ilçesinde meydana gelmiştir. Merkez üssü Kars kentine kuş uçuşu 50 km uzaklıktaki 6.0 M_w (magnitüd) büyüklüğündeki depremde Arpaçay çevresinde 1100 konut ağır hasar alıp

355 can kaybı meydana gelirken Kars kentinde önemli bir hasar ve can kaybı olmamıştır (Bağcı ve ark., 1991; Şekil 2).

Kars ilini yakın dönemde etkileyen en önemli deprem ise 1988 yılında Ermenistan Spitak'ta meydana

gelmiştir. Merkez üssü Kars kentine kuş uçuşu 100 km uzaklıktaki 6.7 M_w büyüklüğündeki depremde Ermenistan'da 25000 can kaybı meydana gelmiş ve 530 bin kişi evsiz kalmıştır. Depremin hissedildiği Kars

kentinde önemli bir hasar ve can kaybı olmazken Akyaka ve Arpaçay ilçelerindeki yapılarda kısmi hasar meydana gelmiştir (USGS, 2023).



4. Araştırma kriterlerinin seçimi ve özellikleri

Çalışmada kullanılacak kriterlerin belirlenmesi amacıyla yapılan literatür araştırmalarından elde edilen sonuçlar doğrultusunda; Litoloji, Hidrojeoloji, Arazi Eğimi, Fay Hatlarına Mesafe, Maksimum Yer İvmesi ve Bina Kat Sayısı olmak üzere altı kriter belirlenmiştir (Tablo 2).

Araştırmada, aşağıdaki kriterler ana kriterler arasına alın(a)mamıştır.

- Depremler hasar risk potansiyeli üzerinden en önemli yersel kriterler arasında bulunan ancak Kars kentsel alanına özgü çalışmalarla henüz üzerinde konun uzmanları tarafından bilimsel ve teknik çalışma yapılmadığı için elde edilemeyen ve diğer yersel kriterlerle örtüşen
 - Zemin kayması durumu ve dağılımı
 - Zemin büyütmesi durumu ve dağılımı
 - Zemin sıvılaşması durumu ve dağılımı
- Deprem hasar risk potansiyeli taşıyan sahaların tespit edilmesi için çok önemli yerel özelliklerden olduğu

literatür araştırmalarıyla belirlenen ancak ilgili kamu kuruluşları tarafından sayısal olarak kayıt altına alınmamış,

-Bina/yapı ruhsat tarihleri ve dağılımı,

- Deprem hasar riski üzerinde doğrudan anlamlı etkisi bulunmadığı değerlendirilen ve hidrojeoloji kriteriyle belli bir oranda örtüşen,
 - Akarsu ağı,
- Deprem yönetmeliği gereğince belediye ve ilgili kamu kuruluşları tarafından yerinde yapılacak çalışmalarla oluşturulması gereken ancak sosyal ve ekonomik sebepler nedeniyle henüz sayısal olarak kayıt altına alınmamış;
 - Bina/yapı mukavemeti dağılımı,
 - Bina yapı malzemesi durumu ve dağılımı,
 - Bina yaşı, durumu ve dağılımı,
- Deprem hasar riski üzerinde doğrudan anlamlı etkisinden ziyade etkilenen durumunda bulunduğu değerlendirilen,
 - Karayolu ulaşım ağı ve altyapısı,
 - Nüfus ve dağılımı

Tablo 2. Literatürde mevcut araştırma kriterleri.

Kriter	Aghataher ve ark., (2008)	Sarvar ve ark., (2011)	Erden ve Karaman (2012)	Panahi ve ark., (2014)	Özşahin (2014)	Yavaşoğlu ve Özden (2017)	Güven ve Gerçek (2017)	Ceylan ve Yılmaz (2020)	Özşahin ve Eroğlu (2019)	Jena ve ark., (2020)	Özkazanç ve ark. (2020)	Karimi ve Najafi (2015)	Shawon ve ark. (2021)	Ocak ve Bahadır (2022)
Litoloji	*	*	*		*		*	*	*	*	*			*
Hidrojeoloji					*		*		*					*
Faylara Uzak	*	*	*		*		*		*	*	*	*		*
Fay Yoğ.												*		
Yer İvmesi	*			*	*		*							*
Zemin Kay.									*					
Büyütme.									*					
Sıvılaşma			*	*										
Akarsu					*			*						
Deprem Böl.					*									
Deprem Yoğ.												*		
Deprem Mgt	*													
Deprem Der.	*													
Yerçekimleri			*		*									*
Eğim		*		*	*		*			*	*	*		*
Yükselti								*			*	*		
Arazi Kul.								*						
Yapı Kal.		*		*		*				*			*	
Yapı Mlz.										*			*	
Yapı Kat. S		*		*		*							*	
Bina Yaşı		*		*									*	
Ulaşım Ağı						*							*	
Nüfus		*				*				*			*	

Tablo 3. Çalışmada kullanılan kriter ağırlıkları.

Kriter	Kriter faktörleri	Ağırlık	Ağırlık sınıfı
Litoloji	ZF Alüvyon (QAL)	1	Çok Riskli
	ZC- Çamur Taşı, Kıltaşı Marn (Tkk)	2	Riskli
	ZB-Aglomera, Tuf Andezit pomza perlit (Tk). (Tpld).	3	Az Riskli
	ZA- Bazalt (Ta) (Qm).	4	Risksiz
Hidrojeoloji	-1m, -15m	1	Çok Riskli
	-15m -25m	2	Riskli
	-25m -50m	3	Az Riskli
	-50m+	4	Risksiz
Arazi eğimi	30 °+	1	Çok Riskli
	15 - 30°	2	Riskli
	5 - 15°	3	Az Riskli
	0 - 5°	4	Risksiz
Fay hatları ve mesafeleri	0-1,000 m	1	Çok Riskli
	1,001-2,000 m	2	Riskli
	2,001-5,000 m	3	Az Riskli
	10,001 m+	4	Risksiz
Maksimum yer ivmesi (PGA 475)	0,200g,-0,205g	1	Çok Riskli
	0,195g-0,200g	2	Riskli
	0,190g-0,190g	3	Az Riskli
	0,187g-0,200g	4	Risksiz
Bina kat sayısı	6+	1	Çok Riskli
	4-5 kat	2	Riskli
	2-3 kat	3	Az Riskli
	1 kat	4	Risksiz

4.1. Litoloji

Deprem hasar riski ve dağılışı üzerinde etkili olabilecek en önemli parametrelerin başında zeminin

litolojik özellikleri gelmektedir. Genel olarak bazaltik lav, andezit, kalker, serpantin, mermer gibi sert kaya veya pekişmiş rijit zeminler üzerinde inşa edilen yapılarda, deprem deformasyonu ve hasarı düşüktür. Görece

yumuşak/gevşek/pekleşmemiş özellikteki; Blok çakıl, çakıl taşı kum, kumtaşı, kil, kilitaşı silt, killi kalker veya marn gibi malzemelerden oluşan zeminlerde ise deprem deformasyonu ve hasarı yüksektir (Siyahi ve ark, 2013).

Kars kenti zemininin büyük kısmı deprem direnci yüksek volkanik kökenli sert kaya veya pekişmiş rijit malzemelerle, küçük bir kısmı ise deprem direnci düşük görece yumuşak, gevşek, pekleşmemiş özellikteki alüvyal malzemelerle örtülmüştür (Sümengen, 2009). Genel olarak formasyonlar şeklinde incelenen araştırma alanında;

Kars kentinin kuzeydoğusundaki yamaçlar üzerinde bulunan ve % 18,5'ini oluşturan bölümü, ZA zemin sınıfında deprem direnci yüksek genellikle koyu siyah renkli, düzgün sütunsal eklemlili, ortalama 1000 metre kalınlık gösteren olarak adlandırılmış Kuaterner yaşlı Akyağa bazaltı (Ta) tarafından örtülmüştür (Sümengen, 2009).

Kars kentinin güneydoğudaki hafif eğimli düzlükler üzerinde bulunan ve % 41'ini oluşturan bölümü ortalama 350-400 metre arasında kalınlığa sahip, aglomera, tuf ve andezit gibi ZB zemin sınıfındaki orta düzeyde deprem direncine sahip malzemelerden oluşan, Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Kura volkanitleri (Tk) formasyonu üyelerince örtülmüştür (Sümengen, 2009).

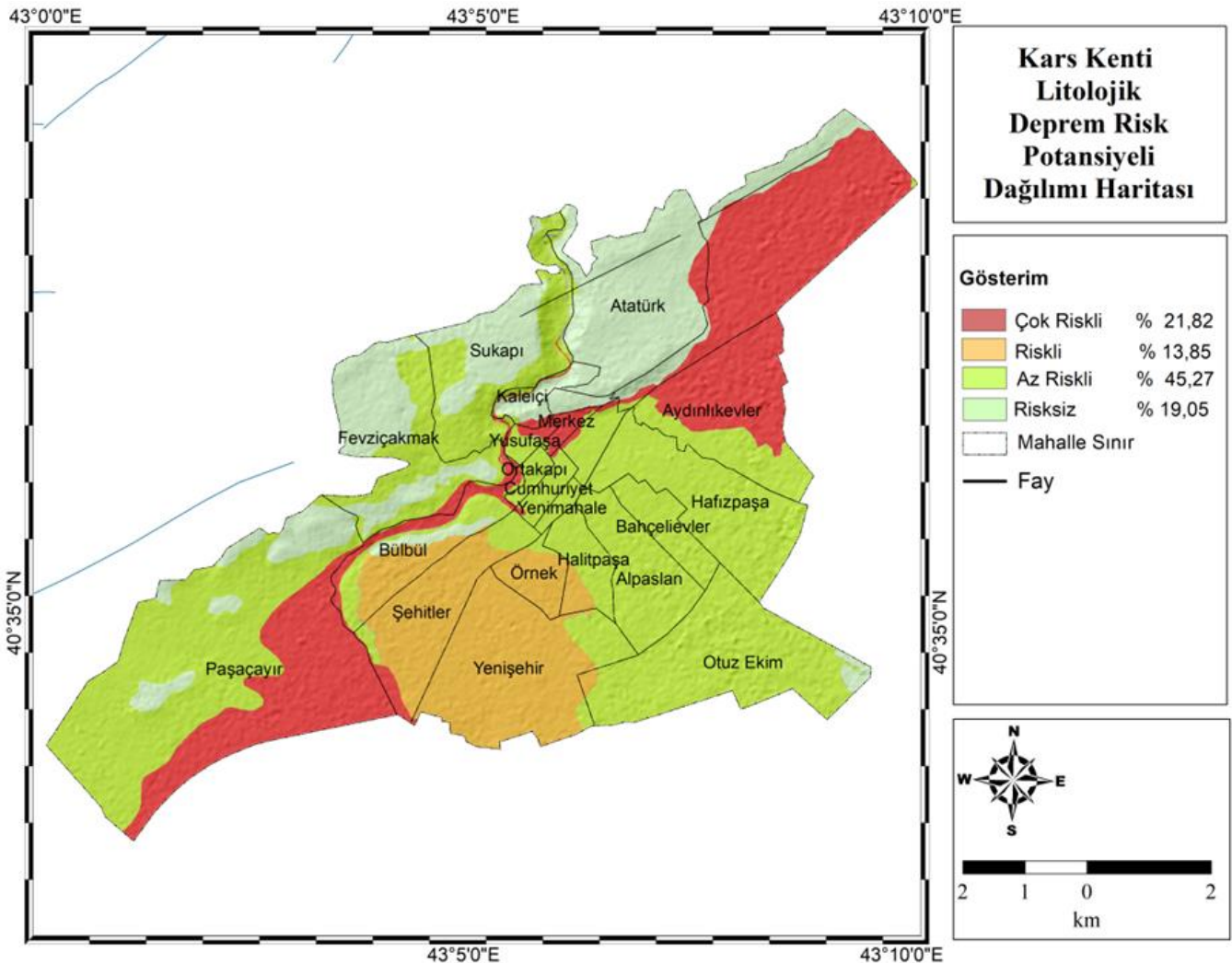
Kars kentsel alanının %4,5'ini oluşturan güneydoğusunda bulunan eğimli yamaçlar tuf, andezit,

pomza perlit gibi orta düzeyde deprem direncine sahip ortalama 50 metre üstünde kalınlığa sahip Dumanlıdağ proklastikleri tarafından örtülmüştür (Şekil 3).

Kars kentsel alanının %14'ünü oluşturan güney ve güneybatısında hafif eğimli düzlükler üzerinde bulunan bölümü, ZC zemin sınıfı deprem direnci nispeten düşük Karasal ortamlarda çökelmiş kumtaşı, çamur taşı, kilitaşı ve marn gibi malzemelerden oluşan 10-540 metre arasında kalınlığa sahip Pliyosen yaşlı Kalkankale formasyonu (Tkk) üyelerince örtülmüştür (Sümengen, 2009).

Kars Kenti arazisinin %21,5'ini oluşturan güneybatısındaki Paşaçayırı ve kuzeydoğudaki Gölyeri düzlükleri üzerinde bulunan bölümü, ZF zemin sınıfında, sıvılaşma olasılığı yüksek, duraylılığı ve deprem direnci oldukça düşük ortalama 1000 metre kalınlığa sahip çakıl, kum, silt ve kil gibi Kuaterner alüvyon (Qa) malzemeler tarafından örtülmüştür (Sümengen, 2009).

Çalışmada, deprem hasar risk potansiyeline etkisi bakımından litoloji faktörü için literatürdeki mevcut araştırmalar (Özşahin, 2014; Güven ve Gerçek, 2017; Jena ve ark., 2020; Karimi ve Najafi (2015); Shawon vd., 2021; Ocak ve Bahadır, 2022) baz alınarak dört kriter alt sınıfı belirlenmiştir. Buna göre araştırma alanının % 36'sının litoloji faktörü bakımından olası depremlerde önemli hasar riski taşıyan 1. ve 2. arazi ağırlık alt sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 3; Tablo 3).



Şekil 3. Kars kenti litolojik risk haritası.

4.2. Hidrojeoloji

Deprem hasar riski üzerinde etkili olabilecek faktörlerin başında zeminin hidrojeolojik özellikleri gelmektedir. Genellikle akarsu ve göl tortul dolgu malzemelerinden oluşan gevşek ve pekişmemiş zeminlerde, yeraltı su seviyelerinin yüzeeye yakın ve doygun olması, olası depremlerde, deprem dalgalarının genliklerini artırarak zeminde sıvılaşma, taşıma gücü kaybı ve zemin büyütmesine yol açabilmekte böylece yapılarda devrilme, batma ve eğilme şeklinde hasarlar meydana gelmektedir (Civelekler ve Afacan, 2023).

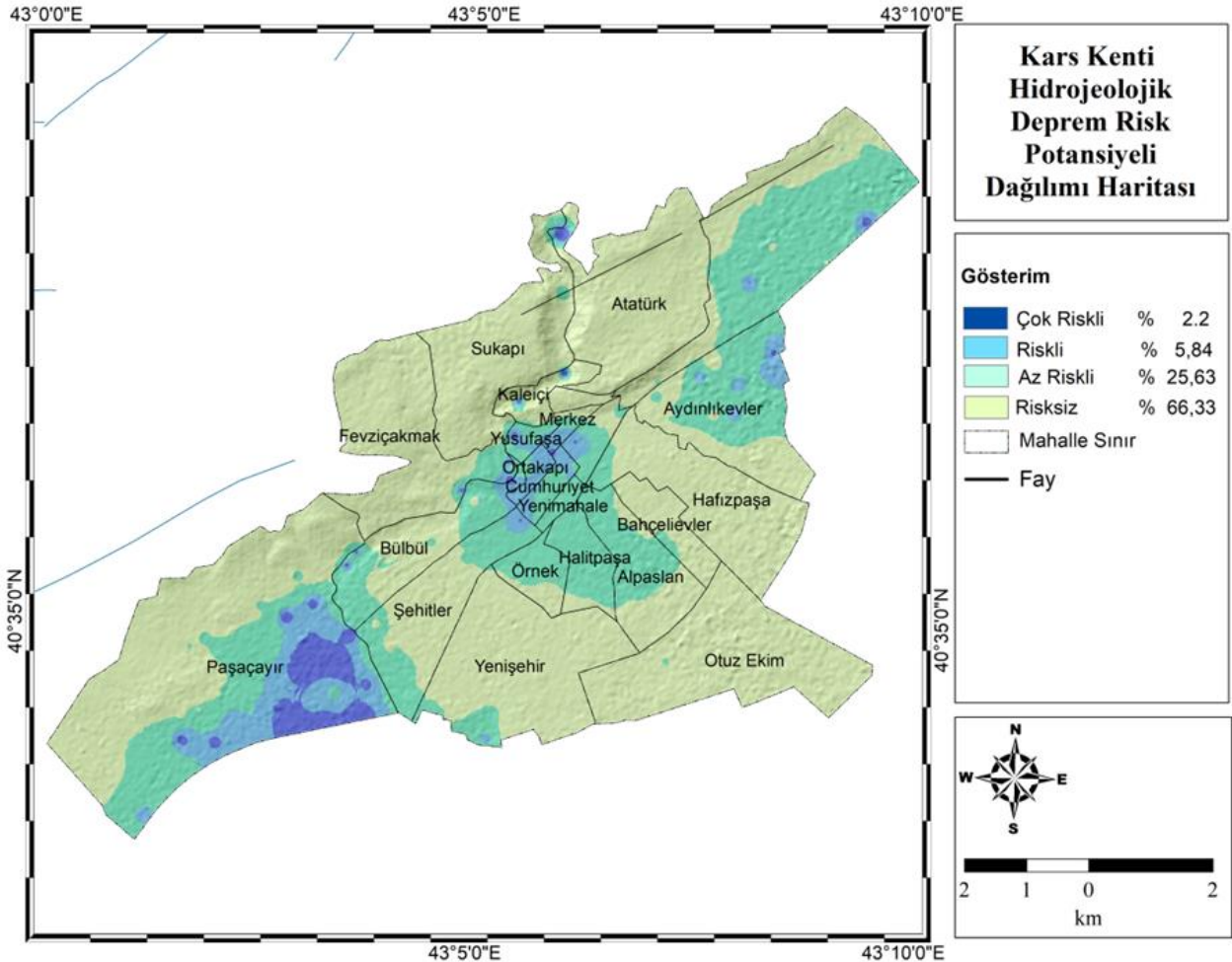
Kars kentinin büyük kısmı çevresine göre alçakta kalan 1750-1850 metre aralığında irtifaya sahip kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu çukur bir alanda yer almakta olup bu nedenle çevre yüksek alanlardan kaynaklanan yer altı ve yerüstü sularının biriktiği bir göllenme alanı özelliği taşımaktadır. Kars kentsel alanında yerel jeomorfolojik ve litolojik özelliklere bağlı olarak yeraltı suyu hetorejen bir dağılım göstermektedir (Demir, 2013).

Kent yerleşim alanı geçirimli litolojik özellikteki kuarterner yaşlı karasal kırıntı ve alüvyonla örtülü zemine sahip kuzeydoğudaki Gölyeri mevki ve Şahnaçayırı ile güneybatıdaki Paşaçayırı düzlüklerinde, yeraltı suyu seviyesi derinliği -10 metre civarında olup yüzeeye oldukça yakındır. Bu nedenle bu alanlardaki zemin olası depremlerde; yüksek oranda sıvılaşma, taşıma gücü kaybı ve zemin büyütmesi potansiyeline sahiptir (DSİ, 2014; Şekil 4).

Buna rağmen bu alanlardan; Paşaçayırı mevkiinde Kafkas üniversitesi kampüsünün batı bölümü ve lojmanlarının yanı sıra çeşitli özellikte ticari iş yeri ve bir miktar konut olarak kullanılan bina, Gölyeri mevkiinde ise kentsel alandaki tüm yapıların % 8'ini oluşturan 1134 bina bulunmaktadır (Kars Belediyesi, 2017). Bu alanlardaki yapılar üzerinde yeraltı suyunun yüksekliği nedeniyle meydana gelen oturmaya bağlı yapısal deformasyonlar dikkat çekici düzeyde olup olası depremlerde büyük hasar riski oluşturmaktadır (Şekil 4).

Kentsel yerleşim alanı sınırları dâhilinde en düşük düzeyde yeraltı suyu potansiyeline yerleşim alanının doğu sınırında yer alan ortalama 2000 metre irtifaya sahip Leylektepe Diktepe ve Kars Kalesinin de üzerinde bulunduğu Karadağ sahiptir. Bu alanlarda olası depremlerde yeraltı suyu seviyesinin yüksekliğine bağlı olarak sıvılaşma, taşıma gücü kaybı ve zemin büyütmesi potansiyeli yok denecek düzeydedir (Şekil 4).

Çalışmada, deprem hasar risk potansiyeline etkisi bakımından hidrojeoloji faktörü için literatürdeki mevcut araştırmalar (Özşahin, 2014; Güven ve Gerçek, 2017; Özşahin ve Eroğlu, 2019; Ocak ve Bahadır, 2022) baz alınarak dört kriter alt sınıfı belirlenmiştir. Buna göre araştırma alanının % 8'inin hidrojeoloji faktörü bakımından olası depremlerde önemli hasar riski taşıyan 1. ve 2. arazi ağırlık alt sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 4; Tablo 3).



Şekil 4. Kars kenti hidrojeolojik risk haritası.

4.3. Arazi eğimi

Yer şekilleri ve arazi eğiminin, deprem hasar risk potansiyeli üzerindeki etkileri konusunda literatürde ittifak edilen kesin bir kriter veya tanım bulunmamaktadır. Buna rağmen topoğrafyanın eğim açısının fazla olduğu alanlarda deprem hasar risk potansiyelinin büyütme etkisi nedeniyle yapılar farklı kuvvetlere maruz kalarak stabilitelelerini kaybetmektedir (Işık ve ark., 2020). Diğer yandan olası depremlerde eğim değerlerinin fazla olduğu alanlarda hasara neden olabilecek heyelan gibi kütle hareketlerinin tetiklenme ihtimali nedeniyle bu alanlar bu bakımdan da önemli risk barındırmaktadır (Özkazanç ve ark., 2020). Bu nedenlerle yerleşim planlamasında 15°'den küçük eğime sahip alanlar yerleşime açılırken bu değer üzerinde eğime sahip alanlar özel mühendislik yapıları ve mücbir sebepler dışında yerleşim için tercih edilmemektedir (Ocak ve Bahadır, 2022).

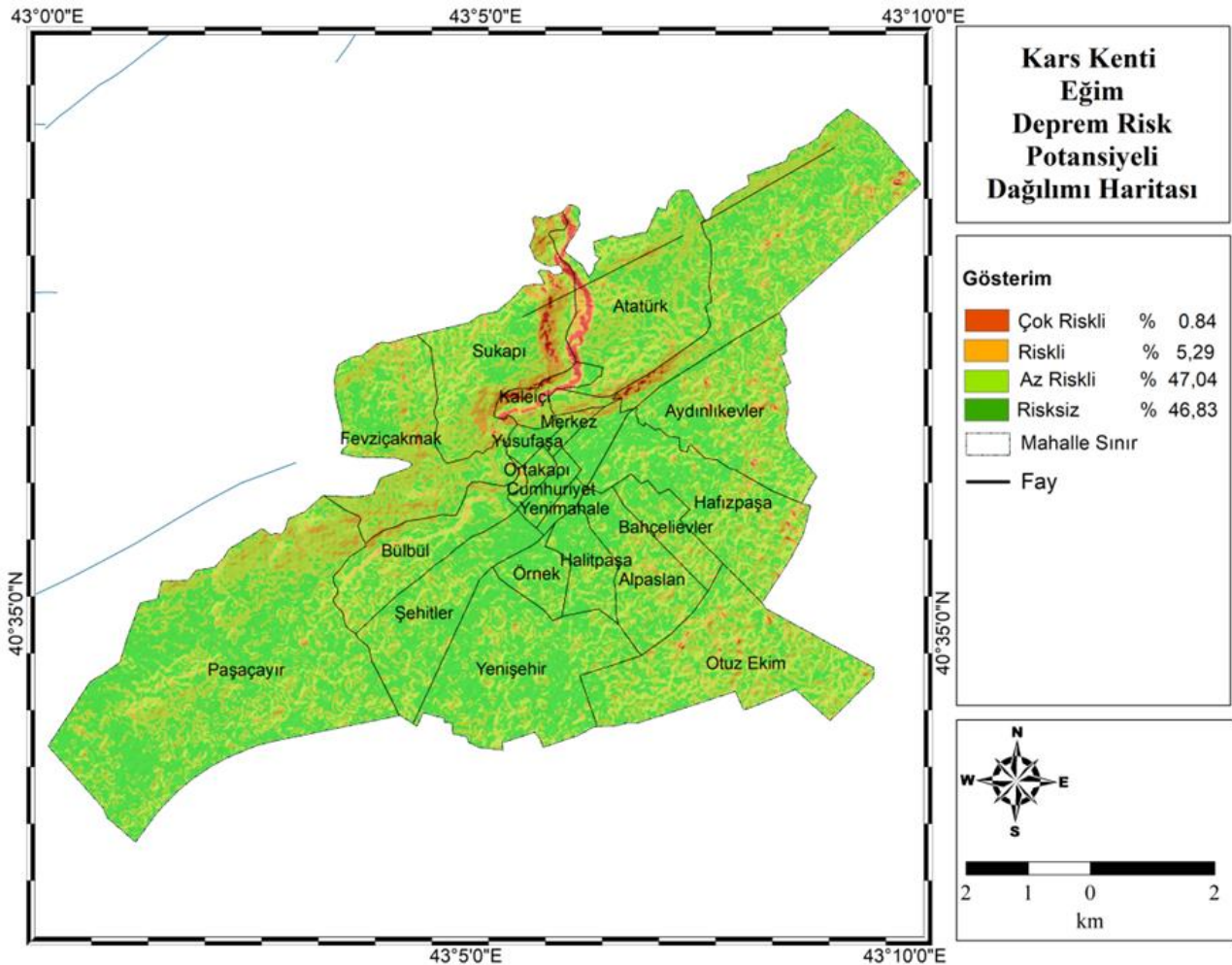
Kars platosu üzerinde yaklaşık 7200 hektar alanda meskûn bulunan Kars kenti sınırları dâhilinde eğim ortalaması 6,5° olup genel morfolojiye uygun olarak homojen bir dağılım göstermektedir.

Eğim değerleri, Kars kentinin % 94 gibi büyük kısmını oluşturan 1.750 metre civarında irtifaya sahip hafif dalgalı ve nispeten düz bir topoğrafya üzerinde yer alan bölümünde 3° civarındadır. Kentteki tüm yapıların % 95'ine sahip olan bu alanda mevcut düşük eğim

değerlerine bağlı olarak oluşabilecek deprem hasar riski oldukça düşük düzeydedir (Şekil 5).

Eğim değerleri Kars kentinin % 6'sını oluşturan 1.750-1.850 metre arasında irtifaya sahip kuzey bölümünde yer alan yamaçlar üzerinde ise artış göstermektedir. Bu alandaki Fevzi Çakmak ve Karadağ mahalleleri meskûn alanlarında ortalama eğim 15° civarındadır. Eğim değerlerinin oldukça fazla olduğu ve kentteki tüm yapıların % 5'inin yer aldığı bu alanda sadece eğim kriteri dikkate alındığında olası depremlerde potansiyel hasar risk düzeyi yüksek görünmektedir. Depremler için sağlama zemin özelliği gösteren Akyaka Bazaltı tarafından örtülen bu alan eğim değerlerinin fazlalığına rağmen 1950'li yıllardan itibaren gecekondular tarafından işgal edilmiştir. Buna rağmen bu alanlardan Karadağ tepe yamaçları üzerinde kentsel dönüşüm amacıyla 2021 yılında toplu konut projesi hayata geçirilmiştir (Şekil 5).

Çalışmada, deprem hasar risk potansiyeline etkisi bakımından arazi eğimi faktörü için literatürdeki mevcut araştırmalar baz alınarak (Sarvar ve ark., 2011; Panahi, vd., 2014; Özşahin, 2014; Güven ve Gerçek, 2017; Ceylan ve Yılmaz, 2020; Jena ve ark., 2020; Karimi ve Najafi (2015); Ocak ve Bahadır, 2022) dört kriter alt sınıfı belirlenmiştir. Buna göre araştırma alanının % 6,13'ünün arazi eğim faktörü bakımından olası depremlerde önemli hasar riski taşıyan 15° ve üzerinde eğime sahip 1. ve 2. arazi ağırlık alt sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 5; Tablo 3).



Şekil 5. Kars kenti eğim risk haritası.

4.4. Fay hatları ve mesafeleri

Depremlerde hasar risk potansiyeli üzerinde en etkili kriterlerden birisi fay hatlarına olan mesafedir. Genel olarak yapıların depremin kaynağını da temsil eden aktif faylara yakın olması eğer zemin ve bina mukavemeti de düşükse hasar riskini arttırmaktadır (Ocak ve Bahadır, 2022). Bu nedenle yapıların fay ve faylardan uzak alanlarda inşa edilmesi deprem hasar riskini düşürebilmektedir.

Depremsellik bakımından oldukça aktif sayılabilecek bir alanda bulunmasına rağmen Kars kenti idari sınırları dâhilinde holosen veya daha genç dönemlerde oluşmuş veya aktif olmuş fay bulunmamaktadır. Buna rağmen kentsel alanın kuzeybatı sınırlarındaki Paşacayı Mahallesi-Kale-Karadağ tepe yönünde birbirinde bağımsız ortalama 5 km uzunluğunda 3 fay yer almaktadır. Kuaterner’de oluştuğu değerlendirilen fayların tarihsel ve aletsel dönemde oluşturdukları kayda geçen deprem tespit edilmemiştir (Bozkuş, 2002).

Kars kentsel alan idari sınırı yakın çevresinde sahanın aktif tektoniği üzerinde etkili olan birçok fay hattı bulunmaktadır. Bu faylardan;

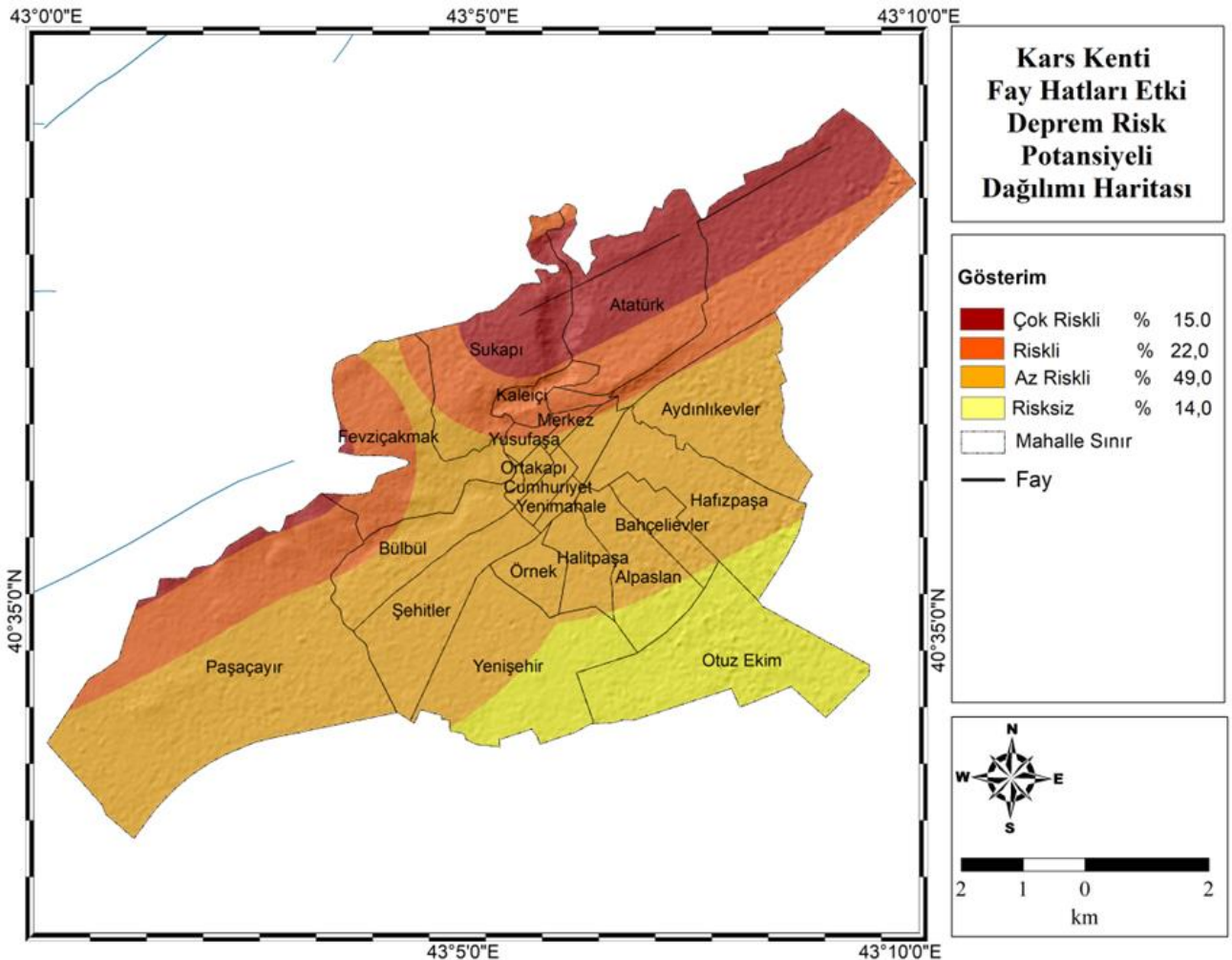
Ölçülü-Digor fayı: Kentsel alanın kuzey doğusunda kuzeybatı güneydoğu yönlü sağ yanal doğrultu atımlı 9 km uzunlukta faydır. Şehrin merkezi alanına 5 km mesafede bulunan fay üzerinde tarihsel ve aletsel dönemde kayda geçen deprem bulunmamaktadır.

İncesu fayı: Kentsel alanın kuzeyinde kuzeydoğu güneybatı yönlü sağ yanal doğrultu atımlı 15 km uzunlukta faydır. Şehrin merkezi alanına 10 km mesafede bulunan fay üzerinde tarihsel ve aletsel dönemde kayda geçen deprem bulunmamaktadır (Demir, 2013).

Yolboyu fayı: Kentsel alanın kuzeydoğusunda kuzeydoğu güneybatı yönlü sağ yanal doğrultu atımlı 6 km uzunlukta faydır. Şehrin merkezi alanına 20 km mesafede bulunan fay üzerinde aletsel dönemde kayda geçen deprem bulunmamaktadır (Demir, 2013).

Kentsel alana ortalama 50 km’den daha uzak alanlarda ise Ermenistan, Çobandede, İğdır, Kağızman, Kötek gibi aktif faylar bulunmakta olup bu fayların oluşturduğu aletsel dönemde kayda geçen depremler kentsel alanda hasara neden olmuştur (Demir, 2013).

Çalışmada, deprem hasar risk potansiyeline etkisi bakımından fay hatları ve mesafeleri faktörü için literatürdeki mevcut araştırmalar (Aghataher ve ark. 2008; Sarvar vd. 2011; Erden ve Karaman, 2012; Özşahin, 2014; Güven ve Gerçek, 2017; Jena ve ark., 2020; Özkazanç ve ark., 2020; Karimi ve Najafi (2015); Ocak ve Bahadır, 2022) baz alınarak dört kriter alt sınıfı belirlenmiştir. Buna göre araştırma alanının % 37’sinin fay hatları ve mesafeleri faktörü bakımından olası depremlerde önemli hasar riski taşıyan 0-2,000 metre aralığında faya hattı mesafesine sahip 1. ve 2. arazi ağırlık alt sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 6; Tablo 3).



Şekil 6. Kars kenti fay hatları mesafesi risk haritası.

4.5. Maksimum yer ivmesi (PGA)

Deprem risk potansiyeli taşıyana alanların belirlenmesinde son dönemlerde kullanılan en önemli parametrelerden biri maksimum yer ivmesidir. Maksimum yer ivmesi veya pik yer ivmesi (PGA) herhangi bir yerde meydana gelebilecek depremlerde ortaya çıkan sismik dalgaların oluşturabileceği maksimum sarsıntı olarak ifade edilmesidir. Deprem büyüklüğünün hasarı arttırdığı yönünde genel görüşün aksine depremlerde meydana gelen hasar büyük oranda maksimum yer ivmesinin oluşturduğu karmaşık hareketlerden kaynaklanmaktadır (Douglas, 2003).

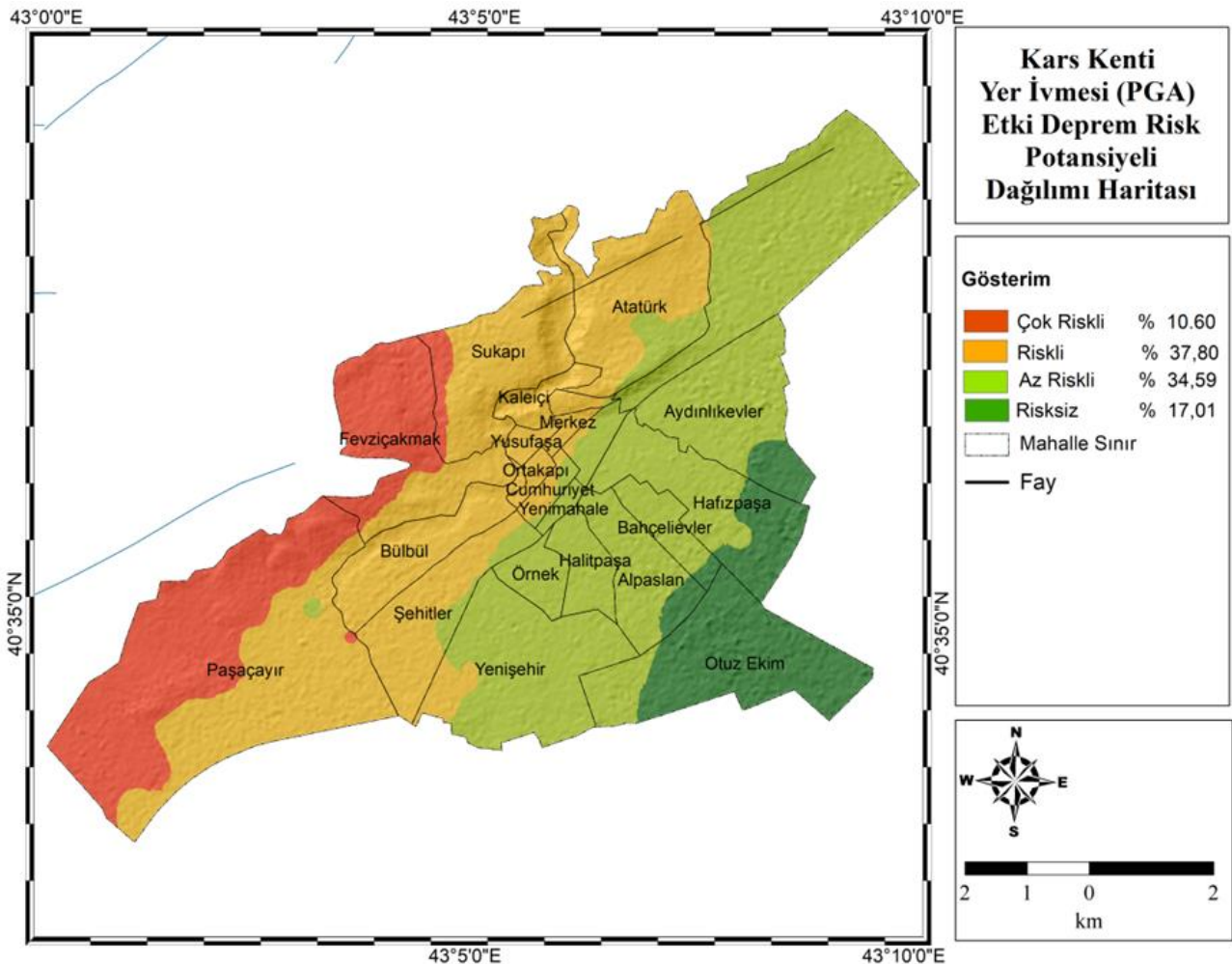
Maksimum yer ivmesi; odak derinliği, yerel litoloji, hidrojeoloji, faylara uzaklık, sarsıntının süresi, sismik dalgaların özellikleri gibi oldukça fazla faktörün bileşimine göre değişiklik gösterebilmektedir. Maksimum yer ivmesi çok kısa mesafelerde büyük dağılım farklılığı gösterebilirken bu değişime bağlı olarak aynı sahada yaşanan depremlerde çok kısa mesafelerde farklı düzeyde etkiler ortaya çıkabilmektedir (USGS, 2023). Bir alan için maksimum yer ivmesinin hesaplanması oldukça karmaşık işlemler gerektirmesi nedeniyle bu çalışmada AFAD tarafından yayınlanan Türkiye deprem tehlike atlası verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan "Deprem Yer Hareketi Düzeyleri ve Yerel Zemin Sınıfları" baz alındığında; Kars kentinde, PGA 475 maksimum yer ivmesi bakımından en küçük değer 0.187

g (gal) ve en büyük değer 0.205 g olup genlik 0,18 g, ortalama en büyük yer ivmesi değeri 0,193 g'dir (AFAD, 2023; Şekil 7).

Kars kentsel alan sınırları ve yakın çevresinde en büyük yer ivmesi değerlerinin düşük genlik göstermesi nedeniyle genel olarak homojen görüntülü bir dağılım bulunmaktadır. Buna rağmen kentsel yapıların % 18,6'sına nüfusun ise % 20,2'sine sahip güneybatıda bulunan Paşaçayırı ile kuzeydoğudaki Merkez ve Yusufpaşa mahalleleri sınırları dâhilindeki Gölyeri, Karadağ mahallesi ve Şahnaçayırı mevkilerinin bulunduğu alanlarda Akarsu ve göl tortularıyla örtülü zeminlerde en büyük yer ivmesi 195 g ortalamaya sahiptir (Şekil 7).

Kentin kuzeyinde kentsel bazaltik volkanik malzemelerle örtülü Karadağ tepe yamaçları üzerindeki çok katlı TOKİ konutlarının bulunduğu Bayrampaşa mahallesinde ise en büyük yer ivmesi 0.201 g civarındadır (Şekil 7).

Çalışmada, deprem hasar risk potansiyeline etkisi bakımından en büyük yer ivmesi faktörü için literatürdeki mevcut araştırmalar (Aghataher ve ark., 2008; Panahi ve ark., 2014; Özşahin, 2014; Güven ve Gerçek, 2017; Ocak ve Bahadır, 2022) baz alınarak dört kriter alt sınıfı belirlenmiştir. Buna göre araştırma alanının % 48,4'ünün en büyük yer ivmesi faktörü bakımından olası depremlerde önemli hasar riski taşıyan 0.195 g -0.205 g arası yer ivmesine sahip 1. ve 2. arazi ağırlık alt sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. Kars kenti maksimum yer ivmesi (PGA) risk haritası.

4.6. Bina/Yapı kat sayısı

Bina kat sayısı ve yüksekliği ile deprem hasar risk potansiyeli arasında doğrudan bir korelasyon bulunmamaktadır. Buna rağmen mühendislik, mimarlık bakımından doğru şekilde tasarlanmamış ve yanlış malzeme kullanılarak inşa edilmiş çok katlı yapıların olası depremlerde hasar risk potansiyelinin daha fazla olduğu (Panahi ve ark., 2014; Yavaşoğlu ve Özden, 2017). Ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremleriyle acı şekilde deneyimlenmiştir.

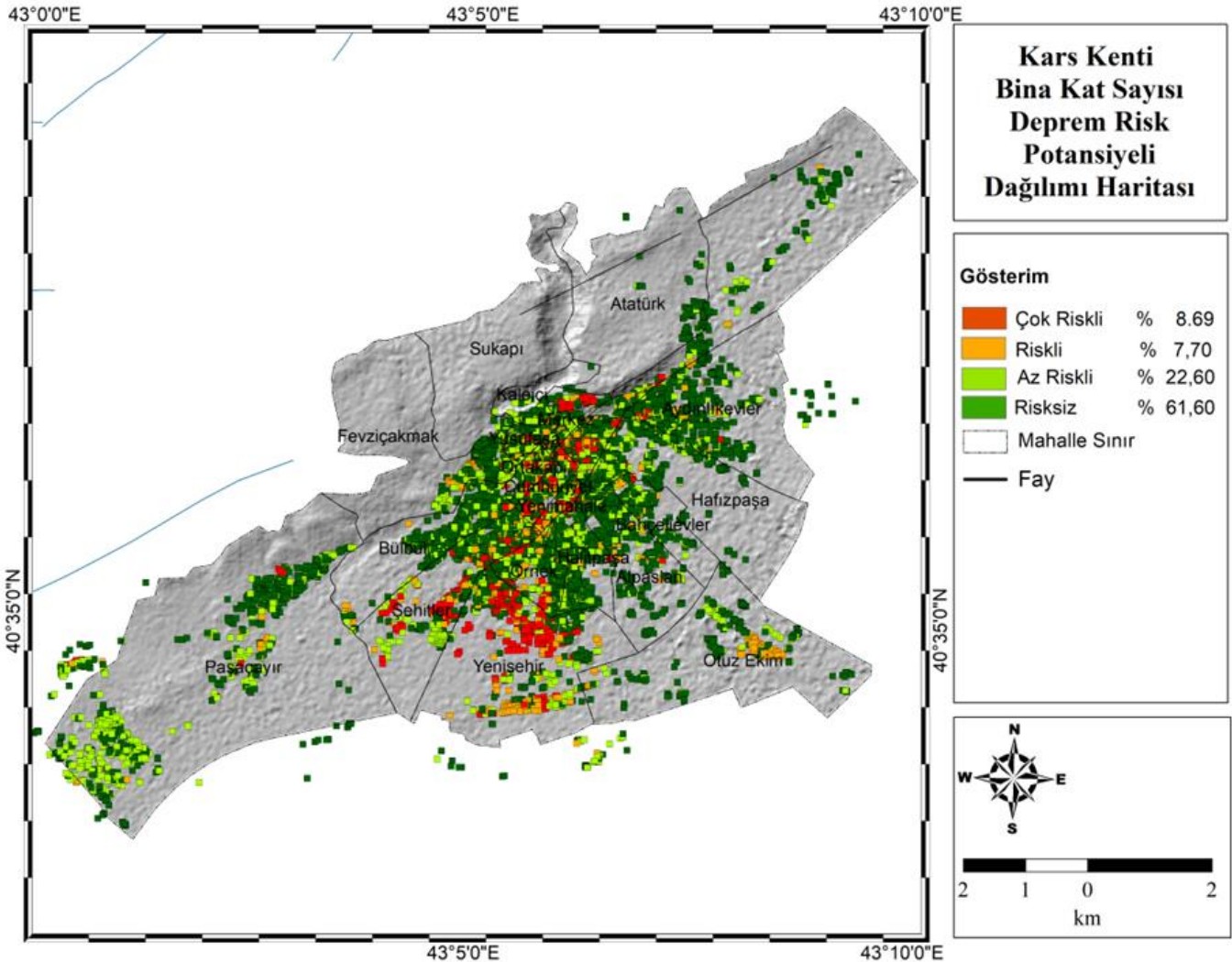
Kars belediyesi verilerine göre 2022 yılsonu itibariyle Kars kentindeki mevcut 14012 binanın % 61,6'sı 1, % 22,6'sı 2-3, % 7,8'i 4-5, % 8'i 6 ve daha fazla kat sayısına sahiptir (Kars Belediyesi, 2017). Kars kentsel alanı idari sınırları dâhilinde bulunan binalar kat sayısı bakımından heterojen bir dağılım göstermektedir.

Kars kentinde deprem ve diğer mevcut jeolojik riskler nedeniyle 1999 yılından itibaren yürürlüğe giren tüm imar planlarında bina kat sayısı en fazla 5 olarak sınırlandırılmıştır. Kentsel alanda maksimum kat sayısına ulaşıp ve görece yüksek katlı binaların tamama yakın kısmı son on yıl içinde kentsel gelişimin fazla olduğu Yenişehir, Şehitler İstasyon, Karadağ ve Merkez mahallerinde inşa edilmiştir.

Buna rağmen yerinde yapılan saha çalışmalarında kentsel alanın birçok yerindeki binalarda izin verilen kat sayısının kaçak şekilde aşıldığı ve münferit dahi olsa da 8-9 katlı binaların da bulunduğu tespit edilmiştir.

Kars kenti idari sınırları dâhilinde bir kısmı gecekondu özelliği taşıyan tek veya birkaç katlı yapıların önemli kısmı doğu sınırlarındaki düzlük alanlarda yer alan ve büyük oranda kırsal karakter gösteren Aydınlikevler, Hafızpaşa, Aydınlikevler, Bahçelievler Alpaslan, Örnek ve Halitpaşa mahallerinde toplanmıştır. Bu alanlarda bulunan yapılar olası depremlerde sadece kat sayısı kriteri dikkate alındığında düşük düzeyde deprem hasar riski taşımaktadır. Buna rağmen bu alanlarda konu edilen düşük kat sayısına sahip yapıların önemli bölümünün deprem direnci düşük yapı malzemelerinden ve plansız olarak inşa edilmiş olması gerçekte bu alanlardaki deprem hasar risk oranını yükseltmektedir (Şekil 8).

Çalışmada, deprem hasar risk potansiyeline etkisi bakımından bina kat sayısı faktörü için literatürdeki mevcut araştırmalar (Sarvar ve ark., 2011; Panahi ve ark., 2014; Yavaşoğlu ve Özden, 2017; Shawon ve ark., 2021) baz alınarak dört kriter alt sınıfı belirlenmiştir. Buna göre araştırma alanındaki binaların % 16,39'unun olası depremlerde önemli hasar riski taşıyan 4 ve daha fazla kat sayısına sahip 1. ve 2. ağırlık alt sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir (Tablo 3; Şekil 8).



Şekil 8. Kars kenti bina kat sayısı risk haritası.

5. AHP analizi ve kriterlere uygulanması

5.1. AHP analizi nedir?

Kars kentindeki deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada, literatür araştırmalarına dayalı olarak belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması ve sıralanması için AHP algoritması kullanılacaktır.

AHP, Saaty (1980), tarafından önerilen en popüler ÇKKV yöntemlerinden biri olup matematik ve psikolojiye dayalı karmaşık karar verme problemlerini organize etmek ve çözmek için yapılandırılmış bir tekniktir. AHP, hiyerarşik bir yapı içerisinde her bir yapısal karar verme ögesinin niceliğini belirlemek için kapsamlı ve mantıksal bir çerçeve sağlar (Saaty 1980),

AHP yöntemi, karmaşık problemleri karar verme kriterlerine ağırlıklar verip ikili karşılaştırmalar yaparak çözmeye çalışır ve AHP yönteminde her bir kriteri önceliklendirmek için karşılıklı durum, homojenlik, bağımlılık ve beklenti ilkeleri takip edilir (Saaty, 1980).

AHP algoritması uygulamasında sırayla;

Adım 1. Hiyerarşik bir yapı oluşturulur. Karar Probleminin hiyerarşik yapısının oluşturulması AHP'nin temelidir. Bu aşamada karar problemini tanımlayan ana kriterler ve alternatifler belirlenir. Daha sonra araştırma problemi belirlenen amaca uygun şekilde kriterlere, alt kriterlere ve alternatiflere bölünür (Saaty, 2008).

Adım 2. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Ana ve alt kriterlerin ikililer halinde karşılaştırılarak göreceli önemlerinin belirlenmesi amacıyla AHP'nin özü olarak kabul edilen ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur (Eşitlik 1).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

matriste;

n , dikkate alınan değerlendirme kriterlerinin sayısıdır ve a_{ij} , (i, j) konumuna atanan, j ile karşılaştırıldığında i kriterinin göreceli önemidir.

Bu aşamada hiyerarşinin her kümesindeki öğeler karşılık gelen diğer grup üyeleriyle, göreceli önemlerinin belirlenmesi amacıyla yoğunluğu birden dokuzaya kadar değişen bir önem ölçeği (Tablo 4) kullanılarak karşılaştırılır (Saaty, 2008).

Tablo 4. AHP ikili karşılaştırma ölçeği.

Değer	Tanım
1	Her iki faktörün eşit önemde olması durumu,
3	i faktörün j faktörden biraz daha önemli olması
5	i faktörün j faktörden fazla önemli olması durumu
7	i faktörün j faktöre göre çok güçlü öneme sahip olması
9	i faktörün j faktöre göre aşırı derecede önemli olması
2,4,6,8	Ara değerler.

Adım 3. İkili karşılaştırma matrisi satır ve sütunları normalize edilir. Bu aşamada matrisin sütunlarında

bulunan elemanlar, yer aldıkları sütunların toplamına bölünerek her bir sütunun toplamı 1 olacak şekilde normalize edilirler. Matrisin satırlarında bulunan elemanlar ise her satırının toplamının matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınmasıyla normalize edilir. Elde edilen değerler her bir kriter için hesaplanan göreceli önem sırası ve ağırlığını gösterir.

Adım 4. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı hesaplanır. Bu aşamanın amacı karar vericinin ikili karşılaştırmalardaki tercihlerinin tutarlılığının belirlenmesidir. Saaty (2008), tutarlılık oranının hesaplanmasında Eşitlik 2 kullanımını önermektedir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Bu aşamada tutarlılık oranının CR 0.10 değerini aşmaması gerekir. Bu değer aşılması karar vericinin tutarsızlığını göstermekte olup bu durumda yapılan ikili karşılaştırmaların tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Saaty (2008), tutarlılık indeksinin hesaplanması için ise; Eşitlik 3 kullanımını önermektedir.

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

Tutarlılık belirlenmesi için kullanılan formüllerde;

CR : Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio),

CI Tutarlılık İndeksi (Consistency Index),

RI Rassallık indeksi (Random Index) değerlerini,

n , kriter sayısı,

λ_{max} , en büyük özdeğeri,

ifade etmektedir.

AHP, coğrafi bilgi sistemleri yazılımlarıyla entegre şekilde yapılan araştırmalarda kullanılan mevcut en gelişmiş yöntemlerin başında gelmektedir. Buna rağmen, yüksek düzeyde aritmetik işlem gerektirmesi ve öz vektör kavramına dayanması nedeniyle AHP ile ilgili hesaplamaların Microsoft Excel, Google Sheets vb. tabanlı elektronik tablolar programlarında yapılmasını gerektirmektedir. Buna rağmen bu programların kullanım karmaşıklığı ve AHP yönteminin işlem basamaklarında bulunan hata yapmaya açık formüllerin varlığı da uygulamayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle aritmetik yoğun kısmı otomatikleştiren ve kullanıcıların, basit bir veri toplama metodolojisini izleyerek sonuca ulaşmalarını sağlayan ve çoğu internet üzerinden de kullanıma açık yazılım araçları oluşturulmuştur (Prachi, 2021).

Kars kentindeki deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada, bu nedenle kriterlerin AHP ağırlıklarının sıralarının ve tutarlılık oranlarının hesaplanmasın için Goepel (2018), tarafından geliştirilen web tabanlı çevrimiçi (AHP-OS) uygulaması kullanılmıştır.

5.2. Araştırma kriterlerinin AHP analizi

Araştırma temel amacı ve literatürdeki mevcut araştırma sonuçları baz alınarak belirlenen, litoloji, hidrojeoloji, fay hatlarına uzaklık, arazi eğimi, maksimum

yer ivmesi, ve bina kat sayısı kriterlerinin ikili karşılaştırmaları için Saaty (2008) tarafından geliştirilmiş 9 önem derecesine göre ikili karşılaştırma yapılabilen AHP ön karar anketi hazırlanmıştır. Bu ön anket, Goepel (2018), tarafından geliştirilen web tabanlı çevrimiçi (AHP-OS) uygulaması kullanılarak çalışma alanında yapı inşa sektöründe çalışan ve sahanın depremsel özelliklerine hâkim yedi jeolog, üç jeofizik ve sekiz inşaat mühendisinden oluşan toplam on sekiz uzmana uygulanmıştır. Elde edilen ön anketlerin geometrik ortalamalarının alınmasıyla araştırma kriterlerinin sonuç ağırlıkları ve tutarlılıkları (AHP-OS) sistemi kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 5; Şekil 9).

Araştırmada seçilen kriterler arasında 15 ikili karşılaştırma yapılmış olup AHP ikili karşılaştırma tutarlılık oranı nicel araştırmalar için kriter kabul edilen CR 0.1 genel tutarlılık oranının altında CR = 0,023 olarak belirlenmiştir (Tablo 5).

Araştırma kriterleri arasında yapılan ikili karşılaştırmalarda hesaplanan en büyük (0,076) ve en küçük (0,016) standart sapma değerleri arası genlik 0,068, ortalama standart sapma değeri 0,036 olarak belirlenmiştir (Tablo 6).

Araştırmada seçilen kriterler arasında en yüksek standart sapma değeri 0.076 ile en büyük kriter ağırlık değerine sahip olan litoloji, en küçük standart sapma değeri ise 0.008 ile en küçük kriter ağırlık değerine sahip olan Bina kat sayısı kriteri belirlemiştir (Tablo 6).

Tablo 5. Çalışma unsurları kıyaslama tablosu.

Sıra	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	7.00	3.00	1.00	7.00
2	0.50	1	7.00	2.00	1.00	7.00
3	0.14	0.14	1	0.50	0.14	1.00
4	0.33	0.50	2.00	1	0.33	6.00
5	1.00	1.00	7.00	3.00	1	9.00
6	0.14	0.14	1.00	0.17	0.11	1

	A- AHP Önceliği	B	Eşit	Ne Kadar Önemli
1	<input checked="" type="radio"/> Litoloji	<input type="radio"/> Hidrojeoloji	<input type="radio"/> 01	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Litoloji	<input type="radio"/> Arazi Eğimi	<input type="radio"/> 01	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input checked="" type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Litoloji	<input type="radio"/> Faylara Uzaklık	<input type="radio"/> 01	<input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Litoloji	<input type="radio"/> En Büyük Yer İvmesi	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
5	<input checked="" type="radio"/> Litoloji	<input type="radio"/> Bina Kat Yüksekliği	<input type="radio"/> 01	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input checked="" type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Hidrojeoloji	<input type="radio"/> Arazi Eğimi	<input type="radio"/> 01	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input checked="" type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
7	<input checked="" type="radio"/> Hidrojeoloji	<input type="radio"/> Faylara Uzaklık	<input type="radio"/> 01	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
8	<input checked="" type="radio"/> Hidrojeoloji	<input type="radio"/> En Büyük Yer İvmesi	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
9	<input checked="" type="radio"/> Hidrojeoloji	<input type="radio"/> Bina Kat Yüksekliği	<input type="radio"/> 01	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input checked="" type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
10	<input type="radio"/> Arazi Eğimi	<input checked="" type="radio"/> Faylara Uzaklık	<input type="radio"/> 01	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
11	<input type="radio"/> Arazi Eğimi	<input checked="" type="radio"/> En Büyük Yer İvmesi	<input type="radio"/> 01	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input checked="" type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
12	<input type="radio"/> Arazi Eğimi	<input checked="" type="radio"/> Bina Kat Yüksekliği	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
13	<input type="radio"/> Faylara Uzaklık	<input checked="" type="radio"/> En Büyük Yer İvmesi	<input type="radio"/> 01	<input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
14	<input checked="" type="radio"/> Faylara Uzaklık	<input type="radio"/> Bina Kat Yüksekliği	<input type="radio"/> 01	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
15	<input checked="" type="radio"/> En Büyük Yer İvmesi	<input type="radio"/> Bina Kat Yüksekliği	<input type="radio"/> 01	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input checked="" type="radio"/> 9

CR = 2.3% OK

Şekil 9. AHP tercihleri sonuç anketi.

Çalışma sahasındaki deprem hasar risk potansiyelin belirlenmesi için yapılan AHP analizleri sonucunda Kars kenti için en yüksek ağırlığa % 30.7 ile Litolojik risk, en düşük ağırlığa ise % 3.2 ile Bina kat sayısı kriterinin sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Çalışma kriterleri ağırlıkları ve standart sap.

Sıra	Kriter	Öncelik Ağırlığı	Sıralama a	+/-
1	Litoloji	% 30.7	1	0,076
2	Hidrojeoloji	% 23.0	3	0,046
3	Arazi Eğimi	% 4.0	5	0,009
4	Fay Hatları Mesafesi	% 11.3	4	0,039
5	Maksimum Yer İvmesi	% 28.1	2	0,036
6	Bina/Yapı Kat Sayısı	% 3.2	6	0,008

5.3. Karar haritası ve dağılım istatistiklerinin oluşturulması

Çalışmanın veri analiz aşamasında, araştırma kriterlerinin ağırlık değerlerinin belirlenmesi amacıyla AHP ikili karşılaştırmaları sonucunda belirlenen kriter ağırlık değerlerinin kullanılmasıyla CBS yazılımı üzerinde bindirme analizi yapılmıştır. Bu analizde Çok riskli alanlar “1” riskli alanlar için “2” az riskli alanlar için “3” risksiz alanlar için “4” önem sınıf kodu kullanılmış böylece araştırma sahasında deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlar haritalandırılarak tespit edilmiştir.

Elde edilen raster formatlı “Kars deprem hasar risk potansiyel haritası” üzerinde ARCGIS 10.5. yazılımı Spatial Analyst Tools modülündeki “Zonal Statistic” aracı kullanılarak yapılan hesaplamalarla sahaya ait istatistik sonuçlar belirlenerek aynı harita üzerine işlenmiştir (Şekil 10).

“Kars deprem hasar risk potansiyel haritası” ile çalışma alanında yerinde yapılan gözlemlerle elde edilen veriler mekânsal bakımdan kontrollü olarak karşılaştırılarak araştırmanın fiziki güvenilirliği kontrol edilmiş sonuçlar karar haritası gösterim bölümüne işlenmiştir (Şekil 10).

5. Bulgular

Kars kentindeki deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesine yönelik olarak kullanılan tüm araştırma kriterleri bakımından, çok yüksek ve yüksek potansiyeli taşıyan 36,8 km² arazi bulunmaktadır. Bu araziler toplam 7152 km² yüzölçümüne sahip Kars kentsel idari sınırları dâhilindeki toplam arazi varlığının %51,5’ini oluşturmaktadır (Şekil 10).

7152 km² yüz ölçüme sahip olan Kars kentinde, deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesine yönelik olarak kullanılan tüm araştırma kriterleri bakımından % 24,5’ini oluşturan 17,48 km²’si “çok riskli”, % 27,04’ünü oluşturan 19,33 km²’si “riskli”, % 30,01’ini oluşturan 21,52 km²’si “az riskli”, % 18,4’ünü oluşturan 13,15 km²’si ise “risksiz” arazilerden oluşmaktadır (Şekil 10).

Kars kentinde mevcut 14,053 bina/yapının % 18,6’sına denk gelen 2612’si araştırmada belirlenen

yüksek düzeyde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlarda bulunmaktadır (Şekil 10).

Kars kentinde ADNKS 2022 yılına itibarıyla mevcut 91450 nüfusun %20,2'sine denk gelen 18,496'sı araştırmada belirlenen yüksek düzeyde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlarda ikamet etmektedir (Şekil 10).

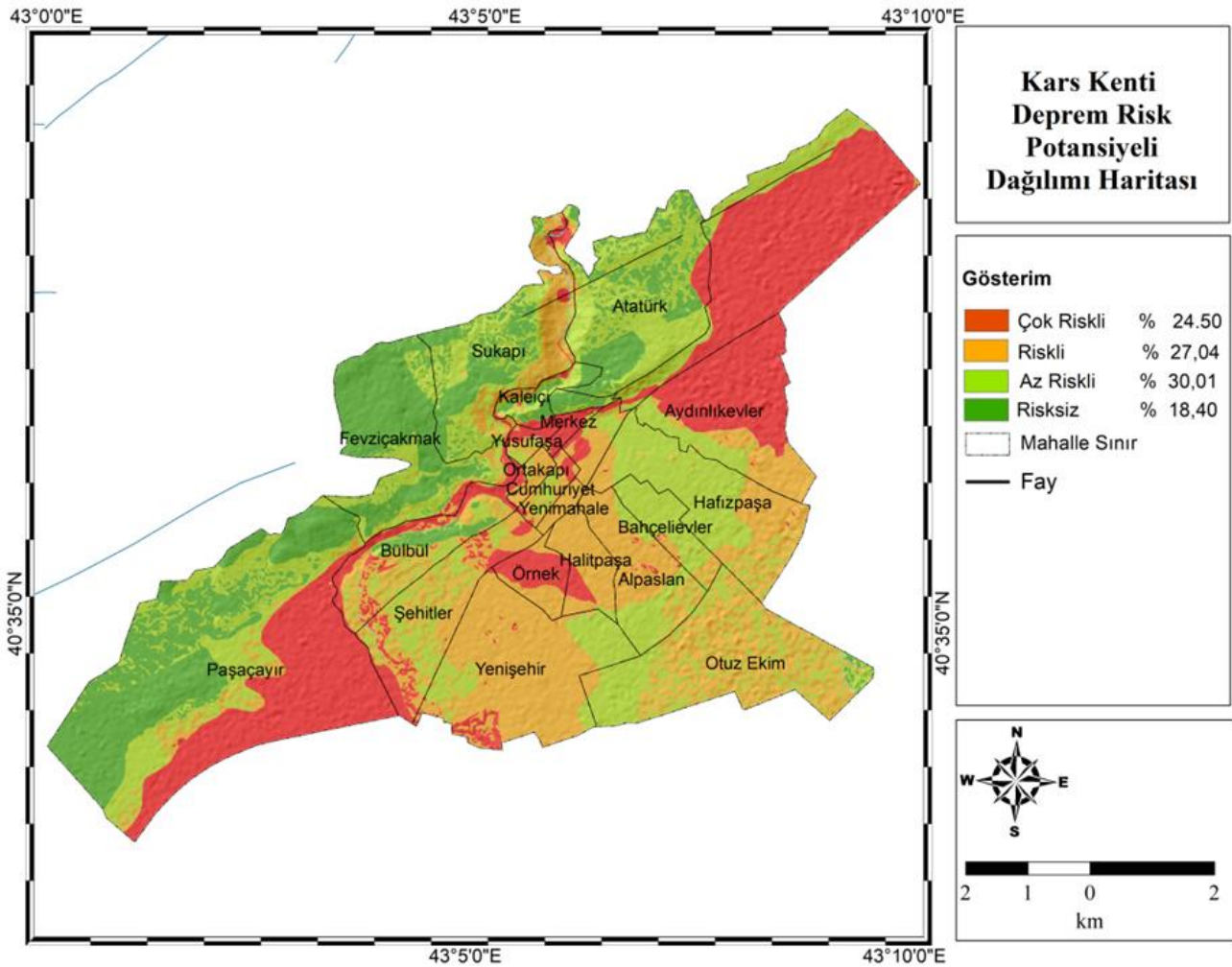
Kars kenti idari alanı sınırları dâhilinde tüm araştırma kriterleri bakımından deprem hasar risk potansiyeli; güneybatıda bulunan Paşaçayırı ile kuzeydoğudaki, Merkez Yusufpaşa ve Aydınlıkevler mahalleleri sınırları dâhilinde bulunan Gölyeri, ve Karadağ mahallesi Şahnaçayırı mevkileri yanında merkezdeki örnek mahallesinde yüksek durumdadır (Şekil 10).

Kars kenti idari alanı sınırları dâhilinde deprem hasar risk potansiyeli kuzeydeki yamaçlar üzerinde bulunan Fevzi Çakmak, Atatürk ve Sukapı mahallerinde yersel

faktörlerin olumlu etkisine bağlı olarak daha düşük durumdadır (Şekil 10).

Kars kentsel idari alanı sınırları dâhilinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlar yerel litoloji, hidrojeoloji, arazi eğimi, faylara olan mesafe, gibi faktörlerin düzensiz şekilde dağılımıyla ilişkili olarak heterojen bir görüntüye sahiptir.

Kars kenti idari sınırları dâhilinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesine yönelik olarak yapılan bu deneysel araştırmada kullanılan bina kat sayısı kriterinin ağırlık oranı %3,2, litoloji, hidrojeoloji, fay hatlarına uzaklık ve en büyük yer ivmesi gibi yersel ana kriterlerinin ağırlığı ise %96,8 olarak belirlenmiştir. Bu durum Kars kentsel alanını etkileyebilecek olası depremlerde, meydana gelebilecek hasarın büyük oranda lokal zemin özelliklerinden kaynaklı olabileceğini göstermektedir.



Şekil 10. Kars kenti deprem hasar risk potansiyeli haritası.

6. Tartışma

Çalışma analizleri sonucunda litoloji, hidrojeoloji, fay hatlarına uzaklık ve en büyük yer ivmesi gibi yersel ana kriterlerinin ağırlığının, araştırma toplam kriter ağırlığının % 92,8'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu kriter ağırlık dağılımı literatürde mevcut deprem hasar risk potansiyelin belirlenmesi için yapılmış çalışmalarda elde edilen kriter ağırlıklarıyla önemli miktarda benzeşmektedir (Özşahin, 2014; Güven ve Gerçek, 2017;

Özşahin ve Eroğlu, 2019; Jena ve ark., 2020; Karimi ve Najafi (2015); Shawon ve ark., 2021; Ocak ve Bahadır, 2022). Bu sonuç verisi araştırma tutarlılığını teyit etmektedir.

Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada, adı geçen yöntemlerden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), kullanılmıştır. Yöntemde hiyerarşi ve ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmasının literatürde yapılmış birçok çalışmada subjektif sonuçlar verebilmesi tespiti

nedeniyle, araştırma kurgusunda bu olumsuzluğun giderilmesi için görüşlerine başvurulmuş, konusunda deneyimli uzman sayısı nicel araştırmalarda güvenli sayılacak minimum düzey ve üzerinde tutulmuştur. Araştırma anketi bu amaçla literatürdeki mevcut çalışmalar dikkate alınarak yapı inşaat sektöründe çalışan ve sahanın depremsel özelliklerine hâkim yedi jeolog, üç jeofizik ve sekiz inşaat mühendisinden oluşan toplam on sekiz uzmana uygulanmıştır. Araştırma güvenilirlik değerinin CR 0,023 olarak gerçekleşmesi araştırmanın ana çerçevesini oluşturan bu kurgu probleminin kabul edilebilir düzeye indirildiğini göstermektedir.

Kars kenti idari sınırları dâhilinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmada genellikle düşük hassasiyeti ve çözünürlüğe sahip raster formatlı veriler yerine daha hassas ve yüksek oranda veri depolanan vektör formatlı veriler kullanılmıştır. Bu şekilde araştırmanın ana amacına uygun olarak daha hassas analizlere dayalı olarak mekânsal dağılım ve özellikler belirlenmiş olup bu durum araştırma sahasında yapılan gözlemler ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri üzerinde yapılan doğrulama amaçlı karşılaştırmalarla teyit edilmiştir.

Kars kenti idari sınırları dâhilinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların tespit edilerek haritalanması amacıyla yapılan çalışmada belirlenen riskli alanlar, yerinde yapılan gözlemlerle elde edilen gerçek saha verileriyle büyük oranda örtüşmektedir. Bu durum araştırma yönteminin güvenilirlik ve geçerliliğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

7. Sonuçlar

Çalışma analizleri sonucu Kars belediye idari sınırları dâhilinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan 36,8 km² arazi tespit edilmiş olup bu araziler kent yüzölçümünün %51,5'ini oluşturmaktadır.

Araştırmada deprem hasar riskinin belirlenmesi için kullanılan tüm kriterler bakımından Kars kentinin % 24,5'ini oluşturan 17,48 km²'si "çok riskli", % 27,04'ünü oluşturan 19,33 km²'si "riskli", % 30,01'ini oluşturan 21,52 km²'si "az riskli", % 18,4'ünü oluşturan 13,15 km²'si ise "risksiz" arazi sınıfında bulunmaktadır.

Kars kentinde mevcut 14,053 bina/yapının % 18,6'sına denk gelen 2612 adedi araştırmada belirlenen yüksek düzeyde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlarda bulunmaktadır.

Kars kentinde ADNKS 2022 yılsonu itibariyle mevcut 91.450 nüfusun % 20,2'sine denk gelen 18,496'sı araştırmada belirlenen yüksek düzeyde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlarda ikamet etmektedir.

Kars kenti idari alanı sınırları dahilinde tüm araştırma kriterleri bakımından deprem hasar risk potansiyeli güneybatıda bulunan Paşaçayırı, ile kuzeydoğudaki Merkez ve Yusufpaşa mahalleleri sınırları dahilinde bulunan Gölyeri, ve Karadağ mahallesi Şahnaçayırı mevkiğinde yüksek durumdadır (Şekil 10).

Kars kenti idari alanı sınırları dahilinde deprem hasar risk potansiyeli kuzeydeki yamaçlar üzerinde bulunan Fevzi Çakmak, Atatürk ve Sukapı mahallerinde yersel faktörlerin olumlu etkisine bağlı olarak daha düşük durumdadır.

Kars kentsel idari alanı sınırları dâhilinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlar yerel litoloji, hidrojeoloji, arazi eğimi, faylara olan mesafe, gibi faktörlerin düzensiz şekilde dağılımıyla ilişkili olarak heterojen bir görüntüye sahiptir.

Kars kentsel idari alanı sınırları dâhilinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlar yerel litoloji, hidrojeoloji, arazi eğimi, faylara olan mesafe, gibi faktörlerin düzensiz şekilde dağılımıyla ilişkili olarak heterojen bir görüntüye sahiptir.

Kars kenti idari sınırları dâhilinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların tesit edilmesi için kullanılan bina kat sayısı kriterinin ağırlık oranı % 0,08, litoloji, hidrojeoloji, fay hatlarına uzaklık ve en büyük yer ivmesi gibi yersel ana kriterlerinin ağırlığı ise % 92,8 olarak belirlenmiştir. Bu durum Kars kentsel alanını etkileyebilecek olası depremlerde hasarın büyük oranda lokal zemin özelliklerinden kaynaklı olarak meydana gelebileceğini göstermektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Mucip Demir: Literatür taraması, Veri toplama, Modelleme, Makale yazımı; **Namık Tanfer Altaş:** Düzenleme, Makale Yazımı

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- AFAD (2023). Deprem Nedir? T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı <https://www.afad.gov.tr/deprem-nedir>
- AFAD (2023). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>
- Aghataher, R., Delavar, M. R., Nami, M. H., & Samnay, N. (2008). A fuzzy-AHP decision support system for evaluation of cities vulnerability against earthquakes. *World Applied Sciences Journal*, 3(1), 66-72.
- Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied energy*, 206, 1225-1240. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>
- Al-Harbi, K. M. A. S. (2001). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19(1), 19-27. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-1)
- Aydın, F., & Sağdıç, M. (2020). Yeri Şekillendiren iç kuvvetler: Deprem ve Volkanizma. Pegem Akademi. Ankara.
- Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., & Altın, N. (1991). Türkiye'de hasar yapan depremler. *Deprem Araştırma Bülteni*, 18(69), 113-126.
- Bozkuş, C (2002), Kars ve Yakın Çevresinin Sismotektoniği. Akhaltsikhe-Kars Bilim Sempozyumu, Akhaltsikhe-Gürcistan

- Ceylan, Ş., & Yılmaz, I. (2020). Orta ölçekli yerleşime uygunluk planlarının CBS tabanlı analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılarak hazırlanması: Sivas il merkezi örneği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(3), 545-558. <https://doi.org/10.5505/pajes.2019.98975>
- Civelekler, E., & Afacan, K. B. (2023). Yeraltı suyunun spektral davranışa etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 256-264. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1187363>
- 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>
- Demir, M. (2013). Kars Kent Coğrafyası. (Yayın no: 326848), [Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi],
- Demir, M. (2015). Kars ilinin nüfus gelişimi ve başlıca demografik özellikleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 20(34), 127-156. <https://doi.org/10.17295/dcd.76933>
- Demir, M., & Alım, M. (2017). Fonksiyonel özellikleri bakımından Kars kenti. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 537-560.
- Douglas, J. (2003). Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates. *Earth-Science Reviews*, 61(1-2), 43-104. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00112-5)
- DSİ (2014). Kars Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu, Kars.
- Erden, T., & Karaman, H. (2012). Analysis of earthquake parameters to generate hazard maps by integrating AHP and GIS for Küçükçekmece region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(2), 475-483. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-475-2012>
- Goepel, K. D. (2018). Implementation of an online software tool for the analytic hierarchy process (AHP-OS). *International journal of the analytic hierarchy process*, 10(3), 469-487. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- Gündüz, T. (2008). "Kars", Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, <https://islamansiklopedisi.org.tr/kars>
- Güven, İ. T., & Gerçek, D. (2017). Değirmendere'nin CBS Tabanlı Deprem Risk ve Erişebilirlik Analizi. *Resilience*, 1(1), 31-45. <https://doi.org/10.32569/resilience.364276>
- Hoşgören, M. Y. (1993). Jeomorfolojinin Ana Çizgileri-I (4. Baskı). İstanbul: İstanbul Üniversite Yayın, (3822).
- Işık, E., Karasin, İ. B., & Ulu, A. E. (2020). Eğimli Zeminlerde İnşa Edilen Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 162-170. <https://doi.org/10.31590/ejosat.757763>
- Jena, R., Pradhan, B., Al-Amri, A., Lee, C. W., & Park, H. J. (2020). Earthquake probability assessment for the Indian subcontinent using deep learning. *Sensors*, 20(16), 4369. <https://doi.org/10.3390/s20164369>
- Karimi, M., ve Najafi, E., (2015). Earthquake Risk Assessment Using AHP-FUZZY Combined Model in Urban Security (Case Study: Region1 of Tehran metropolitan). *Research And Urban Planning*, 6(20), 17-34.
- Kars Belediyesi (2017). Kars Belediyesi İmar Planı.
- Köksalan, M. M., Wallenius, J., & Zions, S. (2011). Multiple criteria decision making: from early history to the 21st century. *World Scientific*. ISBN-13 978-9814335584
- Kuşçu, İ., Kopar, İ., & Bakırtaş, İ. (2019). Erzurum ilinde (Türkiye) 1907-2018 yılları arasında kaydedilen M_z ≥ 3.0 depremlerin mekânsal analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23(4), 1607-1624.
- Ocak, F. ve Bahadır, M. (2022). CBS teknikleri kullanılarak deprem duyarlılık analizi için Analitik Hiyerarşi Prosesi: Samsun Ladik Gölü Havzası örneği, *Türkiye. Kesit Akademi Dergisi*, 8 (33), 322-348.
- Özkazanç, S., Siddiqui, S. D., & Güngör, M. (2020). Sensitivity analysis of earthquake using the analytic hierarchy process (AHP) method: Sample of Adana. *İdealkent*, 11(30), 570-591. <https://doi.org/10.31198/idealkent.716402>
- Özşahin, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak Tekirdağ ilinde deprem hasar riski analizi. *Journal of Human Sciences*, 11(1), 861-879.
- Özşahin, E., & Eroğlu, İ. (2019). Erzincan kentinde yerel zemin özelliklerinin deprem duyarlılığına etkisi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 41-57. <https://doi.org/10.21324/dacd.428012>
- Panahi, M., Rezaie, F., & Meshkani, S. A. (2014). Seismic vulnerability assessment of school buildings in Tehran city based on AHP and GIS. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(4), 969-979. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-969-2014>
- Prachi, J. (2021) What is analytical hierarchy process (AHP) and how to use it. <https://www.managementstudyguide.com/analytical-hierarchy-process.htm>
- Saaty, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill. Pittsburgh: RWS Publications ISBN: 0070543712, 9780070543713
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of Services sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Sarı, F., & Sen, M. (2017). Least cost path algorithm design for highway route selection. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.26833/ijeg.285770>
- Sarvar, H., Amini, J., & Laleh-Poor, M. (2011). Assessment of risk caused by earthquake in region 1 of Tehran using the combination of RADIUS, TOPSIS and AHP models. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 1(1), 39-48.
- Shawon, T. A., Mahmud, M. A., Rahman, M. M., Ubaura, M., & Rashied, M. (2021). Evaluating earthquake vulnerability using Analytical Hierarchy Process (AHP) and social appraisal of retrofitting in Lalmatia, Dhaka. 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering, 1CroCEE, Zagreb, Croatia, 145-156. <https://doi.org/10.5592/CO/1CroCEE.2021.199>
- Siyahi, B., Çetin, K. Ö., & Bilge, H. T. (2013). Geoteknik deprem mühendisliği açısından zemin-temel-yapı

- etkileşimine kritik bakış. Türkiye Mühendislik Haberleri, 484, 41-50.
- Sümengen, M. (2009). 1:100.00 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Kars H50 paftası, no 108. Jeolojik Etütler Dairesi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara
- Tavana, M., Soltanifar, M., & Santos-Arteaga, F. J. (2023). Analytical hierarchy process: Revolution and evolution. *Annals of operations research*, 326(2), 879-907. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04432-2>
- Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
- USGS, (2023), Earthquake lists, maps, and statistics, U.S. Geological Survey, <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/lists-maps-and-statistics>
- Yavaşoğlu, F., & Özden, Ç. V. (2017). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi süreci kullanılarak deprem hasar riski analizi: Kadıköy örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(3), 28-38.
- Yemenicioglu, C., Kaya, Ş., & Seker, D. Z. (2016). Accuracy of 3D (three-dimensional) terrain models in simulations. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 34-38. <https://doi.org/10.26833/ijeg.285223>
- Yılmaz, D., Akkaya, S., & Vaheddoost, B. (2023). Gemlik İlçesi rüzgâr enerji santrali potansiyel yer analizi. *Geomatik*, 8(3), 264-276. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1209940>



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