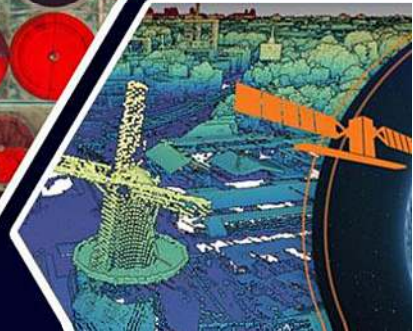
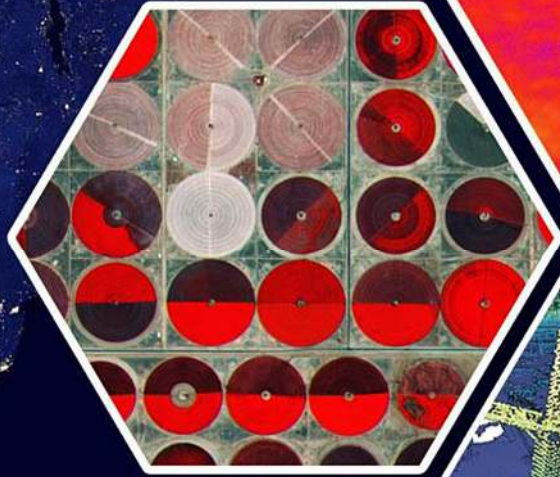
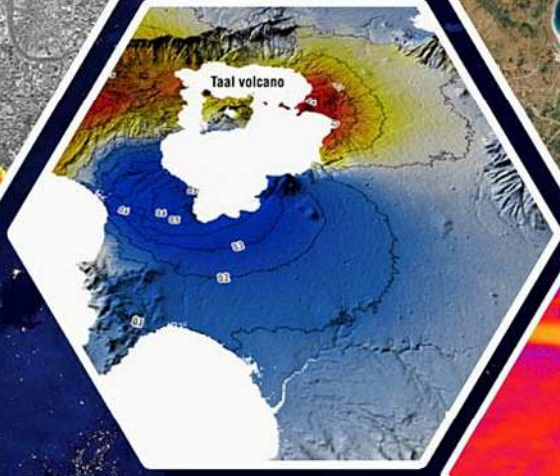
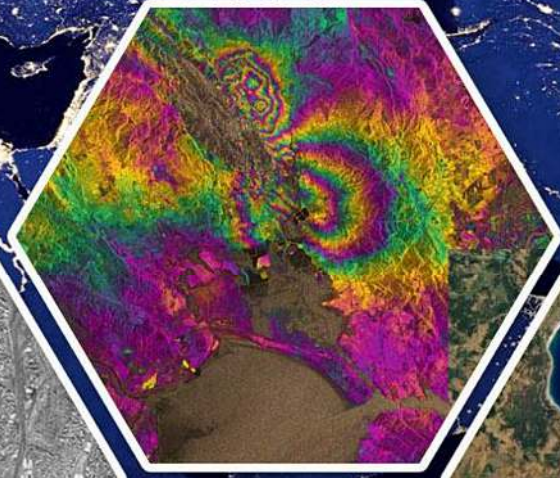
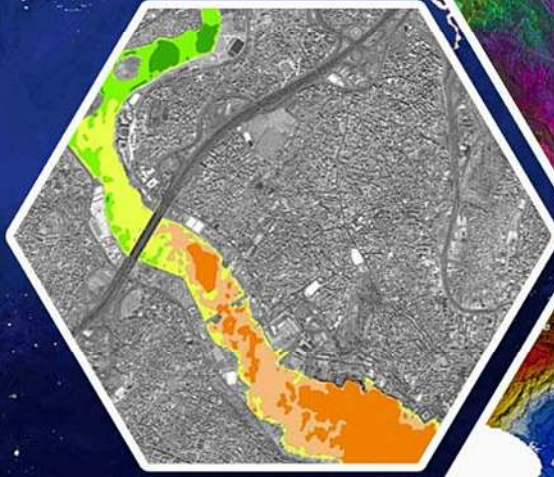
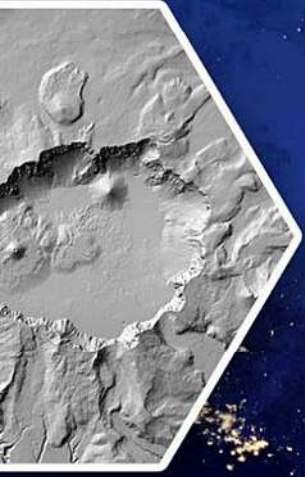


Turkish Journal of REMOTE SENSING

Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi



Vol/Cilt:4
Issue/Sayı:1
June/Haziran, 2022

e-ISSN: 2687-4997



Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi

Dergi Hakkında

Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi (TUZAL) bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak Uzaktan Algılama alanındaki yeniliklerle ilgili yapılan çalışmaları yayınlayan ve Uluslararası İndeks ve Veri tabanlarında taranan bir dergidir.

Amaç & Kapsam

TUZAL Dergisi,

- ✦ Uzaktan Algılama alanında ulusal ve uluslararası gelişmeleri Harita, jeoloji, Çevre, Elektrik ve Elektronik, Bilgisayar vb. mühendislik alanı ile ilgilenen bilim insanlarının bilgisine sunmak,
- ✦ Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan bilim insanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,
- ✦ Türkiye'nin teknolojik ve ekonomik kalkınmasında rol oynayabilecek Uzaktan Algılama teknolojilerine ilişkin sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması açısından büyük önem taşıyan kurumlar arası işbirliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,
- ✦ Türkçe'nin Uzaktan Algılama alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirmek amaçlarına sahiptir.

Dergisinin kapsamı;

- ✓ Temel Uzaktan Algılama Uygulamaları,
- ✓ RADAR/SAR/LIDAR,
- ✓ Hiperspektral uzaktan algılama,
- ✓ Görüntü sınıflandırma ve analiz yöntemleri,
- ✓ Radyometrik düzeltme için atmosferik modellemenin geliştirilmesi,
- ✓ Küresel modelleme, izleme ve sürdürülebilir kalkınma için küresel veri tabanı ve değişim göstergelerinin belirlenmesi,
- ✓ Laboratuvar ve yerinde test yöntemleri kullanarak veri ve bilginin kontrolü,
- ✓ Uzaktan algılama ve CBS yöntemlerinin entegrasyonu,
- ✓ Afet ve risk etkilerinin azaltılması için bilgi desteği: erken uyarı sistemleri, etki değerlendirmesi, izleme, esneklik ve risk azaltma çalışmaları,
- ✓ Çevre kirliliği: değerlendirme ve etki çalışmaları,
- ✓ Jeoloji, Joemorfoloji ve Pedolojide Yeryüzü Bilimi Uygulamaların ile uzaktan algılanmış girdilerin entegrasyonu,
- ✓ Sürdürülebilir tarımsal üretim ve tarımın korunması için tarım ürünlerinin büyümesinin çok boyutlu izlenmesi,
- ✓ İklim değişikliği çalışmaları,
- ✓ Arazi kullanımı/örtüsünün küresel ve bölgesel dinamikleri, biyo-çeşitlilik, bozulma,
- ✓ Çölleşme ve kuraklık çalışmaları,
- ✓ Topraklar, bitki örtüsü ve iç, kıyı ve okyanus sularında karbon akıları,
- ✓ Su kalitesi çalışmaları vb.

Yayınlanma Sıklığı

Yılda 2 sayı(Haziran-Aralık)

ISSN

2687-4997

WEB

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

İletişim

osmanorhan44@gmail.com / osmanorhan@mersin.edu.tr / tuzaldergisi@gmail.com



Turkish Journal of Remote Sensing

About Journal

Turkish Journal of Remote Sensing publishes studies related to innovation in the field of Remote Sensing parallel to the developments in science and technology and indexed in the International Index and database.

Aim & Scope

The Journal,

- ✚ To present to the knowledge of National and international developments in the field of Remote Sensing to scientists related with Geomatics, Geology, Environment, Electric and Electronic, Computer etc. engineering fields.
- ✚ To provide an easily accessible, broadly attended discussion environment that will strengthen and accelerate the sharing of knowledge and experience between scientists, researchers, engineers and other practitioners who engage in direct or indirect activities with the subject, and create an opportunity to disseminate them,
- ✚ Turkey's technological and economic development in the problems related to remote sensing technology that can more effectively play a role of great importance in terms of inter-agency cooperation to be initiated and resolved to contribute to the development,
- ✚ It has the aim of encouraging the development of Turkish as a scientific language in the field of Remote Sensing and to be free from foreign words.

Scope of The Journal;

- ✓ Basic remote sensing applications,
- ✓ RADAR/SAR/LIDAR,
- ✓ Hyperspectral remote sensing,
- ✓ Image classification and analysis methods,
- ✓ Development of atmospheric modelling for radiometric correction,
- ✓ Determine global database and alteration indicator for global modelling, monitoring and sustainable development,
- ✓ Data and information control using laboratory and in-situ tests,
- ✓ Integration of remote sensing and CBS methods,
- ✓ Information utility for resucing disaster and risk effects: Early warning systems, imğact evaluation, monitoring, flexiably and risk reducing studies,
- ✓ Environment pollution: Evaluation and effect studies,
- ✓ Integration of Earth science applications in Geology, Geomorphology and Pedology with remote sensing data
- ✓ Multidimensional monitoring of growth of agricultural goods for sustainable agricultural production and protection of agriculture
- ✓ Climate change studies,
- ✓ Land use/ Dynamics of global and regional land, biodiversity, deterioration,
- ✓ Carbon amount in Earth, plant cover and in shore, ocean waters,
- ✓ Water quality studies etc.

Publication frequency

Biannual (June-December)

ISSN

2687-4997

WEB

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

Contact

osmanorhan44@gmail.com / osmanorhan@mersin.edu.tr / tuzaldergisi@gmail.com



Turkish Journal of Remote Sensing

EDİTÖR / EDITOR

Assist. Prof. Dr. Osman ORHAN

Mersin University, FBE / Remote Sensing and Geographic Information Systems
Mersin

EDİTÖR YARDIMCILARI / DEPUTY EDITOR

Assist. Prof. Dr. Resul ÇÖMERT

Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences/ Geomatics Engineering
Gümüşhane

Dr. Ahmet Tarık TORUN

Ağrı İbrahim Çeçen University, Faculty of Science and Art/ Geography Department
Ağrı

EDİTÖR KURULU / EDITORIAL BOARD

- Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER, İstanbul Technical University, TR
- Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU, İstanbul Technical University, TR
- Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU, Gebze Technical University, TR
- Prof. Dr. Semih EKERCİN, Aksaray University, TR
- Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU, Konya Technical University, TR
- Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK, Aksaray University, TR
- Assoc. Prof. Dr. Khalil VALIZADEH KAMRAN, University of Tabriz, Iran
- Assoc. Prof. Dr. Uğur AVDAN, Eskişehir Technical University, TR
- Assoc. Prof. Dr. Saygın ABDİKAN, Bülent Ecevit University, TR
- Assoc. Prof. Dr. Enes YİĞİT, Karamanoğlu Mehmet Bey University, TR
- Assoc. Prof. Dr. Murat UYSAL, Afyon Kocatepe University, TR
- Assoc. Prof. Dr. Ali İhsan ŞEKERTEKİN, Çukurova University, TR
- Assist. Prof. Dr. Akif DURDU, Konya Technical University, TR
- Assoc. Prof. Dr. Mustafa YALÇIN, Afyon Kocatepe University, TR
- Assoc. Prof. Dr. Mehmet Ali DERELİ, Giresun University, TR
- Assist. Prof. Dr. Lütfiye KARASAKA, Konya Technical University, TR
- Assist. Prof. Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU, Aksaray University, TR
- Assist. Prof. Dr. Nizar POLAT, Harran University, TR
- Assist. Prof. Dr. Senem TEKİN, Adıyaman University, TR
- Assist. Prof. Dr. Mustafa ÜSTÜNER, Artvin Çoruh University, TR
- Dr. Emre HAVAZLI, NASA, USA
- Dr. Fabiana CALO, Irea Cnr, Italy
- Dr. Kaan KALKAN, TÜBİTAK, TR
- Dr. Müge Ünal ÇİLEK, Çukurova University, TR

DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

- Prof. Dr. Murat YAKAR, Mersin University, TR
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Konya Technical University, TR
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray University, TR
- Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR, Mersin University, TR
- Prof. Dr. İbrahim YILMAZ, Afyon Kocatepe University, TR

TUZAL Dergisi Dil Editörleri / TUZAL Journal Language Editors

Assist. Prof. Dr. Pınar KARAKUŞ

Osmaniye Korkut Ata University, Geomatics Engineering /Osmaniye, TR

Res. Ast. Merve Kolikpınar

Ardahan University, Department of Turkish Language and Literature / Ardahan, TR

Mizanpaj

Res. Asst. Dr. Hasan Bilgehan MAKİNECİ

Konya Technical University, Geomatics Engineering /Konya, TR

Mohammad Maleki

Kharazmi University / Tehran, Iran

İçindekiler

Contents

Araştırma Makaleleri;

Research Articles;

S. No

-
- 01- *Sentinel-5p Uydu Görüntüleri İle Azot Dioksit (NO₂) Kirliliğinin İzlenmesi*
(Monitoring Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution with Sentinel-5p Satellite Images)
Mete SÜNSÜLİ, Kaan KALKAN
- 07- *Determination of the Quality of Life using Hybrid BWM-TOPSIS Analysis: Case study of Tabriz (District 1, 2, 3 and 8), Iran*
(Hibrit BWM-TOPSIS analizi kullanılarak Yaşam Kalitesinin Belirlenmesi; Tebriz (Bölge 1-2-3-8) İran Örneği)
Rouhollah JAFARI-SIRIZI , Amir OSHNOOEI-NOOSHABADI , Zeinab KHABBAZI-KENARI & Alireza SADEGHI
- 18- *Sedimanter Uranyum Yataklarının Uzaktan Algılama Destekli Aranmasına Yönelik Metot Önerisi*
(A New Method Suggestion for Remote Sensing Aided Sedimentary Type Uranium Exploration)
Orkun TURGAY
- 25- *Görüntü Eşleştirme Kaynaklı Nokta Bulutu Üzerinden Otomatik Bina Çıkarımı ve Düzgünleştirme*
(Automatic Building Extraction and Regularization from Image Matching Based Point Cloud)
Buray KARSLI, Ferruh YILMAZTÜRK
- 36- *Tuz Mağaralarında Sırt Çantası LiDAR Sisteminin 3B Model Üretiminde Kullanılması; Tuzluca, Iğdır Örneği*
(The Use of the Backpack LiDAR System in the Generate of 3D Models in Salt Caves; The Example of Tuzluca, Iğdir)
Emirhan ÖZDEMİR, Kasım ERDAL, Fehmi VEZİROĞLU, Seyfullah Sinan ATEŞ



Turkish Journal of Remote Sensing

<https://dergipark.org.tr/en/pub/tuzal>

e-ISSN 2687-4997



Sentinel-5p Uydu Görüntüleri İle Azot Dioksit (NO₂) Kirliliğinin İzlenmesi

Mete SÜNSÜLİ *¹, Kaan KALKAN ¹

¹TÜBİTAK, Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Azot dioksit
Atmosferik Kirlilik
COVID-19
Hava kalitesi
Sentinel-5P
Troposfer

ÖZ

Hava kalitesi insan sağlığı, bitki ve hayvan yaşamı için kritik bir öneme sahiptir. Dünya nüfusunun artması ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacının fosil yakıt kullanımı ile temin edilmesi dolayısıyla hava kalitesi, şimdiki ve gelecekteki yaşam kalitesi için önemli endişe kaynağı olmaya devam etmektedir. Havadaki kirletici gazlardan biri olan Azot dioksit (NO₂), Atmosferin hem troposfer, hem de stratosfer tabakasında bulunan önemli kirletici gazlardandır. Atmosfere özellikle fosil yakıtların ve biyokütlenin yanması ile girer. Bu bakımdan özellikle bu kirleticinin ölçümü önem arz etmektedir. Uzaktan algılama teknolojisinin gelişmesi ile dünya üzerindeki bu tarz ölçümler daha pratik ve kolay bir hale gelmiştir. Bu çalışmada COVID-19 pandemisi acil önlemlerinin Türkiye'deki sürecini içeren 2019 sonu, 2020 ve 2021 yıllarında Marmara Bölgesindeki troposferik NO₂ değerlerinin Sentinel-5P uydu görüntülerine dayalı karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarının yer ölçüm istasyonlarından elde edilen verilerle kıyaslanması sonucunda fosil yakıt tüketiminin hava kalitesine olan olumsuz etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, uydu verilerinin yersel veriler ile yüksek bir oranda korelasyonun sağlandığı ($r=0.85$) ve bu yolla hava kirliliğinin izlenmesinde Sentinel-5P uydu görüntülerinin etkin bir şekilde kullanılabilir olduğu ortaya konmuştur.

Monitoring Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution with Sentinel-5p Satellite Images

Keywords:

Air quality
Atmospheric pollution
Nitrogen dioxide
COVID-19
Sentinel-5P
Troposphere

ABSTRACT

Air quality is critical for human health, plant and animal life. Due to the increase in the world population and the consequent supply of energy needs with fossil fuels, air quality continues to be an essential concern for the current and future quality of life. Nitrogen dioxide (NO₂), is one of the critical polluting gases in the troposphere and the stratosphere of the atmosphere. It enters the atmosphere, especially with fossil fuels and biomass combustion. In this respect, the measurement of this pollutant is crucial. With the development of remote sensing, such measures worldwide have become more practical and accessible. In this study, a comparative analysis of the tropospheric NO₂ values in the Marmara Region, based on Sentinel-5P satellite images, at the end of 2019, 2020 and 2021, which includes the COVID-19 pandemic emergency measures in Turkey, was made. As a result of comparing the study results with the data obtained from ground measurement stations, the negative effect of fossil fuel consumption on air quality was determined. In addition, it has been revealed that the satellite data is highly correlated with the ground measurement data ($r=0.85$) and Sentinel-5P satellite images can be used in monitoring air pollution effectively.

* Sorumlu Yazar

*msunsuli@gmail.com ORCID ID 0000-0002-3748-1851
(kalkaan@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-2732-5425

Kaynak Göster(APA)

Sunsulı, M. Kalkan K., (2022). Sentinel-5p Uydu Görüntüleri İle Azot Dioksit (NO₂) Kirliliğinin İzlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(1), 01-06.

1. GİRİŞ

Atmosfer birbirinden farklı kimyasal özelliklere ve değişik sıcaklık profiline sahip çeşitli tabakalardan oluşmaktadır. Atmosferi oluşturan gazların seviyesi ise deniz seviyesinden itibaren yaklaşık 1.000 km yukarıya kadar uzanmaktadır. Atmosferdeki toplam gaz konsantrasyonunun % 99'undan daha fazlası yer yüzeyinden itibaren ilk 40 km'lik tabakada bulunmaktadır (URL-1).

Dünya büyük şehirlerinde en kritik kirlenici gazların karbon monoksit (CO), ozon (O₃), sulfur dioksit (SO₂), Azot dioksit (NO₂) ve partikül (PM_{2.5} and PM₁₀) olduğu yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (URL-2). Atmosferin hem troposfer hem de stratosfer tabakasında bulunan ve önemli kirlenici gazlardan biri olan NO₂'nin tespit edilmesi hava kalitesi ölçümü ve kirliliğin önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Artan dünya nüfusu ve dünya enerji bütçesinin %80'inin fosil yakıtların yakılmasından elde edilmesi ile, hava kalitesi canlıların şimdiki ve gelecekteki yaşam kalitesi için en önemli endişe kaynağı olmaya devam etmektedir. NO₂ kirliliğinin izlenmesi ve düzenlenmesi, karar verici otoritenin çevresel kalite ve nüfus sağlık durumunun iyileştirilmesi için sürdürülebilir bir çözüm aramasına yardımcı olmak için gereklidir.

Uydu teknolojileri ve görüntü işleme metodlarının gelişimi sayesinde atmosferik gözlemlerin yapılması zaman ve kapsam açısından daha da kolaylaşmıştır. Uzaktan algılama ile atmosferik ölçümlerin yapılabilirdiği uydulardan birisi de Sentinel-5P'dir. Yapılan çalışmalar kalabalık nüfus hareketliliği ile hava kirliliği arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur (Zhang, vd., 2020; Mesas-Carrascosa, vd. 2020; Ghahremanloo, vd., 2021; Kanniah, vd., 2020). Bu kapsamda yapılan çalışmalardan birisi ESA Copernicus Sentinel-5P ile Pandemi süresince Avrupa'daki Azot dioksit kirliliğinin izlenmesi çalışmasıdır (Virghileanu vd., 2020). Türkiye'nin pandemi sürecindeki spatio-temporal analizini içeren bir çalışma da ayrıca yapılmıştır (Ghasempour vd., 2021). Yapılan uydu görüntüsü tabanlı hava kirliliği belirteçlerinin tespiti çalışmaları dünyanın birçok şehrinde pandemi kapanmaları sırasında NO₂ konsantrasyonunun düştüğünü göstermiştir (Siciliano, vd., 2020; Filippini, vd. 2020; Shehzad, vd., 2020; Dutheil, vd., 2020; Le, vd., 2020).

Bu çalışmada ise, COVID-19 pandemisi acil önlemlerinin Türkiye'deki sürecini içeren 2019 yılı sonu, 2020 ve 2021 yıllarında Marmara Bölgesindeki troposferik NO₂ değerlerinin Sentinel-5P uydu görüntülerine dayalı karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarının yer ölçüm istasyonlarından elde edilen verilerle de kıyaslanması sonucunda fosil yakıt tüketiminin hava kalitesine olan etkisi belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METODOLOJİ

2.1. Uydu Verisi

ESA Copernicus uzay görevi tarafından Ekim 2017 tarihinde fırlatılan Sentinel-5P, hava kalitesi, ozon izleme, UV radyasyonu ve iklim izleme ve tahmini için kullanılmak üzere atmosferik ölçümler sağlayan uydudur. Spektral bant görüntüleme aralığı Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Sentinel-5P Uydu Özellikleri

Bantlar	Spektrum	Çözünürlük (Seviye 2)*	Çözünürlük (Seviye 3)
Ultraviolet	270-320 nm	7 km x 3.5 km	~ 1 km
Visible	320-500 nm	7 km x 3.5 km	~ 1 km
NIR	675-775 nm	7 km x 3.5 km	~ 1 km
SWIR	2305-2385 nm	7 km x 3.5 km	~ 1 km

* Uydu uçuş yönünde 7 km ve dikey yönde 3.5 km mekansal çözünürlüğü ifade eder.

Sentinel-5P (Precursor) uydusuna ait TROPOMI (The TROPospheric Monitoring Instrument) aygıtı ile 2018 yılından itibaren hava kalitesi ile ilgili uydu verisi alınabilmekte, Aerosol indeks, Metan (CH₄), Karbon monoksit (CO), Formaldehit (HCHO), Azot dioksit (NO₂), Ozon (O₃) ve Sülfür dioksit (SO₂) miktarı izlenebilmekte ve ölçülebilmektedir (Butz vd., 2012). Sentinel-5P Azot dioksit verileri NetCDF (Network Common Data Form) dosya biçimi ile "Nitrogen Dioxide tropospheric column" tablosunda tutulur (URL-3). Bu çalışmada, "Sentinel-5P Pre-Operations Data Hub" portalından günlük veriler alınmış ve ilgili ayların kendi içerisinde ortalama değerleri elde edilmiştir.

Çalışma alanı olarak, ekonomi, sanayi ve üretim açısından ülke içinde önemli bir yere sahip olan Marmara Bölgesi seçilmiştir. Türkiye'deki yedi coğrafi bölge arasında, Marmara Bölgesi en küçük ikinci alana, ancak en büyük nüfusa sahiptir; ülkenin en yoğun nüfuslu bölgesidir (URL-4). Sentinel-5P verileri büyük alanları kapladığından Türkiye ve Marmara Bölgeleri görüntü üzerinden kesilerek işlemler gerçekleştirilmiştir.

2.2. Türkiye Hava Kalitesi İzleme Merkezi (HKİ-SİM) Verileri

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait hava kalitesi izleme portalı (URL-5) üzerinden elde edilen ölçümler ile çalışma alanı içerisinde kalan örnek istasyonlardan elde edilen verilerin ilgili tarih aralığındaki saatlik değerlerinden aylık ortalamalar hesaplanmıştır. Bu ortalamalar ile uydu verisi sonuçları arasında karşılaştırma yapılmıştır. Belirlenen 4 (dört) aya ait ortalaması alınan veriler kıymetlendirilerek görselleştirilmeye uygun hale getirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Çalışmada kullanılan veri setlerinin listesi

Kategori	Değişken	Birim	Zamansal Çözünürlük	Kaynak
Sentinel-5P	Nitrogen Dioxide tropospheric column	mol/m ²	Gün	https://s5phub.copernicus.eu/
Hava Kalitesi İzleme Merkezi	NO ₂	µgr/cm ³	Saat	https://www.havaizleme.gov.tr/

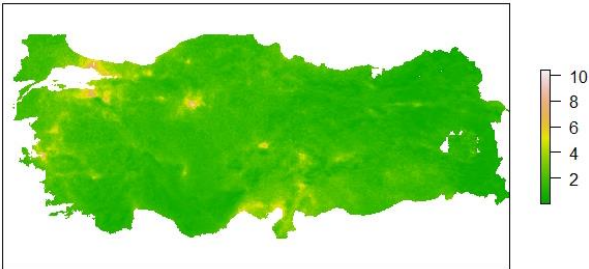
2.3. Metodoloji

Bu çalışmada Sentinel-5P çözünürlüğü (7 km x 3.5 km) Seviye 2 ürünü olan NetCDF formatlı görüntüler yeni örneklenerek (resample) coğrafi grid üzerinde görüntülenecek hâle getirilmiş, yeniden projeksiyonlandırılmış ve böylece Seviye 3 görüntüleri elde edilmiştir. Seviye 3'e dönüşüm ile uydu görüntüsü eşit piksel aralıklarına (~1 x 1 km) bölünmüştür.

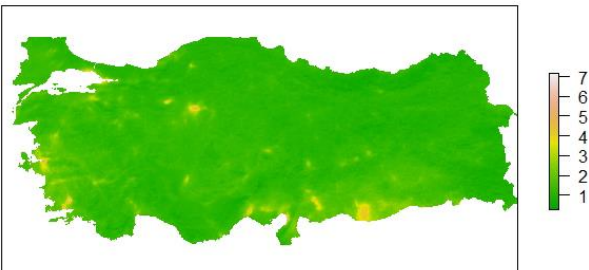
Günlük olarak elde edilen uydu görüntülerinden bulutluluk gibi ölçüm kalitesini etkileyen unsurlar (tropospheric_NO2_column_number_density_validity > 50) giderilerek aylık ortalama NO₂ değerleri ele alınmıştır.

İzleme aralığında COVID-19 pandemisi acil önlemlerinin Türkiye'deki başlangıç tarihi olan 2019 Aralık ayı, kısıtlamaların kaldırıldığı 2020 Temmuz ayı, devam eden süreçte 2021 Ocak ve 2021 Temmuz aylarına ait ölçümler izlenmiştir.

Türkiye ölçeğinde COVID-19 kapanma dönemine karşılık gelen 2019 Aralık ve 2020 Temmuz aylarında troposferdeki ortalama NO₂ konsantrasyonu genel olarak gösterilmiştir (Şekil 1.a, Şekil 1.b). Bu aralıkta NO₂ konsantrasyonunun azaldığı görülmektedir.



Şekil 1.a. 2019 Aralık için Türkiye Geneli NO₂ konsantrasyonu (mol/m²) (Sentinel-5P, TROPOMI)



Şekil 1.b. 2020 Temmuz için Türkiye Geneli NO₂ konsantrasyonu (mol/m²) (Sentinel-5P, TROPOMI)

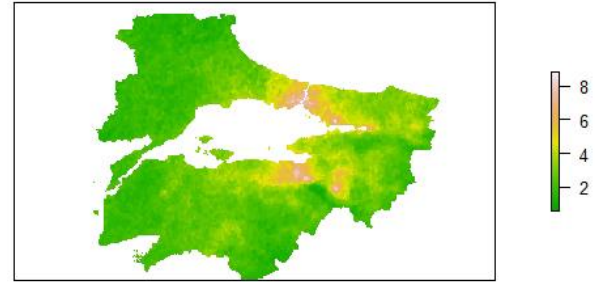
Bu çalışmada şehirleşme ve sanayi faaliyetleri bakımından en yoğun bölge olan Marmara bölgesine

odaklanılmış olduğundan, Marmara bölgesine ait veriler detaylı olarak incelenmiştir. Aylık ortalama Azotdioksitin coğrafi dağılımı, metrekaresine düşen mol cinsinden NO₂ miktarı ve hangi yoğunluk derecesinde bulunduğu-frekansı- çizelgelerde (Şekil 3-a,b,c,d) belirtilmiştir.

3. BULGULAR

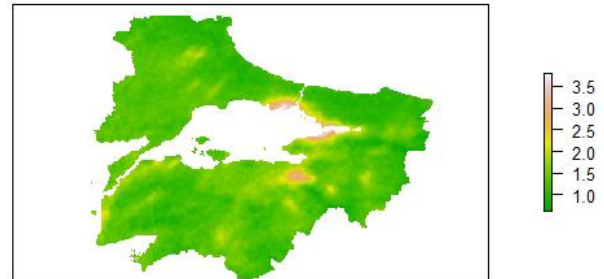
Verilerin dağılımı incelenmiş ve 2019 Aralık, 2020 Temmuz, 2021 Ocak, 2021 Temmuz aylarında Marmara Bölgesindeki NO₂ konsantrasyonu (mol/m²) ortalamasının aylara göre dağılımı gösterilmiştir.

Kapanma öncesinde NO₂ konsantrasyonunun yüksek olduğu bölgeler gösterilmiş olup değerler 8 mol/m² üzerine çıkmıştır (Şekil 2.a).



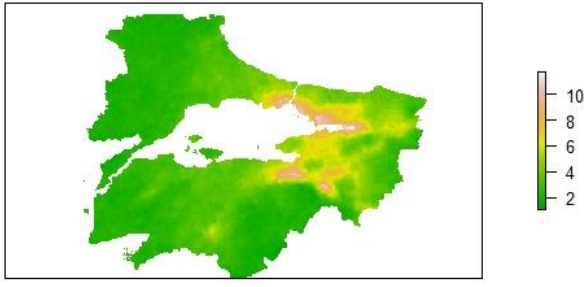
Şekil 2.a. 2019 Aralık

7 (yedi) aylık kapanma sonrasında, açılma ile birlikte NO₂ değerlerinin düştüğü görülmekte olup, değerler 3.5 mol/m² üzerine çıkmıştır. Bu süre zarfında hava kirliliğinin azaldığı görülmektedir (Şekil 2.b).



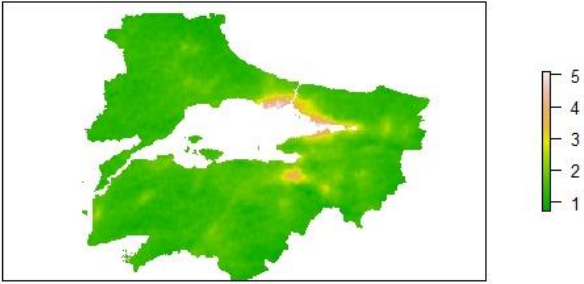
Şekil 2.b. 2020 Temmuz

Fosil yakıt tüketiminin artışının devam etmesi sonucunda NO₂ konsantrasyonunun yeniden arttığı ve 10 mol/m² seviyesi üzerine çıktığı görülmektedir. Bu değer kapanma öncesi değerden de yüksektir (Şekil 2.c).



Şekil 2.c. 2021 Ocak

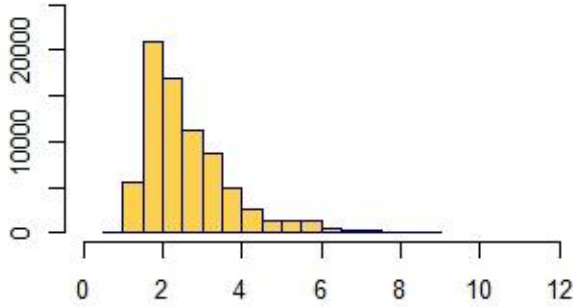
Ocak 2020’de erişilen NO₂ seviyesinin, devam eden süreçte dengelenerek 2021 Temmuz ayında 5 mol/m² seviyesine düştüğü görülmektedir (Şekil 2.d).



Şekil 2.d. 2021 Temmuz

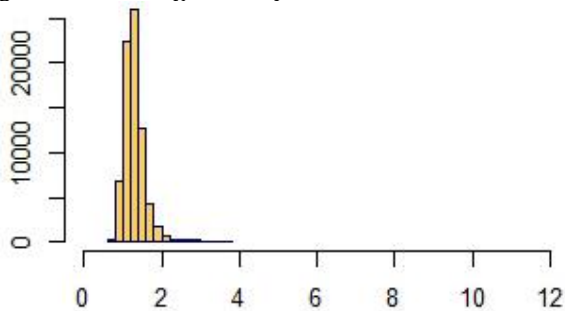
Bölgede ilgili aylardaki konsantrasyon dağılımı incelenmiş ve NO₂ konsantrasyonu ortalamasının aylara göre dağılımına ait histogramları gösterilmiştir (yatay eksen - mol/m²).

Kapanma öncesinde yüksek NO₂ konsantrasyonuna sahip değerlerin yayılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 3.a).



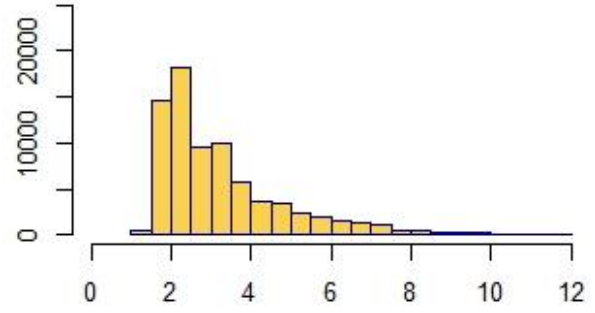
Şekil 3.a. 2019 Aralık

Kapanma sonrasında, karantinanın kalkması ile birlikte, bu süre içerisinde fosil yakıt tüketimi az seyrettiğinden, NO₂ değerlerinin düşmüş olduğu görülmektedir (Şekil 3.b).



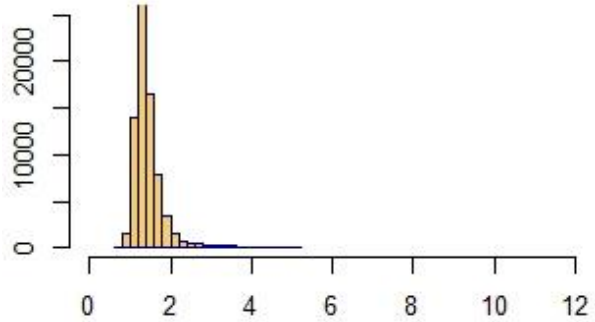
Şekil 3.b. 2020 Temmuz

Fosil yakıt tüketiminin yeniden artmasıyla 2021 yılı Ocak ayı ortalama NO₂ ölçümünde değerlerin yeniden arttığı görülmektedir (Şekil 3.c).



Şekil 3.c. 2021 Ocak

Devam eden süreçte NO₂ seviyesinin dengelenerek düştüğü görülmektedir (Şekil 3.d).



Şekil 3.d. 2021 Temmuz

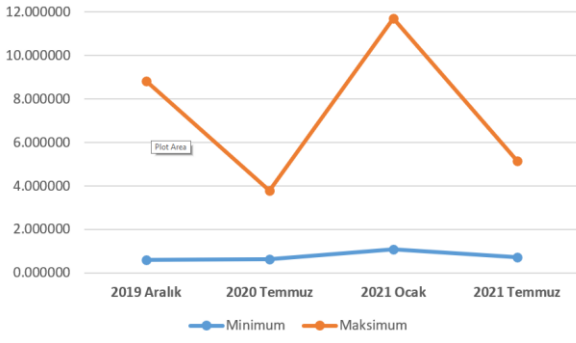
Sürecin daha iyi anlaşılması açısından, ilgili tarih aralığındaki NO₂ konsantrasyon değişimi aşağıda verilmiştir (Tablo 3).

Tablodan anlaşıldığı üzere en düşük konsantrasyon 2020 Temmuz ayında, en yüksek konsantrasyon ise 2021 Ocak ayında gerçekleşmiştir.

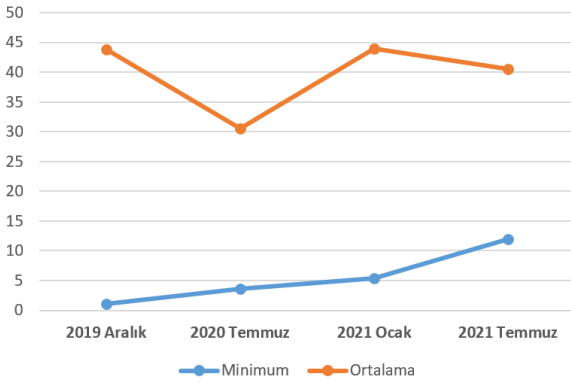
Uydu verilerinin doğruluğunun kıyaslanması amacıyla Hava Kalitesi İzleme Merkezi Kocaeli - Gebze OSB - MTHM’den alınan günlük verilerin aylık ortalaması alınmış ve eğilimleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.a ve b).

Tablo 3. Marmara Bölgesinde 2019 Aralık - 2021 Temmuz ayları arasındaki, -Ortalama- NO₂ konsantrasyon değişimi değerleri

	Sentinel-5P (mol/m ²)		Kocaeli - Gebze OSB - MTHM (µg/m ³)		
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Ort.
2019 Aralık	0.57	8.82	1.12	115.7	42.67
2020 Temmuz	0.62	3.79	3.56	163.13	26.95
2021 Ocak	1.07	11.70	5.32	112.65	38.66
2021 Temmuz	0.71	5.13	11.91	125.01	28.67

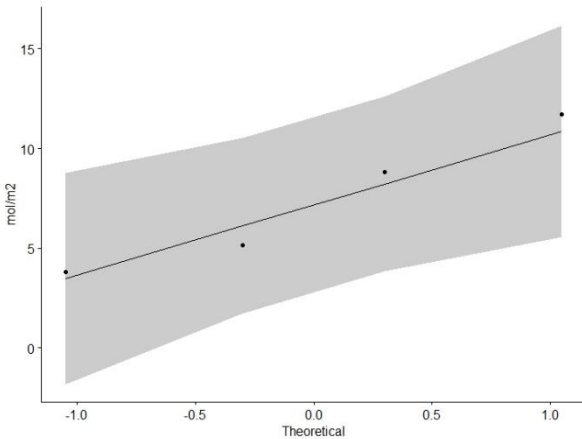


Şekil 4.a. Marmara Bölgesinde 2019 Aralık - 2021 Temmuz ayları arasındaki, -Ortalama- NO_2 konsantrasyon değişimi değerleri - Eğilim Grafiği (Sentinel-5P)

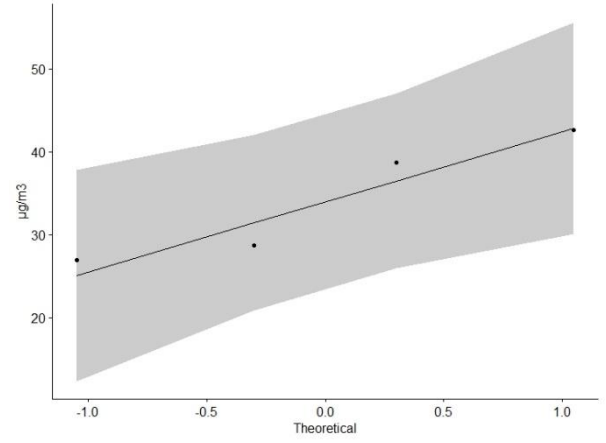


Şekil 4.b. Marmara Bölgesinde 2019 Aralık - 2021 Temmuz ayları arasındaki, -Ortalama- NO_2 konsantrasyon değişimi değerleri - Eğilim Grafiği (Yer istasyonu)

Yersel veriler ile uydu verileri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amacıyla Pearson korelasyon testi yapılmıştır. Korelasyon katsayısı (r) değeri 0.85 olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile iki veri arasındaki korelasyonun yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.a ve b).

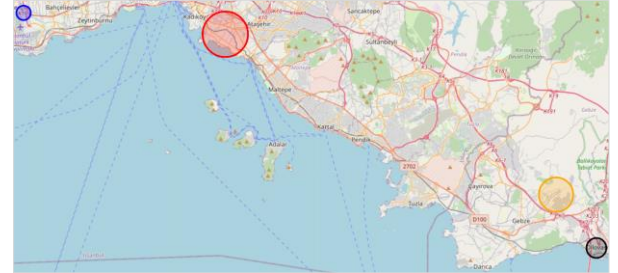


Şekil 5.a. NO_2 değerleri dağılım grafiği (Sentinel-5P) (mol/m^2)



Şekil 5.b. NO_2 değerleri dağılım grafiği (Yer istasyonu) ($µg/m^3$)

İlgili tarih aralığındaki maksimum NO_2 değerlerine ait yoğunlaşma alanları coğrafi koordinatlarında harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. NO_2 Konsantrasyonuna ait coğrafi dağılım (2019 Aralık - 2021 Temmuz)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Sonuçlar T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait hava kalitesi izleme portalında bulunan yer gözlem istasyonu verileri ile karşılaştırıldığında ve NO_2 konsantrasyon değişimi coğrafi olarak değerlendirildiğinde, maksimum değerlerin konumsal olarak COVID-19 pandemisi başlangıcında Anadolu yakasında yoğunlaşmışken, pandemi yasakları bitiminde Avrupa yakasında yoğunlaştığı görülmektedir. Pandemi sonrasında yine Anadolu yakasında fakat daha yoğun şekilde NO_2 konsantrasyonu bulunduğu görülmektedir.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, hava kirliliğinin izlenmesinde Sentinel-5P uydu görüntülerinin kullanılabilir olduğunu ve mekansal zaman serileri şeklinde incelenmesini sağlayacak verileri etkin bir şekilde sağladığını yersel veriler ile yüksek bir oranda korelasyonun sağlanması ile ortaya koymuştur.

Araştırmacıların katkı oranı beyan özeti

Araştırmacılar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Çıkar çatışması beyanı

Makale ile ilgili olarak, herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Butz, A., Galli, A., Hasekamp, O., Landgraf, J., Tol, P., & Aben, I. (2012). TROPOMI aboard Sentinel-5 Precursor: Prospective performance of CH₄ retrievals for aerosol and cirrus loaded atmospheres. *Remote sensing of environment*, 120, 267-276.
- Dutheil, F., Baker, J. S., & Navel, V. (2020). COVID-19 as a factor influencing air pollution?. *Environmental pollution*, 263, 114466.
- Filippini, T., Rothman, K. J., Goffi, A., Ferrari, F., Maffei, G., Orsini, N., & Vinceti, M. (2020). Satellite-detected tropospheric nitrogen dioxide and spread of SARS-CoV-2 infection in Northern Italy. *Science of the Total Environment*, 739, 140278.
- Ghahremanloo, M., Lops, Y., Choi, Y. & Mousavinezhad, S. (2021). Impact of the COVID-19 outbreak on air pollution levels in East Asia. *Science of the Total Environment*, 754, 142226.
- Ghasempour F., Sekertekin A. & Kutoglu S., (2021). Google Earth Engine Based Spatio-Temporal Analysis of Air Pollutants Before And During The First Wave Covid-19 Outbreak Over Turkey Via Remote Sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599.
- Kannah, K. D., Zaman, N. A. F. K., Kaskaoutis, D. G., & Latif, M. T. (2020). COVID-19's impact on the atmospheric environment in the Southeast Asia region. *Science of the Total Environment*, 736, 139658.
- Le, T., Wang, Y., Liu, L., Yang, J., Yung, Y. L., Li, G., & Seinfeld, J. H. (2020). Unexpected air pollution with marked emission reductions during the COVID-19 outbreak in China. *Science*, 369(6504), 702-706.
- Mesas-Carrascosa, F. J., Pérez Porras, F., Triviño-Tarradas, P., García-Ferrer, A. & Meroño-Larriva, J. E. (2020). Effect of lockdown measures on atmospheric nitrogen dioxide during SARS-CoV-2 in Spain. *Remote Sensing*, 12(14), 2210.
- Shehzad, K., Sarfraz, M., & Shah, S. G. M. (2020). The impact of COVID-19 as a necessary evil on air pollution in India during the lockdown. *Environmental Pollution*, 266, 115080.
- Siciliano, B., Carvalho, G., da Silva, C. M., & Arbilla, G. (2020). The impact of COVID-19 partial lockdown on primary pollutant concentrations in the atmosphere of Rio de Janeiro and São Paulo Megacities (Brazil). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105(1), 2-8.
- Vîrghileanu M., Săvulescu I., Bogdan-Andrei Mihai B., A., Nistor C., Dobre R., (2020) Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution Monitoring with Sentinel-5P Satellite Imagery over Europe during the Coronavirus Pandemic Outbreak. *Remote Sensing*, 12(21).
- Zhang, G., Xu, H., Wang, H., Xue, L., He, J., Xu, W. & Meng, X. (2020). Exploring the inconsistent variations in atmospheric primary and secondary pollutants during the 2016 G20 summit in Hangzhou, China: implications from observations and models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(9), 5391-5403.

URL-1:

<https://www.mgm.gov.tr/genel/ozonveuv.aspx?s=2>

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]

URL-2:<https://scied.ucar.edu/learning-zone/air-quality>

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]

URL-3:<http://www.tropomi.eu/data-products/nitrogen-dioxide>

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]

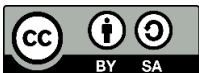
URL-4:

https://en.wikipedia.org/wiki/Marmara_Regio_n

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]

URL-5: <https://www.havaizleme.gov.tr/>

[Erişim Tarihi: 04.02.2022]



© Author(s) 2021.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Turkish Journal of Remote Sensing

<https://dergipark.org.tr/en/pub/tuzal>

e-ISSN 2687-4997



Determination of the Quality of Life using Hybrid BWM-TOPSIS Analysis: Case study of Tabriz (District 1, 2, 3 and 8), Iran

Rouhollah Jafari-Sirizi^{1*}, Amir Oshnooei-Nooshabadi², Zeinab Khabbazi-Kenari³, Alireza Sadeghi⁴

¹ Shahid Beheshti University, Municipal Planning Expert, Tehran, Iran

² Lorestan University, Department of Geography, Lorestan, Iran

³ University of Payame Noor, Babol, Iran

⁴ University of Tehran, Faculty of Geography, Tehran, Iran

Keywords

BWM
GIS
Tabriz
TOPSIS
Quality of Life

ABSTRACT

The quality of life in cities is one of the most attractive research cases for researchers and urban planners. The Best-Worst Method (BWM) is one of the most recent multi-criteria decision-making methods (MCDM). In this study, we have tried to rank the quality of life in districts 1, 2, 3 & 8 of Tabriz city by using a combination of BWM and TOPSIS methods and Geographic Information System (GIS) capabilities. Twenty criteria have been considered for this study. At first, criteria map was prepared by using Remote Sensing processes and GIS. Then criteria weighting was determined by using the BWM method. After that, by combining the acquired weights by the TOPSIS method, the ranking of the districts was discovered. The results of BWM showed that the most effective criteria in quality of life is paying attention to the future of the city (%12.33). As a result of the quality of life analysis, it was revealed that district 2 has the best quality and district 3 has the worst quality. According to the prepared map of the quality of life, the best districts were Elahi-parast, Mirdamad 2 and Rajaea Shahr 2. On the other hand, the worst districts were Zangouleh Abad, Islam Abad 1 and Islam Abad 2.

Hibrit BWM-TOPSIS analizi kullanılarak Yaşam Kalitesinin Belirlenmesi; Tebriz (Bölge 1-2-3-8) Iran Örneği

Anahtar Kelimeler:

BWM
CBS
Tebriz
TOPSIS
Yaşam Kalitesi

ÖZ

Şehirlerdeki yaşam kalitesi, araştırmacılar ve şehir plançıları için en dikkat çeken araştırma konularından biridir. En iyi- En kötü yöntemi (Best Worst Method-BWM), en yeni, çok kriterli karar verme (ÇKKV) metodlarından biridir. Bu çalışmada, BWM ve TOPSIS yöntemleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) bir arada kullanılarak, Tebriz şehrinin 1,2,3 ve 8. bölgelerindeki yaşam kalitesi sıralanmaya çalışılmıştır. Bu çalışma için yirmi kriter dikkate alınmıştır. Öncelikle, Uzaktan Algılama ve CBS teknikleri kullanılarak kriter haritaları hazırlanmıştır. Daha sonra BWM yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklandırması yapılmıştır. Elde edilen ağırlıklar TOPSIS yöntemi ile analiz edilerek bölge sıralaması ortaya çıkarılmıştır. BWM sonuçları, yaşam kalitesindeki etkili kriterin, şehrin geleceğine önem veren kriterler olduğunu ortaya koymuştur (% 12,33). Yaşam kalitesi analizleri sonucunda 2. bölgenin en iyi yaşam kalitesine sahipken, 3. bölgenin ise en kötü yaşam kalitesine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Hazırlanan yaşam kalitesi haritasına göre Elahi Parast, Mirdamad 2 ve Rajaea Shahr 2 semtleri en iyi yaşam kalitesine sahiptir. Buna karşın, Zangouleh Abad, İslam Abad ve İslam Abad 2 semtleri ise en kötü yaşam kalitesine sahip semtler olarak ortaya çıkmıştır.

* Corresponding Author

Cite this article

(sirizi.r@outlook.com) ORCID ID 0000-0003-4679-4786
(oshnooei.a@lu.ac.ir) ORCID ID 0000-0003-2379-0781
(khabbazizeinab1@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-2345-6789
(sadeghi.alireza@ut.ac.ir) ORCID ID 0000-0009-8765-4321

Jafari-Sirizi, R., Oshnooei-Nooshabadi, A., Khabbazi-Kenari, Z., Sadeghi, A. (2022). Determination of the Quality of Life using Hybrid BWM-TOPSIS Analysis: Case study of Tabriz (District 1, 2, 3 and 8), Iran. Turkish Journal of Remote Sensing, 4(1), 7-17.

1. INTRODUCTION

Today, cities are the most attractive place to live for people, especially the people of the Middle East. Population growth has led to much research on the effects of population growth; Includes Surface Urban Heat Island (SUHI) (Hashemi Darebadami et al., 2019), resilience (Leitner et al., 2018), land use change (Maleki et al., 2020), crime (Fox, 2019), quality of life (Soares Rossi Cordeiro, 2020). On the one hand, we are witnessing economic, social and cultural development. On the other, there is a hand, traffic jam, crowdedness, shortage of access to public services, pollution, etc., in cities that affect citizens' daily lives (Dameri, 2016). Worldwide, the urban population is increasing and it is predicted that by 2030 more than %60 of the global population will live in cities (Akande et al., 2019 & United Nations, 2014). It is predicted that the growth of cities creates challenges for infrastructure and the environment (Dodman, 2017; Estevez et al., 2016; Han et al., 2017). Expansion of urban areas increases public access to modern facilities and urban infrastructure; however, the quality of life has declined because of the lack of social equilibrium in big cities (Gavrilidis et al., 2016).

Urbanization imposes some changes in the environment, among which we can point to direct change in landscape in human residential areas and indirect change in biophysical features, which in total, cause numerous environmental effects in various time and space scales (Alberti and Marzluff, 2004; Seto and Shepherd, 2009; Grimm et al., 2008; Han et al., 2017). There are many studies which show that natural environment including greenery and open spaces, provide vast interests for urban population which are called ecosystem services (Lafortezza et al. 2009; Francis et al. 2016; Lennon and Scott 2014; Douglas et al. 2019).

Survival, welfare, life quality; are all the concepts that have become the center of increasing attention by industries and states (Woszczyk, & Spanakis, 2018). Quality of Life (QoL) is an important measurement for life and residence in cities (Gou et al., 2018). World Health Organization (WHO) defines QoL as “an individual's perception of their position in life in the context of the culture and value systems in which they live and in relation to their goals, expectations, standards and concerns” (The Whoqol Group, 1998). In internationally accepted practices, several urban indicators are applied, some of which are: Monocle's Quality of Life Survey, Quality of Life Index (QLI), Indicators for Sustainability, European Green City Index, City Blueprint etc. (Kaklauskas et al., 2018).

Approaches for measurement of the QoL are based on secondary analysis of subjective data from public perception of quality of life and statistical data acquired through measurement of certain comparative features (Marans & Stimson, 2011). The quality of life is considered as the amount of public

consent concerning different needs, especially material, spiritual and security needs and life aspirations, which in a general sense, are notable economic, special, environmental and cultural aspects (Nowak, 2018). Research on quality of life and increasing focus on the quality of urban life is a response to the growth of urbanization around the world. However, applied studies are mostly disinclined to conceptualization of the quality of urban life and are more functional (Murgaš & Klobučník, 2018). Many parameters can affect the quality of urban life, but their importance is not the same; Therefore, using a multi-criteria decision system in such cases is necessary.

Multi Criteria Decision Making (MCDM) is a subordinate discipline of research in operation, which has grown enormously since inception (Mohammadi, & Rezaei, 2019). TOPSIS is one of MCDM tactics that deals with the optimum solution from among a lot of alternatives that have the longest distance from the negative ideal solution and the shortest distance from the positive ideal solution. In TOPSIS tactic, all the external factors are classified under suitable (higher) features or unsuitable ones (Srinivasan et al. 2020). On the other hand, Best and Worst Method (BWM) is a multi-criteria decision making that finds the optimal weight of a cluster of criteria on the basis of just a Decision Maker (DM) (or evaluator). However, it cannot integrate the preferences of several decision makers/ evaluators on the so-called issue of group decision making (Mohammadi, & Rezaei, 2019). Considering the criteria in the traditional format is not very efficient, while using GIS, the criteria can be turned into maps and combined these (Xu & Li, 2014).

There has been a lot of research in this regard. Lotfi et al. in a study considered several different factors and using the AHP method to examine the quality of life in the city of Babolsar, which showed that the city is in a moderate position in terms of quality of life (Lotfi et al., 2011). In another study, the quality of urban life was assessed using the integration of methods fuzzy multi-criteria decision analysis (FMCD), The fuzzy Delphi method (FDM) and extent analysis method on fuzzy AHP (EFAHP). The results of the research can turn the abstract concept of sustainability into an evaluation of specific city-life operations and serve as a guide for self-examination of the current situation and the development of future policies (Wang & Peng, 2020). Gholi Motlagh and Darvishi in a study with use of European cities quality of life measuring (European barometer), a survey of residents of Qazvin and exploratory factor analysis, the reliability of six factors by Cronbach's alpha was found. Then, the quality of life in this city was determined using t-test (Gholi Motlagh and Darvishi, 2021).

Ranking the neighborhoods in Tabriz districts of 1, 2, 3 & 8 is the objective of this study, which can help those in search of housing to find the best neighborhood and provide a guidance for the city

managers to recognize which neighborhoods on which criteria need more attention. Therefore, by using the capacity of TOPSIS and BWM methods and also GIS analysis, we tried to determine the condition of effective criteria in the quality of life and also the neighborhoods' quality of life.

2. STUDY AREA

Tabriz, is a city in East Azerbaijan province in North West of Iran and is situated in the geographical position (38.08° N and 46.25° E). This setting is composed of 9 urban districts with an area of around 24559.13 hectares (Alizadeh et al. 2018). According

to 2021 statistics the population of the city is up to 1,643,960 people (Iranian Statistics Center, 2021). Tabriz's altitude ranges between 1,350 and 1,600 meters above sea level. The average annual temperature and precipitation is respectively 12.6 °C and 280 millimeters. According to De Martonne aridity index, this area's climate has changed from semi-arid to arid (Baghanam et al. 2019). The area under study is composed of districts 1, 2, 3&8 of Tabriz municipality. According to 2021 statistics, these districts have 813267 population and 97 neighborhoods. Figure 1 shows the districts map case study.

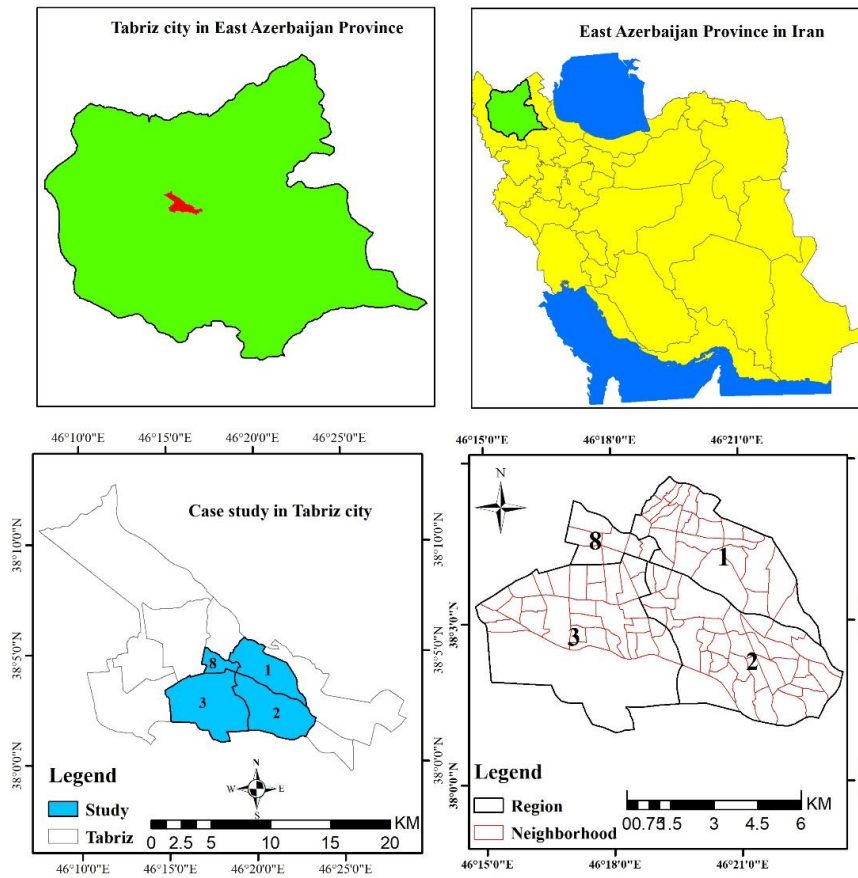


Figure 1. The case study

3. METHODOLOGY

In this study in order to determine the ranking of Tabriz districts 1, 2, 3 & 8, 20 criteria have been used including: land surface temperature, air pollution, population density, land slope, access to service centers, distance to recreational centers, density of delinquency, school density, distance to health clinics, distance to public offices, employment rate, quality of services, housing price, per capita green space, change of temperature, urban futurism,

the amount of income, quality of housing, population aging and youth population. According to past studies, effects of each variable (positive or negative) has been determined. For positive effect we use the symbol of "+" and for negative the symbol of "-". The name of criteria, effectiveness, explanation for each one, extraction method and source for every index is available in Table1.

Table 1. List of used criteria (Adopted from; Haghighi Fard & Doratli, 2022)

Criterion	Explanation	Extraction method	Effectiveness	Source
Land surface temperature	In order to extract land surface temperature, Thermal Infrared Sensor (TIRS)	$T_s = T_i + C_1(T_i - T_j) + C_2(T_i - T_j)^2 + C_0 + (C_3 + C_4w)(1-\varepsilon)(C_5 + C_6w)\Delta\varepsilon$	+	Jimenez - Munoz et al., 2014
Air pollution	Aerosol optical depth (AOD) estimates based on Simplified Aerosol Retrieval Algorithm (SARA) by using satellite products and images of MODIS sensors.	$\tau_{a,\lambda} = \frac{4\mu_s H_p}{\omega_0 P_a \{\theta_x, \theta_y, \theta\}}$	-	Bilal et al., 2013
Population density	The number of inhabitants per hectare	$Pop_{density} = \frac{Pop_{tot}}{Area_{(ha)}}$	-	
Land slope	Land slope is used for setting the amount of comfort in the living area. it also affects the quality of access	$Slop - Angle = (\frac{\delta f}{\delta l})$	-	Klee, 2011
Access to service centers	Distance to service centers like market, station etc. which is calculated by using Euclidean distance	$dist(p, q) = \sqrt{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2}$	+	Klee, 2011
Distance to recreational centers	Distance to recreational centers which is calculated by using Euclidean distance	$dist(p, q) = \sqrt{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2}$	-	Klee, 2011
Density of delinquency	Kernel function estimate of density in crime occurrence points	$\int_{-\infty}^{\omega} \hat{f}(t) dt = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^x \int_{l=-\infty}^{\omega} K(x_j, t) dt = 1$	-	Węglarczyk, 2018
School density	Kernel function estimate of density in schools	$\int_{-\infty}^{\omega} \hat{f}(t) dt = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^x \int_{l=-\infty}^{\omega} K(x_j, t) dt = 1$	+	Węglarczyk, 2018
Distance to health clinics	Distance to health clinics which is calculated by using Euclidean distance	$dist(p, q) = \sqrt{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2}$	-	Klee, 2011
Distance to public offices	Distance to state agencies which is calculated by using Euclidean distance	$dist(p, q) = \sqrt{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2}$	-	Klee, 2011
Employment rate	The employment-to-population ratio		+	
Quality of services	Ranking of neighborhoods in terms of public services quality (like out-of-date or updated available services, to be fundamental or not, etc.)		+	
Housing price	Ranking of neighborhoods in terms of housing price per square meter.		-	
Per capita green space	Calculation of available green space (in meter) in each neighborhood as a ratio to the number of inhabitants		+	
Change of temperature	Temperature variation in the hottest and coldest months of the year		-	
Urban futurism,	Forecasting the future of cities in terms of expansion of facilities within the past decade and present facilities (this factor was completed by the opinions of urban experts familiar with the districts, in a way that the percentage of social, economic and cultural progress in each neighborhood was determined by the opinion of experts)		+	
The amount of income	The average household income in each neighborhood		+	
The quality of housing	Integration of parameters about percentage of housing ownership, construction endurance, the area of housing and the number of rooms in each house		+	
Population aging	Ratio of population above 65 to total population		-	
Youth population	Ratio of population under 14 to total population		+	

3.1. BWM and TOPSIS

The map of all the criteria was prepared by using GIS and remote sensing capability. In the next phase we have used multi-criteria decision making and BWM to prioritize the criteria. The BWM method has been developed in the evolution of the AHP (Maleki et al., 2014) and ANP (Gonzalez-Urango et al., 2021) methods. In order to get the significance of the criteria in BWM we have followed the following steps.

Step 1. Determine a set of decision criteria {c1, c2, c3, cn}.

Step 2. Determine the best (e.g. Most desirable, most important) and the worst (e.g. Less desirable, less important) criteria.

Step 3. Determine the preference of the best criterion over all the other criteria using a number between 1 and 9. The resulting Best-to-Others vector would be:

$$A_B = (A_{B1}, A_{B2}, \dots, A_{Bn})$$

Where A_{Bj} indicates the preference of the best criterion B over criterion j. It is clear that $A_{BB}=1$

Step 4. Determine the preference of all the criteria over the worst criterion using a number between 1 and 9. The resulting Others-to-Worst vector would be:

$$A_W = (A_{1w}, A_{2w}, \dots, A_{nw})^T$$

Where A_{jw} indicates the preference of the criterion j over the worst criterion W. It is clear that $a_{ww}=1$.

Step 5. Find the optimal weights (W_1^* ; W_2^* ; ...; W_n^*). The optimal weight for the criteria is the one

where, for each pair of W_B/W_j and W_j/W_w , we have $W_B/W_j = A_{Bj}$ and $W_j/W_w = A_{jw}$. To satisfy these conditions for all j, we should find a solution where the maximum absolute differences $|\frac{W_B}{W_j} - A_{Bj}|$ and $|\frac{W_j}{W_w} - A_{jw}|$ for all j is minimized. Considering the non-negativity and sum condition for the weights, the following problem is resulted (Rezaei, 2015 & Rezaei et al., 2016):

$$\text{Min } \max_j \left\{ \left| \frac{W_B}{W_j} - A_{Bj} \right|, \left| \frac{W_j}{W_w} - A_{jw} \right| \right\} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_j W_j = 1$$

$$W_j \geq 0; \text{ for all } j$$

Can be transferred to the following problem:

min ξ

s.t.

$$\left| \frac{W_B}{W_j} - A_{Bj} \right| \leq \xi \text{ for all } j \quad (2)$$

$$\left| \frac{W_j}{W_w} - A_{jw} \right| \leq \xi \text{ for all } j$$

$$\sum_j W_j = 1$$

$$W_j \geq 0; \text{ for all } j$$

By solving the above model, the optimal amount of (W_1^* ; W_2^* ; ...; W_n^*) and ξ is acquired. By using the acquired ξ^* , the rate of compatibility is calculated (Rezaei, 2015). The amount of compatibility is acquired through Table 2 (in this table the incompatibility index is changed on the basis of the advantage of the best index to the worst index).

Table 2. The calculation values of compatibility index

A_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Compatibility Index	0.00	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.43	5.23

$$\frac{\xi^*}{\text{Compatibility Index}} = \text{Incompatibility Rate} \quad (3)$$

Finally, TOPSIS method was used for ranking the alternatives. The method of preference ranking based on the ideal responses of TOPSIS, is another strong methods in multi-criteria decision making. This method was developed by (Hwang and Yoon, 1981).

In the first step in this method a matrix of alternatives and the criteria which are under evaluation is developed: which includes the alternative n and the criterion m.

$$A = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Quantification and unscaled decision-making matrix (normalization): this item is done through the following equation.

$$r_{ij} = x_{ij} \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \ \& \ j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Acquiring weighted unscaled matrix: V_{ij} which is unscaled matrix is multiplied in weights diagonal matrix W_j (which in this method Stochastic Weight Averaging (SWA) is used).

$$V_{ij} = r_{ij} \times W_j \quad i = 1, 2, \dots, m \ \& \ j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

V_{ij} : weighted unscaled matrix

W_j : weight of matrix (total weights should be equal to 1)

Determining the positive ideal solution and the negative ideal solution

A^+ : the positive ideal solution= the vector of the best values for each A^+ matrix

A: the negative ideal solution: the vector of the worst values for each A matrix

$$A^+ = \{(\max_j v_{ij} | j \in C_p), (\min_j v_{ij} | j \in C_n)\} = \{v_j^+ | j = 1, 2, \dots, m\} \quad (7)$$

$$A^- = \{(\min_j v_{ij} | j \in C_p), (\max_j v_{ij} | j \in C_n)\} = \{v_j^- | j = 1, 2, \dots, m\} \quad (8)$$

Acquiring the amount of distance for each option to the positive and negative ideal: the Euclidean distance of each option from the positive ideal (A^+) and distance of each option to the positive ideal (A^-).

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, j = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

Determining the relative closeness (RC^+_i) of an option to the ideal solution:

$$RC^+_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

Ranking the options: every option with greater RC^+_i is identified as more suitable (Wu and Chuang, 2013).

4. RESULTS AND DISCUSSION

After completing the methodology steps, the results of QoL in the districts under study is acquired. These results can be presented in three parts. The first section is about the extracted map from the used methods in Table 1 which is shown in Table 2.

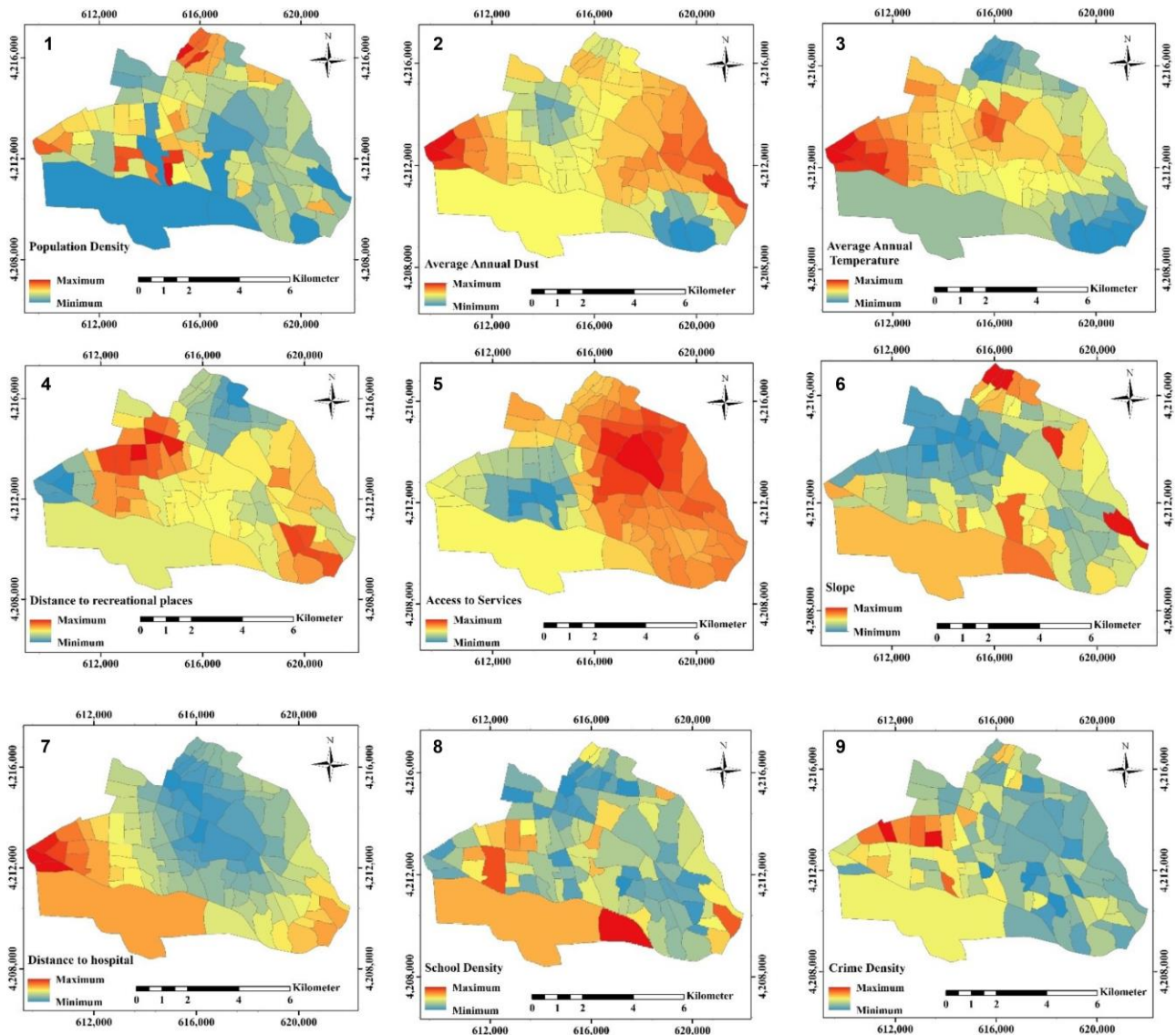


Figure 2. The map of used criteria 1) Population density 2) pollution 3) LST 4) recreational centers 5) access to services 6) slope 7) Distance to hospital 8) School density 9) Density of delinquency

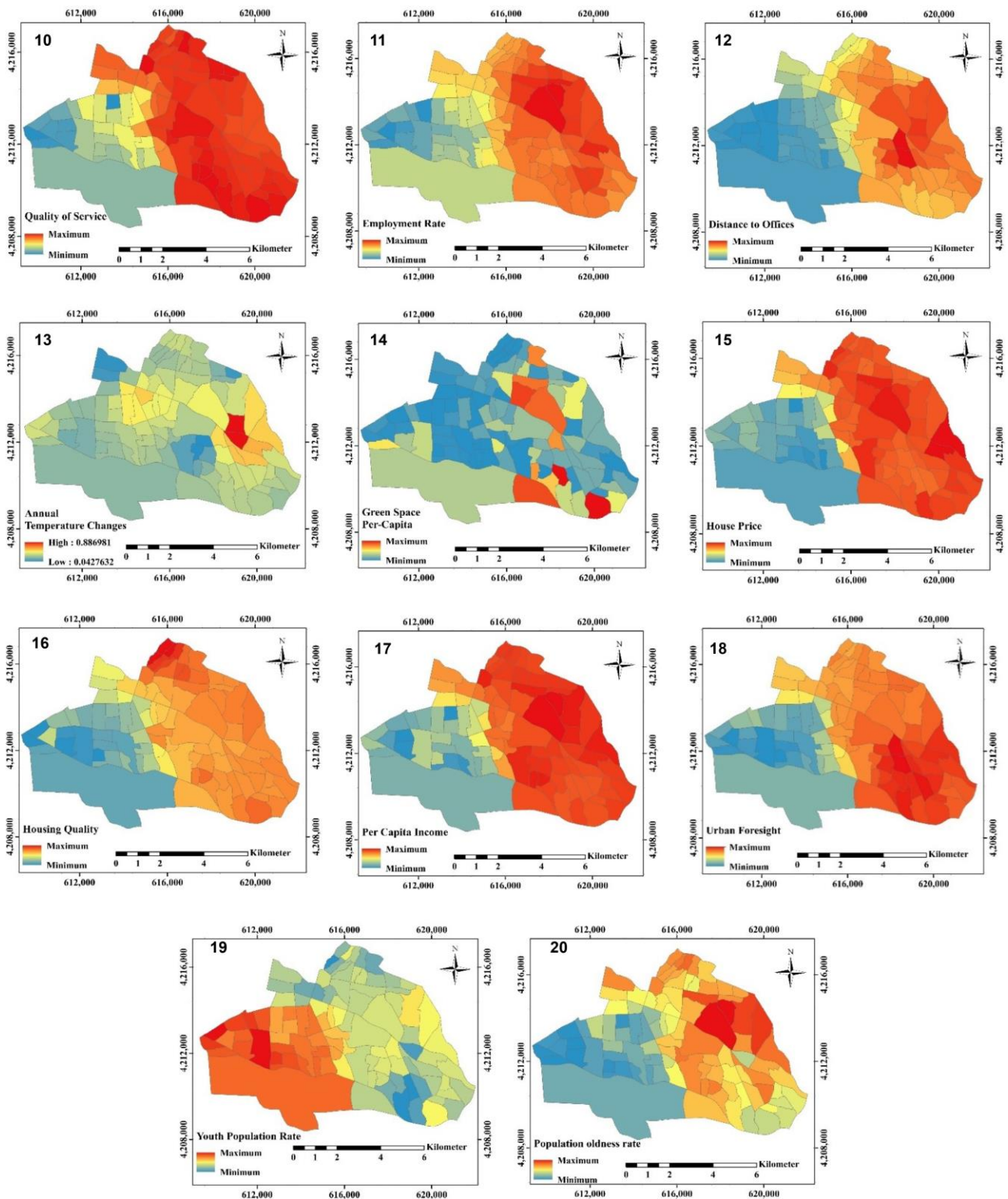


Figure 2 (continued). The map of used criteria 10) Quality of services 11) Employment rate 12) Distance to offices 13) Annual temperature change 14) Green space per capita 15) Housing price 16) Housing quality 17) income 18) Urban futurism 19) Youth population 20) Population oldness

According to Figure 2, the eastern half of maps 5, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18 and 20 is more valuable than the western half, and maps 3, 7 and 19; The western half has more value than the eastern half. The rest of the maps have values scattered throughout the study area.

In Table 3 the significance value for every criterion is calculated and provided by using the

BWM. According to this Table three of the most effective criteria in urban QoL is respectively paying attention to the future of city (attention to security issue) and the amount of per capita income. In contrast, three less effective criteria are respectively as slope, land surface temperature, annual temperature variation (equal to land surface temperature). After determining weight of the

criteria, we managed to make the ranking of neighborhoods according to TOPSIS and BWM. Table

4 shows 10 high quality and 10 low quality neighborhoods.

Table 3. Weight of effective criteria in QoL by BWM

Weight	Criterion	Weight	Criterion	Weight	Criterion	Weight	Criterion
12.23	Urban futurism	3.82	Employment rate	3.75	Distance to recreational centers	1.47	Land surface temperature
7.95	income	6.49	Quality of services	9.61	Density of delinquency	1.75	pollution
5.08	Housing quality	5.42	Housing price	7.78	School density	1.60	Population density
2.89	Population oldness	2.86	Green space per capita	7.81	Distance to hospital	1.15	slope
2.61	Youth population	1.47	Annual temperature change	6.49	Distance to public offices	7.67	Access to services

Table 4. Ranking of the neighborhoods` quality of life

Ranking	Neighborhood	Ranking	Neighborhood
1	Elahi Parast	88	Leil Abad
2	Mirdamad 2	89	Taleghani 3
3	Rajae Shahr 2	90	Taleghani 4
4	Zaaferaniyeh 1	91	Ghatran
5	Gol Park	92	Manzarieh 1
6	Zaaferaniyeh 3	93	Islam Shahr
7	BilankooH 1	94	Abureihan
8	Golkar	95	Islam Abad 1
9	Sari Zamin	96	Islam Abad 2
10	Zaaferaniyeh 4	97	Zanguleh Abad

According to provided results in table 4, three neighborhoods which provide the highest quality of life for citizens are as follows: Elahi Parast, Mirdamad 2 and Rajae Shahr 2. However, in contrast three neighborhoods with the lowest quality of life are as follows: Zanguleh Abad, Islam Abad 2 and Islam Abad 1. Among the districts, the

quality of life is respectively high in district 2, district 1, district 8 and finally district 8.

Figure 3 shows the quality of life in neighborhoods. This map confirms data in Table 4, shows the spatial quality of life and much more details of quality of life (neighborhoods are not provided in the table).

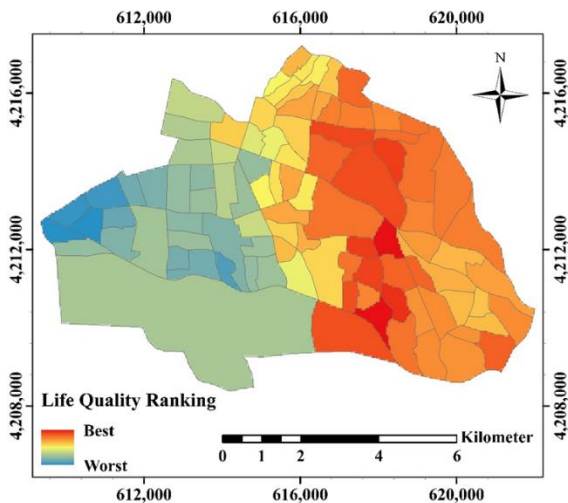


Figure 3. Map of quality of life

As determined in Figure 3, the neighborhoods with the highest QoL are generally in districts 1 and

2 (red range colors) and the districts with the lowest QoL are in district 3 (blue range colors). The highness of negative indicators like distance to services, density of delinquency, density of population and the lowness of positive indicators like low per capita income, low employment rate, density of hospitals (Which this inequality is partly due to not having proper planning and partly due to life style of inhabitants) have made the QoL in district 3 the lowest among the other districts.

Since the 1930s, researchers have studied the quality of life through a variety of methods and approaches. They have tried to determine the components and elements of quality of life and compare geographical areas such as cities, states and countries by quality-of-life indicators (Liu, 1976; Ülengin et al., 2001; Ali Akbari & Amini, 2010; Goli et al., 2021). Different methods have been used in academic research and various researches of organizations. The difference between this study is the use of the new BWM method to assess the quality

of urban life, which the authors of this article encourage other researchers to use this method. This article presents a new method for assessing the quality of life and it's recommended to compares it with the results of other methods.

5. CONCLUSION

QoL is an important indicator, because humans are inherently after enhancing their welfare. QoL has vast dimensions and we must have a comprehensive world view in examining QoL. Today urban industrialization and rural youth rush to cities which is on the one hand because of shortage of proper jobs (especially for educated people) and on the other hand because of subjective attractions of urban life, push the cities as demographic attraction hubs to a new phase. Discussion on the QoL in cities can be very much helpful for those who are after housing (purchase or rent) but do not have proper knowledge about the districts.

Meanwhile developing new decision-making methods can disclose newer dimensions of the subjects ahead. The BWM is one of the newest methods which besides high effectiveness, is easier to use in comparison with other methods (like ANP and AHP) and its combination with other methods like TOPSIS can lead us to precise results.

In this study by combination of BWM, TOPSIS and GIS capabilities, first it was determined that attention to future of cities is the most important factor in QoL which in itself shows that attention to future prevents change in the QoL in future. Two other important factors are related to the data on offence and crime which shows attention to security issue is very much important. On the third rank we see the important factor of the amount of income, which is rooted in the effects of capitalist life style in improving the QoL.

A point which is grasped from Table 3 and Map 3 is that most neighborhoods in a district are in a similar situation (or have almost the same quality of life) which is rooted in the views of urban planners and developers who cause the gap in the QoL among the neighborhoods by concentration of facilities in particular districts. The position of neighborhoods with similar names next to each other in the final ranking like the presence of three phases in Zaaferaniyeh neighborhood (1, 2 and 4) among high quality neighborhoods and the position of two phases of Islam Abad district (1 and 2) and two phases of Taleghani (3 and 4) among neighborhoods with lowest quality, is strong evidence on this issue. On the other hand, the neighborhoods with the lowest quality are witnessing influx of low-income strata which in itself lowers the QoL in those districts. Among the effects of this influx to the QoL in the first step is further decline in per capita income, increase in criminal acts, decrease in housing quality and price along with unlawful house building on the one hand and low inclination of city

authorities in providing public services including public offices, schools, hospitals etc.

Author contributions

The authors contributed equally to the article.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Akande, A., Cabral, P., Gomes, P., & Casteleyn, S. (2019). The Lisbon ranking for smart sustainable cities in Europe. *Sustainable Cities and Society*, 44, 475-487.
- Alberti, M., & Marzluff, J. M. (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban ecosystems*, 7(3), 241-265.
- Ali Akbari, E., & Amini, M. (2010). Urban Quality of Life in Iran (1986-2006). *Social Welfare Quarterly*, 10(36), 121-148.
- Alizadeh, M., Alizadeh, E., Asadollahpour Kotenae, S., Shahabi, H., Beiranvand Pour, A., Panahi, M., & Saro, L. (2018). Social vulnerability assessment using artificial neural network (ANN) model for earthquake hazard in Tabriz city, Iran. *Sustainability*, 10(10), 3376.
- Baghanam, A. H., Nourani, V., Sheikhabaei, A., & Seifi, A. J. (2019). *Statistical Downscaling and Projection of Future Temperature Change for Tabriz City, Iran* (No. 1813). EasyChair.
- Bilal, M., Nichol, J. E., Bleiweiss, M. P., & Dubois, D. (2013). A Simplified high resolution MODIS Aerosol Retrieval Algorithm (SARA) for use over mixed surfaces. *Remote sensing of environment*, 136, 135-145.
- Dameri, R. P. (2016). Smart City and ICT. Shaping urban space for better quality of life. In *Information and Communication Technologies in Organizations and Society* (pp. 85-98). Springer, Cham.
- Dodman, D. (2016). Environment and urbanization. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth*, 1-9.
- Douglas, O., Russell, P., & Scott, M. (2019). Positive perceptions of green and open space as predictors of neighbourhood quality of life: implications for urban planning across the city region. *Journal of environmental planning and management*, 62(4), 626-646.

- Estevez, E., Lopes, N., & Janowski, T. (2016). Smart sustainable cities: Reconnaissance study.
- Fox, P. D. (2019). Not Your Grandparents' Flâneur: The Afropolitan Detective in the Urban Crime Novels of Quartey and Crompton. *Africa Today*, 65(4), 61-82.
- Francis, R. A., Millington, J. D., & Chadwick, M. A. (Eds.). (2016). *Urban landscape ecology: science, policy and practice*. Routledge.
- Gavrilidis, A. A., Ciocănea, C. M., Niță, M. R., Onose, D. A., & Năstase, I. I. (2016). Urban landscape quality index–planning tool for evaluating urban landscapes and improving the quality of life. *Procedia Environmental Sciences*, 32, 155-167.
- Gholi Motlagh, M., & Darvishi, F. (2021). Urban Quality of Life Survey by Localizing Eurobarometer Indexes (Case Study: the City of Qazvin). *Human Geography Research*, 53(2), 579-597.
- Goli, N., Jahani, M., & Behniyafar, A. (2021). The Effect of Physical and Economic Aspects of Quality of Life on Population Sustainability in Rural Settlements (Case study: Villages of Razaviyeh District, Mashhad County, Razavi Khorasan Province, Iran). *Geography (Regional Planning)*, 11(3), 664-679.
- Gonzalez-Urango, H., Mu, E., & García-Melón, M. (2021). Stakeholder engagement and ANP best research practices in sustainable territorial and urban strategic planning. In *Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Development* (pp. 93-130). Springer, Cham.
- Gou, Z., Xie, X., Lu, Y., & Khosbakht, M. (2018). Quality of Life (QoL) survey in Hong Kong: Understanding the importance of housing environment and needs of residents from different housing sectors. *International journal of environmental research and public health*, 15(2), 219.
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *science*, 319(5864), 756-760.
- Haghighi Fard, S. M., & Doratli, N. (2022). Evaluation of Resilience in Historic Urban Areas by Combining Multi-Criteria Decision-Making System and GIS, with Sustainability and Regeneration Approach: The Case Study of Tehran (IRAN). *Sustainability*, 14(5), 2495.
- Han, J., Meng, X., Zhou, X., Yi, B., Liu, M., & Xiang, W. N. (2017). A long-term analysis of urbanization process, landscape change, and carbon sources and sinks: A case study in China's Yangtze River Delta region. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1040-1050.
- Hashemi Darebadami, S., Darvishi Boloorani, A., AlaviPanah, S. K., Maleki, M., & Bayat, R. (2019). Investigation of changes in surface urban heat-island (SUHI) in day and night using multi-temporal MODIS sensor data products (Case Study: Tehran metropolitan). *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 19(52), 113-128.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Iranian Statistics Center. (2021). Iranian statistical calender. *Iranian Statistics Center: Tehran, Iran*.
- Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristóbal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 11(10), 1840-1843.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., Radzeviciene, A., Ubarte, I., Podviezko, A., Podvezko, V., Kuzminske, A., Banaitis, A., Binkyte, A. & Bucinskas, V. (2018). Quality of city life multiple criteria analysis. *Cities*, 72, 82-93.
- Klee, P. (2011). *The core of GIScience: a process-based approach*. Enschede, the Netherlands: ITC.
- Lafortezza, R., Carrus, G., Sanesi, G., & Davies, C. (2009). Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(2), 97-108.
- Leitner, H., Sheppard, E., Webber, S., & Colven, E. (2018). Globalizing urban resilience. *Urban Geography*, 39(8), 1276-1284.
- Lennon, M., & Scott, M. (2014). Delivering ecosystems services via spatial planning: reviewing the possibilities and implications of a green infrastructure approach. *Town Planning Review*, 85(5), 563-587.
- Liu, B. C. (1977). Quality of life indicators in US metropolitan areas, 1970: A reply. *Social Indicators Research*, 4(1), 107.
- Lotfi, S., Faraji, A., Hataminejad, H., & Pourahmad, A. (2011). A study of urban quality of life in a

developing country. *Journal of Social Sciences*, 7(2), 232.

Maleki, M., Rahmati, M., Sadidi, J., & Babaei, E. (2014, November). Landslide risk zonation using AHP method and GIS in Malaverd catchment, Kermanshah, Iran. *In International Conference on Geospatial Information Research (GI Research 2014)* (pp. 15-17).

Maleki, M., Van Genderen, J. L., Tavakkoli-Sabour, S. M., Saleh, S. S., & Babaei, E. (2020). Land use/cover change in dinevar rural area of West Iran during 2000-2018 and its prediction for 2024 and 2030. *Geogr. Tech*, 15, 93-105.

Marans, R. W., & Stimson, R. J. (Eds.). (2011). Investigating quality of urban life: Theory, methods, and empirical research (Vol. 45). Springer Science & Business Media.

Mohammadi, M., & Rezaei, J. (2019). Bayesian best-worst method: A probabilistic group decision making model. *Omega*, 102075.

Murgaš, F., & Klobučník, M. (2018). Quality of life in the city, quality of urban life or well-being in the city: Conceptualization and case study. *Ekológia (Bratislava)*, 37(2), 183-200.

Nowak, P. (2018). Regional variety in quality of life in Poland. *Oeconomia Copernicana*, 9(3), 381-401.

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.

Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J., & Tavasszy, L. (2016). A supplier selection life cycle approach integrating traditional and environmental criteria using the best worst method. *Journal of Cleaner Production*, 135, 577-588.

Seto, K. C., & Shepherd, J. M. (2009). Global urban land-use trends and climate impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 89-95.

Soares Rossi Cordeiro, C. (2020). The impacts of renewal projects on urban quality of life: the case of Savassi, Belo Horizonte, Brazil. *Master's thesis*, University of Twente, Holland. 75p.

Srinivasan, V. P., Palani, P. K., Dhayanathan, S., Gopi, S., Balamurugan, S., & Venkatesh, S. M. (2020). A Multi Criteria Decision Making (MCDM) based on TOPSIS and RSM for process improvement in electrical discharge machining of silicon nitride-titanium nitride ceramic composites. *Materials Today: Proceedings*, 45(2).

The Whoqol Group (1998). The World Health Organization quality of life assessment (WHOQOL): development and general psychometric properties. *Social science & medicine*, 46(12), 1569-1585.

Ülengin, B., Ülengin, F., & Güvenç, Ü. (2001). A multidimensional approach to urban quality of life: The case of Istanbul. *European Journal of Operational Research*, 130(2), 361-374.

United Nations. (2014). World urbanization prospects: the 2014 revision, Highlights (ST/ESA/SER. A/352). New York, United, 32.

Wang, W. M., & Peng, H. H. (2020). A fuzzy multi-criteria evaluation framework for urban sustainable development. *Mathematics*, 8(3), 330.

Węglarczyk, S. (2018). Kernel density estimation and its application. In *ITM Web of Conferences* (Vol. 23, p. 00037). EDP Sciences.

Woszczyk, D., & Spanakis, G. (2018, September). MaaSim: A Liveability Simulation for Improving the Quality of Life in Cities. In *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases* (pp. 118-133). Springer, Cham.

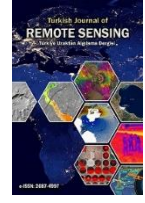
Wu, F. Y., & Chuang, C. C. (2013). The optimal relationship between buyer and seller obtained using TOPSIS method. *Journal of Advanced Management Science*, 1(1), 133-135.

Xu, Z., & Li, Q. (2014). Integrating the empirical models of benchmark land price and GIS technology for sustainability analysis of urban residential development. *Habitat International*, 44, 79-92.



© Author(s) 2021.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Sedimanter Uranyum Yataklarının Uzaktan Algılama Destekli Aranmasına Yönelik Metot Önerisi

Orkun Turgay*¹

¹Jeomodel Resources, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Uzaktan Algılama
Uranyum
Sedimanter
Arama
Jeoloji

ÖZ

Sedimanter tip (kumtaşı tipi) uranyum yataklarındaki redoks koşulları uzaktan algılama yöntemleriyle belirlenebilmektedir. Yataklardaki indirgen ve yükseltgen zonlar, uranyum ile birlikte olan veya olmayan kayaçlar/mineraller tespit edildikten sonra uranyum içermesi muhtemel zonlar belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ise Salihli-Köprübaşı ve Temrezli-Yozgat sedimanter uranyum yatakları Sentinel2A ve ASTER uydu verileri ile incelenmiş ve madenin aranması için bir metot geliştirilmiştir. Uranyumun depolanma şartlarından hareketle yapılan uydu verilerinin değerlendirilmesinde uranyumun aranması gereken alanlar genel olarak parlak piksel olarak karşımıza çıkmaktadır. Bundan hareketle uranyumun depolanabileceği alanlarda uranyum ile birlikte bulunması muhtemel jeolojik/mineralojik donelerin uranyumun depolanma şartına uygun kombinasyonlar ile elde edilecek görüntülerde hep parlak piksellerin ortaya çıkacağı belirlenmiş olup uzaktan algılama metodolojisi olarak parlak pikseller belirlendikten sonra bu piksellerin temsil ettiği alanlarda saha çalışmalarının yapılması gerektiği düşünülmektedir. Sonuç olarak, bu makalede uranyumun aranmasına yönelik geliştirilen metot, bakir sahalara uygulandığında çıkan sonuca göre saha çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

A New Method Suggestion for Remote Sensing Aided Sedimentary Type Uranium Exploration

Keywords:

Remote sensing
Uranium
Sedimentary
Exploration
Geology

ABSTRACT

Redox conditions in sedimentary type (sandstone type) uranium deposits can be determined by remote sensing methods. After determining the reducing and oxidizing zones in the deposits, the rocks/minerals with or without uranium, the zones likely to contain uranium can be determined. In this study, Salihli-Köprübaşı and Temrezli-Yozgat sedimentary uranium deposits were investigated with Sentinel2A and ASTER satellite data and a method was developed for the uranium exploration. In the evaluation of satellite data based on the deposition conditions of uranium, the areas where uranium should be explored are generally seen as bright pixels. Based on this, it has been determined that bright pixels will always appear in the images to be obtained with combinations of geological/mineralogical data that are likely to be found together with uranium in areas where uranium can be deposited. As a result, in this article, it is recommended to conduct field studies according to the results when the method developed for uranium exploration is applied to wildcat fields.

1. GİRİŞ

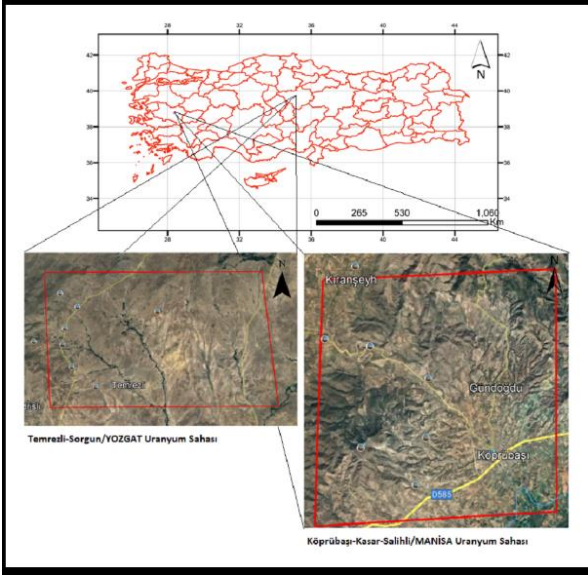
Uzaktan algılama ile tespit edilebilen uranyum yatakları literatürde sadece hidrotermal tip uranyum yataklarıdır. Bu çalışmada ise sedimanter tip uranyum yataklarının nasıl keşfedilmesi gerektiği anlatılmıştır.

Ülkemizde keşfedilmiş uranyum yatakları, (Aydın, 2016 ve Akıska vd., 2019) sedimanter tip uranyum yataklarıdır. Ancak söz konusu sedimanter uranyum yataklarına yönelik uzaktan algılama tekniklerinin yöntem olarak kullanılması söz konusu olmamıştır ya da ülkemizdeki sedimanter uranyum yataklarının uzaktan algılanması ile ilgili literatürde bir yayın bulunmamaktadır. Ayrıca, yapılan literatür taramasına göre sedimanter tip uranyum yataklarına yönelik herhangi bir uzaktan algılama çalışmasına da rastlanılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışma, sedimanter tip uranyum yataklarının aranmasına yönelik uzaktan algılama tabanlı bir metod önerisi sunmaktadır. Bunun yanı sıra Türkiye’de metalik maden yataklarına yönelik uzaktan algılama tabanlı farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Kavak, 2005a; Kavak, 2005b; Tözün ve Özyavaş, 2016; Tözün ve Özyavaş, 2017; Canbaz vd., 2018; Alkan, 2019; Gürsoy, 2019; Çörtük vd., 2020; Canbaz vd., 2020; Tözün ve Özyavaş, 2022). Bu çalışmalarda farklı madenlerin aranmasına yönelik uzaktan algılama teknolojileri kullanılmıştır.

Uzaktan algılama literatüründe yapılan bazı çalışmalar hidrotermal tip uranyum yataklarının araştırılması üzerinedir. Nitekim uranyum yataklarının uzaktan algılama teknikleri ile izlenmesi, bazı araştırmacılar tarafından magmatik ortamdaki hidrotermal uranyum yataklarına uygulanmıştır (Shalaby vd.,2010; Bishta, 2012; Ramadan vd, 2013; Yongfei ve Fawang, 2019; El-Taher vd., 2020; Shebl vd., 2021; Aitta ve Omar, 2021;) Sedimanter tip uranyum yataklarına sahip olan Türkiye’deki Köprübaşı-Salihli (Manisa) ve Temrezli-Sorgun (Yozgat) uranyum yatakları üzerine uzaktan algılama çalışması hidrotermal tip yataklarda uranyum cevherini içerisinde bulunduran alterasyonların haritalanması şeklindedir (Shalaby vd.,2010; Bishta, 2012; Ramadan vd, 2013; Yongfei ve Fawang, 2019; El-Taher vd., 2020; Shebl vd., 2021; Aitta ve Omar, 2021;). Ancak sedimanter tip yataklarda uranyumun birlikte olduğu ve olmadığı birçok mineral, kaya toplulukları iyi bilinmelidir. Bu nedenle bu çalışmada uzaktan algılama denemesi uranyum yatakları ile ilgili öncel saha verileri derlenerek yapılmıştır. Çalışmayla birlikte önerilen model sayesinde uranyum içermesi muhtemel magmatik alanların eteklerindeki sedimanter alanlarda uranyum için uzaktan algılama çalışmaları yapılabilmesi beklenmektedir. Sedimanter tip uranyum yataklarında, arama için uranyumun birlikte ve ayrı olduğu mineral ve kayaç grupları haritalanmalıdır. Mesela sülfür ile karşılaşan uranyum, uranyum

yataklarını oluşturmaktadır. Burada, pirit (FeS_2) ve diğer +2 değerlikli demir uzaktan algılama terminolojisinde ferro(II)demir olarak geçmektedir. Ferrik(III) demir ise +3 değerlikli demiri ifade etmekte, demiroksitler ise her değerlikten oksitli demir anlamına gelmektedir. Uzaktan algılama sonuçlarına bakıldığı zaman, ferro(II)demir ile ferrik(III)demir arasında arazide bir dokanağın olduğu görülmektedir. Yukarıda anlatılanların bir sonucu olarak, ferro(II) demirli zonlar ve/veya uranyum ile potansiyel olarak ilişkili minerallerin durumu ve konumu belirlenmelidir.

Temrezli Uranyum yatağı (Yozgat), indirgen ortamda uranyumun pirit, demirsülfür ve kömür gibi bileşenlerle karşılaşması sonucu uranyumun çökmesi ile oluşmuştur(Aydın,2016) Mineralojisinde kuvars, feldspat, muskovit, demiroksit, belirlenmiştir, uranyum ise kuvars ve feldspatların çeperindedir. Kil ve kuvarsların çeperinde, sülfürlerle beraber; kuvarsların ve muskovitlerin çeperinde, klorit, illit ve kaolinitlerle birlikte (Aydın, 2016; Akıska vd., 2019). Köprübaşı-Kasar Yatağında ise (Manisa) uranyum, sedimanter birimlerde çoğunlukla kumtaşları ve konglomeralarda bulunmaktadır. Bu yataкта alterasyon mineralleri jarosit ve klorittir. Demirce zengin zonlar uranyum barındırmakta, uranyum bulunan sedimentlerde pirit görülmektedir. Düşük tenörlü kısımda siderit bulunurken, demirli birimler hematit ve limonittir. Manyetit, hematite dönüşmüş ve jarosit görülmektedir. Oksitsiz zonlarda ilmenit ve manyetit daha az bozuşmuştur ve ortamda pirit oluşumu söz konusudur. Siderit, feldspat ve kuvars ile birlikte, konglomeralarda montmotillonit ve klorit gelişmiştir (Yılmaz, 1982; Akıska vd., 2019). Tüm bunlardan hareketle bu çalışmada, ASTER ve Sentinel-2A verileri ile Yozgat ve Manisa’daki sedimanter tip uranyum yataklarının belirlenmesi üzerine uzaktan algılama prensipleri uygulanmıştır. ASTER verisinin seçilme nedeni uranyum ile birlikte veya ayrı bulunan minerallerin ve mineral gruplarının haritalanabilme olanağını sağlamasıdır(Yeterli düzeyde SWIR bantlarının bulunmasıdır). Bu verinin mekânsal çözünürlüğü 15 ila 90 metre arasında değişmektedir. Sentinel2 verisinin seçilmesinin nedeni de demir grubu mineral ve mineral gruplarının ASTER’den yüksek çözünürlükle haritalanabilmesidir ve bu verinin mekânsal çözünürlüğü yeniden örnekleme ile 10 metreye kadar yükseltilebilmektedir. Her iki veri de halka açık, ücretsiz ve kolayca edinilebilir niteliktedir. Çalışmada ASTER verisi kullanılarak uranyum ile birlikte olabilecek mineraller ve alterasyonlar, Sentinel2A verisi ile de demiroksitler ve demir grubu mineraller tespit edilip haritalanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanlarının yerbulduru haritası

Yozgat-Sorgun'daki uranyum cevherleşmesi, granitik kayalardan çözülmüş ve sedimanter kayalarda depolanmıştır. Uranyum hem indirgen hem de yükseltgen koşullarda görülmekle birlikte, indirgen koşullar ile ilişkilidir (Aydın, 2016). Manisa-Salihli'de ise uranyumun kaynak kayaları Menderes Masifi ve Demirci-Gördes masifleri ile riyolitik tüflerdir. Ancak cevherleşme konglomeralarda görülmektedir. Pirit (FeS_2 -Ferro(II)demir) cevherleşmeyi kontrol etmektedir. Uranyumca zengin yeraltı suları piriti oksitleyerek oksijeni tüketmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada sedimanter uranyum yatakları üzerinde gerçekleştirilen uzaktan algılama çalışması için ENVI 5.3 yazılımı, üretilen görüntülerin haritaya dönüştürülmesi için ise ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılmıştır. Uydu görüntüsü olarak Sentinel-2A (ESA) ve ASTER (NASA&JAXA) verileri kullanılmış olup görüntü hazırlama ve işleme aşamaları her iki veri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. ASTER verisi radyometrik kalibrasyondan sonra SWIR (Shortwave Infrared-Kısa Dalga Kızılötesi) ve VNIR (Visible Near Infrared-Görünür Yakın Kızılötesi) verileri IARR atmosferik düzeltmesine tabi tutulmuştur. Termal bantlar olan TIR (Thermal Infrared-Termal Kızılötesi) verisi radyometrik kalibrasyondan sonra termal atmosferik düzeltme ve ardından Emissivity Normalization işlemine tabi tutulmuş ve daha sonra IARR ve EMIS verisi birleştirilmiştir. Sentinel-2A verisi ENVI yazılımına aktarılmıştır. Çalışmanın sonraki aşamasında çözünürlüğü 10m olan Sentinel verisi ile çözünürlüğü 15,30 ve 90 metre olan ASTER verisinin çözünürlüğü 10 metreye yeniden örneklenmiş, verinin çözünürlüğü 10m olacak şekilde görüntüler hazırlanarak görüntü işleme aşamasına geçmiştir. Çalışmada ele alınan uranyum yataklarının jeolojisi literatürden derlenmiş ve literatür bilgisi ile

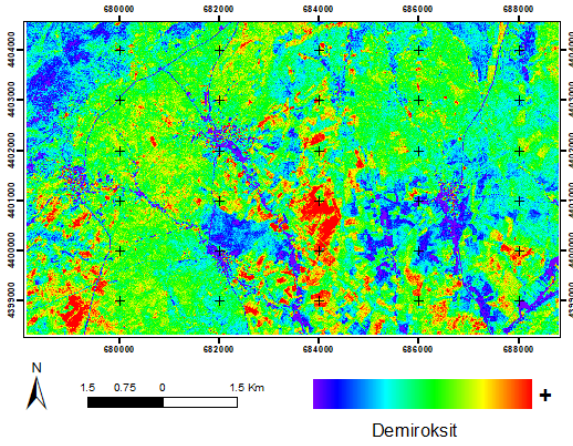
cevherleşme olabilecek yerler üzerinde uzaktan algılama çalışması gerçekleştirilmiştir. Genel olarak kumtaşı tipi uranyum yataklarında redoks koşulları önemlidir ve bu redoks koşulları yatak üzerinde demir minerallerinin varlığı uzaktan algılama metotları ile belirlenebilmektedir. Yozgat-Temrezi'de "Cevherleşme zonundaki minerallerin % 45,2'si kuvars, %23,5'i K-Feldspat, geri kalan kısımları ise kil, pirit ve birkaç minör mineral içermektedir." (Aydın, 2016). Köprübaşı Salihli'de ise "Piritli-sideritli oksitsiz yataklarda uranyum yine amorf olup kumtaşı hamuru içinde siyah toz halinde yer alır. Yüksek tenörlü uranyum zenginleşmesi piritli. düşük tenörlü uranyum zenginleşmesi ise sideritli zonlara özgüdür." (Yılmaz, 1982).

Çalışmada ayrıca, USGS spektral kütüphanesinde radyoaktif minerallerin spektral yansıma değerlerinin bulunmaması üzerine redoks koşullarının etkisi üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir. Kumtaşı tip yataklarda sülfütlü zonda uranyum yataklanmasının oluşmasından hareketle demir oksitler, ferro(II)demir, ferrik(III)demir, kuvars içeren kayalar, feldspat içeren kayalar, uranyumun birlikte olduğu muskovit, klorit, kaolen, montmorillonit, illit, hidroksil mineralleri, demiroksit-hidroksitler, magnezyum hidroksil içerisindeki demiroksitler gibi parametreler haritalanmıştır. Bu parametrelerin haritalanmasından sonra, bütün veriler birleştirilmiş ve sonrasında yorumlanmak üzere bant aritmetiği/bant oranı kombinasyonları oluşturulmuştur. Sedimanter uranyum yataklarında indirgen koşullarda uranyum depolanması olması ferrik(III)demir zonlarına nazaran ferro(II)demir zonlarında cevherleşmenin oluşması anlamına gelmektedir. Uzaktan algılama ile bu parametrelerin işlenmiş görselleri oluşturulabilmekte ve kombine edilmektedir. Kumtaşı tip uranyum yataklarında uranyumun birlikte bulunduğu mineraller ferro(II)demirli zonda bulunmaktadır. Çünkü maden yatak tipi karakteristiği gereği uranyum ferro(II)demirli zonda depolanmalıdır. Kombine uydu görüntülerinde bu birlikteliklerin olduğu yerler parlak pikseller olarak görünmektedir. Yani uranyumun birlikte olduğu haritalanan parametreler ile ferro(II)demirli zonlar kombine edilmiştir. Kombinasyonların ardından parlak piksellerin büyük bir alanı kapsadığı görülmüştür. Uzaktan algılamada parlak pikselin anlamı, kombinasyona dahil edilen her üç parametrenin de aynı anda o görüntü içerisinde var olduğu anlamına gelmektedir ki uranyum yataklarının jeolojisine bakıldığında bu minerallerin (haritalanan parametrelerin) uranyum ile birlikte olduğu petrografik ve mineralojik açıdan saha ile ilgili önceki çalışmalarla da uyum sağladığı görülmektedir (Akıska vd., 2019; Aydın, 2016; Yılmaz, 1982).

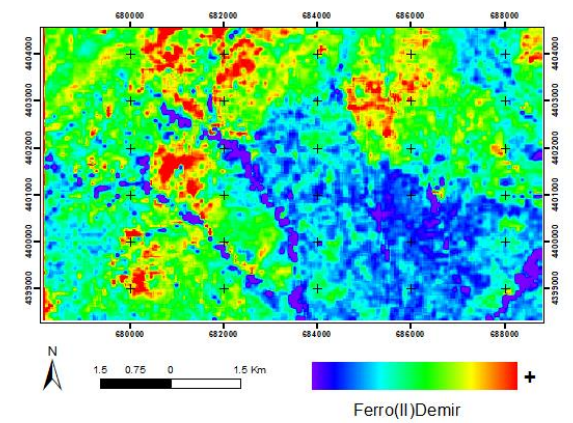
3. BULGULAR

Çalışmada ele alınan her iki uranyum yatağında da redoks koşullarının takibi uzaktan algılama ile görüntü işleme metotlarından faydalanılarak yapılabilmektedir. Uranyumun sülfütlü ferro zonda çökeleceğinden hareketle maden yatakları hakkında jeolojik bilgi toplandıktan sonra bu zondaki mineralizasyonlar için uzaktan algılama ile haritalar oluşturulabilmektedir. Kombine görüntülerden anlaşıldığı kadarı ile ferro(II)demirli zonda Temrezli’de Kuvars, muskovit ve kaolen bulunurken, Köprübaşı-Kasar’da ise demir-klorit, aktinolit, siderit, ankerit ve kaolenit bulunmaktadır.

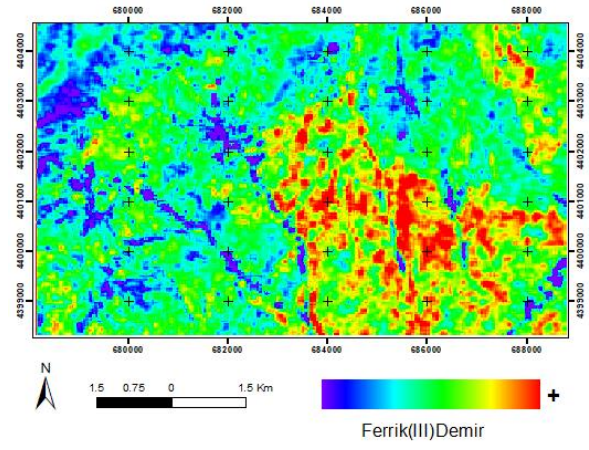
Temrezli’de parlak(beyaz) pikseller (Şekil.5) Ferro(II)demir ile ilişkili iken Köprübaşı’nda ise parlak pikseller (Şekil.10 ve 9) Ferro(II)demir ile ilişkilidir. Parlak piksellerin ferro(II)demir ile ilişkili olmasının nedeni diğer iki bileşenlerin de aynı yerde bulunmasıdır.



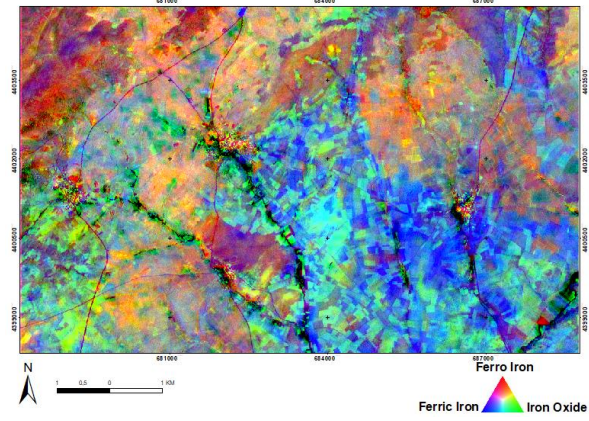
Şekil 1. Demiroksit görüntüsü, Sentinel-2A, Temrezli, Sorgun, Yozgat



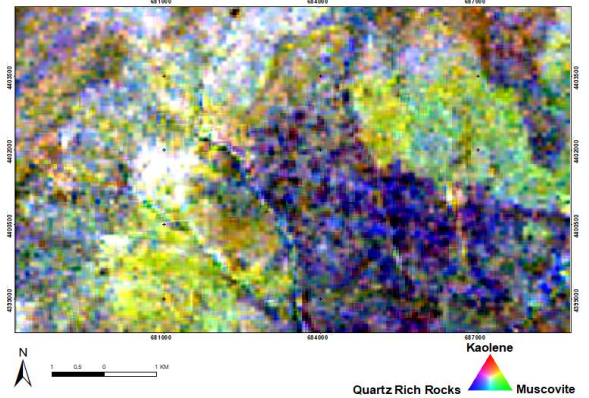
Şekil 2. Ferro(II)demir görüntüsü, ASTER, Temrezli, Sorgun, Yozgat



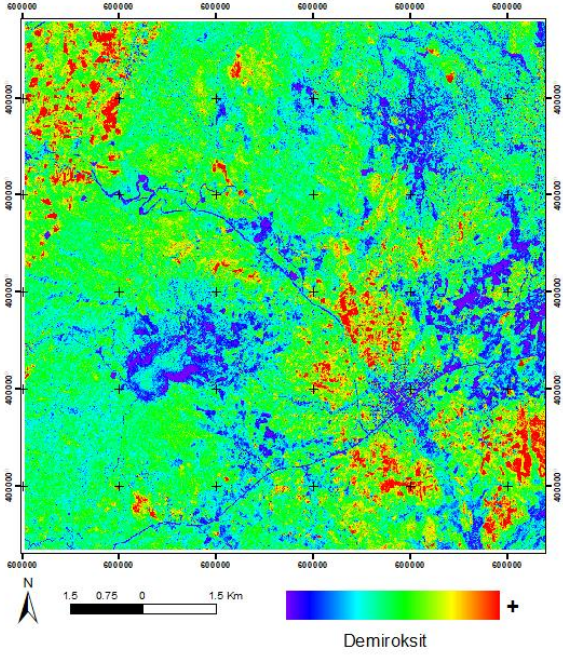
Şekil 3. Ferrik(III)demir görüntüsü, ASTER, Temrezli, Sorgun, Yozgat



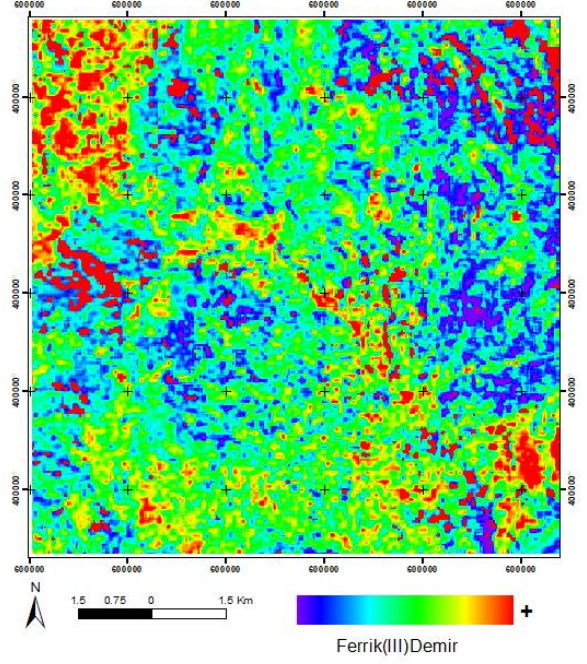
Şekil 4. R:ferro(II)demir, G:Demiroksit, B:Ferrik(III)demir kombinasyonu, ASTER-Sentinel-2 Hibrit, Temrezli, Sorgun, Yozgat



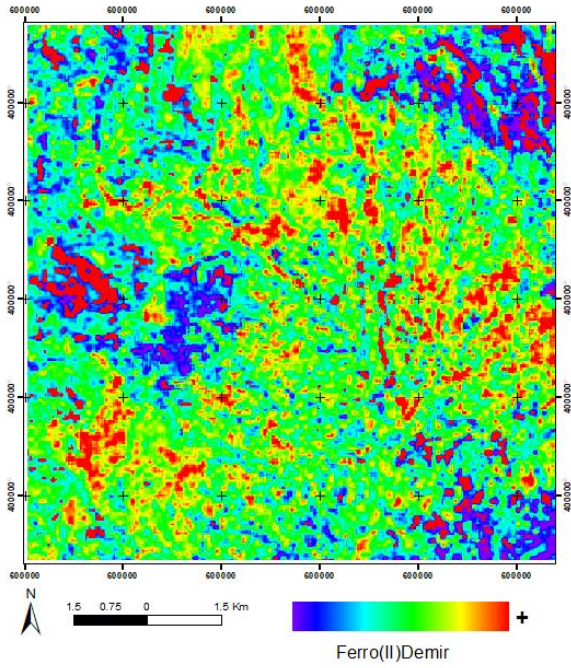
Şekil 5. R: Kaolen, G:Muskovit, B:Kuvars içeren kayalar kombinasyonu, ASTER, Temrezli, Sorgun, Yozgat



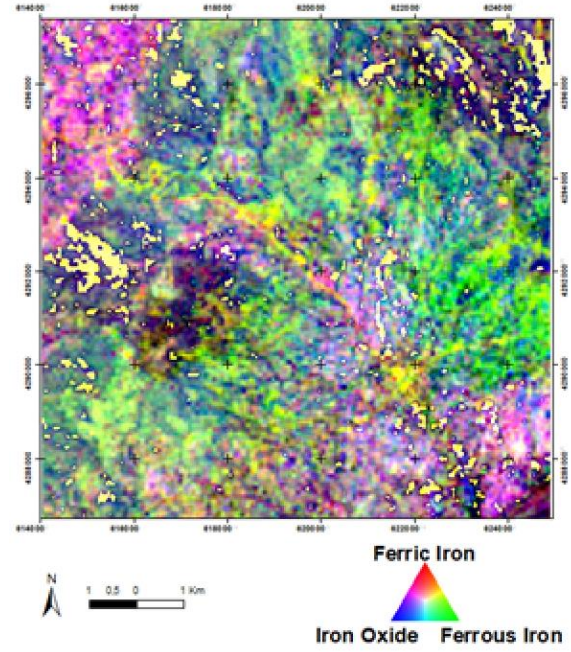
Şekil 6. demiroksit görüntüsü, Sentinel-2A, Köprübaşı-Kasar/Salihli, Manisa



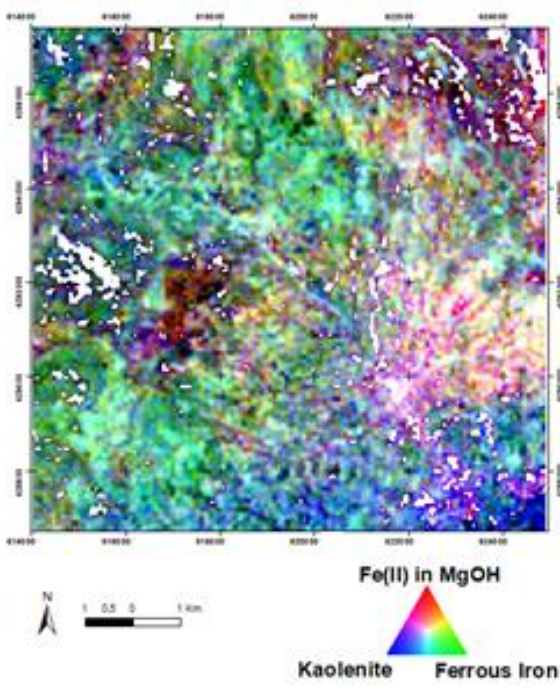
Şekil 8. ferrik(III)demir görüntüsü, ASTER, Köprübaşı-Kasar/Salihli, Manisa



Şekil 7. ferro(II)demir görüntüsü, ASTER, Köprübaşı-Kasar/Salihli, Manisa



Şekil 9. R: ferrik(III)demir, G:ferro(II)demir, B:Demiroksit kombine görüntüsü, ASTER-Sentinel-2 Hibrit, Temrezli, Köprübaşı-Kasar/Salihli, Manisa



Şekil 10. R: MgOH içerisindeki ferröz demir, **G:**ferro(II)demir, **B:**Kaolenite kombine görüntüsü, ASTER, Temrezli, Köprübaşı-Kasar/Salihli, Manisa

4. SONUÇLAR

Her iki uranyum yatağında da redoks koşullarının takibi uzaktan algılama ile görüntü işleme metotlarından faydalanılarak yapılmıştır. Uranyumun sülfütlü ferro(II)demirli zonda çökeceğinden hareketle maden yatakları hakkında jeolojik bilgi toplandıktan sonra bu zondaki mineralizasyonlar için uzaktan algılama ile haritalar oluşturulabilmektedir. Kombine görüntülerden anlaşıldığı kadarı ile ferro zonda Temrezli’de Kuvars, muskovit ve kaolen bulunurken, Köprübaşı-Kasar’da ise Demir-klorit, aktinolit, siderit, ankerit ve kaolenit bulunmaktadır. Bir sedimanter uranyum yatağının uzaktan algılama destekli aranmasında aşağıdaki altı madde yazar tarafından önerilmiştir;

-Uzaktan algılama ile görüntü hazırlama adımlarının uygulanması: Sentinel2A ve ASTER görüntülerinin işlenmesi önerilir ya da alterasyon haritalama için uygun diğer uydu verileri kullanılabilir,

- Ferro(II)demir, ferrik(III)demir ve demiroksit görüntülerinin oluşturulması/haritalanması,

- Uranyum ile birlikte olabilecek minerallerin ve parametrelerin haritalanması (kaolen, muskovit, fenjit, feldspat-içeren kayalar, kuvars-içeren kayalar, montmorillonit, illit, hidroksil mineralleri (Mg-OH mineralleri ve FeOH mineralleri), klorit vs.),

- Ferro(II)demir ile birlikte seçilecek olan diğer iki parametrenin görüntüsünün oluşturulması (parlak piksel (beyaz tonları) görülene dek).

- Parlak piksel olan alanların kaydedilmesi ve koordinatlarının alınması,

- Belirlenen koordinatlarda/alanlarda saha çalışmalarının yapılması ve uzaktan algılama verileriyle saha gözlemlerinin karşılaştırılması.

Teşekkür

Yazar makaleye olumlu eleştirilerinden dolayı hakemlere teşekkür eder. Ayrıca makalenin dil ve anlatım özellikleri açısından değerlendirmeleri için Coğrafya öğretmeni Yahya Öztürk’e teşekkürlerini sunar.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarın makaleye katkı oranı %100’dür.

Çıkar çatışması beyanı

Makale ile ilgili herhangi bir kurum kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

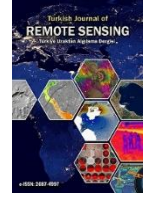
- Aita, S.K., Omar, A.E. (2021). Exploration of uranium and mineral deposits using remote sensing data and GIS applications, Serbal area, Southwestern Sinai, Egypt. *Arab J Geosci* **14**, 2214 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08568-0>
- Akıska, E., Karakaş, Z., Öztürk C., (2019).Uranium, Thorium and Rare Earth Element Deposits of Turkey, *Mineral Resources of Turkey*, Springer Nature, Switzerland.
- Alkan, A. (2019). Pınarbaşı Ofiyoliti ve Ofiyolit Tabanı Metamorfitlelerinin Jeokimyasal Özellikleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Haritalanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 145 s.
- Aydın, N. (2016), Temrezli, (Sorgun-Yozgat) Yatağının Jeolojisi, Jeokimyası ve İşletilebilirliğinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 132 s.
- Bishta, A. (2012). Utilities of Landsat 7 data and selective image processing in characterization of radioactivity zones of Wadi Baba–Wadi Shalal Area, Westcentral Sinai, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*. 6(9).
- Canbaz, O., & Gürsoy, Ö., & Gökce, A. (2020). Kaolin Dağılımının Spektral Sınıflama Yöntemleri ile Belirlenmesi: Geminbeli Kaolin Yatağı (Sivas) ve Çevresi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 10. 1085-1094.
- Canbaz, O., Gürsoy, Ö., Gökce, A., & Atun, R., (2018). ASTER SWIR Görüntülerinde Eşleşen Filtreleme Yöntemi ile Hidrotermal Alterasyon Zonlarının Tespiti: Zara Kuzeyi

- (Sivas/Türkiye), 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.
- Çörtük, R. M., Çelik, Ö., Alkan, A., Özkan, M., & Özyavaş, A. (2020). Distribution of rocks in Pınarbaşı Ophiolite from central Anatolia (Turkey) based on analysis of ASTER and Landsat-8 data. *Geological Journal*, 55. 10.1002/gj.3844.
- El-Taher, A., Abd elghany, M., Tolba, A., & Salaheldin, G. (2020). Radiation Detection Technology and Methods Evaluation of natural radioactivity and radiological hazards in basement rocks from Gabel Abu El-Hassan in the North Eastern Desert of Egypt by multivariate statistical approach with remote sensing data. *Radiation Detection Technology and Methods*. 5(1).
- Gürsoy, Ö. (2019). The Importance Of Digital Image Processing Of Satellite Image In Detecting Of Lithology. 4. *International Conference on Civil, Environmental, Geology and Mining Engineering*, Trabzon.
- Kavak, K. (2005a). Recognition of gypsum geohorizons in the Sivas Basin (Turkey) using ASTER and Landsat ETM+ images. *International Journal of Remote Sensing*, 26. 4583-4596. 10.1080/01431160500185607.
- Kavak, K. (2005b). Indication of geohazard risk and economic value of gypsum deposits in the Tertiary Sivas Basin (Turkey) using ASTER and Landsat ETM+ images. *RAST 2005 - Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Technologies.*, 2005. 573-576.
- Ramadan, T., Ibrahim, T., Said, A., & Bayoumi, M. (2013). Application of remote sensing in exploration for uranium mineralization in Gabal El Sela area, South Eastern Desert, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(2).
- Shalaby, M., Bishta, A., Roz M.E. & El Zalaky, M.. (2010). Integration of Geologic and Remote Sensing Studies for the Discovery of Uranium Mineralization in Some Granite Plutons, Eastern Desert, Egypt. *Journal of King Abdulaziz University : Earth Sciences.*, 21(1).
- Shebl, A., Csámer, Á., Abdellatif, M., & Abiad, M.. (2021). Lithological mapping enhancement by integrating Sentinel 2 and gamma-ray data utilizing support vector machine: A case study from Egypt. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 105(2021).
- Tözün, K. & Özyavaş, A. (2016). Niğde ve Kayseri Bölgelerinde yüzeylemiş kayaçların alterasyon özelliklerinin ASTER uydu görüntüleri yardımıyla tespit edilmesi. VI. *UZAL-CBS Sempozyumu, 2016*, Çukurova Üniversitesi, Vol.1
- Tözün, K. & Özyavaş, A. (2017). Alterasyonların Belirlenmesinde Mantıksal Operatör Algoritmasına Yeni Bir Yaklaşım: Kayseri Örneği, 70. *Jeoloji Kurultayı*, Ankara.
- Tözün, K., & Özyavaş, A., (2022). Automatic detection of geological lineaments in central Turkey based on test image analysis using satellite data. *Advances in Space Research*. 69(9).
- Yılmaz, H., (1982). Neojen Çökelleri İçindeki Uranyumun Oluşumu, *TMMOB Geol. Engineering*. 15. 2-19.
- Yongfei C., Fawang, Y. (2019). Research on the remote sensing prospecting model for typical uranium mining area along the Sino-Russian economic corridor. *Proc. SPIE 11023, Fifth Symposium on Novel Optoelectronic Detection Technology and Application*, 1102320.



© Author(s) 2021.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Görüntü Eşleştirme Kaynaklı Nokta Bulutu Üzerinden Otomatik Bina Çıkarımı ve Düzgünleştirme

Buray Karşlı*¹, Ferruh Yılmaztürk²

¹Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği A.B.D., Aksaray,, Türkiye

²Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Fotogrametri
Nokta Bulutu
Bina Çıkarımı
I-Octree
Sayısallaştırma

ÖZ

Harita bileşeni bina katmanı sınırlarının klasik veya uzaktan algılama verilerinden manuel olarak belirlenmesi zaman alıcı ve çaba gerektiren önemli bir işlemdir. Görüntülerden eşleştirme yöntemiyle üretilen nokta bulutları, yoğun ve doğruluğu yüksek üç boyutlu (3B) konum bilgisi içermektedir. Binaların 3B nokta bulutlarından otomatik olarak çıkarılması geometrik düzensizlikleri, çıkarılacakları nokta bulutu yoğunluğu ve hassasiyeti açısından zor bir problemdir. Bu çalışmada, voksel temelli sekizdal (Octree) veri organizasyon metodu otomatikleştirilerek iyileştirilmiş Octree (I-Octree) yaklaşımı geliştirilmiş ve görüntülerden üretilen nokta bulutları üzerinde bina detaylarının otomatik çıkarımı ve düzgünleştirilmesi amaçlanmıştır. Elazığ bölgesinde seçilen çalışma alanında 3B nokta bulutu görüntülerden üretilmiş, zemin ve zemin üstü objeler SMRF metodu ile ayıklanmış, DBSCAN algoritması ile bina objeleri görüntülerden ayıklanarak sınıflandırılmış ve sekizdal ile I-Octree yöntemlerinin sınıflandırılan objelere uygulanması ile ortaya çıkarılan bina detaylarına ABORE metodu ile kenar düzgünleştirme işlemi uygulanmıştır. Otomatik olarak çıkarılan bina verileri çalışma alanını içeren 1/1000 ölçekli hâlihazır harita referans verisi desteğiyle piksel tabanlı tamlik (Cp), doğruluk (Cr), kalite (Q) ve F-skor (F-1) metrikleri ile doğrulanmıştır. Doğrulama sonuçları her bir metrik için maksimum değer olarak %94 üzerinde elde edilmiştir. Görüntülerden üretilmiş nokta bulutları üzerinden, geliştirilen I-Octree yaklaşımı ile bina detayı çıkarılması noktasında hızlı ve ucuz bir harita üretimi sürecine katkıda bulunabileceği sonucuna varılmıştır.

Automatic Building Extraction and Regularization from Image Matching Based Point Cloud

Keywords:

Photogrammetry
Point Cloud
Building Extraction
I-Octree
Digitalization

ABSTRACT

Manually determining building layer boundaries with classical or remote sensing data is a time-consuming and effort-intensive process. Point clouds produced by matching from images contain dense and high-accuracy 3D information. Automatic extraction of buildings from 3D point clouds is a difficult problem in terms of geometric irregularities and the density and precision of the point cloud. In this study, the improved Octree (I-Octree) approach was developed by automating the voxel-based octree method, and automatic extraction and regularization of building details on point clouds produced from images are aimed. Point clouds were produced in study area (Elazığ region), ground and above ground objects were sorted by SMRF, building objects are classified by removing noise with DBSCAN algorithm, and Octree and I-Octree methods were applied to the classified objects, then the edges of the building details are smoothed with the ABORE method. Automatically extracted building data were validated with pixel-based completeness, accuracy, quality, and F-score metrics with the support of reference map containing the study area. Validation results were obtained for each metric above 94%. It was concluded that the I-Octree approach developed can contribute to a fast and inexpensive map production process at the point of extracting the building details.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA);

(buray8@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-1229-0300
(yilmazturk@aksaray.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8347-664X

Karşlı, B., Yılmaztürk F. (2022). Görüntü Eşleştirme Kaynaklı Nokta Bulutu Üzerinden Otomatik Bina Çıkarımı ve Düzgünleştirme. Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 4(1), 25-35.

Geliş Tarihi: 04/04/2022; Kabul Tarihi: 11/04/2022

Araştırma Makalesi/DOI: 10.51489/tuzal.1098240

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama teknolojileri objeler hakkında fiziksel kontak oluşturmadan bilgi edinilen teknolojilerdir. Geçmişten günümüze çok farklı alıcılarla uzaktan algılama verisi üretilerek uygulamalar yapılmıştır. Konumsal ve zamansal çözünürlüğün artması ile bu veriler detay çıkarımı, kıyı çizgisi belirleme ve yol çıkarımı gibi çalışmaların ana kaynağını oluşturmaya başlamışlardır (Lai vd., 2019; Marullo vd., 2018). Özellikle kentsel alanların ana bileşeni bina detaylarının uzaktan algılama teknolojileri ile çıkarımı ilgili teknolojinin hızlı, etkin ve ekonomik olduğundan ana çalışma konusu olarak ön plana çıkmıştır. Bina çıkarma ve düzleştirme, şehir planlama ve arazi yönetimi gibi farklı uygulama alanları için bilgi edinmenin en önemli yoludur. Çeşitli uzaktan algılama teknolojileri arasında, LiDAR ve görüntülerden eşleştirme teknikleri ile üretilerek üç boyutlu (3B) özellikler sağlayan nokta bulutları bina çıkarımı için en önde gelen önemli araçlardır (Lai vd., 2019). Görüntü eşleştirme teknolojilerinin gelişmesi ile 3B bilgi üretimi araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. 3B bilgi çıkarımı uygulamaları sayısal yükseklik modeli üretimi ile arkeoloji, topoğrafik izleme, kültürel mirası koruma, orman ve tarımsal modelleme gibi birçok alanda gerçekleştirilmiştir (Christian Rose vd., 2015; Shao vd., 2016). Lazer tarama ile doğru, yoğun ve bütünleşmiş 3B veri üretilebildiğinden, bu teknoloji son yirmi yıldır tercih edilmektedir. Son yıllarda, fotogrametri ve bilgisayarla görüş alanındaki önemli gelişmeler, görüntü tabanlı eşleştirme ile 3B veri üretimi, lazer teknolojisi için önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Rau vd., 2015; Shao vd., 2016).

Literatürde veri tipine göre bina çıkarımı ve düzenleme için kullanılan metotlar genel olarak üç grupta toplanmaktadır. Birinci grup metotlar, direkt fotoğrafik görüntülerden 2B veya 3B bilgi çıkarımına dayanmaktadır. İkinci grup yöntemler sadece LiDAR verisi kullanırlar. Üçüncü grup yöntemler ise karma içerikli olup, LiDAR ve fotogrametrik görüntüleri entegre biçimde kullanarak bina çıkarımı gerçekleştirir (Siddiqui vd., 2016). Veri işleme stratejisine göre de bina çıkarım metotları veri tabanlı (data-driven), model tabanlı (model-driven) ve her iki metodu kullanan hibrit metot olmak üzere üç kategoriye ayrılır (Hermsilla vd., 2011; Siddiqui vd., 2016; Lai vd., (2019), nokta bulutundan bina çıkarımı için, LiDAR nokta bulutu ve görüntülerden alınan doku özelliklerinin birlikte kullanımından oluşan bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem kullanılarak %87'yi aşan tatmin edici bir bina çıkarımı doğruluğu elde edilmiş olup, verimli ve geçerli bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır. Siddiqui vd., (2016), küçük ve şeffaf bina çatılarının tespitinde yaşanan sınırlama zorluklarını gidermek adına eğim tabanlı bina çıkarımı yöntemini önermişlerdir. Önerilen yöntemin performansı, nesne ve piksel tabanlı metrikler kullanılarak iki

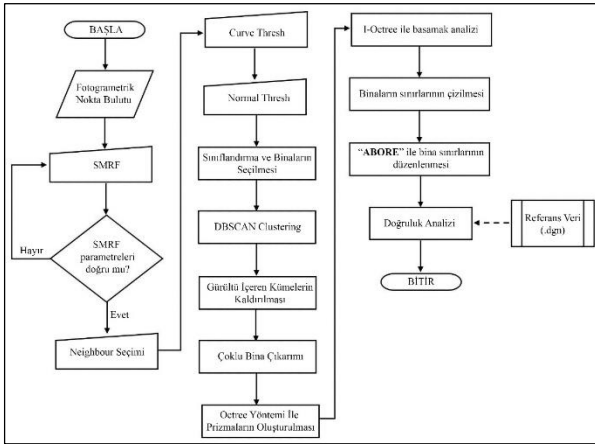
referans veri seti üzerinde değerlendirilmiş ve ağaçları ortadan kaldırmada, her büyüklükteki binayı çıkarmada ve şeffaf çatılı ve çatısız bina çıkarımında etkinliğini göstermektedir. Gilani vd., (2016), nokta bulutu ve ortofoto özellikleri kullanılarak binaları çıkarmak ve düzenlemek için bir metodoloji geliştirmişlerdir. Dal Poz ve Yano Ywata, (2020), LiDAR verilerinde binaların çatı düzlemlerini bölümlere ayırmak için üç aşamalı bir yöntem önermişlerdir. LiDAR bina noktalarının tutarlılığını kontrol etmek için Random Sample Consensus (RANSAC) algoritmasını kullanmışlardır. Sonuçlar, önerilen yöntemin düzgün çalıştığını göstermektedir. Sun ve Wang, (2018), bina sınırının çıkarılmasında yaygın olarak kullanılan, ancak genellikle ağaç ve arka plan karışıklıkları nedeniyle kısmen önyargılı bina sınırı çıkarılmasıyla sonuçlanan bir segmentasyon yöntemi olan aktif kontur modelini (ACM) kullanmışlardır. Önerilen yöntemlerin iki veri setinden beş test alanında bina sınırlarını verimli bir şekilde çıkarabileceğini göstermektedir. Bulatov vd., (2014), binaları etiketleyerek vejetasyon ve hatalı noktaları normalize edilmiş sayısal yükseklik modelinden çıkarmış ve bina sınırlarını etiketli pikseller ile grafik tabanlı ortofoto segmentasyonu ile ortaya çıkarmışlardır. Li vd., (2016) grafik kesme tabanlı Markov modeli ile farklı açılardan çekilmiş görüntülerden üretilen noktaları sınıflandırmak suretiyle bina, ağaç ve zemini ayırmışlardır. Ardından RANSAC ile bina çatı düzlemlerini ortaya çıkarmışlardır. Yan vd., (2017) rastgele doku segmentasyon yöntemini kullanarak sayısal yükseklik modeli üzerinden bina ayak izlerini ortaya çıkarmışlardır. Bina çıkarımı amaçlı olarak derin öğrenme tabanlı görüntü segmentasyon yöntemleri de geleneksel yöntemleri ile birlikte kullanılmıştır (Z. Cao vd., 2019; Ji vd., 2019). 3B bina çıkarımı için farklı yazarlar tarafından literatüre yeni çalışmalar da kazandırılmıştır (F. Alidoost ve Arefi, 2015; Jayaraj ve Ramiya, 2018; Malihi vd., 2016; Nan ve Wonka, 2017). Fotogrametrik yoğun eşleştirme metotları ile nokta bulutu üretimindeki gelişmeler son yıllarda bina çıkarımı için makine öğrenme tabanlı tekniklerin geleneksel tekniklerin yerini aldığını ortaya koymaktadır (Kendall vd., 2017; Liu ve Ji, 2020; Wu vd., 2019; F. Zhang vd., 2019). Literatürde bina çatı yüzeylerini ayrı ayrı olarak çıkarabilen algoritmalar da mevcuttur (Fateme Alidoost vd., 2019; Gilani vd., 2016).

Bu çalışmada, fotogrametrik görüntülerden eşleştirme metodu ile üretilen yoğun nokta bulutları içerisinde mevcut bina ayak izlerinin, vokal kaynaklı sekizdal veri organizasyon metodunun basamak sayısı otomatikleştirilerek çıkarılması için geliştirilen yeni bir yaklaşım (iyileştirilmiş Octree, I-Octree) önerilmiştir. Yaklaşım, 3B nokta bulutlarının fotoğraflardan eşleştirme ile üretilmesi, zemin ve zemin üstü objelerin çıkarılması ve bina objelerinin görüntülerden ayıklanarak sınıflandırılması, sekizdal ve I-Octree yaklaşımının sınıflandırılan objelere

uygulanması ile bina detaylarının çıkarılması ve literatürde mevcut ABORE (Otomatik Bina Sınır Düzgünleştirme Yaklaşımı) metodu ile bina kenarlarının düzgünleştirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Elâzığ bölgesinde seçilen test alanında üretilen sonuçlar literatürde mevcut doğruluk analizi metotları ile değerlendirilerek tatmin edici sonuçlar üretilmiştir. Üretilen bina kenar detaylarının direkt olarak harita katmanı biçiminde kullanılıp kullanılmayacağı da 1/1000 ölçekli referans harita verileri ile test edilmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, dijital hava kamerası ile çekilmiş yüksek çözünürlüklü fotogrametrik görüntülerden üretilen nokta bulutundan SMRF (Simple Morphological Filtering) ve Octree yöntemleri ile binaların çıkarılması ve ardından ABORE ile bina sınırlarının düzenlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. SMRF yöntemi ile nokta bulutu ağaç, bina ve zemin sınıflarına genel olarak ayrılmış, Octree yaklaşımını esas alan ve otomatik basamak sayısını tespit eden I-Octree ile yaklaşık bina sınıfı içinden net bir biçimde bina çatı noktaları otomatik olarak tespit edilmiştir. Bina kenar noktaları üzerinden düzgünleştirme işlemi ise ABORE yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemin akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.

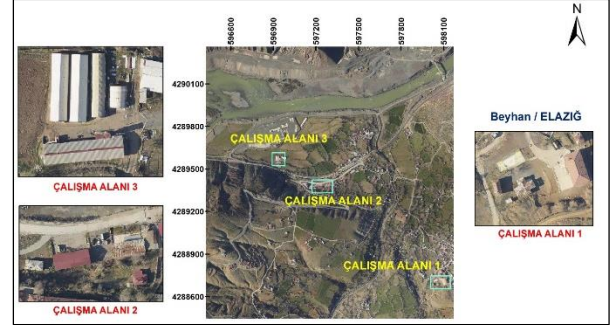


Şekil 1. Önerilen yöntemin genel akış şeması

2.1. Çalışma Alanı

Önerilen yaklaşımın uygulaması seçilen uygulama alanına ait veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test alanında tekli, ikili, üçlü ve çoklu bina kombinasyonları oluşturacak şekilde alt veri grupları oluşturulmuştur. Test alanında klasik dijital fotogrametrik kamera ile görüntü almı yapılmış olup, bu görüntülerden seçilen örnekler üzerinde eşleştirme işlemi ile nokta bulutu üretilmiştir. Test alanı Elâzığ ili, Palu İlçesi, Beyhan Belde sınırlarını içeren alan olarak seçilmiştir (Şekil 2). Belde, Palu, Bingöl ve Diyarbakır arasında bulunan Ak Dağlar tarafından çevrelenmektedir. Belde'nin alanı 1050 km² olup, merkezinin denizden

yüksekliği 840 metredir. Belde tipik doğu Anadolu belde karakterini yansıtmakta, alanda seyrek sayıda binalar ve yeşil alanların mevcudiyeti söz konudur. İlgili test alanında 1/1000 ölçekli Sayısal Fotogrametrik Harita Üretimi amacıyla 2021 yılı Nisan ayında fotogrametrik uçuşlar yapılmış, 1/1000 ve 1/5000 ölçekli vektör ve raster haritalar üretilmiştir. Test alanı için dijital hava fotoğrafları araziden ortalama 1175 m yükseklikten %65 boyuna ve %25 enine bindirme oranı ile Phase One iXM-RS150F kamerası ile çekilmiştir. Çekilen görüntüler çok bantlı (RGB) olup, yer örnekleme aralığı (YÖA) 9 cm civarındadır.



Şekil 2. Test Alanı (Beyhan/Palu/Elâzığ)

2.2. Kamera ve Veri

Çalışma kapsamında uygulama alanı içerisinde farklı bina adedi kapsayacak şekilde seçilen alt çalışma alanları belirlemek suretiyle veri setleri üretilmiştir. Ana veri seti temini için dijital hava kamerası kullanılmıştır. Sözü edilen kamera sistemine ilişkin özellikler Tablo 1’de detaylı bir biçimde sunulmuştur.

Tablo 1. Kamera sistemi özellikleri

Ölçü Sistemi/Özellik	Dijital Hava Kamerası
Sensör/Alıcı	Phase One iXM-RS150F
Piksel Boyutu (µm)	3,76
Çözünürlük	14204×10652
Kamera Sabiti (mm)	51,78
YÖA (cm)	9
Uçuş Yüksekliği	1175
Bindirme Oranları	65/25

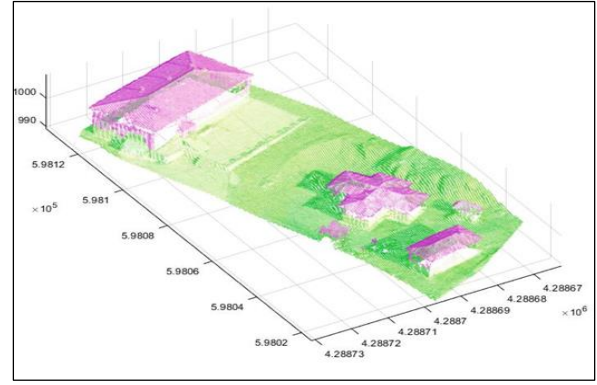
Dijital hava kamerası kullanmak suretiyle renkli hava fotoğrafları çekilmiştir. Bu hava fotoğrafları içinden seçilen her biri 5 fotoğraftan oluşan 5 kolonda mevcut görüntülere (25 fotoğraf) görüntü eşleştirme metodu uygulanarak yoğun nokta bulutları üretilmiştir. Fotogrametrik eşleştirme yöntemi ile üretilen nokta bulutu yoğunluğu 49,50 nokta/m²'dir. Test alanında üretilen toplam nokta sayısı ise 186.894.974 adettir.

2.3. Eşleştirme Metodu ile Yoğun Nokta Bulutu Üretimi

Çalışma için seçilen test alanına ait dijital hava fotoğrafları üzerinde bina detaylarının nokta bulutundan çıkarımı için ilk aşama, bu fotoğraflardan görüntü eşleştirme teknikleri kullanılarak nokta bulutu verisinin üretilmesidir. Bu sebeple çalışma bölgesine ait veri seti Agisoft Metashape Profesyonel Yazılımı ile detay eşleştirme işlemine tabi tutularak yoğun nokta bulutu üretimi gerçekleştirilmiştir. İlgili yazılım, literatürde yaygın olarak bilinen ve detay çıkarma amaçlı kullanılan SIFT (Scale Invariant Feature Transform) eşleştirme algoritması matematik temeline dayalı olarak eşleştirme yapılabilir. Eşleştirme için görüntülerin dış yöneltme elemanları ve kamera iç yöneltme elemanları girdi verisi olarak kullanılmıştır. Üretilen nokta bulutu doğruluğu, detay yüzeyi kalitesine, bindirme oranı ve yöneltme parametrelerinin doğruluğuna direkt bağlıdır. Bu açıdan mümkün olduğunca yüksek bindirmeli görüntülerin kullanımı hem birim alana düşecek nokta sayısını hem de koordinatı hesaplanacak noktaların mutlak doğruluğunu ciddi düzeyde etkilemektedir.

2.4. Zemin ve Zemin Üstü Sınıfların Çıkarılması

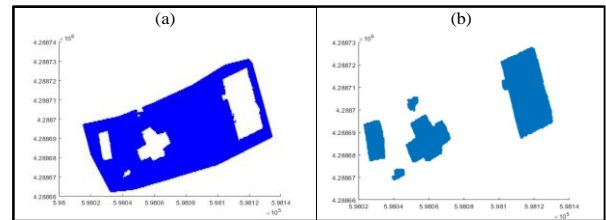
Fotogrametrik görüntülerden üretilen nokta bulutu üzerinden zemin çıkarım işlemi için öncelikle veri seti 3B olarak MATLAB ortamında görsel hale getirilmiştir. Bu işlemi takiben SMRF algoritması ile nokta bulutu zemin ve zemin üstü noktalar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır (Şekil 3). SMRF algoritması MATLAB yazılımında mevcut *"segmentGroundSMRF"* fonksiyonu ile çalıştırılmıştır. Bu algorithmada dört adet parametre yer almaktadır. Bu parametreler, *"Max Window Radius"* (yapılandırma elemanı maksimum yarıçapı), *"Slope Threshold"* (eğim eşiği), *"Elevation Threshold"* (yükseklik eşiği) ve *"Elevation Scale"* (yükseklik eşiği ölçekleme faktörü) şeklinde tanımlanmaktadır. Bu parametreler kullanıcı tarafından değerlendirilerek arazi topoğrafyasına göre en uygun seçim yapılır. Çalışmada sadece *"Elevation Scale"* değişkeni sabit bırakılmış, diğer parametreler farklı olacak şekilde veri setine göre seçilmiştir. Şekil 3'te mor renkli bölgeler zemin üstü noktaları gösterirken, yeşil renkli bölgeler zemin noktalarını temsil etmektedir.



Şekil 3. SMRF ile zemin ve zemin üstü noktaların ayrımı

2.5. Yeşil Alanların Nokta Bulutundan Ayıklanması

SMRF metodu ile iki sınıfa ayrılan nokta bulutuna ait geometrik özellikler (eğrilik, normal ve komşuluk) MATLAB ortamında mevcut *"helperExtractFeatures"* fonksiyonu kullanılarak çıkarılmıştır. Sözü edilen fonksiyonla her bir nokta için eğrilik, normal ve komşuluk indeksleri belirlenmiştir. Uygulama aşamasında komşu nokta sayısı (neighbors points) 15 olarak alınmıştır. Bu aşamada normaller ve eğrilikleri kullanarak SMRF sonucu üretilen zemin üstü noktalar, bina ve bitki örtüsü olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Zemin üstü noktalarını, bitki örtüsü ve bina noktası olarak ayırabilmek için *"helperClassify"* fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyonun çalışabilmesi için *"curveThresh"* ve *"normalThresh"* eşik değerleri belirlenmelidir. Gerçekleştirilen uygulamada normal eşik değeri 0,85 sabit değeri ile çalışırken, eğrilik eşiği ise değişiklik gösterebildiği tespit edilmiştir. Sınıflandırılan zemin noktaları Şekil 4a'da, *"helperClassify"* fonksiyonu ile çıkarılan bina noktaları ise Şekil 4b'de gösterilmektedir. Şekil 4'ten görüldüğü üzere, sınıflandırma işlemi için belirlenen eşik değerleri uygun sonuca ulaşmasını engelleyebilmektedir. Ayrıca bitki örtüsüne veya diğer bina dışı nesnelere ait olabilecek noktaları (gürültü) da bina noktası olarak etiketlemektedir.

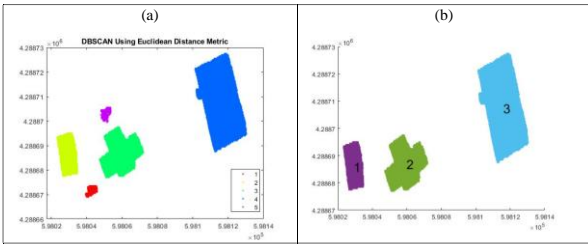


Şekil 4. Zemin ve bina noktalarının sınıflandırılması (a ve b)

2.6. DBSCAN ile Binaların Sınıflandırılması

Sınıflandırılan bina noktaları içinde belirlenen eşik değerine göre çeşitli gürültülerle karışabilmektedir. Bu gürültüleri gidermek için öncelikle DBSCAN kümeleme algoritması ile bina noktaları kümelenir

(Şekil 5a). DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) kümelemesi için “Epsilon” ve “Minpts” parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Uygulamada “Minpts” parametresi veri setinin nokta yoğunluğu ile eşleştirilmiştir ve hesaplanan nokta yoğunluğu en yakın tam sayıya yuvarlanıp otomatik olarak o değışkene atanmıştır. “Epsilon” parametresi ise genellikle 1, 2 veya 3 değerleri seçildiğinde kümeleme sorunsuz bir biçimde çalışmaktadır. DBSCAN algoritması bitişik sınır nesnelere kümelendirmesinde kararsız hale gelebilmektedir (Ester vd., 1996; T. N. Tran vd., 2013). Bu durum kümeleme algoritmasının tam otomatik olmadığını ve veri setine göre değışiklik gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Fakat uygulamada genellikle sabit değışler ile sonuca ulaşılabildiği de gözlemlenmiş ve tespit edilmiştir.

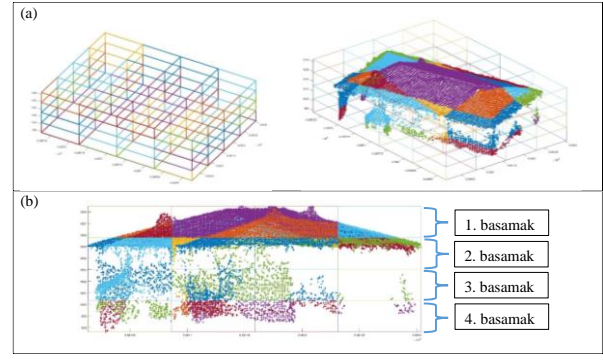


Şekil 5. DBSCAN algoritması ile bina nokta kümelendirmesi (a ve b)

DBSCAN algoritması ile gerçekleştirilen kümeleme sonucu gürültü oluşturabilecek kümelerin tespit edilip ayıklanması gerekmektedir. Bu durumda veri setinin nokta yoğunluğu, bir binanın oluşturabileceği minimum alan ile çarpılır. Uygulama için minimum bina alanı 70 m² olarak seçilmiştir. Çarpım sonucu çıkan sayısal değış, DBSCAN tarafından belirlenen bütün kümeler ile karşılaştırılarak sadece binalara ait nokta kümeleri üretilmiştir (Şekil 5b).

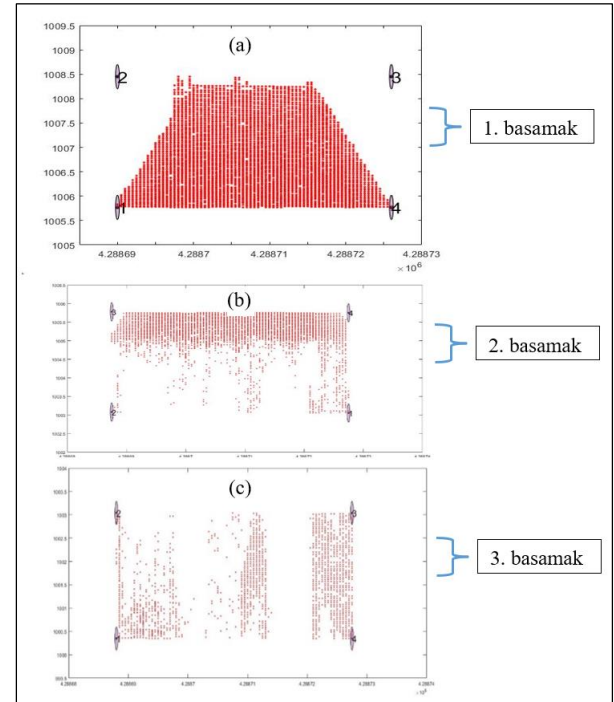
2.7. İyileştirilmiş Octree (I-Octree) ile Bina Çatı Detaylarının Çıkarılması

Bu aşamaya kadar uygulanan yöntemlerle üretilen üç boyutlu bina noktaları incelendiğinde, bina çatı noktalarının dışında duvara ait noktaların da varlığı tespit edilmiştir. Belirlenen bina kümelerinden sadece çatıya ait noktaların seçilmesi ve duvar noktalarının olabildiğince ayıklanması gerekmektedir. Bu problemin çözümü için literatürde mevcut “Octree” metodu iyileştirilmek suretiyle I-Octree adıyla yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Octree yönteminin temeli binaya ait nokta bulutunun farklı sayıda eş prizmalar ile temsil edilmesine dayanmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Octree yöntemi ile prizma oluşturma; a) Prizmalar, b) Octree için oluşturulan basamak sayısı

Şekil 6’daki örneğe göre, Octree yöntemi ile nokta bulutu 4 basamak ve her basamakta 16 prizma olmak üzere 64 eşit prizmaya bölünmüştür. Basamak sayısı “Depths” parametresi ile doğru orantılıdır. Uygulamada bu değış 3 olarak seçilmiştir. MATLAB ortamında yazılan kod ile her bir prizmanın içindeki ve her bir basamaktaki noktalar otomatik olarak kümelere ayrılmıştır. Fakat belirlenen basamakların hepsi çatı noktalarını içermediği için tüm basamaklar arasında bir karar mekanizması oluşturulması gerekmektedir. Özetle, her bina için Octree yöntemi uygulanır. Oluşan her binada hangi basamağın çatıya ait olabileceği tespit edilmesi gerekmektedir. Buna çözüm üretebilmek için ifade edilen İyileştirilmiş Octree yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yeni yaklaşımda, nokta bulutu Y-Z düzlemi, X-Z düzleminde analiz edildiği çatı profillerinin iki boyutta çıkardığı gözlemlenmiştir. Bunun için her basamağın profili incelenmiştir. Sonra her bir basamak için MBR (Minimum Bounding Rectangle) algoritması ile basamak profillerinin köşe noktaları tespit edilmiştir (Şekil 7).

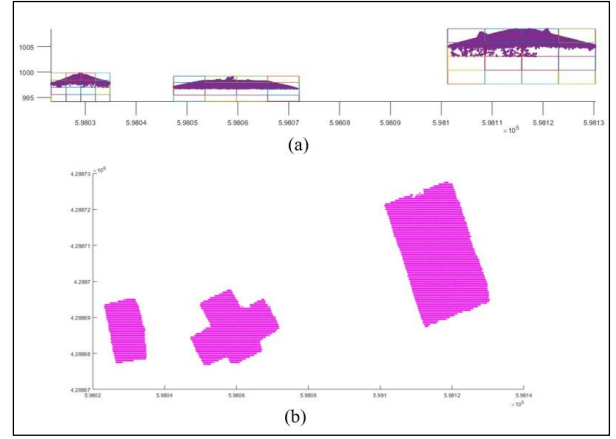


Şekil 7. MBR algoritması ile basamak analizi; a) 1. basamak, b) 2. basamak, c) 3. basamak

Şekil 7’de binanın ilk üç basamağına ait (X-Z) düzleminde profil gösterilmiştir. Şekillerdeki 1, 2, 3 ve 4 numaralı köşe noktaları MBR algoritmasının ilgili nokta bulutunun (2 boyutta) minimum alana sahip olacak dörtgenin köşe noktalarını göstermektedir. Bu köşe noktalarından “polybuffer” fonksiyonu ile 0,1 m yarıçapında buffer zonları geçirilmiştir. Her bir basamaktaki buffer’lardan sadece en üstteki iki buffer ele alınmıştır. Bu iki buffer içinde nokta bulunmuyorsa, ilgili basamak ele alınan binanın çatı noktalarını içermektedir. Eğer ilgili basamağın üstünde bulunan iki buffer içinde de nokta bulunuyorsa, incelenen bu basamak binanın duvarını temsil etmektedir. Genellikle binaların 1. basamaklarındaki profiller üçgen, ters yamuk, eğrisel veya çatısı olmayan bina tipinde ortaya çıkmaktadır. Üçgen, ters yamuk ve eğrisellik içeren çatılarda ilk birkaç basamak bu koşulu sağlar iken, çatısız binalarda daha ilk basamak dahil tüm basamakları duvar olarak algılanmaktadır. Bu yüzden eğer ilk basamakta buffer içinde kalan nokta var ise bu durumda ilgili binanın 1. veya ilk 2 basamağı alınması gereklidir. Çatısı olmadığı için profilden tüm basamaklar aşağıya doğrusal bir şekilde inmektedir. Tüm bu koşulların dışında göz ardı edilmemesi gereken bir diğer husus ise uygulamada hangi düzlemin doğru sonucu verebileceğine karar verebilmektir. Eğrisel bir bina tipi (X-Z) düzleminde profili incelendiğinde, üçgene yakın sonuç vereceği için koşullandırma doğru çalışabilecektir. Fakat (X-Z) eksenini binanın çatısındaki eğriselliği gösteremediği durumda sonuç doğru olmayacaktır. Kısacası oluşturulan algoritma (X-Z) veya (Y-Z) düzlemlerinden birini temel alarak koşullandırmasını tamamlamalıdır. I-Octree yaklaşımının temelini oluşturan düzlem belirleme koşulları aşağıda sıralanmıştır.

- Her iki düzlem sonucunda da binanın, ilk basamağının üstteki iki buffer’ında da nokta bulunmuyorsa iki düzlemden herhangi bir tanesi seçilebilir,
- (X-Z) düzleminin ilk basamağının üstteki iki buffer’ında nokta bulunuyor ve (Y-Z) düzleminde nokta bulunmuyorsa, ilgili bina (Y-Z) düzleminde işleme devam eder,
- (Y-Z) düzleminin ilk basamağının üstteki iki buffer’ında nokta bulunuyor ve (X-Z) düzleminde nokta bulunmuyorsa, ilgili bina (X-Z) düzleminde işleme devam eder,
- Her iki düzlemde de buffer içinde nokta bulunuyorsa bu bina çatısız bina tipindedir, herhangi bir düzlem seçilebilir

Düzlem koşulları ve basamak analizleri tamamlandıktan sonra her bir binanın çatısına ait olabilecek noktalar I-Octree yaklaşımı ile otomatik bir şekilde belirlenmektedir (Şekil 8). Böylece Octree ile üretilen eş prizma ve basamak sayısının otomatizasyonunu sağlayan I-Octree yaklaşımı ortaya konmuştur.



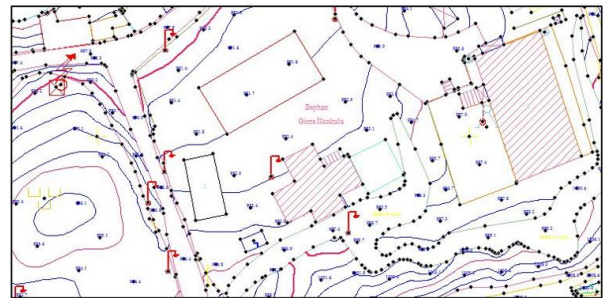
Şekil 8. I-Octree ile basamak analizi sonuçları; a) Y-Z düzlemi, b) Y-X düzlemi

2.8. Bina Kenarlarının Düzgünleştirilmesi

I-Octree yöntemi ile bina çatısına ait noktalar çıkarılmıştır. Bu noktalar içerisinden seçilecek noktalar ile bina çatısının dış sınırının çıkarılması ve ardından düzenlenmesi gerekmektedir. Bu işlem için öncelikle “boundary” fonksiyonu ile bina çatısının dış sınırı çizdirilmiştir. Bu sınır düzensiz bir yapıya sahiptir. Temel harita katmanı olan binanın dış sınırının zikzaklı ya da düzgün olmayan bir yapıda temsil edilmesi yanlıştır. Bu sebeple bina sınırının düzensiz yapıdan ortogonal (dik) yapıya dönüşümü sağlanmalıdır. Bina çatı sınırının regülasyonu ya da düzgünleştirilmesi için literatürde mevcut ABORE metodu kullanılmıştır (Özdemir vd., 2021).

2.9. Referans Verisi (Halihazır Harita)

Bu çalışma için kullanılan Beyhan (Palu/Elazığ) veri seti 1/1000 ölçekli vektör haritası (hâlihazır) Şekil 9’da sunulmuştur. Söz konusu halihazır harita çalışma bölgesinde 2021 yılında gerçekleştirilen fotogrametrik proje sonucu üretilmiştir. Önerilen yöntem için mevcut bulunan vektör harita, referans olarak kabul edilmiştir ve uygun değerlendirme ölçütleri ile doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma amacı gereği hâlihazır haritadaki ilgili binalar, Global Mapper programında poligon (alan) şeklinde manuel olarak çıkartılmış ve doğruluk değerlendirmesine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 9. Veri seti referans (vektör) haritası

2.10. Doğruluk Analizi

Düzenlenen bina sınırları referans altlıklar ile ilişkilendirilerek doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Doğruluk analizi ile, etiketlenen verilerle gerçek etiketlerin karşılaştırılması üzerine başarı ölçülmektedir. Bu çalışmada doğruluk değerlendirmesi için tamlık (1), doğruluk (2), kalite (3) ve F-skor (4) piksel tabanlı metrikleri kullanılmıştır. Doğruluk metriklerinin hesaplanması için referans ve tespit edilen bina sınırları için Doğru Pozitif (TP), Yanlış Pozitif (FP) ve Yanlış Negatif (FN) değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. F-skor değeri, recall (geri çağırma) ve precision (doğruluk) metriklerinin harmonik ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Doğru pozitif (TP), bir ön plan nesnesi olarak sınıflandırılan referans verilerindeki bir nesneye karşılık gelen pikselleri gösterir. Yanlış negatif (FN), referansta arka plan olarak sınıflandırılan bir ön plan nesnesine karşılık gelen pikselleri temsil eder ve yanlış pozitif (FP) ise, bir ön plan nesnesi olarak sınıflandırılan referans verilerinde bir ön plan nesnesine karşılık gelmeyen pikselleri gösterir (Karsli vd., 2016; Rutzinger vd., 2009).

$$C_p = \frac{|TP|}{|TP|+|FN|} \quad (1)$$

$$C_r = \frac{|TP|}{|TP|+|FP|} \quad (2)$$

$$Q = \frac{|TP|}{|TP|+|FN|+|FP|} \quad (3)$$

$$F - 1 = \frac{|TP|}{|TP|+1/2(|FN|+|FP|)} \quad (4)$$

3. BULGULAR

Çalışmada seçilen test alanında, yöntem bölümünde detayları anlatılan I-Octree yöntemi ile bina detayları otomatik olarak çıkarılmış, çıkarılan bina kenarları ABORE yöntemi ile düzgünleştirilmiştir. Bu bölümde öncelikle, veri setine yönelik nokta bulutundan çıkarılan bina detaylarına ilişkin nicel ve nitel sonuçlar sunulmuştur. Nicel analiz literatürde genel geçer ve kabul görmüş piksel tabanlı değerlendirme tamlık (Cp), doğruluk (Cr), kalite (Q) ve F-skor (F-1) metrikleri kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, nitel değerlendirme ise çalışma alanı için temin edilen 1/1000 ölçekli halihazır harita ile yapılmıştır. İkinci olarak, nitel sonuç bağlamında bina kenar detayı çıkarımı ya da vektörleştirme sonuçları değerlendirilmiştir. Test alanı verilerini oluşturan fotogrametrik nokta bulutu, fotogrametrik görüntülerden yoğun eşleştirme yöntemi ile elde edilmiştir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için görüntülerin yönlendirilmesi ve eşleştirme aşamalarına ihtiyaç vardır. Özellikle eşleştirme aşamasında, özellik seçimi, karşılıklı eşleşmeler, yama eşleşmesi

ve yöneltme parametrelerinin hassas tespiti gibi birçok faktör nokta bulutunu kalitesini etkilemektedir. Test verisi fotogrametrik yöntemle hâlihazır harita üretimi için çekilen görüntüler üzerinde fotogrametrik eşleştirme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Çalışma alanı nokta bulutu üretimi Agisoft Metashape Profesyonel programı yardımıyla bölgeye ait bindirmeli görüntüler ile gerçekleştirilmiştir. Proje sahası için yöneltme bilinmeyenleri temin edilerek 3B nokta bulutuna ait her noktanın ilgili datum ve projeksiyonda koordinatları üretilmiştir. Test alanı farklı sayıda ve geometrik yapıda binaları içerecek şekilde üç alt çalışma alanına bölünmüştür. Bu alt alanlarda binalar "A1-A3", "B1-B5" ve "C1-C5" harfleri ile gösterilmektedir. 1/1000 ölçekli halihazır harita nicel doğrulama metrikleri hesabı için kullanılmış, ayrıca üretilen bina sınırları bu harita ile aynı referansa getirilmek suretiyle de görsel yorumlama ve değerlendirme yapılmıştır.

Test alanında seçilen alt çalışma bölgeleri için yapılan nicel değerlendirmede Cp, Cr, Q ve F-1 değerleri elde edilmiştir (Tablo 2). Tablo 2'de yersel doğrulama verisi kullanılarak dört farklı metrik sonuç üretilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, 1/1000 ölçekli doğrulama haritası kullanılarak yapılan değerlendirmede, bütün bina gruplarının mevcut olduğu alt çalışma alanlarında, tamlık metriğinin maksimum 0.9949, ortalama değer ise 0.9324, doğruluk metriğinin maksimum 0.9818, ortalama değer 0.9021, kalite metriği için maksimum 0.9470, ortalama değer 0.8471, F-1 metriğinin ise maksimum 0.9728, ortalama değer 0.9158 olduğu tespit edilmiştir. Doğrulama haritası ve tüm bina alt gruplarının seçimi ile yapılan değerlendirmelerde önerilen I-Octree yaklaşımı sonuçları literatürle karşılaştırıldığında ideal düzeyde olduğu görülmektedir (Tablo 2). Seçilen bina grupları arasında A ile temsil edilen grubun geometrik olarak düzgün oluşu ve binaları temsil eden noktaların özellikle kenar bölgelerde mevcut oluşu doğruluk düzeyini artıran önemli bir etkidir.

Tablo 2. Test alanı doğruluk analizi sonuçları

Çalışma Alanı- Bina No	1/1000 Ölçekli Referans			
	Cp	Cr	Q	F-1
A-1	0.9266	0.9689	0.8998	0.9473
A-2	0.9949	0.8684	0.8645	0.9273
A-3	0.9640	0.9818	0.9470	0.9728
B-1	0.9311	0.9451	0.8833	0.9380
B-2	0.9295	0.9662	0.9002	0.9475
B-3	0.9254	0.8573	0.8019	0.8901
B-4	0.9097	0.9506	0.8686	0.9297
C-1	0.9398	0.9302	0.8778	0.9349
C-2	0.9877	0.8818	0.8722	0.9317
C-3	0.8789	0.8702	0.7771	0.8745
C-4	0.8633	0.8080	0.7163	0.8347
C-5	0.9374	0.7970	0.7567	0.8615
Ortalama	0.9324	0.9021	0.8471	0.9158

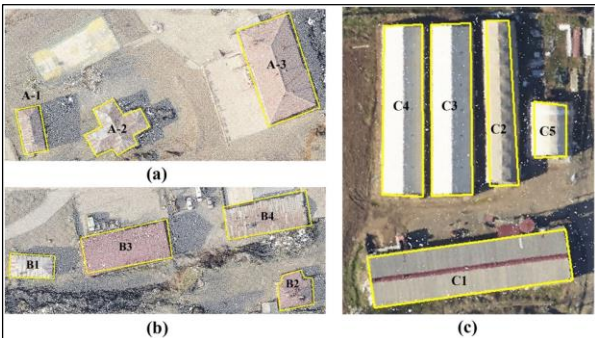
Klasik sekizdal veri organizasyon yönteminde veri içerisinde binayı temsil eden noktaların

otomatik çıkarımı mümkün olmamakta ve basamak sayısı bu sebeple tespit edilememektedir. Önerilen yöntemin temel özelliği Tablo 2’te sunulan doğruluk düzeylerine ulaşmada binaya ait noktaların kaçınıcı basamak ya da seviyede olabileceğini otomatik tespit etmesidir. Çalışmada önerilen yaklaşımla test alanı için seçilen binaların hangi basamakta tespit edildiği Tablo 3’te sunulmaktadır. Tablo 3’e göre bina çatı en üst noktası esas alınmak suretiyle üretilen basamak sayısı A ve B ile temsil edilen binalarda maksimum 3 iken C ile temsil edilen binalarda ise maksimum 4 basamak olarak belirlenmiştir. Böylece klasik sekizdal yönteminde nokta bulutu içerisinde binaya ait noktaların tespiti için sınırlandırılmayan basamak seviyesi de önerilen yöntemle otomatize edilerek sınırlandırılmıştır.

Tablo 3. Test alanı bina sınır tespiti basamak sayıları

Bina No	Bina Çatı Çıkarımı Basamak Sayısı (<i>t-Octree</i>)
A-1	1-2
A-2	1-2
A-3	1-3
B-1	1-2
B-2	1-3
B-3	1-2
B-4	1-2
C-1	1-2
C-2	1-2
C-3	1-4
C-4	1-4
C-5	1-4

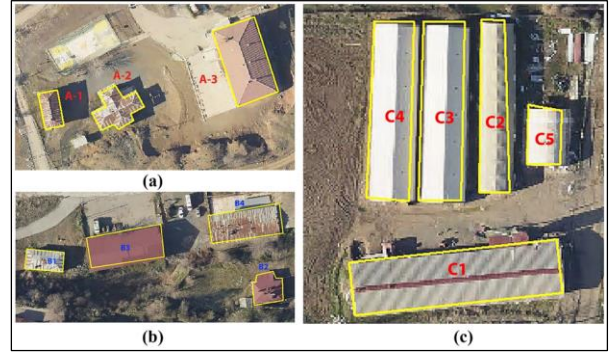
Nitel değerlendirme açısından test alanında seçilen alt çalışma alanlarında mevcut binalar için üretilen sınırlar sırasıyla nokta bulutu, ortofoto ve 1/1000 ölçekli vektörel harita ile aynı referans sisteminde temsil edilmiştir. İlgili sonuçlar nokta bulutu için Şekil 10, ortofoto için Şekil 11 ve referans harita için Şekil 12’te sunulmuştur. Üç farklı sonuç ürün görsel yorumlandığında, nicel sonuçları destekler nitelikte sonuç değerlere ulaşıldığı net bir biçimde görülmektedir.



Şekil 10. Test alanı bina kenar bilgileri ve nokta bulutu; a) A1-A3 alt bölgesi, b) B1-B4 alt bölgesi, c) C1-C5 alt bölgesi

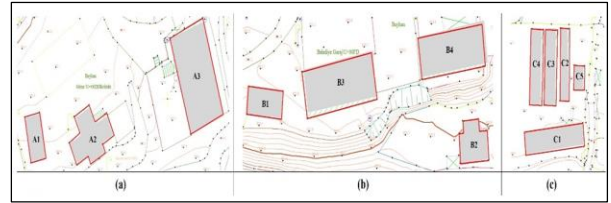
Şekil 10 incelendiğinde özellikle B ve C ile temsil edilen binaların çıkarımının A ile temsil edilen binalara göre nispeten daha düşük doğrulukta olduğu görülmektedir. Buna sebep, nokta bulutu

verisinin hem yoğunluğu hem de ilgili bölgede özellikle eşleşme problemlerinin varlığı gösterilebilir.



Şekil 11. Test alanı bina kenar bilgileri ve ortofoto; a) A1-A3 alt bölgesi, b) B1-B4 alt bölgesi, c) C1-C5 alt bölgesi

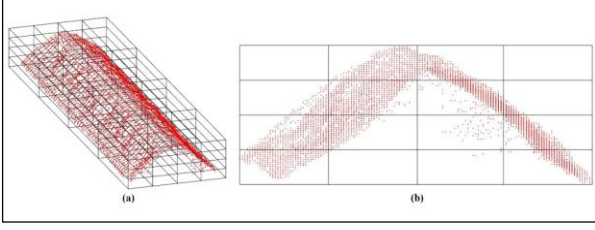
Şekil 11’den de görüldüğü üzere nicel analizlerle hesaplanan metriklere göre en ideal bina çıkarımının A ile temsil edilen binalarda olmaktadır. Ortofoto ile önerilen yaklaşım ile üretilen bina detaylarının kusursuz çakışması teorik olarak mümkün değildir. Dolayısıyla görselde belli miktar çakışmama hatası ortofoto doğruluğundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 12. Test alanı bina kenar bilgileri ve halihazır harita; a) A1-A3 alt bölgesi, b) B1-B4 alt bölgesi, c) C1-C5 alt bölgesi

Şekil 12’de referans harita 1/1000 üzerinde üretilen bina sınırlarının konumu gösterilmektedir. Referans haritada, nicel analizlerle hesaplanan metriklere göre en ideal bina çıkarımının A ile temsil edilen binalarda olduğu görülmektedir. Ortofoto harita üzerindeki gösterime göre daha yüksek doğrulukta önerilen yaklaşım ile üretilen bina detaylarının çakıştığı ortadadır.

Test alanındaki her bina grubu için önerilen yöntemle otomatik tespit edilen basamak sayıları Tablo 3’te sunulmuştur. Şekil 13’ten örnek olarak C3 binasının sekizdal objelerinin yerleşimi sonucu kaçınıcı basamakta tespit edildiği net bir biçimde görülmektedir. Bu değerlendirme ışığında, test alanında seçilen örnek binalardan A2 ve B1 için önerilen yöntemin bina sınır noktalarını 2. basamakta (Tablo 3), C3 binası için ise sınırları 4. basamakta (Şekil 13a-13b) tespit ettiği görülmektedir. Test alanında her bina için farklı basamak seviyelerinde tespit yapıldığı görülmektedir ki bu durum önerilen yöntemin ayrıca örnek ve her bina tipine göre sonuç üretebildiğini de ortaya koymaktadır.



Şekil 13. Test alanı bina kenar bilgileri ve basamak durumları; a, b) C3 binası

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, uzaktan algılanmış verilerden bina sınırlarını çıkarmak için görüntülerin fotogrametrik teknikle eşleştirme ile üretilmiş nokta bulutu kullanılmıştır. Çalışmanın temeli, voksel mantığı ile çalışan sekizdal veri organizasyon metodunun otomatize edilmesi sonucu geliştirilen I-Octree yaklaşımına dayanmaktadır. Fotogrametrik görüntülerden üretilen nokta bulutu kullanılarak bina detay bilgilerinin önerilen yöntemle otomatik çıkarımı ve düzgünleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Nokta bulutundan zemin ve zemin üstü objeler SMRF metodu ile ayrılmış ve DBSCAN algoritması ile bina objeleri gürültülerden ayıklanarak sınıflandırılmıştır. Sekizdal ve iyileştirilmiş sekizdal (I-Octree) veri organizasyonunun sınıflandırılan objelere uygulanması ile bina detaylarına ait sınır veya kenar bilgileri çıkarılmasını takiben ABORE metodu ile bina kenarlarının düzgünleştirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Önerilen I-Octree yaklaşımı ile, seçilen test bölgesi için alt çalışma alanlarına ait nokta bulutu üzerinden bina detayları çıkarılmış ve doğrulama amaçlı olarak kullanılan referans hâlihazır harita verisi ile nicel ve nitel açıdan doğruluk analizi işlemi gerçekleştirilmiştir. Piksel tabanlı doğrulama için, Cp, Cr, Q ve F-1 metrikleri kullanılmıştır. Nicel değerlendirme aşamasında, fotogrametrik görüntülerden eşleştirme yöntemi ile üretilen yoğun nokta bulutu için doğrulama sonuçları her bir metrik için maksimum değer olarak %94 üzerinde elde edilmiştir. Görsel açıdan yapılan değerlendirmelerde ise, önerilen yöntemle çıkarılan bina sınırlarının çalışma bölgelerine ait ortofoto, nokta bulutu ve 1/1000 ölçekteki referans harita verisi ile karşılaştırılması sonucu üst düzeyde eşleşmenin olduğu tespit edilmiştir. Bunun bir sonucu olarak, referans verisi ile yapılan doğrulama sonucunda, önerilen yaklaşımın test alanında farklı sayıda ve kombinasyonda seçilen tüm binaları yüksek doğrulukla çıkarabildiği görülmüştür.

Gerçekleştirilen bu çalışma ile nokta bulutundan özellikle harita temel katmanı bina detayının etkin, otomatik ve hızlı bir biçimde çıkarılabileceği ortaya konmuştur. Son yıllarda görüntü tabanlı sistemlerdeki gelişmeler ve İHA tabanlı optik veri üretimindeki kolaylıklar, bu platformlardan alınan görüntülerden üretilecek nokta bulutları üzerinden bina çıkarım işlemi daha

da önemli konuma getirmiştir. Bu bağlamda günümüz ve yakın gelecekte 3B veri üzerinden ölçüm ve analiz işleminin öneminin çalışma sonuçları dikkate alındığında artacağı değerlendirilmektedir. Çalışma sonuçlarını desteklemesi bakımından da gelecekte daha çok bina içeren veri setleri üzerinde önerilen yöntemin uygulanması öngörülmektedir.

Sonuç olarak bir değerlendirme yapmak gerekirse, herhangi bir otomasyon işleminin %100 doğruluk ve bütünlük sağlaması olası değildir. Bu nedenle, veri denetimi ve düzenlenmesinin operatör desteğiyle yapılması mutlaka gereklidir. Rutin üretim için, bu düzenleme görevini kolaylaştırmak ve hızlandırmak için yöntemler veya araçların geliştirilmesi bilimsel açıdan her zaman değerli olacaktır.

Araştırmacıların katkı oranı beyan özeti

Yazarlar: Veri temini, literatür taraması, veri analizleri ve sorgulama, geliştirilen yöntemle ilişkin analizlerin yapılması için kodlama işlemi, makalenin yazımı ve kontrol gibi bütün aşamalarda ortaklaşa yer almışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale ile ilgili olarak, herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Alidoost, F., Arefi, H. (2015). An image-based technique for 3d building reconstruction using multi-view UAV images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* (C. 40).
- Alidoost, Fatemeh, Arefi, H., Tombari, F. (2019). 2D image-to-3D model: Knowledge-based 3D building reconstruction (3DBR) using single aerial images and convolutional neural networks (CNNs). *Remote Sensing*, 11(19).
- Bulatov, D., Häufel, G., Meidow, J., Pohl, M., Solbrig, P., Wernerus, P. (2014). Context-based automatic reconstruction and texturing of 3D urban terrain for quick-response tasks. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93.
- Cao, Z., Fu, K., Lu, X., Diao, W., Sun, H., Yan, M., Yu, H., Sun, X. (2019). End-to-End DSM Fusion Networks for Semantic Segmentation in High-Resolution Aerial Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(11).
- Christian Rose, J., Paulus, S., Kuhlmann, H. (2015). Accuracy analysis of a multi-view stereo approach for phenotyping of tomato plants at the organ level. *Sensors* (Switzerland), 15(5).

- Dal Poz, A. P., Yano Ywata, M. S. (2020). Adaptive random sample consensus approach for segmentation of building roof in airborne laser scanning point cloud. *International Journal of Remote Sensing*, 41(6).
- Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J., Xu, X. (1996). A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise. *2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 96(34).
- Gilani, S. A. N., Awrangjeb, M., Lu, G. (2016). An automatic building extraction and regularisation technique using LiDAR point cloud data and orthoimage. *Remote Sensing*, 8(3).
- Hermosilla, T., Ruiz, L. A., Recio, J. A., Estornell, J. (2011). Evaluation of automatic building detection approaches combining high resolution images and LiDAR data. *Remote Sensing*, 3(6).
- Jayaraj, P., Ramiya, A. M. (2018). 3D CityGML building modelling from lidar point cloud data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* (C. 42).
- Ji, S., Wei, S., Lu, M. (2019). A scale robust convolutional neural network for automatic building extraction from aerial and satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 40(9).
- Karsli, F., Dihkan, M., Acar, H., Ozturk, A. (2016). Automatic building extraction from very high-resolution image and LiDAR data with SVM algorithm. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(14).
- Kendall, A., Martirosyan, H., Dasgupta, S., Henry, P., Kennedy, R., Bachrach, A., Bry, A. (2017). End-to-End Learning of Geometry and Context for Deep Stereo Regression. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (C. 2017-October).
- Lai, X., Yang, J., Li, Y., Wang, M. (2019). A building extraction approach based on the fusion of LiDAR point cloud and elevation map texture features. *Remote Sensing*, 11(14).
- Li, X., Ling, F., Foody, G. M., Du, Y. (2016). A superresolution land-cover change detection method using remotely sensed images with different spatial resolutions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(7).
- Liu, J., Ji, S. (2020). A novel recurrent encoder-decoder structure for large-scale multi-view stereo reconstruction from an open aerial dataset. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
- Malihi, S., Valadan Zoej, M. J., Hahn, M., Mokhtarzade, M., Arefi, H. (2016). 3D Building Reconstruction Using Dense Photogrammetric Point Cloud. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B3.
- Marullo, S., Patsaeva, S., Fiorani, L. (2018). Remote sensing of the coastal zone of the European seas. *International Journal of Remote Sensing*, 39(24).
- Nan, L., Wonka, P. (2017). PolyFit: Polygonal Surface Reconstruction from Point Clouds. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (C. 2017-October).
- Ozdemir, E., Karsli, F., Kavzoglu, T., Bahadir, M., Yagmahan, A. (2021). A novel algorithm for regularization of building footprints using raw LiDAR point clouds. *Geocarto International*, 1-23.
- Rau, J. Y., Jhan, J. P., Hsu, Y. C. (2015). Analysis of oblique aerial images for land cover and point cloud classification in an Urban environment. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(3).
- Rutzinger, M., Rottensteiner, F., Pfeifer, N. (2009). A Comparison of Evaluation Techniques for Building Extraction from Airborne Laser Scanning. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(1).
- Shao, Z., Yang, N., Xiao, X., Zhang, L., Peng, Z. (2016). A multi-view dense point cloud generation algorithm based on low-altitude remote sensing images. *Remote Sensing*, 8(5).
- Siddiqui, F. U., Teng, S. W., Awrangjeb, M., Lu, G. 2016. A robust gradient based method for building extraction from LiDAR and photogrammetric imagery. *Sensors*, 16(7).
- Sun, W., Wang, R. (2018). Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation of Very High Resolution Remotely Sensed Images Combined with DSM. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(3).
- Tran, T. N., Drab, K., Daszykowski, M. (2013). Revised DBSCAN algorithm to cluster data with dense adjacent clusters. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 120.
- Wu, Z., Wu, X., Zhang, X., Wang, S., Ju, L. (2019). Semantic stereo matching with pyramid cost

volumes. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (C. 2019-October).

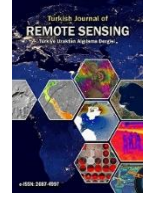
Yan, Y., Gao, F., Deng, S., Su, N. (2017). A hierarchical building segmentation in digital surface models for 3D reconstruction. *Sensors*, 17(2).

Zhang, F., Prisacariu, V., Yang, R., Torr, P. H. S. (2019). GA-net: Guided aggregation net for end-to-end stereo matching. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (C. 2019-June).



© Author(s) 2022.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Tuz Mağaralarında Sırt Çantası LiDAR Sisteminin 3B Model Üretiminde Kullanılması; Tuzluca, Iğdır Örneği

Emirhan Özdemir^{*1}, Kasım Erdal², Fehmi Veziroğlu¹, Seyfullah Sinan ATEŞ³

¹Iğdır Üniversitesi, Iğdır Teknik Bilimler MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü/Tapu Ve Kadastro Pr., Iğdır, Türkiye

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

³Iğdır Üniversitesi, Iğdır Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü/Yapı Tesisat Teknolojisi Pr., Iğdır, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Tuz mağarası
Sırt çantası LiDAR sistemi
3B Model
SLAM

ÖZ

Mağaralar dünya tarihinde önemli bir yere sahiptir. Tuzun koruyucu ve tat verici özelliğinin yanında, çeşitli hastalıklara alternatif tedavi yöntemi olarak günümüzde tuz mağaralarını kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu gelişmeler sağlık turizmi açısından tuz mağaralarına olan ilginin artmasına neden olmuştur. Tuz mağaralarının sağlık turizm amacıyla kullanılması ile birlikte mağaralarda restorasyon çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Restorasyon çalışmalarında tuz mağaralarının 3B modeline ve mağara haritalarına ihtiyaç doğmuştur. Bu çalışmada Iğdır İli Tuzluca İlçesi'nde bulunan ve sağlık turizmi amacıyla hizmete açılan tuz mağarasının 3B modeli sırt çantası LiDAR sistemi kullanılarak oluşturulmuştur. Sırt çantası LiDAR sisteminin hızlı, esnek kullanımı ve Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM) algoritması ile destekleniyor olması mağaralar gibi kapalı alanlarda kullanımını arttırmıştır. Oluşturulan model jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Modelin konum ve dönüşüm doğruluğunun jeodezik çalışmalarda kullanılabilir doğrulukta olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile sırt çantası LiDAR sisteminin mağara çalışmalarında kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

The Use of the Backpack LiDAR System in the Generate of 3D Models in Salt Caves; The Example of Tuzluca, Iğdir

Keywords:

Salt Cave
Backpack LiDAR System
Model 3B
SLAM

ABSTRACT

Caves have an important place in the history of the world. The salt is preservative and tasting in addition to its feature, it has been determined that salt caves can be used today as an alternative treatment method for various diseases. These developments are health tourism In terms of this, the interest in salt caves has increased. The use of salt caves for health tourism and restoration of caves has started. In restoration, salt caves were needed in 3B models and cave maps. In this study, the 3B version of the salt cave in Iğdir Province Tuzluca County, which was opened for health tourism, was created using the LiDAR system. The fast, flexible use of the Backpack LiDAR system and its support with the simultaneous Positioning and Mapping (SLAM) algorithm has increased its use in confined spaces such as caves. The model created has been converted into a geodetic coordinate system. The model's position and conversion accuracy are shown to be available in geodetic studies. This study found that the backpack LiDAR system can be used for cave studies.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster(APA);

*emirhan.ozdemir@igdir.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-8306-834X
(kerdal.245@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-6024-7361
(fehmi.veziroglu@igdir.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-0712-7640
(ssinan.ates@igdir.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-0452-2258

Özdemir E., Erdal K., Veziroğlu F & Ateş, S.S. (2022). Tuz Mağaralarında Sırt Çantası LiDAR Sisteminin 3B Model Üretiminde Kullanılması; Tuzluca, Iğdır Örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(1), 36-42.

1. GİRİŞ

En az bir insanın girebileceği genişlikte ve yükseklikte olan yer altında bulunan boşluklar mağara olarak adlandırılmaktadır. Doğal ve yapay olarak ikiye ayrılan mağaralarda tuz mağaraları doğal mağaralar sınıfına girmektedir (Arpacı vd., 2012). Yer altında bulunan tuz kayalarının yeraltı suları tarafından aşındırılması ile başlayan fiziksel ve kimyasal sürecin ardından tuz mağaraları oluşumunu tamamlar (Frumkin,1998). Mağaralar dünya tarihinde önemli bir yere sahiptir. İlk çağlarda insanoğlunun barınma ve korunma amaçlı mağaraları kullandığı bilinmekte ve yıllar içerisinde mağaraların farklı amaçlar doğrultusunda da kullanılmaya başladığı görülmektedir (Agniy vd., 2019). Tuzun koruyucu ve tat verici özelliğinin etkisi ile geçmişte tuz mağaraları ham madde olarak değerlendirilmiş ve tuz ticaretinin yapılmasına neden olmuştur (Güngörmez, 2015). Tuz ticaretinin ardında tuz mağaralarına olan ilginin artmasına neden olmuş ve tuz mağaraları üzerine araştırmalar artmıştır. Bu araştırmalar tuz mağaralarının ve tuz madenin çeşitli hastalıklara alternatif tedavi olabileceği kanısı ortaya koymuştur (Şimşek, 2020). Geçen zaman içerisinde tuz madenin heykel sanatında da kullanıldığı görülmektedir (Yeşilova P. & Yeşilova Ç., 2019). Günümüzde tuz madeni ham madde olarak, heykel sanatı ve hediyelik eşya imalatında kullanılmasının yanı sıra tuz mağaraları sağlık turizmi açısından önemli bir yere sahiptir.

Mağaralar farklı uzanımlardan ve derinliklerden oluşabilmektedir (Ronvad vd., 2011). Bu uzanımlarda ve derinliklerde oluşan fiziksel ve kimyasal süreçlerin belirlenmesi ve belgelendirilmesi mağara haritalarının oluşturulması ile mümkündür. Mağara haritalarının üretilmesi aşamasında klasik ölçme yöntemleri ve fotogrametrik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Klasik ölçme yöntemlerinin mağaraya ait detayların elde edilmesinde eksik kaldığı, ölçümü gerçekleştiren kişinin teknik ve kartografik bilgisine bağlı kaldığı ve uzun zaman harcandığı görülmektedir. Mağaraların uzanımlarının ve derinliklerinin yeterli aydınlatılmadığı durumlarda ise görüntü tabanlı fotogrametrik çalışmalarının mağara haritasının oluşturulmasında yeterli olmamaktadır. Günümüzde yersel lazer tarayıcılar mağara haritalanmasında kullanılmakta ve 3B modeller oluşturulmaktadır (Aydan vd.,2013). Işıktan bağımsız olarak ölçüm gerçekleştirebilen yersel lazer tarayıcıların ise farklı noktalara kurulması ve ölçümün gerçekleştirilmesi uzun zaman almaktadır. Yersel lazer tarayıcıdan elde edilen nokta bulutu ile doğrusalılık, düzlemsellik ve küresellik gibi birçok geometrik bilgiden yararlanılabilmektedir (Sağlam vd., 2020).

Teknolojinin gelişmesi ile lazer tarayıcılar da gelişim göstermiş farklı donanımlar ve algoritmalar ile desteklenmiştir. Sırt çantası LiDAR (Light Detection and Ranging) sistemleri son yıllarda aktif olarak kullanılmaktadır. Sırt çantası LiDAR

sistemleri diğer LiDAR sistemlerine kıyasla hızlı kullanışlı ve pratik olduğu görülmektedir (Tepeköylü, 2016). Sırt çantası LiDAR sistemleri ışıktan bağımsız ölçüm prensibine bağlı olarak çalışsa da SLAM algoritmaları ile desteklenmektedir. Sırt çantası LiDAR sistemlerinin farklı alanlarda; iç ve dış mekân olmak üzere kullanımı artmıştır.

Tuz mağaraları günümüzde sağlık turizmi kapsamında ziyaretçi almaya başlamasının ardından tuz mağaralarında düzenleme ve restorasyon çalışmaları artmıştır. Mağaralarda GNSS alıcısının çalışmaması, klasik ölçme tekniklerinin yetersiz kalması, yersel lazer tarayıcının kullanımının uzun zaman alması tuz mağaralarının haritalanması ve 3B model üretiminde birçok problemi beraberinde getirmiştir. Sırt çantası LiDAR sistemleri pratik kullanımı ve zamansal olarak avantaj sağlamasının tuz mağaralarında kullanılabilirliğinin araştırılmasına neden olmuştur.

İğdir İli Tuzluca İlçesi'nde farklı amaçlarda kullanılan birden fazla tuz mağarası bulunmaktadır. Bu çalışmada sağlık turizmine kazandırılan tuz mağarası konu alınmıştır. Tuz mağarası sırt çantası LiDAR sistemi ile taranıp 3B modeli elde etmek ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Sırt çantası LiDAR sistemleri karmaşık ve ölçülmesi zor mekanlarda tarama işleminde kolaylıkla kullanılmakta bu sayede zamandan tasarruf edilmekte, iş yükü kolaylaşmaktadır (Stefano vd.,2021). Bu amaç ve sırt çantası lidar sisteminin avantajları doğrultusunda çalışmanın hedefleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Çalışmaya konu alan tuz mağarasına poligon ağı tesis edilmesi,
- Kullanılan sırt çantası LiDAR sisteminin SLAM algoritmasının irdelenmesi,
- Zemin bölümlenme gerçekleştirilerek altyapı çalışmalarının belgelendirilmesidir.

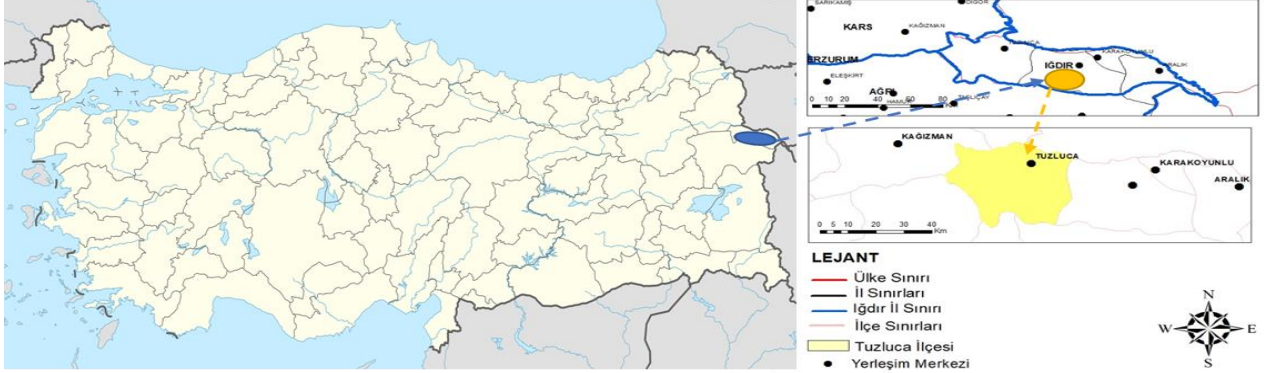
Çalışmaya konu alan tuz mağarasının 3B modeli sırt çantası sistemi kullanılarak elde edilmiştir. 3B model jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmüştür.

2. YÖNTEM

Çalışmanın ilk adımı olarak tuz mağarasına homojen olarak poligon tesisi gerçekleştirilmiştir. Poligon tesisinin ardından elektronik uzunluk ölçer kullanılarak 3B modelde belirgin olarak seçilebilen ve sabit noktalar belirlenmiştir. Bu noktalar kullanılarak ülke koordinat sistemine dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Açık kaynak kodlu yazılım kullanılarak nokta bulutu manuel olarak temizlenmiş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Altyapı bilgisinin belgelenebilmesi amacıyla açık kaynak kodlu yazılım kullanılarak zemin manuel olarak tüm modelden ayrı olarak belgelendirilmiştir.

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında Iğdır İli'nin Tuzluca İlçesi'nde bulunan tuz mağarası uygulama alanı



Şekil 1. Konum haritası

Mağara yaklaşık 55 dönümlük bir alandan oluşmaktadır ve bir bölümünde üretim devam etmektedir. Bu alanın yaklaşık 12 dönümlük kısmında maden çıkartma işlemleri bitmiştir. Çalışmanın da yapıldığı bu alan tuz terapi merkezi olarak şu an da faaliyet göstermektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Mağaranın içeriden görünümü

Mağara, iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım teknolojinin tam olarak gelişmediği zamanlarda yüzeye daha yakın kısımdan oyma yöntemiyle tuzun çıkartıldığı kısımdır. İkinci kısım ise birinciye göre daha derinden tünel kazılarak elde edilen kısımdır (Şekil 3).



Şekil 3. Mağaranın dışarıdan görünümü

Kazılan tünel yaklaşık 3 metre genişliğinde 80 metre uzunluğundadır. Tünelin sonu 8-16 metre

olarak seçilmiştir. Mağara, ilçe merkezine 1.5 km, il merkezine yaklaşık 39 km uzaklıkta bulunmaktadır ve ortalama 985 metre rakıma sahiptir (Şekil 1).

aralığında tavan yüksekliğine sahip oyma odalara çıkmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Mağaranın ortofoto görüntüsü

2.2 Sırt Çantası LiDAR Sistemi

Çalışmada Greenvalley Libackpack DGC50 sırt çantası LiDAR sistemi kullanılmıştır. Kullanılan LiDAR sistemini donanımsal olarak irdelediğimizde panoramik kamera, GNSS/IMU sensörü ve bir adet yatay bir adet dikey olmak üzere iki adet lazer tarayıcısı olduğu görülmektedir. Sırt çantası LiDAR sistemine ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir (URL – 1, 2022).

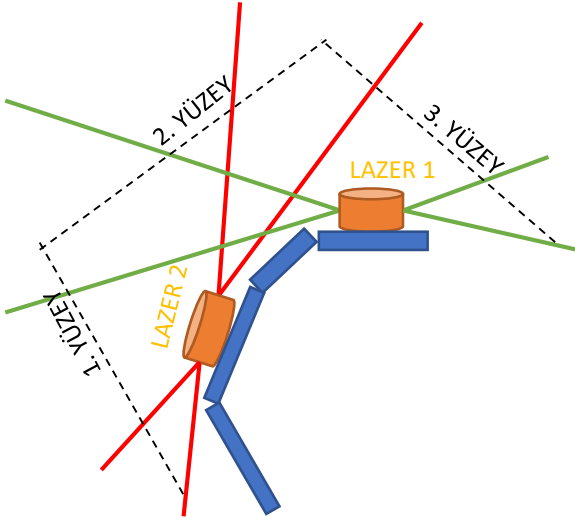
Tablo 1. Greenvalley Libackpack DGC50 ait teknik özellikler

Tarama Mesafesi	0.5 - 100 m
Tarama Hızı	300000
Görüş Alanı	360 yatay +-15 dikey
Lazer Doğruluğu	3 cm
Çalışma Sıcaklığı	-10 VE 60
Lazer Dalga Boyu	903 nm
Kamera Çözünürlüğü	4320*2160
Kamera Frame Oranı	25 fps
GNSS Alıcısı Konum Doğruluğu	1cm + 1 ppm

2.2.1 LiDAR sisteme genel bakış

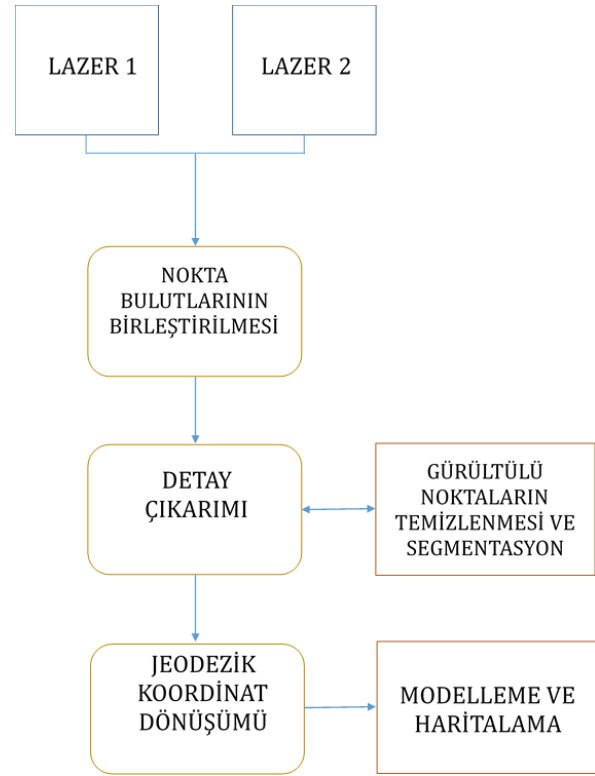
LiDAR sisteminde bulunan panoramik kamera kullanılarak lazer tarayıcıdan elde edilen nokta verisine RGB değerleri aktarılmaktadır. Sistemde bulunan GNSS alıcısı PPK yöntemi ile çalışmaktadır. Sabit bir noktaya kurulan statik yöntem ile çalışan GNSS alıcısı eş zamanlı olarak LiDAR sistemi çalıştırıldığında nokta bulutunun konum doğruluğu ± 7 cm kadar elde edilmektedir (Erdal & Makineci, 2021).

LiDAR sistemi 2 adet lazer tarayıcıya sahiptir. Yatay lazer tarayıcı sistemin üst kısmında bulunurken dikey lazer tarayıcı 60° açı ile sistemin orta kısmında bulunmaktadır (Şekil 5). Lazer tarayıcıların bu şekilde konumlandırılması; lazer tarayıcıların tarama alanlarının yüzeyel olarak maksimum düzeyde tutmak olduğu görülmektedir. Bu sayede zemin bilgilerinin daha net ve belirgin olduğu taramalar elde etmek mümkün olmuştur. Ayrıca sistem incelendiğinde lazer tarayıcıların minimum seviyede lazer ışınlarının saptığı; sırt çantası LiDAR sistemini kullanan operatörün baş ve ayak bölgesinde dağılmanın azalmasını hedeflendiği görülmektedir (Chen vd., 2021).



Şekil 5. Sırt çantası LiDAR sistemine ait lazer tarayıcılar ve tarama alanları

LiDAR sistemi, kullanılan operatör tarafından başlatılmasının ardından lazer tarayıcılar, GNSS alıcısı ve panoramik kamera çalışmaya başlamaktadır. Sisteme kablolu ya da kablosuz bağlanarak anlık olarak taranan veriler mobil cihazlarda görüntülenebilmektedir. Tarama işleminin tamamlanmasının ardından veriler dengelenmek üzere sayısal ortama aktarılmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Sırt çantası LiDAR sistemi çalışma diyagramı

2.2.2 SLAM Algoritması

SLAM algoritması günümüzde mobil cihazlarda aktif olarak kullanılmaktadır. GNSS kullanılarak konum belirlemenin yetersiz ya da mümkün olmadığı durumlarda SLAM algoritması kullanılabilir (Lagüela vd., 2018). SLAM algoritması kapalı alanlarda sırt çantası LiDAR sistemleri için önemli bir yere sahiptir (Maboudi vd., 2017). Kapalı alanlarda lazer tarayıcılar tarama işlemini gerçekleştirirken sistemin başlangıç noktasını baz alarak sistemin konumunu lokal olarak belirlenmesini SLAM algoritması sağlamaktadır (Karam vd., 2019). Bu nedenle sırt çantası LiDAR sisteminde kullanılan SLAM algoritması 3B modelin konum doğruluğunu ve kalitesini doğrudan etkilemektedir (Lagüela vd., 2018). Sırt çantası sisteminde bulunan SLAM algoritması ile sistem tarama işlemini gerçekleştirilirken aynı zamanda lokal olarak lidar sisteminin anlık konumu belirlemektedir.

2.3 Jeodezik Koordinat Dönüşümü

LiDAR sistemi içerisinde GNSS desteği bulunmaması ya da kapalı mekanlarda gerçekleştirilen ölçümlerde nokta bulutunun jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekmektedir. Jeodezik koordinat sistemine dönüştürme yöntemleri; bağımsız model triyngulasyonu yöntemi, 3B konform dönüşüm yöntemi ve doğrudan jeodezik koordinatlı ölçme yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır (Yıldız & Altuntaş, 2009). Bağımsız model triyngulasyonu

yöntemi yersel lazer tarayıcıların çalışma prensibine uygun bir yöntemdir. Farklı taramalarda en az 3 adet ortak nokta kullanılarak taramalar birleştirilmekte ardından elde edilen nokta bulutu jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmektedir (Scaioni & Forlani, 2003). 3B konform dönüşüm yönteminde otonom ya da yarı otonom birleştirilen nokta bulutu içerisinde yer detay noktaları kullanılarak jeodezik koordinat sistemine dönüşüm operatör tarafından manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem için en az 3 adet noktanın jeodezik koordinatı bilinmesi gerekmektedir (Yıldız & Altuntaş, 2009). Bir diğer yöntem olan doğrudan jeodezi koordinatlı ölçme yönteminde sırt çantası LiDAR sisteminde bulunan GNSS alıcısı kullanılarak uygulanabilmektedir.

3. BULGULAR

Tuz mağarasında jeodezik çalışmalar amacıyla 17 tane poligon tesis edilmiş ve poligon ağı oluşturulmuştur. Sırt çantası LiDAR sistemi kullanılarak mağara içerisinde 1084,91 m uzunluğunda 31:28 dk süren tarama gerçekleştirilmiştir. Veriler LiDAR sistemine ait yazılımda dengelenmiş ve 207,614,978 adet nokta elde edilmiştir. Ortam ışıklandırılmasının yetersiz olması sebebi ile panoramik kamera aktif edilmeden tarama gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).



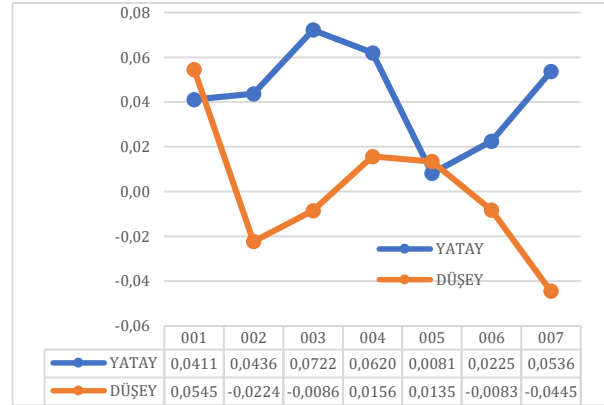
Şekil 7. 3B modele ait kuşbakışı görüntü

Sistemde kullanılan SLAM algoritmasının tarama sırasında herhangi bir kesinti yaşamadan çalıştığı görülmüştür. Verilerin dengelenmesi aşamasında SLAM algoritmasının başlangıç noktasını konumsal olarak işaretlediği ve tarama rotasını konumsal hata ile karşılaşmadan belirterek başarılı bir şekilde dengeleme gerçekleştirilmiş ve 3B model elde edilmiştir.

Kapalı alanda gerçekleştirilen tarama sebebi ile GNSS alıcısı aktif edilmeden ölçüm gerçekleştirilmiştir. Hem GNSS alıcısının kapalı olması hem de nokta sayısının fazla olması sebebi ile çalışmada jeodezik koordinat sistemine dönüşüm gerçekleştirilirken 3B konform dönüşüm yönteminden yararlanılmıştır. Tesis edilen poligon ağı kullanılarak elektronik uzunluk ölçer ile nokta

bulutunda belirgin ve sabit detaylara ait noktaların koordinat ölçümü gerçekleştirilmiş ve jeodezik koordinatları elde edilmiştir. Jeodezik koordinat dönüşümünde kullanılmak üzere 7 adet nokta belirlenmiştir (Şekil 8).

Jeodezik koordinat sistemine dönüşüm gerçekleştirilirken kullanılan noktalar 3B model üzerinde noktalar manuel olarak işaretlenmiştir.

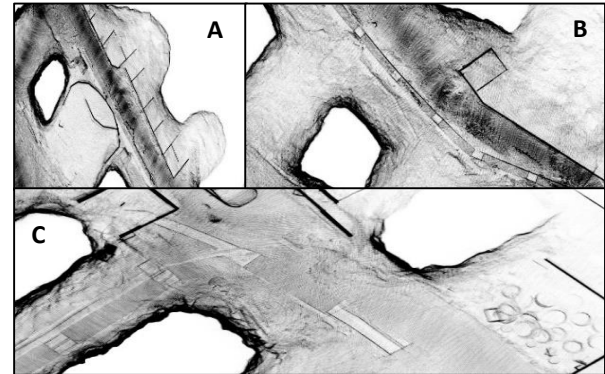


Şekil 8. Jeodezik koordinat dönüşümünde kullanılan noktalara ait hata grafiği

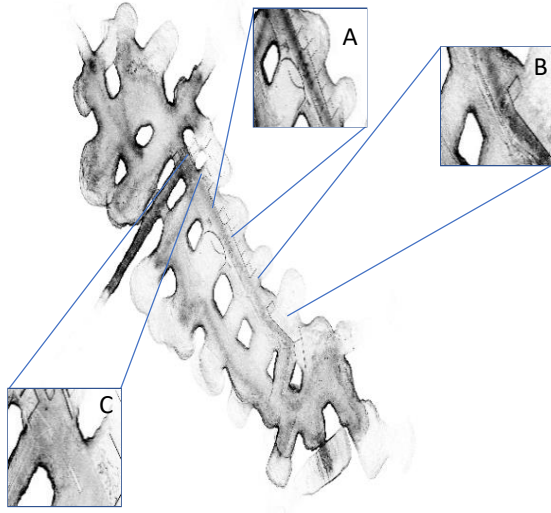
Tablo 2. Jeodezik koordinat dönüşümünde kullanılan noktalara ait hata tablosu

	Yatay (cm)	Düzyey (cm)
Min. Hata	0.0081	-0.0083
Max. Hata	0.0722	0.0545
Ortalama Hata	0.0433	0.0239

Tuz mağarasında gerçekleştirilen altyapı çalışmalarında mağaranın aydınlatma kablolarının yürüyüş yolunun altından geçirildiği görülmektedir. Arıza durumunda ya da acil durumlarda müdahale amacıyla belli aralıklar ile kapaklar yerleştirilmiştir. Model manuel olarak zemin ve diğer kısım olarak ayrılmıştır. Elde edilen zemin modeli incelendiğinde zemin bilgisinin eksiksiz ve jeodezik koordinat elde edilebilecek düzeyde görünebilir olduğu kanısına varılmıştır (Şekil 9). Zemin modelleme vb. çalışmalarda kullanılan sırt çantası sisteminden yararlanılabileceği görülmektedir. Zemin farklı kı sınırlarda bulunan altyapı kapakları baz alınarak 3 farklı kısımda değerlendirilmiştir. (Şekil 10).



Şekil 9. Farklı konumlarda zemindeki kapaklar



Şekil 10. Model üzerinde zemindeki kapakların konumu

A, B ve C konumlarında bulunan alt yapı kapaklarının jeodezik koordinatları sayısal ortama aktarılmış ve saklanmıştır. Arıza durumunda, acil durumlarda ya da yenileme çalışmalarında jeodezik koordinatların kullanılması amaçlanmıştır.

4. SONUÇLAR

Çalışmada Iğdır İli Tuzluca İlçesi'nde bulunan tuz mağarasına ait 3B model sırt çantası LiDAR sistemi kullanılarak üretilmiştir. 31:28 dakika süre taramanın dengelenmesi sonucunda 207,614,978 noktadan oluşan nokta bulutu elde edilmiştir. Model operatör tarafından manuel olarak 3B konform dönüşüm yöntemi kullanılarak jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Dönüşüm sonucunda ortalama hata yatayda 4,33 cm iken düşeyde 2,39 cm'dir. Sırt çantası LiDAR sisteminin mağara çalışmalarında kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Verileri elde etmemizde katkılarda bulunan Küre Mühendisliğe teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı beyan özeti

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır

Çıkar çatışması beyanı

Makale ile ilgili olarak, herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

Agniy, R. F., Adj, T. N., Cahyadi, A., Nurkholis, A., & Haryono, E. (2019). Characterizing the cavities of Anjani Cave in Jonggrangan Karst Area, Purworejo, Central Java, Indonesia. *IOP*

Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 256, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.

Arpaci, Ö., Zengin, B., & Batman, O. (2012). Karamanın mağara turizmi potansiyeli ve turizm açısından kullanılabilirliği. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2012(2), 59-64.

Avdan, U., Pekkan, E., & Çömert, R. (2013). Mağara ölçümlerinde yersel lazer tarayıcıların kullanılması (Tozman mağarası örneği). *Harita teknolojileri elektronik dergisi*, 5(2), 16-28.

Chen, P., Shi, W., Bao, S., Wang, M., Fan, W., & Xiang, H. (2021). Low-Drift Odometry, Mapping and Ground Segmentation Using a Backpack LiDAR System. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6(4), 7285-7292.

Di Stefano, F., Chiappini, S., Gorreja, A., Balestra, M., & Pierdicca, R. (2021). Mobile 3D scan LiDAR: a literature review. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2387-2429.

Erdal, K., & Makineci, H. B. (2021). Documentation of Cultural Heritage with Backpack LiDAR Usage on Photogrammetric Purpose. *Turkey LiDAR Journal*, 3(1), 1-6.

Güngörmez, H. (2015). Doğal boyalar ve tuz. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 57-63.

Karam, S., Vosselman, G., Peter, M., Hosseinyalamdary, S., & Lehtola, V. (2019). Design, calibration, and evaluation of a backpack indoor mobile mapping system. *Remote sensing*, 11(8), 905.

Lagüela, S., Dorado, I., Gesto, M., Arias, P., González-Aguilera, D., & Lorenzo, H. (2018). Behavior analysis of novel wearable indoor mapping system based on 3d-slam. *Sensors*, 18(3), 766.

Maboudi, M., Bánhidi, D., & Gerke, M. (2017, December). Evaluation of indoor mobile mapping systems. *Proceedings of the GFal Workshop 3D North East* (pp. 125-134).

Roncat, A., Dublyansky, Y., Spötl, C., & Dorninger, P. (2011). Full-3D surveying of caves: a case study of Märchenhöhle (Austria). *Proceedings of the International Association for Mathematical Geosciences (IAMG 2011)*.

Saglam, A., Makineci, H. B., Baykan, N. A., & Baykan, Ö. K. (2020). Boundary constrained voxel segmentation for 3D point clouds using local geometric differences. *Expert Systems with Applications*, 157, 113439.

Scaioni, M., & Forlani, G. (2003). Independent model triangulation of terrestrial laser scanner data. *International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*, 34(5/W12), 308-313.

Şimşek, O. (2020). Nahcivan Duzdağın Sağlık Turizm Potansiyeli. *Kafkas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (25), 21-38.

Tepeköylü, S. (2016). Mobil LiDAR Uygulamaları, Veri İşleme Yazılımları ve Modelleri. *Geomatik*, 1(1), 1-7.

Yeşilova, P. G., & Yeşilova, Ç. Tuz Madenlerinin (Kaya tuzu) Sağlık Sektöründe ve Turizm Amaçlı Kullanımı; Sürkit Tuz İşletmesi (Tuzluca, Iğdır) ve Dünyadan Örnekler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 56-63.

Yıldız, F., & Altuntaş, C. (2009). Yersel lazer tarayıcı nokta bulutlarının jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesi. *Harita dergisi*, 75(142), 51-58.

URL1:<https://greenvalleyintl.com/LiBackpackDGC50/>
[Erişim tarihi: 28.05.2022]



© Author(s) 2021.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>