

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA GÜNCEL KONULAR VE AKADEMİK DEĞERLENDİRMELER

Editör: Prof.Dr. İbrahim YILMAZ



yaz
yayınları

**Harita Mühendisliği Alanında
Güncel Konular ve Akademik Değerlendirmeler**

Editör

Prof.Dr. İbrahim YILMAZ

yaz
yayınları

2026

Harita Mühendisliği Alanında Güncel Konular ve Akademik Değerlendirmeler

Editör: Prof.Dr. İbrahim YILMAZ

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8926-89-7

Ekim 2026 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Çivril (Denizli) İlçesi Tarih Turizmi Alanlarının 3B Tematik Haritalanması.....	1
<i>Ali TÜRK, İbrahim YILMAZ</i>	
Ali Macar Reis Atlası Üzerine Kartografik İncelemeler	25
<i>Elif BİLASA KURT, İbrahim YILMAZ</i>	
Quality and Uncertainty in Multi-Source 3D Geospatial Data: From Data Production to Gis-Based Analysis	54
<i>Osman Sami KIRTILOĞLU, Müge AĞCA</i>	
Geovisual Analytics: Cartographic Foundations, Interactive Visualization, and Spatial Decision Support.....	74
<i>Osman Sami KIRTILOĞLU, İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ</i>	
Konik Projeksiyonlar Üzerine Düşünceler	97
<i>İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ, Sefa Naciye TEKELİOĞLU</i>	
Türkiye'deki Dört Ramsar Alanında Kuş Gözlem Turizmi İçin Altyapı Erişilebilirliğinin CBS Tabanlı Çok Kriterli Analizi	118
<i>Tevfik SEZER, Mehmet DOĞRULUK</i>	
2026 Tahran Çatışmasının Hava Kalitesine Etkileri: Çok Kaynaklı Uydu Verileriyle Bir Değerlendirme	136
<i>Hüsniye DOĞAN, Mehmet DOĞRULUK</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

ÇİVRİL (DENİZLİ) İLÇESİ TARİH TURİZMİ ALANLARININ 3B TEMATİK HARİTALANMASI ¹

Ali TÜRK²

İbrahim YILMAZ³

1. GİRİŞ

Canlılar, yaşadıkları coğrafi çevreyi tanıma, anlama ve öğrenme konusunda tarih boyunca merak duymuşlardır. İnsanlık tarihinde yazının icadıyla birlikte coğrafi çevrenin tanımlanması ve kayıt altına alınmasına yönelik sistematik çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmalar, kimi zaman yazılı betimlemeler şeklinde, kimi zaman ise mekânsal bilgiyi görsel olarak ifade eden haritalar aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Böylece haritalar, insanların yaşadıkları çevreyi anlamalarına, tanımlamalarına ve gelecek nesillere aktarmalarına olanak sağlayan en önemli bilgi aktarım araçlarından biri hâline gelmiştir. Toplumların gelişmesi, nüfusun artması ve buna bağlı olarak ekonomik, sosyal ve idari ihtiyaçların çeşitlenmesi, haritacılık faaliyetlerinin gelişiminde önemli bir rol oynamıştır. İlk dönem haritaları; avlak alanlarının belirlenmesi, doğal kaynakların gösterimi, yerleşim alanlarının planlanması ve ulaşım güzergâhlarının oluşturulması gibi amaçlarla hazırlanmıştır. Bununla birlikte, haritacılığın tarihsel süreçte en önemli kullanım alanlarından biri mülkiyet haklarının

¹ Bu çalışma, Ali TÜRK tarafından Prof. Dr. İbrahim Yılmaz danışmanlığında hazırlanan Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

² Yüksek Mühendis, Dalaman (Muğla) Belediyesi, ORCID: 0009-0008-9704-2528.

³ Prof. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ORCID: 0000-0003-0510-9446.

belirlenmesi ve korunması olmuştur. Arazi sınırlarının doğru bir şekilde belirlenmesi ve kayıt altına alınması, bireylerin mülkiyet haklarının güvence altına alınmasının yanı sıra, toplumsal düzenin sağlanması ve hukuki anlaşmazlıkların önlenmesi açısından da büyük önem taşımıştır.

Kama'ya (2010) göre mülkiyet hakkının ortaya çıkmasının temel nedeni, doğal kaynakların sınırlı olması ve bu sınırlılığın kaynakların paylaşımına ilişkin kuralların oluşmasını zorunlu kılmasıdır. Bu kapsamda mülkiyet hakları, bireylerin sahip oldukları kaynakları etkin ve verimli bir şekilde kullanmalarını sağlayan hukuki ve ekonomik düzenlemeler bütünü olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, mülkiyet haklarının güvence altına alınması amacıyla gerçekleştirilen kadastro ve haritalama çalışmaları, haritacılık biliminin gelişiminde belirleyici unsurlardan biri olmuştur.

Bilginin görselleştirilmesinde en yaygın kullanılan kartografik araçlardan biri tematik haritalardır. Tematik haritalar, belirli bir konuya ilişkin mekânsal ve istatistiksel verilerin harita üzerinde görselleştirilmesini sağlayan, iki veya üç boyutlu gösterim tekniklerini kullanarak bilgi aktarımı gerçekleştiren haritalardır (Yomralıoğlu, 2002). Bu haritalar, genel coğrafi özellikleri ayrıntılı biçimde sunmak yerine belirli bir tema veya olguya odaklanarak, kullanıcıların ilgili bilgiyi daha kolay yorumlamasına ve analiz etmesine olanak sağlamaktadır (Yılmaz, 2014).

Sanayi Devrimi sonrasında yaşanan ekonomik ve teknolojik gelişmeler, turizm sektörünün ülkelerin ekonomik, sosyal ve kültürel kalkınmasındaki önemini giderek artırmıştır. Özellikle 20. ve 21. yüzyılda teknolojik ilerlemeler sonucunda üretim süreçlerinde beden gücüne olan ihtiyacın azalması, hizmet sektörünün büyümesine katkı sağlamış ve turizm, istihdam oluşturma kapasitesi yüksek stratejik sektörlerden biri hâline

gelmiştir (Küçükaltan ve Akkaşoğlu, 2016). Bununla birlikte turizm, kültürel mirasın korunması, tanıtılması ve gelecek kuşaklara aktarılması açısından da önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Denizli ili Çivril ilçesinde bulunan ve kültürel miras niteliği taşıyan tescilli tarihi yapıların korunmasına, tanıtılmasına ve dijital ortamda belgelenmesine katkı sağlamak amacıyla üç boyutlu tematik haritalar üretilmiştir. Hazırlanan tematik haritalar, tarihi yapıların mekânsal konumlarını ve temel özelliklerini üç boyutlu görselleştirme teknikleriyle sunarken, aynı zamanda dijital arşivleme çalışmalarına da altlık oluşturulmuştur. Böylece kültürel miras unsurlarının daha erişilebilir, anlaşılabilir ve sürdürülebilir bir şekilde kayıt altına alınması sağlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Tematik Haritalar

Haritalar, kullanım amaçlarına göre farklı türlere ayrılmakta olup, belirli bir olay veya olgunun mekânsal dağılımını göstermeyi amaçlayan haritalar tematik haritalar olarak tanımlanmaktadır. Bu haritalarda kullanılan altlık, yön bulmayı kolaylaştırmak ve sunulan temanın anlaşılabilirliğini artırmak amacıyla yer almaktadır (Aktaş, 2025). Topografik ve tematik haritalar arasında kesin bir ayrım yapmak her zaman mümkün değildir. Topografik bir haritaya belirli bir temaya ilişkin bilgilerin eklenmesi, haritanın tematik nitelik kazanmasını sağlayabilmektedir (Uluğtekin vd., 2000).

Tematik haritalarda topografik detaylar ikinci planda tutulmakta, yalnızca temanın mekânsal sınırlarını ve konumunu destekleyecek düzeyde kullanılmaktadır. Böylece haritanın temel amacı olan istatistiksel veya tematik bilginin kullanıcı tarafından

daha kolay algılanması sağlanmaktadır. Bu nedenle tematik haritalar, ayrıntılı topografik doğruluktan ziyade bilgi aktarımının etkinliğini ön planda tutmaktadır.

Tematik haritalar, içerdiği verinin niteliğine göre niteliksel ve niceliksel olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Niteliksel tematik haritalar, nominal verilerin coğrafi dağılımını gösterirken, niceliksel tematik haritalar sayısal verilerin mekânsal değişimini görselleştirmektedir. Niceliksel gösterimlerde dereceli semboller, renk tonları veya oran ölçekleri kullanılarak bölgeler arasındaki farklılıklar ortaya konulmaktadır (İnal, 2006).

Tematik haritalar çoğunlukla iki boyutlu olarak üretilmekle birlikte, gelişen coğrafi bilgi teknolojileri sayesinde üç boyutlu uygulamalar da yaygınlaşmaktadır. İki boyutlu tematik haritalar, nokta, çizgi ve alan sembolleri aracılığıyla tematik bilgiyi sunarken; üç boyutlu tematik haritalar yükseklik ve hacim bilgisini de görselleştirerek mekânsal verilerin daha gerçekçi, anlaşılır ve etkili biçimde sunulmasına olanak sağlamaktadır. Bu özellikleri nedeniyle üç boyutlu tematik haritalar, özellikle kültürel mirasın belgelenmesi, turizm, şehir planlama ve karar destek süreçlerinde önemli avantajlar sunmaktadır.

Tematik haritalar,

- Nokta yoğunluklu haritalar
- Oransal işaretli haritalar
- Akış haritaları
- Koroplet haritalar
- Eşdeğer eğrili haritalar
- Grafiksel haritalar
- Kartogram haritalar

olarak sınıflandırılabilir (HKMO, 2026).

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), coğrafi konuma bağlı verilerin toplanması, depolanması, yönetilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi, sorgulanması ve görselleştirilmesini sağlayan bütünleşik bilgi sistemleridir. Uluslararası literatürde Geographic Information Systems (GIS) kısaltmasıyla ifade edilmektedir. CBS; doğal bitki örtüsü, yeryüzü şekilleri, nüfus, ulaşım ağları ve yerleşim alanları gibi konumsal verilerin sayısal ortama aktarılmasını, bu verilerden yeni bilgilerin üretilmesini, analiz edilmesini ve sonuçların harita, grafik veya üç boyutlu modeller aracılığıyla görselleştirilmesini sağlayan teknoloji tabanlı bir sistemdir (İncekara vd., 2009). Bu yönüyle CBS, mekânsal karar verme süreçlerini destekleyen en önemli araçlardan biri olarak kabul edilmektedir.

CBS'nin ilk uygulamalarından biri, 1960'lı yıllarda Kanada'da doğal kaynak envanterinin oluşturulması amacıyla geliştirilen Kanada Coğrafi Bilgi Sistemi (Canada Geographic Information System - CGIS) olmuştur. Bunu, Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilen Dual Independent Map Encoding (DIME) sistemi izlemiştir. Ancak CBS'nin yaygın olarak kullanılmaya başlanması, bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak 1980'li yıllarda gerçekleşmiştir (Kuper ve Kuper, 2016).

Günümüzde CBS; yazılım, donanım, veri, yöntem ve kullanıcı bileşenlerinden oluşan bütünleşik bir sistem yapısına sahiptir. İnternet teknolojileri ve mobil cihazların yaygınlaşmasıyla birlikte CBS uygulamaları masaüstü bilgisayarlardan web tabanlı ve mobil platformlara taşınmış, böylece mekânsal verilere erişim ve veri paylaşımı önemli ölçüde kolaylaşmıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda farklı sektörlerle yönelik çok sayıda CBS yazılımı geliştirilmiş olup, sistemlerin etkin kullanımı için nitelikli insan kaynağına olan ihtiyaç da

artmıştır. Bu gereksinimin karşılanmasında üniversitelerde verilen eğitimler ve mesleki sertifika programları önemli bir rol üstlenmektedir (Kuper ve Kuper, 2016).

CBS, planlama ve yönetim süreçlerinin yanı sıra eğitim alanında da önemli uygulama alanlarına sahiptir. Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler doğrultusunda, CBS tabanlı etkileşimli haritalar öğrencilerin mekânsal düşünme, analiz ve problem çözme becerilerinin geliştirilmesinde etkili araçlar olarak kullanılmaktadır. Özellikle coğrafya eğitimi başta olmak üzere mekânsal bilgi gerektiren disiplinlerde CBS destekli uygulamalar, öğrenme sürecinin daha etkili ve kalıcı hâle gelmesine katkı sağlamaktadır (Baloğlu, 2007; Çapadış vd., 2022).

3. ÇALIŞMA ALANI VE UYGULAMA

Denizli iline bağlı olan Çivril ilçesi 59 912 nüfusa sahiptir. Genel ekonomik kazancı tarım ve hayvancılık üzerine kuruludur. Denizli yöresinin en eski yerleşime sahip bölgelerinden biri olduğu için çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çünkü Çivril ilçesi köklü bir tarihe sahiptir ve tarihi dokunun korunması ve tarih turizmine katkı sağlaması planlanmaktadır.

Çivril ilçesi sınırlarında bulunan tescilli yapıların 3 boyutlu tematik haritalarının üretilmesi konusunda toplanan veriler,

- Çivril ilçesinin mahalli sınırları içerisinde kalan tescilli yapıların listesi ve yapılar hakkında tarihi bilgiler
- Tescilli binalara ait mimari rölöveler olarak

belirlenmiştir. İlçe sınırları içerisinde bulunan tescilli yapıların listesi Denizli İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (Şekil 2). Liste içerisinde verilen kültür varlıklarının tarihçelerine ve tescil listesine ise Çivril Belediyesi'ne bağlı

Kültür İşleri Müdürlüğü'nden ulaşılmıştır. Tescilli binaların mimari rölöve ve restorasyon projelerine ise Çivril Belediyesi'ne bağlı İmar ve Şehircilik Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.



Şekil 1. Çivril ilçesi ve komşuları

Rölöve, yapıların güncel halinin çeşitli araçlar ve teknik kurallara uygun yöntemlerle çizilmesi işlemidir. Çalışmada, ilçede bulunan bütün tescilli binaların rölövelerinin hazırlanması yerine restorasyonu tamamlanmış binaların mevcut röleve ve mimari projeleri kullanılmıştır. Anıtlar listesinde bulunan tescile konu olmuş kültür varlığından 17 tanesinin restorasyon işleminin tamamlanmış olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen 17 adet binadan bir örnek aşağıda verilmiştir.

Çivril Tren İstasyonu Binaları: Çivril Tren İstasyonu Binaları, 1889 yılında İngiliz sermayeli Oriental Railway Company tarafından inşa edilmiştir. İstasyon, Çivril-Sütlaç demiryolu hattının son noktasında yer almakta olup, hattın terminal istasyonu ve kör hat özelliğine sahip olması bakımından önem taşımaktadır. İstasyon yerleşkesi, Denizli ili Çivril ilçesi

Aşağı Mahallesi 139 ada 33, 38 ve 39 numaralı parseller ile Saray Mahallesi 90 ada 1 numaralı parsel üzerinde konumlanmakta olup yaklaşık 21.000 m² büyüklüğünde bir alanı kapsamaktadır. İstasyon yerleşkesi toplam dokuz yapıdan oluşmaktadır.

TESCİL
ÇİVRİL:
- Karamanlı Köyü Tümülüsü'nün Tescili. - Gümüşsu Höyüğü'nün Tescili. - Işıklı Kasabası'ndaki tarihi evlerin tescili. - Ömerli Höyüğü'nün Tescili. - Işıklı Kasabası'ndaki konut ve çeşmenin Tescili. - Aşağı Camii'nin Tescili. - Işıklı Kasabası Eumenia Antik Kenti III. Derece Arkeolojik Sit Alanı (Camii, Minare, Hamam, Çeşme, Duvar, Mezar ve Okul) - Özdemirci Kasabası, Kayadibi Yöresi'nin Tescili. - Savran Köyü Eski Camii'nin Tescili. - Dedeköy Camii Tescili. - Emirhisar Kasabası, Kısıkmış Höyüğü'nün Tescili. - Işıklı Kasabası, Eumenia Antik Kenti Tescili. - Işıklı Mahallesi, Çarşı Camii. - Reşadiye Köyü, Donoğlu Deresi Nekropolü'nün Tescili. - Kıralan Kasabası, Alan Höyüğü'nün Tescili. - Yahyalı Köyü, Yahyalı Höyüğü'nün Tescili. - Karayahşiler Köyü, Akköprü'nün Tescili. - Küfi Deresi Yatağının Tescili. - Gürpınar Kasabası, Roma Mezarları ve çevresinin Tescili. - Gürpınar Kasabası, Kebir Camii'nin Tescili. - Özdemirci Kasabası, Reşadiye Söğütluçeşme Höyüğü'nün Tescili. - Beycesultan Höyüğü'nün Tescili. - Bayat Köyü, Eski Camii'nin Tescili. - Çıtak Kasabası yakınındaki Tarihi Köprü'nün Tescili. - Gar Binası ve Ek Tesislerin Tescili. - Yukarı Mahalle, Arkeolojik Yerleşimi ve Nekropol Alanı - Kıralan Kasabası, Kepez Mevkii, Nekropol Alanı Tescili. - Emirhisar Kasabası, Yassı, Pekmez, Bağurtlan, Ömeroğlu ve Tuğlu Höyüğü, Tuğlu Köy Mezarlığı ile Cenklimerla Tümülüsü'nün Tescili. - Kıralan Kasabası, Ören Mevkii, Arkeolojik Yerleşimi Tescili. - Somak Köyü, Tırtıllı Tepesi, Somak Tümülüsü. - Gümüşsu Kasabası'ndaki Mezarlık ve Hamam Yapısının Tescili - Karabedirler Köyü'ndeki Ardış Ağacının Tescili - Karayahşiler ve Sökmen Köylerindeki Çatalhöyük Tescili - Savran Köyü, Sandıkçı Mevkii'ndeki Höyük Tescili - Iğdır Köyü, Paltaoğlu (Molla Omarlar) Konağı Tescili. - Kocayaka Köyü, Kırhöyük Tümülüsü'nün Tescili. - Yassıhöyük Köyü, Yassı Höyük Höyüğü Tescili. - Çıtak Kasabası, Kızılarkaç Höyüğü ve Çeşmealtı Nekropol Alanı Tescili. - Gürpınar Kasabası, Ören Höyük, Roma Dönemi Arkeolojik Yerleşim Alanı ve Nekropol Alanı Tescili. - Işıklı Beldesi, Akdağ III. Derece Arkeolojik Yerleşim Alanı Tescili. - Karalar Köyü, Karalar Höyüğü, Roma Dönemi Arkeolojik Yerleşimi ve Nekropol Alanının Tescili - Yamanlar Köyü Mezarlığı Tescili

Şekil 2. Çivril'de bulunan tescil yapıların ve sit alanlarının listesi.

Bu yapılar; yolcu bekleme binası, iki adet yük hangarı, lokomotif bakım hangarı, su dolum (alimantasyon) kulesi, depo binası, şef lojmanı, ikili lojman ve üçlü lojmandan meydana gelmektedir. Söz konusu yapılar, dönemin demiryolu işletmeciliğinin işleyişini yansıtan önemli kültürel miras unsurları arasında yer almaktadır.

İstasyon binalarında ilk kapsamlı restorasyon çalışmaları 1985 yılında tamamlanmıştır. Ancak restorasyonun ardından istasyonun hizmet dışı bırakılması nedeniyle yapılar uzun yıllar kullanılmamış ve bakımsız kalarak fiziksel açıdan yıpranmıştır. 2019 yılında gerçekleştirilen ikinci restorasyon çalışması ile istasyon yerleşkesi yeniden düzenlenmiş, yapıların fiziksel ve estetik özellikleri önemli ölçüde iyileştirilmiştir.

Şekil 3'de istasyon yerleşkesindeki yapıların restorasyon öncesi konumları ve fotoğrafları, Şekil 4'te ise restorasyon sonrasındaki konumları ve güncel görünümeleri sunulmaktadır. Ayrıca, yapıların numaralandırılması Çizelge 1'de verilmiş olup, aynı numaralar ilgili şekiller üzerinde de gösterilmiştir.



Şekil 3. Çivril Tren İstasyonu binalarının restorasyon çalışmasından önceki fotoğrafları

Çizelge 1. Bina numaraları ve bina adları.

Bina Numarası	Bina Adı
1	Lokomotif Bakım Hangarı
2	Su Dolum (Alimantasyon) Kulesi
3	Üçlü Lojman
4	Şef Lojmanı
5	Açık Yük Hangarı
6	İkili Lojman
7	Kapalı Yük Hangarı
8	Yolcu Bekleme Binası
9	Depo

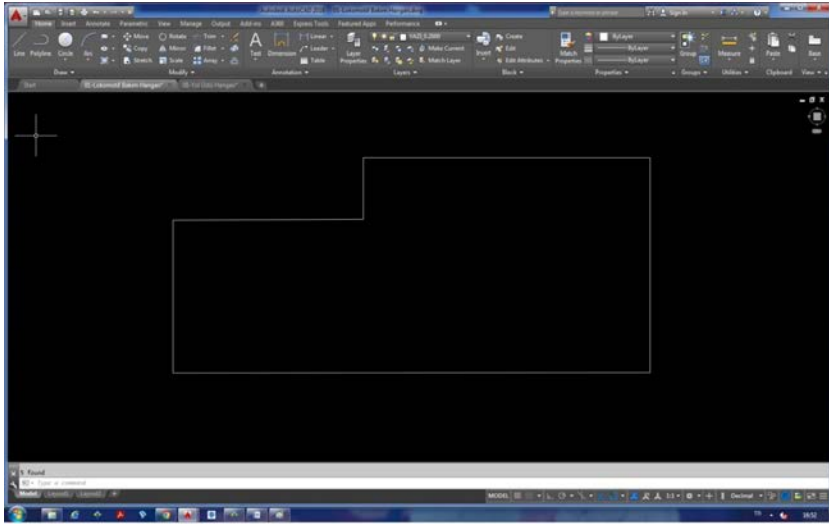


Şekil 4. Çivril Tren İstasyonu binalarının restorasyon çalışması sonrası fotoğrafları

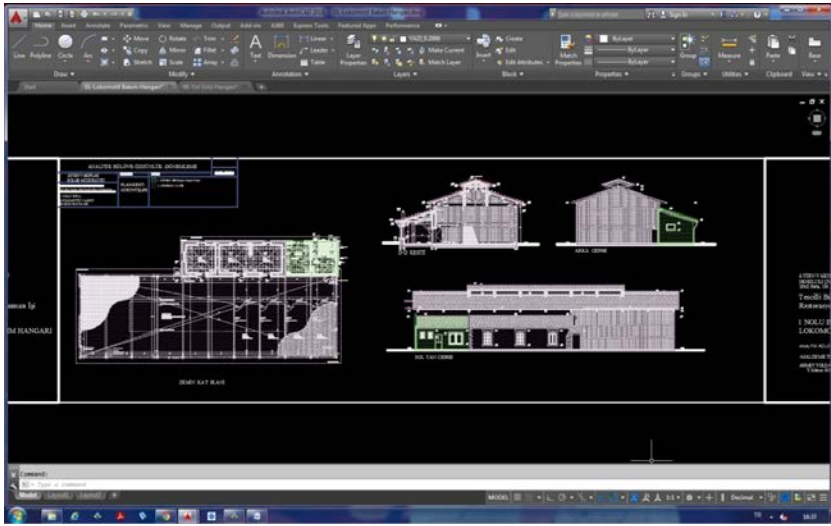
3.1. Boyutlu Modellerin Oluşturulması

3 boyutlu modellerin oluşturulması aşamasında AutoCAD ve Sketchup yazılımları kullanılmıştır. Modelleme yapabilmek için AutoCAD yazılımında yapıların rölövelerinden cephe uzunlukları ve yüksekliklerine bakılmıştır. Modellerin gerçeklik hissiyatının kullanıcıya aktarılabilmesi için yapı şekillerinin örtüşmesi gerekmektedir. Rölöve projeleri sayesinde

modellemede kullanılacak yapıların dış sınırları AutoCAD programında katı blok obje olarak elde edilmiştir. Şekil 5'te Tren İstasyonu'nda bulunan Lokomotif Bakım Hangarı'nın oluşturulan katı blok objesinin AutoCAD'de ekran görüntüsü bulunmaktadır. Ayrıntılar mümkün olduğunca azaltılmış, projede santimetre uzunluk birimiyle çalışılmış ve blok objeler dwg uzantısıyla dışarıya aktarılmıştır. Şekil 6'da rölövelerin AutoCAD programında cephe ve kesit görünüşleri bulunmaktadır.

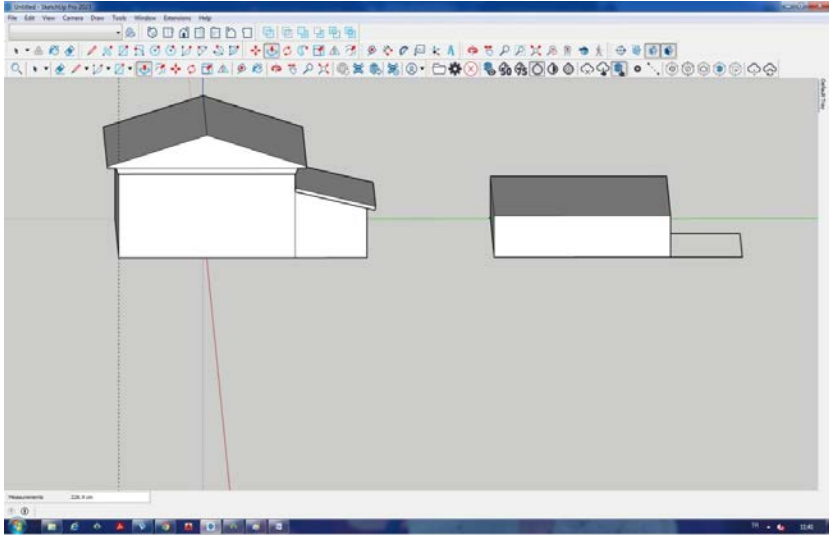


Şekil 5. Lokomotif Bakım Hangarı binasının AutoCAD programında hazırlanan katı blok objesi

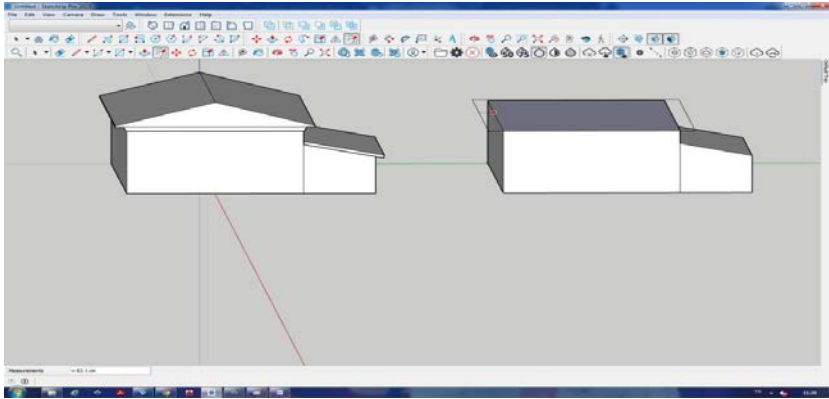


Şekil 6. Lokomotif Bakım Hangarı binasının cephe ve kesitlerine ilişkin ekran görüntüsü

DWG formatında kaydedilen blok objeler, SketchUp yazılımına içe aktarma (import) işlemiyle aktarılmıştır. Aktarım sırasında metrik ölçü birimi seçilerek yapıların gerçek ölçülerinde modellenmesi sağlanmıştır. Yapıların temel üç boyutlu geometrileri, Push/Pull komutu kullanılarak oluşturulmuş; çatı, bahçe duvarı ve benzeri mimari unsurlar ise Offset ve Line komutlarından yararlanılarak modellenmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda oluşturulan üç boyutlu modellerde kapı, pencere ve benzeri ince mimari detaylara yer verilmemiş, yalnızca yapıların genel kütsel formları temsil edilmiştir. Modelleme sürecinde kullanılan temel komutlara ilişkin ekran görüntüleri Şekil 7 ve Şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 7. Push/pull komutuyla katı blok objeye yükseklik verilmesi işleminin ekran görüntüsü



Şekil 8. Offset ve line komutları kullanılarak yapı eklentilerinin oluşturulması işleminin ekran görüntüsü

PostgreSQL, 1977 yılından bu yana hizmet veren açık kaynak kod özelliğine sahip, nesne ilişkisine dayalı gelişmiş bir veritabanı yönetim sistemidir. Performansı yüksek olmasının yanı sıra kararlı ve güvenilirliği yüksek modern özelliklere sahiptir. Uygulamada kullanılmak üzere mimari rölöveleri bulunan tescilli

yapıların öznitelik bilgileri ve parsel geometrileri PostgreSQL veri tabanı sayesinde tablo oluşturularak depolanmıştır. Depolanan bilgiler tematik haritalar oluşturulurken sorgulama yapmak için kullanılmıştır.

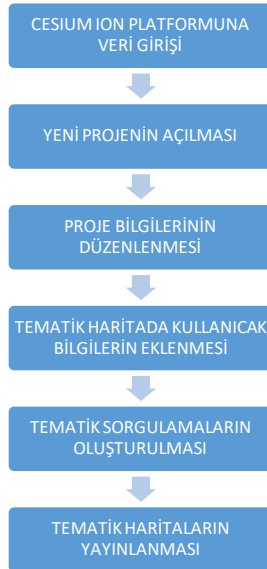
3.2. Öznitelik Bilgilerinin Entegrasyonu ve Tematik Haritaların Oluşturulması

FME (Feature Manipulation Engine), Kanada merkezli Safe Software tarafından geliştirilen, farklı coğrafi veri formatları arasında dönüşüm yapılmasını ve mekânsal verilerin işlenmesini sağlayan gelişmiş bir veri entegrasyon yazılımıdır. Her ne kadar "Konumsal Veri Çevirici" olarak tanımlanabilse de, sunduğu kapsamlı veri işleme yetenekleri sayesinde benzer yazılımlardan ayrılmaktadır. FME'nin en önemli özelliklerinden biri, farklı kaynaklardan elde edilen mekânsal verilerin dönüştürülmesinin yanı sıra, bu verilere topoloji, geometri, öznitelik ve koordinat sistemlerine ilişkin çeşitli işlemlerin uygulanmasına olanak sağlamasıdır. Ayrıca, görsel programlama (visual programming) yaklaşımını benimseyen yapısı sayesinde kullanıcıların veri işleme süreçlerini kod yazmadan iş akışları (workflow) şeklinde tasarlamasına imkân vermektedir. Bu çalışma kapsamında, FME yazılımı kullanılarak veri tabanında oluşturulan öznitelik tabloları ile üç boyutlu (3B) modeller ilişkilendirilmiş ve modellere uygun koordinat referans sistemi (projeksiyon) atanmıştır (Türk, 2024).

Cesium, ilk olarak 2011 yılında Analytical Graphics, Inc. (AGI) tarafından uzay ve yeryüzüne ilişkin üç boyutlu verilerin web ortamında görselleştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Platform, 2012 yılında açık kaynak kodlu olarak kullanıma sunulmuş, 2019 yılında ise Cesium GS adıyla bağımsız bir şirket bünyesinde faaliyetlerini sürdürmeye başlamıştır. Günümüzde hem açık kaynaklı hem de ticari çözümler sunan Cesium ekosistemi, web tabanlı üç boyutlu coğrafi bilgi sistemleri uygulamalarının geliştirilmesine yönelik kapsamlı bir altyapı

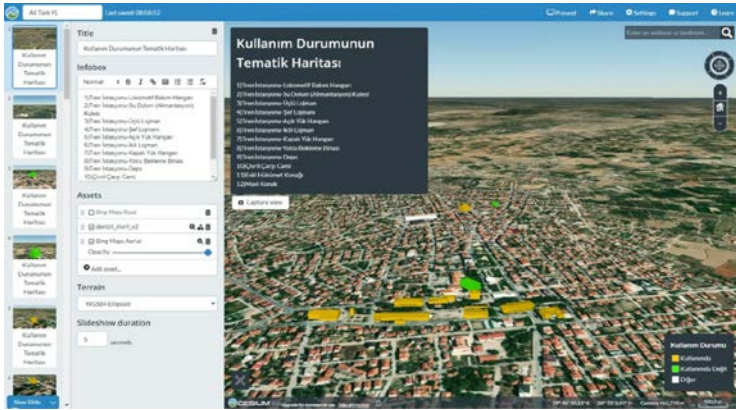
sağlamaktadır. Cesium platformu; büyük hacimli mekânsal verilerin yüksek performansla görüntülenebilmesi, farklı veri formatlarını desteklemesi, hassas konumsal veri işleme ve analiz olanakları sunması, platform bağımsız çalışabilmesi ve açık standartları desteklemesi gibi özellikleri sayesinde jeo-uzamsal uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan Cesium ion, üç boyutlu coğrafi verilerin dönüştürülmesi, yönetilmesi, depolanması ve web ortamında yayınlanmasını sağlayan bulut tabanlı bir platformdur. CesiumJS kütüphanesi ile bütünleşik çalışan bu platform, farklı internet tarayıcılarında herhangi bir ek yazılıma ihtiyaç duyulmaksızın üç boyutlu modellerin görüntülenmesine olanak tanımaktadır. Çalışma kapsamında oluşturulan tematik haritalar Cesium ion platformu kullanılarak hazırlanmış ve web ortamında yayınlanmıştır. Tematik haritaların oluşturulmasına ilişkin iş akışının temel işlem adımları Şekil 9'da gösterilmektedir.

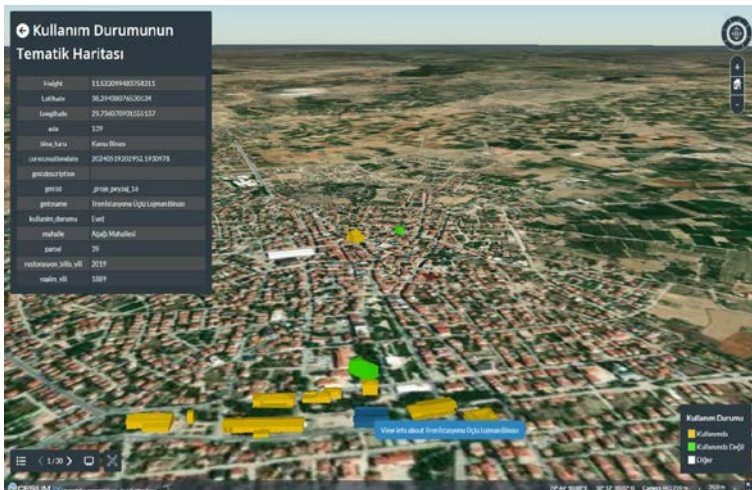


Şekil 9. Cesium Ion'da yapılan işlem adımları

Program üreticilerin kullanım ekranına örnek olarak Şekil 10’da verilmiştir. Kullanıcılar, haritaların oluşturulduğu sunuları incelerken istedikleri yapıyı seçerek öznitelikleri hakkında bilgi alabilmektedirler. Kullanıcıların bilgi alabildikleri ekran görseline örnek olarak Şekil 11’de ekran görüntüsü bulunmaktadır (Türk, 2024).



Şekil 10. Cesium Ion platformunun üreticilere sunmuş olduğu düzenleme ekranı



Şekil 11. Kullanıcıların öz nitelikleri görüntüledikleri ekran örneği

Çalışmada oluşturulan tematik haritalarda beş ana başlık bulunmaktadır. Kullanım türlerine, mahallelerine, restorasyon bitiş tarihlerine, yapılış yıllarına ve kullanım durumlarına göre tematik haritalar oluşturulmuştur. Bunlara ait sonuç haritaları Şekil 12-16 da verilmiştir.



Şekil 12. Binaların kullanım türlerine göre oluşturulan tematik haritalar



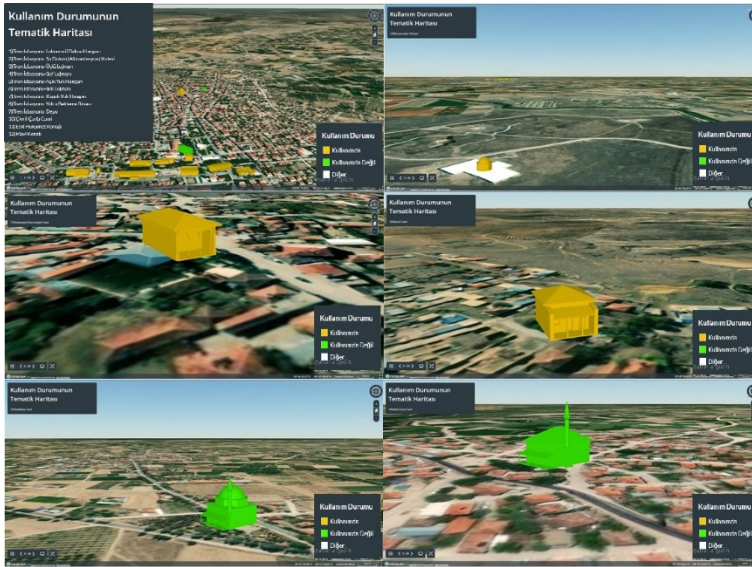
Şekil 13. Binaların bulundukları mahallelere göre oluşturulan tematik haritalar



Şekil 14. Binaların restorasyon çalışmalarının bitiş tarihlerine göre hazırlanan tematik haritalar



Şekil 15. Binaların yapılış tarihlerine göre oluşturulan tematik haritalar



Şekil 16. Binaların kullanımda olup olmadığını gösteren tematik haritalar

4. SONUÇLAR

Türkiye, sahip olduğu jeopolitik konumu, doğal kaynakları, iklim özellikleri ve tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olması nedeniyle tarih ve kültür turizmi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Asya ile Avrupa kıtaları arasında doğal bir köprü konumunda bulunması, tarih boyunca ticaret yolları üzerinde yer alması ve zengin kültürel mirası, ülkeyi uluslararası ölçekte önemli bir turizm merkezi hâline getirmektedir. Bu potansiyelin etkin biçimde değerlendirilmesi, kültürel mirasın korunmasının yanı sıra sürdürülebilir turizm anlayışının geliştirilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır.

Turizm sektörü, günümüzde birçok ülkenin ekonomik kalkınmasına doğrudan katkı sağlayan stratejik alanlardan biri hâline gelmiştir. Ulaşım ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, turizm faaliyetlerinin çeşitlenmesine ve daha geniş kitlelere

ulaşmasına olanak sağlamıştır. Bu kapsamda tarih ve kültür turizmi, ekonomik katkılarının yanı sıra kültürel mirasın tanıtılması, korunması ve gelecek nesillere aktarılmasına hizmet eden önemli bir turizm türü olarak öne çıkmaktadır. Turizmde sürdürülebilir başarının sağlanabilmesi, yalnızca turistik değerlerin varlığıyla değil, bu değerlerin etkin biçimde tanıtılması ve ulaşılabilir hâle getirilmesiyle mümkündür. Marka kentlerin oluşturulması, ulaşım, konaklama, bilgi teknolojileri ve tanıtım faaliyetleri gibi birbirini tamamlayan sektörlerin bütüncül bir anlayışla planlanmasını gerektirmektedir. Aksi takdirde, yüksek turizm potansiyeline sahip bölgelerde dahi altyapı ve tanıtım eksiklikleri nedeniyle istenilen düzeyde turizm hareketliliği sağlanamamaktadır.

Bu çalışmada, tarih ve kültür turizminin dijital teknolojiler aracılığıyla desteklenmesine yönelik bir uygulama geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında Denizli ili Çivril ilçesinde restorasyonu tamamlanmış tarihi yapılar üç boyutlu olarak modellenmiş ve farklı öznitelik bilgileri kullanılarak tematik haritalar oluşturulmuştur. AutoCAD ve SketchUp yazılımları kullanılarak modellenen yapılar, PostgreSQL veri tabanı ve FME yazılımı yardımıyla CityGML veri modeline dönüştürülmüş, LOD2 ayrıntı düzeyinde hazırlanan modeller Cesium ion platformunda yayınlanarak web tabanlı üç boyutlu tematik haritalar oluşturulmuştur. Böylece kullanıcıların tarihi yapılar hakkında mekânsal ve sözel bilgilere tek bir platform üzerinden hızlı ve etkileşimli şekilde erişebilmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen uygulama, yalnızca tarihi yapıların görselleştirilmesini değil, aynı zamanda kullanıcıların yapıların tarihçesi, mimari özellikleri ve diğer öznitelik bilgilerine sorgulama yoluyla erişebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yönüyle uygulama, ziyaretçilere seyahatleri sırasında dijital bir rehber niteliğinde hizmet verebilecek, bölgenin tanıtımına katkı

sağlayabilecek ve kültürel mirasın dijital ortamda daha görünür hâle gelmesine destek olabilecek bir altyapı sunmaktadır.

Çivril ilçesi, özellikle Işıklı Gölü'nde gerçekleştirilen nilüfer turları sayesinde son yıllarda doğa turizmi açısından önemli bir ziyaretçi potansiyeline ulaşmıştır. Bununla birlikte, ilçenin sahip olduğu tarihî ve kültürel mirasın dijital teknolojiler aracılığıyla tanıtılması, doğa turizmi ile tarih ve kültür turizminin bütünleşik biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Böylece ziyaretçilerin bölgede daha uzun süre konaklamaları teşvik edilebilecek ve ilçenin turizm gelirlerinin artırılmasına destek olunabilecektir.

Literatür incelemesi sonucunda Çivril ilçesi üzerine farklı disiplinlerde akademik çalışmaların bulunduğu belirlenmiş olmakla birlikte, üç boyutlu tematik haritalama ve web tabanlı kültürel miras sunumuna yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönüyle çalışma kapsamında üretilen üç boyutlu tematik haritaların, Çivril ilçesinin tarihî yapılarını dijital ortamda tanıtmayı amaçlayan ilk akademik uygulamalardan biri olduğu değerlendirilmektedir. Haritaların internet ortamında yayınlanması ise mekânsal bilginin geniş kullanıcı kitlelerine erişimini kolaylaştırmış ve uygulamanın kullanılabilirliğini artırmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, üç boyutlu şehir modelleri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojilerinin kültürel mirasın tanıtımı ve yönetiminde etkin biçimde kullanılabileceğini göstermektedir. Benzer uygulamaların yerel yönetimler, Kültür ve Turizm Bakanlığı ile ilgili diğer kamu kurumlarının koordinasyonunda yürütülmesi, sürdürülebilir ve güncel bir dijital kültürel miras altyapısının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Yerel ölçekte geliştirilecek uygulamaların ortak standartlar doğrultusunda ülke geneline yaygınlaştırılması, hem

bilgi bütünlüğünün sağlanmasına hem de kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesine önemli katkılar sunacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda uygulamaya ait öznitelik veri yapısı genişletilerek tarihi yapıların mimari özellikleri, restorasyon süreçleri, ziyaret saatleri, sanal rehber içerikleri, çoklu dil desteği, fotoğraf, video ve artırılmış gerçeklik uygulamaları gibi ek bilgiler sisteme entegre edilebilir. Ayrıca yapı envanterinin düzenli olarak güncellenmesi, sistemin güncelliğinin korunmasını ve kullanıcıların güvenilir bilgiye erişimini sağlayacaktır. Bunun yanında uygulamanın bağımsız bir web portalı veya mobil platform olarak geliştirilmesi, farklı kullanıcı gruplarına daha etkin hizmet sunulmasına ve kültürel mirasın dijital ortamda daha geniş kitlelere ulaştırılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Aktaş, A. S., Yılmaz, İ., Yılmaz, M, (2025), Kartografyanın Geçmişi, Günümüzü ve Geleceği Üzerine İnceleme, Harita Dergisi, Ocak 2025, Sayı: 173, 30-38, Harita Genel Müdürlüğü, Ankara
- Baloğlu Uğurlu N., (2007), Sosyal Bilgiler Dersinde "Türkiye'nin Doğal Kaynakları" Konusunun Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Öğretiminin Öğrencilerin Tutum ve Başarısına Etkisi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilgiler Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 116s, Ankara.
- Çapadış, A., Narin, Ö.G., Yılmaz, M., Güllü, M., (2022), HGM Küre Uygulamasının Dijital Harita Arşivlemede Kullanılabilirliği Pervititch Haritaları Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2022 (3), 607-614, Afyonkarahisar.
- HKMO., (2026), Sürdürülebilir Dünya İçin Harita Yapımı, HKMO Yayınları, Ankara.
- İnal, N., (2006), İnternet Ortamında Tematik Harita Sunumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, İstanbul.
- İncekara, S., Karakuyu, M., Karaburun, A., (2009), Ortaöğretim Coğrafya Derslerinde Yaparak Öğrenmeye Bir Örnek: Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Proje Temelli Öğrenimde Kullanılması, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 8, 305-322.
- Kama, Ö., (2010), Küreselleşmenin Mülkiyet Hakları Üzerindeki Etkileri, Ekonomi Bilimleri Dergisi, 2, 107-108.
- Kuper, A., Kuper, J., (2016), Sosyal Bilimler Ansiklopedisi Cilt 1, Çev.:Nuri YAVAN, Adres Yayınları, 176-178, Ankara.
- Küçükaltan, D., Akkaşoğlu, S., (2016), Genel Turizm, Hacıoğlu

N (Ed), Bozkurt M (Ed),Şahin B (Ed.), Genel Turizm Terminolojisi (15-32), Paradigma Akademi Yayınları, 276s, İstanbul.

Uluğtekin, N., Uçar, D., Bildirici, İ.Ö., İpbüker, C., Özerman, U., Gökçen, Ö.F., (2000), Elektronik Atlas Teknikleri ile Eğitim Amaçlı Türkiye İstatistiksel Atlasının Hazırlanması: Pilot Çalışma,Proje No:1185, 44s.

Türk, A., (2024), Tarih Turizmi Alanlarında 3 Boyutlu Tematik Harita Üretimi: Çivril (Denizli) Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, M., (2014), Bilgisayar Destekli Harita Yapımı ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temelleri (1. Kitap 3-20), Afyonkarahisar

Yomralıoğlu, T., (2002), Coğrafi Bilgi Sistemleri, Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Akademik Kitap Evi, 480s, Trabzon.

ALİ MACAR REİS ATLASI ÜZERİNE KARTOGRAFİK İNCELEMELER¹

Elif BİLASA KURT²

İbrahim YILMAZ³

1. GİRİŞ

İnsanlığın yaşadığı çevreyi anlama, tanımlama ve şekillendirme çabası varoluşundan bu yana devam etmektedir. İnsan toplulukları verimli yaşam alanları keşfederek yerleşik hayata geçtiklerinde, sahip oldukları mekânları kayıt altına alma gereksinimi duymuş ve bu gereksinim ilk haritacılık örneklerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Yazının henüz gelişmediği dönemlerde insanlar, yaşadıkları çevreyi, ihtiyaçlarını ve deneyimlerini resimler aracılığıyla ifade etmiş; bu süreçte mekânsal bilgiyi aktarmanın en önemli araçlarından biri olarak haritaları kullanmışlardır. Tarih öncesi dönemlerden günümüze uzanan bu gelişim süreci, haritacılığın insanlığın en eski bilimsel disiplinlerinden biri olduğunu göstermektedir. Günümüzde haritacılık; coğrafi verilerin elde edilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi süreçlerini kapsayan çok disiplinli bir bilim dalı olarak, yeryüzünün fiziksel ve beşerî özelliklerinin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır.

¹ Bu çalışma, Elif BİLASA KURT tarafından Prof. Dr. İbrahim Yılmaz danışmanlığında hazırlanan Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

² Yüksek Mühendis, İller Bankası, Eskişehir, ORCID: 0000-0002-7954-5796.

³ Prof. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ORCID: 0000-0003-0510-9446.

İnsanlığın geçmişe duyduğu ilgi, tarih boyunca kültürel mirasın korunması ve yorumlanmasına yönelik çalışmaların temel motivasyonlarından biri olmuştur. Bu nedenle tarihsel olaylar ve arkeolojik bulgular günümüz bilimsel yöntemleriyle yeniden değerlendirilmekte ve farklı bakış açılarıyla incelenmektedir. Köktürk'ün (2004) belirttiği üzere, bir mesleğin bilincine sahip olmanın temel koşulu, o mesleğin tarihsel gelişimini bilmektir. Bu bağlamda tarihi haritalar, geçmiş dönemlerin siyasi, coğrafi, ekonomik ve kültürel yapısını anlamaya katkı sağlayan önemli belge niteliğindeki kültürel miras unsurlarıdır.

Tarihi haritalar arasında önemli bir yere sahip olan portolan haritalar, özellikle Orta Çağ ve sonrasında denizcilik faaliyetlerinde kullanılan ayrıntılı deniz haritalarıdır. Bu haritalar, dönemin kartografları tarafından pusula gülleri, kerteriz doğruları ve seyir sırasında ölçülen mesafeler esas alınarak hazırlanmıştır (Yılmaz ve Yılmaz, 2015). Üretildikleri dönemin teknik olanakları çerçevesinde oldukça yüksek doğruluk düzeyine sahip olan portolan haritalar, deniz ticaretinin gelişmesine katkı sağlamış, haritacılık biliminin ilerlemesinde önemli rol oynamış ve coğrafi keşiflerin gerçekleşmesine zemin hazırlamıştır. Bununla birlikte, söz konusu haritaların coğrafi doğruluğu günümüzde hâlen araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Haritaların üretim sürecinde kullanılan ölçme tekniklerinin sınırlılıkları, dönemin bilgi birikimi ve kartografların öznel yaklaşımları nedeniyle bu eserler modern koordinat sistemleriyle tam uyum göstermeyebilir (Yılmaz, 2024; Aktaş, 2025). Bu nedenle tarihi haritaların günümüz haritalarıyla karşılaştırılmasında elde edilen sonuçlar, yalnızca sayısal doğruluk açısından değil, üretildikleri dönemin teknik, bilimsel ve kültürel koşulları dikkate alınarak değerlendirilmelidir (Yılmaz vd, 2010).

Bilim ve teknolojiye yaşanan gelişmelere hızlı biçimde uyum sağlayan haritacılık disiplini, günümüzde farklı amaçlara yönelik çok sayıda sayısal uygulama ile zenginleşmiştir. Bu uygulamalardan biri olan MapAnalyst yazılımı, tarihi haritaların geometrik doğruluğunun analiz edilmesi ve modern referans haritalarla karşılaştırılması amacıyla geliştirilen önemli araçlardan biridir. Yazılım sayesinde, geçmişte uzun süreli ve yoğun emek gerektiren analizler kısa sürede gerçekleştirilebilmekte; tarihi haritaların ölçek, konumsal doğruluk ve deformasyon özellikleri bilimsel yöntemlerle değerlendirilebilmektedir. Böylece tarihi haritaların üretim teknikleri daha iyi anlaşılmakta ve elde edilen bulgular doğrultusunda bilimsel yorumlar yapılabilmektedir (Kurt, 2025).

Bu çalışma kapsamında öncelikle MapAnalyst yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenmiştir. Yazılımın çalışma prensipleri, analiz yöntemleri ve uygulama alanları hakkında ayrıntılı bilgi edinilmiştir. Elde edilen kuramsal bilgiler doğrultusunda, Osmanlı deniz haritacılığının önemli temsilcilerinden Ali Macar Reis'e ait farklı ölçeklerde hazırlanmış portolan haritalar, MapAnalyst yazılımında yer alan modern referans haritalarla karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Ali Macar Reis ve Atlası

Osmanlı tarihinin en önemli denizcilerinden olan Ali Macar Reis kendine has yaptığı haritalarla zamanın kartografyasının; astronomi, coğrafya ve harita teknikleriyle harmanlanmış olduğunu göstermiştir. Türklerde Piri Reis'in önderliğinde başlayan deniz haritacılığı Ali Macar Reis ile taçlanmıştır.

Haritalarında Akdeniz, Ege ve Karadeniz başta olmak üzere Osmanlı'nın hâkimiyet kurduğu coğrafyaları temsil etmiştir. Bu haritalarla Osmanlı Devletinin stratejik ve jeopolitik konumu, denizcilik faaliyetleri gibi bilgilere ulaşılabilir.

16. Yüzyılda yaşadığı bilinen Ali Macar Reis'in hayatı ile ilgili bilgiler sınırlı olup doğum ve ölüm tarihleri hakkında kesin bilgi bulunmamaktadır. Osmanlı donanmasında daha önceden "Macar" unvanını taşıyan bir kimse olmamakla birlikte bir Türk levendinin bu unvanı alması üç farklı şekilde yorumlanmaktadır (Kurtoğlu, 1935). Yorumlardan ilki aslının Macar olmasına rağmen Müslümanlığı sonradan kabul edip, Türkleşerek Osmanlı leventi olması, diğer bir yorum; Macaristan'ın o dönem Osmanlı himayesinde olmasından dolayı Ali Macar Reis'in ailesinin orada yaşayan Türklerden olabileceği, diğer bir yorum ise; Macaristan seferlerinde Macarlarla olan diyaloglarının iyi olması sebebiyle verilmiş olduğu düşünülmektedir.

II. Selim'in Kıbrıs'ı fethetme hazırlığında tüm leventlere çağrıda bulunmasından sonra gönüllü olarak Osmanlı donanmasında görev aldığı bilinmektedir. Kendine ait haritaları dönemin padişahına sunan Ali Macar Reis'in haritaları hem seyir haritaları olarak hem savaş meydanlarında kullanılarak Osmanlı Devletine katkı sağlamıştır. Dönemin en büyük mağlubiyetinden olan İnebahtı Deniz Muharebesinde (1571) görev almış ve yaralanmıştır. Yararlılık göstermesi nedeniyle daha iyi bir görev için talepte bulunmuş ve isteği kabul görmüştür (Önder, 2002).

Ali Macar Reis' in haritaları yalnızca coğrafi bilgiler içermekle kalmaz aynı zamanda dönemin ticaret yolları, denizcilik stratejileri ve kültürel etkileşimleri hakkında önemli ipuçları verir. Ali Macar Reis'in atlası bugün Topkapı Saray Müzesi Kütüphanesi (TSMK) 1410 katalog ve H.644 envanter numarası ile kayıtlıdır (Uçar ve Uluğtekin, 1987). 18 sayfalık bir eser olan atlas deri parşömen üzerine çizilen altı bölgesel ve bir

dünya haritası ile toplamda 7 deniz haritasından oluşmaktadır. Haritalar 7 çift sayfa üzerinde boyutları 31x43 cm’lik alanı kaplamakta olup ceylan derisi ile ciltlenmiştir (Bora, 2023). Kitap şeklinde bulunan atlastaki haritalar katlı ve kapaklı olduğu için günümüze kadar deformasyona uğramadan ulaşmıştır. Kahverengi cilde sahip atlasın ön ve arka kapaklarında Osmanlı cilt süsleme sanatına ait ‘**Şemse**’ bulunup kenarları ise altın yaldız ve cetvel ile süslenmiştir (Şekil 1). Cilt kapağının iç tarafında ise “Bu harita Ali Macar’ındır, gaflet olunmaya” yazısı yer alır.



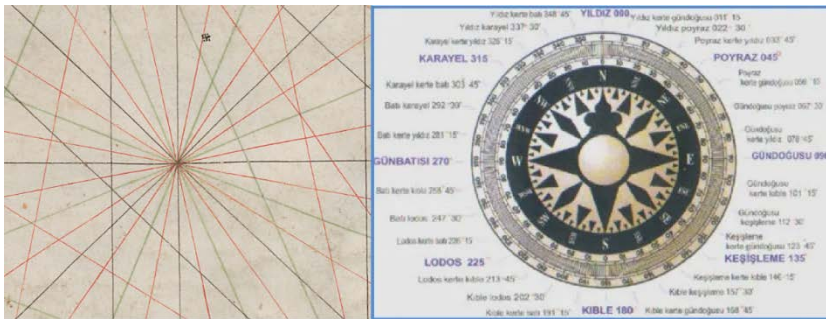
Şekil 1. Temsili Şemse Örneği

Ali Macar Reis atlasında sağdan başlayarak,

- Karadeniz Haritası
- Doğu Akdeniz Haritası
- Orta Akdeniz Haritası
- Batı Akdeniz Haritası
- Atlantik Kıyıları Haritası
- Ege Denizi Haritası
- Dünya Haritası

yer alır.

Ali Macar Reis, yaşadığı dönemin kartografik anlayışını ve teknik özelliklerini yansıtan nitelikli portolan haritalar üretmiştir. Hazırladığı haritalarda renk kullanımı ön planda tutulmuş, yer adları ise büyük ölçüde Türkçe olarak yazılmıştır. Limanlar ve akarsu ağızları belirgin biçimde gösterilirken, sığ deniz alanları noktalama yöntemiyle ifade edilmiştir. Soucek'in (1973) belirttiği üzere, şehirler haritalarda genellikle ağaçlık alanlar içerisine yerleştirilmiş kule biçimindeki sembollerle temsil edilmiştir. Bu sembolik gösterimler, dönemin kartografik geleneklerini yansıttmasının yanı sıra haritaların görsel okunabilirliğini de artırmaktadır.



Şekil 2. Ali Macar Reis'in Kullandığı Rüzgârgülü ve Rüzgârların İsimlerini Gösteren Pusula Gülü

Ali Macar Reis'in eserlerinde, dönemin portolan haritalarının karakteristik unsurlarından biri olan toplam 17 adet rüzgâr doğrultusu (rüzgârgülü veya pusula gülü) bulunmaktadır (Şekil 2). Bu doğrultulardan biri haritanın merkezinde yer alırken, diğer 16'sı haritanın çevresine eşit açılarla yerleştirilmiştir. Rüzgâr doğrultularının temel işlevi, belirlenen bir noktadan geçen kuzey doğrultusunu ve diğer ana yönleri harita üzerinde göstermektir. Bu düzenleme sayesinde 90°'lik açı sekiz eşit bölüme ayrılmakta ve merkezden eşit uzaklıklarda yeni referans noktaları oluşturularak doğrultu çizgileri sistematik bir biçimde elde edilmektedir. Böylece denizcilerin yön tayini yapmaları ve

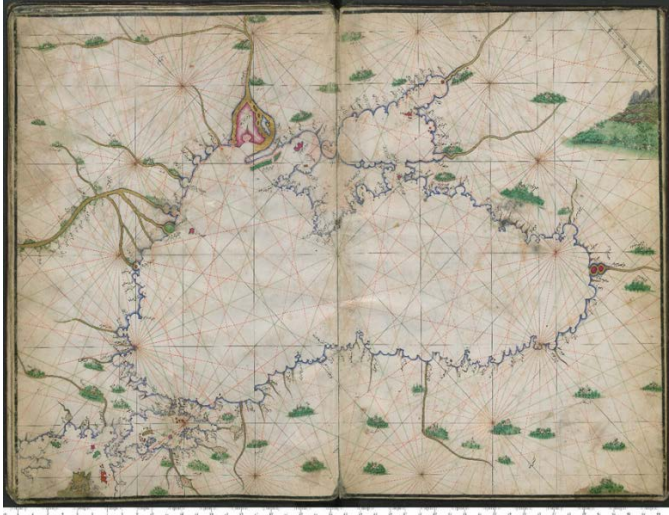
rotalarını belirlemeleri kolaylaştırılmış, haritaların seyir amaçlı kullanım etkinliği artırılmıştır.

Karadeniz Haritası:

Marmara ve Karadeniz bölgelerini kapsayan Ali Macar Reis haritasında toplam 17 adet rüzgârgülü bulunmaktadır. Haritada yer alan temel yön ve rüzgâr doğrultuları olan Yıldız, Kible, Gündoğusu, Günbatısı, Poyraz, Lodos, Karayel ve Keşişleme siyah renkle gösterilmiştir. Rüzgârgüllerini birbirine bağlayan kerteriz çizgilerinin çentikleri kırmızı, çizgilerin iç kısımları ise yeşil renkte tasvir edilmiştir. Bu renk kullanımı, dönemin portolan haritalarında yaygın olarak görülen kartografik gösterim anlayışını yansıtmaktadır. Harita, kıyı çizgisinin ayrıntılı biçimde gösterilmesi bakımından günümüz haritalarıyla önemli ölçüde benzerlik göstermektedir. Kıyı kesimlerinde yer alan limanlar belirgin ve görece büyük sembollerle gösterilmiş, kıyı hattı mavi, akarsular ise sarı renkle ifade edilmiştir. Çanakkale ve İstanbul Boğazları dönemin ölçme olanakları doğrultusunda yaklaşık konum ve şekilleriyle haritaya aktarılmıştır. Ayrıca haritada Kafkas Dağları'nın bir bölümüne de yer verilmiş olup, bu durum Ali Macar Reis'in yalnızca kıyı coğrafyasını değil, çevresindeki önemli fiziki unsurları da haritalarına dâhil ettiğini göstermektedir (Şekil 3).

Doğu Akdeniz Haritası:

Ali Macar Reis, Akdeniz'i farklı paftalar hâlinde haritalandırarak döneminin en önemli portolan haritalarını üretmiştir. Bu haritalardan Doğu Akdeniz'i kapsayan eserinde Anadolu, Yunanistan, Mısır, Suriye, Bingazi ve Filistin kıyıları ayrıntılı biçimde gösterilmiş, ayrıca Ege Denizi ve çevresindeki kıyı alanlarına da yer verilmiştir. Harita, özellikle Mısır ve Suriye kıyılarındaki limanların konumlarının ve deniz ulaşım ağının anlaşılması açısından önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır.



Şekil 3. TSMK H.644 Envanter Numaralı 1b-2a Harita



Şekil 4. TSMK H.644 Envanter Numaralı 2b-3a Harita

Haritada kıyı çizgileri mavi renkle gösterilirken, adalar mavi, yeşil, mor ve kırmızı gibi farklı renklerle tasvir edilmiştir. Bu renk kullanımı, hem kartografik okunabilirliği artırmakta hem de dönemin estetik haritacılık anlayışını yansıtmaktadır. Eserde,

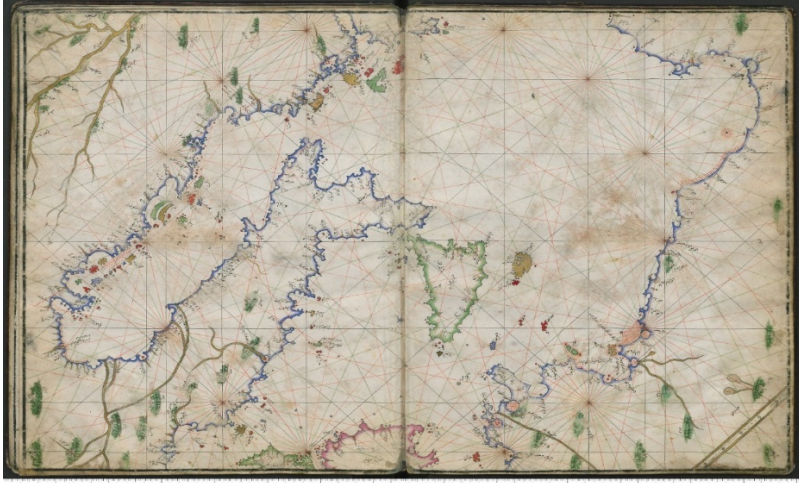
portolan haritaların karakteristik özelliklerinden biri olan toplam 17 adet rüzgârgülü bulunmaktadır. Yıldız, Kible, Gündoğusu, Günbatısı, Poyraz, Lodos, Karayel ve Keşişleme doğrultuları siyah renkle gösterilmiş; rüzgârgüllerini birbirine bağlayan kerteriz çizgilerinin çentikleri kırmızı, çizgilerin iç kısımları ise yeşil renkle işlenmiştir. Bu doğrultu ağı, denizcilerin yön tayini ve rota planlamasını kolaylaştıran temel kartografik unsurlardan biri olarak haritada yer almaktadır (Şekil 4).

Orta Akdeniz Haritası:

Ali Macar Reis tarafından Ege Denizi'nden Cezayir ve Tunus limanlarına seyir yapacak Osmanlı leventleri için hazırlanan bu portolan harita, Adriyatik Denizi ile Trablusgarp ve Tunus kıyılarını kapsamaktadır. Harita, deniz ulaşımını kolaylaştırmayı amaçlayan ayrıntılı kıyı gösterimleri ve liman bilgileriyle dönemin denizcilik faaliyetleri açısından önemli bir kartografik kaynak niteliği taşımaktadır. Haritada Afrika ve Avrupa kıyıları mavi renkle gösterilmiş; Sardunya Adası mor, Sicilya, Korsika ve Kefalonya adaları yeşil, Malta ve Ayamavra adaları ile akarsular ise sarı renkle tasvir edilmiştir. Eserde yer alan 17 adet rüzgârgülünün her birinden otuz ikişer adet renkli kerteriz çizgisi çıkmakta ve bu çizgiler harita yüzeyini çok sayıda bölüme ayırmaktadır. Yıldız, Kible, Gündoğusu, Günbatısı, Poyraz, Lodos, Karayel ve Keşişleme doğrultuları siyah renkle gösterilmiş; rüzgârgüllerini birbirine bağlayan kerteriz çizgilerinin çentikleri kırmızı, iç kısımları ise yeşil renkte işlenmiştir. Bu doğrultu ağı, denizcilerin yön belirleme ve rota planlamasında kullandıkları temel kartografik unsurlardan birini oluşturmaktadır (Yılmaz vd., 2017; Yılmaz, 2025).

Bu haritayı Ali Macar Reis'in diğer eserlerinden ayıran önemli özelliklerden biri, tarihî olaylara ilişkin açıklayıcı notlar içermesidir. Cerbe Adası'nın önünde yer alan "Turgut Bey'in yarıp çıktığı yerdir." ve "Piyale Paşa'nın gemilerinin olduğu

yerdir." ifadeleri, dönemin önemli denizcilik olaylarına atıfta bulunmaktadır. İlk not, Turgut Reis'in Osmanlı hizmetine girmeden önce İspanyol kuvvetlerinden kaçarak Cerbe Adası'na sığındığı olayı hatırlatırken; ikinci not, 1560 yılında Osmanlı donanmasının Piyale Paşa komutasında İspanya ve Papalık donanmalarına karşı kazandığı Cerbe Deniz Muharebesi'ni işaret etmektedir. Bu tür tarihî notlar, haritanın yalnızca bir seyir aracı olmadığını, aynı zamanda dönemin askerî ve siyasi hafızasını yansıtan önemli bir belge niteliği taşıdığını göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 5. TSMK H.644 Envanter Numaralı 3b-4a Harita

Batı Akdeniz Haritası:

Batı Akdeniz'in Cebelitarık Boğazı'ndan Korsika ve Sardunya adalarına kadar uzanan bölümünü kapsayan bu portolan haritada, özellikle Tunus ve Cezayir kıyıları ayrıntılı biçimde gösterilmiştir (Yılmaz ve Yılmaz, 2017). Harita, Batı Akdeniz'deki önemli kıyı yerleşimlerini, limanları ve seyir güzergâhlarını yansıtmaları bakımından dönemin denizcilik faaliyetlerine ilişkin önemli kartografik bilgiler sunmaktadır. Haritada deniz yüzeyi beyaz, Afrika ve Avrupa kıyıları mavi, akarsular ise sarı renkle gösterilmiştir. Sardunya Adası mor,

Korsika Adası ile şehir yerleşimleri ise yeşil renkte tasvir edilmiştir. Eserde, portolan haritaların karakteristik özelliklerinden biri olan 17 adet rüzgârgülü yer almakta olup, her bir rüzgârgülünden çıkan otuz ikişer kerteriz çizgisi harita yüzeyini farklı yönlere uzanan bölümlere ayırmaktadır. Yıldız, Kible, Gündoğusu, Günbatısı, Poyraz, Lodos, Karayel ve Keşişleme doğrultuları siyah renkle gösterilmiş; rüzgârgüllerini birbirine bağlayan kerteriz çizgilerinin çentikleri kırmızı, iç kısımları ise yeşil renkte işlenmiştir. Bu doğrultu sistemi, denizcilerin yön tayini ve rota belirleme süreçlerinde kullanılan temel kartografik unsurlardan birini oluşturmaktadır. Haritanın batı bölümünde yer alan kitâbede, "Bunu 975 yılı Sefer ayında, Mâlik ve Kâdir olan Allah'ın inayetiyle Ali Macar Reis yaptı." ifadesi yer almaktadır. Hicrî 975 yılı Sefer ayına karşılık gelen bu tarihin, Miladî takvime göre 1567 yılı Ağustos ayına denk geldiği hesaplanmaktadır. Söz konusu tarih kaydı, haritanın üretim zamanını belgeleyen önemli bir tarihî veri niteliği taşımakta ve eserin kronolojik olarak değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. TSMK H.644 Envanter Numaralı 4b-5a Harita

Atlantik Kıyıları Haritası:

İber Yarımadası'ndan başlayarak İrlanda ve Büyük Britanya adalarını kapsayan bu portolan harita, Batı Avrupa kıyılarının önemli bir bölümünü ayrıntılı olarak göstermektedir. Haritada Fransa, İspanya, Belçika, Hollanda ve Danimarka kıyılarındaki çok sayıda liman ve kıyı yerleşimi işlenmiş olup, dönemin deniz ulaşım ağını ve ticaret güzergâhlarını yansıtan önemli kartografik bilgiler sunulmuştur. Ayrıca sığ kıyı alanları noktalama yöntemiyle gösterilmiş, İrlanda Denizi'nde yer alan Man Adası da haritada konumlandırılmıştır. Haritada İrlanda kıyıları mor, Avrupa ana karası kıyıları mavi, İngiltere kıyıları yeşil, Büyük Britanya'nın kuzey kesimleri ile İskoçya kıyıları ise turuncu renkle gösterilmiştir. Adalar mavi, sarı, kırmızı ve yeşil gibi farklı renklerle tasvir edilirken, akarsular sarı renkte işlenmiştir. Bu renk kullanımı, haritanın okunabilirliğini artırmasının yanı sıra dönemin kartografik estetik anlayışını da yansıtmaktadır.

Eserde, portolan haritaların karakteristik özelliklerinden biri olan 17 adet rüzgârgülü bulunmaktadır. Her bir rüzgârgülünden çıkan otuz ikişer kerteriz çizgisi harita yüzeyini farklı yönlerle ayıran bir doğrultu ağı oluşturmaktadır. Yıldız, Kible, Gündoğusu, Günbatısı, Poyraz, Lodos, Karayel ve Keşişleme doğrultuları siyah renkle gösterilmiş; rüzgârgüllerini birbirine bağlayan kerteriz çizgilerinin çentikleri kırmızı, iç kısımları ise yeşil renkte tasvir edilmiştir. Bu doğrultu sistemi, dönemin denizcilerine yön tayini ve rota belirleme süreçlerinde önemli kolaylık sağlayan temel kartografik unsurlardan biri olarak haritada yer almaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. TSMK H.644 Envanter Numaralı 5b-6a Harita

Ege Denizi Haritası:

Bu harita, Türkiye ve Yunanistan kıyıları ile Ege Denizi'nde yer alan adaları kapsamaktadır. Haritada Ege Denizi'nde bulunan 80'den fazla ada ayrıntılı biçimde tasvir edilmiş olup, adaların birbirlerine göre konumsal ilişkilerinin genel olarak başarılı bir şekilde yansıtıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, kıyı çizgilerinin gösteriminde bazı bölgelerde abartılı tasvirlere, bazı bölgelerde ise genelleştirilmiş çizimlere yer verilmiştir. Ayrıca bazı adalar gerçekte olduğundan daha büyük ölçekte (örneğin Girit ve Limni), bazıları ise daha küçük ölçekte (örneğin İskiros ve Taşoz) gösterilmiştir. Bu durum, haritanın üretildiği dönemin ölçme teknikleri, kartografik gelenekleri ve kullanım amacıyla ilişkilendirilebilir. Haritada yalnızca coğrafi unsurlar değil, denizcilere yönelik çeşitli uyarılar da yer almaktadır. Kıyı kesimlerinde bulunan “büyük sudur”, “soğuk sudur” ve “dikkatli oluna” gibi ifadeler, seyir güvenliğine yönelik bilgi ve tavsiyeler içermekte olup, haritanın navigasyon

amaçlı kullanımını destekleyen unsurlar arasında değerlendirilebilir (Şekil 8).

Eserde, Ali Macar Reis'in diğer portolan haritalarında olduğu gibi 17 adet rüzgârgülü bulunmaktadır. Her bir rüzgârgülünden çıkan otuz ikişer adet renkli kerteriz çizgisi, harita yüzeyinde yönlendirme ağı oluşturmaktadır. Yıldız, Kible, Gündoğusu, Günbatısı, Poyraz, Lodos, Karayel ve Keşişleme doğrultuları siyah renkle gösterilmiş; rüzgârgüllerini birbirine bağlayan kerteriz çizgilerinin çentikleri kırmızı, iç kısımları ise yeşil renkte işlenmiştir. Bununla birlikte, Ali Macar Reis'in diğer haritalarından farklı olarak bu eserde Türkiye toprakları üzerinde yer alan rüzgârgülünün çevresine ana ve ara yön adları da eklenmiştir. Bu özellik, haritanın yönlendirme işlevini güçlendirmekte ve kullanıcıların yön tayinini daha kolay gerçekleştirmelerine katkı sağlamaktadır.

Haritada kıyılar mavi, deniz beyaz adalar ise çeşitli renklerle gösterilmiştir. Haritanın etkileyici diğer tarafı; Ege Adaları, Anadolu ve Rumeli Kıyılarındaki limanların zamanında ki Türkçe isimleriyle belirtilmiş olmasıdır. Ölçek olarak diğer bölgesel haritalarından farklı ölçeğe sahip Ege Denizi haritasında dönemin koşulları gereğince herhangi bir projeksiyon kullanılmadığı bilinmektedir. Buna göre uzunluk deformasyonu yok sayılarak harita üzerinde belirgin iki nokta arası ölçüm yapıldığında; ölçek, 1: 3000000 bulunmuştur (Uçar ve Uluğtekin. 1987).



Şekil 8. TSMK H.644 Envanter Numaralı 6b-7a Harita

Dünya Haritası:

Ali Macar Reis'in dünya haritasında kullandığı projeksiyon sistemi, Alman Max Eckert tarafından 1906 yılında hazırlanan 'Eckert III' isimli projeksiyon sistemi ile benzerdir. Bu durum bize Türk denizcilerinin bilimde dönemlerinin ilerisinde olduklarının bir göstergesi sayılabilir.

Dünya haritasında çizimi yapılan meridyen ve paralel dairelerinin on beşer derecelik coğrafi pafta ağına sahip olduğu, İspanya'nın Ferro Adasından geçen boylamın orta meridyen olarak kabul edildiği ve ölçeğin yaklaşık 1:95000000 olduğu Soucek (1971)'in çalışmasında belirtilmiştir.

Ali Macar Reis dünya haritasında kara parçalarını yeşil renkte olup Güneşin hareketini gösteren hatlar, Ekvator ve Kutup daireleri kırmızı, meridyenler, paraleller, oğlak ve yengeç dönenceleri ise siyah renkte çizilmiştir.

Afrika, Amerika, Avrupa ve Asya kıtaları gerçekçi bir doğrulukta çizilmişken henüz o yıllarda keşfi yapılamayan

Avustralya kıtası haritada yer almamıştır. Haritanın güney kutbunu tamamen çevreleyen ve üstünde ‘Berri Beyaban’ (Berri: Kara, Beyaban: Çöl, sahra, inşa edilmemiş, eskimiş) yazan Antarktika olarak yorumlanan fakat abartılı çizilmiş bir kıta resmedilmiştir.

Ali Macar Reis’in atlasının bugünkü dünya haritası ile benzer olduğu ancak yaşadıkları yüzyılda kutuplar hakkında yeterli bilgi olmadığından, Avusturya ve Antarktika tek kıta olarak, Grönland da yanlış yerde resmedilmiştir (Şekil 9). Ali Macar Reis’in dünya haritasının, 1561 ve 1565 yılında çizilen diğer dünya haritalarından farklı kılan en önemli özelliği ise, Dünya’nın Güneş çevresinde izlediği yörüngeye göre harita orta meridyeninin, yengeç dönencesi ile oğlak dönencesinin kesişme noktalarının 36 eş parçaya bölünmüş bir düzlem üzerinde olmasıdır (Bora, 2023). Bölünen altı bölüm bir ana bölümü oluşturup; Aslan, Başak, Yengeç, Yay, Akrep, Terazi, Boğa, Koç, İkizler, Oğlak, Kova ve Balık burç simgeleri kırmızı renkte özel işaretlerle temsil edilmiştir.

Başka bir farklılık ise Ali Macar Reis’in yer adlarını Batılı haritalardan bağımsız yazmış olmasıdır. İsimlendirmelerden çoğu Arap-İslam terminolojisi göre (Sri Lanka yerine Serendib) ya da Türkçe’nin günlük diliyle (Mediterranean yerine Akdeniz) yazılmıştır. Ayrıca Ali Macar Reis’in yer isimleri dışında yerleri tasvir eden yazıları da bulunmaktadır buna örnek olarak Maldiv Takımadaları için ‘On iki bini terkedilmiş on iki bini ekili olan yirmi dört bin ada’ ifadesini gösterebiliriz.

Kıtaları tek tek incelediğinde;

- Asya Kıtası; Hindistan ve Arabistan bugünkü haritalara bakılarak iyi resmedilmemiş ve Kızıldeniz çok büyük çizilmiştir.
- Avrupa Kıtası; İngiltere, Fransa, İspanya, İrlanda ve Portekiz yerlerinde gösterilmiş, Akdeniz, Karadeniz,

Batık denizi ve Tuna nehirleri gösterilmiştir. Rusya'nın güneyindeki Hazar denizi ve Volga Nehri istikameti farlı olarak gösterilmiştir.

- Amerika Kıtası; Kuzey Amerika olduğundan büyük çizilmiş, Florida, Haiti, Küba, Porto Riko ve Meksika körfezi küçük olarak çizilmiş ve isimleri üstlerine işlenmemiştir. Güney Amerika Kıtasında olan Macellan Boğazı da haritada ismiyle belirtilmiştir.
- Afrika Kıtası; Güney'de Ümit Burnu, Kuzey'de Tunus ve Cezayir, doğu kıyılarında Habeşistan isimleriyle resmedilmiştir. Ek olarak döneminde o bölgeye sahip olan Açe Sultanlığının ismi Maldiv ve Sumatra Adalarının üstünde yazmaktadır.



Şekil 9. TSMK H.644 Envanter Numaralı 7b-8a Harita

2.2. MapAnalyst

Tarihi haritalardaki deformasyonları incelemek ve doğrulunu analiz etmek günümüz teknolojisiyle yapılabilir hale gelmiştir. Bu bağlamda MapAnalyst yazılımı önemli bir araçtır.

Referans harita ile tarihi harita arasında kontrol noktaları kullanılarak ölçek, deformasyon ve döndürme parametreleri ile ilgili analizler yapılır. Bu sayede tarihi haritaların ne ölçüde güvenilir olduğu ve nasıl hatalar içerdiği tespit edilebilir. Ücretsiz, açık kaynak kodlu bir yazılım olan MapAnalyst, kullanıcı dostu ara yüzü sayesinde <http://mapanalyst.org> adresinden son sürümü indirilip tüm bilgisayarlarda kullanılabilir.

Uygulama esas olarak tarihi ve referans harita arasındaki ortak noktaların eşleşmesiyle çalışır. Yer olarak doğru olduğu bilinen noktalar seçilip analizleri yapılır. Bu ortak noktalar “kontrol noktaları” ya da “özdeş noktalar” olarak adlandırılır uygulamada ise “point” denir. Tarihi haritayı programa ekleyip bu noktalar seçilerek hemen çalışmaya başlanabilir. Uygulamanın oluşturduğu tüm analiz sonuçlarının özü; tarihi ve referans haritadaki bağlantı noktalarının arasındaki koordinatların birbirlerinden çıkması ile oluşan yer değiştirmelerdir. Bu nedenle haritalar aynı projeksiyon ve koordinat sisteminde ise anlamlı sonuç verirler.

Tarihi haritalar günümüz harita projeksiyonları üstüne inşa edilmedikleri için bu uygulama, projeksiyonları bilinmeyen haritaları “alan koruyan silindirik projeksiyon” varsayar. Bu varsayım OSM referans harita olarak kullanıldığında geçerlidir. OSM’i referans harita olarak kullanıp kontrol noktaları eşleşmesi yapıldığında; uygulama, OSM’deki bağlantı nokta koordinatlarını, transversal konumlu alan koruyan silindirik projeksiyona dönüştürür. Açık kaynak kodlu ve küresel coğrafi veri kümesi olan OSM, Mercator projeksiyonunda yayınlanır. Buradan anlaşılacağı üzere hem tarihi haritanın projeksiyonu hem OSM’nin projeksiyonu aynı olarak varsayılır. Projeksiyon sistemlerinin ortak olmasından sonra koordinatlar hala uyumsuzdur. Bu nedenle sonraki aşamada da tarihi harita ile referans haritanın koordinatlarında uygulama bir dönüşüm yapar. Koordinat dönüşümünün parametreleri ortak kontrol noktalarının

koordinatları ile yapılır. Koordinat dönüşümü hesaplanıp referans haritanın nokta koordinatları tarihi haritanın koordinat sistemine dönüştükten sonra noktalarda yer değiştirme yapılabilir. MapAnalyst'te kullanıcının seçebileceği üç dönüşüm türü vardır. Bunlar,

- Beş parametrelili afin dönüşümü
- Altı parametrelili afin dönüşümü
- Helmert dönüşümü

dür.

3. UYGULAMA VE ANALİZ

Uygulamada Ali Macar Reis'in 16. Yüzyılda yapmış olduğu ve saraya sunduğu altı bölgesel, bir dünya haritası olmak üzere toplamda yedi adet haritanın incelemesi MapAnalyst programıyla yapılmıştır. Bu haritalar küçük ölçekli olup portolan harita özelliği taşımaktadır.

Haritaların değerlendirme sonuçlarının doğru olabilmesi için öncelikle görsellerin güvenilir kaynaklar tarafından elde edilmiş olması gerekmektedir. Çalışmada kullanılacak haritalar; Ali Macar Reis' in dönemin padişahı olan II. Selim'e sunduğu ve şu an Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi Hazine Kitaplığında muhafıza edilen haritaların kopyalarıdır. Bu haritalara ait görseller çalışmada kullanılmak ve üçüncü kişilerle paylaşılmamak üzere Milli Saraylar Kütüphanesinden temin edilmiştir.

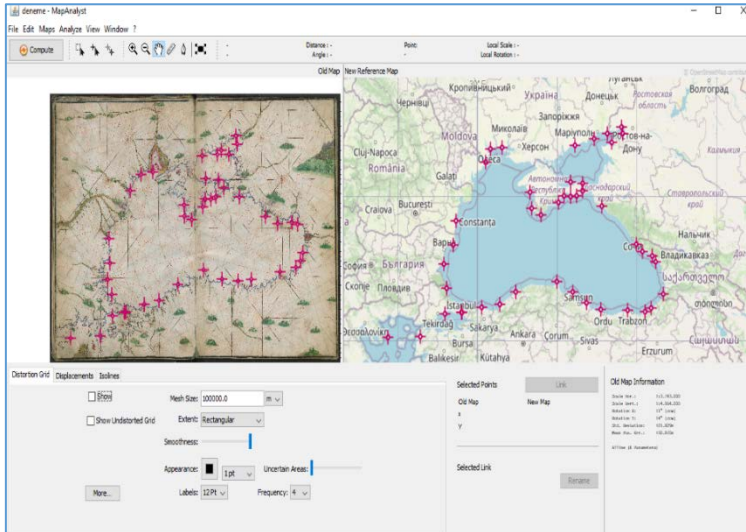
Uygulamaya geçmeden önce programın daha verimli çalışabilmesi için görüntülerin pixel değerlerinin ayarlanması gerekmektedir. Adobe Photoshop programı kullanılarak görüntülerin piksel değerleri yaklaşık 5000x5000 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu çalışmada örnek olması açısından Ali Macar

Reis'in Karadeniz haritası için yapılan uygulama ve analiz değerlendirmelerine yer verilmiştir.

3.1.Karadeniz Haritasının (TSMK H.644) Analizi

Karadeniz kıyılarının tamamını ve kuzey Marmara'nın bir bölümünü kapsayan harita pusula gülü yöntemiyle çizilmiştir. Buna bağlı olarak biri merkezde diğerleri onu çevreleyecek şekilde 17 adet rüzgârgülü vardır. Haritaya ait görsel 43.3x29.7 cm, 10752x7493 piksel ve 600 dpi özelliklerine sahiptir.

Programa 'file-import old map image' basamağını kullanarak ekranın sol tarafına tarihi harita yüklenmiştir. Referans harita olarak OSM kullanılacağından programla birlikte bu haritada açılır ve hemen bağlantı noktaları eşleştirmeleri yapılır. Bağlantı noktaları harita çizimine, yerlerin üzerinde yazılı isim varsa bu isimlere göre yapılmıştır. Bu haritada eşleştirilen noktalar dan bazıları harita üzerine Osmanlıca not edilmiş şu ifadelerle işaretlenmiştir; Ukrayna'nın güneyinde 'sazlı ova', Amasra, Erzurum, Kefken vb. Haritada toplam 44 adet bağlantı noktası eşleştirilmiş ve hesaplamaları yapılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Karadeniz haritası bağlantı noktaları

Eşleştirilmiş noktalarla hesaplama yapılabilmesi için “compute” seçilir ve bundan sonra gösterimler ve değerler incelenebilir. Hesaplamalarda kullanılacak noktaların koordinat listesi sırasıyla verilmiştir (Şekil 11).

Linked Points				
Link Name	X Old Map [m]	Y Old Map [m]	X New Map [m]	Y New Map [m]
1	0.115308	0.063986	3226099.770764	5014924.206405
2	0.117435	0.064476	3226029.712772	5015732.660980
3	0.096985	0.059953	3113338.891581	5007937.231802
4	0.078042	0.036610	2938173.989572	4887099.470468
5	0.032110	0.034080	271576.787277	4886256.749356
6	0.146007	0.073279	3369447.415436	5043276.789121
7	0.127823	0.113051	3894487.303132	5174837.560399
8	0.168874	0.077824	3494749.268076	5056596.517238
9	0.187972	0.096252	3605110.446625	5123375.791718
10	0.266203	0.103504	4002476.987928	5121370.185139
11	0.291009	0.100388	4100962.404714	5063687.795175
12	0.243026	0.118121	3890687.218568	5106134.294276
13	0.260702	0.211781	4071396.753788	5691056.438711
14	0.093904	0.084655	3123034.647904	5143377.769768
15	0.089170	0.101970	3105886.473487	5206632.323545
16	0.092811	0.128859	3168768.209349	5367238.184606
17	0.159097	0.228408	3512103.823943	5877069.075083
18	0.207464	0.188297	3794125.799280	5644872.924665
19	0.207966	0.175250	3718348.220513	5557340.009982
20	0.311640	0.102146	4198873.288338	5029562.019344
21	0.303981	0.110787	4388107.432094	5028179.060518
22	0.268987	0.207956	4074081.209408	5652300.949405
23	0.293074	0.197463	4207223.178252	5368870.803777
24	0.383274	0.163790	4909789.225321	5280985.198020
25	0.374323	0.168300	4561073.709797	5309032.425397
26	0.391175	0.133146	4635334.253034	5109839.679340
27	0.380508	0.116076	4508145.548518	5018314.793364
28	0.387314	0.123483	4532660.304987	5039489.460983
29	0.091467	0.149225	3199960.964613	5149406.478690
30	0.143065	0.225497	3431005.331795	5688716.218046
31	0.124351	0.204833	3396226.808880	5801582.697951
32	0.399628	0.238581	4353277.638435	5748840.383168
33	0.276842	0.246715	4274457.770222	5902366.375204
34	0.287754	0.268400	4345617.569889	5885244.620871
35	0.265202	0.251610	4245427.783195	5950481.659623
36	0.235247	0.245132	4019400.464909	5886540.732485
37	0.259032	0.246658	4155407.482875	5923093.737035
38	0.256668	0.197798	4032576.649788	5625978.979622
39	0.249002	0.194816	3889344.326711	5621464.924308
40	0.240130	0.193333	3943034.341968	5623658.993770
41	0.239460	0.186052	3905308.966998	5588910.029874

Şekil 11. Karadeniz haritası bağlantı noktalarının koordinatları

Uygulamada bağlantı noktalarından yapılan hesaplarla Karadeniz haritasının ölçekleri verilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Karadeniz haritası ölçek bilgileri

Helmert	Afin 5		Afin 6	
	Yatay	Düşey	Yatay	Düşey
1:3.857.132	1:3.767.531	1:4.093.774	1:3.743.082	1:4.063.775

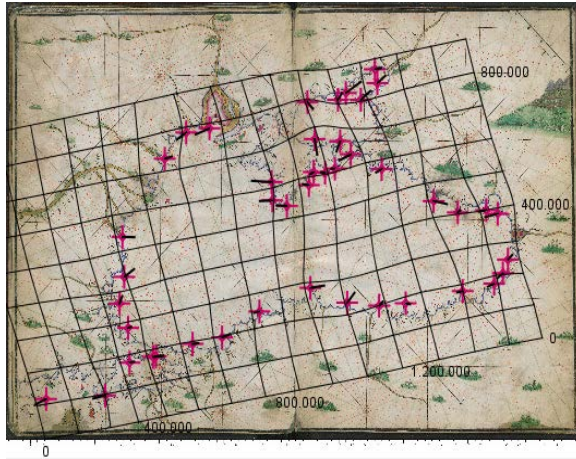
MapAnalyst ile bağlantı noktalarıyla yapılan ölçümlerde dönüşümlere göre Karadeniz haritasının ortalama konum hataları verilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Karadeniz haritası standart sapma değerleri

Helmert	Afin 5	Afin 6
25.682 m	23.398 m	21.828 m

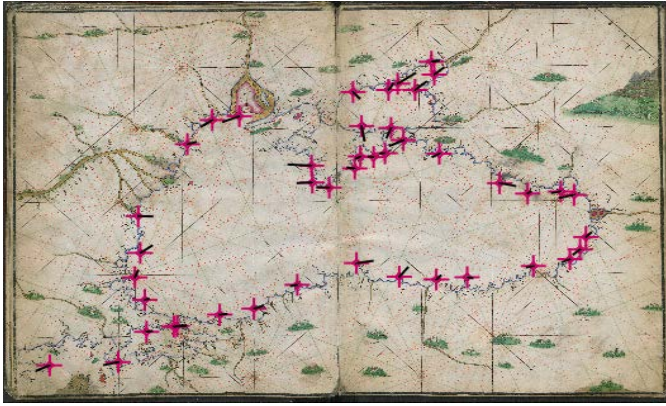
Ölçümlerden elde edilen veriler incelendiğinde Karadeniz haritasında en az hata yapılan dönüşüm türünün Afin 6 parametrelili dönüşüm olduğu tespit edilmiştir. İlk olarak

deformasyon ağıнын gösterimi için grid aralığı 100 000 m olarak seçilmiş ve “Show” tuşu işaretlenmiştir. Oluşan görsel Şekil 11’de gösterilmiştir. Deformasyon ağı incelendiğinde bozulmanın yoğun olduğu yer haritanın kuzey tarafıdır.



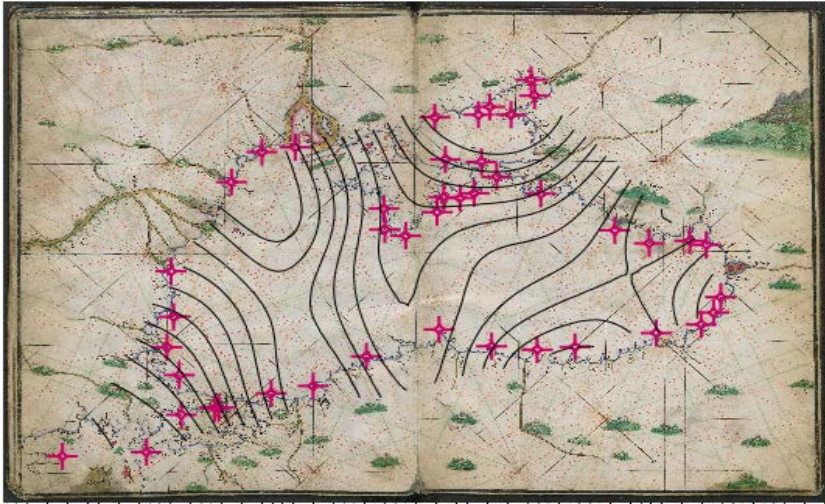
Şekil 11. Karadeniz haritasındaki deformasyon ağı gösterimi

Yer değiştirme bilgilerinin gösteriminde “vektör” seçilmiştir. Bunun sebebi bağlantı kurulan noktaların referans haritaya göre olması gereken esas konumları görebilmektir. Yer değiştirme haritası incelendiğinde haritanın kuzey tarafındaki noktaların daha kuzeyde olmaları gerektiği, diğer bağlantı noktalarının ise genelde haritanın merkezine doğru kaydırılması gerektiği görülmektedir. Genel olarak noktaların referans haritaya göre başarılı konumlandırıldığı ve ortalamanın üstünde bir kayıklık olmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. Karadeniz haritasındaki yer değiştirme vektörleri

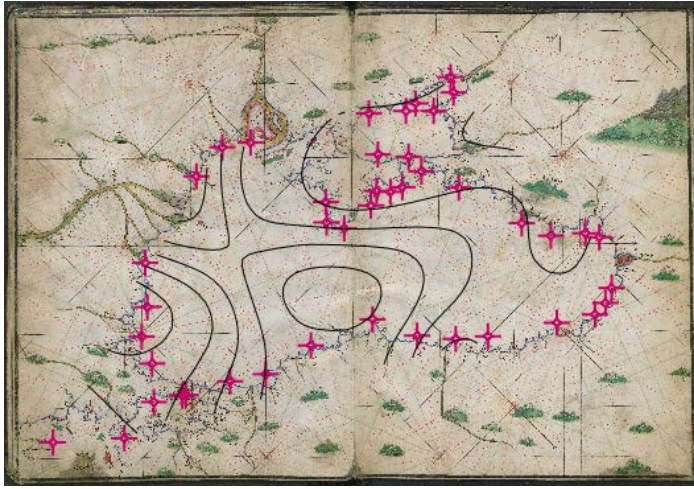
Tarihi haritada düzgün bir gösterim sağlayabilmek adına etki yarıçapı 500 000 m olarak ve ölçek eşdeğer eğri aralığı 100 000 m olarak belirlenip sağlıklı bir görünüm elde edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Karadeniz haritasındaki ölçek eşdeğer eğrileri

Elde edilen ölçek eş değeri eğri görselinde, tarihi haritanın ölçeği 1:3 600 000 ile 1:4 500 000 aralığında değerlendirilmiştir. Bu görsele bakarak haritanın özellikle kuzey ve güneybatı yönlerinde ölçek hatalarının olduğu belirlenmiştir.

Rotasyon eş değer eğrilerinin aralık değeri 2 derece olarak, etki yarıçapı ise ortalama bir değer çıkması için 500 000 m ile hesaplama yapılmıştır. Oluşturulan görselde Karadeniz haritasında eş açı deformasyon eğrileri 8 ile 16 derece arasındadır. Ölçek hatalarında olduğu gibi haritanın kuzey ve güneybatı kısmında döndürme açı hatalarının yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 14).



Şekil 14. Karadeniz haritasındaki eş açı deformasyon eğrileri

4. SONUÇLAR

Haritalar, insanlığın bulunduğu konumu anlama ve ifade etme çabasının oluşturduğu bir eylemdir. Kültürel, politik ve fiziksel birçok alanı içinde bulunduran haritalar bu bilgilerin aktarılmasındaki en önemli araçlardan biridir. Aktarılan bilgilerin doğruluğunu araştırmak ve anlaşılabilmesini sağlamak için günümüzde birçok yazılım programı kullanılmaktadır. Bu programlardan biri olan MapAnalyst ile Türk haritacılık tarihinin önemli haritacılarından Ali Macar Reis'in dönemin padişahı II. Selim'e sunduğu 7 harita incelenmiştir. Tarihi haritaların analizlerinin yapılabilmesi için referans harita olarak programın

kullanıcıya sunduğu OpenStreetMap kullanılmıştır. Tarihi haritalarla, Referans haritalar arasında oluşturulan bağlantı noktaları ile programda bulunan üç dönüşüm yöntemi kullanılarak ayrı ayrı hesaplamalar yaptırılmıştır.

İncelenen haritaların hepsinin küçük ölçekli harita olduğu görülmektedir (Çizelge 3). Bölgesel haritalardan en küçük ölçekle çizilen harita İngiliz Adaları ve Atlantik Kıyıları haritası olurken en büyük ölçeğe sahip haritanın Ege Adaları haritası olduğu anlaşılmıştır. Dünya haritasında ise Afin 5 ve Afin 6 dönüşümlerinde yatay ile düşey ölçek arasında ciddi farklar olduğu gözlemlenmiştir. Bunun harita ölçeğinden kaynaklı, kullanılan projeksiyon sistemi farklılığından olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3. Haritaların ölçek bilgileri

	Helmert	Afin 5		Afin 6	
		Yatay	Düşey	Yatay	Düşey
Karadeniz	1:3.857.000	1:3.767.000	1:4.094.000	1:3.743.000	1:4.064.000
D. Akdeniz	1:4.046.000	1:4.115.000	1:3.938.000	1:4.065.000	1:3.889.000
O. Akdeniz	1:4.231.000	1:4.113.000	1:4.314.000	1:4.092.000	1:4.294.000
B. Akdeniz	1:4.257.000	1:4.194.000	1:4.402.000	1:4.173.000	1:4.380.000
İng Adaları	1:4.612.000	1:4.412.000	1:4.703.000	1:4.384.000	1:4.674.000
Ege	1:2.586.000	1:2.618.000	1:2.541.000	1:2.621.000	1:2.543.000
Dünya	1:96.247.000	1:58.055.000	1:143.350.000	1:60.959.000	1:128.883.000

Uygulamada elde edilen başka bir veri, haritaların dönüklük miktarlarıdır. Hazırlandığı dönem şartlarına göre bölgesel haritaların tamamının dönüklük ortalamaları oldukça başarılıdır. Ali Macar Reis'in bölgesel haritalarını, döneminde yaygın olarak kullanılan pusula gülü metoduyla oluşturduğu ve bu metodu başarılı bir şekilde kullanarak harita dönüklüklerini oldukça iyi ayarladığı görülmüştür. (Çizelge 4).

Çizelge 4. Haritaların ortalama dönüklükleri (derece olarak)

	Helmert	Afin 5	Afin 6	
			Yatay	Düşey
Karadeniz	11	12	11	14
D. Akdeniz	10	10	12	8
O. Akdeniz	8	7	10	6
B. Akdeniz	6	6	6	8
İng Adaları	5	6	4	6
Ege	10	10	11	8
Dünya	35	21	6	49

Gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda, kullanılan yöntemin özellikle büyük ve orta ölçekli haritaların analizinde daha güvenilir ve yüksek doğrulukta sonuçlar ürettiği belirlenmiştir. Küçük ölçekli haritalarda da başarılı sonuçlar elde edilmekle birlikte, yeryüzünün tamamını kapsayan haritalarda kullanılan harita projeksiyonlarından kaynaklanan geometrik bozulmaların analiz sonuçlarını etkileyebildiği tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, MapAnalyst yazılımının tarihi haritaların sayısal ve görsel özelliklerini farklı analiz yöntemleriyle değerlendirerek kullanıcıya istenilen formatta sunabilmesi bakımından önemli bir analiz ve karşılaştırma aracı olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca yazılımın kolay kurulumu, kullanıcı dostu ara yüzü ve kapsamlı analiz olanakları, tarihi haritaların değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda tercih edilebilirliğini artıran önemli özellikler olarak değerlendirilmektedir. Osmanlı denizciliği ve Kartografya tarihi açısından önemli isimlerden biri olan Ali Macar Reis'e ait haritalar, bu çalışma kapsamında günümüz coğrafi bilgi teknolojileri kullanılarak hem görsel hem de matematiksel açıdan analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, söz konusu haritaların yalnızca tarihsel ve estetik bir değer taşımadığını, aynı zamanda dönemin kartografik bilgi birikimini ve teknik yeterliliğini yansıtan önemli kültürel miras unsurları olduğunu göstermektedir. Bu tür çalışmalar, geçmişte üretilen kartografik eserlerin bilimsel yöntemlerle değerlendirilmesine katkı sağlamakta, tarihsel haritacılık anlayışının daha iyi anlaşılmasına

olarak tanımakta ve kültürel mirasın korunarak gelecek nesillere aktarılmasına bilimsel bir temel oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

- Aktaş, A. S., Yılmaz, İ., Yılmaz, M, (2025), Kartografyanın Geçmişi, Günümüzü ve Geleceği Üzerine İnceleme, Harita Dergisi, Ocak 2025, Sayı: 173, 30-38, Harita Genel Müdürlüğü, Ankara
- Bora, A.G., (2023), Türk Denizci Ali Macar Reis'in Atlasının İncelenmesi, Milli Savunma Üniversitesi Mavi Vatan Dergisi, 4 (12), 142-155.HKMO., (2026), Sürdürülebilir Dünya İçin Harita Yapımı, HKMO Yayınları, Ankara.
- Köktürk, E., (2004), Haritacılığın 5000 Yıllık Yürüyüşü (Tarihsel Süreç-Gelişme Dinamikleri) (1.Bölüm: Babiller'den Antik Çağa), Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2004/90, 32-40.
- Kurt, E.B., (2025), Türk Haritacılık Tarihinde Ali Macar Reis Ve Atlası: Kartografik İncelemeler, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kurtoğlu, F., (1935), Türk Süel Alanında Harita Ve Krokilerine Verilen Değer ve Ali Macar Reis Atlası, Sebat Yayınları, 50s, İstanbul.
- Önder, M., (2002), Geçmişten Günümüze Resimlerle Türk Haritacılık Tarihi, T.C. M.S.B. Harita Genel Komutanlığı, 390s, Ankara.
- Soucek, S., (1971), The “Ali Macar Reis Atlas” and the Deniz Kitabı: Their Place in the Genre of Portolan Charts and Atlases, Imago Mundi, 25, 17-27.
- Uçar, D., Uluştekin, N., (1987), Ali Macar Reis'in Ege Havzası Haritası, Harita Dergisi, 1987, 98, 81-91.
- Yılmaz, M., (2024), Kitab-ı Bahriye ve Kıbrıs Adası, Mühendislik Bilimlerinde Güncel Araştırmalar:

Araştırma, Metodoloji ve Yenilik, Livre de Lyon Yayınları, Kitap Bölümü, 409-426.

Yılmaz, M., (2025), Kitab-ı Bahriye’de Gelgit Olgusu: Cerbe Adası, Akademik Perspektiften Harita Mühendisliği, Yaz Yayınları, Kitap Bölümü, 63-64.

Yılmaz, İ., Güllü, M., Yılmaz, M., Dereli, M.A., (2010), Compass roses on the Book of Navigation Kitab-ı Bahriye Declination data source for geomagnetic field models, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 182 (2010), 170-174.

Yılmaz, İ., Yılmaz, M., (2015), Piri Reis’in Eserlerinde Afrika, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi , 7 (3), 34-44.

Yılmaz, M., Yılmaz, İ., Turgut, B., Güllü, M., (2017), Geo-Historical Review of the Mediterranean Rivers from Kitab-ı Bahriye (Book of Navigation), Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017, SPRINGER, 1205-1207.

Yılmaz, İ., Yılmaz, M., (2017), Geo-Environmental Information About Tunisian Cities and Coasts Within Kitab-ı Bahriye, Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017, SPRINGER, 1387-1389.

QUALITY AND UNCERTAINTY IN MULTI-SOURCE 3D GEOSPATIAL DATA: FROM DATA PRODUCTION TO GIS-BASED ANALYSIS

Osman Sami KIRTILOĞLU¹

Müge AĞCA²

1. INTRODUCTION

Three-dimensional (3D) geospatial data are now produced from a wide range of measurement technologies. Photogrammetry, unmanned aerial vehicles (UAVs), Light Detection and Ranging (LiDAR), and Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are routinely used to capture terrain and surface geometry. Satellite laser altimetry and digital elevation models (DEMs) add further sources of elevation information. Yet these datasets do not describe space in the same way. They differ in spatial support, resolution, acquisition time, and processing history. This creates more than a data-volume problem. In many applications, analysts must compare or combine several representations of the same area and decide whether those representations are sufficiently compatible for a common analysis.

A dataset can satisfy a positional accuracy requirement and still be poorly suited to a particular analysis. The reasons are often practical. Its spatial resolution may be too coarse for the

¹ Assistant Professor, İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Geomatics Engineering, ORCID: 0000-0003-2307-1787.

² Associate Professor, İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Geomatics Engineering, ORCID: 0000-0003-0190-7280.

phenomenon being studied, the acquisition date may not correspond to the period of interest, or the selected representation may smooth out local variation that is important for interpretation.

The situation becomes more complex once primary measurements are transformed into derived products. A point cloud may be converted to a raster surface. A DEM may be used to calculate slope, while two surfaces acquired at different times may be differenced to estimate change. Those transformations do more than carry the original error forward. Grid spacing, cell origin, interpolation, neighbourhood size, and aggregation can all alter the result. For us, this is a key reason to follow uncertainty through the workflow instead of reporting it only for the final map or model.

Existing standards support this broader understanding of quality. ISO 19157-1:2023 considers several dimensions of geographic data quality and relates them to the requirements of a particular application. The 2024 ASPRS Positional Accuracy Standards focus more specifically on horizontal, vertical, and three-dimensional positional accuracy and provide guidance for current mapping technologies (International Organization for Standardization [ISO], 2023; American Society for Photogrammetry and Remote Sensing [ASPRS], 2024). We therefore treat positional accuracy as an essential measure, but not as a complete description of data quality. Suitability still depends on how the data will be used.

With this perspective, we examine multi-source 3D geospatial data as part of a connected workflow rather than as isolated products. We follow the workflow from measurement and positioning to 3D reconstruction, reference systems, spatial representation, data integration, GIS analysis, and visualization. The final section brings these stages together in the 3D Geospatial Data Quality and Uncertainty Chain. We use the chain as a way

of reading the workflow, not as another accuracy metric. It helps us ask three practical questions: where uncertainty first enters, how later operations change it, and which parts of a dataset's origin and processing history need to remain visible when different 3D sources are combined.

2. QUALITY AND UNCERTAINTY IN 3D GEOSPATIAL DATA

2.1. Data Quality, Accuracy, and Uncertainty

Also, accuracy, precision, error, and uncertainty are closely related, they do not describe the same property. Accuracy is a result that agrees with an accepted reference. Precision concerns the consistency of repeated observations, whereas error is the difference between an observed value and its reference. Uncertainty is broader. It reflects the limits of what is known about a quantity. It can include random variation, incomplete knowledge, or assumptions introduced during measurement and modelling (Wechsler, 2007). Keeping these terms separate, makes it easier to identify where a quality problem enters the workflow and how far its effects may extend.

Positional accuracy is only one part of the data quality. ISO 19157-1 also considers thematic accuracy, temporal quality, completeness, logical consistency, and usability (ISO, 2023). In 3D work, positional error often receives the most attention because it can be quantified directly. That emphasis is useful, but it can also narrow the assessment. A dataset may be geometrically precise and still be unsuitable for an analysis because it is outdated, incomplete, too coarse for the process of interest, or represented in a way that removes relevant local variation.

Multi-source workflows make local differences in quality easier to see. Sensors sample the same surface in different ways,

and processing does not affect every location equally. In an image-derived point cloud, for example, a steep or weakly textured area may reconstruct less reliably than a flat, well-textured part of the same survey. Interpolation and resampling can then redistribute those local errors. We therefore avoid assuming that one uncertainty value describes an entire dataset; quality may vary substantially within a single product.

Derived variables raise another question: how much of the final uncertainty comes from the source data, and how much is introduced by the analysis itself? GIS error-propagation research has addressed this issue for decades (Heuvelink, 1998). We find it useful to separate two checks. One asks whether the final product agrees with an appropriate reference. The other asks which operations shaped the uncertainty that remains. The first is a validation question; the second is a provenance question. In a complex 3D workflow, both are needed to understand why a result behaves as it does.

2.2. International Standards and Fitness for Use

International standards give us a common basis for discussing data quality. ISO 19157-1:2023 provides a shared vocabulary for describing, evaluating, and reporting geographic data quality. It also links quality information to the requirements of a specific application (ISO, 2023). The standard does not eliminate uncertainty. Instead, it helps producers and users describe quality in a clear and traceable way. This makes comparisons across datasets and institutions easier. For positional quality, the 2024 ASPRS standards provide a more measurement-oriented view. They address horizontal, vertical, and three-dimensional accuracy. They also include guidance for photogrammetry, LiDAR, UAS mapping, and oblique imagery (ASPRS, 2024). This reflects the way 3D data are now used in practice. Point clouds, meshes, and gridded surfaces are often

final analytical products. They are no longer only intermediate products for creating a 2D map. We therefore need to consider their quality in three dimensions from the beginning.

The same accuracy level is not suitable for every task. A tolerance that is acceptable for regional environmental screening may be too large for engineering surveying. A DEM may also work well for broad terrain characterization but still be too coarse for a local flood model. Resolution matters. So do temporal currency, completeness, level of detail, and uncertainty. We consider these properties together because their importance depends on the analysis being carried out. The concept of fitness for use captures this point well. The dataset with the lowest numerical error is not always the best choice. Coverage may matter more. Acquisition date may also be critical. Spatial support, processing cost, and compatibility with other inputs can be equally important. In a multi-source analysis, a slightly less accurate dataset may still be more useful if it matches the scale and structure of the model better. For this reason, we evaluate quality in relation to the intended use rather than as an isolated property of the data.

3. SOURCES OF UNCERTAINTY IN 3D DATA PRODUCTION AND INTEGRATION

3.1. Measurement and Data Production Uncertainties

Uncertainty in a 3D product rarely comes from a single source. Survey design can affect it. So can positioning, georeferencing, reconstruction, filtering, classification, interpolation, and product generation. These effects may also interact. An error introduced during acquisition may be reduced at a later stage. It may also remain unchanged or become larger. We therefore evaluate quality across the full production chain rather than linking it to one instrument or software setting.

UAV photogrammetry is a clear example. Platform stability, camera model, flight geometry, image overlap, ground sampling distance, illumination, calibration, georeferencing strategy, and processing parameters all affect the reconstructed surface (Pargieła, 2023). Their influence is not constant. Terrain relief, image texture, camera configuration, and the type of output can change their relative importance. For this reason, we do not assume that an accuracy value reported for one survey will apply to another. The second survey needs to be considered on its own design. Ground control raises a similar issue. Its effect is often reduced to the number of control points. Their spatial arrangement is equally important. Hastaoğlu et al., (2023) examined height differences together with GCP geometry. They found that the arrangement of the control network affected point-cloud accuracy. More control points do not necessarily improve the result if their distribution remains poor. In rugged terrain, vertical spread can be as important as horizontal coverage.

Dense image matching introduces uncertainty in another way. Structure-from-Motion and Multi-View Stereo estimate 3D coordinates from image correspondences and camera geometry. They do not measure each point directly. Checkpoint RMSE provides a useful overall measure, but it can hide local differences in reconstruction quality. Huang and Qin (2025) address this problem at a finer scale. They carry uncertainty from dense matching and reconstruction into the point cloud itself. This allows reliability to be examined where image texture, viewing geometry, or occlusion changes within the scene. LiDAR measures range directly, but this does not make the final coordinates free from uncertainty. Range error, trajectory positioning, attitude estimation, and boresight calibration all contribute. Elaksher, Ali, and Alharthy (2023) identified both random and systematic components in their field-based assessment. The raw laser points are only the beginning of the

process. Ground filtering can change the result. Point density, surface reflectance, and interpolation can do the same. We therefore do not assume that a derived DEM or DSM has the same uncertainty as the original laser points.

These examples also explain why we consider provenance important. RMSE shows how closely a product agrees with control data. It does not explain how that result was produced. In a multi-stage 3D workflow, the acquisition and processing decisions that came before the final value also matter. We treat this history as part of quality assessment. It is not simply documentation added after the analysis.

3.2. Reference Systems and the Vertical Component

Reference-system problems often appear only after datasets are brought together. Heights are particularly sensitive to this issue. Two identical numerical values may represent different physical elevations if they refer to different vertical datums or reference surfaces. A horizontal transformation can make two datasets appear aligned while a vertical offset remains. GNSS observations usually provide ellipsoidal height. Many mapping and engineering applications, however, use orthometric height. Their relationship is expressed as

$$H = h - N \quad (1)$$

where H is orthometric height, h is ellipsoidal height, and N is geoid height. The arithmetic is simple, but the reference definitions are not. The height values, datum, and geoid model must describe the same vertical system.

Differences in vertical datum, geoid model, reference frame, or positioning strategy can create systematic offsets. Each dataset may still satisfy its own accuracy requirements. Problems arise when those datasets are compared directly. This is common when GNSS observations, airborne LiDAR, photogrammetric

surfaces, satellite laser-altimetry data, and DEM products are used together. What first appears to be a sensor discrepancy may actually come from the reference system.

Ağca and Daloğlu (2023) provide a concrete example. They examined local geoid and orthometric-height determination using GNSS/CORS, airborne LiDAR, and ICESat-2/ATLAS observations. Their comparison shows the importance of resolving the vertical reference before interpreting height differences between data sources. Otherwise, a difference related to the reference surface may be mistaken for sensor or measurement error.

We therefore treat reference-system harmonization as part of quality control. Before comparing datasets, we need to know the horizontal and vertical datums, the units, and the transformation method. Transformation uncertainty should also be retained when it is available. Without this information, a systematic offset may be misinterpreted as deformation, surface change, sensor bias, or processing error. Reliable comparison begins with a clear understanding of what the coordinates represent.

3.3. Integration of Multi-Source 3D Geospatial Data

Each 3D technology observes the environment in its own way. Combining several sources can add useful information, but it can also make comparison more difficult. A common coordinate reference system is necessary. It is not enough on its own. Two datasets may share the same coordinate space and still differ in what they measured, when they measured it, and how the measurements were represented. Photogrammetry and LiDAR show this difference clearly. Photogrammetric point clouds depend on image geometry, surface texture, matching performance, and visibility. LiDAR derives coordinates from direct range measurements along the sensor trajectory. The two

sources can therefore differ in point density, occlusion, surface penetration, directional sensitivity, and local noise. Similar overall positional accuracy does not mean that uncertainty follows the same spatial pattern.

Cross-source registration is one stage where these differences become especially important. Huang, Mei, and Zhang (2023) identify density and scale differences, incomplete overlap, structural dissimilarity, and local geometric ambiguity as common difficulties in point-cloud alignment. Xu, Qin, and Song (2023) also show that registration performance changes with scene complexity, overlap, source type, and geometric similarity. We therefore do not regard one registration algorithm as suitable for every dataset. The method should be selected according to the characteristics of the data. Spatial support creates another source of mismatch. A UAV point cloud may capture centimetre-scale surface variation. A raster DEM or satellite observation usually represents a larger spatial unit or a more aggregated condition. When these sources are compared directly, the observed difference may contain both measurement and representation effects. If spatial support is ignored, a representational difference can easily be mistaken for sensor error.

Acquisition time can cause a similar problem. Construction, erosion, vegetation growth, seasonal canopy change, or other disturbances may occur between surveys. A real change on the ground may then appear as disagreement between sensors. The opposite is also possible. Processing differences or reference-system offsets may weaken a genuine change signal. In multi-temporal analysis, we therefore treat acquisition date as part of the analysis rather than as background metadata. Integrating multiple 3D sources usually requires several forms of harmonization. Reference systems may need to be reconciled. The same is true for spatial support, resolution, sampling structure, acquisition time, geometric alignment, and

representation. These are not simple file-conversion choices. Each decision can affect the uncertainty carried into later GIS analyses. We therefore record the assumptions behind these decisions and, where possible, evaluate them against the intended use.

4. SCALE, SPATIAL RESOLUTION, AND UNCERTAINTY PROPAGATION IN GIS ANALYSES

4.1. Scale, Resolution, and Spatial Representation

Scale can refer to different things in the same spatial study. It may describe the geographic process being studied. It may also refer to measurement support, raster cell size, the observation window, or the analytical unit used by a model. Oshan, Wolf, Sachdeva, Bardin, and Fotheringham (2022) show that these meanings are often used interchangeably. Yet they can affect spatial inference in different ways. This becomes especially important when 3D measurements are converted between point, raster, and object representations. Each change in representation alters the information available for analysis. Moving from a point cloud to pixels, grid cells, objects, or analytical units always involves some loss or simplification. A dense point cloud may preserve local surface roughness. That detail may disappear in a coarser raster. An object representation may preserve semantic identity while simplifying geometry. We therefore consider representation as part of the analytical choice, not simply as a data format.

Salekin, Lad, Morgenroth, Dickinson, and Meason (2023) provide a useful example. They used LiDAR-derived terrain data from two forest sites in New Zealand. Their analysis began with a 1 m DEM. They then generated coarser surfaces at 5 m intervals up to 30 m and evaluated six topographic attributes. Mean

absolute error generally increased as the grid became coarser. Several attributes also showed clear divergence beyond 15 m. Under the conditions of their study, they recommended resolutions finer than 15 m. They also found that plot-average values represented bounded areas better than a single value taken at the plot centre. In this case, resolution and sampling support affected the result together. We do not treat resolution as a simple metadata entry. It affects which spatial structures remain visible and which are generalized. No single cell size is suitable for every terrain, process, or analytical objective. Before comparing datasets, we therefore ask whether they represent space at comparable support and resolutions.

4.2. Propagation of Uncertainty into Derived Spatial Analyses

Uncertainty does not move unchanged from input data to a derived product. Each analytical step can alter it. Differentiation, interpolation, thresholding, classification, and numerical modelling can change both its magnitude and its spatial pattern (Heuvelink, 1998; Wechsler, 2007). We therefore do not treat input accuracy as a direct measure of uncertainty in the final result. Common GIS workflows make this clear. Slope depends on elevation error, but it also depends on neighbourhood geometry. Flood extent is influenced by DEM structure as well as hydraulic assumptions and model settings (Aristizabal, Chegini, Petrochenkov, Salas, & Judge, 2024). Volume estimates depend on how the surfaces are reconstructed and interpolated. Multi-temporal change requires another check. Before interpreting a difference as physical change, we first need to know whether the datasets are sufficiently comparable.

Nguyen et al., (2025) provide a clear example of the effect of GIS settings. They used LiDAR-derived DEMs and LISFLOOD-FP. Grid translations and rotations were tested at 2,

5, 10, and 20 m resolution under six return-period scenarios. The source LiDAR data remained unchanged. Grid alignment alone produced about 7% variation in simulated flood extent and 27% variation in flooded buildings. Rotation produced the larger effect because grid orientation interacted with river geometry. In this case, the difference came from spatial discretization rather than from the source measurements. A similar issue appears in multi-temporal point-cloud analysis. An observed displacement does not always represent physical change. Georeferencing error may contribute to it. So many differences in point density, surface roughness, normal-vector estimation, and other sources of positional uncertainty. Koçak et al., (2025) show why M3C2 distances should be interpreted together with external accuracy. We consider a measured distance meaningful only when it can be distinguished from the uncertainty of the comparison. DEM correction research also shows a shift in how error is treated. Many studies no longer describe an entire surface with one global value. Instead, they model how error varies across space and use machine-learning methods to reduce it. Kırtıloğlu, Akyel, and Koçak (2025) document the growing use of these approaches in their bibliometric review. This perspective is useful because DEM error is rarely distributed uniformly across a surface.

For us, these examples point to the same conclusion. Measurement error is only the starting point. Rasterization, spatial support, interpolation, model structure, thresholds, and parameter choices can all modify uncertainty during analysis. A low input RMSE does not guarantee the same level of reliability in the derived product. Table 1 summarizes these sources and their effects across the data lifecycle.

5. VISUALIZATION OF UNCERTAINTY AND A CONCEPTUAL FRAMEWORK

5.1. Cartographic and 3D Representation of Uncertainty

Uncertainty is useful only if readers can see how it affects the result they are interpreting. A rigorous error model can still be lost in communication when a map or 3D scene presents every location with the same apparent confidence. Many spatial products emphasize the estimated value and leave its confidence in the background. Crisp boundaries and smooth surfaces can then look more certain than the observations justify. MacEachren et al. (2005) identified this as a central problem in geospatial visualization: the way uncertainty is shown can influence what readers notice and how they interpret the spatial evidence.

Table 1. Sources and propagation of uncertainty across the 3D geospatial data lifecycle

Stage	Main sources of uncertainty	Potential effects	Assessment or mitigation
Data acquisition	Sensor performance; environment; acquisition geometry	Measurement noise; incomplete representation	Calibration; survey design; quality control
Positioning and georeferencing	GNSS; control network; datum and reference systems	Horizontal/vertical offsets; systematic bias	Checkpoints; reference-system verification
3D data production	Matching; reconstruction; filtering; classification; interpolation	Local geometric errors; surface distortion	Residual analysis; point-level uncertainty; validation
Spatial representation	Resolution; aggregation; grid alignment; spatial support	Generalization; loss of extremes; altered derivatives	Multi-resolution and sensitivity analysis
Multi-source integration	Density; scale; temporal differences; alignment	Misregistration; non-comparable observations	Harmonization; registration assessment
GIS analysis	Model assumptions; neighbourhoods; parameters	Propagated or amplified uncertainty	Sensitivity and uncertainty analysis
Visualization	Symbology; classification; omitted uncertainty	Overconfidence or misinterpretation	Explicit uncertainty representation

Cartographers have several ways to show uncertainty, including colour, lightness, transparency, texture, boundary variation, and symbol size. The choice is not neutral. A second visual layer can hide the main pattern or make the display harder to read. Lim, Brandt, and Seipel (2024) demonstrated this in flood-uncertainty maps, where different encodings affected location-based decisions, confidence, and map preference. Participants did not simply prefer different designs; they used the information differently.

Tennant and Randall (2025) reached a similar conclusion after reviewing studies that used colour, shape, boundaries, texture, symbols, noise, and text. No single encoding performed best for every task or user group. Context, experience, and the purpose of the visualization all mattered. They also found a thinner empirical base for interactive and 3D approaches than for static 2D maps. This is especially relevant when elevation, geometric change, and uncertainty have to share the same 3D scene. The display must reveal weaker evidence without obscuring the form that users are trying to read.

5.2. The 3D Geospatial Data Quality and Uncertainty Chain

Across the studies reviewed here, the same issue appears repeatedly: uncertainty changes as data move through the workflow. It may start with measurement, but it is reshaped by transformation, representation, analysis, and communication. A final accuracy statistic can describe the outcome at one point in that chain; it cannot reconstruct the path that produced it.

Figure 1 is our attempt to make that path explicit. The 3D Geospatial Data Quality and Uncertainty Chain follows data from acquisition and positioning through 3D production, scale and resolution choices, multi-source integration, GIS analysis, visualization, and final use. We distinguish three processes within

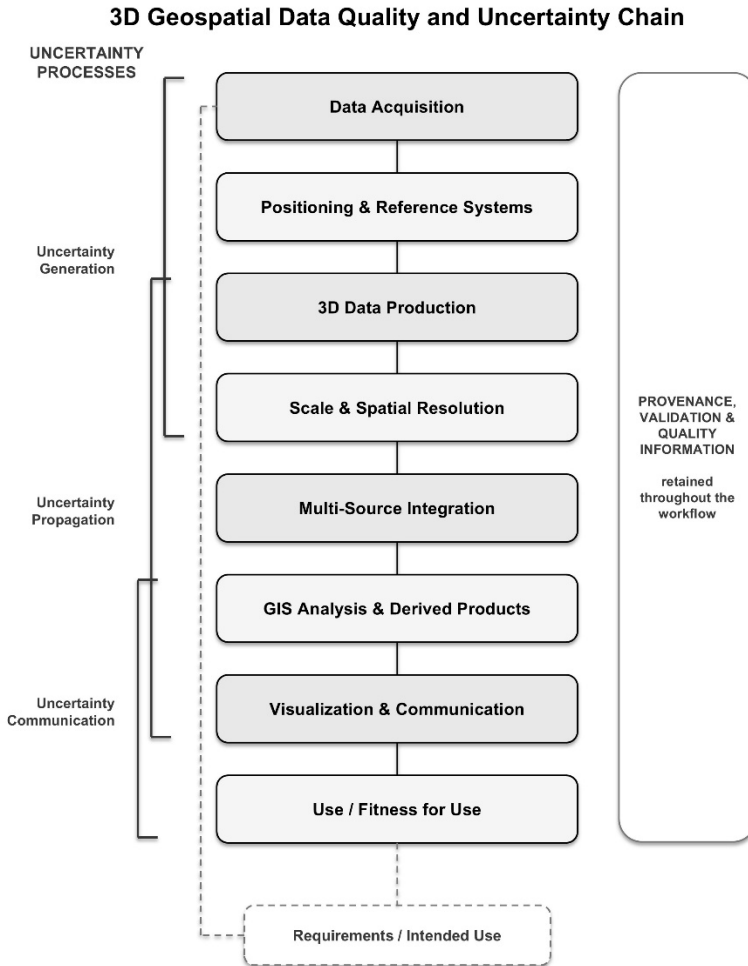
the chain: uncertainty generation, propagation, and communication. Their boundaries overlap by design. Provenance, validation, and other quality information stay connected to the data, while intended use feeds back to decisions made earlier in the workflow.

Near the start of the chain, sensor behaviour, observation geometry, environmental conditions, and positioning are often the main concerns. Reconstruction, filtering, classification, interpolation, and surface generation then modify what was inherited from acquisition. When datasets are integrated, differences in spatial support, resolution, reference systems, acquisition time, and geometric alignment become more prominent. The uncertainty can change in size, but it can also change where it occurs.

GIS analysis adds another set of choices. Neighbourhood size, thresholds, grid orientation, interpolation method, and model parameters can interact with uncertainty inherited from earlier stages. The output may therefore have a different uncertainty pattern from the source data. Visualization is part of that process as well: a design can make variation easier to understand, or it can hide it.

The chain is also meant to keep context attached to the data. Provenance, reference systems, transformations, validation results, and known limitations should travel with the dataset whenever practical. Later users can then judge a result with some knowledge of how it was produced, instead of relying on a final accuracy value alone.

Figure 1 summarizes these stages and shows how uncertainty generation, propagation, and communication extend across the workflow, while provenance and quality information remain connected to the data.



Conceptual boundaries overlap; a single stage may contribute to more than one uncertainty process.

Figure 1. Proposed 3D Geospatial Data Quality and Uncertainty Chain

At the end of the chain, the practical question is straightforward: are the data suitable for the intended use? A dataset does not have to be free of uncertainty to be useful. Its limitations do, however, need to be understood and acceptable for the analysis at hand. That requirement becomes more demanding

as a workflow combines more sources, scales, and processing steps.

6. CONCLUSION

Current 3D geomatics does not suffer from a lack of data. The main challenge is interpretation. Different technologies produce data at different scales and through different processing routes. Positional accuracy remains important, but it explains only part of data quality. Uncertainty can enter during measurement and positioning. It can then change during reconstruction, filtering, datum transformation, rasterization, integration, and GIS analysis. The final result carries the effects of these steps. A single input RMSE cannot describe that full history.

We proposed the 3D Geospatial Data Quality and Uncertainty Chain to make this history easier to follow. The framework focuses on three questions. Where is uncertainty generated? How does it change as data move through the workflow? How is it communicated to the user? The chain does not replace sensor-specific accuracy assessment. We use it to place those assessments within the wider sequence of production, integration, analysis, and interpretation. In the end, the main question is still whether the data are fit for their intended use.

Some parts of this workflow still need more research. Uncertainty is not transferred consistently between processing stages. This becomes especially important when data move from points to rasters, surfaces, or objects. Multi-source 3D integration also needs clearer ways to describe spatially varying confidence. Interactive and 3D uncertainty visualization has received less testing than conventional 2D cartography. Further work in these areas could make uncertainty a more routine part of geospatial analysis rather than something considered only at the end.

REFERENCES

- Ağca, M., & Daloğlu, A. İ. (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. doi:10.1016/j.ejrs.2022.12.009
- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. (2024). *ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data* (2nd ed., Version 2). ASPRS.
- Aristizabal, F., Chegini, T., Petrochenkov, G., Salas, F. R., & Judge, J. (2024). Effects of high-quality elevation data and explanatory variables on the accuracy of flood inundation mapping via Height Above Nearest Drainage. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28, 1287-1315. doi:10.5194/hess-28-1287-2024
- Elaksher, A., Ali, T., & Alharthy, A. (2023). A quantitative assessment of LIDAR data accuracy. *Remote Sensing*, 15(2), 442. doi:10.3390/rs15020442
- Hastaoğlu, K. O., Kapıcıoğlu, H. S., Gül, Y., & Poyraz, F. (2023). Investigation of the effect of height difference and geometry of GCP on position accuracy of point cloud in UAV photogrammetry. *Survey Review*, 55(391), 325-337. doi:10.1080/00396265.2022.2097998
- Heuvelink, G. B. M. (1998). *Error propagation in environmental modelling with GIS*. Taylor & Francis.
- Huang, D., & Qin, R. (2025). Uncertainty estimation for photogrammetric point clouds of UAV imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-G-2025, 657-664. doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-G-2025-657-2025

- Huang, X., Mei, G., & Zhang, J. (2023). Cross-source point cloud registration: Challenges, progress and prospects. *Neurocomputing*, 548, 126383. doi:10.1016/j.neucom.2023.126383
- International Organization for Standardization. (2023). *ISO 19157-1:2023 Geographic information - Data quality - Part 1: General requirements*. ISO.
- Kırtıloğlu, O. S., Akyel, E., & Koçak, M. G. (2025). A bibliometric analysis of machine learning techniques for improving digital elevation model accuracy: Trends, gaps, and future directions. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 13(3), 892-909. doi:10.36306/konjes.1685083
- Koçak, M. G., Özdaş, N., & Kırtıloğlu, O. S. (2025). Visualization of M3C2 outputs obtained from an open pit mine field. *Turkish Journal of Remote Sensing*, 7(2), 218-231. doi:10.51489/tuzal.1677755
- Lim, N. J., Brandt, S. A., & Seipel, S. (2024). Assessment of how uncertainty representation in flood maps can affect geographic-based decisions. *Discover Water*, 4, 120. doi:10.1007/s43832-024-00170-1
- MacEachren, A. M., Robinson, A., Hopper, S., Gardner, S., Murray, R., Gahegan, M., & Hetzler, E. (2005). Visualizing geospatial information uncertainty: What we know and what we need to know. *Cartography and Geographic Information Science*, 32(3), 139-160. doi:10.1559/1523040054738936
- Nguyen, M., Wilson, M. D., Lane, E. M., Brasington, J., & Pearson, R. A. (2025). Quantifying uncertainty in flood predictions in fixed Cartesian flood model due to arbitrary conventions in grid alignment. *Water Resources*

Research, 61, e2024WR038919.
doi:10.1029/2024WR038919

Oshan, T. M., Wolf, L. J., Sachdeva, M., Bardin, S., & Fotheringham, A. S. (2022). A scoping review on the multiplicity of scale in spatial analysis. *Journal of Geographical Systems*, 24(3), 293-324.
doi:10.1007/s10109-022-00384-8

Pargieła, K. (2023). Optimising UAV data acquisition and processing for photogrammetry: A review. *Geomatics and Environmental Engineering*, 17(3), 29-59.
doi:10.7494/geom.2023.17.3.29

Salekin, S., Lad, P., Morgenroth, J., Dickinson, Y., & Meason, D. F. (2023). Uncertainty in primary and secondary topographic attributes caused by digital elevation model spatial resolution. *Catena*, 231, 107320.
doi:10.1016/j.catena.2023.107320

Tennant, R., & Randall, T. (2025). Human performance and perception of uncertainty visualizations in geospatial applications: A scoping review. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 31(10), 9387-9404. doi:10.1109/TVCG.2025.3554969

Wechsler, S. P. (2007). Uncertainties associated with digital elevation models for hydrologic applications: A review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1481-1500.
doi:10.5194/hess-11-1481-2007

Xu, N., Qin, R., & Song, S. (2023). Point cloud registration for LiDAR and photogrammetric data: A critical synthesis and performance analysis on classic and deep learning algorithms. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 8, 100032.
doi:10.1016/j.opphoto.2023.100032

GEOVISUAL ANALYTICS: CARTOGRAPHIC FOUNDATIONS, INTERACTIVE VISUALIZATION, AND SPATIAL DECISION SUPPORT

Osman Sami KIRTILOĞLU¹

İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ²

1. INTRODUCTION

The volume, variety, and temporal resolution of geographic data have increased rapidly over the past two decades. Satellite and unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, location-based services, sensor networks, volunteered geographic information (VGI), mobility data, and urban digital infrastructures now provide geographic information from many different sources and at increasingly frequent intervals. As a result of that, geographic data is no longer used only to produce maps. They are continuously collected, updated, compared, and analyzed. This change has increased the need for analytical approaches that allow users to interact with the data, explore different visual representations, and examine spatial and temporal patterns. Geovisual analytics addresses this need by combining interactive visualization, computational analysis, and human reasoning within a geographic context. It brings together cartography, geographic visualization, visual analytics,

¹ Assistant Professor, İzmir Katip Çelebi University, Department of Geomatics Engineering, Division of Cartography, ORCID: 0000-0003-2307-1787.

² Professor, Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geomatics Engineering, Division of Cartography, ORCID: 0000-0001-7717-586X.

geographic information science, human-computer interaction, and computational methods (Dykes et al., 2005; Andrienko et al., 2007).

Visual analytics combines interactive visual interfaces with analytical reasoning to help users explore and interpret complex data (Thomas & Cook, 2005). When the data are geographic, the analysis must also consider location, scale, distance, direction, spatial relationships, and time. Geovisual analytics brings these geographic dimensions together with computational methods and human visual reasoning, particularly for complex spatial problems (Andrienko et al., 2007). In this context, geovisualization provides interactive visual environments for exploring and understanding spatio-temporal patterns. This chapter presents geovisual analytics from a cartographic perspective, with particular attention to interactive visualization, computational analysis, and spatial decision support. Attention is given to how fundamental cartographic principles, including visual encoding, scale, projection, generalization, and uncertainty, influence the analysis and interpretation of geographic information. A human-in-the-loop framework is used to bring together geographic data, computational methods, interactive maps, and domain knowledge within an iterative process of exploration and analysis. The discussion also considers the growing role of GeoAI, particularly in model interpretation, uncertainty, and spatial decision-making. Together, these topics provide a conceptual basis for understanding how geovisual analytics systems can be designed, used, and evaluated.

2. THE CONCEPT AND DEVELOPMENT OF GEOVISUAL ANALYTICS

2.1. From Cartography to Geovisualization

Cartography has long been concerned with selecting, generalizing, symbolizing, and communicating geographic information. With the development of digital and interactive environments, maps have increasingly become tools for exploring and analyzing geographic data as well as communicating information. Geovisualization reflects this broader role of the map. Dykes et al. (2005) describe it as a field that brings together cartography, information and scientific visualization, cognitive science, human-computer interaction, and GIScience. In this context, maps can support the exploration of data, the development of hypotheses, and analytical reasoning in addition to presenting geographic information and results.

Interactive maps do not replace traditional cartographic principles; rather, they change how these principles are applied. Visual variables, typography, scale, projection, generalization, and visual hierarchy remain important, but they now operate within an environment in which users can actively interact with the data and its representation. Users can change layers, filter information, zoom, select features, adjust symbols or time periods, and examine linked charts or other views. These interactions can change both what is displayed and how spatial patterns are perceived and interpreted. Cartographic representation and interaction should therefore be considered together when designing geovisual analytics systems.

2.2. Visual Analytics and the Geographic Dimension

Visual analytics combines computational methods with human reasoning to support the analysis of complex data. Keim et al. (2008) describe visualization as an interface between the user and computational methods within a semi-automated

analytical process. Geovisual analytics applies this idea to geographic and temporal data, where location and spatial relationships are essential to interpretation. Geographic observations are associated not only with attributes but also with location and, in many cases, time. Their interpretation may also change depending on spatial relationships and the scale of analysis. Geovisual analytics differs from general visual analytics because spatial thinking is an integral part of the analytical process. A relationship between two variables, for example, can be examined not only statistically but also spatially: where is the relationship stronger or weaker, at what scale does it appear, and how does it change over time? These questions require the analyst to consider the surrounding spatial context rather than treating observations independently. This becomes particularly important when dealing with complex spatio-temporal data, multiple decision makers, and expert knowledge (Andrienko et al., 2007).

2.3. Distinctive Characteristics of Geovisual Analytics

Geovisual analytics combines visualization, interaction, and computational analysis in an iterative analytical process. An analyst may identify a pattern on a map, select the relevant features, and then use filtering or an analytical method to examine the pattern more closely. The results can be visualized and interpreted, leading to new questions or a different direction for the analysis. In this way, analysis rarely ends with a single result. Users move back and forth between the data, analytical methods, and visual representations as they explore the problem and develop a better understanding of it.

Different visual representations can also be used together during this process. Maps provide spatial context, while charts, time series, matrices, and network diagrams can show other aspects of the data that may not be immediately visible on the map. When these views are linked, selecting a feature in one view

can highlight the corresponding feature or data in the others, helping users examine relationships from different perspectives. The steps taken during the analysis should also be traceable, particularly in decision-support applications. Filters, parameter changes, and decisions to include or exclude alternatives can influence the outcome. Recording these steps makes it easier to understand how a result was reached and to review the analytical process later.

2.4. An Integrated Human-in-the-Loop Framework

The framework presented in this chapter brings these ideas together by placing human reasoning at the center of an iterative analytical process (Figure 1). Computational methods support the analysis of geographic data, while interactive cartographic representations allow analysts to explore the results in their spatial context. Through filtering, comparison, changes in scale or classification, and the examination of uncertainty, analysts can refine both their questions and their analytical choices. Human reasoning guides this process from initial exploration to interpretation and decision support.

Cartographic principles remain important throughout the analytical process. Scale, projection, generalization, visual encoding, and uncertainty affect not only how geographic information is displayed but also how spatial patterns are perceived and interpreted. Different representations of the same data may therefore lead users to notice different patterns or reach different interpretations. Cartographic design should not be treated simply as a final step for presenting results, but as an integral part of the analysis itself.

The process also involves continuous interaction between the analyst and computational methods. Computational techniques can identify patterns, clusters, anomalies, and relationships in large and complex datasets, but these results still

need to be interpreted within their geographic and domain-specific context. Based on this interpretation, the analyst may adjust parameters, examine alternative representations, or ask new questions. The results can then be visualized and examined again. This continuing exchange between computation, visualization, and human reasoning is at the core of the human-in-the-loop approach to geovisual analytics.

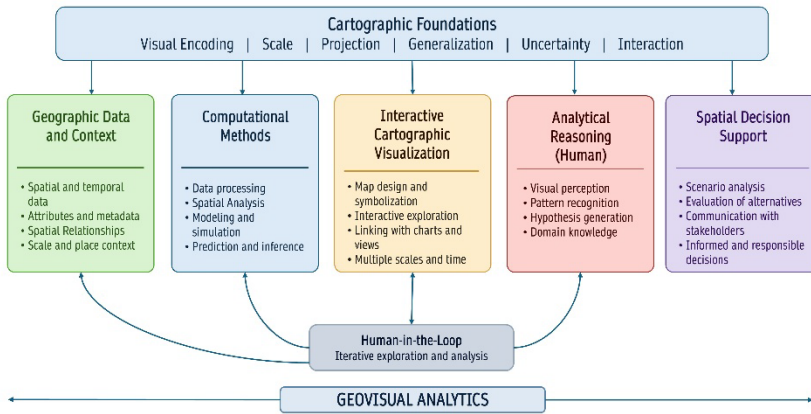


Figure 1. An integrated human-in-the-loop framework for geovisual analytics (developed by the authors).

3. CARTOGRAPHIC FOUNDATIONS

3.1. Visual Encoding and Cartographic Design

Visual encoding determines how geographic data are translated into visual form and is therefore central to geovisual analytics. Visual variables such as position, size, color, value, shape, orientation, and texture should be selected according to the characteristics of the data and the analytical task. Different color hues, for example, can distinguish nominal categories, variations from light to dark can represent ordered values, and diverging color schemes can show values on either side of a meaningful reference point. In an interactive environment, these distinctions

need to remain clear as users change scale, filter the data, or examine different subsets.

Visual hierarchy is equally important because not all information on a map should attract the same level of attention. A highly detailed basemap can compete with the thematic information, while too little geographic context can make spatial patterns difficult to interpret. The challenge is to maintain a balance between focus and context. Features or patterns relevant to the analysis can be emphasized while retaining enough geographic context to understand where they occur and how they relate to their surroundings.

3.2. Scale, Projection, and Generalization

In interactive maps, cartographic generalization needs to respond to changes in scale. A level of detail that works well at a large scale may create clutter when the map is viewed at a smaller scale. Conversely, information simplified or aggregated for a small-scale view may provide too little detail when users zoom in. In a multiscale environment, map content can therefore be adapted through operations such as feature selection, line simplification, aggregation, classification, and label management. These changes need to be carefully managed because some apparent differences in spatial patterns may result from changes in representation rather than from the underlying data. Map projection is more than a technical choice because it influences how spatial relationships are represented and perceived. Distortions in area, distance, direction, and shape can affect the interpretation of geographic patterns, particularly when comparisons are made across locations. Projection choice becomes especially important when an analysis covers a large geographic area and the properties being compared are sensitive to distortion. The projection should therefore be appropriate for the analytical purpose, and its relevant limitations should be

understood when interpreting the results. Even when the underlying calculations are correct, the way results are projected and displayed can influence their visual interpretation.

3.3. Visualization of Uncertainty

Geographic data contain different forms and sources of uncertainty, including measurement error, classification uncertainty, sampling bias, temporal mismatch, and uncertainty in model outputs. Yet analytical interfaces can sometimes present results with a level of visual certainty that is not supported by the underlying data or analysis. Representing uncertainty allows users to interpret spatial patterns together with information about their reliability and limitations. Depending on the type of uncertainty and the analytical task, this information can be communicated through techniques such as transparency, texture, error intervals, alternative scenarios, or interactive explanations. The challenge is to make uncertainty visible and understandable without making the spatial patterns themselves difficult to interpret.

4. INTERACTION AND ANALYTICAL REASONING

4.1. Cartographic Interaction

Roth (2013) describes cartographic interaction as a computer-mediated dialogue between the user and the map. In geovisual analytics, this interaction goes beyond basic operations such as zooming and panning. Users may search and filter data, select and compare features, change symbolization, query attributes, perform calculations, overlay layers, or change the map projection. Roth's taxonomy also makes an important distinction between what users want to achieve and the interface operations available to accomplish those tasks. This distinction provides a

useful basis for designing interactions around analytical needs rather than around available interface functions.

More interaction does not necessarily improve a geovisual analytics system. Too many controls can increase cognitive load and make the interface difficult to use, particularly for non-expert users. Interaction should therefore be designed around the analytical task rather than the number of functions available. For example, when the aim is to examine change within a specific region, a temporal filter combined with a linked time series may provide the necessary interaction. Additional controls that do not support this task may simply make exploration more difficult.

4.2. Overview, Filter, Details, and Coordinated Views

A common workflow in geovisual analytics begins with an overview of the data, followed by filtering or selection to focus on features of interest, with further details provided when needed. This workflow can be supported within a single map, but coordinated multiple views allow users to examine the same data from different perspectives. For example, districts selected on a map can be highlighted simultaneously in a scatterplot and a time series. Linking these views allows users to examine the spatial distribution of selected features together with their statistical relationships and changes over time.

The relationships between coordinated views should be clear to the user. A selection or filter applied in one view may affect several others, and users should be able to understand how these changes are connected. Consistent use of color, symbols, and interaction behavior is therefore important. For example, representing the same class with different colors across views, or using the same selection to filter data in one view but only highlight them in another, can lead to confusion or misinterpretation. Maintaining consistency across linked views

helps users follow the analytical process and interpret changes in the display correctly.

4.3. Human-Machine Collaboration

Geovisual analytics builds on the complementary strengths of human reasoning and computational methods. Computational techniques can efficiently process large datasets and identify clusters, anomalies, similarities, and other patterns, while human analysts contribute contextual and domain knowledge when interpreting these results. The aim is therefore not to replace the analyst through automation, but to combine computational analysis with human reasoning throughout the analytical process. Users should be able to inspect the spatial distribution of model outputs, adjust relevant parameters, and rerun analyses as new questions or hypotheses emerge.

5. SPATIO-TEMPORAL DATA AND ANALYTICAL TECHNIQUES

5.1. Exploring Spatial Patterns

Exploring spatial patterns is a central application of geovisual analytics. Maps can reveal densities, clusters, outliers, boundaries, transition zones, and relationships among geographic features, but visual exploration becomes more difficult as the volume and complexity of the data increase. Combining interactive visualization with methods such as spatial statistics, clustering, dimensionality reduction, or machine learning allows users to examine computational results within their geographic context. This combination can extend the analysis beyond identifying where a pattern occurs to exploring why it occurs there, under what conditions it emerges, and whether similar patterns exist elsewhere.

The choice of classification method and spatial unit can strongly influence the patterns observed on a map. In choropleth mapping, different class boundaries may emphasize different aspects of the same data, while changes in the size or configuration of spatial units can alter the apparent pattern because of the modifiable areal unit problem (MAUP). Geovisual analytics systems should therefore allow users, where appropriate, to compare alternative classifications and spatial aggregations. Such comparisons can help users recognize that an observed pattern may partly reflect choices in data aggregation and cartographic representation rather than an inherent structure in the underlying phenomenon.

5.2. Visualizing Time

For temporal geographic data, analysis involves not only where events or values occur, but also when they emerge, how long they persist, how they change or spread over time, and whether recurring patterns are present. Animation can provide an intuitive view of spatial change, but comparison between successive frames requires users to remember previous states. Small multiples, time series, timelines, and interactive temporal filters can therefore complement animation or provide alternative ways of examining change over time. Linking temporal selection with the map allows users to examine how spatial patterns vary across specific periods and strengthens the integration of spatial and temporal analysis.

5.3. Movement and Flow Data

Movement data, such as the movements of people, vehicles, animals, or goods, can be represented as origin-destination pairs, trajectories, or network flows. These data can quickly produce visual clutter, making techniques such as aggregation, sampling, density-based representation, flow bundling, and interactive filtering useful for exploration. Guo

(2007), for example, demonstrated how visual analysis of spatial interaction patterns can support decision-making. As mobility datasets increase in volume and detail, geovisual analytics systems need to support exploration at different levels of aggregation, allowing users to move between individual trajectories and broader movement patterns.

6. GEOVISUAL ANALYTICS AND SPATIAL DECISION SUPPORT

6.1. From Exploration to Decision

Spatial decision problems often involve multiple criteria, alternatives, stakeholders, and sources of uncertainty. Spatial decision support systems typically combine GIS-based data management and spatial analysis with methods such as multicriteria evaluation, modeling, and scenario analysis. Geovisual analytics extends this approach by allowing users to interactively explore and interpret both the results and the factors that influence them. Instead of viewing only a final suitability map or ranked set of alternatives, users can examine how changes in criterion weights affect the results, why particular areas are excluded, and how alternatives differ across individual criteria.

Rinner (2007) showed how geographic visualization can be integrated with multicriteria evaluation to support spatial decision-making. In this context, visualization does more than present the final output of a decision model. It allows users to examine trade-offs among alternatives, explore the effects of different priorities, and compare possible scenarios. These capabilities are particularly useful in applications such as land suitability assessment, disaster management, transportation planning, environmental planning, and resource allocation, where decisions often depend on competing criteria and alternative scenarios.

6.2. Multi-Actor and Participatory Environments

Stakeholders may interpret the same geographic information differently because they bring different objectives, priorities, and perspectives to a decision process. Geovisual analytics can support collaborative decision-making by providing a shared geographic representation through which these differences can be explored and discussed. MacEachren (2005) emphasizes the role of geovisualization in supporting group work and collaborative interaction. This role is particularly relevant in web-based collaborative environments, participatory planning, and crisis management, where multiple actors need to examine spatial information, compare perspectives, and discuss possible courses of action.

Table 1 summarizes the main conceptual differences among cartographic presentation, geovisualization, and geovisual analytics. The comparison highlights the changing roles of interaction, computation, and the user as the emphasis moves from geographic representation toward interactive exploration and human-machine analytical reasoning. These distinctions are conceptual rather than absolute, as the three approaches may overlap in practice.

7. GEOVISUAL ANALYTICS IN THE ERA OF GEOAI

7.1. Integrating Machine Learning and Visual Analytics

GeoAI integrates artificial intelligence with geospatial science to address problems in which geographic location and spatial relationships are important. Recent studies show its growing use across environmental and human-geographic applications, while also identifying challenges related to

interpretability, generalizability, bias, reproducibility, and responsible use (Wang et al., 2024; Li et al., 2024). In cartography, AI is being applied not only to spatial prediction but also to tasks such as map generalization, symbolization, typography, map interpretation, and map production (Kang et al., 2024).

GeoAI and geovisual analytics can therefore complement each other: AI provides computational methods for identifying and modeling complex spatial patterns, while interactive cartographic visualization allows users to explore model outputs in their geographic context and examine how those results were produced. Geovisual analytics can support GeoAI in several complementary ways. Interactive maps can help users interpret model outputs by showing the spatial distribution of predictions, residuals, feature effects, and uncertainty.

Table 1. Conceptual comparison of cartographic presentation, geovisualization, and geovisual analytics.

Dimension	Cartographic presentation	Geovisualization	Geovisual analytics
Primary purpose	Communication and representation	Exploration and visual reasoning	Exploration, analysis, and decision support
User role	Reader / interpreter	Interactive explorer	Analyst / decision maker
Role of computation	Supports data processing and representation	Supports interactive exploration	Integrated with visual and computational analysis
Interaction	Limited or predefined	Interactive exploration	Task-oriented and iterative interaction
Analytical process	Primarily representation-oriented	Human-led visual exploration	Human-machine analytical reasoning
Typical output	Map / map series	Patterns / hypotheses	Insights, hypotheses, scenarios, or decisions

Roussel (2024), for example, shows how mapping SHAP values can reveal geographic patterns in feature contributions that

may be difficult to identify in conventional explanation plots. Geovisual analytics can also support model diagnosis by helping analysts examine whether errors, biases, or model explanations vary across space or at different scales. This is particularly relevant to GeoAI, where explainability must account for geographic factors such as scale, spatial data structures, visualization, and social context (Xing & Sieber, 2023). Finally, interactive exploration supports a human-in-the-loop analytical process in which domain knowledge can guide changes to selections, parameters, labels, or scenarios, followed by examination of their spatial effects.

7.2. Explainability, Trust, and Responsible Use

Predictive accuracy alone is not sufficient for AI-supported spatial decision-making. Users also need to understand which data and relationships influence model outputs, where errors occur, and under what conditions the results become less reliable. Mapping model outputs and explanations can support this process by revealing how model behavior varies across geographic space. However, the use of location-based data also raises concerns related to privacy, representational fairness, and sampling bias. Research on responsible GeoAI therefore emphasizes the need to consider these issues alongside technical performance, particularly in urban applications (Marasinghe et al., 2024).

Future geovisual analytics systems should place greater emphasis on explainability, transparency, and auditability alongside analytical performance. Information about model confidence, data provenance, missing data, spatial sampling, and uncertainty should be communicated in ways that help users assess the reliability and limitations of model outputs. Users should also be able to question model results, compare alternative models or scenarios, and examine the evidence behind different

outcomes. Maintaining meaningful human oversight at critical stages of the decision process should therefore remain a central principle in the design of AI-supported geovisual analytics systems.

8. DESIGN AND EVALUATION PRINCIPLES

8.1. Task and User Centered Design

The design of a geovisual analytics system should begin with the analytical task rather than with the choice of technology or visualization technique. Designers need to consider who the users are, what questions they need to answer, what data and domain knowledge are available to them, and the conditions under which decisions will be made. Time constraints and the consequences of different types of error may also influence the design. For example, an exploratory environment developed for an expert hydrologist may require a different level of analytical and interactive complexity than an interface used by a local administrator during a disaster. User-centered design, iterative prototyping, and task-based evaluation should therefore be considered throughout the system-development process.

8.2. Usability and Analytical Effectiveness

Usability does not necessarily imply analytical effectiveness. A system may be easy to learn and operate, yet still lead users to overlook important patterns or misinterpret the information presented. Conversely, users may reach an appropriate conclusion but require considerable time or effort to do so. Evaluation should therefore consider both usability and analytical performance, including measures such as task-completion time, errors, the insights and hypotheses generated during analysis, user confidence, and consistency in decision-making. Qualitative interviews, think-aloud protocols, eye-

tracking studies, and interaction logs can complement these measures by providing additional information about how users explore, interpret, and reason with the system.

8.3. Balancing Visual Simplicity and Analytical Depth

Dashboards often bring multiple indicators, maps, and charts together within a single interface, but analytical depth does not depend on the amount of information displayed at once. A well-designed geovisual analytics system should help users identify important patterns before exploring additional detail as needed. Unnecessary three-dimensional effects, excessive use of color, redundant charts, and ambiguous symbols can increase visual complexity and make interpretation more difficult. Cartographic simplicity should therefore be treated not only as an aesthetic consideration but also as a functional design principle that supports clear interpretation and analytical reasoning.

9. APPLICATION AREAS

Geovisual analytics is applied across a wide range of domains in which spatial and temporal relationships are important. In disaster and crisis management, it can support the exploration of evolving events together with critical infrastructure and population exposure. Environmental monitoring may involve the comparison of satellite observations, field or station measurements, and model outputs across space and time. In urban planning, geovisual analytics can help examine relationships among transportation, population, land use, service accessibility, and other spatial indicators. Public health applications can similarly explore the geographic distribution of disease in relation to demographic and environmental factors. Other relevant fields include agriculture, logistics, security, tourism, and energy planning, where decisions often depend on the analysis of complex spatio-temporal data.

A common feature of these applications is the need to explore and compare multiple data sources and scenarios rather than produce a single definitive map. In environmental applications, for example, satellite observations may provide broad spatial coverage, field measurements can provide detailed information at specific locations, and model outputs can be used to examine possible future conditions. Geovisual analytics brings these sources together within a common analytical environment, allowing users to compare their spatial and temporal patterns, identify areas of agreement or disagreement, and examine how different sources influence the interpretation of a problem.

10. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

One important research direction concerns scalability across data, computation, and visual representation. High-resolution Earth observation data, mobility traces, sensor streams, and multidimensional urban datasets require methods that can handle increasing data volume and complexity while maintaining interpretable visual representations across scales. Another important direction is the closer integration of GeoAI with explainable and reproducible analytical workflows. Recent GeoAI research emphasizes that scientific value depends not only on predictive performance but also on explainability, reproducibility, responsible use, and geographically informed reasoning (Li et al., 2024). Geovisual analytics can contribute to these goals by providing spatially explicit interfaces through which users can examine model outputs, identify geographic variation in model performance, and explore how model explanations change across space.

Natural-language and generative interaction with maps and spatial models represents another important research direction. Such interfaces may make exploratory analysis more

accessible, but the queries, transformations, and visualizations they generate should remain transparent, inspectable, and reproducible. Future research should also address inclusive and adaptive geovisualization by considering differences in perceptual accessibility, user expertise, device context, and analytical tasks rather than assuming a single type of user. Collaborative analytics provides a further direction, particularly for distributed teams that need to share selections, annotations, scenarios, and the history of their analytical process. Across these areas, ethical considerations should be integrated throughout the design and analytical workflow. Issues such as privacy, bias, representational fairness, data and analytical provenance, uncertainty, and potentially misleading visual representations should be considered throughout the analytical process rather than addressed only after a system has been developed.

Taken together, these developments point toward a shift from map-centered geovisualization to geovisual analytics that places greater emphasis on analytical reasoning. The framework presented in this chapter brings cartography, computation, interaction, and human judgment together as closely connected components of the analytical process. Simply combining interactive maps with machine-learning methods does not necessarily create an effective geovisual analytics environment. Such systems should also allow users to examine spatial evidence, understand relevant data transformations and uncertainty, revise analytical assumptions, and observe how these changes influence interpretation and decision-making.

11. CONCLUSION

Geovisual analytics brings together cartographic principles of visual representation and communication, the human-machine collaboration of visual analytics, and the spatial

analytical capabilities of GIScience. Within this integrated approach, maps serve not only as representations of geographic information but also as interactive environments for exploration and analytical reasoning. By moving iteratively among maps, other visual representations, and computational methods, users can explore spatial patterns, develop and examine hypotheses, compare alternatives, and support decision-making while maintaining greater awareness of the analytical process.

Effective geovisual analytics depends on more than sophisticated algorithms or feature-rich interfaces. Cartographic design, appropriate visual encoding, careful consideration of scale and projection, consistent interaction, clear communication of uncertainty, and user-centered evaluation all contribute to how effectively users can explore and interpret spatial information. As GeoAI becomes more widely integrated into spatial analysis, geovisual analytics can also provide an important interface for examining complex model outputs and maintaining meaningful human oversight. Future systems will need to combine explainability, responsible use, and collaboration with the ability to work with large and heterogeneous geographic datasets. The continuing challenge is to use computational capabilities to support and extend human reasoning while keeping geographic context, uncertainty, and human judgment visible throughout the analytical process.

REFERENCES

- Andrienko, G., Andrienko, N., Jankowski, P., Keim, D., Kraak, M.-J., MacEachren, A., & Wrobel, S. (2007). Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(8), 839–857. doi:10.1080/13658810701349011
- Dykes, J., MacEachren, A. M., & Kraak, M.-J. (Eds.). (2005). *Exploring geovisualization*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Guo, D. (2007). Visual analytics of spatial interaction patterns for pandemic decision support. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(8), 859–877. doi:10.1080/13658810701349037
- Kang, Y., Gao, S., & Roth, R. E. (2024). Artificial intelligence studies in cartography: A review and synthesis of methods, applications, and ethics. *Cartography and Geographic Information Science*, 51(4), 599–630. doi:10.1080/15230406.2023.2295943
- Keim, D., Andrienko, G., Fekete, J.-D., Görg, C., Kohlhammer, J., & Melançon, G. (2008). Visual analytics: Definition, process, and challenges. In A. Kerren, J. T. Stasko, J.-D. Fekete, & C. North (Eds.), *Information visualization: Human-centered issues and perspectives* (pp. 154–175). Berlin, Germany: Springer. doi:10.1007/978-3-540-70956-5_7
- Li, W., Arundel, S. T., Gao, S., Goodchild, M. F., Hu, Y., Wang, S., & Zipf, A. (2024). GeoAI for science and the science of GeoAI. *Journal of Spatial Information Science*, (29), 1–17. doi:10.5311/JOSIS.2024.29.349

- MacEachren, A. M. (2005). Moving geovisualization toward support for group work. In J. Dykes, A. M. MacEachren, & M.-J. Kraak (Eds.), *Exploring geovisualization* (pp. 445–461). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. doi:10.1016/B978-008044531-1/50440-1
- Marasinghe, R., Yigitcanlar, T., Mayere, S., Washington, T., & Limb, M. (2024). Towards responsible urban geospatial AI: Insights from the white and grey literatures. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 8, 24. doi:10.1007/s41651-024-00184-2
- Rinner, C. (2007). A geographic visualization approach to multi-criteria evaluation of urban quality of life. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(8), 907–919. doi:10.1080/13658810701349060
- Roth, R. E. (2013). Interactive maps: What we know and what we need to know. *Journal of Spatial Information Science*, (6), 59–115. doi:10.5311/JOSIS.2013.6.105
- Roussel, C. (2024). Visualization of explainable artificial intelligence for GeoAI. *Frontiers in Computer Science*, 6, 1414923. doi:10.3389/fcomp.2024.1414923
- Thomas, J. J., & Cook, K. A. (Eds.). (2005). *Illuminating the path: The research and development agenda for visual analytics*. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory.
- Wang, S., Huang, X., Liu, P., Zhang, M., Biljecki, F., Hu, T., ... Bao, S. (2024). Mapping the landscape and roadmap of geospatial artificial intelligence (GeoAI) in quantitative human geography: An extensive systematic review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 128, 103734. doi:10.1016/j.jag.2024.103734

Xing, J., & Sieber, R. (2023). The challenges of integrating explainable artificial intelligence into GeoAI. Transactions in GIS, 27(3), 626–645. doi:10.1111/tgis.13045

KONİK PROJEKSİYONLAR ÜZERİNE DÜŞÜNCELER

İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ¹

Sefa Naciye TEKELİOĞLU²

1. GİRİŞ

Konik projeksiyonlar, küre veya elipsoidin koni ile ilişkilendirilmesi üzerinden tanımlanan ve özellikle orta enlemlerdeki bölgelerin gösteriminde kullanılan harita projeksiyonlarıdır. Bununla birlikte, konik projeksiyon kavramı her zaman küreye teğet veya küreyi kesen geometrik bir koni yüzeyini ifade etmemektedir. Bazı projeksiyonlarda koni, projeksiyonun matematiksel yapısını açıklamak için kullanılan geometrik bir yaklaşım olarak ele alınmaktadır.

Bu bölümde, konik projeksiyonların farklı matematiksel tanımları ele alınarak 12 projeksiyon incelenmektedir. Bunlar arasında Wagner (1949) tarafından geliştirilen ve temel harita projeksiyonu kaynaklarında daha sınırlı biçimde ele alınan projeksiyonlara da yer verilmektedir.

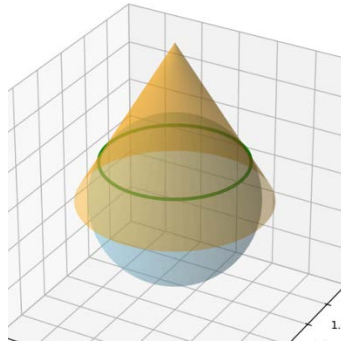
2. GENEL ÖZELLİKLER

Küre yüzeyine bir paralel daire boyunca teğet ya da küre yüzeyini iki paralel daire boyunca kesen bir koni yüzeyi, düzleme açılarak harita projeksiyonları oluşturulabilir (Şekil 1). Koni en

¹ Prof. Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa B. Fakültesi, Harita Müh. Bölümü, ORCID: 0000-0001-7717-586X.

² Harita Mühendisi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Müh. Bölümü, Kartografya Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0002-0056-022X.

genel projeksiyon yüzeyidir. Çünkü koni tepe noktası koninin tabanına çakışırsa azimutal projeksiyon, koni tepe noktası sonsuza giderse silindirik projeksiyon elde edilmiş olur. (Bildirici, 2026)



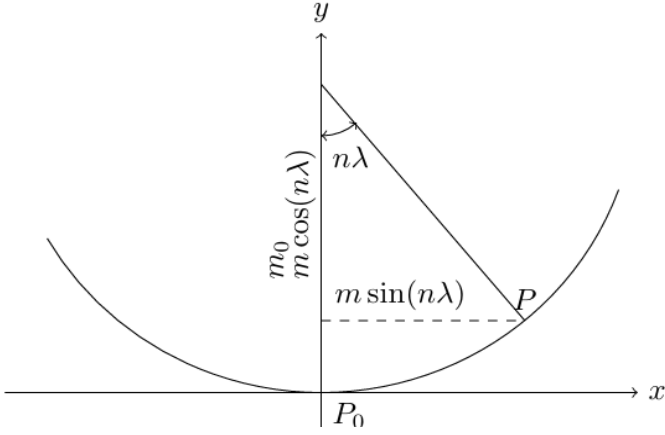
Şekil 1. Küre-koni geometrik ilişkisi

Konik projeksiyonlarda koni düzleme açıldığı zaman tepe açısı $\sigma < 2\pi$ olur. Kürede ise bu açı (normal konumlu durumda kutup etrafındaki açı) 2π 'dir (Bildirici, 2026). Açıdaki bu küçülme, küçültme faktörü olarak adlandırılır. Konik projeksiyonların karakterini önemli ölçüde etkiler.

$$n = \frac{\sigma}{2\pi} \quad (1)$$

Küçültme faktörü $0 < n < 1$ arasında değişir. Konik projeksiyonlarda kutupsal koordinatların kullanılması tercih edilir. Koninin tepe noktasına yerleştirilen bir dik koordinat sisteminde kutupsal koordinatlar ile coğrafi koordinatlar arasında aşağıdaki ilişki vardır (Şekil 2). Enlem yerine kutup uzaklığı da sıklıkla kullanılır ($\delta = \frac{\pi}{2} - \varphi$).

$$\alpha = n\lambda \quad m = m(\varphi) = m(\delta) \quad (2)$$



Şekil 2. Konik projeksiyonlarda düzlem koordinatlar

Normal konumlu konik projeksiyonlarda uzunluk deformasyonları en büyük ve en küçük değerlerini meridyen (h) ve paralel (k) doğrultularında alır.

$$h = \frac{1}{R} \frac{dm}{d\delta} = \frac{1}{R} \frac{dm}{d\varphi}$$

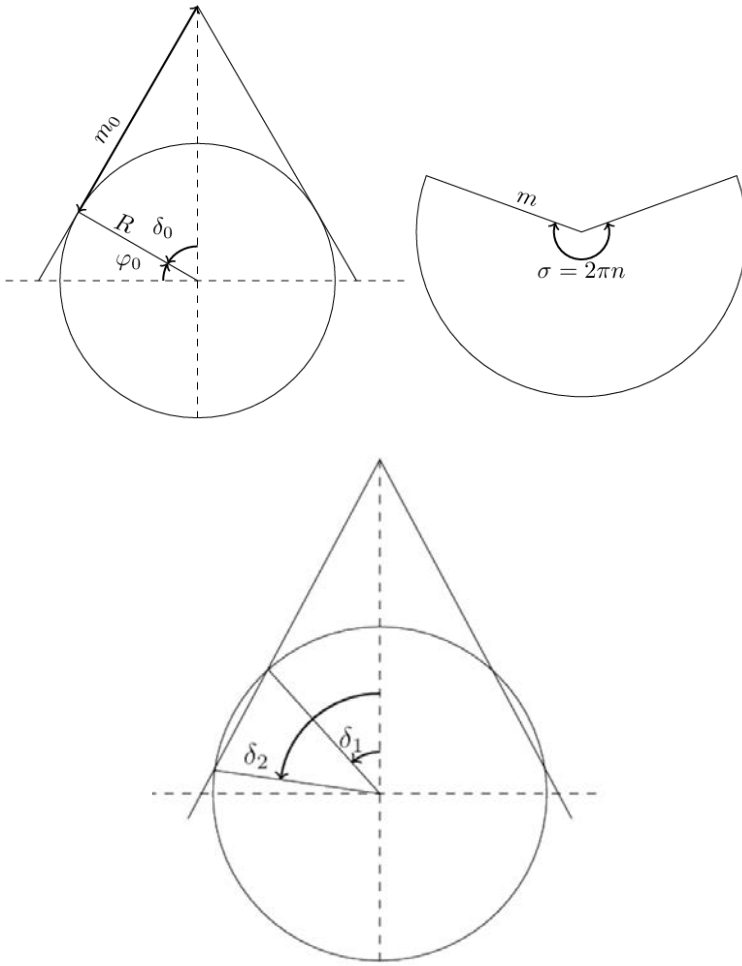
$$k = \frac{mn}{R \sin \delta} = \frac{mn}{R \cos \varphi} \quad (3)$$

Bir standart paralelli projeksiyonlarda standart paralel daire enlemi φ_0 olmak üzere Şekil 3'te görüldüğü üzere standart paralelin yarıçapı:

$$m_0 = R \tan \delta_0 = R \cot \varphi_0 \quad (4)$$

Küçültme faktörü, standart paralelin projeksiyon ve küre uzunlukları eşitlenerek bulunur.

$$2\pi m_0 n = 2\pi R \sin \delta_0 \rightarrow n = \cos \delta_0 = \sin \varphi_0 \quad (5)$$



**Şekil 3. Sol: Konik projeksiyonda meridyen düzleminde bir kesit
Sağ: Koninin düzleme açılımı Alt: İki standart paralel durumu**

3. UZUNLUK KORUYAN PROJEKSİYONLAR

Uzunluk koruyan konik projeksiyonlar, normal konumda meridyenler boyunca uzunluk korur.

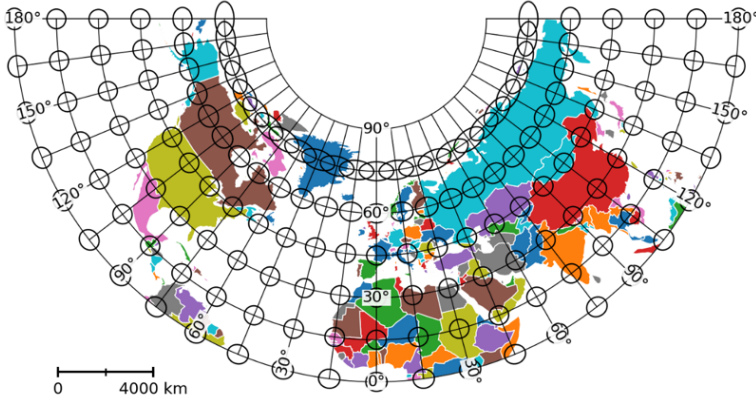
3.1. Projeksiyon 1

Projeksiyonun ilk tanımlamalarından birini MS 100-150 yılları arasında yaşayan ünlü gök bilimci ve coğrafyacı Batlamyus tarafından tanımlandığı bilinmektedir (Snyder, 1993). Standart paralelden itibaren meridyen uzunluğu korunur. Yarıçap fonksiyonu aşağıdaki gibi olup küçültme faktörü için (5) eşitliği geçerlidir.

$$m = m_0 - R(\delta_0 - \delta) = R(\tan \delta_0 - \delta_0 + \delta) \quad (6)$$

$\delta = 0 \rightarrow m > 0$ olduğundan kutup daire yayı ile gösterilir.

Kuzey yarı kürenin projeksiyonda görünümü Tissot endikatisleri eşliğinde Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Projeksiyon 1'de kuzey yarı küre ($\varphi_0 = 60^\circ$)

3.2. Projeksiyon 2

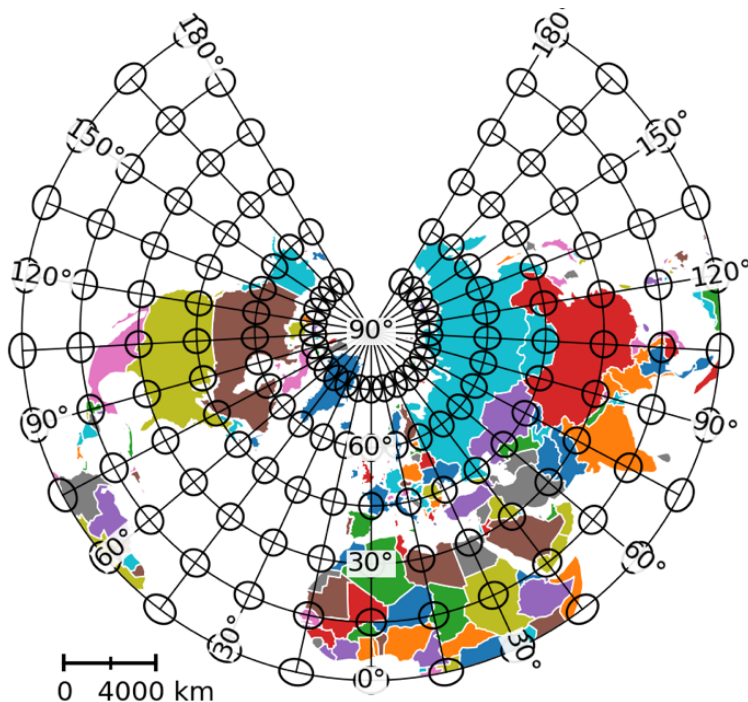
Kaynaklarda tek standart paralelli uzunluk koruyan konik projeksiyon olarak Projeksiyon 1 yaygın olarak verilse de kutbun nokta ile gösterildiği bir seçenek de mümkündür. Yarıçap fonksiyonu,

$$m = R\delta \quad (7)$$

alınarak, kutup nokta ile gösterilir. Bu durumda Şekil 3'teki gibi bir teğet koni geometrik olarak tanımlı değildir. Burada (5) eşitliği geçerli değildir. Standart paralelin küre ve düzlem uzunlukları eşitlenerek küçültme faktörü bulunur.

$$2\pi m_0 n = 2\pi R \sin \delta_0 \rightarrow n = \frac{\sin \delta_0}{\delta_0} \quad (8)$$

Şekil 5'te bu projeksiyonda kuzey yarı küre görülmektedir. Bu projeksiyon seçilen standart paralele bağlı olarak Projeksiyon 1'e iyi bir alternatif olabilir. Şekiller karşılaştırıldığında Projeksiyon 2, azimutal projeksiyona daha yakın bir görünüme sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Projeksiyon 2’de kuzey yarı küre ($\varphi_0 = 60^\circ$)

3.3. Projeksiyon 3

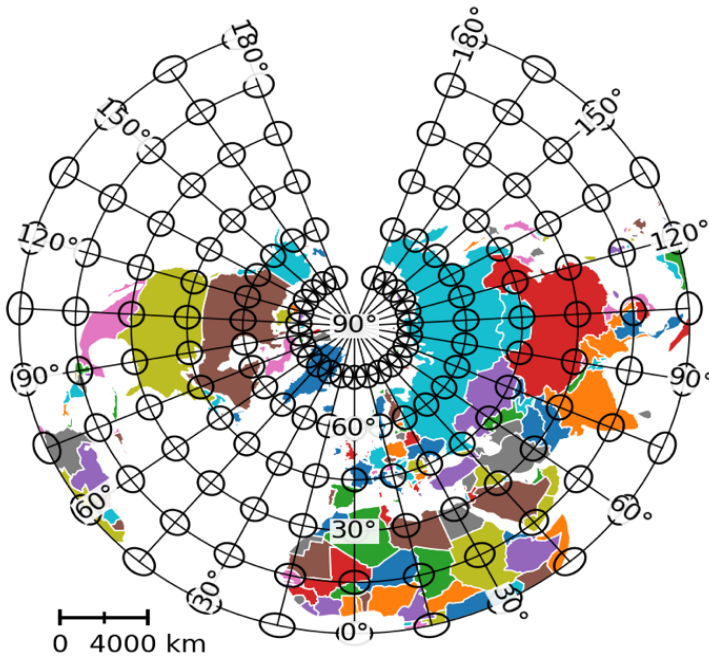
Wagner (1949), kutbun nokta ile gösterildiği Projeksiyon 2'yi, haritalanacak bölgenin kuzey ve güney sınırlarını oluşturan

iki paralel boyunca açı deformasyonlarının eşit olacak şekilde düzenlemiştir. Buna göre (7) yarıçap fonksiyonu kullanılır. δ' , δ'' açı deformasyonunun eşit olduğu paralellerin kutup uzaklıkları olmak üzere küçültme faktörü aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$n = \sqrt{\frac{\sin \delta' \sin \delta''}{\delta' \delta''}} \quad (9)$$

Bu seçenekte uzunluğu korunan paralel daire bulunmamaktadır. Harita yapımında çok kullanılmayan bu projeksiyonda kuzey yarı kürenin görünümü Şekil 6'da verilmiştir.

Projeksiyon 3 görünüm olarak Projeksiyon 2'ye benzerdir.



Şekil 6: Projeksiyon 3' kuzey yarı küre

$$(\delta' = 30^\circ, \delta'' = 60^\circ)$$

3.4. Projeksiyon 4

Meridyen uzunluğu koruma koşulundan,

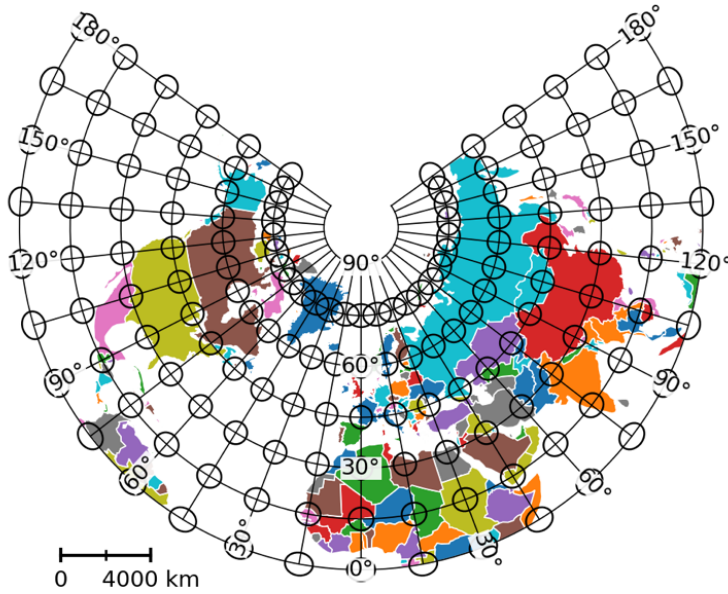
$$\frac{dm}{Rd\delta} = 1 \rightarrow dm = Rd\delta \int dm = R \int d\delta \rightarrow m = R\delta + C$$

yazılabilir. C integral sabiti iki standart paralel oluşacak şekilde belirlenebilir (Wagner, 1949). Bu şekilde 2 standart paralelli uzunluk koruyan projeksiyon elde edilir.

$$m = R \left(\frac{\sin \delta_1}{n} + \delta - \delta_1 \right)$$
$$n = \frac{\sin \delta_2 - \sin \delta_1}{\delta_2 - \delta_1} \quad (10)$$

$\delta = 0 \rightarrow m > 0$ olduğundan kutup daire yayı ile gösterilir. Standart paraleller arasında kalan iç bölge ile bu paralellerin dışında kalan dış bölgede ana deformasyon yönleri farklılık göstermektedir. İç bölgede maksimum uzunluk deformasyonu meridyenler doğrultusunda, dış bölgede ise paraleller doğrultusundadır.

Standart paraleller arasında meridyen boyunca uzunluğun korunması, küre üzerindeki ilgili yay uzunluğunun koni üzerindeki giriş uzunluğuna eşit olması anlamına gelir (Şekil 3). Bu da teğet koni varsayımının geometrik olarak geçerli olmadığına işaret eder.



Şekil 7. Projeksiyon 4'te kuzey yarı küre gösterimi
($\delta_1 = 30^\circ$, $\delta_2 = 60^\circ$)

4. ALAN KORUYAN PROJEKSİYONLAR

Bir standart paralelli projeksiyonda iki seçenek vardır. Teğet koni varsayımı geometrik geçerliliğini korsa kutup nokta ile gösterilemez. Kutup nokta ile gösterilmek istenirse teğet olma durumu geometrik geçerliliğini kaybeder (Bildirici, 2026; Bildirici, 2023).

4.1. Projeksiyon 5

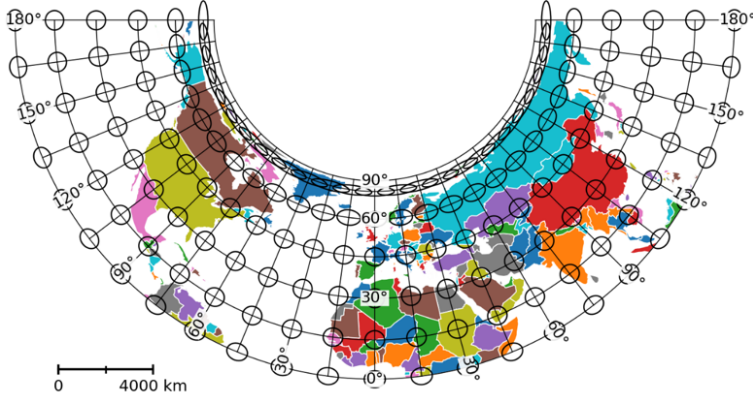
Seçilen standart paralel ile herhangi bir paralel arasında kalan küre kuşağının alanının korunmasından ve (4) eşitliğinden (teğet koni varsayımı) yararlanılarak yarıçap fonksiyonu elde edilir.

$$m = R \sqrt{\delta_0 - \frac{2(\cos \delta - \cos \delta_0)}{\cos \delta_0}} \quad (11)$$

Ya da;

$$m = R \sqrt{\frac{1+\delta_0}{\delta_0} - \frac{2 \cos \delta}{\cos \delta_0}} \quad (12)$$

Küçültme faktörü için (5) eşitliği kullanılır.



Şekil 8. Projeksiyon 5'te kuzey yarı küre gösterimi ($\delta_0 = 30^\circ$)

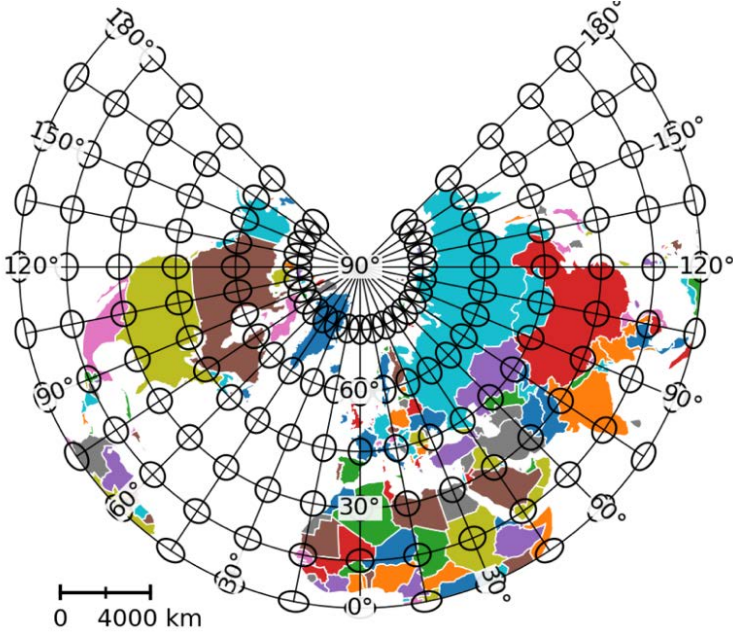
$\delta = 0 \rightarrow m > 0$ dolayı kutup daire yayı ile gösterilir. Projeksiyon 5'te kuzey yarı kürenin gösterimi Tissot endikatisleri eşliğinde Şekil 8'de verilmiştir. Kutuplara doğru alan korumanın neden olduğu şekil bozulmaları dikkat çekmektedir.

4.2. Projeksiyon 6

Kutbun nokta ile gösterilmesi istenirse küre kapağı alanının korunmasından yararlanılır. Küre kapağı alanı korunması ve standart paralel uzunluğunun korunması koşullarından iki denklem yazılarak m ve n iki denklemin ortak çözümünden bulunur.

$$n = \cos^2 \frac{\delta_0}{2} \quad (13)$$

$$m = \frac{2R}{\sqrt{n}} \sin \left(\frac{\delta}{2} \right) \quad (14)$$



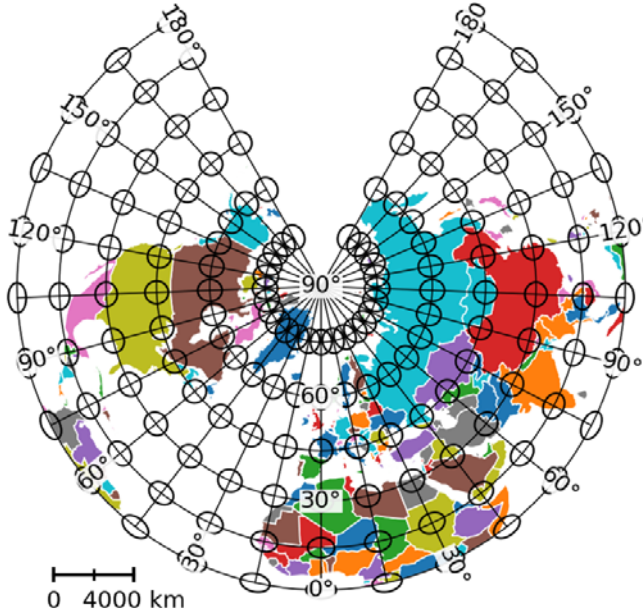
Şekil 9. Projeksiyon 6'da kuzey yarı küre ($\delta_0 = 30^\circ$)

(13), (5) ile aynı olmadığından teğet koni varsayımı geçerli değildir. $\delta = 0 \rightarrow m = 0$ olduğundan kutup nokta ile gösterilir. Şekil 9'da kuzey yarı küre Projeksiyon 6'da gösterilmiştir. Projeksiyon 6, 5'e göre kutuplara doğru daha iyi bir görünüme sahiptir.

4.3. Projeksiyon 7

Wagner (1949), daha önce incelenen Projeksiyon 3'te açı deformasyonlarının iki paralel boyunca eşitlenmesine dayanan yaklaşımı Projeksiyon 6'ya uygulayarak Projeksiyon 7'yi önermiştir. İki paralel daire boyunca açı deformasyonları eşitlendiğinde standart paraleller (uzunluğu korunan paraleller) oluşmaz. δ', δ'' açı deformasyonunun eşit olduğu paralel dairelerin kutup uzaklığı olmak üzere küçültme faktörü aşağıdaki gibidir.

$$n = \cos \frac{\delta'}{2} \cos \frac{\delta''}{2} \quad (15)$$



Şekil 10. Projeksiyon 7'de kuzey yarı küre
($\delta' = 30^\circ$, $\delta'' = 60^\circ$)

Yarıçap fonksiyonu değişmez, (14) eşitliği kullanılır.

Şekil 10'da kuzey yarı küre bu projeksiyonda görülmektedir.

4.4. Projeksiyon 8

Alan koruyan projeksiyonlar iki standart paralel kullanılarak da uygulanır. Bu yolla düşük deformasyona sahip enlem kuşağı genişler. Alan koruyan iki standart paralelli konik projeksiyon, 1805 yılında H. C. Albers tarafından geliştirildiği için Albers projeksiyonu olarak da adlandırılır (Snyder, 1987; Hake vd., 2002).

Projeksiyon 3 koşul ile tanımlanır:

1. Standart paraleller boyunca uzunluk korunur.
2. İki standart paralel arasındaki küre kuşak alanı korunur.

5. KONFORM PROJEKSİYONLAR

Konform projeksiyonlarda bir nokta etrafındaki uzunluk deformasyonu ya da diferansiyel ölçek her yönde sabittir. Bu şekilde bir nokta etrafında açılar diferansiyel anlamda korunmuş olur. Bir başka ifade ile diferansiyel (sonsuz küçük) kenarlar arasındaki açılar korunmuş olur. Sonlu büyüklükte kenarlar arasındaki açılar ise korunmaz. Bu nedenle bu çalışmanın yazarları “açı koruma” yerine konform terimini tercih etmişlerdir. Konform uygun, uyumlu anlamında olup küre ve düzlem arasındaki şekil benzerliğinin maksimum olmasına işaret etmektedir. Şekil benzerliği anlamında ortomorfik terimi de bu projeksiyon kategorisi için kullanılmaktadır (Bildirici, 2023; Bildirici, 2026; Richardus ve Adler,1972).

5.1. Projeksiyon 10

Konform projeksiyonlarda her yönde uzunluk deformasyonunun sabit olması koşulundan yararlanılarak bir diferansiyel eşitlik elde edilir.

$$\frac{dm}{Rd\delta} = \frac{mn}{R \sin \delta}, \quad dm = \frac{mn}{\sin \delta} d\delta$$

İki tarafın integrali alınarak yarıçap eşitliği yazılır.

$$\ln m = n \ln \tan \frac{\delta}{2} + \ln C \rightarrow m = C \tan^n \frac{\delta}{2}$$

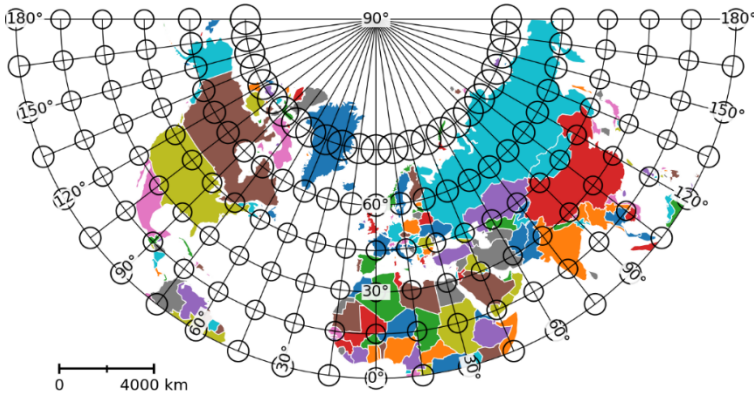
Standart paralel üzerinde açı deformasyonunun sıfır olmasından yararlanılarak integral sabiti belirlenerek yarıçap eşitliği elde edilir.

$$m = R \frac{\tan \delta_0}{\tan^n \frac{\delta_0}{2}} \tan^n \frac{\delta}{2} \quad (20)$$

Teğet koni varsayımı ile küçültme faktörü için (5) eşitliği kullanılır.

$$n = \cos \delta_0$$

Lambert tarafından ilk kez sunulduğu için Lambert projeksiyonu olarak da bilinir (Bildirici, 2026; Snyder, 1987; Hake vd., 2002).



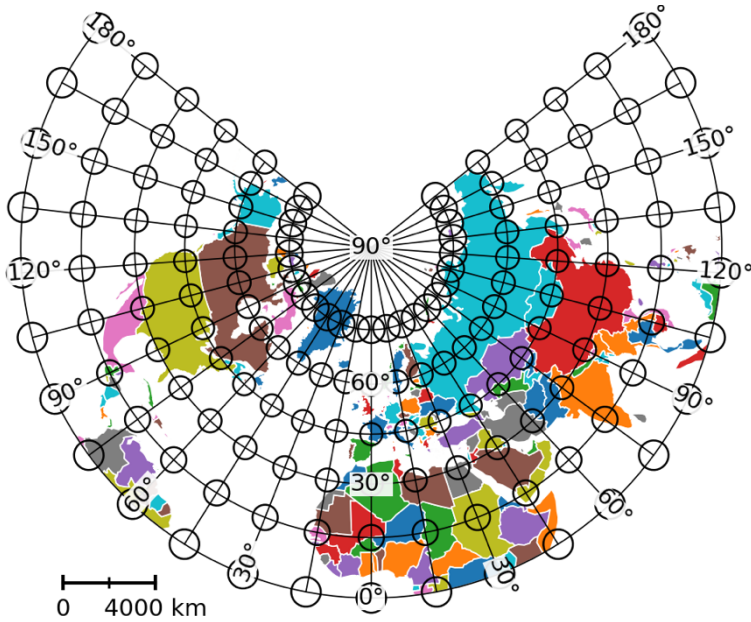
Şekil 13. Projeksiyon 10'da kuzey yarı küre ($\delta = 30^\circ$)

5.2. Projeksiyon 11

Wagner (1949) projeksiyon düzlemindeki deformasyonu daha geniş bir alana dengeli biçimde dağıtmak amacıyla, uzunluk deformasyonunun iki belirlenen paralel (δ' ve δ'') boyunca eşit olmasını sağlayacak şekilde Projeksiyon 10'nu modifiye etmiştir.

Bu yaklaşıma göre küçültme faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır. Daha sonra standart paralel belirlenerek (20) eşitliği ile verilen yarıçap fonksiyonu kullanılır.

$$n = \frac{\ln \sin \delta'' - \ln \sin \delta'}{\ln \tan \frac{\delta''}{2} - \ln \tan \frac{\delta'}{2}} = \cos \delta_0 \quad (21)$$



Şekil 14. Projeksiyon 11’de kuzey yarı küre
 $(\delta' = 30^\circ, \delta'' = 60^\circ)$

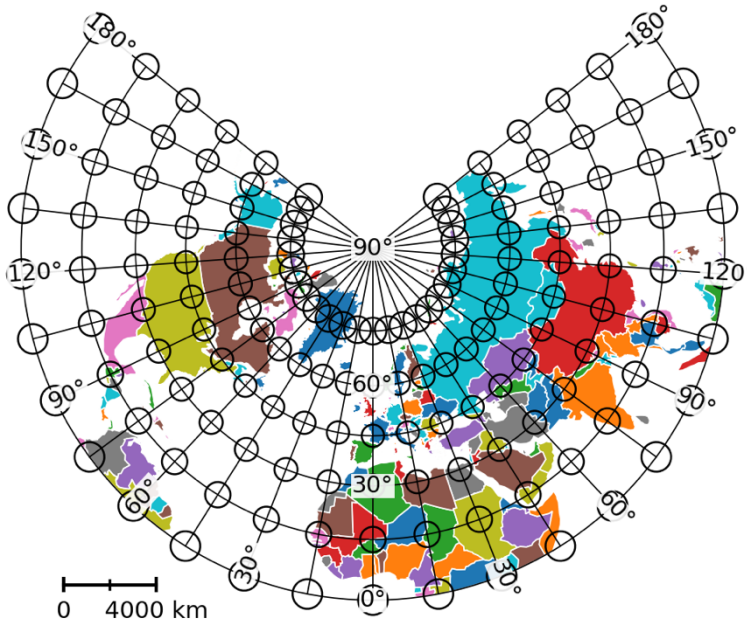
Bu şekilde haritası yapılacak bölgenin kuzeyinde ve güneyinde belirlenen iki paralel dairede uzunluk deformasyonu aynı olacak şekilde bir standart paralel belirlenmiş olmaktadır. Şekil 14’te kuzey yarı kürenin görünümü yer almaktadır.

5.3. Projeksiyon 12

Konform konik projeksiyon iki standart paralelli olarak da uygulanabilir. Projeksiyon 10'daki integral sabiti C , iki standart paralele göre düzenlenerek yarıçap ve küçültme faktörü elde edilir.

$$m = \frac{R \sin \delta_1}{n \tan^n \frac{\delta_1}{2}} \tan^n \frac{\delta}{2} \quad (22)$$

$$n = \frac{\ln \sin \delta_2 - \ln \sin \delta_1}{\ln \tan \frac{\delta_2}{2} - \ln \tan \frac{\delta_1}{2}} \quad (23)$$



Şekil 15. Projeksiyon 12'de kuzey yarı küre
($\delta_1 = 30^\circ$, $\delta_2 = 60^\circ$)

Lambert tarafından sunulan projeksiyonlardan biridir. Kaynaklarda ve uygulamalarda Lambert konform konik projeksiyonu olarak nitelenir. Harita Genel Müdürlüğü tarafından üretilen Türkiye haritalarında (Türkiye Fiziki vb.) bu projeksiyon kullanılır. Şekil 15'te kuzey yarı küre bu projeksiyonda gösterilmiştir.

6. PROJEKSİYONLARIN UYGULANMASI

Konik projeksiyonların uygulamalarında seçime bağlı parametreler söz konusudur. Herhangi bir projeksiyonun belli bir bölgeye uygunluğu bu parametrelerin seçimine sıkı sıkıya bağlıdır.

6.1. Düzlem Koordinat Sistemi

Harita düzlemi koordinat sisteminin seçimi keyfidir. Genel olarak çalışma bölgesini ortalayan bir meridyen y eksenini ile çakışık alınır. Orta meridyenin üzerinde tam sayı bir enleme sahip bir paralel ile kesişim noktası orijin olarak seçilir. x eksenini de buna göre yerleşmiş olur (Şekil 2). Konik projeksiyonlar koni tepe noktasına göre oluşan kutupsal koordinatlar ile tanımlı olduğundan seçilen düzlem koordinat sistemine göre dik koordinatlara geçilir.

Dik koordinatların negatif değerler alması bazı uygulamalarda arzu edilmez. Bunu önlemek için dik koordinatlara itibari koordinat değerleri eklenebilir.

6.2. Ölçek Faktörü

Standart paralel/paralellerden uzaklaştıkça uzunluk deformasyonu büyür ya da küçülür. Bazı uygulamalarda dik koordinatlar bir ölçek faktörü ile çarpılarak uzunluk deformasyonunun dengeli olması sağlanabilir. Ölçek faktörü gerekliliği haritası yapılan bölgenin boyut ve şekline bağlıdır.

6.3. Standart Paralel ya da Paralellerin Seçimi

Konik projeksiyonların deformasyon karakteri standart paralellerin (ya da aç/uzunluk deformasyonunun eşit alındığı paraleller) seçimine sıkı sıkıya bağlıdır. Haritası yapılacak bölgenin küre üzerindeki konumuna ve şekline göre uygun standart paraleller seçilir. Seçim ile ilgili ana kaynaklarda bazı öneriler bulunmaktadır.

7. PROJEKSİYONLARIN UYGULANMASI

Bu çalışmada konik projeksiyonların 12 değişik türü ana hatları ile incelenmiştir. Farklı projeksiyonlar benzer özelliklere sahip olabileceğinden deformasyonlara ve standart paralel

sayısına göre bir isimlendirmeden kaçınılmış, numaralandırma tercih edilmiştir. Burada ele alınan konik projeksiyonların bazılarına literatürde nadiren rastlanır. Bu çalışmada küreden düzleme izdüşüm anlamında olası tüm seçeneklerin ortaya konması hedeflenmiştir.

Bir harita çalışmasında hangi projeksiyonun uygun olduğu çalışma alanına, yapılacak harita çalışmasının ölçeğine ve amacına bağlıdır. Konik projeksiyonlarda standart paralellerin seçimi hangi projeksiyon hangi amaca uygun olduğunu belirlemede kritik bir öneme sahiptir. Düzlem koordinat sisteminin seçimi ve ölçek faktörü kullanılıp kullanılmaması gibi parametreler de önemlidir. Bu açıdan bakıldığında tercih edilen parametrelere göre burada sunulan 12 projeksiyonun sonsuz değişik uygulaması olabilir. Bu çeşitliliği düşündüğümüzde projeksiyon seçiminde kesin yargılar ortaya koyamayız. Uygulamaya göre seçeneklerin değerlendirilmesi ve bu seçeneklerden birinin tercih edilmesi en akılcı yoldur. Bu husus diğer harita projeksiyon türleri için de şüphesiz geçerlidir.

Konik projeksiyonlarda standart paralellerin seçimine bu çalışma kapsamında girilmemiştir. Ancak önemli bir konudur. Benzer şekilde elipsoitten düzleme izdüşüm de bu çalışmanın kapsamına alınmamıştır. Bu iki başlıkta kaynaklar vardır. Yazarlar gelecek çalışmalarında bu konuları da irdelemeyi planlamaktadır.

KAYNAKÇA

- Bildirici, İ. Ö. (2023a). Harita projeksiyonlarında sonlu büyüklükte ve sonsuz küçük deformasyonlar üzerine bir inceleme. *Harita Dergisi*, 170, 1–7.
- Bildirici, İ. Ö. (2023b). *Kartografya: Harita tasarımı ve kullanımı için gerekli bilim, sanat ve teknik* (3. baskı). Konya: Atlas Akademi Yayınevi.
- Bildirici, İ. Ö. (2026). *Kartografya* (4. baskı). Konya: Atlas Akademi.
- Hake, G., Grünreich, D., & Meng, L. (2002). *Kartographie: Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Richardus, P., & Adler, R. K. (1972). *Map projections for geodesists, cartographers and geographers*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Snyder, J. P. (1987). *Map projections: A working manual* (U.S. Geological Survey Professional Paper 1395). Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Snyder, J. P. (1993). *Flattening the earth*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Wagner, K. (1949). *Kartographische Netzentwürfe*. Leipzig: Bibliographisches Institut.

TÜRKİYE'DEKİ DÖRT RAMSAR ALANINDA KUŞ GÖZLEM TURİZMİ İÇİN ALTYAPI ERİŞİLEBİLİRLİĞİNİN CBS TABANLI ÇOK KRİTERLİ ANALİZİ

Tevfik SEZER¹

Mehmet DOĞRULUK²

1. GİRİŞ

Sulak alanlar, biyolojik çeşitliliğin korunması ve ekolojik dengenin sürdürülmesi açısından en hassas ekosistemler arasında yer almaktadır. Göçmen kuşların beslenme, üreme ve konaklama amacıyla kullandığı bu alanlar uluslararası sözleşmelerle koruma altına alınmış olup, korunmaları ile insan kullanımı arasındaki dengenin dikkatli biçimde planlanmasını gerektirmektedir. Kuş gözlemciliği (aviturismo), doğa temelli turizmin hızla büyüyen bileşenlerinden biri olarak yerel ekonomiye katkı ve koruma bilincinin artması gibi olumlu sonuçlar doğurabilmektedir (Şekercioğlu, 2002; Steven, Morrison ve Castley, 2015). Öte yandan doğa temelli rekreasyonun kuşlar üzerinde davranış, üreme başarısı ve bolluk açısından olumsuz etkiler yaratabildiği de bilinmektedir (Steven, Pickering ve Castley, 2011). Bu nedenle kuş gözlem turizminin planlanmasında hem ziyaretçi

¹ Tekniker, Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, ORCID: 0009-0008-3120-8329.

² Öğr. Gör. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, ORCID: 0000-0001-6698-651X. Sorumlu yazar.

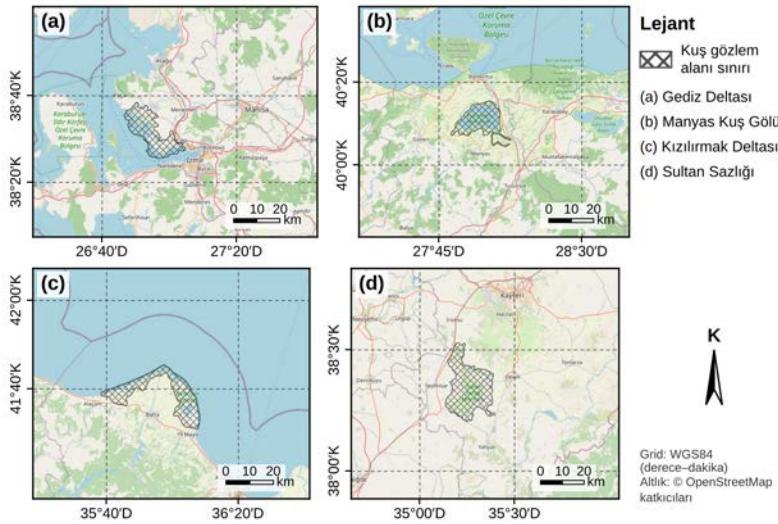
altyapısının hem de ekolojik hassasiyetin mekânsal olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA), farklı ölçütleri ortak bir mekânsal çerçevede birleştirerek arazi uygunluğunun belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Malczewski, 1999, 2006). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), bu çalışmalarda ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde en sık başvurulan yöntemlerden biridir (Saaty, 1980, 2008; Chandio vd., 2013). Ekoturizm alanlarının belirlenmesinde CBS ile AHS'nin birlikte kullanıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Bunruamkaew ve Murayama, 2011; Çetinkaya, Kabak, Erbaş ve Özceylan, 2018). Türkiye'deki sulak alanlarda ise çalışmalar çoğunlukla arazi kullanımı değişimi ve ekosistem bozulması üzerine yoğunlaşmıştır (Bolca, Özen ve Güneş, 2014; Dadaser-Çelik, Bauer, Brezonik ve Stefan, 2008; Sertel, Findik, Kaya, Seker ve Samsunlu, 2008). Bu alanların kuş gözlem turizmine yönelik altyapı erişilebilirliğini aynı ölçüt setiyle karşılaştırmalı olarak ele alan çalışmalar ise nispeten sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin uluslararası öneme sahip dört sulak alanı olan Gediz Deltası, Kızılırmak Deltası, Sultan Sazlığı ve Manyas Kuş Gölü (Kuşcenneti) çevresinde kuş gözlem turizmini destekleyen altyapıya erişilebilirliği CBS tabanlı bir ÇKKA modeliyle değerlendirmektir. Model; konaklama, kamp alanları, yeme-içme, karayolu ve havayolu erişimi gibi ziyaretçi altyapısı ölçütlerine dayanmaktadır. Kuş türlerinin dağılımı ve habitat hassasiyeti gibi ekolojik ölçütler bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar ekolojik uygunluktan ziyade, ziyaretçi altyapısı açısından erişilebilirliği temsil etmektedir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanını oluşturan dört sulak alan, Ramsar Sözleşmesi kapsamında uluslararası öneme sahip sulak alan olarak tescil edilmiş ve Türkiye'nin önemli doğa alanları arasında yer almaktadır (Eken vd., 2006). Alanların konumları ve yakın çevreleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekillerde gösterilen sınırlar resmî Ramsar alanı sınırları değil, Bölüm 3.1'de açıklanan kuş gözlem alanı sınırlarıdır.



Şekil 1. Çalışma alanları. (a): Gediz Deltası, (b): Manyas Kuş Gölü, (c): Kızılırmak Deltası, (d): Sultan Sazlığı. Referans harita: OpenStreetMap.

Sultan Sazlığı, İç Anadolu'da kapalı bir havzada yer alan ve tatlı ile tuzlu su ortamlarını bir arada barındıran bir sulak alandır. Uydu görüntüleriyle yapılan çalışmalar, alanın su yüzeyi ve bitki örtüsünde özellikle sulama faaliyetlerine bağlı önemli değişimler yaşandığını göstermiştir (Dadaser-Çelik vd., 2008). Manyas Kuş Gölü, Güney Marmara'da yer alan ve kıyısındaki Kuşçenneti Millî Parkı ile tanınan bir göl ekosistemidir (Eken vd., 2006). Gölün kıyı çizgisi 1980–2020 döneminde belirgin

değişimler göstermiş; Manyas Çayı deltası çevresindeki güney kıyılarda birikim, kuzey kıyılarda ise aşınma belirlenmiştir (Uzun, 2024).

Kızılırmak Deltası, Karadeniz kıyısında geniş lagün, bataklık ve kıyı habitatlarını barındıran bir delta ovasıdır. Delta, 1987–2004 döneminde insan faaliyetlerine bağlı belirgin arazi örtüsü değişimleri geçirmiştir (Sertel vd., 2008). Gediz Deltası ise İzmir Körfezi'nin kuzeyinde, büyükşehir alanına bitişik konumuyla kentsel ve endüstriyel baskının en yoğun hissedildiği alanlardan biridir; 1963–2010 döneminde kentsel-endüstriyel alanlar ve tuzlalar genişlerken kuş habitatlarının ve sulak alan bitki örtüsünün gerilediği belirlenmiştir (Bolca vd., 2014).

Araştırmaya dahil edilen bu dört alan, morfolojik yapıları, iklim özellikleri ve kentsel merkezlere yakınlıkları bakımından farklılık göstermektedir. Bu farklılık, ziyaretçi altyapısına erişilebilirliğin de alanlar arasında önemli ölçüde değişmesini beklenir kılmaktadır.

3. VERİ VE YÖNTEM

3.1. Veri Setleri

Konaklama tesisleri (oteller), kamp ve çadır alanları, yeme-içme mekânları ve ulaşım ağlarına ait nokta ve çizgi verileri, QGIS ortamında QuickOSM eklentisi kullanılarak OpenStreetMap (OSM) veri tabanından anahtar-değer etiketleri üzerinden elde edilmiştir (Haklay ve Weber, 2008; OpenStreetMap katkıcıları, 2026). OSM verileri 1–20 Mart 2026 tarihleri arasında indirilmiş, tüm mekânsal işlemler QGIS 3.42 sürümüyle gerçekleştirilmiştir (QGIS Development Team, 2025). Gönüllü katkıyla üretilen OSM verilerinde konum hataları ve eksiklikler bulunabileceğinden, nokta verileri ilgili alanların yönetim planları, İl Kültür ve Turizm Müdürlüklerinin

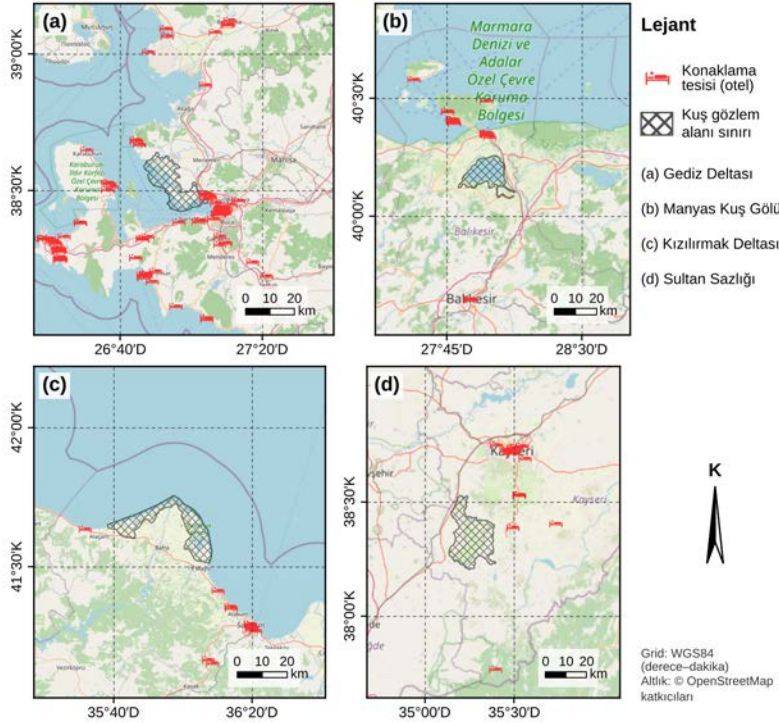
envanterleri ve tesislerin resmî web siteleriyle çapraz kontrol edilmiştir. Kuş gözlem alanlarının sınırları, eBird aracılığıyla iletişim kurulan ve bu alanlarda kuş gözlemiyle ilgilenen bir kişi tarafından sağlanmıştır. 13 Mart 2026 tarihinde eBird veri tabanından indirilen gözlem kayıtları (eBird, 2026; Sullivan vd., 2009) da bu sınırların belirlenmesinde kullanılmış, ancak modelde ayrı bir ölçüt olarak yer almamıştır.

3.2. Ölçütler ve Standardizasyon

Modelde beş ölçüt kullanılmıştır: kamp ve çadır alanlarına yakınlık, karayolu ağına yakınlık, konaklama tesislerine yakınlık, yeme-içme mekânlarına yakınlık ve havalimanına yakınlık. Her ölçüte ait vektör veriden Öklid mesafesi ve tampon bölge analizleriyle sürekli mesafe rasterları üretilmiştir. Farklı birimlerdeki bu katmanlar, 1 (en düşük erişilebilirlik) ile 5 (en yüksek erişilebilirlik) arasında yeniden sınıflandırılarak ortak bir ölçeğe getirilmiştir. Mesafeler tüm ölçütlerde aynı sınıflarla puanlanmıştır: 1 km'den kısa mesafeler 5, 1–2,5 km arası 4, 2,5–5 km arası 3, 5–10 km arası 2, 10 km ve üzeri mesafeler ise 1 puan almıştır. Tüm ölçütlerde ilgili altyapıya yakınlık arttıkça puan artmaktadır.

Konaklama tesislerinin dağılımı (Şekil 2), ziyaretçilerin alanlarda geçirebileceği süreyi ve çok günlük gözlem programlarının uygulanabilirliğini etkileyen önemli bir altyapı göstergesidir. Tesislerin yoğunlukla çevredeki kentsel ve kıyı yerleşimlerinde yoğunlaşması, gözlemcilerin konaklama üssü ile gözlem alanı arasında günlük ulaşım planlaması yapmasını gerektirmektedir. Gediz Deltası çevresinde İzmir kent merkezi ve kıyı yerleşimlerinde yoğun bir otel dağılımı görülürken, Manyas Kuş Gölü çevresinde tesislerin Balıkesir ve çevresindeki yerleşimlerde toplandığı görülmektedir. Kızılırmak Deltası'nda konaklama olanakları Samsun ve kıyı yerleşimleri boyunca dağılırken, Sultan Sazlığı çevresinde tesislerin büyük ölçüde

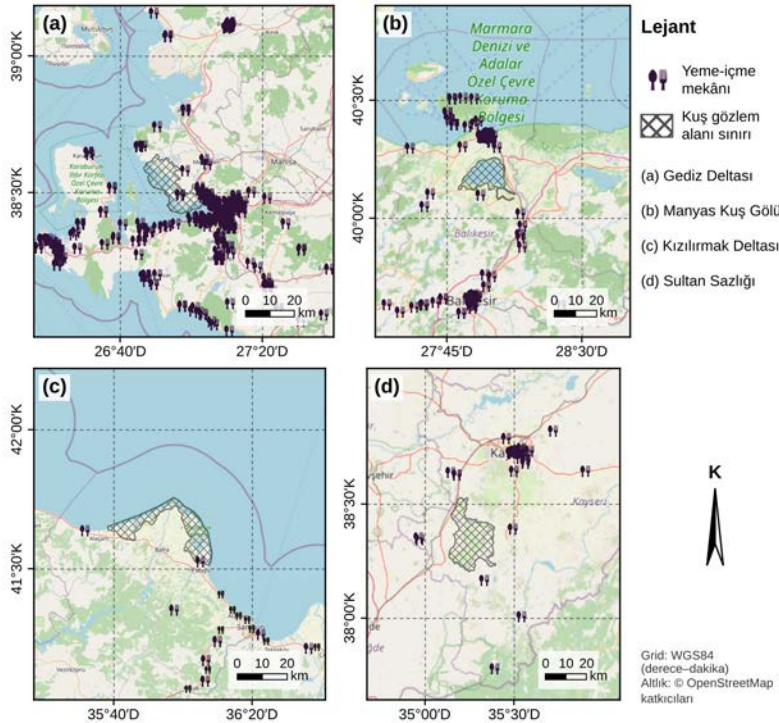
Kayseri kent merkezinde toplandığı görülmektedir. Bu mekansal dağılım, özellikle erken saatli gözlemler ve birden fazla günü kapsayan programlar açısından konaklama ile alan arasındaki ulaşım süresini önemli bir planlama unsuru hâline getirmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanlarında konaklama tesislerinin (otel) dağılımı. (a): Gediz Deltası, (b): Manyas Kuş Gölü, (c): Kızılırmak Deltası, (d): Sultan Sazlığı.

Yeme-içme mekânları (Şekil 3), gözlemcilerin sahada kalış süresini ve ziyaret programlarının lojistik konforunu etkileyen önemli bir ölçüttür. Şekil 3, bu hizmetlerin özellikle kentsel merkezler ve ana ulaşım koridorları çevresinde yoğunlaştığını göstermektedir. Gediz Deltası ve Manyas Kuş Gölü çevresinde daha yoğun bir dağılım görülürken, Kızılırmak Deltası ve Sultan Sazlığı'nda mekânların daha dağınık bir yapı sergilediği görülmektedir. Gözlemcilerin günlük ihtiyaçlarını

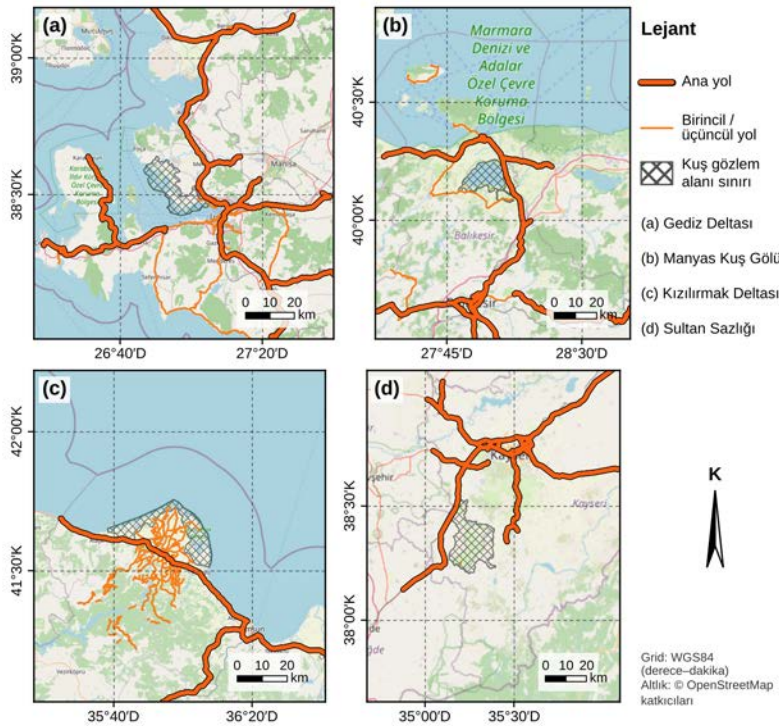
daha kolay karşılaması, özellikle erken saatli ve uzun süreli gözlem programlarını kesintisiz sürdürebilmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, yeme-içme mekânlarına yakın alanlar 5 puanla değerlendirilmiş ve mesafe arttıkça puan kademeli olarak azaltılmıştır.



Şekil 3. Çalışma alanlarında yeme-içme mekânlarının dağılımı. (a): Gediz Deltası, (b): Manyas Kuş Gölü, (c): Kızılırmak Deltası, (d): Sultan Sazlığı.

Şekil 4'te çalışma alanlarındaki gözlem noktalarına ulaşım olanaklarını gösterilmektedir. Haritalar, dört çalışma alanının da ana ulaşım akslarına ve yerel yol bağlantılarına olan yakınlıklarının benzerliğini göstermektedir. Ancak, özellikle gözlem alanlarına ulaşımın son aşamasında ziyaretçilerin karşılaşılabileceği erişim koşulları ana ve ara (birincil/üçüncül) yol ağından etkilenebilmektedir.

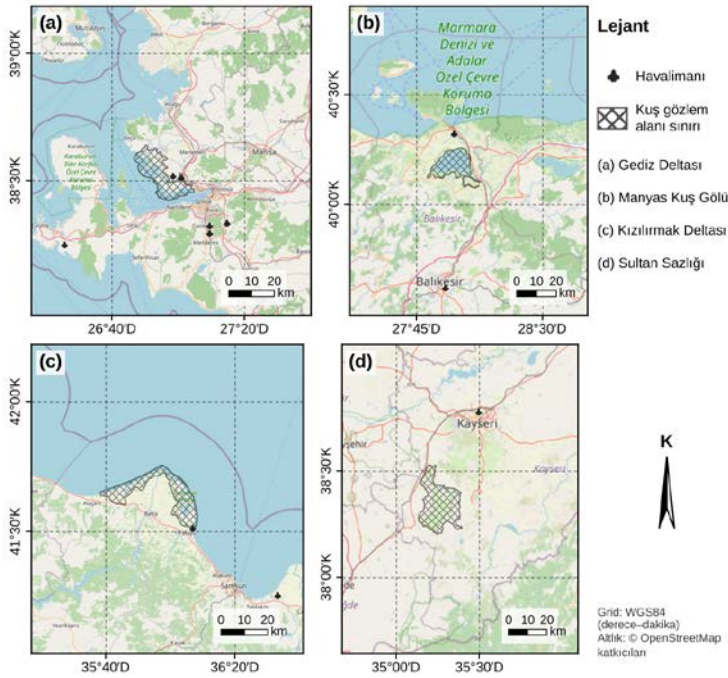
Ana ve ara yollara olan Öklid mesafesinin tercih edilmesi, raster tabanlı analizde tüm çalışma alanları için sürekli, standart ve karşılaştırılabilir bir erişilebilirlik yüzeyi oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu ölçüt, gerçek seyahat güzergâhını veya ulaşım süresinden ziyade, gözlem noktalarının yol altyapısına mekânsal yakınlığını ve buna bağlı potansiyel erişim avantajını temsil etmektedir. Yola en yakın piksellere 5 puan verilmiş, mesafe arttıkça ulaşım avantajı kademeli olarak azaltılmıştır.



Şekil 4. Çalışma alanlarında karayolu ve ulaşım ağı. (a): Gediz Deltası, (b): Manyas Kuş Gölü, (c): Kızılırmak Deltası, (d): Sultan Sazlığı.

Şekil 5'te gösterilen havalimanı erişim durumu, Ramsar alanlarının ulusal ve uluslararası ziyaretçi hareketliliğine bağlanma potansiyelini temsil etmektedir. Havalimanına olan mesafeler, ziyaretçinin alana doğrudan ulaşımından ziyade, bölgeye hava yoluyla erişimin başlangıç durumunu ve sonrasında

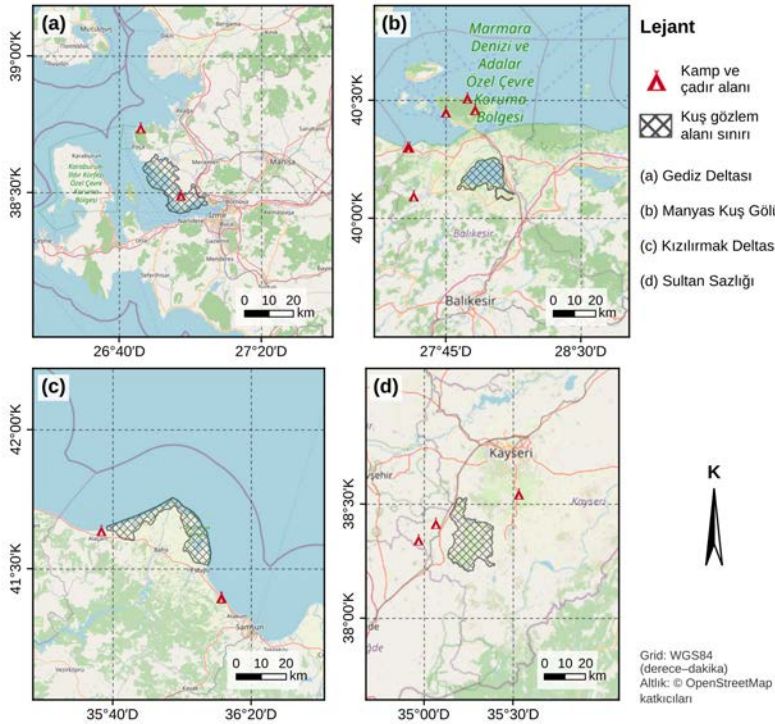
gerçekleştirilmesi gereken karayolu bağlantısının uzunluğunu yansıtmaktadır. Alanların en yakın aktif havalimanlarına olan mesafeleri hesaplanmış ve diğer mesafe temelli ölçütlerle karşılaştırılabilirliği sağlamak amacıyla aynı mesafe sınıflarına göre puanlanmıştır. Bu kapsamda, hava ulaşımının alan ziyaretleri açısından belirgin bir erişim avantajı sağladığı üst sınır olarak 10 km eşik değer olarak kabul edilmiştir. Havalimanına daha yakın alanlar (Örneğin Gediz Deltası), özellikle farklı bölgelerden ve yurt dışından gelen gözlemciler için daha düşük ulaşım süresi ve daha kolay seyahat planlaması bakımından avantajlı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanları çevresindeki havalimanlarının konumu. (a): Gediz Deltası, (b): Manyas Kuş Gölü, (c): Kızılırmak Deltası, (d): Sultan Sazlığı.

Şekil 6'da gösterilen kamp ve çadır alanları, doğa temelli turizmde ziyaret deneyimini destekleyen önemli konaklama olanaklarını temsil etmektedir. Dört çalışma alanı çevresindeki

kamp alanlarının dağılımı, ziyaretçilerin gözlem alanlarına yakın konaklama seçeneklerine erişim düzeyinin farklılaştığını göstermektedir. Bu kapsamda, mevcut kamp alanlarının tampon bölgeleri içinde kalan pikseller 5 puanla sınıflandırılmış ve mesafe arttıkça kamp altyapısının sağladığı erişim avantajı kademeli olarak azaltılmıştır.



Şekil 6. Çalışma alanlarında kamp ve çadır alanlarının dağılımı. (a): Gediz Deltası, (b): Manyas Kuş Gölü, (c): Kızılırmak Deltası, (d): Sultan Sazlığı.

3.3. Ölçüt Ağırlıklarının Belirlenmesi

Ölçüt ağırlıkları, ekoturizm uygunluk çalışmalarında kullanılan ölçütler (Bunruamkaew ve Murayama, 2011; Çetinkaya vd., 2018) ile ölçütlerin kuş gözlem turizmi açısından göreceli önceliğine ilişkin yazar değerlendirmesi doğrultusunda belirlenmiştir; bu süreçte yapılandırılmış bir uzman anketi

uygulanmamıştır. Kamp ve çadır alanlarına %35, karayolu ağına %25, konaklama tesislerine %15, yeme-içme mekânlarına %15 ve havalimanı erişimine %10 ağırlık verilmiştir. Tablo 1'de bu ağırlıklara karşılık gelen ikili karşılaştırma matrisi sunulmaktadır.

Tablo 1. Ölçütlere Ait İkili Karşılaştırma Matrisi ve Ağırlıklar

Ölçüt	Kamp	Yol	Otel	Yeme-içme	Havalimanı	Ağırlık
Kamp ve çadır alanları	1,00	1,40	2,33	2,33	3,50	0,35
Karayolu ağı	0,71	1,00	1,67	1,67	2,50	0,25
Konaklama (otel)	0,43	0,60	1,00	1,00	1,50	0,15
Yeme-içme mekânları	0,43	0,60	1,00	1,00	1,50	0,15
Havalimanı erişimi	0,29	0,40	0,67	0,67	1,00	0,10

Not: Matris, belirlenen ağırlıkların oranlarından türetildiği için tam tutarlıdır (CR = 0).

Çalışmada kullanılan ağırlıklar, matrisin ağırlık oranlarından türetilmiş ve yazarların değerlendirmeleri doğrultusunda oluşturulmuştur. Ağırlık belirleme aşamasında kuş gözlem platformlarından elde edilen gözlem ve erişilebilirlik bilgilerinden de yararlanılmıştır. Bu yaklaşım, çalışmanın amaçları doğrultusunda tutarlı bir ağırlıklandırma çerçevesi sunmakla beraber uzman görüşüne dayalı ikili karşılaştırmalar ve duyarlılık analizlerinin eklenmesi, elde edilen sonuçların farklı bakış açılarıyla desteklenmesine katkı sağlayabilir.

3.4. Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme

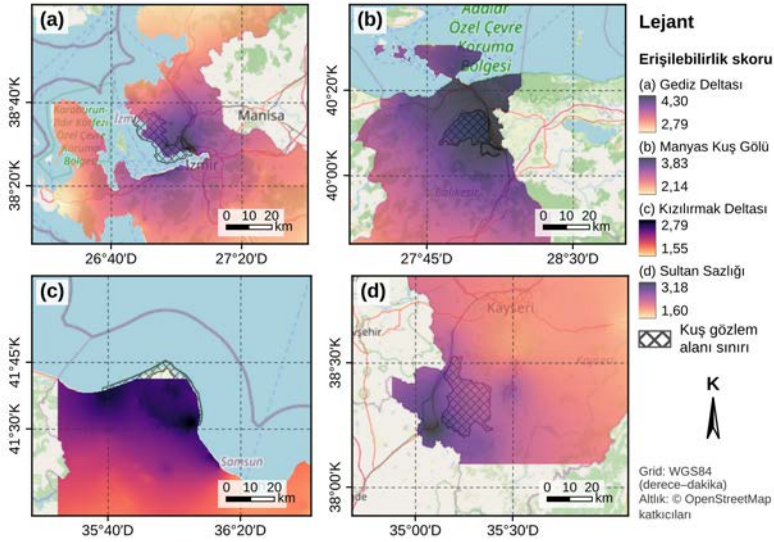
Standardize edilmiş katmanlar ağırlıklı doğrusal birleştirme yöntemiyle bir araya getirilmiştir (Malczewski, 2006). Her hücre için erişilebilirlik skoru (S) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$S = 0,35 \cdot K + 0,25 \cdot Y + 0,15 \cdot O + 0,15 \cdot R + 0,10 \cdot H$$

Eşitlikte K kamp ve çadır alanlarına, Y karayolu ağına, O konaklama tesislerine, R yeme-içme mekânlarına ve H havalimanına yakınlık puanını (1–5) göstermektedir. Skor, kuramsal olarak 1 ile 5 arasında değer almaktadır.

4. BULGULAR

Ağırlıklı birleştirme sonucunda dört alan için elde edilen erişilebilirlik skoru haritaları Şekil 7'de sunulmaktadır. Her panel kendi değer aralığına göre renklendirildiğinden, alanlar arasındaki karşılaştırma renk tonlarına göre değil, skor değerlerine göre yapılmalıdır.



Şekil 7. Çalışma alanları için üretilen ağırlıklı altyapı erişilebilirlik skoru haritaları. (a): Gediz Deltası, (b): Manyas Kuş Gölü, (c): Kızılırmak Deltası, (d): Sultan Sazlığı.

Skor aralıkları alanlar arasında belirgin farklılık göstermektedir. En yüksek değerler Gediz Deltası çevresinde (2,79–4,30) elde edilmiş; bunu Manyas Kuş Gölü (2,14–3,83), Sultan Sazlığı (1,60–3,18) ve Kızılırmak Deltası (1,55–2,79) izlemiştir. Gediz Deltası'nın öne çıkması, İzmir büyükşehir alanına bitişik konumunun sağladığı yoğun konaklama, yeme-içme ve ulaşım altyapısıyla ve havalimanına yakınlığıyla açıklanabilir. Kızılırmak Deltası'nda ise skor aralığının tamamı diğer alanlara göre düşük kalmaktadır; bu durum, konaklama ve

yeme-içme altyapısının büyük ölçüde Samsun kent merkezi ve kıyı yerleşimlerinde toplanmasıyla ilişkilidir.

Skorların mekânsal dağılımı, tüm alanlarda büyük ölçüde kent merkezlerinin, ana karayollarının ve mevcut turizm tesislerinin konumunu yansıtmaktadır. Bu durum, modelin ekolojik değil erişilebilirlik odaklı yapısının doğal bir sonucudur.

5. TARTIŞMA VE PLANLAMA ÖNERİLERİ

Bulgular, dört Ramsar alanının kuş gözlem turizmini destekleyen altyapıya erişim açısından farklı düzeylerde olduğunu göstermektedir. Yüksek erişilebilirlik, ziyaretçi sayısının artırılması açısından bir avantaj olmakla birlikte, aynı zamanda alan üzerindeki insan baskısının artması anlamına gelebilir. Doğa temelli rekreasyonun kuşlar üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alındığında (Steven vd., 2011), en yüksek erişilebilirlik skoruna sahip alanların doğrudan gözlem alanı olarak işaretlenmesi uygun değildir.

Bu nedenle sonuçlar, ekolojik hassasiyet bilgisiyle birlikte kullanılmalıdır. Planlama açısından şu öneriler öne çıkmaktadır: (i) gözlem kuleleri, ziyaretçi merkezleri ve kamp alanı gibi tesisler, yüksek erişilebilirlik skoruna sahip ancak üreme ve konaklama alanlarının dışında kalan sulak alan çeperlerinde yoğunlaştırılmalıdır; (ii) koruma zonları ve hassas habitatlar, erişilebilirlik skorundan bağımsız olarak kısıt katmanı biçiminde modelden çıkarılmalıdır; (iii) Gediz Deltası gibi kentsel baskı altındaki alanlarda ziyaretçi yönetimi ve taşıma kapasitesi planlamasına öncelik verilmelidir; (iv) Kızılırmak Deltası gibi altyapının sınırlı olduğu alanlarda yeni tesisler yerine mevcut yerleşimlere dayalı, düşük etkili bir ziyaretçi modeli tercih edilmelidir.

Mevcut çalışma mekânsal verilere dayalı somut bir çerçeve çizmekle beraber gelecek çalışmalar için geliştirmeye açık yönleri de vurgulamaktadır. Örneğin, benimsenen model yalnızca altyapı ölçütlerine dayanmakta ve kuş türlerinin dağılımı, habitat kalitesi veya koruma statüsü gibi ekolojik ölçütleri içermemektedir. OSM verilerinin tamlığı bölgeden bölgeye değişebilmektedir. Ağırlıkların duyarlılık analizleriyle sınanması, sonuçların güvenilirliğini artırabilir. Gelecekteki çalışmalarda, topluluk katılımına dayalı veri kaynaklarından (örneğin eBird; <https://ebird.org>) türetilecek tür zenginliği ve gözlem yoğunluğu katmanları ile koruma zonlarına ilişkin kısıt katmanlarının modele dahil edilmesi önerilmektedir. Bu katmanların uzman görüşüne dayalı ağırlıklarla birlikte kullanılması, erişilebilirliği ve ekolojik uygunluğu birlikte değerlendiren bütünlük ve daha kapsayıcı bir modelin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada Gediz Deltası, Manyas Kuş Gölü, Kızılırmak Deltası ve Sultan Sazlığı çevresinde kuş gözlem turizmine yönelik altyapı erişilebilirliği, OSM verilerine dayalı olarak CBS tabanlı bir ÇKKA modeliyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Gediz Deltası'nın kentsel altyapıya yakınlığı nedeniyle en yüksek erişilebilirlik skorlarına sahip olduğunu göstermektedir. Kızılırmak Deltası'nın en düşük erişilebilirlik skorlarına sahip olması, bu bölgede turizm odaklı altyapı olanaklarının artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle kamp alanları ve karayolu ulaşımı ağı, modelde en yüksek ağırlığa sahip ölçütler olarak sonuçları belirleyen başlıca etkenlerdir.

Elde edilen erişilebilirlik haritaları, karar vericiler için mevcut ziyaretçi altyapısının mekânsal dağılımını gösteren bir

başlangıç altlığı niteliğindedir. Bu haritalar, turizm potansiyelini artırmak için ekolojik hassasiyet ve koruma zonu bilgileriyle birlikte değerlendirilmelidir. Erişilebilirlik ile koruma arasındaki dengeyi gözeterek bütünleşik modeller, sulak alanlarda sürdürülebilir kuş gözlem turizminin planlanmasına önemli katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Bolca, M., Özen, F. ve Güneş, A. (2014). Land use changes in Gediz Delta (Turkey) and their negative impacts on wetland habitats. *Journal of Coastal Research*, 30(4). <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00011.1>
- Bunruamkaew, K. ve Murayama, Y. (2011). Site suitability evaluation for ecotourism using GIS & AHP: A case study of Surat Thani Province, Thailand. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 21, 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.07.024>
- Chandio, I. A., Matori, A. N. B., WanYusof, K. B., Talpur, M. A. H., Balogun, A.-L. ve Lawal, D. U. (2013). GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: A review. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(8), 3059–3066. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0568-8>
- Çetinkaya, C., Kabak, M., Erbaş, M. ve Özceylan, E. (2018). Evaluation of ecotourism sites: A GIS-based multi-criteria decision analysis. *Kybernetes*, 47(8), 1664–1686. <https://doi.org/10.1108/K-10-2017-0392>
- Dadaser-Çelik, F., Bauer, M. E., Brezonik, P. L. ve Stefan, H. G. (2008). Changes in the Sultan Marshes ecosystem (Turkey) in satellite images 1980–2003. *Wetlands*, 28(3), 852–865. <https://doi.org/10.1672/07-182.1>
- eBird. (2026). *eBird: An online database of bird distribution and abundance* [Veri seti]. Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology. 13 Mart 2026 tarihinde <https://ebird.org> adresinden erişilmiştir.
- Eken, G., Bozdoğan, M., İsfendiyoğlu, S., Kılıç, D. T. ve Lise, Y. (Ed.). (2006). *Türkiye'nin önemli doğa alanları*. Ankara: Doğa Derneği.

- Haklay, M. ve Weber, P. (2008). OpenStreetMap: User-generated street maps. *IEEE Pervasive Computing*, 7(4), 12–18. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2008.80>
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- OpenStreetMap katkıcıları. (2026). *OpenStreetMap* [Veri seti]. 1–20 Mart 2026 tarihleri arasında <https://www.openstreetmap.org> adresinden erişilmiştir.
- QGIS Development Team. (2025). *QGIS geographic information system* (Sürüm 3.42) [Bilgisayar yazılımı]. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill.
- 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>
- Sertel, E., Findik, N., Kaya, S., Seker, D. Z. ve Samsunlu, A. (2008). Assessment of landscape changes in the Kizilirmak Delta, Turkey, using remotely sensed data and GIS. *Environmental Engineering Science*, 25(3), 353–361. <https://doi.org/10.1089/ees.2006.0149>
- Steven, R., Morrison, C. ve Castley, J. G. (2015). Birdwatching and avitourism: A global review of research into its participant markets, distribution and impacts, highlighting future research priorities to inform sustainable avitourism management. *Journal of Sustainable Tourism*, 23(8–9),

1257–1276.

<https://doi.org/10.1080/09669582.2014.924955>

Steven, R., Pickering, C. ve Castley, J. G. (2011). A review of the impacts of nature based recreation on birds. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.005>

Sullivan, B. L., Wood, C. L., Iliff, M. J., Bonney, R. E., Fink, D. ve Kelling, S. (2009). eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. *Biological Conservation*, 142(10), 2282–2292. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.05.006>

Şekercioğlu, Ç. H. (2002). Impacts of birdwatching on human and avian communities. *Environmental Conservation*, 29(3), 282–289. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000206>

Uzun, S. M. (2024). Analysis of Manyas Lake surface area and shoreline change over various periods with DSAS tool. *Turkish Journal of Remote Sensing*, 6, 35–56. <https://doi.org/10.51489/tuzal.1443490>

2026 TAHRAN ÇATIŞMASININ HAVA KALİTESİNE ETKİLERİ: ÇOK KAYNAKLI UYDU VERİLERİYLE BİR DEĞERLENDİRME

Hüsniye DOĞAN¹

Mehmet DOĞRULUK²

1. GİRİŞ

Günümüz silahlı çatışmalarının etkileri askeri hedeflerle sınırlı kalmamakta, kentsel altyapının, enerji şebekelerinin ve fosil yakıt depolarının zarar görmesiyle sivil nüfusu doğrudan etkileyen çevresel sonuçlar doğurmaktadır. Bu tür olaylarda yer tabanlı hava kalitesi ölçüm ağıları çoğu zaman zarar görmekte ya da verilere erişim kısıtlanmaktadır. Bu nedenle çatışmaların atmosferik etkilerini bağımsız ve sürekli biçimde belgelemek için uydu tabanlı uzaktan algılama öne çıkan bir seçenek hâline gelmektedir (Zalakeviciute vd., 2022).

Şubat 2026'nın sonunda Tahran ve çevresinde başlayan çatışmalar bu durumun güncel örneklerinden biridir. 7-8 Mart 2026 gecesi Tahran metropoliten alanı ile komşu Alborz eyaletindeki yakıt depolama ve dağıtım tesislerinin hedef alındığı, tesislerde büyük yangınlar çıktığı ve kentin yoğun dumanla kaplandığı bildirilmiştir (Arab News Japan, 2026). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) Genel Direktörü, petrol tesislerindeki hasarın gıda, su ve havayı kirletme riski taşıdığını

¹ Öğrenci, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği, ORCID: 0009-0003-7417-3561.

² Öğr. Gör. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, ORCID: 0000-0001-6698-651X. Sorumlu yazar.

ve ülkenin bazı bölgelerinde petrol içerikli yağış bildirildiğini açıklamıştır (Al Jazeera, 2026). Kamuoyuna yansıyan bu gelişmeler, olayın atmosferik izlerinin nesnel ve ölçülebilir verilerle incelenmesi gereğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın amacı, 2026 Tahran çatışmasının kentsel hava kalitesi üzerindeki olası etkilerini açık erişimli çoklu uydu verileriyle mekânsal ve zamansal olarak değerlendirmektir. Çalışmada iki soruya yanıt aranmıştır.

(i) Çatışmanın yol açtığı kentsel hareketlilik azalması ile yakıt deposu yangınlarından kaynaklanan noktasal emisyonlar uydu gözlemlerine nasıl yansımıştır?

(ii) Belirli bir tesisteki yangının termal ve optik izleri, bölgesel ölçekteki atmosferik sinyallerle hangi ölçüde ilişkilendirilebilir?

Bu sorular için Copernicus Sentinel-5P TROPOMI gaz kolon yoğunlukları (NO₂, CO, SO₂) ve UV Aerosol İndeksi, NASA FIRMS aktif yangın ürünleri, Sentinel-2 tabanlı yanık izi (dNBR) analizi ve ERA5 rüzgâr reanalizi birlikte kullanılmıştır. Çalışma olaya ilişkin hızlı bir ilk değerlendirme sunmakta ve çatışma ortamlarında çok kaynaklı bir doğrulama yaklaşımının nasıl kurulabileceğini tartışmaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Çatışma Kaynaklı Hava Kirliliğinin Uydu ile İzlenmesi

Silahlı çatışmaların atmosferik etkileri literatürde çoğunlukla petrol tesislerinin, sanayi alanlarının ve kentsel altyapının tahribatı üzerinden incelenmiştir. 1991 Körfez Savaşı sırasında Kuveyt'teki petrol kuyusu yangınları, büyük ölçekli yangın dumanının havadan ve uzaktan ölçümlerle belgelendiği ilk

örneklerdendir (Hobbs ve Radke, 1992). Orta Doğu'da uydu tabanlı NO₂ gözlemleri, Suriye iç savaşının başlamasından sonra Şam ve Halep gibi kentlerde ekonomik faaliyetlerin daralmasına bağlı belirgin azalmaları ortaya koymuştur (Lelieveld, Beirle, Hörmann, Stenchikov ve Wagner, 2015). Ukrayna'da ise 2022 savaşının ilk haftalarında TROPOMI ile ölçülen troposferik NO₂ düzeylerinin olağan yıllara kıyasla ülke genelinde yaklaşık %24, Kiev'de yaklaşık %40 daha düşük olduğu raporlanmıştır (Zalakeviciute vd., 2022).

2.2. COVID-19 Kapanmaları ile Karşılaştırma

2020 COVID-19 kapanmaları, insan faaliyetlerindeki ani azalmanın hava kalitesine etkisini gösteren geniş ölçekli bir "doğal deney" olarak değerlendirilmiştir. TROPOMI ve OMI gözlemleri, kapanma dönemlerinde Çin kentlerinde yaklaşık %40, Batı Avrupa ve ABD'de yaklaşık %20-38 düzeyinde NO₂ azalması göstermiştir (Bauwens vd., 2020; Liu vd., 2020). Benzer düşüşler Milano gibi Avrupa kentlerinde (Collivignarelli vd., 2020) ve küresel ölçekte (Venter, Aunan, Chowdhury ve Lelieveld, 2020) de belgelenmiştir. Tahran ve İran genelinde yapılan çalışmalar, kapanma dönemlerinde yer ve uydu tabanlı ölçümlerde kirleticilere ve döneme göre değişen oranlarda azalmalar bulunduğunu göstermektedir (Bagherinia vd., 2023; Broomandi vd., 2020). Ancak oranların doğrudan karşılaştırılması üç nedenle sınırlıdır. Birincisi, kapanma çalışmalarında referans dönem farklı biçimlerde (önceki yılların aynı haftaları ya da kapanma öncesi haftalar) tanımlanmıştır. İkincisi, kapanmalar haftalar ya da aylar sürerken bu çalışmadaki olay dönemleri birkaç gün ile birkaç hafta arasındadır. Kısa dönemlerde rüzgâr, sınır tabakası yüksekliği ve bulutluluk gibi meteorolojik koşullar ortalamaları çok daha fazla etkileyebilmektedir. Son olarak, çalışmalar farklı algılayıcılar, ürün sürümleri ve mekânsal ortalama alanları kullanmaktadır. Bu

nedenle önceki çalışmalarda raporlanan oranlar, değişimin büyüklük mertebesi gösteren bir referans olarak kullanılmıştır.

2.3. Sentinel-5P TROPOMI ile Atmosferik İzleme

Sentinel-5P uydusundaki TROPOMI algılayıcısı, atmosferik bileşimi yaklaşık 5.5×3.5 km çözünürlükle günlük olarak izlemektedir (Veefkind vd., 2012). TROPOMI NO₂ ürünlerinin kentsel emisyon kaynaklarının izlenmesinde güvenilir sonuçlar verdiği gösterilmiştir (van Geffen vd., 2022). SO₂ ürünleri volkanik ve büyük endüstriyel kaynakların izlenmesinde başarıyla kullanılmakla birlikte, sınır tabakasındaki düşük konsantrasyonlar için gürültü düzeyi yüksektir ve tek günlük ölçümler negatif değerler dahil geniş bir dağılım gösterebilir (Theys vd., 2017, 2019; Fioletov vd., 2020). UV Aerosol İndeksi ise duman ve toz gibi ışığı soğuran aerosollerin varlığına duyarlı bir göstergedir (Torres vd., 2007).

2.4. Aktif Yangın ve Yanık İzi Analizi

NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System), MODIS ve VIIRS algılayıcılarının aktif yangın ürünlerini neredeyse gerçek zamanlı olarak sunmaktadır (Giglio, Schroeder ve Justice, 2016; Schroeder, Oliva, Giglio ve Csiszar, 2014). Yangın sonrası yüzey değişiminin belirlenmesinde ise yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bantlardan hesaplanan Normalize Edilmiş Yanık Oranı (NBR) ve yangın öncesi ile sonrası arasındaki farkı ifade eden dNBR yaygın olarak kullanılmaktadır (Key ve Benson, 2006). dNBR, orman ve çalı yangınlarında yanan bitki örtüsünün yakın kızılötesi yansımayı azaltması ve kısa dalga kızılötesi yansımayı artırması ilkesine dayanır. Key ve Benson (2006) tarafından önerilen şiddet eşikleri de bu tür alanlar için belirlenmiştir. Beton, asfalt ve metal tanklardan oluşan bir yakıt deposunda bitki örtüsü bulunmadığından, yangın NBR'de beklenen tipik değişimi üretmeyebilir. Buna karşılık, iki görüntü tarihi arasında

gerçekleşen başka süreçler de dNBR değerini değiştirebilir. Çevredeki tarım ve yeşil alanlarda mevsimsel bitki gelişimi ya da hasat, yüzey nemindeki değişimler, is ve kurum birikimi, yıkıntı ve molozun yüzey yansımaları değiştirilmesi ile bulut ve gölge farklılıkları bunların başında gelmektedir. Bu nedenle sanayi alanlarında ölçülen dNBR değerleri orman yangını şiddet sınıflarıyla birebir yorumlanmaktan ziyade, tesise ait pikseller yangından etkilenmeyen çevre alanlarla karşılaştırılarak göreceli bir değişim göstergesi olarak değerlendirilmelidir.

2.5. ERA5 Rüzgâr Verisi ile Taşınımın Değerlendirilmesi

Copernicus İklim Değişikliği Servisi tarafından sağlanan ERA5 reanalizi, saatlik rüzgâr bileşenleri dahil olmak üzere küresel ölekte tutarlı meteorolojik alanlar sunmaktadır (Hersbach vd., 2020). Bu çalışmada, yakıt depolarındaki yangınların başladığı geceyi izleyen 8 Mart 2026 için ERA5'in 10 m yüksekliğindeki saatlik rüzgâr bileşenleri (u ve v) Open-Meteo Historical Weather API aracılığıyla elde edilmiştir. 00:00-12:00 UTC (yerel saatle 03:30-15:30) arasındaki saatlik değerlerin vektörel ortalaması alınmış ve sonuç QGIS ortamında, Faz 2 dönemine ait ortalama UV Aerosol İndeksi altlığı üzerinde haritalandırılmıştır.

2.6. Çalışmanın Katkısı

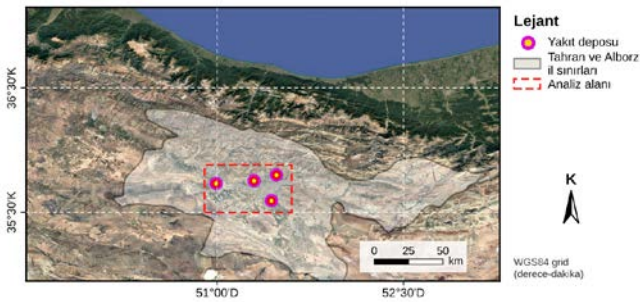
Çalışma, önceki çatışma ve kapanma çalışmalarından üç yönüyle ayrılmaktadır. Birincisi, hedef alınan yakıt depoları yaklaşık 10 milyon nüfuslu bir metropoliten alanın içinde ya da hemen yakınında yer almaktadır. Önceki çalışmaların önemli bir bölümü yerleşimlerden uzak petrol sahalarını ya da ülke ölçeğindeki ortalamaları ele alırken, Tahran'da duman ve gazlar doğrudan yoğun yerleşim alanlarının üzerinde ya da yakınında salınmıştır. İkincisi, olay günleri içinde gelişen ani bir şok niteliğindedir. Bu durum öncesi ile sonrası arasındaki farkın kısa

bir zaman aralığında izlenmesine olanak tanırken, sonuçların bulut, gürültü ve meteorolojik koşullardan daha fazla etkilenmesine de yol açabilmektedir. Üçüncüsü, kimyasal (TROPOMI), termal (FIRMS), optik (Sentinel-2) ve meteorolojik (ERA5) veriler aynı olay için birlikte değerlendirilmektedir. Tek başına bir kimyasal sinyal farklı nedenlerden kaynaklanabileceğinden, aynı yer ve tarihte termal anomali ve yüzey değişiminin de aranması sinyalin yorumlanmasını güçlendirmektedir.

3. YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı ve Olay Zaman Çizelgesi

Çalışma alanı, Tahran metropoliten alanını ve hedef alınan tesislerden bazılarının bulunduğu Alborz eyaletini (Karaj bölgesi) kapsayacak biçimde 50.90° - 51.60° D boylamları ile 35.50° - 35.88° K enlemleri arasında tanımlanmıştır. Analizde ele alınan dört yakıt deposu Fardis, Shahr-e Rey, Aghdasieh ve Shahr-e Rey tesisleridir (Şekil 1).



Şekil 1. Tahran ve Alborz il sınırları, analiz alanı (kırmızı kesikli çerçeve) ve analizde ele alınan dört yakıt deposunun konumları.

Atmosferik değişimlerin olay akışına göre izlenebilmesi için çalışma dönemi bir kontrol dönemi ve dört olay dönemi olmak üzere beş zaman aralığına ayrılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma Dönemleri

Dönem	Tarih aralığı (2026)	Kapsam
Savaş öncesi (kontrol)	15-27 Şubat	Çatışma öncesi koşullar
Faz 1	28 Şubat-6 Mart	Bina ve yönetim yapılarına yönelik saldırılar
Faz 2	7-14 Mart	Yakıt deposu yangınları
Faz 3	15 Mart-8 Nisan	Uzun dönemli duman dağılımı
Ateşkes sonrası	9 Nisan-4 Mayıs	Ateşkes sonrası dönem

Referans değer olarak 2024 ve 2025 yıllarının 15 Şubat-15 Nisan dönemlerine ait gözlemlerin birleşik ortalaması kullanılmıştır. Bu referans çatışma dönemlerinin büyük bölümünü kapsayan takvim aralığını içerdiğinden mevsimsel farkı kısmen dengelemektedir. Ancak, her faz için ayrı bir referans hesaplanmadığından mevsimsel etkiyi tamamen ortadan kaldırmamaktadır.

3.2. Veri Setleri

Çalışmada birbirini tamamlayan beş veri kaynağı kullanılmıştır (Tablo 2). Bu veri setleri sırasıyla Veefkind vd. (2012), Giglio vd. (2016), Drusch vd. (2012), Hersbach vd. (2020) ve Farr vd. (2007) tarafından tanıtılmıştır. Rüzgâr verisi dışındaki tüm veriler Google Earth Engine (GEE) platformunda işlenmiştir. GEE'nin L3 dönüşümünde düşük kaliteli TROPOMI pikselleri önceden çıkarılmış, NO₂ ve SO₂ ürünlerinde ayrıca bulut oranı 0.3'ün üzerindeki pikseller maskelenmiştir.

Tablo 2. Kullanılan Veri Setleri

Veri	Kaynak / GEE koleksiyonu	Değişken	Çözünürlük	Kullanım amacı
Sentinel-5P TROPOMI	COPERNICUS/S5 P/OFFL/ L3_NO2, L3_SO2, L3_CO, L3_AER_AI	NO ₂ , SO ₂ ve CO kolon yoğunluğu, UV Aerosol İndeksi	5.5 × 3.5 km (L3 ızgarası ~1.1 km)	Atmosferik değişimler
NASA FIRMS (MODIS)	FIRMS	21. bant parlaklık sıcaklığı (T21, K), 1-19 Mart 2026	1 km	Yangın doğrulaması
Sentinel-2 MSI	COPERNICUS/ S2_SR_HARMO NIZED	B8 ve B12 yüzey yansımaları (20.02.2026 ve 17.03.2026)	10 m / 20 m	NBR ve dNBR
ERA5	Open-Meteo API	10 m u ve v rüzgâr bileşenleri, saatlik	~0.25°	Duman taşınımı
SRTM SYM	USGS/SRTMGL1 _003	Yükseklik	30 m	Yüksek alanların maskelenmes i

3.3. Analiz Adımları

Veri işleme, filtreleme ve bölgesel istatistiklerin çıkarılması GEE platformunda gerçekleştirilmiştir (Gorelick vd., 2017). TROPOMI verileri için her dönemin piksel bazlı zamansal ortalaması alınmış ve bu görüntülerden çalışma alanının tamamına ait (Tahran geneli) ortalama değerler hesaplanmıştır. Alborz Dağları'nın yüksek kesimlerini analiz dışında bırakmak amacıyla SRTM sayısal yükseklik modeline göre 1800 m'nin üzerindeki pikseller maskelenmiştir (Farr vd., 2007). Dönem ortalamaları 2024-2025 birleşik referans değeriyle karşılaştırılarak yüzde değişimler elde edilmiş, referansın yıllar arası değişkenliğini göstermek için 2024 ve 2025 değerleri ayrıca raporlanmıştır. Depo ölçeğindeki SO₂ değerleri için her yakıt deposu çevresinde 5 km yarıçaplı tampon bölgeler kullanılmıştır.

Yanık izi analizinde NBR ve dNBR, Eşitlik 1 ve 2 ile hesaplanmıştır (Key ve Benson, 2006).

$$NBR = \frac{\rho_{B8} - \rho_{B12}}{\rho_{B8} + \rho_{B12}} \quad (1)$$

$$dNBR = NBR_{\text{önce}} - NBR_{\text{sonra}} \quad (2)$$

Eşitliklerde ρ_{B8} ve ρ_{B12} Sentinel-2'nin sırasıyla yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bantlarındaki yüzey yansımaları, $NBR_{\text{önce}}$ ve NBR_{sonra} ise saldırı öncesi ve sonrası görüntülerden hesaplanan NBR değerlerini göstermektedir. Her depo için saldırı öncesi (5 Şubat-7 Mart 2026) ve sonrası (8 Mart-8 Nisan 2026) dönemlerde sahne bulutluluğu %40'ın altında olan en az bulutlu Sentinel-2 görüntüleri seçilmiştir. Dört depo için de seçilen görüntüler 20 Şubat ve 17 Mart 2026 tarihli. Depo merkezli 1 km yarıçaplı alan içindeki en yüksek piksel dNBR değeri raporlanmış ve Key ve Benson (2006) eşiklerine göre sınıflandırılmıştır (0.10-0.27 düşük, 0.27-0.44 orta-düşük, 0.44-0.66 orta-yüksek, 0.66 üzeri yüksek şiddet).

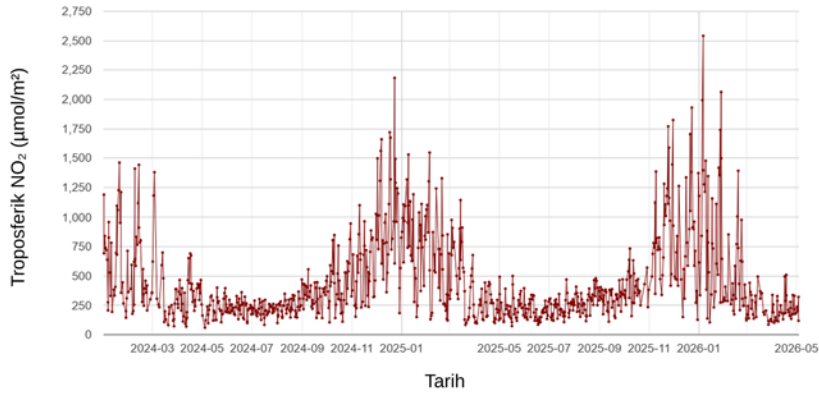
4. BULGULAR

4.1. Çatışma Dönemi NO₂ Değişimleri

Tahran geneli günlük NO₂ zaman serisi, kış aylarında yüksek, ilkbahar ve yaz aylarında düşük değerlerle belirgin bir mevsimsel döngü göstermektedir (Şekil 2). 2024-2025 birleşik referans döneminde 450.28 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ olan ortalama NO₂ kolon yoğunluğu, yakıt deposu yangınlarının yaşandığı Faz 2 döneminde 276.23 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ olarak ölçülmüş ve %38.7 oranında azalmıştır. Aynı takvim aralığının ortalaması 2024 için 398.03, 2025 için 492.72 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ 'dir. Faz 2'deki azalma bu iki yıla göre sırasıyla %30.6 ve %43.9'dur. Yıllar arasındaki yaklaşık %24'lük fark referansın belirsizliğini göstermekle birlikte, Faz 2 değeri her iki yılın da belirgin biçimde altında kalmaktadır.

Savaş hemen öncesindeki kontrol dönemiyle (616.98 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$) karşılaştırıldığında Faz 2'deki azalma %55.2'ye

ulaşmaktadır. Ancak Şubat ile Mart arasındaki farkın önemli bir bölümü Şekil 2'de de görülen mevsimsel düşüşle açıklanabilir. Bu nedenle çatışmanın etkisini temsil eden daha savunulabilir gösterge, iki yıllık referansa göre hesaplanan %38.7'lik azalmadır. Ateşkes sonrası dönemdeki $253.44 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ değeri ise önceki yılların Nisan-Mayıs değerlerine yakındır.



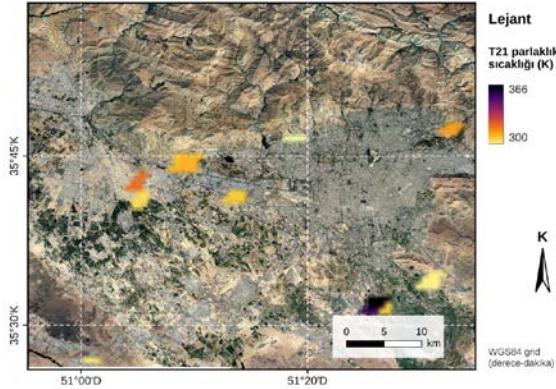
Şekil 2. Tahran geneli günlük ortalama troposferik NO₂ kolon yoğunluğu ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$), Ocak 2024-Mayıs 2026.

Aynı dönemde Tahran geneli CO kolon yoğunluğu da referans değerine ($33.94 \text{ mmol}/\text{m}^2$) göre %15.3 azalarak $28.76 \text{ mmol}/\text{m}^2$ 'ye düşmüştür. CO'nun atmosferdeki ömrü haftalar ile aylar mertebesinde olduğundan toplam kolonun büyük bölümü bölgesel arka plandan oluşmakta ve CO kentsel kaynaklardaki değişime NO₂'ye kıyasla daha zayıf tepki vermektedir. Bu nedenle CO'daki azalma NO₂ bulgusuyla aynı yönde olmakla birlikte tek başına kentsel faaliyetteki daralmaya bağlanmamalıdır.

2.5. Yakıt Deposu Yangınlarının Termal ve Optik İzleri

FIRMS analizinde her deponun 10 km çevresinde 310 K eşliğini aşan pikseller günlük olarak incelenmiştir. Saldırıların gerçekleştiği 7-8 Mart gecesini izleyen 9 Mart 2026'da

Aghdasieh, Shahr-e Rey ve Fardis depolarının 10 km'lik çevresinde, parlaklık sıcaklığı yaklaşık 366 K'e ulaşan termal anomaliler saptanmıştır (Şekil 3).

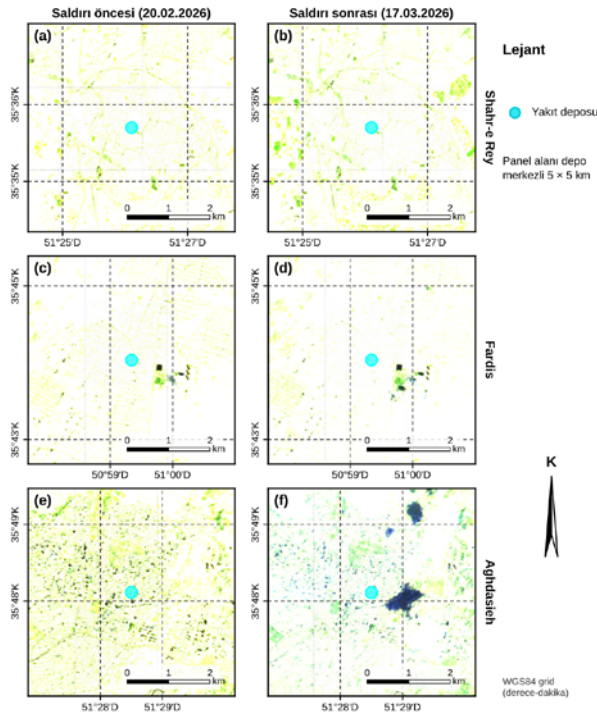


Şekil 3. Hedef alınan yakıt depoları çevresinde NASA FIRMS (MODIS) verisinden elde edilen termal anomaliler (1-19 Mart 2026 dönemindeki piksel bazlı en yüksek 21. bant parlaklık sıcaklığı, K).

Ancak bu anomalilerden depolara en yakın olanlar Aghdasieh'te 6.6 km, Shahr-e Rey'de 8.1 km ve Fardis'te 9.4 km uzaklıktadır. MODIS'in yaklaşık 1 km'lik piksel boyutu bu mesafeleri açıklamaya yetmediğinden, anomalilerin doğrudan depolardaki yangınlara mı, yoksa aynı dönemde hedef alınan başka tesislere ya da farklı ısı kaynaklarına mı ait olduğu bu veriyle kesinleştirilememektedir. Shahrân deposunun 10 km'lik çevresinde ise termal anomali tespit edilmemiştir. Bu durum yangının kısa sürmesi, MODIS geçiş zamanlarının yangının en yoğun olduğu saatlere denk gelmemesi ya da yoğun duman ve bulut örtüsüyle açıklanabilir.

Sentinel-2 tabanlı dNBR analizinde depoların 1 km çevresindeki en yüksek dNBR değerleri Shahrân'da 0.396, Aghdasieh'te 0.275, Shahr-e Rey ve Fardis'te ise 0.163 olarak elde edilmiştir. Key ve Benson (2006) eşiklerine göre ilk iki değer orta-düşük, diğer ikisi düşük şiddet sınıfına karşılık gelmektedir.

Bu değerler 1 km'lik alandaki en yüksek pikseli temsil ettiğinden, ölçümün tesisin kendisinde değil yakın çevresindeki başka bir noktada yapılmış olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. En yüksek dNBR değerinin FIRMS ile termal anomali tespit edilemeyen Shahr-e Rey'de elde edilmesi de bu belirsizliğe işaret etmektedir. Bu nedenle dNBR değerleri kesin hasar düzeyi olarak değil, göreceli bir değişim göstergesi olarak ele alınmıştır (Şekil 4).



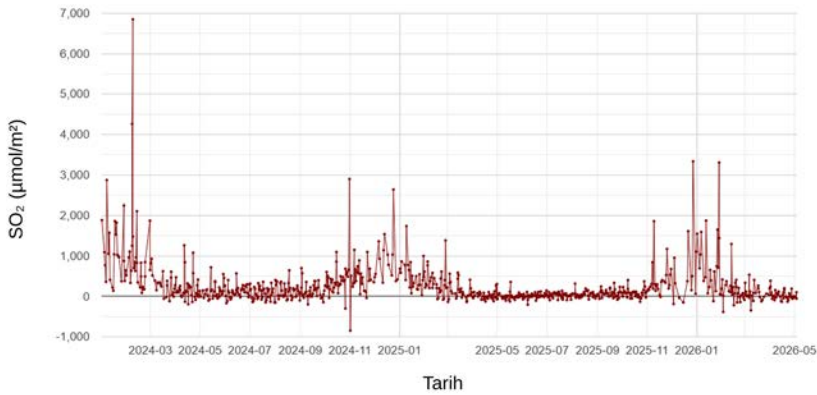
Şekil 4. Yakıt depoları çevresinde saldırı öncesi (20.02.2026, a, c, e) ve sonrası (17.03.2026, b, d, f) Sentinel-2 görüntüleri. (a, b) Shahr-e Rey, (c, d) Fardis, (e, f) Aghdasieh. Her panel depo merkezli 5 × 5 km'lik alanı göstermektedir.

4.3. Kükürt Dioksit (SO₂) Sinyalleri

Fosil yakıt yangınlarının belirgin kimyasal izlerinden biri olan SO₂, Tahran geneli ortalamalarda referans dönemin altında kalmıştır. Faz 2 ortalaması 70.91 µmol/m² iken 2024-2025

birleşik referansı $206.11 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ 'dir. Referansın kendisi de yıllar arasında büyük farklılık göstermektedir (2024 yılında 297.95 , 2025 yılında $131.74 \mu\text{mol}/\text{m}^2$). Fardis deposunun 5 km 'lik tampon bölgesinde ise depo saldırılarından hemen önceki günlerde (6-7 Mart 2026) tek bir TROPOMI gözleminde $1881 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ 'ye ulaşan bir SO_2 değeri kaydedilmiştir. TROPOMI Tahran üzerinden yerel saatle yaklaşık $13:00$ - $14:00$ arasında geçtiğinden bu gözlem 7-8 Mart gecesi başlayan depo yangınlarından önceye aittir ve bu yangınlarla ilişkilendirilemez. Değer Faz 1 dönemindeki saldırılardan, bölgesel taşınımından ya da ürünün gürültü düzeyinden kaynaklanmış olabilir. Faz 2 ortalama SO_2 görüntüsünde pikseller arası standart sapmanın $240.88 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ 'ye ulaşması SO_2 'nin çalışma alanında homojen dağılmadığını düşündürmekle birlikte, bu değişkenliğin kaynağı mevcut verilerle ayırt edilememektedir.

Şekil 5'te görüldüğü üzere Tahran geneli günlük SO_2 değerleri kış aylarında olağan koşullarda da 1000 - $3000 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ düzeylerine ulaşabilmekte, zaman zaman bunu aşmakta ve negatif değerler içermektedir. Dolayısıyla $1881 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ 'lik tekil değer kış aylarının olağan değişkenlik aralığı içinde kalmaktadır. TROPOMI SO_2 ürünlerinin sınır tabakasındaki gürültü düzeyi de göz önüne alındığında (Theys vd., 2017; Fioletov vd., 2020), bu çalışmanın verileri depo yangınlarına bağlanabilecek belirgin bir SO_2 sinyali ortaya koymamaktadır.



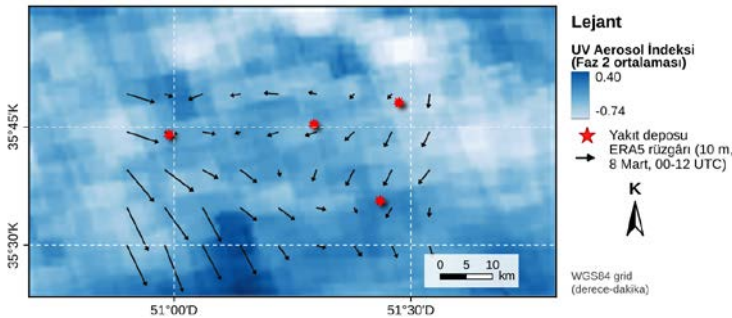
Şekil 5. Tahran geneli günlük ortalama SO₂ kolon yoğunluğu (µmol/m²), Ocak 2024-Mayıs 2026.

4.4. Aerosol İndeksi ve Rüzgâr ile Taşınım

Dumanın olası taşınım yönünü değerlendirmek için Faz 2 dönemine ait ortalama UV Aerosol İndeksi dağılımı 8 Mart 2026 tarihli ERA5 rüzgâr vektörleriyle birlikte incelenmiştir (Şekil 6). Rüzgâr vektörleri, Fardis'in de bulunduğu batı kesimde kuzeybatıdan güneydoğuya yönelen belirgin bir akışa, kuzey-orta kesimde zayıf ve değişken rüzgârlara, güney ve doğu kesimlerde ise ağırlıklı olarak güney-güneydoğuya yönelen bir akışa işaret etmektedir. Faz 2 ortalama aerosol indeksi yaklaşık -0.74 ile 0.40 arasında değişmekte, görece yüksek değerler depoların güney ve güneydoğusunda kümelenmektedir. Bununla birlikte Tahran geneli ortalamada aerosol indeksi Faz 2'de (-0.11) savaş öncesi döneme (+0.35) göre daha düşüktür. Savaş öncesi ve ateşkes sonrası dönemlerdeki yüksek değerler (+0.35 ve +0.34) toz gibi başka aerosol kaynaklarıyla ilişkili olabilir. Dolayısıyla aerosol indeksi bulgusu kent ölçeğinde bir duman artışı değil, depoların çevresindeki yerel bir kümelenmeyi göstermektedir.

Bu dağılım, dumanın hâkim rüzgârlarla kentsel alanlar üzerine taşınmış olabileceğiyle tutarlıdır ve DSÖ'nün petrol içerikli yağışa ilişkin açıklamalarıyla (Al Jazeera, 2026) nitel

olarak örtüşmektedir. Ancak aerosol indeksi değerlerinin düşük kalması, rüzgâr alanının tek bir güne ait olması ve dönem ortalamasının bulut ve yağıştan etkilenebilmesi nedeniyle maruziyetin büyüklüğüne ilişkin niceliksel bir sonuç çıkarılamamaktadır.



Şekil 6. Faz 2 (7-14 Mart 2026) ortalama Sentinel-5P UV Aerosol İndeksi dağılımı ve 8 Mart 2026 tarihli ERA5 10 m rüzgâr vektörleri (00:00-12:00 UTC ortalaması). Kırmızı simgeler hedef alınan yakıt depolarını göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Makro ölçekte en belirgin bulgu, Faz 2 döneminde Tahran geneli NO₂ kolon yoğunluğunun 2024-2025 referansına göre %38.7 (referans yıllarına ayrı ayrı göre %31-44) azalmasıdır. Bu azalma, Ukrayna'da savaşın ilk haftalarında Kiev için raporlanan yaklaşık %40'lık düşüşle (Zalakeviciute vd., 2022) ve COVID-19 kapanmalarında büyük kentler için raporlanan değerlerle (Bauwens vd., 2020) benzer büyüklüktedir. Bu benzerlik, çatışmanın kentsel hareketlilikte ani bir daralmaya yol açtığı yorumunu desteklemektedir. Savaş öncesine göre hesaplanan %55.2'lik azalma ise mevsimsel etkiyi içerdiğinden tek başına çatışmanın etkisi olarak yorumlanmamalıdır. Faz 3'ün Nevruz tatiline denk gelmesi ve yakıt yangınlarının kendisinin de NO₂ kaynağı olması sonuçları ayrıca etkilemiş olabilir.

Noktasal kaynaklar açısından bulgular, uzaktan algılamada ölçek ve çözünürlük sınırlılıklarını açıkça göstermektedir. TROPOMI'nin yaklaşık 5.5×3.5 km'lik piksel boyutu, tesis ölçeğindeki emisyonların piksel içinde seyrelmesine yol açabilmektedir. Tampon bölge analizinin FIRMS ve Sentinel-2 bulgularıyla birlikte değerlendirilmesi bu sınırlılığı kısmen telafi edebilir. Ancak bu çalışmada üç veri türü aynı noktada örtüşmemiştir. FIRMS anomalileri depolardan 6-9 km uzakta yer almakta, en yüksek dNBR değeri termal anomali saptanmayan Shahran'da elde edilmekte ve Fardis çevresindeki SO₂ yükselmesi depo yangınlarından önceki bir gözleme ait bulunmaktadır. Bu durum, tesis ölçeğinde çok kaynaklı doğrulamanın ancak veriler zamansal ve mekânsal olarak eşleştğinde güçlü sonuç verdiğini, aksi hâlde her veri türünün ayrı ayrı ve ihtiyatla yorumlanması gerektiğini göstermektedir.

Bulgular yorumlanırken bazı sınırlılıklar göz önünde bulundurulmalıdır. Çatışma koşullarında yer tabanlı ölçüm verilerine erişilemediğinden uydu gözlemleri bağımsız yer ölçümleriyle doğrulanamamıştır. FIRMS sayımında kullanılan 10 km'lik tampon, depolardan uzaktaki ısı kaynaklarını da kapsayabilmektedir. dNBR yönteminin bitki örtülü alanlar için geliştirilmiş olması sanayi tesislerindeki değerlerin yorumunu sınırlamaktadır. Son olarak dönem karşılaştırmalarında istatistiksel anlamlılık testi uygulanmadığından bildirilen yüzde değişimler betimsel nitelik taşımaktadır. İleride aynı takvim dönemlerine dayalı anomali analizleri, istatistiksel testler ve dağılım modellemesi (örn. HYSPLIT) ile bulguların güçlendirilmesi önerilmektedir.

6. SONUÇ

Şubat-Nisan 2026 Tahran çatışması döneminde açık erişimli uydu verileriyle yapılan bu değerlendirme, kent ve tesis

ölçeklerinde farklı güçte sonuçlar ortaya koymaktadır. Kent ölçeğinde, kentsel hareketliliğin daralmasıyla uyumlu olarak NO₂ kolon yoğunluğunda 2024-2025 referansına göre %38.7'lik (referans yıllarına göre %31-44) bir azalma gözlenmiştir. Tesis ölçeğinde ise hedef alınan yakıt depolarının yakın çevresinde termal anomaliler ve yüzey değişimine işaret eden dNBR değerleri saptanmıştır. Ancak bu sinyaller depolarla mekânsal olarak tam örtüşmemiş, SO₂ verisinde de depo yangınlarına bağlanabilecek belirgin bir yükselme görülmemiştir. Faz 2 aerosol indeksi dağılımı ve rüzgâr alanı, dumanın depoların güney ve güneydoğusundaki yerleşim alanlarına taşınmış olabileceğini düşündürmekle birlikte kent geneli aerosol indeksinde bir artış gözlenmemiştir.

Sivil yerleşimlerle iç içe bulunan fosil yakıt depolarının hedef alınması, askeri sonuçlarının ötesinde halk sağlığı açısından önemli çevresel riskler doğurmaktadır (World Health Organization [WHO], 2021). Bu çalışmada kullanılan kimyasal, termal, optik ve meteorolojik verileri birleştiren yaklaşım, çatışma ortamlarında yer tabanlı verilerin bulunmadığı durumlarda hızlı ve tekrarlanabilir bir ilk değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. Bu çerçeve afet yönetimi, çevresel hasar tespiti ve uluslararası insancıl hukuk kapsamındaki belgeleme çalışmalarına katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Al Jazeera. (2026, 9 Mart). WHO chief raises alarm after Israeli attacks on Iranian oil facilities. <https://www.aljazeera.com/news/2026/3/9/who-chief-raises-alarm-after-israeli-attacks-on-iranian-oil-facilities>
- Arab News Japan. (2026, 8 Mart). US, Israel hit five oil sites in and near Tehran: Official. <https://www.arabnews.jp/en/middle-east/us-israel-hit-five-oil-sites-in-and-near-tehran-official-165539>
- Bagherinia, M., Bodaghpour, S., Karimi, N., Ghasempour, F., Bilal, M. ve Mhawish, A. (2023). Spatio-temporal air quality assessment in Tehran, Iran, during the COVID-19 lockdown periods. *Geocarto International*, 38(1), 2169374. <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2169374>
- Bauwens, M., Compennolle, S., Stavrakou, T., Müller, J.-F., van Gent, J., Eskes, H., ... Zehner, C. (2020). Impact of coronavirus outbreak on NO₂ pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geophysical Research Letters*, 47(11), e2020GL087978. <https://doi.org/10.1029/2020GL087978>
- Broomandi, P., Karaca, F., Nikfal, A., Jahanbakhshi, A., Tamjidi, M. ve Kim, J. R. (2020). Impact of COVID-19 event on the air quality in Iran. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(8), 1793-1804. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0205>
- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Bertanza, G., Pedrazzani, R., Ricciardi, P. ve Carnevale Miino, M. (2020). Lockdown for COVID-2019 in Milan: What are the effects on air quality? *Science of the Total Environment*, 732, 139280. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139280>

- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- 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), RG2004. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Fioletov, V., McLinden, C. A., Griffin, D., Theys, N., Loyola, D. G., Hedelt, P., ... Li, C. (2020). Anthropogenic and volcanic point source SO₂ emissions derived from TROPOMI on board Sentinel-5 Precursor: First results. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(9), 5591-5607. <https://doi.org/10.5194/acp-20-5591-2020>
- Giglio, L., Schroeder, W. ve Justice, C. O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, 178, 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.054>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. ve 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>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

- Hobbs, P. V. ve Radke, L. F. (1992). Airborne studies of the smoke from the Kuwait oil fires. *Science*, 256(5059), 987-991. <https://doi.org/10.1126/science.256.5059.987>
- Key, C. H. ve Benson, N. C. (2006). Landscape assessment (LA): Sampling and analysis methods. D. C. Lutes vd. (Ed.), *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system* (Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, ss. LA-1-LA-55) içinde. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Lelieveld, J., Beirle, S., Hörmann, C., Stenchikov, G. ve Wagner, T. (2015). Abrupt recent trend changes in atmospheric nitrogen dioxide over the Middle East. *Science Advances*, 1(7), e1500498. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500498>
- Liu, F., Page, A., Strode, S. A., Yoshida, Y., Choi, S., Zheng, B., ... Joiner, J. (2020). Abrupt decline in tropospheric nitrogen dioxide over China after the outbreak of COVID-19. *Science Advances*, 6(28), eabc2992. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc2992>
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L. ve Csiszar, I. A. (2014). The new VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.008>
- Theys, N., De Smedt, I., Yu, H., Danckaert, T., van Gent, J., Hörmann, C., ... Van Roozendaal, M. (2017). Sulfur dioxide retrievals from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor: Algorithm theoretical basis. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(1), 119-153. <https://doi.org/10.5194/amt-10-119-2017>
- Theys, N., Hedelt, P., De Smedt, I., Lerot, C., Yu, H., Vlietinck, J., ... Van Roozendaal, M. (2019). Global monitoring of

- volcanic SO₂ degassing with unprecedented resolution from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. *Scientific Reports*, 9, 2643. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39279-y>
- Torres, O., Tanskanen, A., Veihelmann, B., Ahn, C., Braak, R., Bhartia, P. K., ... Levelt, P. (2007). Aerosols and surface UV products from Ozone Monitoring Instrument observations: An overview. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D24), D24S47. <https://doi.org/10.1029/2007JD008809>
- van Geffen, J., Eskes, H., Compornolle, S., Pinardi, G., Verhoelst, T., Lambert, J.-C., ... Veefkind, J. P. (2022). Sentinel-5P TROPOMI NO₂ retrieval: Impact of version v2.2 improvements and comparisons with OMI and ground-based data. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15(7), 2037-2060. <https://doi.org/10.5194/amt-15-2037-2022>
- Veefkind, J. P., Aben, I., McMullan, K., Förster, H., de Vries, J., Otter, G., ... Levelt, P. F. (2012). TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications. *Remote Sensing of Environment*, 120, 70-83. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>
- Venter, Z. S., Aunan, K., Chowdhury, S. ve Lelieveld, J. (2020). COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(32), 18984-18990. <https://doi.org/10.1073/pnas.2006853117>
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization.

Zalakeviciute, R., Mejia, D., Alvarez, H., Bermeo, X., Bonilla-Bedoya, S., Rybarczyk, Y. ve Lamb, B. (2022). War impact on air quality in Ukraine. *Sustainability*, 14(21), 13832. <https://doi.org/10.3390/su142113832>

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA
GÜNCEL KONULAR VE
AKADEMİK DEĞERLENDİRMELER**

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com