



# نشریه ژئوانفورماتیک در مهندسی عمران



دوره ۱، شماره ۲، تابستان و پاییز ۱۴۰۲

# Journal of Geoinformatics in Civil Engineering



Volume 1, Issue 2, Summer & Autumn 2023

نشریه ژئوانفورماتیک در مهندسی عمران دوره ۱ شماره ۲، تابستان و پاییز ۱۴۰۲



# نشریه علمی ژئوانفورماتیک در مهندسی عمران

دوره ۱، شماره ۲، تابستان و پاییز ۱۴۰۲

صاحب امتیاز:	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
مدیر مسئول:	دکتر علیرضا شریفی
سر دبیر:	پروفسور موسی مظلوم
مدیر اجرایی:	دکتر فرهاد حسینعلی
ویراستار فارسی:	وحیده خدادادی
ویراستار انگلیسی:	وحیده خدادادی
مدیر داخلی و مدیر پایگاه:	انسیه باغبانی

## هیأت تحریریه:

پروفسور عباس علیمحمدی	دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
پروفسور جلال امینی	دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران
پروفسور اسماعیل ضرغامی	دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
پروفسور محمد شمس اسفندآبادی	دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
پروفسور موسی محمودی صاحبی	دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
دکتر سعید صادقیان	دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی
دکتر محمد شریفی کیا	دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس
دکتر علیرضا وفائی نژاد	دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

لیتوگرافی و چاپ: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

ناشر: انتشارات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

طرح جلد: محمد معتمدی نژاد

صفحه آرا: نیره فیروزی

نشانی: تهران - لویزان - خیابان شهید شعبانلو - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵ کد پستی: ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸

تلفن: ۲۲۹۷۰۰۶۰-۹ داخلی ۲۵۹۸ فکس: ۲۲۹۷۰۰۷۰

وب سایت: [www.sru.ac.ir](http://www.sru.ac.ir)

وب سایت اختصاصی: <http://jgce.sru.ac.ir>

پست الکترونیکی: [jgce@sru.ac.ir](mailto:jgce@sru.ac.ir)



# نشریه ژئوانفورماتیک در مهندسی عمران

دوره ۱، شماره ۲، تابستان و پاییز ۱۴۰۲

۱۳۴-۱۳۷	تحلیل مکان مند عوامل محیطی مؤثر بر سلامت انسان در شهر تهران قاسم آذری آرانی، علیرضا احمدی، کوثر آذری آرانی
۱۴۲-۱۳۵	استفاده از تجزیه و تحلیل مکانی و سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری برای طراحی و توسعه راه‌های شهری محمد امین توتونچیان
۱۵۱-۱۴۳	کاربردهای ژئودزی ماهواره‌ای در ناوبری و پایش زمین سید امین قاسمی خالخالی
۱۶۲-۱۵۳	بررسی کاربری اراضی و تحلیل توزیع آن در مناطق مختلف شهر تهران با توجه به استانداردهای آمایش سرزمین مطهره کلبادی نژاد، رحیم سرور
۱۷۶-۱۶۳	استخراج نقاط نمای ساختمان‌های شهری از ابرنقاط لیزراسکنر همراه مرتضی حیدری مظفر، سید عادل حسینی
۱۸۸-۱۷۷	بهبود شاخص‌های مکانی در طراحی مسیر خطوط انتقال نفت با رویکرد اقتصادی و حفاظت از محیط زیست سحر ابوللی، طلوع سیلاوی، جواد صابریان
۲۰۴-۱۸۹	ارزیابی تأثیر شبکه تصویربرداری و بافت تصویر بر کیفیت تولید ابرنقطه سه‌بعدی در فتوگرامتری برد کوتاه رضا نعیمایی، عبادت قنبری پرمهر
۲۱۶-۲۰۵	ماهواره‌های سنتینل: انقلاب در مشاهدات زمین برای دانش و توسعه پایدار مجتبی ابوالقاسمی
۲۲۶-۲۱۷	آشکارسازی نشاء برنج در تصویر پهباد با استفاده از شبکه DenseNet کیارش بروشان، سعید بهزادی

---

۲۲۷-۲۳۸

ارزیابی دقت در ناپبری مبتنی بر عکس

مجید اعزازی، مسعود شیرازیان، فرهاد حسینعلی، فرزاد حاج محمود عطار

---

۲۳۹-۲۴۶

استفاده از مدل حافظه طولانی کوتاه مدت پیچشی برای پیش بینی سیلاب در استان گلستان

سیما احمدی، علی نبی زاده

---

۲۴۷-۲۵۴

به کارگیری سامانه اطلاعات مکانی و ارزیابی چند معیاره جهت ارزیابی تناسب اراضی

کشاورزی

داود اکبری

---





ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Geo-spatial Analysis of Environmental Factors Affecting Human Health in Tehran

Gh. Azari Arani<sup>\*1</sup>, A. Ahmadi<sup>2</sup>, K. Azari Arani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Information and Communication Technology, Technical and Vocational University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Computer Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Kashan University, Kashan, Iran

### ABSTRACT


Received: 18 July 2023  
Reviewed: 8 August 2023  
Revised: 18 October 2023  
Accepted: 31 October 2023

#### KEYWORDS:

Data Integration  
Geographic Information Systems (GIS)  
Health-environment Interactions  
Public Health  
Spatial Analysis

\* Corresponding author

 [ghazariarani@tvu.ac.ir](mailto:ghazariarani@tvu.ac.ir)

 (+9821) 42350000

**Background and Objectives:** In recent decades, the complex interaction between environmental factors and public health has attracted the attention of researchers, policy makers, and public health practitioners. Understanding how environmental factors affect human health is very important in dealing with citizens' health challenges. In recent years, geographic information systems (GIS) have been used as practical tools in this field and have enabled the investigation and analysis of complex relationships between environmental variables and health. These systems are a useful tool for zoning diseases, and with the spatial distribution of some diseases, significant results can be achieved. Results such as that some diseases are related to environmental factors. Diagnosing environmental factors in the direction of treatment, prevention and reduction of healthcare costs is a way to develop health. This article deals with the spatial analysis of some environmental factors affecting health in order to provide solutions to prevent the occurrence of pathogenic factors in citizens.

**Methods:** The research method of performing a location analysis includes several steps including data collection, data pre-processing, spatial analysis and integration with decision support systems. Collecting air quality data is one of the main parts of this research. The air quality of Tehran is affected by several factors, including the emission of pollutants by cars, industrial units and natural resources, the amount of each of which is measured using the network of air quality monitoring stations throughout the city of Tehran. This time-spatial data set enables us to investigate trends and changes in air quality in different areas of Tehran. Also, ensuring access to safe water is a fundamental aspect of public health. Therefore, the collection of water quality data is critical for our study. The desired parameters include water acidity or alkalinity (pH), clarity, chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD) and concentrations of certain pollutants such as heavy metals. Is. The data collected by local health centers have been used to analyze infectious diseases from animals. After collecting the required data, the process of data analysis and processing is done for their spatial analysis, and after the said analysis, the data obtained from different stages of the research are integrated in GIS. This allows us to combine spatial data to more clearly show the connections between environmental factors and diseases. This data integration should be done regularly and carefully so that the results of the analysis are valid. QGIS software was used to perform spatial data analysis and processing. In addition, Pandas and NumPy libraries in Python were used for statistical data analysis.

**Findings:** The data collected from the air quality monitoring stations allowed us to obtain detailed maps of the concentration of pollutants and their spatial changes. These maps are very valuable in monitoring health risks related to air pollution. Analysis of air quality data showed high concentrations of PM2.5 and PM10 particulate matter in densely populated areas. In addition, the concentration of NO2 near the main roads indicates the major contribution of vehicles in the production of this gas. The analysis of water quality in Tehran showed that there are no significant differences in the water quality of different regions. . The analysis of disease data provides important information about carriers, their habitats and behavioral patterns, which leads to a comprehensive understanding of the city's infectious disease ecosystem. Targeted measures to control infectious diseases in high-risk areas and education to the target community are necessary to reduce the risk of diseases.

**Conclusion:** Human health is affected by various environmental factors, including the place of their lives, so that it can be said that health-related issues almost always have spatial dimensions. Investigating the characteristics of these places (including anthropological characteristics and the presence of environmental risk factors) is very important in order to

conduct studies. The results of this research showed that GIS has a valuable role in investigating and tracking the spread of diseases and other health issues in The length of time periods and the assessment of environmental risks for the residents of an area. Using GIS is one of the health warning solutions to people at risk. By specifying the location of the disease and the polluted areas of the city, people will become more aware of their surroundings and better understand prevention issues. Also, with the identification of high-risk areas, health costs and expenses will be adjusted because policy makers and health managers will focus on the necessary strategies to prevent and deal with the spread of these types of diseases in a targeted manner.



NUMBER OF REFERENCES

34



NUMBER OF FIGURES

2



NUMBER OF TABLES

1

## مقاله پژوهشی

### تحلیل مکان‌مند عوامل محیطی مؤثر بر سلامت انسان در شهر تهران

قاسم آذری آرانی<sup>۱\*</sup>، علیرضا احمدی<sup>۲</sup>، کوثر آذری آرانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

#### چکیده

**پیشینه و اهداف:** در دهه‌های اخیر، تعامل پیچیده بین عوامل محیطی و سلامت عمومی توجه پژوهشگران، سیاست‌گذاران و دست‌اندرکاران سلامت عمومی را به خود جلب کرده است. درک اینکه چگونه عوامل محیطی بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارد، در مقابله با چالش‌های سلامت شهروندان بسیار مهم است. در سال‌های اخیر، سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) به عنوان ابزارهای کاربردی در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته‌اند و امکان بررسی و تجزیه و تحلیل روابط پیچیده بین متغیرهای محیطی و سلامت را فراهم کرده‌اند. این سامانه‌ها ابزار مفیدی برای پهنه‌بندی بیماری‌ها به شمار می‌روند و با توزیع مکانی برخی بیماری‌ها می‌توان به نتایج قابل توجهی رسید. نتایجی نظیر این که برخی از بیماری‌ها با عوامل محیطی در ارتباط هستند. تشخیص عوامل محیطی در جهت درمان، پیش‌گیری و کاهش هزینه‌های بهداشتی و درمانی راهی در جهت توسعه سلامت می‌باشد. این مقاله به تجزیه و تحلیل مکان‌مند برخی عوامل محیطی مؤثر بر سلامت می‌پردازد تا بتوان راه‌کارهایی را برای پیشگیری از بروز عوامل بیماری‌زا در شهروندان را ارائه کرد.

**روش‌ها:** روش تحقیق انجام یک تجزیه و تحلیل مکان‌مند، شامل مراحل متعددی از جمله جمع‌آوری داده‌ها، پیش‌پردازش داده‌ها، تحلیل مکانی و ادغام با سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری است. جمع‌آوری داده‌های کیفیت هوا، یکی از اصلی‌ترین بخش‌های این تحقیق است. کیفیت هوای تهران تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله انتشار آلاینده‌ها توسط خودروها، واحدهای صنعتی و منابع طبیعی قرار دارد که میزان هریک با استفاده از شبکه ایستگاه‌های نظارت بر کیفیت هوا در سرتاسر شهر تهران اندازه‌گیری می‌شود. این مجموعه داده زمانی- مکانی ما را قادر می‌سازد تا روندها و تغییرات کیفیت هوا در مناطق مختلف تهران را بررسی کنیم. همچنین، اطمینان از دسترسی به آب سالم، یک جنبه اساسی در حوزه بهداشت عمومی است. بنابراین، جمع‌آوری داده‌های کیفیت آب برای مطالعه ما بسیار حیاتی است. پارامترهای مورد نظر شامل میزان اسیدی یا بازی بودن آب (pH)، شفافیت، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، میزان اکسیژن خواهی زیستی (BOD) و غلظت آلاینده‌های خاص مانند فلزات سنگین است. برای تحلیل بیماری‌های واگیردار از جانوران از داده‌های جمع‌آوری شده توسط مراکز بهداشت محلات استفاده شده است. پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، فرآیند تحلیل و پردازش داده‌ها جهت تجزیه و تحلیل مکانی آن‌ها انجام می‌شود و بعد از انجام تحلیل‌های مذکور، داده‌های حاصل از مراحل مختلف تحقیق در GIS ادغام می‌شوند. این امر به ما امکان می‌دهد که داده‌های مکانی را با یکدیگر ترکیب کرده تا ارتباطات میان عوامل محیطی و بیماری‌ها را به صورت واضح‌تری نشان دهیم. این ادغام داده‌ها باید به صورت منظم و با دقت صورت گیرد تا نتایج تحلیل معتبر باشند. برای اجرای تحلیل‌ها و پردازش داده‌های مکانی، از

تاریخ دریافت: ۲۷ تیر ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۱۷ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۲۶ مهر ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۹ آبان ۱۴۰۲

#### واژگان کلیدی:

ادغام داده  
تحلیل مکانی  
تعاملات سلامت- محیط زیست  
سلامت عمومی  
سیستم‌های اطلاعات مکانی

\* نویسنده مسئول

ghazariarani@tvu.ac.ir

021-42250000

نرم افزار QGIS استفاده شد. علاوه بر این، برای تحلیل آماری داده‌ها از کتابخانه‌های Pandas و NumPy در پایتون استفاده گردید.

**یافته‌ها:** داده‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا به ما امکان داد تا نقشه‌های دقیق از غلظت آلاینده‌ها و تغییرات مکانی آن‌ها به دست آوریم. این نقشه‌ها در پایش ریسک‌های سلامت مرتبط با آلودگی هوا بسیار ارزشمند هستند. تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت هوا غلظت‌های بالایی از مواد ذراتی PM2.5 و PM10 در مناطق با جمعیت متراکم را نشان داد. علاوه بر این، غلظت NO<sub>2</sub> در نزدیکی معابر اصلی نشان‌دهنده سهم عمده وسایل نقلیه در تولید این گاز است. تجزیه و تحلیل کیفیت آب در تهران نشان داد که اختلافات معناداری در کیفیت آب مناطق مختلف وجود ندارد. تجزیه و تحلیل داده‌های بیماری، اطلاعات مهمی را در مورد ناقلین، زیستگاه‌ها و الگوهای رفتاری آن‌ها در برداشت که منجر به درک جامعی از اکوسیستم بیماری‌های واگیر شهر می‌گردد. تدابیر هدفمند در کنترل بیماری‌های واگیردار در مناطق با ریسک بالا و آموزش به جامعه هدف برای کاهش ریسک بیماری‌ها ضروری است.

**نتیجه‌گیری:** سلامت انسان‌ها توسط عوامل مختلف محیطی و از جمله مکان زندگی آنان تحت تأثیر قرار می‌گیرد به گونه‌ای که می‌توان گفت مسائل مربوط به سلامت تقریباً همیشه ابعاد مکانی دارند. بررسی خصوصیات این مکان‌ها (از جمله خصوصیات مردم شناختی و وجود عوامل خطر محیطی)، به منظور انجام مطالعات بسیار حایز اهمیت است. نتایج این تحقیق نشان داد که GIS نقش ارزشمندی در بررسی و پیگیری روند شیوع و انتشار بیماری‌ها و سایر مسایل بهداشتی در طول دوره‌های زمانی و ارزیابی خطرات محیطی برای ساکنین یک منطقه دارد. به‌کارگیری GIS یکی از راهکارهای هشدار سلامتی به مردم در معرض خطر است. با مشخص نمودن مکان انتشار بیماری و نقاط آلوده شهر، مردم نسبت به محیط پیرامون خود آگاه‌تر شده، مسائل پیش‌گیری را بهتر درک خواهند نمود. همچنین با مشخص شدن مناطق پرخطر، هزینه‌ها و مصارف بهداشتی تعدیل می‌گردد زیرا سیاستگذاران و مدیران بهداشت و سلامت راهکارهای لازم برای پیشگیری و مقابله با شیوع این نوع بیماری‌ها را به‌صورت هدفمند مورد توجه قرار خواهند داد.

## مقدمه

یکی از چالش‌های بزرگ شهر تهران کیفیت هوا است، به‌خصوص، به‌عنوان یک عامل مرتبط با مشکلات تنفسی و قلبی-عروقی [۸]. استفاده از IS به منظور ارزیابی و نظارت جامع بر کیفیت هوای تهران به پژوهشگران این امکان را می‌دهد تا به بررسی آلاینده‌ها در سراسر شهر پرداخته و منابع آلودگی شناسایی شوند. این نگرش‌ها برای مقامات بهداشتی برای انتشار هشدارهای به موقع و بهینه‌سازی تخصیص منابع جهت کاهش خطرات بهداشتی بسیار ارزشمند هستند [۹]. کیفیت منابع آب در تهران عاملی دیگر است که از اهمیت قابل توجهی برای بهداشت عمومی برخوردار است. از GIS برای ارزیابی تأثیر کیفیت آب بر بیماری‌های قابل انتقال توسط آن استفاده می‌شود. تهران از سامانه‌های متنوع تأمین آب بهره می‌برد و درک توزیع مکانی مرتبط با کیفیت آن می‌تواند به دخالت‌های هدفمندی مانند تصفیه آب و بهبود بهداشت کمک کند [۱۰-۱۲]. توانایی GIS در تحلیل و پیش‌بینی شیوع بیماری‌های همه‌گیر به عواملی مانند دما، رطوبت و پوشش گیاهی مرتبط است و به ما این امکان را می‌دهد تا به توزیع مکانی عوامل انتشار بیماری پی ببریم. نتایج این تحلیل‌ها می‌تواند در تخصیص منابع برای کنترل و نظارت بر عوامل انتقال بیماری مؤثر باشند [۱۳]. سیاست‌گذاری بهداشتی مؤثر نیازمند سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد است. از ادغام GIS در سیستم‌های پشتیبانی می‌توان برای تصمیم‌گیری منطبق بر نیازهای بهداشت عمومی استفاده کرد [۱۴]. با ادغام داده‌های بهداشت محیطی، GIS می‌تواند در اولویت‌بندی دخالت‌ها و تطبیق استراتژی‌ها با شرایط محیطی متغیر کمک کند. این ادغام جهت افزایش کیفیت بهداشت عمومی در مقابل چالش‌های در حال رشد یک نیاز اساسی است [۱۵].

در دهه‌های اخیر، روابط پیچیده بین عوامل محیطی و سلامت عمومی توجه شایان توجهی را از سمت محققان، سیاست‌گذاران و کارشناسان بهداشت عمومی به خود اختصاص داده است. درک اینکه چگونه شرایط محیطی بر سلامت انسان‌ها تأثیر می‌گذارد، در حل چالش‌های بهداشتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) در این زمینه به عنوان ابزارهای قدرتمندی ظاهر شده‌اند که امکان بررسی و تجزیه و تحلیل روابط پیچیده بین متغیرهای محیطی و سلامت را فراهم می‌کنند [۱، ۲]. تعامل پویای میان محیط و سلامت عمومی به یک مسأله حائز اهمیت در دنیای مدرن تبدیل شده است. با جابه‌جایی مداوم جمعیت جهان به سوی مراکز شهری، چالش‌های حفظ سلامت عمومی در این مناطق با جمعیت متراکم تشدید شده‌اند [۳]. تهران یکی از شهرهای پرچالش در زمینه چالش‌های بهداشت عمومی در ایران می‌باشد [۴]. شتابان شدن فرآیند شهرنشینی در تهران منجر به تغییرات قابل توجهی در منظر محیطی این شهر شده است. عواملی چون کیفیت هوا، کیفیت آب و شیوع بیماری‌های همه‌گیر از عوامل مؤثر بر سلامت جامعه شهری می‌باشند. تأثیر این عوامل محیطی بر سلامت شهروندان به مسأله‌ای بااهمیت روز افزون تبدیل شده است. اگرچه اهمیت تأکید بر تعاملات سلامت و محیط در مناطق شهری مانند تهران غیرقابل انکار است، اما هنوز یک شکاف قابل توجه در درک دقیق از پویایی آن وجود دارد. تحقیقات موجود اغلب دقت مکانی لازم برای درک تفصیلی و زیرساختی تغییرات داخل یک منظر شهری گسترده و متنوع را ندارند. علاوه بر این، ادغام GIS در مطالعه این تعاملات یک راهکار است که در تمام کلان شهرها به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است [۵-۷].



از شبکه ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در سرتاسر شهر تهران اندازه-گیری می‌شود. این ایستگاه‌ها به صورت مداوم غلظت‌های مواد معلق  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$ ، دی‌اکسید نیتروژن ( $NO_2$ )، دی‌اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، ازن ( $O_3$ ) و کربن مونواکسید ( $CO$ ) را اندازه‌گیری می‌کنند. این مجموعه داده زمانی-مکانی ما را قادر می‌سازد تا روندها و تغییرات کیفیت هوا در مناطق مختلف تهران را بررسی کنیم. علاوه بر این، داده‌های هواشناسی مانند دما، رطوبت، سرعت باد و جهت باد نیز جمع‌آوری شدند تا تأثیر عوامل هواشناسی بر کیفیت هوا در نظر گرفته شوند. این اطلاعات برای درک جامع از پویایی کیفیت هوا در تهران ضروری است [۲۳،۲۲].

ب) جمع‌آوری داده‌های کیفیت آب: اطمینان از دسترسی به آب سالم، یک جنبه اساسی در حوزه بهداشت عمومی است. بنابراین، جمع‌آوری داده‌های کیفیت آب برای مطالعه ما بسیار حیاتی است. ما از منابع متعددی برای جمع‌آوری داده‌های کیفیت آب استفاده کردیم، از جمله سازمان آب تهران، اداره محیط زیست و موسسات مطالعات تحقیقاتی مرتبط. پارامترهای مورد نظر شامل میزان اسیدی یا بازی بودن آب (pH)، شفافیت، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، میزان اکسیژن خواهی زیستی (BOD) و غلظت آلاینده‌های خاص مانند فلزات سنگین است. برای به‌دست آوردن دید جامعی از کیفیت آب، داده‌های مربوط به توزیع مکانی منابع آب از جمله رودخانه‌ها، مخازن ذخیره آب، آب‌های زیرزمینی و شبکه توزیع آب شهری باید جمع‌آوری گردند. این مجموعه داده این امکان را میسر می‌سازد تا کیفیت منابع آب ارزیابی شده و تأثیر مستقیم آن‌ها بر بیماری‌های ناشی از کیفیت پایین آب را مورد مطالعه قرار گیرد. با ترکیب داده‌های مکانی منابع آب با داده‌های کیفیت آب، می‌توان مناطق آسیب‌پذیر به بیماری‌های ناشی از آب را شناسایی کرد و اقدامات مورد نیاز را به ترتیب اولویت‌بندی کرد [۲۵،۲۴].

ج) جمع‌آوری داده‌های مرتبط با بیماری‌های قابل انتقال از حیوانات و حشرات: برای تحلیل بیماری‌های واگیردار از جانوران از داده‌های جمع‌آوری شده توسط مراکز بهداشت محلات استفاده شده است. این مجموعه داده شامل اطلاعات مرتبط با موارد گزارش شده از بیماری‌هایی مانند مالاریا، تب دنگ و سایر بیماری‌هایی است که توسط حشرات یا سایر جانوران منتقل می‌گردد. هر مورد با جزئیات مربوط به زمان و مکان شیوع بیماری و متغیرهای محیطی مرتبط ثبت شده است. این مجموعه داده برای درک ارتباط بین شرایط محیطی و شیوع این نوع بیماری‌ها در یک کلان شهر ضروری است. این امکان را فراهم می‌کند تا نقاط فراگیری بیماری را پیدا کرده و ارزیابی کنیم که چگونه عوامل محیطی بر توزیع آماری بیماری تأثیر می‌گذارند. به علاوه، داده‌های مربوط به جمعیت جانوری، زیست‌گاه‌ها و الگوهای رفتاری آنها یک دید جامع از اکوسیستم بیماری‌های قابل انتقال از جانوران را ارائه می‌دهد [۲۶،۲۷].

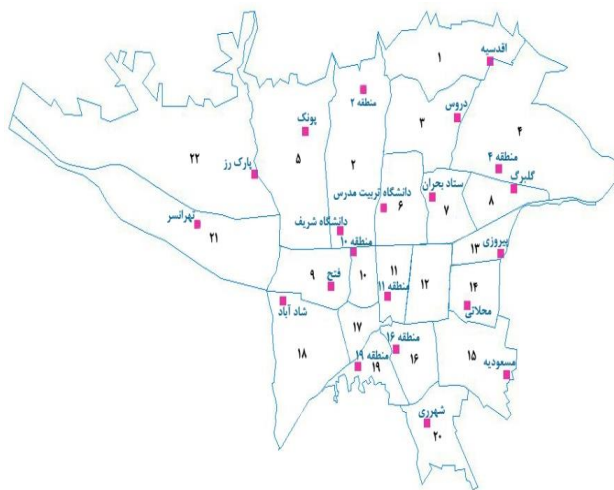
#### تحلیل و پردازش داده

پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، فرآیند تحلیل و پردازش داده‌ها جهت تجزیه و تحلیل مکانی آن‌ها انجام می‌شود. در ادامه، تکنیک‌ها و ابزارهای تحلیل مکانی مورد استفاده شرح داده می‌شوند:

چالش‌های تحلیل مکانمند در محیط‌های شهری بیشتر به کیفیت داده‌ها، مقیاس زمانی و مکانی و نیاز به همکاری بین‌رشته‌ای میان دانشمندان محیطی، اپیدمیولوژیست‌ها و متخصصان GIS خلاصه می‌شود [۱۶-۱۹]. هدف اصلی این تحقیق بررسی نقش GIS در افزایش درک ما از تعاملات سلامت و محیط در شهر تهران است. تحلیل مکانمند برای ارزیابی عوامل محیطی مؤثر بر سلامت در شهر تهران فرصتی حیاتی را برای مدیریت ارتباط عوامل محیطی و بهداشت عمومی در یک منظر شهری در حال تغییر به ما می‌دهد. با وجود چالش‌هایی که همچنان وجود دارند، توسعه و اجرای فرایندهای مکانمند به ما این امکان را می‌دهد که آینده‌ای سالم‌تر و پایدارتر را برای ساکنان تهران فراهم کنیم و به عنوان یک مطالعه موردی در حوزه بهداشت شهری عمل کنیم [۲۰]. در ادامه این مقاله، روش‌های مورد استفاده و یافته‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرند و پیامدهای نتایج مورد بحث قرار می‌گیرد. بدین ترتیب، تجزیه و تحلیل جامع عوامل محیطی مؤثر بر سلامت عمومی در شهر تهران به ما نشان خواهد داد که چگونه GIS می‌تواند در حفظ سلامت و رفاه جمعیت شهری نقش مهمی ایفا کند.

#### روش تحقیق

روش تحقیق انجام یک تجزیه و تحلیل مکانمند، شامل مراحل متعددی از جمله جمع‌آوری داده‌ها، پیش‌پردازش داده‌ها، تحلیل مکانی و ادغام با سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری است. در این بخش، مراحل دقیق و روش‌های علمی مورد استفاده در این تحقیق به همراه روابط مرتبط و ابزارهای تحلیل و پردازش معرفی می‌شوند [۲۱].



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در منطقه مورد مطالعه  
Fig. 1. Location of air quality measurement stations in the study area

#### جمع‌آوری داده‌ها

الف) جمع‌آوری داده‌های کیفیت هوا: جمع‌آوری داده‌های کیفیت هوا، یکی از اصلی‌ترین بخش‌های این تحقیق است. کیفیت هوای تهران تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله انتشار آلاینده‌ها توسط خودروها، واحدهای صنعتی و منابع طبیعی قرار دارد که میزان هریک با استفاده

ارزیابی کیفیت هوا در تهران با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در سرتاسر شهر انجام می‌شود و داده‌های آن دید دقیقی از غلظت آلاینده‌ها و تغییرات مکانی آن‌ها را در اختیار عموم افراد می‌گذارد. شهر تهران دارای ۳۵ ایستگاه سنجش کیفیت هوا است که از این تعداد ۱۴ ایستگاه متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست و ۲۱ ایستگاه متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوای تهران است. داده‌های جمع‌آوری شده از این ایستگاه‌ها توزیع مکانی آلاینده‌های هوایی کلیدی از جمله ذرات معلق PM2.5 و PM10، NO<sub>2</sub>، SO<sub>2</sub>، O<sub>3</sub> و CO را نشان می‌دهد. شکل ۱، توزیع مکانی گاز NO<sub>2</sub> را در سال ۱۴۰۱ نشان می‌دهد. این نقشه‌ها برای ۵ پارامتر دیگر نیز استخراج گردید و برای تحلیل مکانی وارد GIS گردید. علاوه بر این داده‌ها، اطلاعات تجمیعی در قالب شاخص کیفیت هوا (AQI) نیز منتشر می‌شود که بر اساس آن از عدد صفر تا ۵۰ هوا "پاک"، از ۵۱ تا ۱۰۰ هوا "قابل قبول (سالم)" یا متوسط"، از ۱۰۱ تا ۱۵۰ هوا "ناسالم برای گروه‌های حساس"، از ۱۵۱ تا ۲۰۰ هوا "ناسالم برای همه گروه‌ها"، از ۲۰۱ تا ۳۰۰ هوا "بسیار ناسالم" و از ۳۰۱ تا ۵۰۰ شرایط کیفی هوا "خطرناک" است. این داده‌های بهنگام، در ارزیابی ریسک سلامتی مرتبط با آلودگی هوا در پایتخت کمک بسیاری کرده‌اند. این اطلاعات می‌تواند مبنایی برای اتخاذ تصمیمات صحیح و بهنگام جهت کاهش اثرات زیان‌بار آلودگی هوا بر سلامت انسان‌ها عمل باشد.

تحلیل نتایج نشان می‌دهد که مناطق با جمعیت متراکم، به‌ویژه، در مرکز و جنوب تهران، به دلیل غلظت‌های بالای ذرات معلق PM2.5 و PM10 با خطرات بالایی مواجهند. علاوه بر این، غلظت بالای NO<sub>2</sub> در مرکز و شرق تهران نشان می‌دهد که در این مناطق وسایل نقلیه سهم بالایی در تولید آلاینده‌ها دارند. این یافته نیاز به اقدامات هدفمندی نظیر استانداردهای سخت‌تر انتشار گازهای خودرو، بهبود شبکه حمل و نقل عمومی و پروژه‌های زیرساختی سبز در مناطق خاص دارد تا مشکلات کیفیت هوا را در این مناطق کاهش دهد.

#### ارزیابی کیفیت آب

دسترسی به آب سالم یکی از جنبه‌های اساسی سلامت عمومی است. میانگین پارامترهای جمع‌آوری شده برای پایش کیفیت آب شهری در جدول ۱ آمده است. این پارامترها به طور کلی کیفیت منابع آب در شهر تهران را توصیف می‌کنند. تحلیل این نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب شهر تهران در سطح مطلوبی قرار دارد. هرچند به‌طور کلی منابع آب زیرزمینی میزان شفافیت پایین‌تر و آلاینده‌های کمتری دارند که نشان دهنده کیفیت بهتر برای تأمین آب شرب است. بر عکس آن، منابع آب سطحی با چالش‌های بیشتری در زمینه کیفیت روبرو هستند.

#### تحلیل بیماری‌های قابل انتقال توسط جانوران

بررسی‌ها در مراکز بهداشت محیط نشان داده است که در مناطقی با پوشش گیاهی بیش از ۱۵٪ و دمای بیش از ۲۸ درجه سانتیگراد احتمال بروز بیماری‌های واگیردار که منشأ جانوری دارند، افزایش می‌یابد.

الف) ارزیابی کیفیت هوا: برای تولید نقشه‌های کیفیت هوا در تهران، از روش کریجینگ (Kriging) استفاده گردید. از این روش برای درون‌یابی بین نقاط نمونه‌برداری شده و تولید یک سطح پیوسته از غلظت هر یک از آلاینده‌ها استفاده می‌شود و امکان مشاهده الگوهای کیفیت هوا را در سطح شهر فراهم می‌کند. رابطه کریجینگ به صورت زیر است [۲۸]:

$$Z(u) = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i) - \mu] \quad (1)$$

که  $Z(u)$  غلظت تخمینی آلاینده هوا در مکان  $u$ ،  $\mu$  میانگین کلی غلظت آلاینده،  $\lambda_i$  وزن اختصاصی به هر نمونه  $Z(x_i)$  و  $n$  تعداد نقاط نمونه است.

ب) ارزیابی کیفیت آب: تحلیل مکانی کیفیت آب شامل شناسایی مناطق با کیفیت آب نامطلوب بر اساس استانداردهای تعیین شده است. از GIS برای تعیین نواحی آسیب‌پذیر و ارزیابی خطرات مرتبط با بیماری‌های قابل انتقال از آب استفاده می‌شود. این تحلیل به ما در تعیین نواحی با کیفیت پایین آب و ارائه راهکارهای لازم برای بهبود کیفیت آب کمک می‌کند [۲۹].

ج) تحلیل بیماری‌های واگیردار از حیوانات و حشرات: از تکنیک‌ها و مدل‌سازی‌های آماری مکانی برای تحلیل توزیع مکانی بیماری‌های واگیردار استفاده می‌شود. از الگوریتم آنتروپی بیشینه (MaxEnt) برای پیش‌بینی شیوع این بیماری‌ها بر اساس متغیرهای محیطی به‌کار گرفته می‌شود. این الگوریتم یک روش یادگیری ماشینی است که به طور مؤثر در پیش‌بینی توزیع گونه‌ها بر اساس داده‌های محیطی عمل می‌کند و می‌تواند احتمال انتقال بیماری در مناطق مختلف شهر را بر اساس عواملی چون دما، رطوبت، پوشش گیاهی و کیفیت آب مدل کند و رابطه آن به صورت زیر است [۳۰]:

$$ZP(x) = \frac{1}{Z} e^{\sum_i \lambda_i f_i(x)} \quad (2)$$

که  $P(x)$  احتمال وقوع بیماری در مکان  $x$ ،  $Z$  ثابت نرمال‌سازی،  $\lambda_i$  پارامترهای مدل و  $f_i(x)$  متغیرهای محیطی را نمایش می‌دهد.

بعد از انجام تحلیل‌های مذکور، داده‌های حاصل از مراحل مختلف تحقیق در GIS ادغام می‌شوند. این امر به ما امکان می‌دهد که داده‌های مکانی را با یکدیگر ترکیب کرده تا ارتباطات میان عوامل محیطی و بیماری‌ها را به صورت واضح‌تری نشان دهیم. این ادغام داده‌ها باید به صورت منظم و با دقت صورت گیرد تا نتایج تحلیل معتبر باشند. برای اجرای تحلیل‌ها و پردازش داده‌های مکانی، از نرم‌افزار QGIS استفاده شد. علاوه بر این، برای تحلیل آماری داده‌ها از کتابخانه‌های Pandas و NumPy در پایتون استفاده گردید [۳۱-۳۴]. برای اعتبارسنجی مدل‌ها، از مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل با داده‌های واقعیت زمینی استفاده می‌گردد. در صورت عدم دستیابی به دقت مورد نظر، نیاز به تکرار مدل‌سازی و تنظیم پارامترهای مدل است.

## نتایج و بحث

### ارزیابی کیفیت هوا

تولید وسایل نقلیه، بهبود شبکه حمل و نقل عمومی برای کاهش وابستگی به وسایل نقلیه شخصی و سرمایه‌گذاری در فضاهای سبز و زیرساخت‌های سبز در مناطق با جمعیت متراکم دارد. دسترسی به آب آشامیدنی سالم نه تنها امری ضروری در بهبود سلامت عمومی است بلکه جزء اساسی از توسعه شهری نیز محسوب می‌شود. تجزیه و تحلیل کیفیت آب در تهران نشان داد که اختلافات معناداری در کیفیت آب مناطق مختلف وجود ندارد. نتایج تحقیقات پیشین نشان داده است که آب‌های زیرزمینی کیفیت بهتری دارند و به همین دلیل برای تأمین آب آشامیدنی مناسب‌ترند. در مقابل، منابع آب سطحی با چالش‌های بزرگتری در زمینه کیفیت مواجه هستند و ایجاد راهکارهای مؤثر در زمینه تصفیه و مدیریت این منابع ضروری است. حفاظت از منابع آب زیرزمینی و اجرای فرآیندهای تصفیه مؤثر برای منابع آب سطحی گام‌های حیاتی در تأمین آب شرب پایدار و سالم برای شهروندان هستند. تجزیه و تحلیل داده‌های بیماری، اطلاعات مهمی را در مورد ناقلین، زیستگاه‌ها و الگوهای رفتاری آن‌ها در برداشت که منجر به درک جامعی از اکوسیستم بیماری‌های واگیر شهر می‌گردد. تدابیر هدفمند در کنترل بیماری‌های واگیردار در مناطق با ریسک بالا و آموزش به جامعه هدف برای کاهش ریسک بیماری‌ها ضروری است. در مجموع، این تحقیق اهمیت تجزیه و تحلیل مکانمند در درک تعاملات پیچیده بین محیط زیست و سلامت عمومی در تهران را نشان می‌دهد و نتایج آن می‌تواند مبنایی برای اتخاذ راهبردهای بهینه برای توسعه پایدار شهری باشد.

### مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کلیه عزیزانی که در این تحقیق همکاری لازم را داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

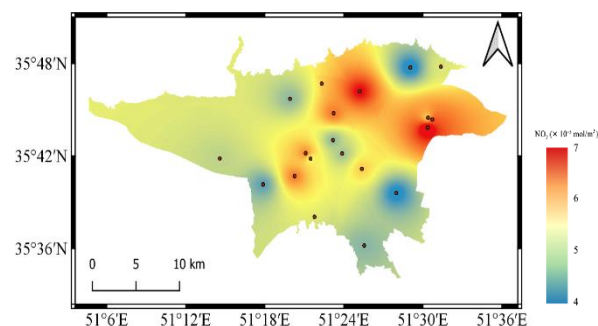
### تعارض منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

### منابع و مأخذ

- [1] Torabi SA, Hassini E. An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy Sets Syst* 2008;159: 193–214. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2007.08.010>
- [2] Tan KT, Lee KT, Mohamed AR. Potential of waste palm cooking oil for catalyst-free biodiesel production. *Energy* 2011;36:2085–8. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.003>.
- [3] Roshan M, Tavakkoli-Moghaddam R, Rahimi Y. A two-stage approach to agile pharmaceutical supply chain management

بنابراین، تمرکز اصلی برای پیشگیری، باید در مناطق گرم و مرطوب باشد. همچنین، برای پیشگیری از این نوع بیماری‌ها درک دینامیک پیچیده انتقال بیماری در محیط شهری بسیار کارساز است. بدین ترتیب، همکاری نزدیک با مقامات بهداشت محلی و جمع‌آوری داده‌ها در موارد گزارش شده، از نوع بیماری، موقعیت مکانی و متغیرهای محیطی آن حائز اهمیت است. در این میان، آموزش و مشارکت جامعه نقش اساسی در افزایش آگاهی و اجرای اقدامات پیشگیرانه ایفا می‌کنند.



شکل ۲: نقشه توزیع گاز NO<sub>2</sub> در شهر تهران در سال ۱۴۰۱  
Fig. 2: NO<sub>2</sub> gas distribution map in Tehran in 2022

جدول ۱: پارامترهای کیفیت آب  
Table 1: Water quality parameters

میزان فلزات سنگین Heavy Metals (µg/L)	میزان اکسیژن خواهی BOD (mg/L)	میزان اکسیژن خواهی COD (mg/L)	کدری Turbidity (NTU)	اسیدی یا بازی pH Level
کمتر از میزان انتظار Below detectable limits	3.2	8.0	1.5	7.2

### نتیجه‌گیری

بررسی و تحلیل تعاملات زیست محیطی و سلامت عمومی در تهران موجب می‌شود تا برنامه‌ریزی شهری، سیاست‌گذاری سلامت عمومی و تخصیص منابع با دقت بالاتری انجام شود. نتایج تجزیه و تحلیل مکانمند ما را به درک عمیق‌تری از چالش‌ها و فرصت‌های مدیریت شهری تهران می‌رساند. داده‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا به ما امکان داد تا نقشه‌های دقیق از غلظت آلاینده‌ها و تغییرات مکانی آن‌ها به دست آوریم. این نقشه‌ها در پایش ریسک‌های سلامت مرتبط با آلودگی هوا بسیار ارزشمند هستند. تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت هوا غلظت‌های بالایی از مواد ذراتی PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> در مناطق شهری با جمعیت متراکم را نشان داد. این آلاینده‌ها، ذراتی هستند که به عمق دستگاه تنفسی می‌کنند و به مشکلات جسمی متعددی از جمله عفونت‌های تنفسی، بیماری‌های قلبی عروقی و حتی مرگ زودرس منجر می‌شوند. علاوه بر این، غلظت NO<sub>2</sub> در نزدیکی معابر اصلی نشان‌دهنده سهم عمده وسایل نقلیه در تولید این گاز است. حل این معضلات نیاز به اقدامات هدفمندی مانند اجرای استانداردهای سخت‌گیرانه برای



- [15] Habib MS, Asghar O, Hussain A, Imran M, Mughal MP, Sarkar B. A robust possibilistic programming approach toward animal fat-based biodiesel supply chain network design under uncertain environment. *J Clean Prod* 2021;278. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122403>.
- [16] Guo S, Zhao H. Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowl Based Syst* 2017;121: 23–31. <https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2017.01.010>.
- [17] Ghelichi Z, Saidi-Mehrabad M, Pishvae MS. A stochastic programming approach toward optimal design and planning of an integrated green biodiesel supply chain network under uncertainty: A case study. *Energy* 2018;156: 661–87. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.103>.
- [18] Ghaderi H, Moini A, Pishvae MS. A multi-objective robust possibilistic programming approach to sustainable switchgrass-based bioethanol supply chain network design. *J Clean Prod* 2018;179: 368–406. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.218>.
- [19] Ge Y, Li L, Yun L. Modeling and economic optimization of cellulosic biofuel supply chain considering multiple conversion pathways. *Appl Energy* 2021;281. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116059>.
- [20] Fattahi M, Govindan K. A multi-stage stochastic program for the sustainable design of biofuel supply chain networks under biomass supply uncertainty and disruption risk: A real-life case study. *Transp Res E Logist Transp Rev* 2018;118: 534–67. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.08.008>.
- [21] Chávez MMM, Sarache W, Costa Y. Towards a comprehensive model of a biofuel supply chain optimization from coffee crop residues. *Transp Res E Logist Transp Rev* 2018;116: 136–62. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.06.001>.
- [22] Babazadeh R, Razmi J, Pishvae MS, Rabbani M. A sustainable second-generation biodiesel supply chain network design problem under risk. *Omega (United Kingdom)* 2017;66:258–77. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.010>
- [23] Babazadeh R, Ghaderi H, Pishvae MS. A benders-local branching algorithm for second-generation biodiesel supply chain network design under epistemic uncertainty. *Comput Chem Eng* 2019;124: 364–80. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.01.013>.
- [24] Pulighe G, Pirelli T. Assessing the sustainability of bioenergy pathways through a land-water-energy nexus approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2023;184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113539>
- [25] Afkhami P, Zarrinpoor N. The energy-water-food-waste-land nexus in a GIS-based biofuel supply chain design: A case study in Fars province, Iran. *J Clean Prod* 2022;340: 130690. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.130690>
- [26] Kianfar N, Mesgari MS. GIS-based spatio-temporal analysis and modeling of COVID-19 incidence rates in Europe. *Spat Spatiotemporal Epidemiol* 2022;41. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2022.100498>
- with product substitutability in crises. *Comput Chem Eng* 2019;127:200–17. <https://doi.org/10.1016/J.COMPCHEMENG.2019.05.014>.
- [4] Rezaei J. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega (United Kingdom)* 2015;53:49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>.
- [5] Nur F, Aboytes-Ojeda M, Castillo-Villar KK, Marufuzzaman M. A two-stage stochastic programming model for biofuel supply chain network design with biomass quality implications. *IIE Trans* 2021;53:845–68. <https://doi.org/10.1080/24725854.2020.1751347>.
- [6] Namany S, Al-Ansari T, Govindan R. Optimisation of the energy, water, and food nexus for food security scenarios. *Comput Chem Eng* 2019;129. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106513>.
- [7] Mohseni S, Pishvae MS. Data-driven robust optimization for wastewater sludge-to-biodiesel supply chain design. *Comput Ind Eng* 2020;139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.001>.
- [8] Marler RT, Arora JS. Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 2004;26:369–95. <https://doi.org/10.1007/S00158-003-0368-6>.
- [9] Mahjoub N, Sahebi H. The water-energy nexus at the hybrid bioenergy supply chain: A sustainable network design model. *Ecol Indic* 2020;119. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106799>
- [10] Li Y, Kesharwani R, Sun Z, Qin R, Dagli C, Zhang M, et al. Economic viability and environmental impact investigation for the biofuel supply chain using co-fermentation technology. *Appl Energy* 2020;259. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.114235>
- [11] Leong H, Leong H, Foo DCY, Ng LY, Andiappan V. Hybrid approach for carbon-constrained planning of bioenergy supply chain network. *Sustain Prod Consum* 2019;18: 250–67. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2019.02.011>
- [12] Kang S, Heo S, Realff MJ, Lee JH. Three-stage design of high-resolution microalgae-based biofuel supply chain using geographic information system. *Appl Energy* 2020;265. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114773>
- [13] Jingura RM, Matengaifa R, Musademba D, Musiyiwa K. Characterisation of land types and agro-ecological conditions for production of *Jatropha* as a feedstock for biofuels in Zimbabwe. *Biomass Bioenergy* 2011;35: 2080–6. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.004>.
- [14] Jeong H, Sieverding HL, Stone JJ. Biodiesel Supply Chain Optimization Modeled with Geographical Information System (GIS) and Mixed-Integer Linear Programming (MILP) for the Northern Great Plains Region. *Bioenergy Res* 2019;12: 229–40. <https://doi.org/10.1007/S12155-018-9943-Y>.



**قاسم آذری آرانی** دارای مدرک دکتری تخصصی فناوری اطلاعات از دانشگاه آزاد قم می‌باشد. ۳۰ سال فعالیت آموزشی و پژوهشی و همکاری با مجلات علمی دارد و از سال ۱۳۹۷ تا اکنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی برق و کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه فنی و حرفه‌ای دانشکده فنی شهید رجایی کاشان مشغول به فعالیت هستند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و ریاتیکز، تبدیل متن به گفتار، مدیریت ارتباط با مشتریان، مدیریت زنجیره تأمین، سیستم‌های عامل.

**Azari Arani, Gh. Assistant professor at the Department of Information and Communication Technology, Technical and Vocational University, Tehran, Iran**

✉ ghazariarani@tvu.ac.ir



**علیرضا احمدی** دارای مدرک کارشناسی مهندسی نرم‌افزار از دانشگاه کاشان می‌باشد و مشغول فعالیت در یک شرکت دانش بنیان است. زمینه‌های تخصصی و علاقمندی ایشان عبارتند از: داده کاوی، هوش مصنوعی.

**Ahmadi, A. Department of Computer Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Kashan University, Kashan, Iran**

✉ aaboy2014@gmail.com



**کوثر آذری آرانی** دارای مدرک کارشناسی مهندسی نرم‌افزار از دانشگاه کاشان می‌باشد و مشغول فعالیت در حوزه آموزش و پژوهش است. زمینه‌های تخصصی و علاقمندی ایشان عبارتند از: داده کاوی، هوش مصنوعی.

**Azari Arani, K. Department of Computer Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Kashan University, Kashan, Iran**

✉ ksrazr1995@gmail.com

[27]Shabanpour N, Razavi-Termeh SV, Sadeghi-Niaraki A, Choi SM, Abuhmed T. Integration of machine learning algorithms and GIS-based approaches to cutaneous leishmaniasis prevalence risk mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2022;112. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102854>.

[28]Mollalo A, Sadeghian A, Israel GD, Rashidi P, Sofizadeh A, Glass GE. Machine learning approaches in GIS-based ecological modeling of the sand fly *Phlebotomus papatasi*, a vector of zoonotic cutaneous leishmaniasis in Golestan province, Iran. *Acta Trop* 2018;188: 187–94. <https://doi.org/10.1016/J.ACTATROPICA.2018.09.004>

[29]Kollikkathara N, Feng H, Stern E. A purview of waste management evolution: Special emphasis on USA. *Waste Management* 2009;29: 974–85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.032>.

[30]Kao JJ. A raster-based C program for siting a landfill with optimal compactness. *Comput Geosci* 1996;22: 837–47. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(96\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(96)00022-2).

[31]Chan FTS, Chan MH, Tang NKH. Evaluation methodologies for technology selection. *J Mater Process Technol* 2000;107: 330–7. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00679-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00679-8).

[32]Sener B, Süzen ML, Doyuran V. Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental Geology* 2006;49: 376–88. <https://doi.org/10.1007/S00254-005-0075-2>.

[33]Gutiérrez F, Cooper AH, Johnson KS. Identification, prediction, and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas. *Environmental Geology* 2008;53: 1007–22. <https://doi.org/10.1007/S00254-007-0728-4>.

[34]Ray RL, De Smedt F. Slope stability analysis on a regional scale using GIS: A case study from Dhading, Nepal. *Environmental Geology* 2009;57: 1603–11. <https://doi.org/10.1007/S00254-008-1435-5>.

معرفی نویسنده‌گان

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES

**Citation (Vancouver):** Tootoonchian M. A. [Using Spatial Analysis and Decision Support Systems for Design and Development of Urban Roads]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 127-134

 <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10314.1027>



### COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Using Spatial Analysis and Decision Support Systems for Design and Development of Urban Roads

M. A. Tootoonchian

Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

### ABSTRACT

Received: 23 July 2023  
Reviewed: 6 September 2023  
Revised: 13 September 2023  
Accepted: 31 October 2023

#### KEYWORDS:

Environmental Impacts  
Urban Road Development  
Spatial Analysis  
Urban Planning

\* Corresponding author

✉ [amin@pnu.ac.ir](mailto:amin@pnu.ac.ir)

☎ (+9821) 77311391

**Background and Objectives:** The rapid growth of cities is a global phenomenon that has become a challenge in our country. The lack of development of urban infrastructures at the same time as the expansion of cities, especially in the transportation sector, has created many problems such as heavy traffic and air pollution for big cities. The aim of this research is to provide a solution to deal with the challenges facing the city of Tehran in the field of development of urban roads by using analysis based on geographic information system (GIS) and decision support systems so that it can improve planning in construction. And the development of urban roads achieved a sustainable development in the transportation sector. For this reason, it is very important to know the current situation in planning for road development in Tehran, to identify areas for improvement and to provide solutions based on GIS. These solutions lead to optimization of route selection, environmental impact assessments, efficient project cost management and effective risk management.

**Methods:** To achieve the research objectives, a multifaceted method was adopted. At first, the collection of spatial data related to the urban road network including transportation networks, environmental parameters and existing road infrastructures was done. Then, GIS technology was used to perform spatial analysis, route optimization using Dijkstra's shortest path algorithm (SPA) and environmental impact assessments. Decision support systems were developed to facilitate data-based decision making in each scenario in road construction project analysis. Finally, the scenarios obtained from the spatial analysis were compared with the road construction operational projects.

**Results:** The results of this research showed the significant capacity of spatial information analysis based on GIS and decision support systems in modifying planning for the development of road construction in urban Tehran. These technologies reduce urban traffic by 20% through optimal route selection and improve the efficiency of urban transportation. Environmental impact assessments also showed that the use of these methods can lead to a 36% reduction in harmful effects, including air pollution. Also, the integration of GIS-based cost management tools led to the reduction of road construction costs. Identifying risk reduction strategies through spatial analysis ensures the success of the project in terms of timing and cost and ultimately leads to the satisfaction of citizens.

**Conclusion:** Using GIS-based spatial analysis and SPA algorithm, routes with minimum travel time were identified that reduce traffic and increase transportation efficiency. Reduction in travel time can lead to increase in productivity and improve the quality of life of citizens. In addition, optimized routing can help reduce fuel consumption and air pollution. In addition, the Environmental Impact Assessment (EIA) index has shown a significant improvement in the environmental sustainability of scenarios that are based on spatial analysis. Thus, reducing the levels of air and noise pollution and maintaining green spaces can help to increase the quality of life of citizens. In addition, reducing harmful environmental effects can contribute to the long-term growth and development of the city. On the other hand, by identifying capacity risk in the planning stage, project managers can allocate resources more effectively and implement measures to prevent delays and cost overruns.





NUMBER OF REFERENCES

32



NUMBER OF FIGURES

1



NUMBER OF TABLES

2

## مقاله پژوهشی

## استفاده از تجزیه و تحلیل مکانی و سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری برای طراحی و توسعه راه‌های شهری

محمد امین توتونچیان

گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** رشد سریع شهرها یک پدیده جهانی است که در کشور ما هم این مسأله به یک چالش تبدیل شده است. عدم توسعه زیرساخت‌های شهری همزمان با گسترش شهرها به‌ویژه در بخش حمل و نقل مشکلات عدیده‌ای از جمله ترافیک‌های سنگین و آلودگی هوا برای کلان شهرها ایجاد کرده است. هدف این تحقیق، ارائه راه‌حلی برای مقابله با چالش‌های پیش روی شهر تهران در حوزه توسعه راه‌های شهری با استفاده از تجزیه و تحلیل مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی (GIS) و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری است تا بتوان با بهبود برنامه‌ریزی در ساخت و توسعه راه‌های شهری به یک توسعه پایدار در بخش حمل و نقل دست یافت. به همین منظور، شناخت وضعیت فعلی در برنامه‌ریزی برای توسعه راه در شهر تهران، شناسایی زمینه‌های بهبود و ارائه راه‌حل‌های مبتنی بر GIS بسیار حائز اهمیت است. این راه‌حل‌ها به بهینه‌سازی انتخاب مسیر، انجام ارزیابی‌های اثرات زیست محیطی، مدیریت هزینه‌های پروژه به صورت کارآمد و مدیریت مؤثر ریسک منجر می‌شوند.

**روش‌ها:** برای دستیابی به اهداف تحقیق، یک روش چند وجهی اتخاذ گردید. در ابتدا، جمع‌آوری داده‌های مکانی مرتبط با شبکه راه‌های شهری از جمله شبکه‌های حمل و نقل، پارامترهای محیطی و زیرساخت‌های راه‌های موجود انجام گرفت. سپس از فناوری GIS برای انجام تجزیه و تحلیل مکانی، بهینه‌سازی مسیر با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر دیکسترا (SPA) و ارزیابی‌های اثرات زیست محیطی استفاده شد. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری برای تسهیل اتخاذ تصمیم مبتنی بر داده در هر سناریو در تحلیل پروژه ساخت راه توسعه داده شدند. در نهایت، سناریوهای به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل مکانی با پروژه‌های عملیاتی ساخت راه مقایسه گردید.

**یافته‌ها:** نتایج این تحقیق، ظرفیت قابل توجه تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی مبتنی بر GIS و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری در اصلاح برنامه‌ریزی برای توسعه ساخت راه در شهری تهران را نشان داد. این فناوری‌ها از طریق انتخاب بهینه مسیر موجب می‌شوند تا ترافیک شهری تا ۲۰٪ کاهش یافته و بهره‌وری حمل و نقل شهری را بهبود بخشند. ارزیابی‌های اثرات زیست محیطی هم نشان داد که استفاده از این روش‌ها می‌تواند منجر به کاهش ۳۶٪ اثرات مخرب از جمله آلودگی هوا شود. همچنین، ادغام ابزارهای مدیریت هزینه مبتنی بر GIS منجر به کاهش هزینه ساخت راه شد. شناسایی استراتژی‌های کاهش ریسک نیز از طریق تجزیه و تحلیل مکانی موفقیت پروژه را از لحاظ زمان‌بندی و هزینه کرد تضمین می‌کند و در نهایت، به رضایت شهروندان منجر می‌گردد.

**نتیجه‌گیری:** با استفاده از تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر GIS و الگوریتم SPA، مسیریابی با حداقل زمان سفر شناسایی شد که ترافیک را کاهش می‌دهند و کارایی حمل و نقل را افزایش می‌دهند. کاهش در زمان سفر، می‌تواند به افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان منجر شود. علاوه بر این، مسیریابی بهینه می‌تواند به کاهش مصرف سوخت و آلودگی هوا کمک کند. علاوه بر این، شاخص ارزیابی اثرات زیست محیطی (EIA) نمایانگر بهبود قابل توجه در پایداری زیست محیطی سناریوهای بوده است که مبتنی بر تحلیل مکانی است. بدین ترتیب، کاهش سطوح آلودگی هوا و صدا و حفظ فضاهای سبز می‌توانند به افزایش کیفیت زندگی شهروندان کمک کنند. علاوه بر این، کاهش اثرات مخرب زیست محیطی می‌تواند به رشد و توسعه بلندمدت شهر کمک کند. از طرف دیگر، با شناسایی ریسک ظرفیتی در مرحله برنامه‌ریزی، مدیران پروژه می‌توانند منابع را به طور مؤثرتر تخصیص دهند و اقداماتی را برای پیشگیری از تأخیرها و افزایش هزینه‌ها اجرا کنند.

تاریخ دریافت: ۰۱ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۱۵ شهریور ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۲۲ شهریور ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۹ آبان ۱۴۰۲

## واژگان کلیدی:

اثرات زیست محیطی  
توسعه راه شهری  
برنامه‌ریزی شهری  
تجزیه و تحلیل مکانی

\* نویسنده مسئول

amin@pnu.ac.ir

021-77311391

## مقدمه

شهرنشینی، پدیده‌ای جهانی ناپایدار است که محیط زیست را تغییر داده و شهرها را به سرعت به چالش کشیده است تا به نیازهای جدید جمعیتی سریعاً پاسخ دهد. شهر تهران، مثالی واضح از این رشد سریع شهری است. گسترش سریع تهران، موجب شده است تا شهر نیازمند توسعه زیرساخت‌ها به‌ویژه در زمینه ساخت راه شود. راه‌ها، عامل حیاتی هر کلان شهر هستند و حمل و نقل، بازرگانی و تعاملات اجتماعی را تسهیل می‌کنند. اما، رشد شتابان تهران بار سنگینی را بر شبکه راههای آن گذاشته است، که منجر به چالش‌های بحرانی مانند ترافیک شدید، افزایش آلودگی هوا و کاهش چشمگیر کارایی حمل و نقل شده است [۱-۳]. ظرفیت زیرساخت‌های راه‌های موجود در تهران، همگام با افزایش جمعیت تهران و توسعه سریع شهر نیست [۴]. در نتیجه، برنامه‌ریزی جامع و توسعه پایدار زیرساخت‌های راه‌های برای برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران تهران ضروری شده است. البته این کار باید با کمینه کردن اثرات مخرب زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی همراه شود [۵].

تحقیقات و پروژه‌های توسعه شهری پیشین در تهران قادر به درک پیچیدگی‌های مدیریت و بهبود ساخت راه در محیط شهری بوده‌اند. این تلاش‌ها به دستاوردهای ارزشمندی در درک الگوهای ترافیک تهران، اثرات ساخت بر محیط زیست و راهبردهای متعددی برای توسعه زیرساخت‌ها منجر شده است. هرچند، فقدان یک رویکرد جامع و داده‌محور که قادر به بهره‌برداری کامل از توانمندی‌های سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) باشد، احساس می‌شود [۶، ۷]. هرچند برخی از مطالعات به جنبه‌های خاص برنامه‌ریزی برای ساخت راه پرداخته‌اند (مانند مدیریت ترافیک یا ارزیابی اثرات زیست محیطی) اما در این پژوهش‌ها به یکپارچگی تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر GIS و سامانه‌های پشتیبانی تصمیمی جامع در سراسر چرخه طراحی و ساخت راه توجه کافی نشده است. این شکاف در تحقیقات نشانگر نیاز به یک رویکرد یکپارچه و پیش‌بینانه است که همه جوانب برنامه‌ریزی ساخت راه در محیط شهری منحصر به فردی مانند شهر تهران را در نظر بگیرد [۸].

هدف اصلی پژوهش‌های اخیر، مواجهه با چالش‌های چندگانه ناشی از توسعه سریع شهر تهران با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری است [۹-۱۱]. در این راستا، چند گام اصلی باید مورد توجه قرار گیرد که عبارتند از: (۱) ارزیابی وضعیت کنونی بدین معنی که از ابتدا به ارزیابی دقیقی از روند کنونی فرآیندهای برنامه‌ریزی ساخت راه در تهران پرداخته و نقاط قوت و ضعف آن‌ها استخراج گردد. این ارزیابی، پایه مهمی برای درک پیچیدگی‌های برنامه‌ریزی کنونی جهت ساخت راه در شهر تهران است [۱۲، ۱۳]؛ (۲) شناسایی چالش‌های قابل بهبود از طریق یکپارچه سازی تجزیه و تحلیل مکانی و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری با تجزیه و تحلیل جامع از وضعیت جاری؛ (۳) ارائه راه‌حل‌های مبتنی بر GIS با توجه به ارزیابی

نتایج ناشی از تجزیه و تحلیل چالش‌ها. این راه‌حل‌ها به بهینه‌سازی انتخاب مسیر، ارزیابی‌های جامع اثرات زیست محیطی، مدیریت بهینه پروژه و مدیریت مؤثر ریسک می‌پردازند؛ (۴) ارزیابی قابلیت اجرایی عملیات ساخت و ساز از طریق ارائه راه‌حل‌های مبتنی بر GIS از طریق تجزیه و تحلیل موردی در مورد پروژه‌های جاری ساخت راه در تهران [۱۴-۱۶]. (۵) بهینه‌سازی انتخاب مسیر با تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر GIS جهت افزایش کارایی حمل و نقل در تهران را افزایش می‌دهند. برای دستیابی به اهداف فوق‌الذکر در این تحقیق باید نکات کلیدی مدنظر قرار گیرند از جمله ارزیابی جامع اثرات زیست محیطی با رعایت الزامات توسعه پایدار، مدیریت بهینه پروژه عمرانی با ادغام ابزارهای مدیریت بودجه با سامانه‌های مبتنی بر GIS و مدیریت مؤثر ریسک با استفاده از تجزیه و تحلیل مکانی [۱۷، ۱۸]. در این تحقیق، سعی بر این است تا با در نظر گرفتن ملاحظات ذکر شده، راه‌حلی نوآورانه و داده‌محور برای مواجهه با چالش‌های چندگانه در مدیریت حمل و نقل شهر تهران ارائه گردد. بدین ترتیب، هدف اصلی این تحقیق استفاده بهینه از توانمندی‌های فناوری GIS و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری جهت بهبود برنامه‌ریزی برای ساخت راه در شهر تهران است تا از طریق توسعه روش‌های نو، بتوان به بهبود کیفیت زندگی در شهر تهران و کاهش اثرات نامطلوب زیست محیطی و اجتماعی کمک کرد.

## روش تحقیق

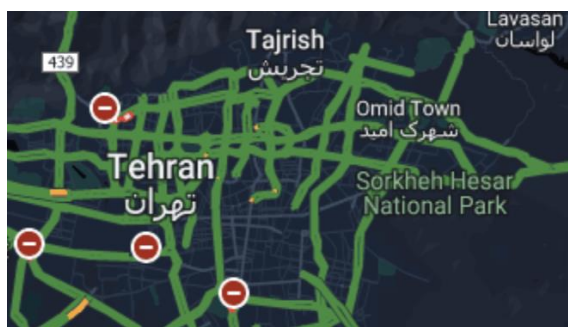
در این تحقیق، با هدف ارتقاء برنامه‌ریزی جهت ساخت راه پایدار در شهر تهران (شکل ۱) از طریق یکپارچه‌سازی تحلیل مکانی مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری است. در این بخش، شرح دقیقی از روش‌های مورد استفاده، اصول علمی، فرآیندهای تحلیلی و فرمول‌های کلیدی که نقش مهمی در تحقیق ما ایفا می‌کنند، ارائه می‌گردد [۱۹، ۲۰]. روش تحقیق این تحقیق شامل یک رویکرد چند وجهی برای طراحی بهینه راه جهت مقابله با چالش‌های پیچیده ناشی از رشد سریع شهر تهران است. به همین منظور مراحل زیر برای دستیابی به هدف تحقیق طراحی و اجرا شده است:

الف) جمع‌آوری داده‌ها: اساس این تحقیق مبتنی بر جمع‌آوری دقیق داده‌های مکانی مرتبط با زیرساخت‌های شهری تهران است که شامل انواع داده‌ها مانند کاربری اراضی، شبکه‌های حمل و نقل، پارامترهای محیطی و زیرساخت‌های راه‌های موجود می‌شود. این داده‌ها از منابع متنوعی مانند تصاویر ماهواره‌ای، نظرسنجی‌ها و پایگاه‌های داده به دست می‌آید و به صورت سیستماتیک به لایه‌ها منظم تبدیل می‌شوند تا تجسم روابط مکانی پیچیده را آسان کنند.

ب) پیش‌پردازش داده‌ها: پس از جمع‌آوری داده‌ها نوبت به پیش‌پردازش داده‌های مکانی می‌رسد که شامل تمیزکردن داده‌ها و استانداردسازی آنها می‌شود. این فرآیند، موجب می‌شود تا داده‌ها یکسان، دقیق و آماده برای تحلیل باشند. فرآیندهایی مانند زمین مرجع کردن، اعتبارسنجی داده‌ها و تبدیل سیستم مختصات‌های مختلف به یک سیستم مختصات مشترک در این مرحله انجام می‌شود.

سفر و شرایط مسیر مؤثر است. رابطه الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر به صورت زیر نمایش داده می‌شود [۲۵]:

$$d(v) = \min(d(v), d(u) + w(u, v)) \quad (1)$$



شکل ۱: نقشه ترافیکی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1: Traffic map of the study area

فرمول‌ها دارای مشکل است، لطفاً بررسی شود که  $d(v)$  کوتاه‌ترین فاصله از گره ابتدایی ( $u$ ) به گره انتهایی ( $u$ )،  $d(u)$  کوتاه‌ترین فاصله تا گره ابتدایی،  $w(u, v)$  وزن یا هزینه سفر از گره ابتدایی به گره انتهایی و تابع  $\min$  کمترین مقدار بین کوتاه‌ترین فاصله فعلی تا گره  $d(v)$  و جمع کوتاه‌ترین فاصله تا گره  $d(u)$  و وزن بین گره‌ها را انتخاب می‌کند.

#### شاخص ارزیابی اثرات محیطی

در ارزیابی اثرات محیطی پروژه‌های ساخت راه، از شاخص ارزیابی اثرات زیست محیطی (EIA) استفاده می‌کنیم [۲۶]. این شاخص متشکل از چندین عامل محیطی است و اثرات زیست محیطی احتمالی انواع مختلف پروژه‌ها را به صورت کمی ارزیابی کرده و فرصت‌های مهار و کاهش آن‌ها را شناسایی می‌کند [۲۷]. در روش تحقیق نقش اساسی دارد. رابطه شاخص EIA به صورت زیر نمایش داده می‌شود [۲۸]:

$$EIA = \sum_{i=1}^n W_i \cdot F_i \quad (2)$$

که EIA شاخص ارزیابی اثرات محیطی،  $W_i$  وزنی است که به هر عامل محیطی اختصاص داده شده و نمایانگر اهمیت نسبی هر عامل است،  $F_i$  مقدار نرمال شده هر عامل محیطی و  $n$  تعداد عوامل محیطی مورد ارزیابی است.

#### نتایج و بحث

در این بخش، نتایج تحقیق با استفاده از ادغام تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری ارائه می‌گردد که هدف آن، تقویت برنامه‌ریزی برای ساخت راه و توسعه پایدار در شهر تهران است.

#### انتخاب مسیر بهینه

یکی از اهداف اصلی این تحقیق، انتخاب مسیر بهینه برای پروژه‌های ساخت راه در تهران بود. برای دستیابی به این هدف، از تجزیه و تحلیل

(پ) ادغام داده‌ها: برای سازماندهی، ادغام و مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی جمع‌آوری شده باید از سامانه اطلاعات مکانی استفاده شود. این امر به ما امکان تولید نقشه‌های دقیق، بصری‌سازی روابط مکانی پیچیده و اجرای تحلیل‌های مکانی پیشرفته را می‌دهد که همگی برای برنامه‌ریزی مؤثر در زمینه ساخت راه ضروری هستند [۲۱].

(ت) تجزیه و تحلیل مکانی: با استفاده از تکنیک‌های تحلیل مکانی می‌توان مسیره‌های بهینه، ارزیابی اثرات زیست محیطی احتمالی و ارزیابی دسترسی و ارتباطات شهری را بررسی کرد. ابزارهای تحلیل مکانی مبتنی بر GIS به ما امکان مدل‌سازی و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف را می‌دهند که در نهایت به تعیین بهترین استراتژی‌های ساخت راه منجر می‌شوند. فناوری GIS ابزارهای اساسی را برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تجزیه و تحلیل و تصویرسازی سیستماتیک داده‌های مکانی فراهم می‌کند و به ما امکان می‌دهد تا نقشه‌های دقیق تولید کنیم، پرس و جوهای مکانی را پیاده‌سازی کنیم و پردازش مکانی پیچیده را به راحتی انجام دهیم. مهم‌ترین این ابزارها این امکان را به ما می‌دهد که لایه‌های مختلف داده‌ها را با یکدیگر ترکیب کنیم و به ما این امکان را می‌دهد تا به نتایج معناداری دست یابیم [۲۲، ۲۳].

(ث) سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری: سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری به عنوان یک ابزار در ارائه نقشه‌ها و تصویرسازی‌ها و شبیه‌سازی‌های مبتنی بر سناریو به تصمیم‌گیران در مراحل مختلف پروژه استفاده می‌شود. این سامانه‌ها داده‌های GIS و نتایج تحلیلی را ترکیب کرده و اطلاعات قابل اجرا را به مدیران پروژه، برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران ارائه می‌دهند. البته، برای کمک به تصمیم‌گیران در مراحل مختلف پروژه‌های ساخت راه در تهران، سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری به صورت سفارشی قابل توسعه است [۲۴].

(ج) مطالعات موردی: مطالعات موردی عملیاتی از پروژه‌های ساخت راه در تهران بخشی اساسی از روش تحقیق را تشکیل می‌دهند. این مطالعات موردی به ما اجازه می‌دهند تا اثربخشی راهکارهای مبتنی بر GIS در تنظیمات پروژه‌های عملیاتی ارزیابی کنیم و بهترین شیوه‌ها را شناسایی کنیم.

(چ) تکرار فرآیند تحلیل: فرآیند تحلیل به طور ذاتی به صورت تکراری است و این امکان را می‌دهد که به صورت مداوم سناریوها بهبود یابد و بهینه شود. در این مرحله، بازخوردی که از تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران پروژه به دست می‌آید به صورت سیستماتیک دریافت و با نتایج قبلی ادغام می‌شود و بدین ترتیب، بهینه‌سازی سناریوها امکان پذیر می‌گردد.

#### طراحی مسیر بهینه

الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر دیکسترا (SPA) به طور معمول در نظریه گراف و الگوریتم‌های مسیریابی شبکه برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره در یک گراف مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الگوریتم، در محاسبه مسیر بهینه بین دو نقطه و در نظر گرفتن عوامل مختلفی مانند فاصله، زمان



تجزیه و تحلیل ما، نشان داد که ارزیابی ریسک مبتنی بر GIS به طریق چشمگیری نرخ موفقیت تلاش‌های مدیریت ریسک را بهبود می‌بخشد. این نرخ موفقیت برای اتمام به موقع و بهینه پروژه‌های ساخت راه بسیار حائز اهمیت است. با شناسایی ریسک‌های ممکن در مراحل ابتدایی برنامه‌ریزی، مدیران پروژه می‌توانند منابع را به طرز مؤثرتر تخصیص دهند و اقدامات لازم را برای جلوگیری یا کاهش مشکلاتی که منجر به تأخیر و افزایش هزینه‌ها می‌شوند، انجام دهند.

جدول ۲: ارزیابی اثرات محیطی

Table 2: Assessment of environmental impacts

منطقه Region	امتیاز EIA بدون GIS EIA Score without GIS analysis	امتیاز EIA با GIS EIA Score with GIS analysis	درصد کاهش در امتیاز EIA Reduction in EIA Score (%)
شمال تهران North Tehran	75	48	36
غرب تهران West Tehran	92	62	32
جنوب تهران South Tehran	80	55	31

#### تبعات اقتصادی و اجتماعی

بهینه‌سازی سناریوهای ساخت راه و کاهش اثرات محیطی می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها شود و این صرفه‌جویی‌ها می‌توانند در پروژه‌های توسعه شهری دیگر یا بهبود خدمات عمومی به کار روند. علاوه بر این، کاهش ترافیک و زمان‌های سفر می‌تواند بهبود چشمگیری در زندگی روزمره شهروندان داشته باشد. کاهش زمان سفر منجر به کاهش ترافیک و در نتیجه افزایش بهره‌وری و کاهش سطوح استرس شهروندان می‌گردد. به علاوه، بهبود کیفیت هوا ناشی از کاهش ترافیک می‌تواند اثرات مثبتی بر سلامت جامعه داشته باشد. مدیریت موفقیت ریسک هم تبعات اقتصادی دارد. با اجتناب از تأخیرها و هزینه‌های غیرمنتظره، پروژه‌های ساخت راه می‌توانند به موقع و با بودجه پیش‌بینی شده اختتام یابند. به عبارت دیگر، روش پیشنهادی می‌تواند به پیش‌بینی پذیرتر شدن بودجه پروژه در زمان‌بندی مناسب کمک کند.

اگرچه این تحقیق بر شهر تهران متمرکز بوده است، اما از آن‌جا که چالش‌های ناشی از توسعه کلان شهرها تقریباً یکسان است لذا ادغام تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر GIS و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری می‌تواند به عنوان یک الگو برای مناطق شهری دیگری که به دنبال مقابله با این چالش‌ها هستند، عمل کند. نتایج، نشان داد که ادغام داده‌های مکانی و تجزیه و تحلیل آن‌ها با استفاده از فناوری GIS و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری می‌تواند به بهبود برنامه‌ریزی ساخت راه و توسعه پایدار در مناطق شهری منجر شود. این نتایج، بر اهمیت تصمیم‌گیری مبتنی بر داده، آگاهی از اثرات زیست محیطی، بهره‌وری در هزینه‌ها و مدیریت ریسک در اجرای موفقیت‌آمیز پروژه‌های ساخت راه تأکید می‌کنند. این یافته‌ها برای برنامه‌ریزان شهری،

مکانی مبتنی بر GIS و الگوریتم SAP استفاده کردیم. در بخش تجزیه و تحلیل، ملاحظات متعددی از جمله الگوهای ترافیک، زیرساخت‌های موجود و حساسیت محیطی برای شناسایی مسیرهای مؤثر در نظر گرفته شد. همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، بهبود قابل ملاحظه‌ای در بهره‌وری حمل و نقل در مناطق شهری تهران به وجود آمده است. با کاهش ترافیک و کاهش زمان سفر، مسیرهای بهینه شده موجب بهبود کیفیت حمل و نقل درون شهری و در نهایت کاهش مصرف سوخت و بهبود کیفیت زندگی شهروندان می‌گردد. علاوه بر این، مسیرهای بهینه می‌توانند اثرات مخرب محیطی پروژه‌های ساخت راه را به طرز چشمگیری کاهش دهند.

جدول ۱: نتایج بهینه‌سازی مسیر

Table 1: Route optimization results

منطقه Region	کاهش زمان سفر Reduction in Travel Time (%)	کاهش ترافیک Reduction in Congestion	اثرات محیطی Environmental Impact
شمال تهران North Tehran	18	متوسط Moderate	پایین Low
غرب تهران West Tehran	14	بالا High	متوسط Moderate
جنوب تهران South Tehran	20	پایین Low	پایین Low

#### ارزیابی اثرات محیطی

برای ارزیابی جامع اثرات محیطی پروژه‌های ساخت راه در تهران، از شاخص EIA استفاده شد. این شاخص، شامل عوامل محیطی متعددی است که هر یک بنابر اهمیت خود، وزن دهی می‌شوند. این شاخص، به ما امکان ارزیابی کمی اثرات محیطی هر یک سناریوهای مختلف پروژه را می‌دهد. نتایج، نشان دادند که شاخص EIA پروژه‌هایی که شامل ارزیابی محیطی مبتنی بر GIS بودند، به طرز چشمگیری پایین‌تر از پروژه‌هایی بود که این ارزیابی‌ها را نداشتند که به معنای بهبود قابل ملاحظه در پایداری محیطی است (جدول ۲). به عنوان مثال، در شمال تهران، کاهش زمان سفر و ترافیک، همراه با کاهش اثرات محیطی، اثرات مثبت رویکرد ما را نشان می‌دهد. به طریق مشابه، کاهش امتیازهای EIA در غرب و جنوب تهران بر مزیت‌های ارزیابی محیطی مبتنی بر GIS تأکید می‌کند. کاهش آلودگی هوا و صدا و نیز حفظ و توسعه فضاهای سبز می‌تواند به افزایش کیفیت زندگی شهروندان شهری کمک کند. به علاوه، کاهش اثرات محیطی می‌تواند جذابیت شهر را برای کسب و کارها و شهروندان بهبود دهد.

#### مدیریت بحران

مدیریت مؤثر بحران برای تضمین موفقیت پروژه‌های ساخت راه بسیار حائز اهمیت است. تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر GIS نقش اساسی در شناسایی ریسک‌های ممکن مرتبط با پروژه‌های ساخت در تهران ایفا کرد. با شناسایی این ریسک‌ها، سازمان‌های مربوطه و مدیران پروژه بهتر از هر زمانی برای توسعه استراتژی‌های پیشگیری از بحران آماده شدند.

ادغام تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر GIS و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری به‌عنوان بهترین ابزار برای رفع این چالش‌ها در نظر گرفته شده است.

### مشارکت نویسندگان

مقاله، دارای یک نویسنده می‌باشد.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله، از شهرداری تهران، به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز صمیمانه تشکر می‌گردد.

### تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسنده بیان نشده است.»

### منابع و مآخذ

- [1] Firozjaei MK, Nematollahi O, Mijani N, Shorabeh SN, Firozjaei HK, Toomanian A. An integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. *Renew Energy* 2019;136:1130–46.
- [2] Shorabeh SN, Firozjaei HK, Firozjaei MK, Jelokhani-Niaraki M, Homae M, Nematollahi O. The site selection of wind energy power plant using GIS-multi-criteria evaluation from economic perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022;168.
- [3] Bosisio A, Moncecchi M, Morotti A, Merlo M. Machine learning and GIS approach for electrical load assessment to increase distribution networks resilience. *Energies (Basel)* 2021;14.
- [4] Giovanazzi S, Marchili C, Di Pietro A, Giordano L, Costanzo A, Porta L La, et al. Assessing earthquake impacts and monitoring resilience of historic areas: Methods for gis tools. *ISPRS Int J Geoinf* 2021;10.
- [5] Duan C, Zhang J, Chen Y, Lang Q, Zhang Y, Wu C, et al. Comprehensive Risk Assessment of Urban Waterlogging Disaster Based on MCDA-GIS Integration: The Case Study of Changchun, China. *Remote Sens (Basel)* 2022;14.
- [6] Mayouf Z, Nouibat B. Spatial Modeling for Urban Resilience Assessment: Using AHP and GIS (Case Study of Bou-Saâda City, Algeria). *Technium Social Sciences Journal* 2022;36:607–18.
- [7] Doorga JRS, Magerl L, Bunwaree P, Zhao J, Watkins S, Staub CG, et al. GIS-based multi-criteria modelling of flood risk susceptibility in Port Louis, Mauritius: Towards resilient flood management. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 2022;67. h

سیاست‌گذاران و مدیران پروژه مفید هستند و از آن می‌توانند برای حل چالش‌های ساخت راه در یک محیط شهری استفاده کنند.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله، به چالش‌های پیچیده ناشی از رشد سریع شهر تهران و اقدامات لازم برای بهبود برنامه‌ریزی ساخت راه از طریق تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر GIS و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری متمرکز شدیم. نتایج، نشان داد که چالش‌های مهم ناشی از توسعه شهری که در شهر تهران با آن مواجه هستیم، در مقیاس جهانی نیز تطابق دارد [۲۹،۳۰]. همچنین ظرفیت فناوری GIS و سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری برای این هدف نیز مورد بررسی قرار گرفت [۳۱]. یکی از جنبه‌های اساسی این تحقیق، بهینه‌سازی سناریوهای ساخت راه بود. با استفاده از تجزیه و تحلیل مکانی مبتنی بر GIS و الگوریتم SPA، مسیرهایی با حداقل زمان سفر شناسایی شد که ترافیک را کاهش می‌دهند و کارایی حمل و نقل را افزایش می‌دهند. کاهش در زمان سفر می‌تواند به افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان منجر شود. علاوه بر این، مسیریابی بهینه می‌تواند به کاهش مصرف سوخت و آلودگی هوا کمک کند. علاوه بر این، شاخص EIA اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های ساخت راه را به صورت کمی ارزیابی کرد. با در نظر گرفتن وزن‌دهی به انواع مختلف عوامل زیست‌محیطی، مشخص شد که پروژه‌هایی که ارزیابی‌های زیست‌محیطی مبتنی بر GIS دارند، امتیازهای EIA کمتری نسبت به پروژه‌های بدون این ارزیابی کسب کرده‌اند. این کاهش، نمایانگر بهبود قابل توجه در پایداری زیست‌محیطی است. کاهش سطوح آلودگی هوا و صدا و حفظ فضاهای سبز می‌تواند به افزایش کیفیت زندگی شهروندان کمک کنند. علاوه بر این، کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی می‌تواند به رشد و توسعه بلندمدت شهر کمک کند [۳۲]. مدیریت مؤثر ریسک برای موفقیت پروژه‌های ساخت راه ضروری است. تحلیل ما نشان داد که ارزیابی‌های مبتنی بر GIS به طور قابل توجهی نرخ موفقیت در تلاش‌های کاهش ریسک را افزایش می‌دهد. با شناسایی ریسک ظرفیتی در مرحله برنامه‌ریزی، مدیران پروژه می‌توانند منابع را به طور مؤثرتر تخصیص دهند و اقداماتی را برای پیشگیری از تأخیرها و افزایش هزینه‌ها اجرا کنند. این جنبه از تحقیق بر اهمیت عملی فناوری GIS در اطمینان از اتمام به‌موقع و بهره‌وری بیشتر پروژه‌های زیرساختی تأیید می‌کند. همچنین، بهینه‌سازی سناریوهای ساخت راه می‌تواند به صرفه‌ترین روش را برای توسعه راه‌ها فراهم کند. علاوه بر این، کاهش ترافیک و زمان‌های سفر می‌تواند به طور مستقیم بر زندگی روزمره شهروندان تأثیر بگذارد و به افزایش بهره‌وری و کاهش استرس منجر شود و نیز بهبود کیفیت هوا، ناشی از کاهش ترافیک، می‌تواند اثرات مثبتی روی سلامت جامعه داشته باشد. با بررسی موارد مشابه مشخص شد که رشد سریع شهرنشینی یک پدیده جهانی است و شهرهای زیادی در سراسر جهان با چالش‌های مشابه در زمینه ساخت و توسعه راه‌های شهری روبه‌رو هستند و در اغلب موارد

- [21] Aragonés-Beltrán P, Aznar J, Ferrís-Oñate J, García-Melón M. Valuation of urban industrial land: An analytic network process approach. *Eur J Oper Res* 2008;185:322–39.
- [22] Feizizadeh B, Blaschke T. GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: Comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. *Natural Hazards* 2013;65:2105–28.
- [23] Abedi Gheshlaghi H, Feizizadeh B. An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping. *Journal of African Earth Sciences* 2017;133:15–24.
- [24] Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Prog Plann* 2004;62:3–65.
- [25] Gorsevski P V., Donevska KR, Mitrovski CD, Frizado JP. Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management* 2012;32:287–96.
- [26] Valmohammadi C, Ghassemi A. Identification and prioritization of the barriers of knowledge management implementation using fuzzy analytical network process: A case study of the Iranian context. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*
- [27] RazaviToosi SL, Samani JMV. Evaluating water management strategies in watersheds by new hybrid Fuzzy Analytical Network Process (FANP) methods. *J Hydrol (Amst)* 2016;534:364–76.
- [28] Malmir M, Zarkesh MMK, Monavari SM, Jozi SA, Sharifi E. Analysis of land suitability for urban development in Ahwaz County in southwestern Iran using fuzzy logic and analytic network process (ANP). *Environ Monit Assess* 2016;188.
- [29] Feizizadeh B, Kienberger S. Spatially explicit sensitivity and uncertainty analysis for multicriteria-based vulnerability assessment. *Journal of Environmental Planning and Management* 2017;60:2013–35.
- [30] Feizizadeh B, Shadman Roodposhti M, Jankowski P, Blaschke T. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Comput Geosci* 2014;73:208–21.
- [31] Feizizadeh B, Blaschke T. An uncertainty and sensitivity analysis approach for GIS-based multicriteria landslide susceptibility mapping. *International Journal of Geographical Information Science* 2014;28:610–38.
- [32] Feizizadeh B, Blaschke T. Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: A multi-criteria evaluation approach using GIS. *Journal of Environmental Planning and Management* 2013;56:1–23.
- [8] Bruneau M, Chang SE, Eguchi RT, Lee GC, O'Rourke TD, Reinhorn AM, et al. A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra* 2003;19:733–52.
- [9] Chun H, Chi S, Hwang BG. A spatial disaster assessment model of social resilience based on geographically weighted regression. *Sustainability (Switzerland)* 2017;9.
- [10] Knaapen AM, Seiler F, Schilderman PAEL, Nehls P, Bruch J, Schins RPF, et al. Neutrophils cause oxidative DNA damage in alveolar epithelial cells. *Free Radic Biol Med* 1999;27:234–40.
- [11] Afsari R, Shorabeh SN, Kouhnavard M, Homaei M, Arsanjani JJ. A Spatial Decision Support Approach for Flood Vulnerability Analysis in Urban Areas: A Case Study of Tehran. *ISPRS Int J Geoinf* 2022;11.
- [12] Hadidi A, Holzbecher E, Molenaar RE. Flood mapping in face of rapid urbanization: a case study of Wadi Majraf-Manumah, Muscat, Sultanate of Oman. *Urban Water J* 2020;17:407–15.
- [13] Benke KK, Lowell KE, Hamilton AJ. Parameter uncertainty, sensitivity analysis and prediction error in a water-balance hydrological model. *Math Comput Model* 2008;47:1134–49.
- [14] Şalcıoğlu E, Başoğlu M. Psychological effects of earthquakes in children: Prospects for brief behavioral treatment. *World Journal of Pediatrics* 2008;4:165–72.
- [15] Nadizadeh Shorabeh S, Hamzeh S, Zanganeh Shahraki S, Firozjaei MK, Jokar Arsanjani J. Modelling the intensity of surface urban heat island and predicting the emerging patterns: Landsat multi-temporal images and Tehran as case study. *Int J Remote Sens* 2020; 41: 7400-7426.
- [16] Mohamed SA, El-Raey ME. Vulnerability assessment for flash floods using GIS spatial modeling and remotely sensed data in El-Arish City, North Sinai, Egypt. *Natural Hazards* 2020;102:707–28.
- [17] Bolorani AD, Shorabeh SN, Neysani Samany N, Mousivand A, Kazemi Y, Jaafarzadeh N, et al. Vulnerability mapping and risk analysis of sand and dust storms in Ahwaz, IRAN. *Environmental Pollution* 2021;279.
- [18] Afsari R, Nadizadeh Shorabeh S, Bakhshi Lomer AR, Homaei M, Arsanjani JJ. Using Artificial Neural Networks to Assess Earthquake Vulnerability in Urban Blocks of Tehran. *Remote Sens (Basel)* 2023;15.
- [19] Da Silveira Guimarães JL, Salomon VAP. ANP applied to the evaluation of performance indicators of reverse logistics in footwear industry. *Procedia Comput Sci* 2015;55:139–48.
- [20] Tupenaite L, Lill I, Geipele I, Naimaviciene J. Ranking of sustainability indicators for assessment of the new housing development projects: Case of the Baltic States. *Resources* 2017;6.

## معرفی نویسندگان

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES



محمد امین توتونچیان دارای مدرک دکتری تخصصی در رشته مهندسی عمران (گرایش ژئوتکنیک) از دانشگاه علم و صنعت ایران می باشد. پس از ۱۰ سال فعالیت در صنعت، از سال ۱۳۹۵ تاکنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی عمران دانشگاه پیام نور واحد

تهران شمال مشغول به فعالیت می باشند. همکاری با سازمان نظام مهندسی تهران به عنوان ناظر پایه ۱ و مدرس دوره های ارتقا و

همکاری با صنعت ساختمان در بیش از ۱۰۰ پروژه اجرایی، از ویژگی های بارز ایشان می باشد. ایشان تاکنون موفق به چاپ بیش از ۲۳ مقاله به زبان لاتین و بیش از ۱۰ مقاله به زبان فارسی در مجلات و کنفرانس های معتبر ملی و بین المللی شده اند. زمینه های تخصصی ایشان عبارتند از: تحلیل روانگرایی، سیستم های بهسازی خاک، گودبرداری و انواع سازه نگهبان، پی های عمیق، رفتار مهندسی خاک های کریناته، هوش مصنوعی، پردازش تصویر، برنامه ریزی ژنتیکی و شبکه های عصبی.

**Amin Tutunchian, M. Assistant Professor at the Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran**

✉ [Amin@pnu.ac.ir](mailto:Amin@pnu.ac.ir)

**Citation (Vancouver):** Tootoonchian M. A. [Using Spatial Analysis and Decision Support Systems for Design and Development of Urban Roads]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 135-142

 <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10326.1029>



## COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)





REVIEW PAPER

## Applications of Satellite-based Geodesy in Navigation and Earth Monitoring

A. Ghasemi Khalkhali

Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University-Takestan Branch, Takestan, Iran

### ABSTRACT

Received: 24 May 2023  
Reviewed: 16 August 2023  
Revised: 12 September 2023  
Accepted: 01 October 2023

#### KEYWORDS:

Geodesy  
Global Navigation Satellite  
System  
Gravity Field  
Terrestrial Reference Frames

\* Corresponding author

[sa.ghasemi@iau.ac.ir](mailto:sa.ghasemi@iau.ac.ir)

① (+9828) 35270130

**Background and Objectives:** Geodesy is the basis of the science of Geomatics and Surveying Engineering. The Greek root of the word geodesy means dividing the earth, which shows that geodesy is historically closely related to the preparation of maps, analysis of the state of the earth, and geo-spatial data. Today, the science of geodesy discusses the set of rules related to the measurement and representation of the earth in a three-dimensional space that changes with time. This knowledge plays a key role in various scientific, engineering and navigational applications. In this paper, we will have an overview of the modern applications of geodesy in the field of navigation and earth monitoring and how these developments affect the global infrastructure of geo-spatial information and related scientific research.

**Methods:** In recent years, the Global Positioning Satellite System (GNSS) by increasing the accuracy and public access to the location caused a fundamental evolution in precise navigation, including the navigation of self-driving cars. Determining the earth's gravity field is another fundamental aspect of geodesy, which has made significant progress in this field along with the development of space programs. Advanced satellite missions such as GRACE-FO have provided an unprecedented ability to increase the accuracy of Earth's gravity field models. These models are used to understand Earth's dynamic processes, including sea level, mass balance of ice sheets, and Earth's internal dynamics. Moreover, using a standard framework to connect geodetic observations around the world is a necessary thing, for this purpose, Terrestrial Reference Frames (TRFs) are used. The development of the International Terrestrial Reference Frame (ITRF), the latest version of which is ITRF2023, is a sign of global joint efforts to increase the accuracy and reliability in the realization of reference frames for the unification of geodetic observations.

**Findings:** GNSS has provided the ability of positioning with very high spatial accuracy. The findings showed that GNSS can determine the position with centimeter accuracy. Also, navigation using GNSS technology has grown day by day and GNSS receivers play a vital role in aviation, shipping and transportation industries. This navigation system provides pilots with accurate information about the position, speed and direction of the aircraft, which helps to control the flight more accurately and respond faster in emergency situations. The maritime industry has also made extensive changes through the use of GNSS. Today, various ships need GNSS receivers to navigate and avoid potential risks of collision with other vessels. Also, GNSS technology plays an essential role in the transportation sector for managing urban and intercity traffic, optimizing transportation networks, reducing travel time, and improving the efficiency of the transportation system. In addition, the role of GNSS is very valuable in natural disaster management. Also, measurements of Earth's gravity field using satellite missions such as GRACE-FO have contributed to a better understanding of Earth's climate changes. These missions monitor the changes in mass distribution on the earth's surface and provide the possibility of monitoring phenomena such as the melting of polar glaciers and the displacement of underground water resources. This information is very useful for assessing the effects of climate change. Accurate satellite gravimetric data have the ability to monitor sea level elevation changes. By monitoring changes in ocean mass, scientists can make more accurate predictions about changes in sea level elevation. This information is necessary for the management of coastal settlements and policy making for coastal management. Ultimately, these measurements help scientists better understand Earth's internal structure, including plate tectonic movements. Quantifying plate tectonic motion is important for understanding the internal structure and behavior of plate tectonics, including the relationship of these processes to earthquakes and volcanic activity.

**Conclusion:** GNSS, as one of the main foundations of satellite geodesy, have increased our ability to navigate and accurately position on the surface of the earth with acceptable accuracy. Achieving centimeter accuracy in navigation is used in various industries such as transportation, agriculture and natural disaster management. Determining the gravity field is vital for monitoring environmental changes and provides the information needed to understand climate change. The existence of ground reference frames is one of the foundations of geodetic measurements. These frameworks provide the possibility of international cooperation in the fields that need to be measured in a single global framework. Since geodesy, like other geospatial information sciences, depends on the development of technology, therefore, in the future, changing the methods of accurate positioning and navigation will not be far from expected.



NUMBER OF REFERENCES  
33



NUMBER OF FIGURES  
0



NUMBER OF TABLES  
1

## مقاله مروری

### کاربردهای ژئودزی ماهواره‌ای در ناوبری و پایش زمین

سید امین قاسمی خالخالی

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تاکستان، تاکستان، ایران

#### چکیده

**پیشینه و اهداف:** اساس و پایه علم مکان‌یابی و نقشه برداری زمینی، دانش ژئودزی می‌باشد. ریشه یونانی کلمه ژئودزی به معنای تقسیم کردن زمین است که نشان می‌دهد ژئودزی از نظر تاریخی با تهیه نقشه، تجزیه و تحلیل وضعیت زمین و داده‌های مکانی، ارتباط نزدیکی دارد. امروزه، دانش ژئودزی درباره مجموعه قواعدی که در ارتباط با اندازه‌گیری و نمایش زمین در یک فضای سه بعدی که با زمان تغییر می‌کند، بحث می‌کند. این دانش، نقش کلیدی در کاربردهای مختلف علمی، مهندسی و مسائل مرتبط با مسائل ناوبری دارد. در این مقاله، مروری بر کاربردهای نوین ژئودزی در حوزه ناوبری و پایش زمین خواهیم داشت و این‌که چگونه این پیشرفت‌ها بر زیرساخت جهانی دانش اطلاعات مکانی و تحقیقات علمی مرتبط تأثیرگذاری دارند.

**روش‌ها:** در سال‌های اخیر، سامانه موقعیت‌یابی ماهواره‌ای جهانی (GNSS) با افزایش دقت و دسترسی عمومی به مکان‌یابی موجب تحولی اساسی در ناوبری دقیق، از جمله ناوبری خودروهای خودران، گردید. تعیین میدان گرانش زمین، یک جنبه اساسی دیگر از ژئودزی است که همگام با توسعه برنامه‌های فضایی، پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در این عرصه وجود داشته است. مأموریت‌های ماهواره‌ای پیشرفته مانند GRACE-FO توانمندی بی‌سابقه‌ای را در افزایش دقت مدل‌های میدان گرانش زمین فراهم کرده‌اند. این مدل‌ها برای درک فرآیندهای پویای زمین، از جمله افزایش سطح دریا، تعادل جرمی لایه‌های یخی و دینامیک داخلی زمین، استفاده می‌شوند. در این میان، به‌کارگیری یک چارچوب استاندارد برای اتصال مشاهدات ژئودزی در سراسر جهان یک امر ضروری است که بدین منظور از چارچوب‌های مرجع زمینی (TRFs) استفاده می‌شود. توسعه چارچوب مرجع زمینی بین‌المللی (ITRF) که آخرین نسخه آن ITRF2023 است نشانه‌ای از تلاش‌های مشترک جهانی برای افزایش دقت و قابلیت اعتماد در تحقق چارچوب‌های مبنا برای یکدست کردن مشاهدات ژئودزی است.

**یافته‌ها:** سامانه GNSS توانایی موقعیت‌یابی با دقت مکانی خیلی بالا را فراهم کرده است. یافته‌ها نشان داد که GNSS می‌تواند با دقت سانتیمتر تعیین موقعیت کند. همچنین، ناوبری با استفاده از فناوری GNSS، رشد روزافزونی داشته و گیرنده‌های GNSS در صنایع هوانوردی، دریانوردی و حمل و نقل نقش حیاتی بازی می‌کنند. این سامانه ناوبری برای خلبانان اطلاعات دقیقی در مورد موقعیت، سرعت و جهت هواپیماها فراهم می‌کند که به کنترل پرواز دقیق‌تر و پاسخ سریع‌تر در مواقع اضطراری کمک می‌کند. صنعت دریانوردی نیز از طریق به‌کارگیری GNSS تغییرات گسترده‌ای کرده است. امروزه، کشتی‌های مختلف برای مسیریابی و جلوگیری از خطرات احتمالی برای برخورد به سایر شناورها به گیرندگان GNSS نیاز دارند. همچنین، فناوری GNSS در بخش حمل و نقل برای مدیریت ترافیک شهری و بین شهری، بهینه‌سازی شبکه‌های حمل و نقل، کاهش

تاریخ دریافت: ۰۳ خرداد ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۲۵ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۲۱ شهریور ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۹ مهر ۱۴۰۲

#### واژگان کلیدی:

میدان گرانش  
چارچوب‌های مرجع زمینی  
ژئودزی  
سامانه موقعیت‌یابی ماهواره‌ای  
جهانی

\* نویسنده مسئول

sa.ghasemi@iau.ac.ir

028-35270130

زمان سفر و بهبود کارایی سامانه حمل و نقل نقش اساسی دارد. علاوه بر این، نقش GNSS در مدیریت سوانح طبیعی بسیار ارزشمند است. همچنین، اندازه‌گیری‌های میدان گرانش زمین با استفاده از مأموریت‌های ماهواره‌ای مانند GRACE-FO به درک بهتر تغییرات آب و هوایی زمین کمک کرده است. این مأموریت‌ها تغییرات توزیع جرم در سطح زمین را رصد می‌کنند و امکان پایش پدیده‌هایی مانند ذوب یخچال‌های قطبی و جابجایی منابع آب زیرزمینی را فراهم می‌کنند. این اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیمی بسیار کاربردی هستند. داده‌های دقیق گرانش سنجی ماهواره‌ای توانایی پایش تغییرات ارتفاعی سطح دریا را دارند. با پایش تغییرات در جرم اقیانوس، دانشمندان می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری در مورد تغییرات ارتفاعی سطح دریاها ارائه دهند. این اطلاعات برای مدیریت سکونت‌گاه‌های ساحلی و سیاست‌گذاری برای مدیریت سواحل ضروری است. در نهایت، این اندازه‌گیری‌ها به دانشمندان کمک می‌کنند تا ساختار داخلی زمین از جمله حرکات تکتونیکی صفحات را بهتر درک کنند. کمی‌کردن حرکت تکتونیکی صفحه برای درک ساختار داخلی و رفتار صفحات تکتونیکی مهم است که شامل روابط این فرآیندها با زلزله و فعالیت‌های آتشفشانی است.

**نتیجه‌گیری:** سامانه‌های GNSS بعنوان یکی از پایه‌های اصلی ژئودزی ماهواره‌ای توانایی ما را در ناوبری و موقعیت‌یابی دقیق بر روی سطح زمین با دقت قابل قبولی افزایش داده‌اند. دستیابی به دقت سانتیمتری در ناوبری در صنایع مختلف از جمله حمل و نقل، کشاورزی و مدیریت سوانح طبیعی کاربرد دارد. تعیین میدان گرانش برای پایش تغییرات محیطی حیاتی هستند و اطلاعات مورد نیاز برای درک تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کنند. وجود چارچوب‌های مرجع زمینی یکی از مبانی اندازه‌گیری‌های ژئودزیک هستند. این چارچوب‌ها امکان همکاری‌های بین‌المللی در زمینه‌هایی که نیاز به اندازه‌گیری در یک چارچوب واحد جهانی دارد را فراهم می‌کنند. از آن‌جا که ژئودزی نیز مانند سایر علوم اطلاعات مکانی به توسعه فناوری وابسته است، لذا در آینده تغییر روش‌های تعیین موقعیت دقیق و ناوبری دور از انتظار نخواهد بود.

## مقدمه

باز می‌گردد زمانی که تمدن‌ها اهمیت اندازه‌گیری دقیق زمین را برای اهدافی مانند مالیات، تعیین حدود اراضی و پروژه‌های ساختمانی دریافتند. واژه "ژئودزی" خود از واژه‌های یونانی "geo" زمین و "daio" دریافتند. تقسیم کردن مشتق می‌شود و این اشاره تاریخی است به ارتباط آن با تقسیم زمین [۴]. ژئودزی دانان نخستین، مانند اراتوستن، گام‌های مهمی در درک اندازه و شکل زمین از طریق اندازه‌گیری زاویه اشعه‌های خورشید در مکان‌های مختلف برداشتند [۵،۶]. در طول تاریخ، ژئودزی همراه با پیشرفت‌های فناورانه تکامل یافت. ظهور ابزارهای پیشرفته‌تر مانند ژئودولیت امکان اندازه‌گیری دقیق‌تر زوایا و فواصل را فراهم کرد. در قرن هجدهم، توسعه شبکه‌های ژئودزی که کشورهای مختلف را پوشش می‌داد، امکان‌پذیر شد و ایجاد نقشه‌های ملی و تعیین سطح مبنای دقیق را ممکن ساخت [۷].

تغییر و تحول در ژئودزی با پرتاب اولین ماهواره‌ها در اواخر دهه ۱۹۵۰ همگام شد [۸]. پس از آن که ماهواره‌ها مجهز به ساعت‌های اتمی دقیق شدند، امکان تعیین موقعیت در سطح زمین با دقت قابل قبول ایجاد شد. این پیشرفت در فناوری تأثیراتی شگرف در مسائلی خارج از حوزه ناوبری داشت و به عنوان ابزاری اساسی در علوم مختلف شناخته شد [۹،۸،۴]. یکی از ستون‌های اصلی ژئودزی ماهواره‌ای، سامانه موقعیت‌یابی ماهواره‌ای جهانی (GNSS) است که ابتدا برای مقاصد نظامی توسعه یافت، اما به مرور زمان به ابزار ضروری برای کاربردهای متنوعی مانند کشاورزی، حمل و نقل و مدیریت سوانح طبیعی تبدیل شد [۱۰]. یک سامانه GNSS مجموعه‌ای از ماهواره‌ها در مدارهای دقیق هستند و سیگنال‌های ناوبری را به سمت زمین پخش می‌کنند که توسط گیرنده‌های زمینی دریافت می‌شوند [۱۱]. در دهه حاضر، GNSS بر دنیای خارج از ناوبری نیز اثرگذار بوده است. در سال‌های اخیر، شاهد گسترش وسایل نقلیه خودکار که برای موقعیت‌یابی و زمان‌بندی دقیق

زمین سیاره‌ای ناپایدار است که به دلیل تأثیر فرآیندهای دینامیکی متنوعی که در داخل زمین، در سطح و در جو آن اتفاق می‌افتد، دائماً تغییر می‌کند. محرک‌های این فرآیندهای پویا، نیروهای داخلی و خارجی اصلی هستند که بر سیاره ما عمل می‌کنند. نیروهای درونی یا درون‌زا از درون بر روی سیاره ما اثر می‌گذارند که از هسته، بالای گوشته و تا پوسته (اقیانوسی و قاره‌ای) شروع می‌شود. فرآیندهای داخلی دائماً سطح زمین را به دلیل افزایش تنش با عمق تغییر شکل می‌دهند که ناشی از نیروهای گرانشی در زیر و در سطح زمین است [۱]. از سوی دیگر نیروهای خارجی یا برون‌زا از بیرون بر بدن زمین اثر می‌گذارند. هوازگی، فرسایش و سایر اثرات پدیده‌های طبیعی سطح فیزیکی زمین را مدل‌سازی می‌کنند. با این حال، تغییر شکل زمین نیز توسط جاذبه ماه و خورشید ایجاد می‌شود [۲]. به دلیل فرآیندهای پویا در داخل، جو و اقیانوس، بسیاری از مناطق سطح زمین در معرض سوانح طبیعی مانند زلزله، فوران آتشفشان، سیل، سونامی، هشدار جهانی و غیره هستند [۳]. دانشمندان تلاش زیادی برای درک بهتر تغییرات زمین انجام می‌دهند، جایی که یکی از اهداف اصلی پیش‌بینی خطرات طبیعی است. انگیزه برخی از این مخاطرات طبیعی ریشه در حرکات صفحات تکتونیکی زمین دارد. دینامیک و تکامل زمین جامد، باعث حرکات و تغییر شکل صفحات تکتونیکی می‌شود [۴]. مدل‌سازی و پردازش مشاهدات مجموعه داده‌های بزرگ اغلب برای درک بهتر این فرآیندها مورد نیاز است.

ژئودزی، اغلب به عنوان "علم اندازه‌گیری و نقشه‌برداری زمین" شناخته می‌شود و دانشی است که نقش مهمی در درک شکل، جهت و میدان گرانشی زمین ایفا می‌کند. از شیوه‌های سنتی اندازه‌گیری تا فناوری‌های پیشرفته مبتنی بر ماهواره، اندازه‌گیری‌ها در ژئودزی به طور پیوسته دقیق‌تر و سریع‌تر شده است [۱-۳]. ریشه‌های ژئودزی به عصر باستان

چالش‌های قرن حاضر، از جمله تغییرات بلندمدت آب‌وهوایی دارد [۲۲]. ژئودزی ابزارهای ضروری برای پایش و کاهش تأثیرات گرمایش جهانی فراهم می‌کند. اندازه‌گیری افزایش سطح دریاها، ذوب شدن یخچال‌ها و فرسایش خاک در مناطق ساحلی به طور مستقیم راهبردهایی برای سازگاری بشر با تغییرات اقلیمی و کاهش ریسک ناشی از آن را مشخص می‌کند. ژئودزی قادر است تعادل جرم یخچال‌های قطبی و توزیع منابع آب را به دقت اندازه‌گیری کند. علاوه بر این، ژئودزی نقش اساسی در حمایت از همکاری علمی بین‌المللی و توسعه پایدار ایفا می‌کند [۲۳]. ابتکاراتی مانند سامانه مشاهده‌گر جغرافیایی جهانی (GGOS) تبادل داده‌های مورد نیاز برای مواجهه با چالش‌های مشترک جهانی از جمله تغییر شکل زمین در مناطق زلزله خیز، فعالیت‌های آتشفشانی و تغییرات ارتفاعی سطح دریا را تضمین می‌کند [۲۴-۲۶].

### روش تحقیق

در این بخش به روش‌ها و تکنیک‌های پیچیده و کلیدی در ژئودزی که امکان ناوبری دقیق و پایش زمین را فراهم می‌کند، پرداخته می‌شود. همچنین، یک بررسی جامع از روش‌های مبتنی بر سامانه‌های ماهواره‌ای برای موقعیت‌یابی، تعیین میدان گرانش و ایجاد چارچوب‌های مرجع زمینی ارائه می‌گردد و اصول اساسی آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

#### سامانه‌های موقعیت‌یابی ماهواره‌ای

اساس اندازه‌گیری‌های ژئودزی مدرن، سامانه‌های مبتنی بر ماهواره هستند که قادرند با دقت بالایی موقعیت‌یابی کنند. اجزای یک سامانه ناوبری ماهواره‌ای عبارتند از [۲۷]:

الف) منظومه ماهواره‌ای: سامانه‌های GNSS شامل منظومه‌ای از ماهواره‌ها هستند که در مدارات معینی دور زمین می‌چرخند. این ماهواره‌ها به‌طور مداوم سیگنال‌هایی را انتشار می‌دهند که حاوی اطلاعات زمان دقیقی هستند و محاسبات موقعیت‌یابی گیرنده‌های زمینی را تسهیل می‌کنند. در حالی که سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS) شناخته‌شده‌ترین سامانه GNSS است، سامانه‌های دیگری مانند سامانه ماهواره‌ای جهانی موقعیت‌یابی روسیه (GLONASS)، گالیله اتحادیه اروپا و بی‌دو چین در ناوبری ماهواره‌ای نقش دارند [۲۸].

ب) گیرنده‌های زمینی: از گیرنده‌های زمینی، برای تعیین جهات و موقعیت عوارض استفاده می‌شود. ماهواره‌های موجود بر مدارهای زمین که به‌طور مداوم در حال چرخش حول زمین هستند، همواره در حال ارسال اطلاعات خود به سمت زمین هستند. روی سطح زمین نیز تمام گیرنده‌های GNSS به‌طور مداوم در حال ردیابی و پردازش سیگنال‌های رسیده از سمت ماهواره‌های GNSS هستند تا با محاسبه فاصله دقیق بین گیرنده زمینی تا ماهواره‌های GNSS، به موقعیت دقیق گیرنده در هر لحظه برسند. همچنین، سامانه GNSS به علت داشتن ساعت‌های اتمی با دقت بسیار بالا، حتی توسط شبکه‌های کامپیوتری برای ایجاد یک ساعت مشترک در بین بسیاری از دستگاه‌های مختلف استفاده می‌شود. ضمناً، ردیابی در گیرنده‌های زمینی زمانی اتفاق می‌افتاد که دستگاه،

به GNSS وابسته هستند، بوده‌ایم. همچنین، در کشاورزی دقیق از داده‌های GNSS استفاده فراوانی شده است. این سامانه‌ها حتی وارد جیب‌های ما شده‌اند، زیرا تلفن‌های هوشمند مجهز به گیرنده‌های GNSS جهت ارائه خدمات مبتنی بر موقعیت مکانی هستند [۱۲، ۱۳].

در حالی که امروزه GNSS یکی از مهمترین کاربردهای ژئودزی ماهواره‌ای است، تعیین میدان گرانش زمین از فضا نیز بعد دیگری از ژئودزی ماهواره‌ای است که امروزه توسط ماهواره‌ها ممکن شده است [۴]. درک میدان گرانشی زمین نه تنها برای زندگی روزمره ما بلکه برای به‌دست آوردن درکی از ساختار داخلی زمین، تغییرات آب و هوا و تغییرات ارتفاعی سطح دریا لازم است. ظهور مأموریت‌های ماهواره‌ای مانند مأموریت GRACE و جانشین آن گریس-فو توانایی ما را در پایش تغییرات میدان گرانشی زمین بهبود بخشیده است [۱۴]. این ماهواره، تغییرات بسیار کوچک در میدان گرانشی زمین را اندازه‌گیری می‌کند که این تغییرات نمایانگر تغییرات در توزیع جرم، شامل جابجایی آب در اقیانوس‌های زمین و صفحات یخی می‌باشند. این اندازه‌گیری‌ها اطلاعات حیاتی در مورد ذوب یخچال‌های قطبی، افت مخزن‌های آب زیرزمینی و تأثیرات بلندمدت تغییرات آب و هوا ارائه کرده‌اند [۱۵، ۱۶]. علاوه بر علم زمین‌شناسی، اندازه‌گیری دقیق گرانش نقش مهمی در ارتفاع سنجی ماهواره‌ای ایفا می‌کند. در این روش، تغییرات سطح دریا با دقت بالایی اندازه‌گیری می‌شود. پایش تغییرات ارتفاعی سطح دریا به علت تأثیر مستقیم آن بر سکونت‌گاه‌های ساحلی بسیار مهم است. ارتفاع سنجی ماهواره‌ای، به همراه اندازه‌گیری‌های میدان گرانش، امکان پایش جامع تغییرات سطح دریا و الگوهای منطقه‌ای آن را فراهم می‌کند [۱۷].

ارتباط داده‌ها و اندازه‌گیری‌های ژئودتیک در سراسر جهان به ایجاد چارچوب‌های مرجع زمینی (TRFs) وابسته است. این چارچوب‌ها به عنوان ستون فقرات سیستم‌های مختصات ژئودزی عمل می‌کنند و اطمینان می‌دهند که اندازه‌گیری‌های انجام شده در مناطق مختلف جهان دقت لازم را دارند. که از آن جمله می‌توان به چارچوب مرجع زمینی بین‌المللی (ITRF) اشاره کرد [۱۸، ۱۹]. این چارچوب، مبنا جهانی است که موقعیت‌های یک شبکه از ایستگاه‌های ژئودزی در سراسر جهان را تعیین می‌کند. این چارچوب از طریق ترکیب تکنیک‌های ژئودزی ماهواره‌ای، از جمله ناوبری ماهواره‌ای و ردیابی لیزر ماهواره‌ای در طول سال‌ها تکامل یافته است و نسخه‌های جدیدتر آن مانند TRF2023 دقت بیشتری دارند. این چارچوب‌های مبنا علاوه بر کارهای تحقیقاتی در کاربردهای متنوع دیگر مانند ناوبری ماهواره‌ای، پایش زلزله و اندازه‌گیری جابجایی تکتونیکی استفاده می‌شوند. در مناطق زلزله‌زده، توانایی آشکارسازی و اندازه‌گیری تغییرات زمین برای درک دینامیک پوسته زمین و مکانیزم‌های وقوع زلزله‌ها و آتشفشان‌ها ضروری است [۲۰، ۲۱].

در این تحقیق سعی شده است تا مرور جامعی بر پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های ژئودزی و نقش آن‌ها در پایش زمین انجام گیرد زیرا در عصر حاضر، ژئودزی به یک حوزه دانشی پویا تبدیل شده است که نقش ارزنده‌ای در کمک به یافتن راه حل‌های مناسب جهت مواجهه با



این تکنیک که به occultation نیز معروف است، میزان شکسته شدن سیگنال GNSS را به دلیل عبور از لایه‌های اتمسفر و یونسفر تعیین نموده و سپس با دو پارامتر TEC و اندکس شکست تولید شده از این لایه‌ها به پروفیل‌های اتمسفری چون فشار، دما و رطوبت دست می‌یابند.

این مأموریت شامل دو ماهواره است که هر دو ماهواره در یک مدار قطبی و تقریباً کروی در ارتفاع ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتر از سطح زمین و به فاصله ۲۲۰ کیلومتری از یکدیگر در حال پرواز می‌باشند. تغییرات فاصله نسبی میان دو ماهواره با دقت یک میکرومتر بر ثانیه به صورت پیوسته به وسیله سیستم KBR تعبیه شده در ماهواره‌ها اندازه‌گیری می‌شوند و میدان گرانش از روی این مشاهدات حاصل خواهد شد. جهت حذف خطای یونسفری، امواج ارسالی از دو ماهواره با فرکانس‌های مختلف به یکدیگر فرستاده می‌شوند، در ضمن هر کدام از ماهواره‌ها دارای گیرنده GNSS می‌باشند که امکان تعیین دقیق مدار را فراهم نموده و همچنین مجهز به یک شتاب سنج می‌باشد تا شتاب‌های غیر جاذبی وارد بر ماهواره همچون کشش اتمسفر، شار ناشی از تشعشعات خورشیدی و سایر موارد را اندازه‌گیری نماید. سامانه منعکس کننده لیزر نصب شده در هر دو ماهواره امکان کالیبراسیون خارجی گیرنده‌های GNSS را فراهم نموده و علاوه بر آن با ترکیب مشاهدات حاصل از فاصله یابی لیزری از زمین با مشاهدات GNSS تعیین دقیق تر مدار ماهواره را امکان پذیر می‌نمایند.

علاوه بر گرانش سنجی ماهواره‌ای، تکنیک‌های اندازه‌گیری لیزری ماهواره‌ای (SLR) و تداخل خط مبنای بسیار طولانی (VLBI) به تعیین میدان گرانش کمک می‌کنند. از سامانه SLR در تعیین موقعیت مطلق نقاط استفاده می‌شود که اساس کار آن بدین شرح است که یک پالس لیزری در ایستگاه زمینی تولید و از طریق یک سامانه نوری به ماهواره ارسال می‌گردد. این پالس توسط یک بازتابنده، در امتداد همان پالس ارسالی، منعکس شده و دوباره توسط گیرنده در ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. سامانه VLBI نیز یکی از روش‌های ماهواره‌ای است. این روش در ایجاد یک دستگاه مبنای لخت و اندازه‌گیری محل قرارگیری زمین در این دستگاه کاربرد دارد. این سامانه، محل قرارگیری زمین را به صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌کند و نیازی به تکانه زاویه‌ای اتمسفری، امواج دریاها و پاسخ الاستیکی زمین سخت ندارد.

#### چارچوب‌های مرجع زمینی

زمین، محیط آن و سایر اجرام آسمانی در جهان موقعیت مطلق ندارند. آن‌ها حرکت می‌کنند، می‌چرخند و در معرض تغییرات هستند. وظایف ژئودزی، ژئوفیزیک و نجوم پیش‌بینی موقعیت و دینامیک آنها است [۱۵]. برای پیش‌بینی این رفتارها، داشتن مجموعه داده‌های موجود (موقعیت و سرعت) به‌طور یکنواخت در سطح زمین بسیار ضروری است. از آنجایی که موقعیت‌ها و سرعت‌های به‌دست آمده با اندازه‌گیری‌های زمین‌شناسی مشاهدات مستقیم نیستند، بلکه کمیت‌های تخمینی هستند، این نیاز به یک مرجع زمینی را افزایش می‌دهد که در آن موقعیت‌ها و سرعت‌ها را بتوان بیان کرد [۷]. با توجه

مکان خود را با دستگاه‌ها و مانیتورهای خارج از خود گیرنده به اشتراک بگذارد.

برای افزایش دقت تعیین موقعیت در GNSS معمولاً از روش‌های تفاضلی استفاده می‌شود. در این روش‌ها، گیرنده بر روی یک ایستگاه مبنای با موقعیت دقیق قرار می‌گیرد. موقعیت محاسبه شده در این ایستگاه مبنای با موقعیت محاسبه شده توسط سیگنال‌های GNSS مقایسه می‌شود. از این روش، برای دستیابی به دقت‌های بالای مکانی استفاده می‌شود [۳۰، ۲۹]. تلاش برای دستیابی به دقت بیشتر در ژئودزی ماهواره‌ای، منجر به توسعه تکنیک‌های پیشرفته‌تر مانند تعیین موقعیت آنی یا RTK و تعیین موقعیت نقطه‌ای دقیق PPP شد. RTK بر اساس شبکه‌ای گسترده از ایستگاه‌های مبنای کار می‌کند که به‌طور مداوم تصحیحات دقیق را به کاربران GNSS ارسال می‌کنند و دقت مکانی در لحظه را با دقت بالایی فراهم می‌کنند. در این روش، نه تنها از شبه فواصل برای محاسبه موقعیت استفاده می‌شود، بلکه از فاز حامل و اندازه‌گیری‌های داپلر نیز بهره می‌گیرد که این امر منجر به ارزیابی خطای زمان سیگنال می‌شود. ایستگاه مبنای، این داده‌ها را جمع‌آوری نموده و آن‌ها را به گیرنده متحرک ارسال می‌کند. گیرنده‌های RTK، این قابلیت را دارند که طول باز را بین ایستگاه مبنای و متحرک محاسبه کنند. از آنجایی که ایستگاه مبنای دارای مختصات معلوم می‌باشد و همچنین طول باز با صحت کمتر از یک سانتی‌متر، قابل محاسبه است، لذا موقعیت ایستگاه متحرک می‌تواند با صحتی در حد میلی‌متر محاسبه گردد. PPP یک تکنیک تعیین موقعیت است که خطاهای GNSS را حذف و یا مدل می‌نماید، تا موقعیت را با یک سطح بالای دقت از طریق یک گیرنده منفرد، فراهم سازد. راه حل مبتنی بر PPP به تصحیحات ساعت و مدار ماهواره‌های GNSS تولید شده از یک شبکه از ایستگاه‌های مبنای جهانی، وابسته است. در این روش با حل بایاس‌های محلی نظیر شرایط اتمسفری، چند مسیری محیطی و هندسه ماهواره دقتی تا ۳ سانتی‌متر امکان پذیر است [۲۱، ۲۰].

#### تعیین میدان گرانش زمین

یکی دیگر از کاربردهای ماهواره‌ها در ژئودزی، اندازه‌گیری دقیق نیروهای گرانشی زمین است که کاربردهای فراوانی در پایش تغییرات اقلیمی، پایش تغییرات ارتفاعی سطح دریا و تحقیقات ژئوفیزیکی است. با آغاز مأموریت گرانش سنجی ماهواره‌های GRACE در سال ۲۰۰۲ فصل تازه‌ای در مطالعه مسیرهای انتقال جرم در اطراف کره زمین، با مشخص کردن این که چه میزان جرم در حال حرکت است و چگونه در طول زمان تغییر می‌کند؛ گشوده شد. هدف اولیه از این مأموریت، به‌دست آوردن مدل‌های جهانی ژئوپتانسیل در قالب مجموعه مؤلفه‌های هارمونیک کروی و در عین حال تعیین تغییرات زمانی میدان ژئوپتانسیل می‌باشد [۱۹]. چنین مدل‌هایی می‌توانند ورودی مورد نیاز برای علوم چون اقیانوس‌شناسی، آب‌شناسی و زمین‌شناسی را تأمین نمایند. دومین هدف از مأموریت ماهواره ای GRACE مطالعه اتمسفر زمین از طریق تکنیکی به نام GPS limb sounding می‌باشد. پژوهشگران با استفاده از

و ایمنی و کارایی را افزایش داده‌اند. در صنعت هوانوردی، داده‌های GNSS نقش حیاتی در هدایت هواپیماها، فرود و کنترل ترافیک مسیره‌های بین‌المللی ایفا می‌کنند. این سامانه برای خلبانان اطلاعات دقیقی در مورد موقعیت، سرعت و جهت هواپیماها فراهم می‌کنند که به کنترل پرواز دقیق‌تر و پاسخ سریع‌تر در مواقع اضطراری کمک می‌کند. این سطح دقت به‌ویژه در ترافیک هوایی شلوغ، شرایط آب و هوایی نامساعد و مواقع اضطراری بسیار مهم است و ایمنی مسافران و عملکرد موفق پروازها در سراسر جهان را تضمین می‌کند. صنعت دریانوردی نیز از طریق به‌کارگیری GNSS تغییرات گسترده‌ای کرده است. امروزه، کشتی‌های مختلف برای مسیریابی و جلوگیری از خطرات احتمالی برای برخورد به سایر شناورها به گیرندگان GNSS نیاز دارند. همچنین، فناوری GNSS در بخش حمل و نقل برای مدیریت ترافیک شهری و بین شهری، بهینه‌سازی شبکه‌های حمل و نقل، کاهش زمان سفر و بهبود کارایی سامانه حمل و نقل نقش اساسی دارد.

ب) مدیریت سوانح طبیعی: امروزه GNSS نقش حیاتی در مدیریت سوانح طبیعی دارد. داده‌های GNSS قادرند به سرعت اطلاعات دقیقی را در مورد حرکات زمین و تغییرات سطح آب دریا ارائه دهند. این اطلاعات برای تیم‌های واکنش سریع جهت ارزیابی حجم آسیب و مدیریت امداد و نجات بسیار مهم هستند.

ت) تعیین میدان گرانش: تعیین دقیق میدان گرانش زمین اثرات گسترده‌ای از جمله درک فرآیندهای زمین‌شناسی و پیش‌بینی تغییرات آب و هوا دارد.

اندازه‌گیری‌های میدان گرانش زمین با استفاده از مأموریت‌های ماهواره‌ای مانند GRACE-FO و GRACE به درک بهتر تغییرات آب و هوایی زمین کمک کرده است. این مأموریت‌ها تغییرات توزیع جرم در سطح زمین را رصد می‌کنند و امکان پیش‌بینی پدیده‌هایی مانند ذوب یخچال‌های قطبی و جابجایی منابع آب زیرزمینی را فراهم می‌کنند. این اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیمی بسیار کاربردی هستند.

ث) پیش‌بینی تغییرات ارتفاعی سطح دریا: داده‌های دقیق میدان گرانش توانایی پیش‌بینی تغییرات ارتفاعی سطح دریا را دارند. با پیش‌بینی در جرم اقیانوس، دانشمندان می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری در مورد تغییرات ارتفاعی سطح دریاها ارائه دهند. این اطلاعات برای مدیریت سکونت‌گاه‌های ساحلی و سیاست‌گذاری برای مدیریت سواحل ضروری است.

ج) تحقیقات ژئوفیزیک: اندازه‌گیری‌های میدان گرانش در پیشبرد تحقیقات ژئوفیزیکی نقش بزرگی ایفا می‌کنند. این اندازه‌گیری‌ها به دانشمندان کمک می‌کنند تا ساختار داخلی زمین از جمله حرکات تکتونیکی صفحات را بهتر درک کنند. کمی کردن حرکت تکتونیکی صفحه برای درک ساختار داخلی و رفتار صفحات تکتونیکی مهم است که شامل روابط این فرآیندها با زلزله و فعالیت‌های آتشفشانی است. داده‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های ژئودزی ماهواره‌ای امکان ارزیابی حرکات صفحه در سطح زیر سانتی‌متری را در هر سال فراهم می‌کند. زیرا سرعت نقاط روی سطح فیزیکی زمین ناشی از حرکات

به این نیاز، چارچوب مرجع زمینی یا TRF به یک مرجع زمینی تبدیل می‌شود. چارچوب مرجع زمینی در واقع مجموعه‌ای از مختصات‌های نقاط زمینی است که جهت ارائه مختصات نقاط، اندازه‌گیری حرکات صفحات تکتونیکی، نشستها، بالا آمدگی‌های منطقه‌ای و نیز تعریف حرکات دورانی زمین در فضا استفاده می‌شود. سرویس بین‌المللی چرخش زمین (IERS) در سال ۱۹۸۸ در ادامه چارچوب مرجع سماویجهانی (ICRS)، چارچوب مرجع زمینی بین‌المللی (ITRF) را تعریف کرد که پارامترهای توجیه زمین، این دو چارچوب را به هم متصل می‌کند. با توجه به فراوانی و امکان دسترسی به مشاهدات ژئودزی ماهواره‌ای، چارچوب مرجع زمینی جهانی به‌طور پیوسته تحت نظارت IERS به روز می‌شود. از سال ۱۹۸۸ تاکنون چندین نسخه از ITRF معرفی شده است که جدیدترین آن‌ها ITRF2023 است. تمامی این نسخه‌ها شامل موقعیت ایستگاه‌ها و سرعت آن‌ها می‌باشد و تغییرات پیوسته زمین را مدل‌سازی می‌کنند. به همین جهت است که از آن‌ها می‌توان در مقایسه مقاطع زمانی مختلف مشاهدات استفاده کرد. تمامی نسخه‌های ITRF توسط پارامترهای انتقال، با حداکثر دقت قابل تبدیل به یکدیگر هستند.

## نتایج و بحث

استفاده از سامانه‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر ماهواره، به‌ویژه GNSS، به دستاوردهای قابل توجهی در ناوبری دقیق منجر شده است. نتایج ارائه شده در این بخش تأثیر ژئودزی ماهواره‌ای را در انواع مختلفی از کاربردها نشان می‌دهد.

الف) دقت و قابلیت اطمینان: سامانه GNSS توانایی موقعیت‌یابی با دقت مکانی خیلی بالا را فراهم کرده است. مطالعات نشان داده است که GNSS می‌تواند با دقت سانتیمتر تعیین موقعیت کند. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، این سطح از دقت برای کاربردهایی مانند ناوبری خودروهای خودران، کشاورزی دقیق و نقشه‌برداری بسیار ارزشمند باشد.

جدول ۱: میزان دقت و اعتمادپذیری در کاربردهای مختلف

Table 1: Accuracy and reliability in different applications

کاربرد Application	سطح دقت (سانتی‌متر) Accuracy level (cm)	سطح اعتمادپذیری Reliability level
وسایل نقلیه خودران Autonomous Vehicle	0.5	بالا High
کشاورزی دقیق Precision Agriculture	1	بسیار بالا Very High
نقشه برداری Surveying	0.2	عالی Excellent
مدیریت سوانح طبیعی Disaster Management	0.3	عالی Excellent

ب) ناوبری: ناوبری با استفاده از فناوری GNSS، به عنوان یک دستاورد عظیم با تأثیرات گسترده در صنایع مختلف شناخته می‌شود. گیرنده‌های GNSS در صنایع هوانوردی، دریانوردی و حمل و نقل یکپارچه شده‌اند

می‌کنند تا عواقب ناشی از این تغییرات بر کره زمین را پیش‌بینی کنند و راهکارهای لازم برای کاهش اثرات آن را به سیاست‌گذاران ارائه دهند. وجود چارچوب‌های مرجع زمینی یکی از مبانی اندازه‌گیری‌های ژئودزیک هستند. این چارچوب‌ها امکان همکاری‌های بین‌المللی در زمینه‌هایی که نیاز به اندازه‌گیری در یک چارچوب واحد جهانی دارد را فراهم می‌کنند. ژئودزی ماهواره‌ای این ابزار را برای ما فراهم کرده است که بتوانیم درک بهتری از کره زمین و برخی چالش‌های آن داشته باشیم. از آنجا که ژئودزی نیز مانند سایر علوم اطلاعات مکانی به توسعه فناوری وابسته است، لذا در آینده تغییر روش‌های تعیین موقعیت دقیق و ناوبری دور از انتظار نخواهد بود. با این وجود، همچنان مبانی ژئودزی به عنوان نمادی از یک دانش کهن، ما را به سوی یک آینده پایدارتر و آگاهانه‌تر بر روی زمین پیش خواهد برد.

### مشارکت نویسندگان

این مقاله یک نویسنده داشته است.

### تشکر و قدردانی

با تشکر از عزیزی که در این تحقیق همکاری لازم را داشته‌اند.

### تعارض منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسنده بیان نشده است.»

### منابع و مآخذ

- [1]Su T, Li Y, Sheng L, Qiang P, Zhao B. Angular position measurement of pulsars based on X-ray intensity correlation. *Optik (Stuttg)* 2018;161:8–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.01.119>.
- [2]An T, Hong X, Zheng W, Ye S, Qian Z, Fu L, et al. Space very long baseline interferometry in China. *Advances in Space Research* 2020;65:850–5. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.03.030>.
- [3]Qing-bao H, Qing-hui L, Sheng-qi C, Xin Z. A New Try of Connecting Phase and Solving Phase Delay in VLBI. *Chinese Astronomy and Astrophysics* 2017;41:614–25. <https://doi.org/10.1016/j.chinastron.2017.11.011>.
- [4]Singh VV, Biskupek L, Müller J, Zhang M. Earth rotation parameter estimation from LLR. *Advances in Space Research* 2022;70:2383–98. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.07.038>.
- [5]Steinbrügge G, Schroeder DM, Haynes MS, Hussmann H, Grima C, Blankenship DD. Assessing the potential for measuring Europa's tidal Love number  $h_2$  using radar sounder and topographic imager data. *Earth Planet Sci Lett* 2018;482:334–41. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.11.028>.

صفحه است و می‌توان آن را با مدل‌های حرکات تکتونیکی صفحه توصیف کرد [۳۳].

چ چارچوب‌های مرجع زمینی: استقرار و حفظ چارچوب‌های مرجع زمینی برای اندازه‌گیری‌های ژئودزی و کاربردهای آن‌ها بسیار حیاتی است. اهمیت TRF از چهار منظر قابل بررسی است: (۱) چارچوب‌های مرجع زمینی این اطمینان را ایجاد می‌کند که داده‌های مناطق مختلف و تکنیک‌های اندازه‌گیری متنوع می‌توانند با یکدیگر هم مرجع شوند؛ (۲) در مناطقی که زلزله، فعالیت‌های آتشفشانی یا فرونشست زمین به کرات رخ می‌دهند اندازه‌گیری‌های دقیق در قالب چارچوب‌های مرجع زمینی به ارزیابی میزان حرکات زمین کمک می‌کند و به ایجاد سامانه‌های هشدار سریع و مدیریت سوانح امکان می‌دهد؛ (۳) چارچوب‌های مرجع زمینی نقش اساسی در ترویج توسعه پایدار از طریق پشتیبانی از نقشه‌برداری دقیق و مدیریت زمین ایفا می‌کنند. نقشه‌برداری دقیق برای برنامه‌ریزی شهری بسیار حیاتی است، زیرا امکان بهره‌گیری بهینه از منابع و برنامه‌ریزی توسعه زیرساخت شهری را فراهم می‌کند. این چارچوب‌ها مبانی قابل اعتمادی برای تحقق پروژه‌های نقشه‌برداری به‌ویژه در حدنگاری شهری هستند؛ (۴) از این چارچوب‌ها در برنامه‌ریزی کاربری اراضی، مدیریت جنگل‌ها و تخصیص منابع آبی استفاده می‌شود می‌کند. از این چارچوب‌ها برای ارزیابی میزان تغییرات پوشش و کاربری اراضی و نیز تخریب جنگل‌ها استفاده می‌شود. با ارزیابی چنین تغییراتی، سیاست‌گذاران می‌توانند راهبردهای مدیریت پایدار اراضی و حفاظت از جنگل‌ها را اجرا کرده و به کاربری پایدار منابع طبیعی بپردازند. همچنین، در مدل‌سازی هیدرولوژی از این چارچوب‌ها استفاده می‌شود و امکان مدیریت مؤثر منابع آبی، تخصیص آب برای آبیاری و مقابله با کمبود آب فراهم می‌گردد. بدین ترتیب، مدیران قادرند برنامه‌های کشاورزی پایدار را با لحاظ کردن چارچوب‌های حفاظت از محیط‌زیست پیاده‌سازی کنند.

### نتیجه‌گیری

با توجه به این که ژئودزی ماهواره‌ای نقش اساسی در زمینه ناوبری دقیق و پایش زمین دارد، در این مقاله به کاربردهای اصلی آن پرداخته شد و نقش آن در درک بشر از فرایندهای طبیعی زمین و فرآیندهای پویای آن روشن شد. سامانه‌های GNSS به‌عنوان یکی از پایه‌های اصلی ژئودزی ماهواره‌ای توانایی ما را در ناوبری و موقعیت‌یابی دقیق بر روی سطح زمین با دقت قابل قبولی افزایش داده‌اند. دستیابی به دقت سانتی‌متری در ناوبری در صنایع مختلف از جمله حمل و نقل، کشاورزی و مدیریت سوانح طبیعی کاربرد دارد. تعیین میدان گرانش که با استفاده از مأموریت‌های ماهواره‌ای مانند GRACE و GRACE-FO تسهیل و افق‌های جدیدی در پایش تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی تغییرات ارتفاعی سطح دریا پدیدار شده است. داده‌های استخراج شده از این مأموریت‌ها برای پایش تغییرات محیطی حیاتی هستند و اطلاعات مورد نیاز برای درک تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کنند. بدین ترتیب، به پژوهشگران کمک

- [17] He Y, Nie G, Wu S, Li H. Analysis and discussion on the optimal noise model of global GNSS long-term coordinate series considering hydrological loading. *Remote Sens (Basel)* 2021;13. <https://doi.org/10.3390/RS13030431>.
- [18] Wu S, Nie G, Meng X, Liu J, He Y, Xue C, et al. Comparative analysis of the effect of the loading series from GFZ and EOST on long-term GPS height time series. *Remote Sens (Basel)* 2020;12:1–16. <https://doi.org/10.3390/RS12172822>.
- [19] Ng AHM, Ge L, Chang HC, Du Z. Geodetic Monitoring for Land Deformation. *Remote Sensing* 2023, Vol 15, Page 283 2023;15:283. <https://doi.org/10.3390/RS15010283>.
- [20] Wang X, Zhang Q, Zhang S. Azimuth selection for sea level measurements using geodetic GPS receivers. *Advances in Space Research* 2018;61:1546–57. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.01.002>.
- [21] Chen Q, van Dam T, Sneeuw N, Collilieux X, Weigelt M, Rebischung P. Singular spectrum analysis for modeling seasonal signals from GPS time series. *J Geodyn* 2013;72:25–35. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2013.05.005>.
- [22] Hackl M, Malservisi R, Hugentobler U, Jiang Y. Velocity covariance in the presence of anisotropic time correlated noise and transient events in GPS time series. *J Geodyn* 2013;72:36–45. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2013.08.007>.
- [23] Khan A, Jin S. Gravity wave activities in Tibet observed by COSMIC GPS radio occultation. *Geod Geodyn* 2018;9:504–11. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2018.09.009>.
- [24] Fang Z, Jiang G, Xu C, Wang S. A tectonic geodesy mapping software based on QGIS. *Geod Geodyn* 2020;11:31–9. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2019.08.001>.
- [25] Jordan C, Bateson L, Novellino A. Environmental baseline monitoring for shale-gas development: Insights for monitoring ground motion using InSAR analysis. *Science of the Total Environment* 2019;696. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134075>.
- [26] Blewitt G, Kreemer C, Hammond WC, Goldfarb JM. Terrestrial reference frame NA12 for crustal deformation studies in North America. *J Geodyn* 2013;72:11–24. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2013.08.004>.
- [27] Sala OE, Meyerson LA, Parmesan C. Biodiversity Change and Human Health: From Ecosystem Services to Spread of Diseases 2009.
- [28] Xue Y, Yang Y, Yu L. Mineral composition of the Martian Gale and Nili Fossae regions from Mars Reconnaissance Orbiter CRISM images. *Planet Space Sci* 2018;163:97–105. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2017.12.007>.
- [29] Dow JM, Neilan RE, Gendt G. The International GPS Service: Celebrating the 10th anniversary and looking to the next
- [6] An T, Salafia OS, Zhang Y, Ghirlanda G, Giovannini G, Giroletti M, et al. East Asia VLBI Network observations of the TeV Gamma-Ray Burst 190114C. *Sci Bull (Beijing)* 2020;65:267–71. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.11.012>.
- [7] Küreç Nehbit P, Glaser S, Sakic P, Balidakis K, Heinkelmann R, Schuh H, et al. On the improvement of the sensitivity levels of VLBI solutions from a combination with GNSS. *Advances in Space Research* 2023. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.06.021>.
- [8] Yang W, Cui X, Xu J, Liu Q, Qin M. Estimation of free core nutation parameters and availability of computing options. *Geod Geodyn* 2023. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2023.05.004>.
- [9] Sen K, Dubey AK, Tripathi K, Pfänder JA. Composite mesoscopic and magnetic fabrics of the Paleo-Proterozoic Wangtu Gneissic Complex, Himachal Himalaya, India: Implications for ductile deformation and superposed folding of the Himalayan basement rocks. *J Geodyn* 2012;61:81–93. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.07.005>.
- [10] Dhar S, Glaser S, Heinkelmann R, Schuh H, Balasubramanian N, Dikshit O. Favorable locations for new VGOS antennas in India depending on the assessment of geodetic parameters and environmental factors. *Earth, Planets and Space* 2023;75. <https://doi.org/10.1186/S40623-023-01794-8>.
- [11] Viti M, Mantovani E, Cenni N, Vannucchi A. Post-seismic relaxation: An example of earthquake triggering in the Apennine belt (1915-1920). *J Geodyn* 2012;61:57–67. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.07.002>.
- [12] Maciej Serda, Becker FG, Cleary M, Team RM, Holtermann H, The D, et al. Synteza i aktywność biologiczna nowych analogów tiosemikarbazonowych chelatorów żelaza. *Uniwersytet Śląski* 2013;7:343–54. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>.
- [13] The IVS data input to ITRF2014. *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry* 2015. <https://doi.org/10.5880/GFZ.1.1.2015.002>.
- [14] Dow JM, Neilan RE, Rizos C. Erratum: The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems (*Journal of Geodesy* (2009) vol. 83 (191-198) (10.1007/s00190-008-0300-3)). *J Geod* 2009;83:689. <https://doi.org/10.1007/S00190-009-0315-4>.
- [15] Dow JM, Neilan RE, Rizos C. The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. *J Geod* 2009;83:191–8. <https://doi.org/10.1007/S00190-008-0300-3/METRICS>.
- [16] Jia H, Wei B, Liu G, Zhang R, Yu B, Wu S. A semi-automatic method for extracting small ground fissures from loess areas using unmanned aerial vehicle images. *Remote Sens (Basel)* 2021;13. <https://doi.org/10.3390/RS13091784>.



## معرفی نویسندگان

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES



سید امین قاسمی خالخالی دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری (گرایش هیدروگرافی) و دکتری تخصصی مهندسی نقشه برداری (گرایش ژئودزی) از دانشگاه تهران می باشد. ایشان از سال ۱۳۸۴ در

دانشگاه های مختلف کشور مشغول به تدریس بوده و از سال ۱۳۸۹ تاکنون عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تاکستان هستند. زمینه های تخصصی ایشان عبارتند از: آنالیز سری های زمانی، تعیین چارچوب مبنا کشوری، بررسی فرونشست پوسته زمین، مدلسازی تغییر شکل های لرزه ای و حرکت قطبی.

**Ghasemi Khalkhali, A. Assistant Professor at the Department of Civil and Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University-Takestan Branch, Takestan, Iran**

✉ sa.ghasemi@iau.ac.ir

decade. *Advances in Space Research* 2005;36:320–6. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.05.125>.

[30]Jin S, van Dam T, Wdowinski S. Observing and understanding the Earth system variations from space geodesy. *J Geodyn* 2013;72:1–10. <https://doi.org/10.1016/J.JOG.2013.08.001>.

[31]Dow JM, Neilan RE, Weber R, Gendt G. Galileo and the IGS: Taking advantage of multiple GNSS constellations. *Adv Space Res* 2007;39:1545–51. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.04.064>.

[32]Amiraslani F, Dragovich D. Combating Desertification in Iran over the Last 50 Years: An Overview of Changing Approaches. *J Environ Manage* 2011;92: 1–13. [https:// DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.08.012](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.012)

[33]Abbasi-Shawazi MJ. Recent Changes and the Future of Fertility in Iran 2002.

**Citation (Vancouver):** Ghasemi Khalkhali A. [Applications of Satellite-based Geodesy in Navigation and Earth Monitoring]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 143-151

 <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10338.1033>



## COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Land Use Investigation and Its Distribution Analysis in Various Districts of Tehran City According to Land Use Planning Standards

M. Kolbadi nejad, R. Sarvar\*

Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran

### ABSTRACT

Received: 28 June 2023  
Reviewed: 16 August 2023  
Revised: 14 September 2023  
Accepted: 01 October 2023

#### KEYWORDS:

Land Use  
Urban Development  
GIS  
Land Use Distribution

\* Corresponding author

✉ [r-sarvar@srbiau.ac.ir](mailto:r-sarvar@srbiau.ac.ir)

☎ (+9821) 44845205

**Background and Objectives:** In today's world, cities have garnered significant attention as central hubs for social and economic activities. This research aims to enhance urban development and improve the quality of life for Tehran's residents, focusing on land use in Tehran, the capital of Iran and one of the most populous and pressured cities. The primary objective is to evaluate the distribution of various land uses across Tehran and analyze shortcomings that do not align with urban needs and standards. The study particularly delves into issues related to the appropriate number of land uses in different areas of Tehran and the role of recreational land use in urban development.

**Methods:** To conduct this comprehensive research, Tehran was divided into various zones, with diverse land uses thoroughly examined in each zone. These zoning divisions aimed to provide a more precise understanding of the unique needs of each part of the city for development and productivity. The distribution of land uses across the city was analyzed, and the frequency of each land use at the macro level was measured. Utilizing urban standards as evaluation criteria, a detailed analysis of land use distribution was performed. These standards served as benchmarks for assessment, highlighting areas where the standards fell short. This analytical approach facilitated a better understanding of strengths and weaknesses in urban development. Through this method, land use distribution in the city was evaluated more optimally, leading to recommendations for improvement and optimization.

**Findings:** The outcomes of this study underscore significant deficiencies in the allocation of land uses across Tehran, signaling a compelling call for refinement and heightened precision in regulation, particularly within the identified areas of 7, 10, 13, 14, 16, and 17. The identified weaknesses in land use distribution offer invaluable insights for urban decision-makers and planners, serving as a clarion call for immediate interventions in the city's development trajectory. The critical nature of this information lies in its potential to guide strategic decisions and policy implementations aimed at rectifying existing imbalances. Furthermore, the research accentuates a growing imperative to prioritize recreational land use within Tehran, shedding light on the inadequacy of current land use patterns to align with established urban standards and the evolving needs of society. The pressing need for increased attention to recreational spaces emerges as a key takeaway, suggesting that the development of such areas within the city could yield tangible enhancements in residents' overall quality of life. The envisaged benefits extend beyond mere leisure, with the potential to foster the creation of green spaces, promoting environmental sustainability, and providing platforms for diverse recreational activities that contribute to a healthier, more vibrant urban community. In essence, the research outcomes advocate for a strategic reevaluation and recalibration of land use policies in Tehran, with a heightened focus on rectifying existing imbalances and proactively addressing the evolving needs of the city's residents.

**Conclusion:** This research serves as a valuable tool for urban decision-makers and city planners in the development and enhancement of the quality of life for Tehran's residents. The obtained results indicate that optimizing land use and addressing urban needs can contribute to sustainable development and improved living conditions in Tehran.



NUMBER OF REFERENCES

37



NUMBER OF FIGURES

3



NUMBER OF TABLES

4

## مقاله پژوهشی

## بررسی کاربری اراضی و تحلیل توزیع آن در مناطق مختلف شهر تهران با توجه به استانداردهای آمایش سرزمین

مطهره کلبادی نژاد، رحیم سرور\*

گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** در جهان امروز، شهرها به عنوان مراکز اصلی فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی جامعه، توجه فراوانی به خود جلب کرده‌اند. این تحقیق، به منظور ارتقاء توسعه شهری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان، به بررسی کاربری اراضی در شهر تهران، به عنوان پایتخت ایران و یکی از شهرهای پرجمعیت و پرفشار، می‌پردازد. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی توزیع کاربری‌های مختلف در سطح شهر تهران و تحلیل نقدهایی است که به نیازها و استانداردهای شهری پاسخ نمی‌دهند. این مطالعه، به ویژه به مسائل تعداد مناسب کاربری‌ها در مناطق مختلف شهر تهران و نقش کاربری تفریحی در توسعه شهری پرداخته است. با تأکید بر اهمیت تنظیم مناسب کاربری اراضی و تطبیق آن با نیازها و استانداردهای شهری، این تحقیق به عنوان یک ابزار مؤثر برای افزایش بهره‌وری شهری و بهبود شرایط زندگی در تهران مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**روش‌ها:** برای اجرای این تحقیق جامع، ابتدا شهر تهران به مناطق مختلف تقسیم گردید و متفاوت‌ترین کاربری‌ها در هر منطقه به دقت مورد بررسی قرار گرفت. این تقسیمات مناطق جهت ایجاد تصویر دقیق‌تری از نیازهای ویژه هر قسمت از شهر برای توسعه و بهره‌وری، مدنظر قرار گرفت. با بررسی توزیع کاربری‌ها در سراسر شهر، میزان فراوانی هر کاربری در سطح کلان شهر اندازه‌گیری شد. بر اساس این اطلاعات، تحلیل دقیقی از توزیع کاربری‌ها با استفاده از استانداردهای شهری انجام شد. از این استانداردها به عنوان معیارهای ارزیابی استفاده شده و نقدهایی که نشان می‌دهند کجا استانداردها پاسخگو نیستند، مورد بررسی قرار گرفت. این رویکرد تحلیلی، امکان فهم بهتری از نقاط قوت و ضعف در توسعه شهری فراهم کرده است. با بهره‌گیری از این روش، به نحو بهینه‌تری توزیع کاربری اراضی شهری ارزیابی گردید و به ارائه پیشنهادهایی جهت بهبود و بهینه‌سازی این توزیع پرداخته شد. این اطلاعات، به تصمیم‌گیران شهری و برنامه‌ریزان این امکان را می‌دهد که تصمیمات مبتنی بر شواهد دقیق‌تری در زمینه توسعه شهری اتخاذ کنند و جهت بهبود کیفیت زندگی شهروندان را هدایت کنند.

**یافته‌ها:** نتایج این تحقیق، نقاط ضعفی در توزیع کاربری‌های اراضی در شهر تهران را آشکار کرده‌اند که نیاز به بهبود و تنظیم دقیق‌تر در مناطق خاص دارد. به ویژه، مناطق ۷، ۱۰، ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۱۷ به عنوان مناطقی ذکر شده‌اند که به تنظیم دقیق‌تر کاربری اراضی نیاز دارند. این اطلاعات مهم به تصمیم‌گیران شهری و برنامه‌ریزان این امکان را می‌دهد تا بهبودی فوری در تدابیر توسعه شهری ایجاد کنند. به علاوه، نتایج حاکی از این است که کاربری تفریحی در داخل شهر نیاز به توجه بیشتری دارد. این نکته، نشان دهنده عدم تطابق کافی کاربری‌ها با استانداردهای شهری و نیازهای جامعه است. توسعه مناطق تفریحی در داخل شهر می‌تواند بهبودی ملموس در کیفیت زندگی شهروندان ایجاد کند و به ایجاد محیط‌های سبز و فعالیت‌های تفریحی کمک کند. این تحقیق، نشان دهنده لزوم بررسی دقیق‌تر و اصلاح توزیع کاربری‌های اراضی در شهر تهران است.

**نتیجه‌گیری:** این تحقیق، به عنوان یک ابزار مفید برای تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان شهری در توسعه و بهبود کیفیت زندگی شهروندان تهران مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج به‌دست آمده از مطالعه، نشان می‌دهند که تنظیم بهینه کاربری اراضی و توجه به نیازهای شهری می‌تواند به توسعه پایدار و بهبود شرایط زندگی در شهر تهران کمک کند.

تاریخ دریافت: ۰۷ تیر ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۲۵ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۲۳ شهریور ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۹ مهر ۱۴۰۲

## واژگان کلیدی:

کاربری اراضی  
توسعه شهری  
GIS  
توزیع کاربری اراضی

\* نویسنده مسئول

r-sarvar@srbiau.ac.ir

۰۲۱ - ۴۴۸۴۵۲۰۵

## مقدمه

شده و توانایی تحلیل و شبیه‌سازی رفتارهای احتمالی افراد و سازمان‌ها در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با کاربری اراضی را دارا می‌باشد. این مدل، به عنوان یک ابزار مهم در توسعه و بهبود برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری و ارتقاء تصمیمات مرتبط با توسعه شهری ارائه می‌شود. نتایج این تحقیق، نشان می‌دهد که مدل عامل با باور، خواست و نیت می‌تواند به بهبود فرآیند تصمیم‌گیری در زمینه کاربری اراضی شهری کمک کرده و دقت و ثبات را در تصمیمات مرتبط با توسعه شهری افزایش می‌دهد [۶].

در تحقیقی که توسط قاسمی و همکاران انجام شده است، یک تحلیل فضایی از کاربری‌های اراضی مرتبط با تفریح در شهر تهران انجام و نابرابری‌های موجود در این زمینه با استفاده از روش MARCOS در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارزیابی شده است. این تحقیق به منظور بررسی و ارزیابی نابرابری‌های مرتبط با کاربری‌های اراضی تفریحی در شهر تهران انجام شده و نتایج آن نشان می‌دهد که چگونه می‌توان با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی و GIS، عدالت و توازن در توزیع کاربری‌های اراضی تفریحی را ارزیابی نمود. این تحقیق، از نظر متدولوژیکی به عنوان یک مثال از پیشرفت‌های حوزه تحلیل فضایی در تعیین نابرابری‌های مرتبط با کاربری‌های اراضی تفریحی در شهری پیچیده مورد بررسی قرار گرفته و به عنوان منبع معتبری در تحقیقات مرتبط با برنامه‌ریزی شهری و توسعه پایدار، توصیه می‌شود [۷].

در تحقیق دیگری که توسط بهزادی و همکاران انجام شده است، یک روش مبتنی بر عامل با باور، میل و نیت جهت شبیه‌سازی رشد اراضی شهری توسعه یافته است. تحقیق مذکور با استفاده از این روش در مطالعه موردی منطقه شهری تهران، ارتباط میان تصمیمات و عوامل مختلف مؤثر بر رشد اراضی شهری را بررسی نموده است. نتایج این تحقیق، نشان می‌دهد که مدل مبتنی بر عامل با باور، خواست و نیت می‌تواند به بهبود تصمیمات و برنامه‌ریزی مرتبط با رشد اراضی شهری و توسعه شهری کمک کرده و در بهبود کیفیت زندگی شهروندان و مدیریت پایدار شهری نقش داشته باشد. این تحقیق، به عنوان یک مثال از استفاده از روش‌های مدل‌سازی عاملی در زمینه برنامه‌ریزی شهری و توسعه شهری مورد تأیید قرار می‌گیرد و به عنوان منبع معتبری در تحقیقات مرتبط با ارتقاء فرآیند تصمیم‌گیری در زمینه کاربری اراضی شهری توصیه می‌شود [۸].

تحقیقاتی که معرفی شده‌اند، همگی به بررسی مسائل مرتبط با کاربری اراضی شهری در شهر تهران اختصاص داشتند و از دیدگاه توسعه شهری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان، اهمیت دارند. تمایز و نوآوری تحقیق حاضر نسبت به کارهای قبلی در این است که از رویکرد منطقه محور برای تحلیل و بهبود کاربری اراضی شهری استفاده کرده است.

استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حل مسائل مکانی از اهمیت بسیاری برخوردار است. یکی از مزایای اصلی GIS قابلیت ایجاد ژئوپورتال‌ها برای ذخیره و نمایش داده‌های مکانی است [۹، ۱۰]. این

شهرها به عنوان مرکزهای پویا و پیچیده‌ای از فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی، نقش بسیار حیاتی در توسعه و پیشرفت جوامع دارند. شهر تهران، به عنوان یکی از پرجمعیت‌ترین و پویاترین شهرها در جهان، به عنوان پایتخت ایران، نه تنها نماینده فرهنگ و تاریخ بلکه همچنین مرکز اقتصاد و تجارت کشور نیز می‌باشد [۱]. در این شهر پراکنشی، به توسعه و مدیریت صحیح اراضی برای انواع کاربری‌های شهری، اهمیت ویژه‌ای اعطاء شده است [۲]. کاربری اراضی به عنوان یکی از عوامل اساسی در تعیین شکل و جریان توسعه شهری ارتباط مستقیم با کیفیت زندگی شهروندان دارد [۳]. به منظور تحقق توسعه پایدار و بهینه شهری، لازم است که کاربری‌های اراضی به شکلی منطبق با نیازها و استانداردهای شهری تعیین و تنظیم شوند.

در زمینه برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، مطالعات و تحقیقات گوناگونی انجام شده‌اند که به توسعه شهری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان ارتباط مستقیم دارند که در ادامه به نمونه‌های از آن اشاره می‌گردد. در تحقیقی که توسط شورابه نادای زاده و همکاران انجام شده است، یک مدل فضایی برای تعیین مناطق مناسب جهت احداث کتابخانه‌های عمومی در شهر تهران با استفاده از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شده است. این تحقیق، به منظور ارتقاء فرآیند تصمیم‌گیری مرتبط با انتخاب مکان‌های مناسب برای ساخت کتابخانه‌های عمومی انجام شده و نتایج آن نشان می‌دهد که چگونه می‌توان با بهره‌گیری از فناوری GIS و تصمیم‌گیری چند معیاره، مناطق مناسب برای احداث کتابخانه‌ها را تعیین کرد. این تحقیق، بر بهینه‌سازی و بهبود فرآیند تصمیم‌گیری در زمینه انتخاب مکان‌های انتخابی برای کتابخانه‌های عمومی در شهر تهران تأکید دارد و از نظر متدولوژیکی، به عنوان یک نمونه معتبر از پیشرفت‌های حوزه مدل‌سازی فضایی در تصمیم‌گیری‌های شهری ارائه می‌شود [۴].

در تحقیقی که توسط مطیعیان و همکاران انجام شده است، یک شاخص نوآورانه به نام شاخص توزیع کاربری متنوع جهت ارزیابی الگوی ترکیب کاربری اراضی شهری ارائه شده است. این تحقیق، به منظور بهبود ارزیابی الگوی ترکیب کاربری اراضی شهری و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با برنامه‌ریزی شهری در شهر تهران انجام شده و نتایج آن نشان می‌دهد که چگونه این شاخص نوآورانه می‌تواند به بهبود توزیع کاربری‌های اراضی در شهرها کمک کرده و تصمیمات بهینه در زمینه توسعه و بهبود کیفیت زندگی شهروندان اتخاذ شود. این تحقیق، از نظر متدولوژیکی به عنوان یک نمونه معتبر از پیشرفت‌های حوزه تصمیم‌گیری در زمینه ترکیب کاربری اراضی شهری در شهرهای پرجمعیت مورد توجه قرار گرفته و به عنوان منبع مفیدی برای تحقیقات مرتبط با برنامه‌ریزی شهری و توسعه پایدار توصیه می‌شود [۵].

در تحقیق انجام شده توسط بهزادی و همکاران یک مدل جدید از عامل‌ها با معماری باور، میل و نیت ارائه و به منظور برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری معرفی شده است. این مدل، براساس یک عامل اصلی ساخته



فضاهای تفریحی و تفریحی، مذهبی برای مراکز مذهبی و مسکونی برای مسکونی‌ها و مناطق مسکونی. این ۲۲ منطقه شهرداری از نظر اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و تاریخی تنوع‌هایی دارند که به تحقیقات متعدد در زمینه توسعه شهری و مدیریت کاربری اراضی شهری اهمیت می‌بخشند [۲۰، ۳۷]. این مناطق به عنوان محور اصلی تحقیقات این مطالعه، اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل و بررسی الگوهای کاربری اراضی در شهر تهران را فراهم می‌آورند و به تدریج تصاویر و داده‌های مورد نیاز جهت ارزیابی مسائل شهری در این مناطق جمع‌آوری و تحلیل می‌شوند. شکل ۱، نقشه‌ای از منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد که مبنایی برای تحلیل و بررسی توزیع کاربری اراضی در این شهر فراهم می‌آورد.

مهمترین دغدغه در مسائل مکانی در کشور ایران جمع‌آوری داده‌های مکانی می‌باشد. در این تحقیق، برای جمع‌آوری داده‌های مکانی از سایت OpenStreetMap (OSM) بهره گرفته شده است. OSM یک منبع داده باز و کاربردی است که امکان جمع‌آوری داده‌های مکانی توسط کاربران از سراسر جهان را فراهم می‌کند. این داده‌ها به صورت نقطه و پلیگون در OSM در دسترس هستند. فرآیند جمع‌آوری داده‌ها به این صورت انجام گرفته است: ابتدا، داده‌های جمع‌آوری شده از OSM تحت یک فرآیند آماده‌سازی قرار گرفتند. سپس، اطلاعات در داده‌های پلیگون شهری ادغام شدند و نقشه مکانی به دست آمد که شامل انواع مختلف کاربری‌های اراضی شهری می‌باشد. این انواع کاربری شامل ده دسته آموزشی، صنعتی، اداری، مسکونی، درمانی، تفریحی، تجاری، فرهنگی، کشاورزی و مذهبی می‌باشند. در جدول ۱، نیز میزان درصد فراوانی این داده‌ها در شهر تهران نمایش داده شده است. این داده‌ها اساس اصلی برای تحلیل الگوهای کاربری اراضی و ارزیابی توزیع کاربری‌های مختلف در شهر تهران در این تحقیق می‌باشند.

جدول ۱: میزان درصد فراوانی کاربری های شهر تهران

Table 1: Percentage Frequency of Land Uses in Tehran City

درصد فراوانی frequency	کاربری اراضی Land use
0	کشاورزی agriculture
4.18	اداری official
0.42	تجاری commercial
0.73	فرهنگی cultural
0.19	آموزشی educational
0.84	صنعتی industrial
0.12	درمانی treatment
0.06	تفریحی recreational
0.34	مذهبی religiouse
93.11	مسکونی residential

ویژگی، به تصویر کشیدن و به اشتراک گذاری اطلاعات مکانی را به راحتی امکان‌پذیر می‌سازد و افراد و سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا به اطلاعات مکانی برای تصمیم‌گیری و تحلیل، دسترسی داشته باشند [۱۱]. همچنین، با استفاده از GIS، می‌توان مسائل مختلف مکانی مانند مسیریابی [۱۲-۱۵]، آمایش سرزمین [۱۶]، مکان‌یابی [۱۷، ۱۸]، مدیریت آلودگی هوا [۱۹، ۲۰]، مدل‌سازی زمین [۲۱-۲۴]، شبیه‌سازی [۲۵، ۲۶]، مدیریت منابع آب [۲۷، ۲۸]، و حمل‌ونقل [۲۹-۳۱] را با دقت و کارآمدی حل نمود. همچنین، ترکیب GIS با فناوری سنسجش از دور (Remote Sensing) منبعی غنی از داده‌های مکانی ایجاد می‌کند که در تحلیل و مدل‌سازی مسائل مختلفی از جمله تغییرات زمین‌شناسی، محیط زیست، و اجتماعی بسیار مفید واقع می‌شود [۳۲-۳۵]. این ترکیب به تحلیل مسائل متنوع مکانی کمک می‌کند و امکانات گسترده‌ای را برای محققان و تصمیم‌گیران به منظور بررسی و مدیریت بهتر مناطق مختلف و مسائل پیچیده، فراهم می‌آورد [۳۶].

در این سیاق، تحقیق حاضر به بررسی و تحلیل کاربری اراضی در شهر تهران اختصاص دارد. این تحقیق تلاش می‌کند تا توزیع کاربری‌های مختلف در سطح شهر را به منظور ارتقاء توسعه شهری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان مورد بررسی و ارزیابی قرار دهد. از دیدگاه عملی، این تحقیق به مسأله تخصیص بهینه اراضی در شهر تهران می‌پردازد و از دیدگاه تئوری، به نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری و توسعه شهرها می‌پردازد. در این تحقیق، ابتدا کاربری‌های اراضی متنوعی که در شهر تهران وجود دارند، شناسایی و دسته‌بندی شده‌اند. سپس با استفاده از استانداردهای شهری به عنوان معیارهای ارزیابی، میزان فراوانی هر یک از این کاربری‌ها در سطح شهر مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین در این تحقیق ندهایی به کاربری‌ها در مناطق مختلف شهر تهران انجام شده تا نیاز به بهبود در این مناطق مشخص شود. نتایج این تحقیق، به عنوان یک منبع ارزشمند، به تصمیم‌گیران شهری و برنامه‌ریزان شهری کمک خواهد کرد تا تصمیمات بهتری در خصوص تخصیص اراضی شهری اتخاذ کنند و به توسعه پایدار تهران و بهبود کیفیت زندگی شهروندان در این شهر بیفزایند.

## روش تحقیق

منطقه مطالعاتی این تحقیق که در قالب شهر تهران واقع شده است، شامل ۲۲ منطقه شهرداری می‌باشد. شهر تهران به عنوان پایتخت ایران و یکی از بزرگترین شهرهای جهان، با تنوع جمعیتی و فرهنگی بسیار زیادی روبرو است. هر یک از این مناطق شهری، دارای ویژگی‌ها و کاربری‌های خاصی می‌باشند که بر توسعه و مدیریت شهری تأثیر می‌گذارند. این کاربری‌ها شامل کاربری‌های متنوعی هستند از جمله کشاورزی برای تأمین محصولات غذایی، اداری برای ارائه خدمات دولتی و اداری، تجاری برای فعالیت‌های تجاری و بازاریابی، فرهنگی و آموزشی برای مراکز فرهنگی و آموزشی، صنعتی برای فعالیت‌های صنعتی و تولیدی، درمانی برای ارائه خدمات بهداشتی و درمانی، تفریحی برای



شکل ۱: منطقه مطالعاتی (شهر تهران)  
Fig. 1: Study Area (Tehran City)

در داده‌های مکانی شهر انجام شده و نسبت هر کدام از این کاربری‌ها به کل کاربری‌های شهری محاسبه گردیده است. نتایج این محاسبات در جدول شماره ۱، نشان داده شده است. از سوی دیگر، مقدار هر یک از کاربری‌ها در مناطق شهری تهران مطابق با استاندارد مشخصی تعیین شده است. این استاندارد، معیارهای مشخصی برای توزیع مناسب کاربری‌ها در مناطق مختلف شهر ارائه می‌کند. جزئیات این استاندارد در جدول شماره ۲ ذکر شده است. مقایسه مقادیر جدول ۱ (که نشان دهنده فراوانی کاربری‌های شهر تهران است) با مقادیر جدول ۲ (استانداردهای مشخص برای توزیع کاربری‌ها در مناطق مختلف شهری) می‌تواند به ما اطلاعاتی در مورد فاصله میان وضعیت فعلی کاربری‌های شهر تهران و استانداردها ارائه دهد.

آمایش سرزمین به عنوان یک جنبه مهم در مدیریت شهری و توسعه شهری از اهمیت بسیاری برخوردار است. این عامل در ارتقاء کیفیت زندگی شهروندان و تحقق مدیریت پایدار شهری نقش کلیدی ایفا می‌کند. یکی از معیارهای حیاتی در آمایش سرزمین، میزان وجود کاربری‌های مختلف به مقدار کافی در شهر می‌باشد. این معیار نشان‌دهنده تعادل و توازن در توسعه شهری و مدیریت شهری مطلوب است. از طرفی، توزیع متوازن این کاربری‌ها در سطح شهر نیز اهمیت دارد و تمرکز ناحیه‌ای یا ناتوازی‌های مکانی جلوگیری می‌شود. برای تعیین میزان کاربری‌ها، استفاده از استانداردهای مشخص برای هر نوع کاربری برای هر نوع فعالیت یا کاربری مشخص مطرح می‌شوند و وضعیت فعلی شهر با این استانداردها مقایسه می‌شود. برای بررسی توزیع مناسب کاربری‌ها در سطح شهر، این تحلیل به صورت جداگانه برای مناطق مختلف شهری انجام می‌شود. این رویکرد امکان مطالعه تفصیلی و شناخت بهتر وضعیت کاربری‌ها در هر ناحیه از شهر را فراهم می‌کند و به ارتقاء مدیریت کاربری اراضی شهری کمک می‌کند.

### نتایج و بحث

داده‌های مکانی شهر تهران بر اساس انواع مختلفی که دارند، دسته‌بندی شده‌اند. این انواع کاربری‌ها شامل ده دسته آموزشی، صنعتی، اداری، مسکونی، درمانی، تفریحی، تجاری، فرهنگی، کشاورزی و مذهبی می‌باشند. در مرحله بعد، میزان فراوانی هر یک از این کاربری‌ها محاسبه شده است. این محاسبات بر اساس تعداد داده‌های مربوط به هر کاربری

جدول ۲: استاندارد میزان درصد فراوانی برای مناطق شهری

Table 2: Standard Percentage Frequency for Urban Zones

استاندارد فراوانی frequency	کاربری اراضی Land use
کمتر از ۵ درصد Less than 5 percent	کشاورزی Agriculture
بین ۱ تا ۵ درصد Between 1 to 5 percent	اداری Official
بین ۱۰ تا ۳۰ درصد Between 10 to 30 percent	تجاری Commercial
بین ۱ تا ۵ درصد Between 1 to 5 percent	فرهنگی Cultural
بین ۵ تا ۱۰ درصد Between 5 to 10 percent	آموزشی Educational
بین ۵ تا ۲۰ درصد Between 5 to 20 percent	صنعتی Industrial

توجه به موارد بیان شده، جدول ۳ به تحلیل توزیع کاربری‌ها در سطح شهر تهران عمق بیشتری می‌دهد و اطلاعات مهمی را برای اتخاذ تصمیمات مناسب در زمینه مدیریت کاربری اراضی شهری فراهم می‌کند.

در مرحله بعد، مقدار کاربری هر یک از مناطق شهری با مقدار استاندارد لازم برای آن منطقه مقایسه می‌شود. این مقایسه به ما اطلاعاتی ارائه می‌دهد که نشان می‌دهد آیا توزیع کاربری‌ها در هر منطقه به میزان مطلوبی انجام شده است یا نه. به این صورت که اگر مقدار کاربری در یک منطقه از حد استاندارد تعیین شده برای آن منطقه بیشتر باشد، این نشان می‌دهد که توزیع کاربری در آن منطقه مناسب است. در غیر این صورت، مقدار FALSE نشان دهنده نامناسب بودن توزیع کاربری در آن منطقه خواهد بود. در جدول شماره ۴ که میزان مناسب بودن یا نبودن تعداد کاربری‌ها را در هر منطقه نمایش می‌دهد، مقادیر TRUE نشان دهنده مناسب بودن توزیع کاربری در منطقه مربوطه هستند، زیرا مقدار کاربری با استاندارد تطابق دارد. از طرفی، مقادیر FALSE نشان دهنده نامناسب بودن توزیع کاربری در آن منطقه هستند، چرا که مقدار کاربری از حد استاندارد کمتر است. این اطلاعات در تحلیل توزیع کاربری‌ها در سطح شهری به ما کمک می‌کنند تا نقاط ضعف در توزیع کاربری‌ها را شناسایی کرده و اقدامات مناسبی را برای بهبود توزیع کاربری‌ها در مناطق مختلف انجام دهیم.

استاندارد فراوانی frequency	کاربری اراضی Land use
بین ۱ تا ۵ درصد Between 1 to 5 percent	درمانی Treatment
بین ۵ تا ۲۰ درصد Between 5 to 20 percent	تفریحی recreational
بین ۱ تا ۵ درصد Between 1 to 5 percent	مذهبی Religiouse
۳۰ تا ۵۰ درصد یا بیشتر Between 30 to 50 percent or more	مسکونی residential

با توجه به توضیحات ارائه شده، تقسیم‌بندی شهر تهران به ۲۲ منطقه شهرداری و محاسبه درصد فراوانی کاربری‌ها در هر یک از این مناطق جزء مراحل اساسی در تحلیل توزیع کاربری‌های شهری می‌باشد. این تقسیم‌بندی دقیق T به مناطق شهری اجازه می‌دهد تا با دقت بیشتری تحلیل و بررسی شوند تا مشکلات مکانی شناسایی شوند. جدول ۳ که در آن میزان درصد فراوانی کاربری‌ها در مناطق ۲۲ گانه شهرداری آمده است، منابع اساسی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مرتبط با توزیع کاربری‌ها محسوب می‌شود. این اطلاعات، به مسئولین شهری این امکان را می‌دهد که درصد مناسبی از هر نوع کاربری را در هر منطقه شهری مشخص نمایند و این به توزیع کاربری‌ها در سطح شهر کمک می‌کند. همچنین، این اطلاعات امکان مقایسه توزیع کاربری‌ها در مناطق مختلف را فراهم می‌سازد و نقص‌ها یا ناتوانی‌های مکانی را آشکار می‌کند. با

جدول ۳: میزان درصد فراوانی کاربری‌های مختلف در مناطق ۲۲ گانه شهرداری

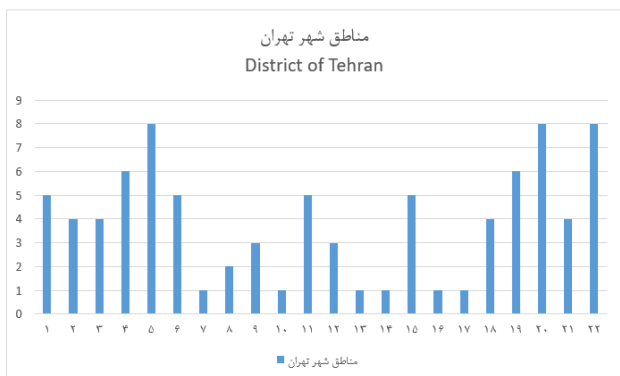
Table 3: Percentage Frequency of Different Land Uses in 22 Municipal Districts

منطقه region	آموزشی educational	صنعتی industrial	اداری official	مسکونی residential	درمانی treatment	تفریحی recreational	تجاری commercial	فرهنگی cultural	کشاورزی agriculture	مذهبی religiouse
R1	0.16	1.12	39.7	53.71	0.09	0	0.74	2.08	0	2.41
R2	0.05	0.45	6.19	91.45	0.05	0.21	0.64	0.94	0	0
R3	0.05	1.28	6.76	89.78	0.06	0	0.38	0.92	0	0.75
R4	0.37	3.82	14.61	74.24	0.08	0.61	0.34	2.61	0	3.32
R5	0.29	2.42	6.6	81.42	0.14	0.64	3.66	1.94	0	2.88
R6	0.1	2.05	4.43	90.94	0.16	0	0.35	1.57	0	0.4
R7	0.03	0.19	1.65	97.57	0.03	0	0.18	0.36	0	0
R8	0.09	0.46	1.04	97.7	0.02	0	0.32	0.25	0.06	0.07
R9	0.32	0.32	0.67	98.1	0.12	0	0.09	0.31	0	0.07
R10	0.04	0.17	0.61	98.75	0.02	0	0.04	0.33	0	0.04
R11	0.03	11.86	10.4	69.59	1.75	0.24	0.41	5.72	0	0
R12	0.13	1.55	0.62	96.81	0.23	0	0.05	0.6	0	0.02
R13	0.13	0.32	1.05	97.88	0.08	0	0.05	0.43	0	0.06
R14	0.07	0.42	0.57	98.4	0	0.04	0.17	0.27	0	0.05
R15	0.54	1.58	1.61	93.05	0.19	0	1.41	1.37	0	0.26
R16	0.08	0.31	0.41	98.41	0.11	0	0.34	0.31	0	0.03
R17	0.07	0.77	0.21	98.4	0.05	0	0.13	0.25	0	0.12
R18	0.25	0.51	0.76	97.59	0.09	0.16	0.18	0.33	0	0.13
R19	0.08	1.35	2.78	87.21	0.69	0.45	4.56	2.21	0	0.67
R20	0.86	1.59	9.16	79.71	0.94	1.09	2.99	2.89	0	0.78
R21	2.55	0.71	2.62	91.28	0.73	0	0.87	1.24	0	0
R22	0.59	2.37	36.65	46.21	0.79	0.07	3.76	3.76	0	5.8

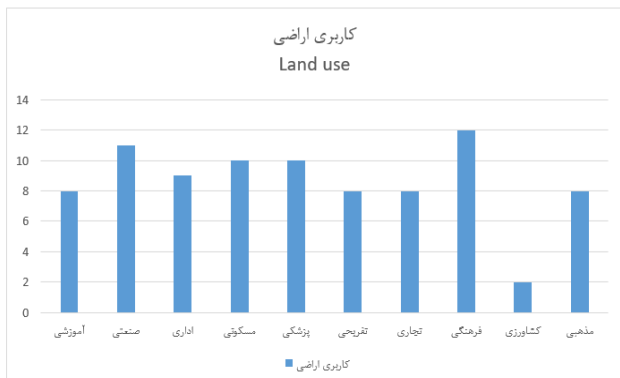
جدول ۴: ارزیابی میزان درصد فراوانی هر منطقه با استانداردهای شهری برای هر کاربری

Table 4: Evaluation of the Percentage Frequency of Each Zone with Urban Standards for Each Land Use

مذهبی	کشاورزی	فرهنگی	تجاری	تفریحی	درمانی	مسکونی	اداری	صنعتی	آموزشی	منطقه
religiouse	agriculture	cultural	commercial	recreational	treatment	residential	official	industrial	educational	region
TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	R1
FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	R2
TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	R3
TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	R4
TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	R5
TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	R6
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	R7
FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	R8
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	R9
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	R10
FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	R11
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	R12
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	R13
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	R14
FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	R15
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	R16
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	R17
FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	R18
TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	R19
TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	R20
FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	R21
TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	R22



شکل ۲: تعداد کاربری‌ها استاندارد در هر یک از مناطق ۲۲ گانه تهران  
Fig. 2: Standard Number of Land Uses in Each of the 22 Municipal Districts of Tehran



شکل ۳: تعداد مناطق استاندارد برای هر یک کاربری‌های شهری  
Fig. 3: Standard Number of Zones for Each Urban Land Use

با توجه به توضیحات ارائه شده، پس از بهدست آوردن جدول ارزیابی فراوانی کاربری‌ها در هر منطقه، امکان محاسبه استاندارد بودن فراوانی کاربری‌ها در هر منطقه فراهم می‌شود. این محاسبه، اطلاعاتی ارائه می‌دهد که نشان می‌دهد چه تعداد کاربری در هر منطقه به میزان مطلوبی استفاده شده‌اند. شکل ۲ نمایانگر تعداد کلاس‌های کاربری است که استاندارد را رعایت کرده‌اند و در هر منطقه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین، از طریق شکل ۳ می‌توان تعداد مناطقی که برای هر کاربری استاندارد می‌باشند را بررسی کرد.

در این تحقیق، میزان تعداد کاربری‌های استاندارد در هر منطقه شهری مشخص شده و درصد مطابقت با استانداردها برای هر منطقه محاسبه گردیده است. نتایج، نشان می‌دهند که توزیع کاربری‌ها در مناطق مختلف شهر تهران ناهمگون است. برای مثال، منطقه ۵ با داشتن تعداد کاربری‌های استاندارد بیشتری نسبت به سایر مناطق، به عنوان یک نقطه قوت در توزیع کاربری‌ها مشخص می‌شود. در مقابل، منطقه ۷، ۱۰، ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۱۷ با داشتن تعداد کاربری‌های استاندارد کمتر، به عنوان نقاط ضعف در توزیع کاربری‌ها معرفی می‌شوند. علاوه بر این، بر اساس تعداد مناطقی که استانداردهای توزیع کاربری‌ها را رعایت کرده‌اند، مشخص شده است که کاربری‌های فرهنگی با تعداد ۱۲ منطقه که استاندارد را رعایت کرده‌اند، به عنوان یکی از کاربری‌های متوازن در توزیع در نظر گرفته می‌شوند. از سوی دیگر، کاربری‌های تفریحی با تنها ۸ منطقه استاندارد را رعایت کرده‌اند و به عنوان کاربری نامتوازن در توزیع تلقی می‌شوند.



متفاوتی وجود دارد و این تفاوت‌ها نشان‌دهنده نیاز به بهبود توزیع کاربری‌ها در سطح شهر است. به عنوان مثال، مناطقی وجود دارند که تعداد کاربری‌های استاندارد را رعایت نمی‌کنند و نیاز به تنظیم دقیق‌تر دارند، مانند مناطق ۷، ۱۰، ۱۳، ۱۴، ۱۶ و ۱۷. همچنین کاربری تفریحی نیاز به توجه بیشتری دارد تا به استانداردهای شهری و نیازهای جامعه پاسخ دهد. این تحقیق می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید برای تصمیم‌گیران شهری و برنامه‌ریزان شهری در توسعه و بهبود کیفیت زندگی شهروندان تهران مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان توصیه کرد که توسعه کاربری‌های اراضی در شهر تهران با توجه به استانداردها و نیازهای شهری بهبود یابد و تلاش‌های بیشتری برای توزیع متوازن‌تر کاربری‌ها در سطح شهر انجام شود. این اقدامات می‌توانند به بهبود دسترسی به خدمات عمومی و توسعه پایدار شهر کمک کنند و زندگی شهروندان را بهبود بخشند.

### مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

### تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکارانی که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

### تعارض منافع

«هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

### منابع و مآخذ

[1] Rousta I, Sarif MO, Gupta RD, Olafsson H, Ranagalage M, Murayama Y, et al. Spatiotemporal analysis of land use/land cover and its effects on surface urban heat island using Landsat data: A case study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). *Sustainability*. 2018;10(12):4433.

[2] Bokaie M, Zarkesh MK, Arasteh PD, Hosseini A. Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*. 2016;23:94-104.

[3] Jabbari M, Behzadi S. Modelling Effects of Land Use Changes on Traffic based on Proposed Traffic Simulator. *Computational Engineering and Physical Modeling*. 2019;2(3):61-70.

[4] Shorabeh SN, Varnaseri A, Firozjaei MK, Nickravesh F, Samany NN. Spatial modeling of areas suitable for public libraries construction by integration of GIS and multi-attribute decision making: Case study Tehran, Iran. *Libr Inf Sci Res*. 2020;42(2):101017.

[5] Motieyan H, Azmoodeh M. Mixed-use distribution index: A novel bilevel measure to address urban land-use mix pattern (A case study in Tehran, Iran). *Land use policy*. 2021;109:105724.

با توجه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که توزیع کاربری‌های استاندارد در مناطق مختلف شهر تهران ناهمگن است. برخی مناطق با تعداد کاربری‌های بالا روبرو هستند، در حالی که مناطق دیگر تعداد کاربری‌های کمتری را دارند. این نتایج، نشان می‌دهد که نیاز به برنامه‌ریزی مناسب در توزیع کاربری‌ها و مدیریت اراضی وجود دارد تا توسعه پایدار شهرها برقرار شود. همچنین، توجه به تعداد مناطقی که برای هر کاربری استاندارد وجود دارد نشان می‌دهد که برنامه‌ریزان شهری باید به توسعه هر کاربری با توجه به نیاز و تقاضای مناطق مختلف توجه کنند. به عنوان مثال، توسعه صنعتی در بیشتر مناطق صورت گرفته است، در حالی که تعداد مناطقی که برای تفریح، مناسب هستند بسیار کم است. این نتایج، نشان می‌دهند که نیازمند برنامه‌ریزی دقیق‌تر و توازن‌دهی بیشتر در توسعه کاربری‌های مختلف شهر تهران هستیم. با توجه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که برنامه‌ریزی شهری باید به منظور توازن‌دهی و توسعه پایدار بیشتری در شهر تهران انجام شود. الگوهای توزیع کاربری‌های استاندارد در مناطق مختلف شهر نشان می‌دهد که برنامه‌ریزان باید به توسعه یکپارچه و هماهنگ کاربری‌های مختلف توجه کنند و تلاش کنند تا از تمرکز یا پراکندگی نامتوازنی جلوگیری کنند.

علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهند که برخی کاربری‌ها نیاز به توسعه بیشتری دارند، مانند صنعتی و مسکونی، در حالی که برخی دیگر کاربری‌ها ممکن است نیاز کمتری داشته باشند، مانند کشاورزی و مذهبی. بنابراین، برنامه‌ریزان شهری باید با توجه به نیازها و تقاضاهای مناطق مختلف، توسعه کاربری‌ها را بهینه‌سازی کنند و به توازن بین نیازهای مختلف جامعه توجه کنند. همچنین، برنامه‌ریزی شهری باید با توجه به تعداد کاربری‌های استاندارد در هر منطقه، تأمین منابع و زیرساخت‌های لازم را برای هر کاربری فراهم کند. به عنوان مثال، مناطق با تعداد کاربری‌های بالا نیاز به زیرساخت‌های ترافیکی، امکانات عمومی، و خدمات بهداشتی بیشتری دارند. در عین حال، مناطق با تعداد کاربری کمتر نیاز به توسعه زیرساخت‌های اجتماعی و اقتصادی بیشتری دارند. در نهایت، برای ایجاد توسعه پایدار در شهر تهران، باید به توازن بین کاربری‌های مختلف، بهینه‌سازی استفاده از منابع و زیرساخت‌ها، و توجه به نیازها و تقاضاهای اجتماعی و اقتصادی توجه کرد. این امر نیازمند همکاری میان بخش‌های مختلف، مشارکت شهروندان، و استفاده از رویکردها و ابزارهای مناسب برای برنامه‌ریزی شهری است.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ما به بررسی توزیع کاربری‌های اراضی در شهر تهران با استفاده از استانداردها و نیازهای شهری پرداختیم. این پژوهش نتایج مهمی را ارائه داده است که می‌تواند به تصمیم‌گیران شهری و برنامه‌ریزان شهری در بهبود و توسعه شهر کمک کند. نتایج تحقیق، نشان می‌دهد که توزیع کاربری‌های اراضی در شهر تهران ناهمگون و نامتوازن است. در مناطق مختلف شهر، تعداد کاربری‌های استاندارد

- [20] Jafarian H, Behzadi S. Evaluation of PM<sub>2.5</sub> emissions in Tehran by means of remote sensing and regression models. *Pollution*. 2020;6(3):521-9.
- [21] Chatsimab Z, Alesheikh A, Vosoghi B, Behzadi S, Modiri M. Land Subsidence Modelling Using Particle Swarm Optimization Algorithm and Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar. *ECOPERSIA*. 2020;8(2):77-87.
- [22] Chatsimab Z, Alesheikh AA, Vosoghi B, Behzadi S, Modiri M, editors. Development of a Land Subsidence Forecasting Model Using Small Baseline Subset—Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry and Particle Swarm Optimization—Random Forest (Case Study: Tehran-Karaj-Shahriyar Aquifer, Iran). *Dokl Earth Sci*; 2020: Springer.
- [23] Khaledi S, Behzadi S. Monitoring and Assessing the Changes in the Coverage and Decline of Oak Forests in Lorestan Province using Satellite Images and BFAST Model. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*. 2020;20(57):265-80.
- [24] Ghashghaie S, Behzadi S. Spatial Statistics Analysis to Identify Hot Spots Using Accidental Event Calls Services. *Journal of Statistical Research of Iran JSRI*. 2019;16(1):121-41.
- [25] Behzadi S. An intelligent location and state reorganization of traffic signal. *Geodesy and Cartography*. 2020;46(3):145-50.
- [26] Pasha A, Sorbi A, Behzadi S. Landslide risk assessment in Qazvin-Rasht quadrangle zone (North of Iran). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*. 2018;27(106):89-98.
- [27] Behzadi S, Mousavi Z, Norouzi E. Mapping Historical Water-Supply Qanat Based On Fuzzy Method. An Application to the Isfahan Qanat (Isfahan, Iran). *International Journal of Numerical Methods in Civil Engineering*. 2019;3(4):24-32.
- [28] Jalilzadeh A, Behzadi S, editors. Flood Mapping and Estimation of Flood Water-Level Using Fuzzy Method and Remote Sensing Imagery (Case Study: Golestan Province, Iran). *Forum Geografic*; 2020: University of Craiova, Department of Geography.
- [29] Ghasempoor Z, Behzadi S. Traffic Modeling and Prediction Using Basic Neural Network and Wavelet Neural Network Along with Traffic Optimization Using Genetic Algorithm, Particle Swarm, and Colonial Competition. *Journal of Geomatics Science and Technology*. 2021;10(3):147-63.
- [30] Ghasempoor Z, Behzadi S. Predicting Traffic Data in GIS using Different Neural Network Methods. *International Journal of Geography and Geology*. 2022;11(2):62-71.
- [31] Ghasempoor Z, Behzadi S. Provide an Automated Web-based Platform for Collecting Traffic Data. *Journal of Geomatics Science and Technology*. 2022;12(1):171-86.
- [32] Jalilzadeh A, Behzadi S. Machine learning method for predicting the depth of shallow lakes using multi-band remote sensing images. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*. 2019;3(2):54-64.
- [6] Behzadi S, Alesheikh AA. Introducing a novel model of belief–desire–intention agent for urban land use planning. *Eng Appl Artif Intell*. 2013;26(9):2028-44.
- [7] Ghasemi K, Behzadfar M, Borhani K. Spatial analysis of leisure land uses in Tehran: Assessing inequity using the MARCOS method within a GIS framework. *Heliyon*. 2023; 9:e19691.
- [8] Behzadi S, Memarimoghaddan K. A Belief-Desire-Intention Agent-based procedure for urban land growth simulation. A case study of Tehran Metropolitan Region, Iran. *Forum Geografic*. 2019;18(1):53-62.
- [9] Mousavi Z, Behzadi S. Geo-Portal Implementation with a Combined Approach of AHP and SWOT. *International Journal of Natural Sciences Research*. 2019;7(1):23-31.
- [10] Mousavi Z, Behzadi S. Introducing an Appropriate Geoportal Structure for Managing Wildlife Location Data. *International Journal of Natural Sciences Research*. 2019;7(1):32-48.
- [11] Poorazizi E, Alesheikh A, Behzadi S. Developing a mobile GIS for field geospatial data acquisition. *J Appl Sci*. 2008;8(18):3279-83.
- [12] Behzadi S, Alesheikh AA, Poorazizi E. Developing a genetic algorithm to solve shortest path problem on a raster data model. *J Appl Sci*. 2008;8(18):3289-93.
- [13] Behzadi S, Kolbadinejad M. INTRODUCING A NOVEL METHOD TO SOLVE SHORTEST PATH PROBLEMS BASED ON STRUCTURE OF NETWORK USING GENETIC ALGORITHM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. 2019.
- [14] Shahmoradi A, Behzadi S. Optimum Routing in the Urban Transportation Network by Integrating Genetic Meta-heuristic (GA) and Tabu Search (Ts) Algorithms. *Journal of Geomatics Science and Technology*. 2020;9(3):145-58.
- [15] Babaei M, Behzadi S. Spatial Data-Driven Traffic Flow Prediction Using Geographical Information System. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*. 2023;7(4):132-43.
- [16] Ioki K, Din NM, Ludwig R, James D, Hue SW, Johari SA, et al. Supporting forest conservation through community-based land use planning and participatory GIS—lessons from Crocker Range Park, Malaysian Borneo. *J Nat Conserv*. 2019;52:125740.
- [17] Behzadi S, Alesheikh AA. Hospital site selection using a BDI agent model. *International Journal of Geography and Geology*. 2013;2(4):36-51.
- [18] Mahjoobi M, Behzadi S. Solar desalination site selection on the Caspian Sea coast using AHP and fuzzy logic methods. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2022:1-9.
- [19] Behzadi S, Hamoudzadeh A. Evaluation of effective factors on air pollution using optimized cellular automata: A case study of Tehran. *Journal of Engineering Research*. 2021.

شهری می‌باشد. زمینه تحقیقاتی کنونی ایشان موضوعات مرتبط با جغرافیا و برنامه ریزی شهری است.

**Kolbadi nejad, M. Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran**

✉ saba\_aram\_61@yahoo.com



**رحیم سرور** استاد تمام گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات است. ایشان مدرک کارشناسی ارشد را در سال ۱۳۷۳ از دانشگاه آزاد اسلامی علوم تحقیقات دریافت نمودند و در سال ۱۳۷۸ موفق به اخذ مدرک دکتری تخصصی گردیدند. وی بیش از ۱۰۰ مقاله

علمی در مجلات و کنفرانس‌های علمی ارائه نموده‌اند و همچنین در کمیته علمی و داوری بیش از بیست مجله و کنفرانس علمی فعالیت داشته‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان جغرافیا و برنامه ریزی شهری است.

**Sarvar, R. Professor, Professor at the Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran**

✉ r-sarvar@srbiau.ac.ir

[33] Behzadi S, Jalilzadeh A. Introducing a Novel Digital Elevation Model Using Artificial Neural Network Algorithm. *Civil Engineering Dimension*. 2020;22(2):47-51.

[34] Norouzi E, Behzadi S. Evaluating machine learning methods and satellite images to estimate combined climatic indices. *International Journal of Numerical Methods in Civil Engineering*. 2019;4(1):30-8.

[35] Norouzi E, Behzadi S. The Feasibility of Machine-learning Methods to Extract the Surface Evaporation Quantity using Satellite Imagery. *Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations (JECEI)*. 2021;9(2):229-38.

[36] Abdollahi A, Behzadi S. Socio-Economic and Demographic Factors Associated with the Spatial Distribution of COVID-19 in Africa. *Journal of Racial and Ethnic Health Disparities*. 2022:1-13.

[37] Behzadi S, Alesheikh AA. A Pseudo Genetic Algorithm for solving best path problem. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2008;3(1).

## معرفی نویسندگان

### AUTHOR(S) BIOSKETCHES



**مطهره کلبادی نژاد** دارای مدرک کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (گرایش شهری و روستایی) از دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات می‌باشد. ایشان در حال حاضر دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی

**Citation (Vancouver):** Kolbadi nejad M, Sarvar R. [Land Use Investigation and Its Distribution Analysis in Various Districts of Tehran City According to Land Use Planning Standards]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 153-162

 <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10340.1034>



### COPYRIGHTS



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



## ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Extracting FaçadePoints of Urban Buildings from Mobile Laser Scanner Point Clouds

M.Heidarimozaffar<sup>\*1</sup>, S. A. Hosseini<sup>2</sup><sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran<sup>2</sup> Department of Surveying and Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran



## ABSTRACT

Received: 28 June 2023  
Reviewed: 19 August 2023  
Revised: 05 September 2023  
Accepted: 15 October 2023

## KEYWORDS:

Mobile Laser Scanner  
DBSCAN  
RANSAC  
Building Modeling  
Plane Extraction  
Point Cloud Segmentation  
Point Cloud Clustering

\* Corresponding author

 [m.heidarimozaffar@basu.ac.ir](mailto:m.heidarimozaffar@basu.ac.ir) (+98912) 5185925

**Background and Objectives:** In recent decades, geomatics science has made significant progress, and these advances are due to advanced measurement tools and innovative technologies in the field of geometric and spatial data acquisition. In this context, mobile laser scanners have been introduced as a basic and efficient tool that has the ability to perform accurate and fast measurements of various objects and environments, including urban spaces. These devices automatically record all the details of the urban space in the form of point cloud. To extract the geometric information of buildings from these details, it is necessary to use machine vision methods. In order to achieve accurate and reliable models of buildings, a sequence of post-processing operations is implemented when processing point cloud data. One of the most important stages of these processes is the segmentation of point cloud. These steps transform point cloud data into more conceptual and analyzable information. One of the important issues in processing point cloud data is the ability to extract planar surfaces of building facades (walls). These planar surfaces are of special importance as basic components in modeling and analyzing the condition of buildings. Accuracy in the information related to these planar surfaces allows for a more accurate and complete distinction between different components of buildings. This is important in several applications including urban planning, construction management, and energy consumption analysis of buildings.

**Methods:** In this article, MSAC and G-DBSCAN algorithms are used to extract planar surfaces from point cloud data. These two algorithms are executed sequentially. First, the most probable planar surfaces in the study area are extracted using MSAC, and then G-DBSCAN is used to separate the walls from these planar surfaces. In this article, the GeoSLAM ZEB-HORIZON mobile laser scanner device is used to collect data, and the area chosen for this purpose is the buildings of the Faculty of Engineering of Bo Ali Sina University in Hamedan. Because this place has features such as architectural diversity, the presence of non-planar and planar facades, different positions of the walls relative to each other with different dimensions, and challenges related to the diverse architecture of the space around the buildings.

**Findings:** Comprehensive evaluation of this research that includes three separate buildings. The results show an average Precision of over 93%, which guarantees accurate data extraction. In addition, it has achieved an average Recall of over 94%, which captures the majority of elements in the view. As a result, F1 score with an average value of 94% has been obtained. This research contributes to the progress in the field of accurate building data extraction and architectural modeling. Of course, when dealing with buildings and more complex environments, the algorithm faces challenges. Among the challenges that can be mentioned are various architectural features of buildings and external obstacles. For example, in buildings with large glass doors and windows, these algorithms may incorrectly extract interior walls. Also, the presence of dense vegetation around the facade can create obstacles that hinder the laser scanner's ability to fully capture the facade.

**Conclusion:** However, the results show that the algorithm in general was able to provide a significant performance in extracting the facade information of buildings, especially in challenging architectural scenarios. These developments are promising and create new possibilities in the field of spatial data analysis and building modeling. This innovative approach can be used in various applications and help to develop modern and data-based architectural models.



NUMBER OF REFERENCES

44



NUMBER OF FIGURES

16



NUMBER OF TABLES

7

## مقاله پژوهشی

## استخراج نقاط نمای ساختمان‌های شهری از ابرنقاط لیزراسکنر همراه

مرتضی حیدری مظفر<sup>\*</sup>، سید عادل حسینی<sup>۲</sup><sup>۱</sup> گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران<sup>۲</sup> گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** در دهه‌های اخیر، علوم ژئوماتیک پیشرفت چشمگیری کرده و این پیشرفت‌ها، ناشی از ابزارهای پیشرفته اندازه‌گیری و تکنولوژی‌های نوآورانه در زمینه اخذ داده‌های هندسی و مکانی است. در این زمینه، لیزراسکنرهای همراه به عنوان ابزاری اساسی و کارآمد معرفی شده‌اند که قابلیت انجام اندازه‌گیری دقیق و سریع اشیاء و محیط‌های مختلف از جمله فضاهای شهری، را دارا هستند. این دستگاه‌ها به شکل خودکار تمامی جزئیات فضای شهری را به شکل ابرنقطه ثبت می‌کنند. برای استخراج اطلاعات هندسی ساختمان‌ها از درون این جزئیات، لازم است از روش‌های بینایی ماشین استفاده شود. در راستای دستیابی به مدل‌های دقیق و قابل اعتماد از ساختمان‌ها، هنگام پردازش داده‌های ابرنقطه، دنباله‌ای از عملیات پس‌پردازش اجرا می‌شود. یکی از مهمترین مراحل این پردازش‌ها، قطعه‌بندی ابرنقاط است. این مراحل انتقال داده‌های ابرنقطه را به اطلاعات مفهومی‌تر و قابل تحلیل‌تر تبدیل می‌کنند. یکی از مسائل مهم در پردازش داده‌های ابرنقطه، توانایی استخراج سطوح مسطح نماهای ساختمانی (دیوارها) است. این سطوح مسطح به عنوان اجزاء اساسی در مدل‌سازی و تحلیل وضعیت ساختمان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. دقت در اطلاعات مرتبط با این سطوح مسطح، امکان تمایز دقیق‌تر و کامل‌تر بین اجزاء مختلف ساختمان‌ها را فراهم می‌کند. این امر در کاربردهای متعددی از جمله برنامه‌ریزی شهری، مدیریت ساخت و ساز، و تجزیه و تحلیل مصرف انرژی ساختمان‌ها اهمیت دارد.

**روش‌ها:** در این مقاله، برای استخراج سطوح مسطح از داده‌های ابرنقطه از دو الگوریتم MSAC و G-DBSCAN استفاده شده است. این دو الگوریتم به صورت متوالی اجرا می‌شوند. به طوری که ابتدا محتمل‌ترین سطوح مسطح در فضای مطالعه با استفاده از MSAC استخراج شده و سپس به منظور جداسازی دیوارها از میان این سطوح مسطح از G-DBSCAN استفاده می‌شود. در این مقاله، از دستگاه لیزراسکنر همراه GeoSLAM ZEB-HORIZON برای اخذ داده‌ها استفاده شده است و محوطه‌ای که برای این منظور انتخاب شده، ساختمان‌های دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا در همدان می‌باشد. دلیل انتخاب این محوطه وجود ویژگی‌هایی از جمله تنوع معماری، وجود نماهای غیرمسطح و مسطح، حالت‌های مختلف قرارگیری دیوارها نسبت به هم با ابعاد مختلف، و چالش‌های مرتبط با معماری متنوع فضای اطراف ساختمان‌ها است.

**یافته‌ها:** ارزیابی جامع این تحقیق، سه ساختمان مجزا را دربرمی‌گیرد. نتایج میانگین دقت (Precision) بالای ۹۳٪ را نشان می‌دهد که استخراج دقیق داده‌ها را تضمین می‌کند. به علاوه، نتایج به میانگین بازنمایی (Recall) بالای ۹۴٪ دست یافته است، که اکثریت عناصر نما را به تصویر می‌کشد. در نتیجه، امتیاز F1 (F1 score) مقدار متوسط ۹۴٪ را به دست آورده است. این تحقیق، به پیشرفت در زمینه استخراج دقیق داده‌های ساختمانی و مدل‌سازی معماری کمک می‌کند. البته، در مواجهه با ساختمان‌ها و محیط‌های پیچیده‌تر، الگوریتم با چالش‌هایی مواجه می‌شود. از جمله چالش‌هایی که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد، ویژگی‌های معماری متنوع ساختمان‌ها و موانع خارجی می‌باشد. برای مثال، در ساختمان‌های دارای درب‌ها و پنجره‌های شیشه‌ای بزرگ، این الگوریتم‌ها ممکن است دیوارهای داخلی را به اشتباه استخراج کنند. همچنین، وجود پوشش گیاهی متراکم در اطراف نما می‌تواند موانعی ایجاد کند که مانع از توانایی لیزراسکنر در برداشت کامل نما شوند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج، نشان می‌دهد الگوریتم به طور کلی توانسته عملکرد قابل توجهی در استخراج اطلاعات نمای ساختمان‌ها به خصوص در سناریوهای معماری چالش برانگیز ارائه دهد. این پیشرفت‌ها، امیدوارکننده‌اند و امکانات جدیدی را در حوزه تحلیل داده‌های مکانی و مدل‌سازی ساختمانی ایجاد می‌کند. از این رویکرد نوآورانه، می‌توان در کاربردهای مختلفی استفاده نمود و به توسعه مدل‌های معماری مدرن و مبتنی بر داده کمک کرد.

تاریخ دریافت: ۷ تیر ۱۴۰۲  
تاریخ داری: ۲۸ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۱۴ شهریور ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۲۳ مهر ۱۴۰۲

## واژگان کلیدی:

لیزراسکنر همراه  
الگوریتم‌های DBSCAN و RANSAC  
مدل‌سازی ساختمان  
استخراج صفحه  
قطعه‌بندی ابرنقطه  
خوشه‌بندی ابرنقطه

\* نویسنده مسئول

m.heidarimozaffar@basu.ac.ir

0912-5185925



## مقدمه

ابرنقطه سروکار دارند، ارائه شده‌اند. با توجه به اینکه هندسه اکثر نمای ساختمان‌ها را می‌توان با مجموعه‌ای از نماهای مسطح به صورت صفحه توصیف کرد [۸]، استخراج صفحه نسبت به دیگر اشکال هندسی متداول‌تر است. بنابراین، با توجه به اهمیت استخراج خودکار صفحه از ابرنقطه [۱۳]، سمپاس و شان [۱۴] صفحه را با استفاده از رویکرد k-means فازی بر اساس سطح نرمال استخراج کردند. صفحه‌ها بر اساس تراکم خوشه و اتصال از هم جدا شدند. ژو و همکاران [۱۵]، از گرادیان برای محاسبه مؤثر پارامترهای صفحه و سپس استخراج نقاط مربوط به آن استفاده کردند. آرنود و همکاران [۱۶]، یک الگوریتم استخراج صفحه پویا را پیشنهاد می‌کنند که در آن نقاط به خوشه‌هایی تعلق می‌گیرند که پارامترهای صفحه فرضی یکسان دارند. با این حال، این روش‌ها علیرغم نتایج خوبی که ارائه می‌دهند، ممکن است تحت تأثیر عواملی چون تعداد تکرار و حداکثر تعداد خوشه‌های انتخابی قرار گیرند.

فراتر از روش‌های فوق، روش‌های دیگری برای استخراج صفحات ساختمانی پیشنهاد شده است. تعدادی از روش رشد منطقه‌ای (Region growing) [۱۷] به طور گسترده برای استخراج سطوح مسطح و ویژگی‌های نما استفاده کرده‌اند [۲۳-۱۸]. در روش رشد منطقه‌ای، انتخاب نقاط اولیه به عنوان منطقه بذری، نتایج نهایی قطع‌بندی ابرنقطه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین، در مورد ابرنقطه با نویز زیاد، تصمیم‌گیری در مورد گسترش منطقه دشوار است. در این روش چندین منطقه بذری به طور مستقل رشد می‌کنند و منجر به خوشه‌هایی می‌شوند که به طور بالقوه با هم تداخل دارند. این رویکرد اغلب یک قطع‌بندی مناسب را نتیجه می‌دهد اما هنگام مواجه شدن با داده‌های با نویز زیاد به مشکل برمی‌خورد [۱۲].

در تحقیقات حوزه بینایی ماشین، دو روش کاملاً شناخته شده دیگر یعنی تبدیل هاف [۲۴] و الگوریتم RANSAC [۲۵] برای استخراج اشکال ساده هندسی استفاده شده‌اند [۳۲-۲۶]. برخلاف رشد منطقه‌ای، برای هر دو روش اثبات شده است که در حضور تعداد زیادی از نقاط پرت، اشکال ساده هندسی آسان‌تر استخراج می‌شوند [۱۳]. با این حال، روش تبدیل هاف عمدتاً در خصوص داده‌های دو بعدی و زمانی که تعداد پارامترهای مدل بسیار کم است، استفاده می‌شود. تراش‌کردی و همکاران [۱۳] هر دو روش را برای استخراج خودکار صفحه‌های سه‌بعدی ساختمان بر روی ابرنقطه ارزیابی کردند. پس از مقایسه تحلیلی، نتایج نشان داده است که الگوریتم RANSAC در قطع‌بندی ابرنقطه کارآمدتر از روش تبدیل هاف است. بنابراین، می‌توان گفت RANSAC در استخراج اشکال ساده بخصوص زمانی که داده از دنیای واقعی اخذ شده (ابرنقطه دارای نویز فراوان باشد) گزینه‌ای مناسب است [۱۲ و ۲۶]. مقابل این مزیت‌ها، RANSAC در استخراج اشکال در فضای سه بعدی، نسبت به انتخاب صحیح آستانه نویز حساس است به طوری که تعیین می‌کند کدام نقاط داده متناسب با مدل نمونه‌برداری شده (با مجموعه‌ای منحصر به فرد از پارامترها) است. اگر چنین آستانه‌ای خیلی زیاد انتخاب شود، تمام فرضیه‌ها به طور مساوی رتبه‌بندی می‌شوند و

مدل‌سازی سه‌بعدی خیابان‌ها و ساختمان‌ها، در بصری‌سازی کاربردهای مکان‌مند پیشرفته مانند ناوبری وسایل نقلیه، برنامه‌ریزی شهری و صنعت گردشگری، مورد توجه روزافزون است [۱]. با رشد تکنولوژی گرافیک رایانه‌ای، صنعت سرگرمی و واقعیت مجازی تقاضا برای مدل‌های پیچیده و واقع‌گرایانه نیز افزایش داشته است [۲]. پیچیدگی عوارض ساختمانی به خصوص در مناطق شهری، منجر به آن می‌شود که مرحله مدل‌سازی و استخراج اطلاعات هندسی ساختمان با دقت کافی انجام نشود [۳]. به همین دلیل، استخراج اطلاعات هندسی و در رأس آن، مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها به یکی از زمینه‌های مهم تحقیقاتی در فتوگرامتری و بینایی ماشین (Machine vision) تبدیل شده است [۴].

داده‌های مدل‌سازی ساختمان، عمدتاً با استفاده از سه روش به دست می‌آیند [۵]: فتوگرامتری هوایی، تصویربرداری عمیق و LiDAR. با پیشرفت فناوری LiDAR، ابرنقطه حاصل از برداشت جزئیات، در حال تبدیل شدن به یک منبع اصلی برای مدل‌سازی هندسه ساختمان‌ها است. در دهه ۱۹۹۰، لیزراسکنر هوایی به طور گسترده در دسترس قرار گرفت [۶] و تولید مدل‌های رقمی ارتفاعی از شهرها امکان‌پذیر شد. دقت و تراکم نقاط قابل برداشت توسط این فناوری در حال پیشرفت مداوم است. بعدها، لیزراسکنر زمینی و لیزراسکنر همراه، علاوه بر دقت هندسی بیشتر و تراکم بسیار زیاد، اسکن نمای ساختمان‌ها را که در حالت هوایی امکان‌پذیر نبود، میسر کردند [۷]. فرآیند مدل‌سازی نمای ساختمان با استفاده از ابرنقطه را می‌توان به سه مرحله اصلی تقسیم کرد [۸]: استخراج نقاط نمای ساختمان، شناسایی ویژگی‌های نمای ساختمان (به عنوان مثال درب، پنجره و غیره) و بازسازی مدل بر اساس یک توپولوژی سه‌بعدی. مرحله اول، بسیار مهم است زیرا مراحل بعدی مستقیماً در ادامه نتیجه مرحله اول به دست می‌آیند. اگرچه پردازش ابرنقطه برای استخراج ویژگی‌های نمای ساختمان (مرحله اول) فرآیندی زمان‌بر است [۹]، اما با توجه به دقت نسبتاً مناسب نتایج ارائه شده در پردازش ابرنقطه نمی‌توان از اهمیت چنین داده‌ای صرف‌نظر کرد [۵]. از جمله این پیش‌پردازش‌ها، قطع‌بندی ابرنقطه است یعنی تقسیم تعداد زیادی از نقاط به گروه‌هایی با خصوصیات مشابه که اغلب پیش شرط همه پردازش‌ها است [۱۰].

اغلب تکنیک‌های قطع‌بندی ابرنقطه بر روی داده‌های لیزراسکنر هوایی توسعه داده شده‌اند [۱۱]، به عبارتی تکنیک‌ها روی داده‌های مش یا داده‌های تصویری پیاده‌سازی شده‌اند و به‌ندرت روی داده‌های سه بعدی به طور مستقیم عملیاتی شده‌اند. ابرنقطه‌های که با لیزراسکنر زمینی/همراه و یا با تصویربرداری به دست می‌آیند، به خصوص زمانی که از چندین ایستگاه مختلف اخذ و ادغام می‌شوند، یقیناً سه بعدی هستند. تبدیل چنین داده‌ای به شبکه دو بعدی باعث از دست رفتن اطلاعات مکانی زیادی خواهد شد [۱۲]. در مقابل، تکنیک‌های قطع‌بندی سه بعدی که به استخراج اشکال ساده همچون صفحه، کره، استوانه از

اساس مقادیر این پارامتر و تعداد صفحات استخراج شده مرتبط به طور خودکار ترسیم شد. وقتی که تعداد صفحات استخراج شده بر اساس مقادیر افزایشی این پارامتر به یک مقدار ثابت رسید، اولین مقدار پارامتر قبل از ثبات نمودار به عنوان مقدار بهینه MinPoint در نظر گرفته شد. به این ترتیب، الگوریتم MSAC با دریافت این دو پارامتر کلیدی به عنوان ورودی، محتمل‌ترین سطوح مسطح در فضای مورد مطالعه را تولید می‌کند.

خروجی‌های مرحله اول یعنی صفحات استخراج شده، MinPoint و نقاط باقی‌مانده (نقاطی که به هیچ صفحه‌ای تعلق نداشته‌اند) به‌عنوان ورودی به مرحله دوم معرفی شد.

پس از اجرا شدن مرحله اول، به منظور جداسازی صفحه‌هایی (دیوارهای ساختمان) از میان صفحه‌های استخراج شده که گویای بهترین نمای بیرونی ساختمان باشند، هر کدام به صورت مجزا از الگوریتم DBSCAN [۳۵]، که به صورت موازی از واحد پردازش گرافیکی رایانه بهره می‌گیرد (G-DBSCAN) [۳۴ و ۳۶] عبور داده شد. این الگوریتم ورودی‌هایی به شرح زیر دریافت می‌کند:

- نقاط متعلق به هر صفحه تشخیص داده شده؛

- تعداد صفحات تشخیص داده شده در مرحله قبل که وظیفه خاتمه الگوریتم را برعهده دارد (NP\_M)؛

- مقدار MinPts که با توجه به دانش در مورد حداقل فاصله دو دیوار مجاور هم راستا برای منطقه مورد مطالعه انتخاب می‌شود، به طوری که باید مقدار آن کمتر از این فاصله انتخاب شود (شکل ۳). مقدار آن برای این مطالعه ۵۰ سانتی‌متر تنظیم شده است؛

- شمارنده تعداد صفحاتی که توسط G-DBSCAN مورد بررسی قرار گرفته است ( $ONP_{G-D}$ )

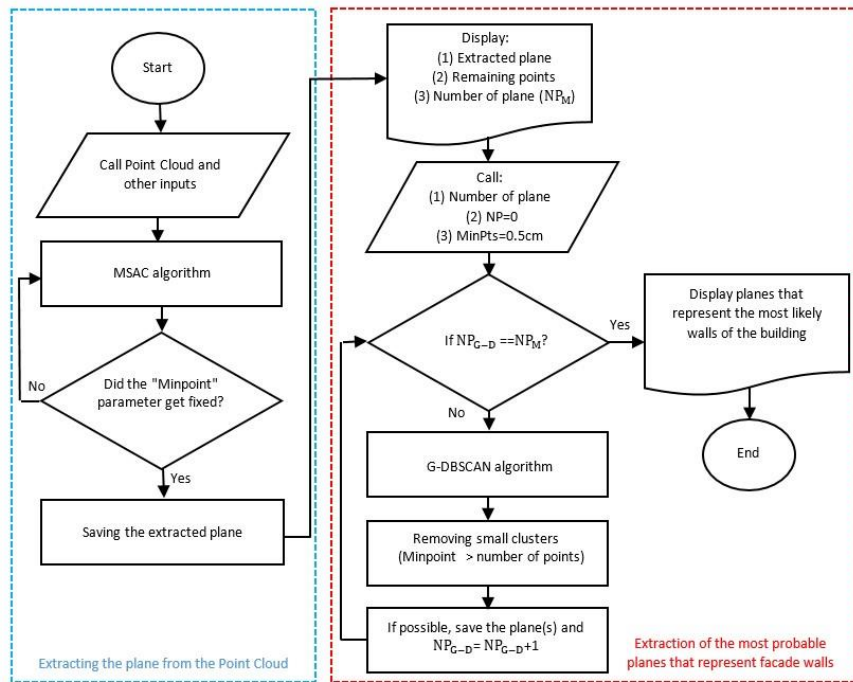
ورودی‌های این مرحله، به‌جز MinPts همه به‌طور خودکار از مرحله قبل دریافت می‌شود. هنگام عبور هر صفحه از مرحله خوشه‌بندی G-DBSCAN، اگر صفحه استخراج شده، خود بیشتر از یک دیوار را شامل شود، به تعداد صحیح قطعه‌بندی می‌شود، به طوری که هر صفحه معرف یک دیوار باشد و سپس هر کدام به صورت مجزا، ذخیره‌سازی می‌شوند و اگر صفحه استخراج شده، خود شرایط فقط یک دیوار را داشته باشد نقاط آن صفحه به عنوان دیوار ذخیره‌سازی می‌شوند. همچنین، صفحاتی که تعداد نقاط متعلق به آن‌ها کمتر از آستانه انتخابی MinPoint باشد به‌عنوان نقاط باقیمانده که شامل نما نیستند، به نقاط باقیمانده مرحله قبل اضافه و ذخیره می‌شوند. پس از اینکه هر کدام از این دو مرحله اجرا شود یک واحد به شمارنده  $NP_{G-D}$  اضافه خواهد شد. زمانی الگوریتم خاتمه می‌یابد که  $NP_{G-D} = NP_M$  باشد. خروجی این الگوریتم نقاط متعلق به محتمل‌ترین صفحاتی است که گویای دیوارهای نمای ساختمان موجود در فضای مورد مطالعه با توجه به شرایط در نظر گرفته شده است.

ممکن است در استخراج صفحه‌ها چندین صفحه به عنوان یک صفحه استخراج شوند. از سوی دیگر، زمانی که آستانه نویز خیلی کوچک انتخاب شود، پارامترهای تخمین‌زده شده تمایل به ناپایداری دارند یعنی پس از هر بار اجرای الگوریتم تعداد صفحات استخراج شده متفاوت و بیشتر از تعداد واقعی است. برای جبران بخشی از این اثر نامطلوب، تور و همکاران MSAC را پیشنهاد کردند [۳۳].

اگرچه از نظر دقت و سرعت برای شناسایی نمای ساختمان پیشرفت‌های زیادی حاصل شده است، اما هنوز هم استراتژی‌های فراگیر پردازش برای استخراج خودکار چنین ویژگی‌هایی از محیط‌های ناهمگن شهری نیازمند توسعه هستند. قطعه‌بندی ابرنقطه برای استخراج سطوح مسطح در نمای ساختمان را می‌توان به عنوان گام اصلی در پردازش خودکار ابرنقطه در نظر گرفت [۱۰]. دستیابی سریع به داده‌های سه‌بعدی و همچنین پردازش خودکار داده‌ها، دو وظیفه اصلی در کاربردهای نقشه‌برداری است [۱۳]. با توجه به این ملاحظات در این مقاله، الگوریتمی برای تشخیص خودکار دیوارهای نمای ساختمان موجود در ابرنقطه لیزراسکنر همراه با استفاده از الگوریتم‌های MSAC و G-DBSCAN [۳۴] که به صورت متوالی اجرایی شده مطرح می‌شود. این تحقیق بر اهمیت قابل توجه و کاربردهای عملی این تلاش، به‌ویژه در حوزه استخراج دیوارهای ساختمان از داده‌های ابرنقطه به‌دست آمده توسط لیزراسکنر همراه در محیط‌های شهری پویا تاکید می‌کند.

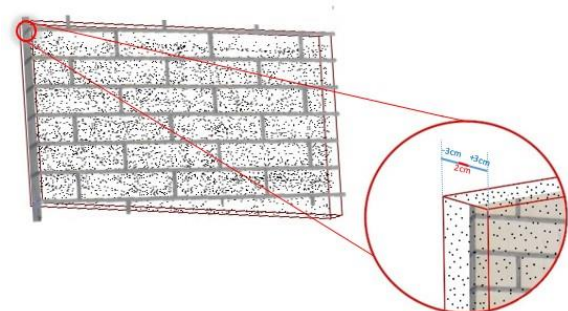
## روش تحقیق

در این بخش، روش پیشنهادی برای استخراج دیوارهای نمای ساختمان از ابرنقطه به دقت بررسی و توضیح داده می‌شود. فرآیند کلی این روش، در شکل ۱ نمایش داده شده است و به دو مرحله اصلی تقسیم می‌شود. در مرحله اول، جهت استخراج سطوح مسطح محتمل در ابرنقطه، از الگوریتم MSAC استفاده شد. در این مرحله، دو پارامتر کلیدی بسیار مهم انتخاب شد. اولین پارامتر حداکثر ضخامت نویزی صفحه‌ها (MaxDistance) است که براساس دانش موجود در مورد محیط مطالعه انتخاب شد. به عنوان مثال، با توجه به برجستگی‌های نوع نما (حدود ۲ سانتیمتر) و دقت برداشت دستگاه ( $\pm 3$  سانتیمتر)، این مقدار برابر با ۸ سانتیمتر تعیین شد (شکل ۲). دومین پارامتر، حداقل تعداد نقاط متعلق به هر صفحه (MinPoint) است که برای افزایش سرعت پردازش و جلوگیری از تشخیص هر مجموعه بیش از ۳ نقطه به عنوان یک صفحه مورد استفاده قرار گرفت. انتخاب مقدار این پارامتر بر اساس تحلیل هیستوگرام انجام شد، به گونه‌ای که الگوریتم با یک مقدار اولیه کم برای این پارامتر شروع به اجرا شد و تعداد صفحات استخراج شده در هر مرحله ذخیره شد. سپس، این مقدار افزایش یافت و تعداد صفحات استخراج شده در هر مرحله به طریق مشابه ذخیره شد. هیستوگرامی بر



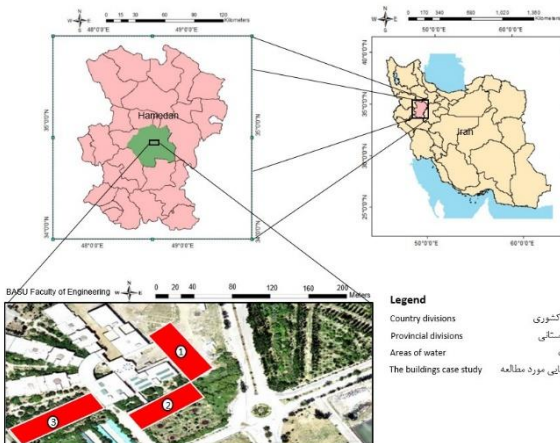
شکل ۱: روش استخراج صفحه‌های نمای ساختمان از ابرنقطه  
 Fig.1: The method of extracting building facades from the point cloud.

دپارتمان‌های دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی‌سینا با ابعاد مختلف به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شد (شکل ۴). از ویژگی‌های بارز این ساختمان‌ها دیوارهایی با ابعاد مختلف است که با زاویه‌های تقریباً عمود بر هم مجاور یکدیگر قرار گرفته‌اند.

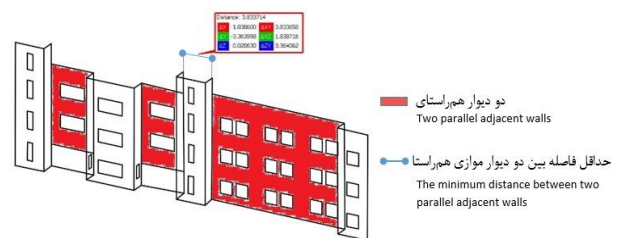


شکل ۲: تعیین ضخامت نویزی صفحه (آبی: حداکثر و حداقل خطای دستگاه، قرمز: برجستگی نوع نما)

Fig. 2: Determining the noise thickness of the plane (blue: maximum and minimum error of the device, red: protrusion of the facade)



شکل ۴: موقعیت مکانی سه ساختمان مورد مطالعه  
 Fig. 4: Location of the three studied buildings.



شکل ۳: حداقل فاصله دو دیوار مجاور هم راستا (MinPts)  
 Fig. 3: The minimum distance between two parallel adjacent walls (MinPts)

- داده

لیزر اسکنر همراه، موسوم به موبایل لیدار یا لیزر اسکنر زمینی متحرک، که به اختصار آن را MLS گویند معمولاً، بر روی یک وسیله نقلیه سوار و یا توسط یک اپراتور حمل می‌شود. MLS می‌تواند اطلاعات هندسی دقیق محیط اطراف خود را به صورت ابرنقطه ثبت کند. عموماً MLS برای محاسبه دقیق مختصات سه بعدی نقاط در سیستم مختصات مرجع

- منطقه مورد مطالعه

برای تعیین کارایی و توانایی الگوریتم پیشنهادی، در برابر روش مبتنی بر نقطه، الگوریتم برای یک منطقه مطالعاتی آزمایش شد. در این مطالعه، ساختمان دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا، واقع در شهر همدان، برای بررسی و تحقیق انتخاب شد. سه ساختمان از مجموعه

درستی بازیابی شده‌اند. اولی به وجود نقاطی که به اشتباه به‌عنوان صفحه استخراج شده‌اند حساس است، در حالی که دومی به وجود نقاطی که در مرجع به‌عنوان صفحه هستند و توسط الگوریتم صفحه شناسایی نمی‌شوند حساس است. در نهایت، امتیاز F1، دقت و بازنمایی را متعادل می‌کند و معمولاً به‌عنوان یک اندازه‌گیری منحصر به فرد از اثربخشی کلی یک الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۰]. بنابراین استفاده از معیارهای سه جانبه دقت، بازنمایی و امتیاز F1 وسیله‌ای مؤثر برای ارزیابی استخراج اشیاء در این نقطه است که با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شوند:

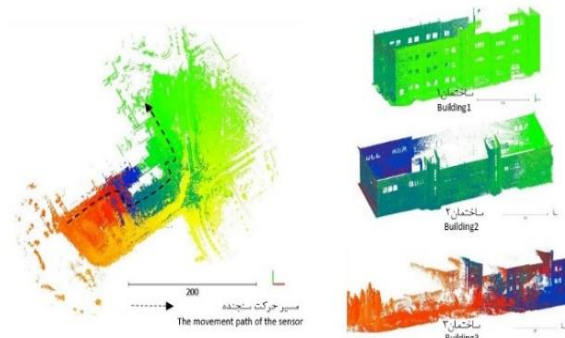
$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$F1 = 2 \cdot \frac{precision \cdot recall}{precision + recall} \quad (3)$$



شکل ۵: لیزراسکنر همراه، GeoSLAM ZEB-HORIZON  
Fig. 5: GeoSLAM ZEB-HORIZON mobile Laser scanner



شکل ۶: ابرنقطه اخذ شده از منطقه مطالعاتی.  
Fig. 6: Point cloud generated from the study area.

که در آن TP تعداد نقاطی را نشان می‌دهد که به‌طور صحیح به صفحه‌ای که بخشی از آن صفحه در مرجع است اختصاص داده شده است، و FP تعداد نقاطی را نشان می‌دهد که به اشتباه به صفحه‌ای که بخشی از آن صفحه در مرجع است اختصاص داده نشده است. تعداد FN نقاطی را نشان می‌دهد که به اشتباه به صفحه‌ای اختصاص داده شده است که بخشی از آن صفحه در مرجع نیست.

از ترکیب سیستم‌های INS و GNSS بهره می‌گیرد. برای کاربردهای با دقت زیاد، اغلب نقاط کنترل دقیق در منطقه موردنظر ایجاد و با از یک روش multi-pass adjustment استفاده می‌شود [۳۷ و ۳۸]. از دیگر ویژگی‌های MLS می‌توان به اندازه‌گیری شدت و رنگ اشاره نمود، که البته این دو ویژگی در همه سیستم‌های MLS وجود ندارد. قدرت تفکیک مکانی و دقت زیاد داده‌های MLS و محصولات آن (به‌عنوان مثال، مدل‌های رقومی ارتفاعی، مدل‌های زیرساختی سه بعدی و غیره) موجب شده است تا در سطح جزئیات خاص بیشتر از سایر رویکردها از آن استفاده شود [۳۹]. در این مطالعه، از لیزراسکنر همراه GeoSLAM ZEB-HORIZON استفاده شد. این سیستم نرخ جمع‌آوری ۳۰۰۰۰۰ نقطه در ثانیه با دقت ۱-۳ سانتی‌متر و برد ۱۰۰ متر را دارد (جدول ۱). در مجموع تعداد تقریبی ۲۰۰ میلیون نقطه از منطقه مورد مطالعه توسط یک اپراتور باتجربه با این سنجنده اخذ شده است (شکل ۵ و ۶).

جدول ۱: مشخصات لیزراسکنر همراه، GeoSLAM ZEB-HORIZON  
Table 1: GeoSLAM ZEB-HORIZON mobile laser scanner information.

پارامتر Parameter	مقدار Value
برد Range	100m
کلاس حفاظت Protection Class	IP54
وزن سنجنده Scanner Weight	1.3kg
تعداد نقطه اخذ در ثانیه Points per Second	300,000
نرخ دقت Relative Accuracy	1 - 3cm
حجم فایل داده خام Raw Data File Size	100-200MB a minute
پردازش Processing	Post Processing
عمر باتری Battery Life	3.5hrs

#### - ارزیابی دقت

دقت ابرنقطه قطعه‌بندی شده را می‌توان با مقایسه نتایج آن در برابر داده‌های مرجع که احتمالاً دستی تولید شده، اندازه‌گیری کرد [۴۰]. سطح سازگاری بین یک نتیجه خودکار و یک نتیجه دستی، نشان‌دهنده دقت روش خودکار است.

#### - معیارهای ارزیابی

تعدادی روش در دسترس وجود دارد که سازگاری بین دو مجموعه داده قطعه‌بندی شده را اندازه‌گیری می‌کنند (به‌عنوان مثال: [۴۱-۴۴])، اما به‌طور کلی در زمینه بازیابی اطلاعات، مفاهیم دقت (Precision)، بازنمایی (Recall) و امتیاز F1 (معرفی شده‌اند که معیارهای رایج و اساسی برای ارزیابی اثربخشی یک الگوریتم هستند [۴۵]). دقت، نشان‌دهنده درصد عناصر بازیابی شده درست توسط الگوریتم است، در حالی که بازنمایی، درصدی از داده‌های مرجع را نشان می‌دهد که به



- تولید داده مرجع

برای تأیید نتایج روش پیشنهادی، داده‌های مرجع به صورت دستی قطع‌بندی شدند. ساختمان‌های مورد مطالعه به طور مستقل توسط دو دانشجوی دکتری که در زمینه پردازش تصاویر LIDAR فعالیت دارند و دارای آشنایی کامل با فرایند قطع‌بندی سطوح هستند، صورت گرفت (جدول ۱، ۲ و ۳). هر نتیجه با اشتراک دو داده قطع‌بندی شده دستی (مرجع) مقایسه شد. این مقادیر دقت، بازنمایی و F1 score را تولید می‌کند. مقایسه با مجموعه داده مرجع به عنوان شاخص کیفیت نهایی برای نتیجه قطع‌بندی استفاده شد.

ابرنقاط قطع‌بندی شده دستی برای ارزیابی در شکل ۷ نشان داده شده‌اند. سازگاری کلی بین دو ابرنقطه قطع‌بندی شده دستی، با وجود ناسازگاری‌های کوچک، واضح است. در این جا، ناسازگاری یعنی اختلاف بین تعداد نقاط متعلق به هر صفحه قطع‌بندی شده دستی در دو ابرنقطه یکسان که سرانجام اشتراک دو ابرنقطه قطع‌بندی شده دستی به عنوان داده مرجع در نظر گرفته شد.

جدول ۳: اطلاعات ابرنقطه قطع‌بندی شده دستی ساختمان دوم  
Table 3: Manually segmented point cloud data of the second building

	رنگ Color	تعداد نقاط Number of points		
		مرجع ۱ Ref.1	مرجع ۲ Ref.2	اشتراک Intersect
		صفحه ۱ Plane1	2253173	2255037
صفحه ۲ Plane2	1461718	1450223	1449902	
صفحه ۳ Plane3	809029	810876	803842	
صفحه ۴ Plane4	212244	211398	207954	
صفحه ۵ Plane5	272253	269991	265727	
صفحه ۶ Plane6	2704105	2356967	2355506	
استوانه ۱ Cylinder1	657221	661107	654031	
استوانه ۲ Cylinder2	131569	137991	131440	

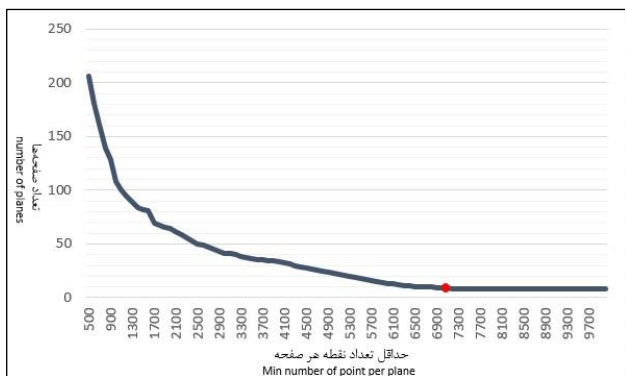
جدول ۲: اطلاعات ابرنقطه قطع‌بندی شده دستی ساختمان اول  
Table 2: Manually segmented point cloud data of the first building

	رنگ Color	تعداد نقاط Number of points		
		مرجع ۱ Ref.1	مرجع ۲ Ref.2	اشتراک Intersect
		صفحه ۱ Plane1	687583	672946
صفحه ۲ Plane2	117103	120940	113395	
صفحه ۳ Plane3	18328	18202	16918	
صفحه ۴ Plane4	386689	378896	375303	
صفحه ۵ Plane5	52489	52087	51512	
صفحه ۶ Plane6	161621	163439	159834	
صفحه ۷ Plane7	19617	20186	18564	
صفحه ۸ Plane8	104380	104686	102340	
صفحه ۹ Plane9	53872	56108	53333	
صفحه ۱۰ Plane10	208812	206608	203132	
صفحه ۱۱ Plane11	12231	12166	11682	
صفحه ۱۲ Plane12	88444	92155	88248	
صفحه ۱۳ Plane13	52236	55583	51977	
صفحه ۱۴ Plane14	144522	157356	141949	
صفحه ۱۵ Plane15	22897	22892	21423	
صفحه ۱۶ Plane16	1782251	1780600	1774517	

جدول ۴: اطلاعات ابرنقطه قطع‌بندی شده دستی ساختمان سوم  
Table 4: Manually segmented point cloud data of the third building

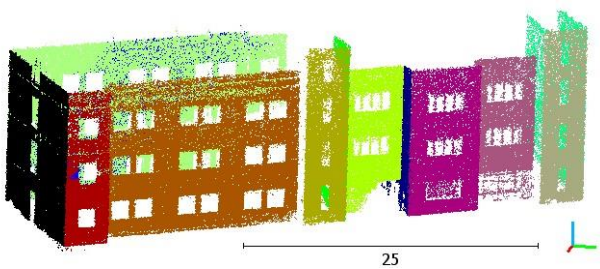
	رنگ Color	تعداد نقاط Number of points		
		مرجع ۱ Ref.1	مرجع ۲ Ref.2	اشتراک Intersect
		صفحه ۱ Plane1	89538	88783
صفحه ۲ Plane2	2206	2067	1757	
صفحه ۳ Plane3	17590	20068	17192	
صفحه ۴ Plane4	281	265	254	
صفحه ۵ Plane5	11508	8523	8507	
صفحه ۶ Plane6	2785	2590	2214	
صفحه ۷ Plane7	48201	40894	36949	
صفحه ۸ Plane8	28724	33813	27704	
صفحه ۹ Plane9	21005	21432	20884	
صفحه ۱۰ Plane10	8267	8805	7941	
صفحه ۱۱ Plane11	600841	595169	588564	
صفحه ۱۲ Plane12	843949	850692	841682	
استوانه ۱ Cylinder1	27635	27294	26151	
استوانه ۲ Cylinder2	189266	200355	188145	





شکل ۹: نمایش چگونگی تعیین مقدار Minpoint برای ساختمان اول. این مقدار برای این ساختمان ۷۰۰۰ نقطه است که تعداد ۸ صفحه را استخراج کرده است.

Fig. 9: Shows how to determine the Minpoint value for the first building. This value for this building is 7000 points, which has extracted 8 planes.



شکل ۱۰: نتایج مرحله دوم الگوریتم برای ساختمان اول

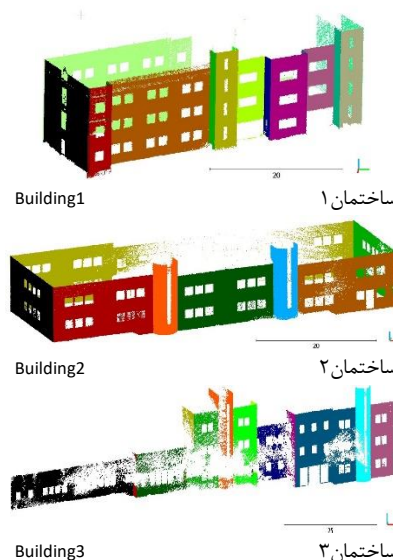
Figure 10: The results of the second step of the algorithm for the first building

الگوریتم با موفقیت توانست ۱۲ از ۱۶ دیوار بیرونی ساختمان شماره ۱ را با دقت بالایی استخراج کند. میزان دقت در این عملیات بالای ۹۳ درصد بوده که نشان از دقت بسیار خوبی در استخراج دیوارها دارد. با این حال، در مواردی که الگوریتم با دیوارهای عمود بر حرکت لیزراسکنر برخورد می‌کند، با چالش‌هایی مواجه می‌شود که نتیجه می‌دهد نرخ بازنمایی به ۸۶ درصد کاهش یابد. مقدار F1 score نیز حدود ۸۹ درصد بوده که نشان‌دهنده عملکرد متوازی است و الگوریتم را به عنوان یک ابزار موثر و امیدوارکننده برای اکثر کاربردهای استخراج نما تبدیل می‌کند (جدول ۵).

نتایج برای ساختمان دوم:

پس از اجرای مرحله اول الگوریتم بر روی ابرنقطه ساختمان دوم و ترسیم هیستوگرام، تغییرات در تعداد صفحات استخراج شده مشاهده شد. تعداد صفحات استخراج شده به مقدار تقریبی ۱۳۰۰۰ نقطه به عنوان حداقل تعداد نقاط متعلق به هر صفحه کاهش یافت و پس از آن تغییرات تعداد صفحات استخراج شده ثابت ماند و مقدار آن به ۶ صفحه رسید (شکل ۱۱ و ۱۲).

پس از عبور از مرحله دوم الگوریتم، ۸ صفحه به عنوان محتمل‌ترین صفحات نمای ساختمان استخراج شدند. از این ۸ صفحه، تمامی ۶ صفحه مربوط به نمای بیرونی ساختمان به درستی استخراج شدند. دو صفحه دیگر که به اشتباه استخراج شدند، مربوط به دیوار پشت ساختمان بودند که به دلیل عدم دسترسی سنجنده به موقعیت دیوار، ناقص برداشت شده بودند (شکل ۱۳).



شکل ۷: نتایج اشتراک دو قطعه‌بندی دستی که برای ارزیابی نتایج الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

Fig. 7: Intersection results of two manual segmentations used to evaluate the algorithm.

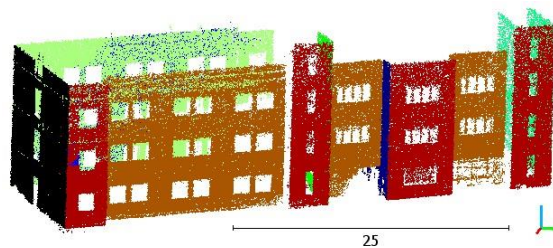
## نتایج و بحث

الگوریتم معرفی شده بر روی سه ساختمان موردنظر اعمال شد. نتایج حاصل از این تحقیق، در ادامه به تفکیک مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

نتایج برای ساختمان اول:

پس از اجرای مرحله اول الگوریتم بر روی ابرنقطه ساختمان اول، تغییراتی در تعداد صفحات استخراج شده مشاهده شد. پس از رسیدن به عدد تقریبی ۷۰۰۰ نقطه به عنوان حداقل تعداد نقاط متعلق به هر صفحه، تغییرات تعداد صفحات استخراج شده به ثبات رسید و مقدار ثابت ۸ صفحه به عنوان حداقل تعداد صفحات استخراج شده تأیید شد (برای مشاهده این تغییرات به شکل‌های ۸ و ۹ مراجعه شود).

در مرحله دوم الگوریتم، پس از عبور از ۸ صفحه استخراج شده، ۱۴ صفحه به عنوان محتمل‌ترین صفحات نمای ساختمان استخراج شد. از این تعداد، ۱۲ صفحه به درستی به عنوان دیوارهای بیرونی نمای ساختمان شناخته شدند، در حالی که ۲ صفحه به اشتباه از دیوارهای محیط داخل ساختمان استخراج شدند. این خطاها ناشی از عبور نقاط لیزر به داخل ساختمان بوده‌اند (شکل ۱۰).



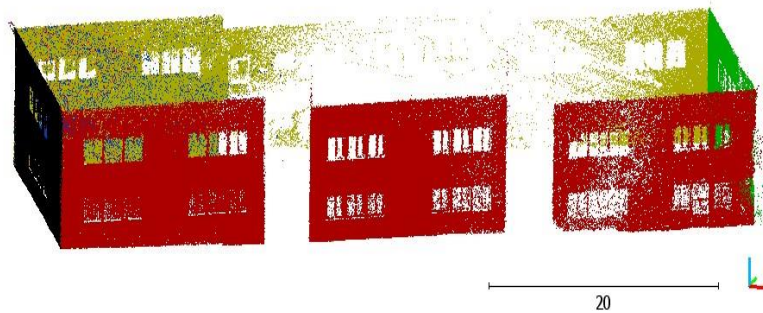
شکل ۸: نتایج مرحله اول الگوریتم برای ابرنقطه ساختمان اول

Fig. 8: The results of the first step of the algorithm for the cloud point of the first building

جدول ۵: نتایج به دست آمده پس از اجرای الگوریتم.

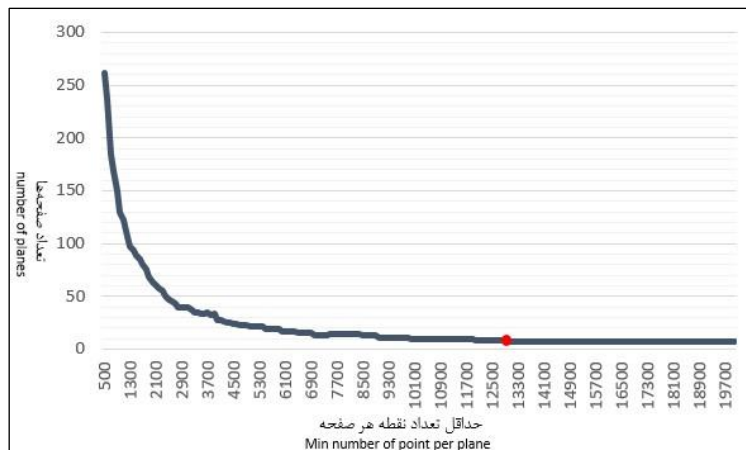
Table 5: Results obtained after running the algorithm.

	تعداد کل صفحه‌ها total number of planes	تعداد صفحه‌های استخراج شده Number of extracted planes	تعداد صفحه‌های استخراج شده (درست) Number of extracted planes(true)	تعداد صفحه‌های استخراج شده (اشتباه) Number of extracted planes(false)	تعداد صفحه‌های استخراج نشده Number of unextracted planes	دقت (%) Precision (%)	بازنمایی (%) Recall (%)	امتیاز F1 (%) F1score (%)
Building1	16	14	12	2	4	93	86	89
Building2	6	8	6	2	0	93	99	96
Building3	12	8	7	1	5	95	97	96

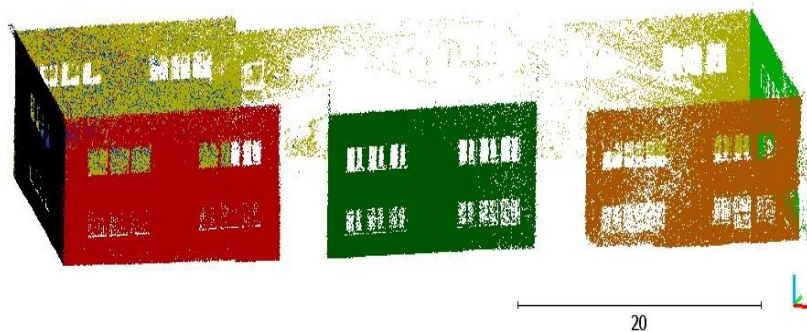


شکل ۱۱: نتایج مرحله اول الگوریتم برای ابرنقطه ساختمان دوم

Fig. 11: The results of the first step of the algorithm for the cloud point of the second building



شکل ۱۲: نمایش چگونگی تعیین مقدار Minpoint برای ساختمان دوم. این مقدار برای این ساختمان ۱۳۰۰۰ نقطه است که تعداد ۶ صفحه را استخراج کرده است.  
Fig. 12: Shows how to determine the Minpoint value for the second building. This value for this building is 13000 points, which has extracted 6 planes.



شکل ۱۳: نتایج مرحله دوم الگوریتم برای ساختمان دوم

Fig. 13: Results of the second step of the algorithm for the second building

استخراج شد. این اشتباه به علت وجود درب ورودی شیشه‌ای ساختمان به وقوع پیوست که حجم زیادی از نقاط لیزر به راحتی از آن عبور کرده و به یکی از دیوارهای داخلی ساختمان برخورد کرده‌اند (کادر قرمز شکل ۱۶). همچنین، الگوریتم به دلیل ویژگی‌های معماری و اشکالاتی مشابه، ۵ دیوار نمای ساختمان را نتوانسته استخراج کند. این چالش‌ها بیشتر به عوامل خارجی نظیر پوشش گیاهی اطراف نمای ساختمان و عدم قابلیت لیزراسکنر برای به دست آوردن دقیق نقاط در مناطق خاص بازمی‌گردد.

در مورد ساختمان سوم که دارای دو نمای غیرمسطح و صفحات عمود بر هم بود، الگوریتم با یک سناریو پیچیده‌تر روبرو شد. با موفقیت ۷ دیوار از مجموع ۱۲ دیوار نما را با دقت استخراج کرد، که به دستیابی به دقتی بالغ بر ۹۵٪ منجر شد. با این حال، یک چالش مهم در این ساختمان به وقوع پیوست. یکی از دیوارها به دلیل وجود درب شیشه‌ای بزرگ در ورودی به اشتباه استخراج شد که منجر به برداشتن قسمت قابل توجهی از دیوار داخلی ساختمان شد. این سناریو حساسیت الگوریتم به ویژگی‌های معماری خاص و احتمال عدم دقت در چنین مواردی را بیان می‌کند. علاوه بر این، الگوریتم نتوانسته است ۵ دیوار دیگر از نما را به دلیل وجود موانع خارجی نظیر پوشش گیاهی فراگیر در نمای ساختمان استخراج نماید. این چالش به دلیل عوامل خارجی مانند پوشش گیاهی متراکم، مختص به مناطق خاص، واقع شده است. با وجود پیچیدگی‌های ذکر شده، الگوریتم توانسته است با دقت بالایی دیوارهای نما از یک ساختمان با نماهای غیرمسطح و صفحات عمودی را استخراج نماید. در حالی که برخی از نادرستی‌ها به دلیل ویژگی‌های معماری و عوامل خارجی رخ داده است، دقت بالای الگوریتم و نرخ بازنمایی دوباره توانایی آن در وظایف استخراج نما را تأیید می‌کند. F1 score نیز بالای ۹۶٪ بوده و این الگوریتم توانایی ایجاد تعادل میان دقت و بازنمایی را به نمایش می‌گذارد. این توانایی به ویژه در مواجهه با چالش‌ها و مشکلاتی که در این سناریوهای چالش‌برانگیز به وقوع می‌پیوندد، از اهمیت بالایی برخوردار است (جدول ۵).

به طور کلی، عملکرد الگوریتم در استخراج دیوارهای نما از یک ساختمان با نماهای غیرمسطح و صفحات عمودی قابل تحسین بوده و این نشان می‌دهد که این الگوریتم به عنوان یک ابزار ارزشمند و قابل اطمینان برای وظایف استخراج نما در شرایط مختلف ارزیابی می‌شود.

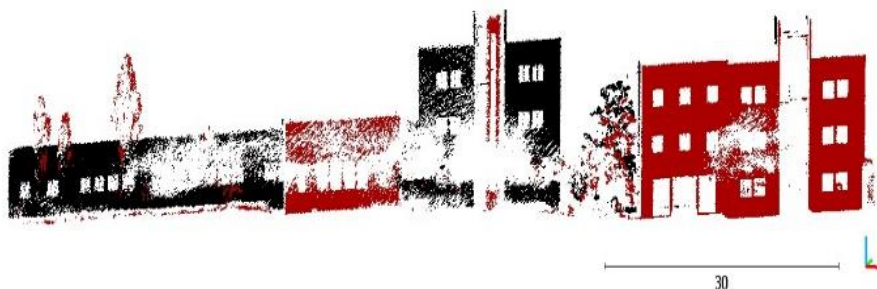
در مورد ساختمان دوم که دارای دو نمای غیرمسطح بود، الگوریتم عملکرد قابل قبولی داشت. تمام ۶ دیوار نما با موفقیت استخراج شدند، که این منجر به دستیابی به یک دقت بالغ بر ۹۳٪ شد که نشان‌دهنده سطح بالای اطمینان در دیوارهای استخراج شده است. ارزیابی نتایج نشان داد که در دو مورد، الگوریتم دیوارهایی را استخراج کرد که به عنوان نما شناخته نمی‌شوند. این نقصان در دقت به وجود محدودیت‌ها و چالش‌هایی در فرآیند اسکن باز می‌گردد، زیرا اپراتور نمی‌توانست اسکن را به صورت کامل انجام دهد. با این حال، عملکرد کلی الگوریتم با نرخ بازنمایی بالای ۹۹٪ بسیار مناسب بود، که نشان‌دهنده آن است که تقریباً تمام موارد مثبت واقعی را به طور مؤثر شناسایی می‌کند. F1 score برابر ۹۶٪ بوده و این الگوریتم توانایی ایجاد تعادل میان دقت و بازبایی را نشان می‌دهد و قابلیت اطمینان آن را برای کاربردهای استخراج نما تقویت می‌کند (جدول ۵).

برخلاف ساختمان اول، در اسکن ساختمان دوم مشکلات مرتبط با دیوارهای عمود بر مسیر حرکت اسکنر ایجاد نشده است. این امر فرآیند استخراج را ساده‌تر می‌کند و امکان به دست آوردن نرخ بازنمایی بالا را بدون کاهش در دقت فراهم می‌کند.

بنابراین، الگوریتم با دقت بالا در استخراج دیوارهای نما از یک ساختمان با نماهای غیرمسطح عمل کرده و توانایی بازنمایی بسیار بالا را نشان داده است. نادرستی‌های جزئی اغلب به دلیل موانع خارجی بوده که روند اسکن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این موفقیت نشان می‌دهد که الگوریتم مناسبی برای کاربردهایی که استخراج دقیق نما از اهمیت بسیاری برخوردار است، به حساب می‌آید. نتایج برای ساختمان سوم:

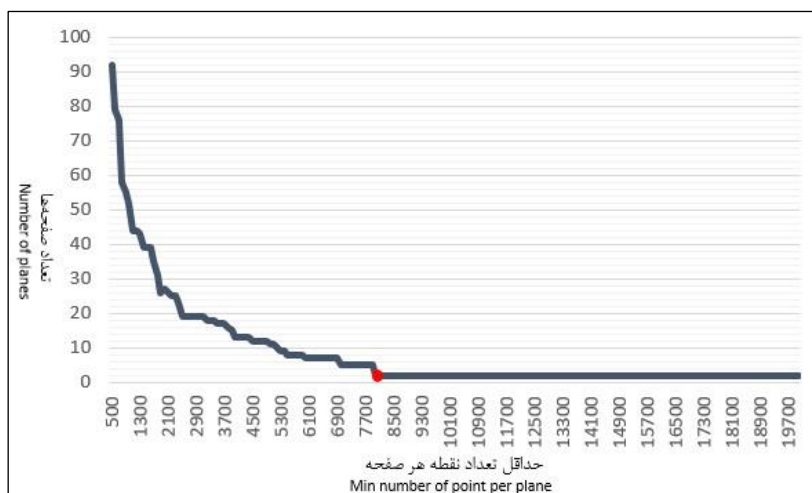
پس از پیاده‌سازی مرحله اول الگوریتم روی ابرنقطه ساختمان سوم و ترسیم هیستوگرام، مشاهده می‌شود که تعداد صفحات استخراج شده کاهشی نسبت به ورودی اولیه داشته و پس از مقدار تقریبی ۸۰۰۰ نقطه بعنوان حداقل تعداد نقاط متعلق به هر صفحه، تعداد صفحات استخراج شده ثابت و مقدار آن برابر ۲ است (شکل ۱۴ و ۱۵).

پس از عبور از مرحله دوم الگوریتم، ۸ صفحه به عنوان محتمل‌ترین صفحات نمای ساختمان استخراج شدند. از میان این ۸ صفحه، ۷ صفحه معرف دیوارهای نمای بیرونی ساختمان بودند که به دقت استخراج شده‌اند، در حالی که یک صفحه به اشتباه از فضای داخلی ساختمان

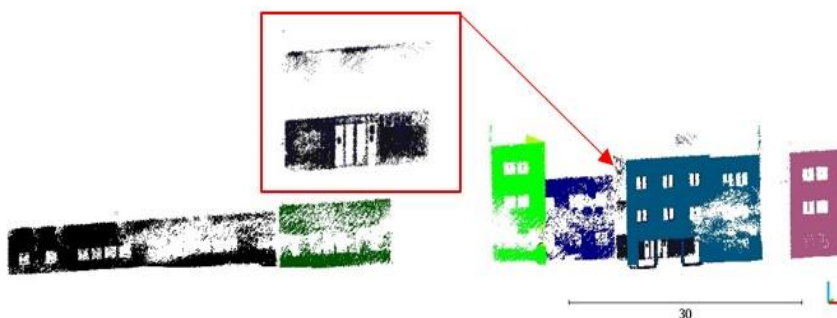


شکل ۱۴: نتایج مرحله اول الگوریتم برای ابرنقطه ساختمان سوم

Fig. 14: The results of the first step of the algorithm for the superpoint of the third building



شکل ۱۵: نمایش چگونگی تعیین مقدار Minpoint برای ساختمان دوم. این مقدار برای این ساختمان ۸۰۰۰ نقطه است که تعداد ۲ صفحه را استخراج کرده است.  
Fig. 15: Shows how to determine the Minpoint value for the second building. This amount for this building is 8000 points, which has extracted the number of 2 planes.



شکل ۱۶: نتایج مرحله دوم الگوریتم برای ساختمان سوم (کادر قرمز: دیواری که به اشتباه استخراج شده).  
Fig.16: The results of the second step of the algorithm for the third building (red box: the wrongly extracted wall).

## نتیجه گیری

مانند وجود درهای شیشه‌ای بزرگ یا پوشش گیاهی متراکم که مانع از دید شدن نما می‌شود، این موارد به عنوان فرصت‌هایی برای اصلاح الگوریتم و انطباق با موارد استفاده خاص عمل می‌کنند. در نتیجه، الگوریتم ما که از ادغام MSAC و G-DBSCAN متولد شده است، یک راه حل قوی و سازگار برای استخراج نمای ساختمان از ابرنقاط لیزراسکنر همراه ارائه می‌دهد. عملکرد بالای مداوم آن در ساختارهای مختلف معماری و شرایط محیطی پتانسیل آن را برای کاربرد در برنامه‌ریزی شهری، مدل‌سازی ساختمان و ارزیابی معماری نشان می‌دهد. همانطور که تکنولوژی به تکامل خود ادامه می‌دهد، این الگوریتم به عنوان شاهدی بر پیشرفت مداوم در تکنیک‌های پردازش خودکار داده‌ها برای صنعت ساخت و ساز و معماری است.

## مشارکت نویسندگان

مرتضی حیدری مظفر ایده اولیه کار را مطرح و با ایجاد شرایط لازم برای انجام کار تحقیقاتی، آقای سید عادل حسینی را در جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل، برنامه‌نویسی و پردازش داده‌ها و جمع‌بندی نتایج و نگارش مقاله راهنمایی کردند.

در این مقاله، الگوریتمی برای استخراج خودکار نمای ساختمان از ابرنقطه لیزراسکنر همراه، معرفی و ارزیابی شد. این الگوریتم، تلفیقی از روش‌های MSAC و G-DBSCAN توانایی قابل توجهی را در مواجهه با داده ابرنقاط لیزراسکنر و شناسایی دقیق نماهای ساختمان در سناریوهای پیچیده دنیای واقعی، نشان داد. تجزیه و تحلیل صورت گرفته در سه ساختمان متمایز با ویژگی‌های معماری مختلف و اسکن با شرایط متفاوت، تطبیق‌پذیری و قابلیت اطمینان الگوریتم را تأیید می‌کند. نتایج نشان داد که به طور متوسط، این الگوریتم به دقت ۹۳٪ در استخراج عناصر نمای ساختمان رسیده است. علاوه بر این، الگوریتم در بازنمایی برتر بود و به طور مداوم به میانگین نرخ ۹۴٪ دست یافت. این نشان‌دهنده استحکام آن در گرفتن اکثر عناصر نمای واقعی موجود در ابرنقطه است، حتی در مواردی که با نماهای غیرمسطح و سطوح عمود بر هم مواجهه می‌شد. F1 score، با میانگین ۹۴ درصد، توانایی الگوریتم برای ایجاد تعادل بهینه بین دقت و بازنمایی را نشان می‌دهد و کارایی آن را به عنوان ابزاری برای استخراج خودکار نمای ساختمان تأیید می‌کند. در حالی که اشتباهات جزئی در برخی سناریوها مشاهده شد،



transform and extended ransac algorithms for automatic detection of 3d building roof planes from lidar data. *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*; 36 : 407–412.

[14] Sampath A and Shan J. Segmentation and Reconstruction of Polyhedral Building Roofs From Aerial Lidar Point Clouds. *IEEE Explore 2009*; 48(3): 1554–1567.

[15] Zhou G, Cao S, and Zhou J. Planar segmentation using range images from terrestrial laser scanning. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2016; 13(2): 257–261.

[16] Arnaud A, Gouiffès M, and Ammi M. On the fly plane detection and time consistency for indoor building wall recognition using a tablet equipped with a depth sensor. *IEEE Access* 2018; 6: 17643–17652.

[17] Weinmann M, Jutzi B, Hinz S, and Mallet C. Semantic point cloud interpretation based on optimal neighborhoods, relevant features and efficient classifiers. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2015; 105: 286–304.

[18] Lerma J. L and Biosca J. M. Segmentation and Filtering of Laser Scanner Data for Cultural Heritage 2005.

[19] Stamos I. Yu G. Wolberg G. Zokai S. 3D Modeling Using Planar Segments And Mesh Elements. *IEEE xplore 2007(c)*.

[20] Dold C and Brenner C. Registration of terrestrial laser scanning data using planar patches and image data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.* 2006; 36: 78–83.

[21] Xiao J, Zhang J, Adler B, Zhang H, and Zhang J. Three-dimensional point cloud plane segmentation in both structured and unstructured environments. *Rob. Auton. Syst.* 2013; 61(12): 1641–1652.

[22] Jochem A, Höfle B, Wichmann V, Rutzinger M, and Zipf A. Area-wide roof plane segmentation in airborne LiDAR point clouds. *Comput. Environ. Urban Syst.* 2012; 36(1): 54–64.

[23] Kwak E, Al-Durgham M, and Habib A. Automatic 3D building model generation from lidar and image data using sequential minimum bounding rectangle. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2012; 39: 285–290.

[24] Hough P. V. C. Method and means for recognizing complex patterns. *Google Patents* 1962 Dec. 18.

[25] Fischler M. A. and Bolles R. C. Random Sample Paradigm for Model Consensus: A Application to Image Fitting with Analysis and Automated Cartography. *Graph. Image Process.* 1981; 24(6): 381–395. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/358669.358692>

[26] Deschaud J. A Fast and Accurate Plane Detection Algorithm for Large Noisy Point Clouds Using Filtered Normals and Voxel Growing HAL Id : hal-01097361 2014 Dec.

[27] Thomson C and Boehm J. Automatic geometry generation

## تشکر و قدردانی

مقاله ارسالی، بخشی از کار پایان‌نامه کارشناسی ارشدی است که در دانشگاه بوعلی سینا انجام شده است. از هم‌مین‌رو، از گروه عمران دانشکده مهندسی که شرایط را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

## منابع و مآخذ

[1] Cornelis N, Leibe B, Cornelis K, and Van Gool L. 3D urban scene modeling integrating recognition and reconstruction. *Int. J. Comput. Vis.* 2008; 78 (2–3):121–141.

[2] S. Becker. Generation and application of rules for quality dependent Façade reconstruction. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2009; 64(6): 640–653.

[3] Abreu N, Pinto A, Matos A, and Pires M. Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 2023; 12(7): 260.

[4] La Russa F. M, Grilli E, Remondino F, Santagati C, and Intelisano M. Advanced 3D Parametric Historic City Block Modeling Combining 3D Surveying, AI and VPL. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci* 2023; 48: 903–910.

[5] Su Z. *et al.* Building Plane Segmentation Based on Point Clouds. *Remote Sens.* 2021; 14: 95.

[6] Wagner W, Ullrich A, Ducic V, Melzer T, and Studnicka N. Gaussian decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitising airborne laser scanner. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2006; 60, (2): 100–112.

[7] Vosselman G and Maas H.-G. *Airborne and terrestrial laser scanning*. CRC press 2010.

[8] Arachchige N. H. and Maas H.-G. Automatic Building Facade Detection in Mobile Laser Scanner point Clouds. *Inst. Photogramm. Remote Sensing, Tech. Univ. Dresden, Helmholtz Straße* 2012: 1–8.

[9] Hu D, Gan V. J. L, and Yin C. Robot-assisted mobile scanning for automated 3D reconstruction and point cloud semantic segmentation of building interiors. *Autom. Constr.* 2023; 152: 104949.

[10] Arachchige N. H, Perera S. N, and Maas H. Automatic Processing of Mobile Laser Scanner Point Clouds for Building Façade Detection 2012 September; XXXIX: 187–192.

[11] Treccani D and Adami A. Single Building Point Cloud Segmentation: Towards Urban Data Modeling and Management. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2023; 48: 511–516.

[12] Boulaassal H, Landes T, and Grussenmeyer P. Automatic extraction of planar clusters and their contours on building façades recorded by terrestrial laser scanner. *Int. J. Archit. Comput.* 2009; 7(1): 1–20. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1260/147807709788549411>

[13] Tarsha-Kurdi F, Landes T, and Grussenmeyer P. Hough-



[42] Martin, D., Fowlkes, C., Tal, D., & Malik, J. A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics. In *Proceedings Eighth IEEE International Conference on Computer Vision. ICCV 2001*; 2: 416-423.

[43] Yan, J., Shan, J., & Jiang, W. A global optimization approach to roof segmentation from airborne lidar point clouds. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing 2014*; 94: 183-193.

[44] Awrangjeb, M., & Fraser, C. S. An automatic and threshold-free performance evaluation system for building extraction techniques from airborne LIDAR data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 2014*; 7(10): 4184-4198.

from point clouds for BIM. *Remote Sens 2015*; 7(9): 11753-11775.

[28] Qu J, Li S, Li Y, and Liu L. Research on Railway Obstacle Detection Method Based on Developed Euclidean Clustering. *Electronics 2023*; 12(5): 1175.

[29] Comm J. V, Hulik R, Spanel M, Smrz P, and Materna Z. Continuous plane detection in point-cloud data based on 3D Hough Transform. *J. Vis. Commun. Image Represent. 2013*.

[30] Awwad, T. M., Zhu, Q., Du, Z., & Zhang, Y. An improved segmentation approach for planar surfaces from unstructured 3D point clouds. *The Photogrammetric Record 2010*; 25(129): 5-23. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1477-9730.2009.00564.x>

[31] Xu B, Jiang W, Shan J, Zhang J, and Li L. Investigation on the Weighted RANSAC Approaches for Building Roof Plane Segmentation from LiDAR Point Clouds. *Remote Sensing. 2015*; Dec 23;8(1):5.

[32] Cells T. An Improved RANSAC for 3D Point Cloud Plane Segmentation Based on Normal Distribution Transformation Cells. *Remote Sens. 2017*; 9(5): 433.

[33] Torr P. H. S and Zisserman A. MLESAC: A new robust estimator with application to estimating image geometry. *Comput. Vis. Image Underst. 2000*; 78(1): 138-156.

[34] Andrade G, Ramos G, Madeira D, Sachetto R, Ferreira R, and Rocha L. G-dbscan: A gpu accelerated algorithm for density-based clustering. *Procedia Comput. Sci. 2013*; 18: 369-378.

[35] Ester M, Kriegel H, Xu X, and Miinchen D. -. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise. 1996.

[36] Kalentev O, Rai A, Kemnitz S, and Schneider R. Connected component labeling on a 2D grid using CUDA. *J. Parallel Distrib. Comput. 2011*; 71(4): 615-620.

[37] Nolan J. et al. Multi-pass Approach for Mobile Terrestrial Laser Scanning. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 2015*; (II-3/W5).

[38] Nolan J, Eckels R, Olsen M. J, Yen K. S, Lasky T. A, and Ravani B. Analysis of the multipass approach for collection and processing of mobile laser scan data. *J. Surv. Eng. 2017*; 143(3): 4017004. [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000224](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000224)

[39] Oliveira A, Oliveira J. F, Pereira J. M, De Araújo B. R, and Boavida J. 3D modelling of laser scanned and photogrammetric data for digital documentation: the Mosteiro da Batalha case study. *J. real-time image Process. 2014*; 9(4): 673-688.

[40] Vo A.-V, Truong-Hong L, Laefer D. F, and Bertolotto M. Octree-based region growing for point cloud segmentation. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2015*; 104: 88-100.

[41] Polak, M., Zhang, H., & Pi, M. An evaluation metric for image segmentation of multiple objects. *Image and Vision Computing 2009*; 27(8): 1223-1227.

## معرفی نویسندگان

### AUTHOR(S) BIOSKETCHES



**مرتضی حیدری مظفر** در سال ۱۳۹۵، دوره دکتری مهندسی عمران - نقشه‌برداری خود را در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی با موفقیت به اتمام رساند. ایشان از سال ۱۳۹۶ با عنوان استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا مشغول تدریس و پژوهش هستند. نتایج تحقیقات ایشان در قالب ده‌ها مقاله علمی در نشریات و کنفرانسهای مختلف ارائه شده است.

زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: فتوگرامتری، سنجش از دور، هوش مصنوعی، کاربردهای سنجش از دور در مدیریت بلایای طبیعی، پردازش داده‌های لیزر اسکنرهای زمینی و همراه، GIS در صنعت آب و برق.

**Heidarimozaffar, M. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran**

✉ [m.heidarimozaffar@basu.ac.ir](mailto:m.heidarimozaffar@basu.ac.ir)



**سید عادل حسینی** دانشجوی دکتری تخصصی دانشکده مهندسی عمران و حمل‌ونقل دانشگاه اصفهان می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی مهندسی عمران - نقشه‌برداری را در سال ۱۳۹۸ از دانشگاه زنجان و مدرک کارشناسی ارشد مهندسی

عمران - نقشه‌برداری گرایش سنجش از دور را در سال ۱۴۰۱ از دانشگاه بوعلی سینا همدان دریافت نمودند. در مهر ماه ۱۴۰۱ به عنوان دانشجوی دکتری در این رشته پذیرفته شد. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: قطعه‌بندی و طبقه‌بندی ابرنقطه، مدل‌سازی مبتنی بر ابرنقطه و تصویر، بارزسازی تصاویر با یادگیری عمیق.

**Hosseini, S.A. Student, Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran**

✉ [a.hosseini@trn.ui.ac.ir](mailto:a.hosseini@trn.ui.ac.ir)

**Citation (Vancouver):** Heidarimozaffar M, Hosseini A. [Extracting FaçadePoints of Urban Buildings from Mobile Laser Scanner Point Clouds]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 163-176

 <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10344.1035>



**COPYRIGHTS**

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



RESEARCH PAPER

## Improving Location Indices in Design of Oil Transmission Lines with an Economic and Environmental Protection Attitude

S. Abolali<sup>1</sup>, T. Silavi<sup>2</sup>, J. Saberian<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University- South Tehran Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Geospatial Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

### ABSTRACT

Received: 24 May 2023  
Reviewed: 31 July 2023  
Revised: 11 August 2023  
Accepted: 31 October 2023

#### KEYWORDS:

Oil Pipeline  
Environmental Factor  
Spatial Index  
Overlay Analysis

\* Corresponding author

[j\\_saberian@azad.ac.ir](mailto:j_saberian@azad.ac.ir)

☎ (+9821) 33722831

**Background and Objectives:** The oil sector has served as the predominant catalyst of our nation's economy since the oil industry was nationalized in Iran. Oil facilities are integral to the oil industry, and among the most crucial facilities throughout the nation are pipelines. The extensive network of pipelines, which facilitate the transportation of oil from production sites to the country's refineries, as well as the distribution of refined products to consumption centers, represent vital economic and industrial lifelines. The spatial challenge lies in the intersection points of these pipelines, which can be effectively addressed through the use of geographic information systems. The accurate and optimal routing of pipelines is of utmost significance and should be executed in a manner that aligns with technical and economic ideals, while minimizing adverse societal and environmental impacts.

**Methods:** In this research, an attempt has been made to ascertain the routing of the multi-directional pipeline by taking into account a plethora of criteria, data, and spatial and descriptive information. This information encompasses factors such as land slope, vegetation, water flow, faults, residential and population centers, power transmission lines, pipelines in the region, and roads, among others. Given the extensive range of indicators associated with the routing of energy transmission lines in existing research references and executive reports of projects, this article focuses on thoroughly examining and providing a specialized classification of these indicators. In the subsequent stage, Geographic Information System (GIS) is employed as a framework to integrate the diverse components of information. This integration allows for the utilization of varying influence weights during the compilation of indicators, based on the significance of each indicator's impact on the subject matter. For this purpose, the conventional fuzzy AHP method has been used.

**Findings:** The research conducted in this study focuses on the geographical area of Khuzestan province, specifically its northern region located between Rig Valley and Sabzab. The objective of this research is to establish the optimal route for the transmission line of oil, taking into account three different scenarios: economic optimality, environmental optimality, and a combination of both. The findings reveal that selecting the most favorable route in this context, in comparison to the current transmission line, leads to a reduction of 141 meters in terms of the economic scenario, 635 meters in terms of the environmental scenario, and 586 meters in terms of the comprehensive scenario. These outcomes represent tangible accomplishments resulting from the research.

**Conclusion:** The findings of this study clearly demonstrate that the conventional techniques for designing pipelines are insufficient in incorporating all the relevant criteria in the pipeline route design. Regardless, it is crucial to acknowledge that the quality of the routes produced with the aid of Geographic Information Systems (GIS) heavily relies on the quality of the input data. Any discrepancy or flaw in the input information may yield design outcomes that raise doubts about the effectiveness of the work. Consequently, in addition to harnessing the capabilities of GIS, meticulous attention to detail must be exercised during the data collection process. Another notable aspect of this research is its capacity to consider various scenarios. By leveraging this capability, decision-makers are empowered to make informed choices regarding the pipeline by examining the outcomes of diverse scenarios and taking into account a range of factors.



NUMBER OF REFERENCES

31



NUMBER OF FIGURES

9



NUMBER OF TABLES

2

## مقاله پژوهشی

## بهبود شاخص‌های مکانی در طراحی مسیر خطوط انتقال نفت با رویکرد اقتصادی و حفاظت از محیط زیست

سحر ابوالولی<sup>۱</sup>، طلوع سیلاوی<sup>۲</sup>، جواد صابریان<sup>۱\*</sup><sup>۱</sup> گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، تهران، ایران<sup>۲</sup> گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** صنعت نفت لاقلاً از زمان ملی شدن صنعت نفت در ایران، موتور محرک اقتصاد کشور ما بوده است. صنعت نفت بر تأسیسات نفتی متکی است و یکی از مهم‌ترین تأسیسات نفتی که تقریباً در کل کشور وجود دارد، خطوط لوله است. شبکه گسترده خطوط لوله برای انتقال نفت از پایگاه‌های تولید به پالایشگاه‌های کشور و همچنین، فرآورده‌های استخراج شده از پالایشگاه‌ها تا مراکز مصرف، از اصلی‌ترین شریان‌های حیاتی اقتصاد و صنعت هستند. محل عبور این خطوط لوله، یک مسأله مکانی است و از این‌رو، توسط سامانه اطلاعات مکانی (GIS) به بهترین شکل می‌توان به آن پرداخت. روند مسیریابی دقیق و بهینه خطوط لوله از اهمیت خاصی برخوردار است و باید به نحوی عملیاتی شود که بیشترین سازگاری را با ایده آل‌های فنی و اقتصادی و کمترین تأثیر منفی را بر جامعه و محیط زیست داشته باشد.

**روش‌ها:** در این تحقیق، سعی شده تا موضوع تعیین مسیریابی خط لوله چند جانبه با در نظر گرفتن تعداد زیادی از معیارها، داده‌ها و اطلاعات فضایی و توصیفی شامل شیب زمین، پوشش گیاهی، جریان آب، گسل‌ها، مراکز مسکونی و جمعیتی، خطوط و خطوط لوله انتقال نیرو در منطقه، جاده‌ها و غیره انجام شود. از آن‌جا که مجموعه گسترده‌ای از شاخص‌های مرتبط با مسیریابی خطوط انتقال انرژی در مراجع پژوهشی و گزارش‌های اجرایی پروژه‌ها وجود دارد که در این مقاله به عنوان اصلی‌ترین هدف این مجموعه وسیع تا حد امکان مورد بررسی قرار گرفته و طبقه‌بندی تخصصی روی آن‌ها صورت گرفته است. در مرحله بعد، از GIS به عنوان چارچوبی برای ادغام اقلام متنوع اطلاعات مختلف استفاده شده تا با توجه به اهمیت تأثیر متفاوتی که هر یک از این شاخص‌ها بر موضوع دارند امکان به‌کارگیری وزن‌های تأثیر متفاوت در برهم‌نهی شاخص‌ها وجود داشته باشد. برای این کار از روش مرسوم فازی AHP فازی استفاده شده است.

**یافته‌ها:** منطقه مطالعاتی مورد نظر این پژوهش، در منطقه شمالی استان خوزستان، بین دره ریگ و سبزاب است که در این پژوهش در سه سناریوی بهینه بودن اقتصادی، بهینه بودن زیست‌محیطی و در نظر گرفتن هردوی آن‌ها مسیریابی خط انتقال نفت انجام شده است. نتایج حاصل شده، نشان داد که انتخاب بهترین مسیر در این کانال در مقایسه با خط انتقال موجود، منجر به کاهش ۱۴۱ متری مسیر از طریق سناریوی اقتصادی، کاهش ۶۳۵ متری مسیر از طریق سناریوی زیست‌محیطی و کاهش ۵۸۶ متری مسیر از طریق سناریوی جامع شده که از دستاوردهای عملی پژوهش می‌باشند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این تحقیق، به خوبی نشان داد که روش‌های سنتی طراحی خطوط لوله نمی‌توانند همه معیارهای مؤثر در طراحی مسیر خطوط لوله را در نظر بگیرند. در هر حال، کیفیت مسیرهای طراحی شده به کمک GIS بسیار به کیفیت اطلاعات مورد استفاده وابسته است و هرگونه نقص در اطلاعات ورودی می‌تواند به صورتی منجر به نتایجی در طراحی انجام شده گردد که کار را زیر سؤال ببرد. بنابراین، ضمن اتکاب به توانمندی GIS باید دقت لازم را نیز در جمع‌آوری داده‌ها به خرج داد. یکی دیگر از قابلیت‌های بارز شده در این تحقیق، تولایی در نظر گرفتن سناریوهای مختلف است. بنا بر همین توانایی، متولیان امر می‌توانند با مشاهده نتایج سناریوهای مختلف و در نظر داشتن ملاحظات گوناگون، بهترین تصمیم را در مورد خط لوله مورد نظر اتخاذ نمایند.

تاریخ دریافت: ۰۳ خرداد ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۰۹ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۲۰ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۹ آبان ۱۴۰۲

## واژگان کلیدی:

خط انتقال نفت  
عامل زیست‌محیطی  
شاخص مکانی  
تحلیل برهم‌نهی

\* نویسنده مسئول

✉ j\_saberian@azad.ac.ir

① ۰۲۱-۳۳۷۲۲۸۳۱

## مقدمه

استفاده از خطوط لوله برای انتقال نفت و گاز و بهبود توزیع آن‌ها در مسیرهای طولانی امری اجتناب‌ناپذیر است. این خطوط که مهم‌ترین الزامات آن‌ها در پیاده‌سازی آن‌ها، کارآمدی، مقرون به صرفه بودن و سازگاری با محیط زیست است، از موتورهای اصلی جریان اقتصاد مبتنی بر بهینه بودن مصرف انرژی هستند [۱، ۲]. مسیریابی بهینه این خطوط لوله یکی از بااهمیت‌ترین جنبه‌های پروژه‌های عملیاتی در این زمینه بوده و نیازمند برنامه‌ریزی مناسب برای به حداکثر رساندن مزایای مشتق شده از آن است تا در زمان و هزینه‌های عملیاتی حتی‌المقدور صرفه‌جویی شود و بتوان اطمینان حاصل کرد که مسیر انتخابی کمترین تخریب زیست‌محیطی را به همراه دارد [۳]. با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و طراحی یک مدل کارا می‌توان عوامل متعددی از جمله زمان، هزینه، ایمنی، امنیت، اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و فاکتورهای تعیین‌کننده مربوط به هر عامل، نقش و سهم آن را با کمک روش‌های در نظر گیرنده معیارهای متفاوت و با تأثیر مختلف مورد بررسی، تحلیل و ارزیابی قرار داد [۴]. این پژوهش با استفاده از تکنیک GIS برای بهینه‌سازی مسیر و به کارگیری AHP فازی برای وزن دهی مناسب، سعی بر آن دارد که بهترین مسیر را از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی بررسی نماید. با دانستن این که مسیر بهینه همیشه به معنی کوتاه‌ترین مسیر نمی‌باشد و مهم‌ترین عامل در این روش‌ها، عامل توپوگرافی و حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی هستند، استفاده از روش‌های تحلیل مکانی در به‌کارگیری معیارهای متعدد در کنار هم نظیر همپوشانی مکانی، منطقی و توجیه‌پذیر است [۵، ۶]. این موضوع، دارای پیشینه تحقیقاتی گسترده است که در این جا به برخی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌کنیم.

بلده اسلامی در سال ۱۳۹۰ برای طراحی مسیر خط لوله نفت، با بررسی معیارهایی چون شیب زمین، محیط‌زیست، دسترسی به راه‌ها، کاربری و غیره که در مجموع حدود ۵۰ معیار مؤثر بوده است از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای وزن‌دهی و تلفیق معیارهای دخیل استفاده نموده است [۷]. ماندا و مارکیا در سال ۲۰۱۴ میلادی برای طراحی خطوط لوله در کنیا، کاربری اراضی خصوصاً پوشش‌های گیاهی، زمین‌شناسی و توپوگرافی زمین و تقاطع‌ها با خطوط راه آهن و جاده‌ها را در نظر گرفتند و برای وزن‌دهی و تلفیق لایه‌های داده‌های جمع‌آوری شده، از روش سلسله مراتبی بردار ویژه استفاده نمودند [۸]. شیخ کاظمی در سال ۱۳۷۹ با ترکیب هفت پارامتر احتمال خطر زلزله، فرسایش پذیری سنگ‌ها، فرسایش پذیری خاک، کاربری اراضی، منابع آب‌های زیرزمینی و مناطق نیازمند حفاظت، عمل مسیریابی را برای یک جاده روستایی در استان مرکزی انجام داد و به این نتیجه رسید که با استفاده از تحلیل‌های GIS می‌توان مسیر بهینه را طراحی نمود که این‌جا مسیر بهینه لزوماً کوتاه‌ترین مسیر نیست. وی سه روش نرخ‌گذاری، رتبه‌بندی و روش مقایسه دو به دو را استفاده کرد و از بین روش‌های وزن‌دهی بر اساس اولویت‌بندی بین پارامترها، روش مقایسه

دو به دو را با نتایج بهتری ارزیابی کرد [۹]. ولکان و همکاران در سال ۲۰۰۷، تحقیقی تحت عنوان مسیریابی خط لوله با استفاده از GIS در ترکیه انجام دادند. در این پژوهش، آن‌ها از یک مدل مفهومی برای مسیریابی خط لوله استفاده کردند. ArcGIS ابزار آن‌ها برای پرس و جو و انجام همه تجزیه و تحلیل‌های مکانی در مجموعه داده رستری بوده است و در نهایت، به هدف اصلی خود که کاهش خطرات زیست‌محیطی مرتبط با خط لوله بوده نیز رسیده‌اند [۱۰]. همین دو پژوهشگر در سال ۲۰۱۱، تحقیق دیگری برای مسیریابی خطوط لوله نفت و گاز با مقایسه GIS و روش‌های سنتی در ترکیه انجام دادند که توانست ثابت کند مسیریابی خطوط لوله با استفاده از GIS نسبت به روش‌های سنتی ۱۴ درصد کاهش هزینه به دنبال داشته است [۱۱]. ولکان با استفاده از GIS، اکثر جنبه‌های مهم مؤثر در مسیریابی خطوط لوله از جمله پوشش اراضی، شیب منطقه، جنس خاک، محدوده‌های محافظت شده و غیره را شناسایی کرد. آن‌ها در این تحقیق مسیری مبتنی بر GIS را پیدا کردند که ۱۵۱ تقاطع با جاده‌ها و ۱۶۹ تقاطع با مسیر مؤسسات داشته است. عبدالطیف بالگوم و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲، تحقیقی تحت عنوان انتخاب مسیر بهینه خطوط نفت با استفاده از GIS انجام دادند. در این مقاله، برای تولید مسیر بهینه خطوط نفت در مالزی از تکنیک GIS استفاده شده که نشان می‌دهد چگونه نرم‌افزار ArcGIS می‌تواند با یک نرم‌افزار تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره در تعیین مسیر بهینه یکپارچه شود. در این تحقیق، با بیان این که هیچ روش جهانی برای تعیین مجموعه‌ای از معیارهای اشتقاق وزن وجود ندارد و در واقع، وزن متغیرها وابسته به میزان اهمیتی است که جامعه برای آن‌ها تعیین می‌کند، یک مسیر خط لوله واقع‌بینانه و قابل اعتماد طراحی شد که نگرانی همه گروه‌های سیاسی و دوستداران محیط‌زیست را پوشش داده است [۱۲]. در سال ۱۳۹۲ رضایی و همکاران نیز، تحقیقی تحت عنوان مسیریابی خطوط انتقال نیرو با استفاده از GIS در منطقه مطالعاتی قم-کهک انجام دادند. در این تحقیق، ابتدا روش معمول و سنتی مسیریابی خطوط انتقال نیرو بررسی گردید. سپس، در خصوص تحلیل نیازمندی‌ها و انتظارات کاربران انتقال نیروی برق با انجام مصاحبات گوناگون و دریافت روند فعالیت‌های جاری صنعت انتقال نیرو، تمام پارامترهای مؤثر در تعیین مسیر شامل طول خط لوله، توپوگرافی، حجم و جنس خاک، خطوط گسل، تقاطع با رودخانه و باتلاق‌ها، تقاطع با جاده‌ها و زیرساخت‌ها در نظر گرفته شده‌اند. نواحی مهم و کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های پایه استخراج شده‌اند و یک برنامه کاربردی در محیط MATLAB و با استفاده از مدل استنتاج فازی توسعه داده شده است. در این‌جا، با استفاده از تابع مکانی کوتاه‌ترین مسیر و روش‌های تلفیق مکانی بولین، همپوشانی شاخص و مدل با عملگرهای مختلفی همچون عملگرهای فازی، ضرب جبری، جمع فازی و عملگر گاما این کارها انجام شده‌اند [۱۳].





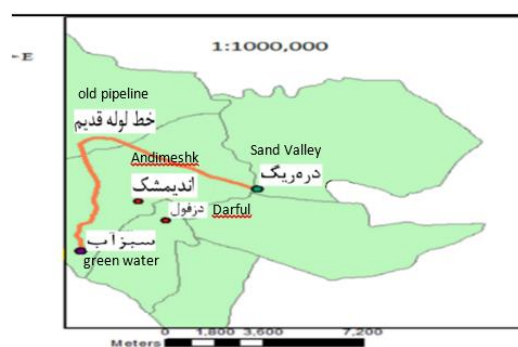
شکل ۳: موقعیت شهر اندیمشک  
Fig. 3: The position of Andimeshk city

با توجه به پیشرفت ساختمان‌های مسکونی و تجاری و تقاطع‌های زیاد خط لوله ۱۲/۲ اینچ با کانال‌های متعدد آب و فعالیت‌های کشاورزی، دسترسی به این خطوط لوله و انجام کارهای بازرسی و تعمیر به دلیل قدیمی بودن و معماری بد آن مستلزم هزینه‌های بالایی می‌باشد. بر اساس بررسی‌های انجام شده در فرآیندهای بازرسی فنی و بازرسی خوردگی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز ایران در خط لوله مورد نظر خوردگی قابل توجهی مشخص شده است. از اینرو، به منظور اطمینان از تداوم تولید و توزیع نفت خام و همچنین اطمینان از ایمنی و سهولت بازرسی و جلوگیری از حوادث منجر به تخریب محیط زیست طبیعی، احداث خط لوله ۱۲ اینچی جدید نفت، به عنوان یک جایگزین برای محدوده لب‌سفید قبل از ورود به دزفول به سمت منطقه دره‌ریگ و به عنوان مسیر اصلی ترانزیتی از دزفول در دستور کار قرار گرفت [۱۴]. در اجرای این پروژه، خطر نشت و آتش‌سوزی خط لوله موجود ناشی از خوردگی که شهر دزفول و مناطق مسکونی مجاور آن را در معرض خطر قرار می‌دهد، بسیار مورد توجه بوده است. مطابق با اهداف فصل پنجم برنامه پنجم توسعه در ایران و همچنین حفاظت از محیط‌زیست و توسعه پایدار مسیر انتقال خط لوله ۱۲ اینچی که عمدتاً در محدوده اندیمشک از دره‌ریگ به طول ۵۶/۱۴۷ کیلومتر در امتداد تأسیسات انتزاعی سبزاب جایگزین شده، با هدف دور زدن محدوده شهری دزفول و اندیمشک و از اراضی حاشیه جنوبی طراحی شد. منطقه حفاظت شده محیط زیستی چالپا در شمال اندیمشک و زمین‌های کشاورزی در غرب دزفول در دشت دزفول- اندیمشک واقع شده اند که بر حساسیت‌های این طراحی می‌افزایند. این خط لوله جدید، رودخانه‌های دز و بالارود را نیز قطع خواهد کرد. دو گزینه برای این طرح محتمل است که عبارتند از احداث خط لوله ۱۲ اینچی در مسیر جدید و جایگزینی مسیر جدید با مسیر موجود از دره‌ریگ در ابتدای خط، قبل از ورود خط لوله موجود به شهر دزفول تا نقاط انتهایی خط لوله رنگدانه در سبزاب به طول ۵۶/۱۴۷ کیلومتر و گزینه بعدی، عدم احداث خط جدید و ادامه بهره‌برداری از نفت تولید شده از میدان لب‌سفید با استفاده از خط لوله ۱۲/۲ اینچی موجود. با ارائه توضیحات فنی لازم در این زمینه به معرفی منابع داده‌ای و نرم‌افزاری این پژوهش می‌پردازیم. در این پژوهش، از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و

بر اساس پیشینه تحقیق گسترده این موضوع که برخی موارد در این جا ذکر شد، مهم‌ترین معایب مسیریابی در محیط‌های غیر از تحلیلگر مکانی را می‌توان عدم وجود ساختار مناسب برای مدیریت داده‌ها، عدم دقت در تعریف پارامترها، عدم پوشش همه معیارهای مؤثر، عدم نظر گرفتن مجموعه نظرات کارشناسان، زمان‌بر بودن و هزینه بالاتر آن‌ها دانست. مجموعه ایرادات ذکر شده استفاده از محیط تحلیلگر اطلاعات مکانی در تلفیق با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره را برای موضوع مسیریابی بهینه خطوط انتقال انرژی امری کارآمد نشان می‌دهد که در این تحقیق برای اجرای مسیریابی خط انتقال نفت به کار گرفته شده است.

### منطقه مطالعاتی

در این تحقیق، محدوده مطالعاتی در خصوص اجرای الزامات تغییر در بخشی از مسیر خط لوله ۱۲ اینچی به سیستم انتقال ۱۲/۲ اینچی در طول تقریبی ۵۸ کیلومتر از میدان نفتی لب‌سفید در شهرستان دزفول و در گذر از دره‌ریگ تا حوضه سبزاب با هدف اصلی افزایش ایمنی حوضه نفتی و حفاظت بیشتر از محیط زیست طبیعی تعریف شده است (شکل ۱). منطقه سبزاب یکی از بخش‌های شهرستان دزفول است که از نظر جغرافیایی با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه و با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی گسترش یافته است و همچنین ۱۴۰ متر تا دریا ارتفاع دارد. دره‌ریگ نیز روستایی از توابع شهرستان اندیمشک است که دارای طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه از نصف‌النهار گرینویچ و عرض ۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه شمال از خط استوا می‌باشد. (شکل‌های ۲ و ۳).



شکل ۱: مسیر طراحی شده به عنوان جایگزین در روش سنتی  
Fig. 1: The designed route as an alternative to the traditional method



شکل ۲: موقعیت شهر دزفول  
Fig. 2: The position of Dezfoul city

○ معیارهای عملیاتی و اقتصادی شامل مقررات رابطه بین حریم خطوط لوله با جاده‌ها و مناطق مسکونی و میزان دسترسی و در عین حال، برخورداری از حداقل تقاطع با راه‌ها و پهنه‌های مسکونی

دسته‌بندی معیارها با توجه به نظر کارشناسان

استفاده از تجارب کارشناسان متخصص و باتجربه در طراحی خطوط لوله از جمله اهداف این تحقیق بود که اگر چه به سختی حاصل شد اما نتایج مفیدی را در بر داشت که مهم‌ترین آن دستیابی به دسته بندی معیارهای مؤثر بر سه گروه مبتنی بر نیازهای فنی مهندسی، با توجه به ملاحظات اقتصادی و بر اساس ملاحظات زیست‌محیطی است که در بخش قبل نیز با توجه به پژوهش‌های پیشین به همین دسته‌بندی رسیده بودیم. در نظر گرفتن و رعایت هرکدام از شرایط مذکور به تنهایی ممکن است باعث ایجاد اختلال در رعایت معیارهای دیگر شود بنابراین، لازم است یک متوازن سازی بین همه آنها انجام گیرد تا میان دشواری‌های فنی مهندسی در ساخت و ساز، پیامدهای زیست‌محیطی و بار مالی در این پروژه‌ها تعادل برقرار شود.

ملاحظات فنی-مهندسی شامل طول خط لوله، شرایط توپوگرافی زمین، نوع زمین شناسی منطقه، جنس سطح زمین، قیود مربوط به عبور از رودخانه‌ها در مناطق مرطوب و باتلاقی، شرایط عبور از جاده‌ها و راه‌آهن و دوری از مناطق مسکونی و صنعتی است. برای کاهش هزینه احداث خط لوله نفت بهتر است عبور از رودخانه‌ها، جاده‌ها و راه آهن حداقل باشد. البته طولانی کردن مسیر به خاطر عبور نکردن از این نواحی نیز باعث افزایش طول خط لوله می‌شود که مطلوب نیست و باید میان هزینه افزایش طول و حداقل بودن عبور از نواحی ممنوع تعادل برقرار باشد. هزینه عبور از رودخانه بسیار بیشتر از هزینه عبور از جاده یا راه آهن است. از آنجا که خطوط لوله نسبت به رطوبت موجود در محل حساس هستند و باید دور نگه داشته شوند و این که عبور از گسل‌ها نیز با هزینه‌های اضافی به منظور تقویت لایه‌های زمین و بتن‌ریزی با هدف جلوگیری از خسارت در حین زمین‌لرزه همراه است، عبور از باتلاق‌ها، مناطق مرطوب و گسل‌ها در کل مسیر مستلزم اجرای تمهیداتی در حین احداث خطوط لوله و بعد از آن است. البته در عمده نظرات کارشناسی، محیط فیزیکی با کاربری زمین یکی در نظر گرفته می‌شود و همچنین معیارهای مرتبط با آب و هوا و خاک نیز بسیار مورد تمرکز است. اهمیت اصلی جنس زمین که از لایه‌های زمین‌شناسی استخراج می‌شود این است که خطوط لوله حدود سه متر زیر زمین تعبیه می‌شوند و بر این اساس، هنگام طراحی باید مسیر خط لوله را از نواحی که جنس خاک سختی ندارند عبور دهیم. البته شیب منطقه برای

نرم‌افزارهای Microstation و CIVIL3D برای ویرایش و آماده‌سازی داده‌های مکانی و در نهایت، از ArcGIS10.3 برای برهمنه‌ی، تحلیل و نتیجه‌گیری از داده‌ها، اطلاعات و دانش مکانی استفاده شده است.

## جمع‌آوری، بازنگری و ارزیابی معیارها

برای دستیابی به مؤثرترین مجموعه معیارهای الزامی در طراحی مسیر خطوط لوله دسته‌بندی معیارها در سه مرحله زیر انجام شده است:

- دسته‌بندی معیارهای مستخرج از مقالات موجود
- دسته‌بندی معیارها با توجه به نظر کارشناسان
- دسته‌بندی معیارها با توجه به پروژه‌های مستند موجود

دسته‌بندی معیارهای مستخرج از مقالات موجود

در مجموعه مقالات موجود، پژوهش‌های صورت گرفته بیشتر در زمینه مسائل مکانیکی خط لوله بوده است و به بحث مسیریابی کمتر توجه شده است. در پژوهش چانگ و همکاران در سال ۲۰۰۰ میلادی در مسیریابی خطوط لوله نفت با استفاده از تکنیک‌های سلسله‌مراتبی به یک دسته‌بندی کلی از نظر رویکردهای خاص در عملیات اجرای خطوط لوله دستیابی شده که این رویکردها عبارت از در نظر گرفتن طول خط لوله، نحوه اجرای عملیات لوله‌گذاری، تعمیر و نگهداری، میزان دسترسی، مسائل زیست‌محیطی و ساخت خطوط می‌باشند [۱۵]. در این دسته‌بندی به طور خاص به بحث امنیت خطوط لوله نفت هیچ توجهی نشده است و این در حالی است که خطوط لوله باید در مناطق دور دست از جامعه انسانی باشند تا در هنگام نشت یا ایجاد رخنه‌ای در لوله‌ها، جامعه انسانی و محیط زیست طبیعی از پیامدهای احتمالی مصون بمانند. این کمبود مورد توجه پژوهشگران دیگر در موضوعی با تمرکز بر طراحی خط لوله نفت اهواز به مارون قرار گرفته که در آنجا مجموعه معیارها عبارتند از: کوتاه‌ترین فاصله از مبدأ تا بازار فروش، کمترین تسطیح (از بین بردن درختان)، کاهش هزینه‌های مربوط به حریم‌ها، حداقل طول عبوری از رودخانه، رابطه مکانی با جاده‌ها و راه‌آهن، دوری از مراکز پرجمعیت و تعدادی معیارهای تعریف شده در اقتصاد مهندسی [۱۶، ۱۷]. در این‌جا به موضوع اثرات زیست‌محیطی که بر اثر ساختن خط لوله ممکن است به وجود بیاید نیز توجه شده که عبارتند از: خسارت به محیط به طور کلی، خسارت به زیستگاه‌های جانوری و خسارت به روابط اجتماعی و ارتباطات [۱۸]. با جمع‌بندی این دو پژوهش که پایه بسیاری از مطالعات دیگر بوده‌اند، می‌توان معیارهای این مرحله را به شرح زیر طبقه‌بندی نمود:

- معیارهای فنی شامل طول خط لوله، امنیت خط لوله، روش‌های تعمیر و نگهداری خطوط لوله
- معیارهای محیط زیستی شامل جلوگیری از صدمه به جانوران و زیستگاه‌های آن‌ها و در نظر داشتن انواع آلودگی‌های آب و خاک

## روش پژوهش

در این پژوهش، ابتدا رویه مسیریابی سنتی خطوط نفت مورد بررسی قرار گرفت. سپس، با توجه به تحلیل الزامات به دست آمده برای این خطوط، مصاحبه‌های گسترده با کارشناسان صنعت نفت و گاز انجام شد که نتایج آن‌ها منجر به محاسبه اوزان مناسب برای الزامات و در نهایت انتخاب مسیر بهینه شد. این مراحل که در شکل ۴ نیز نمایش داده شده‌اند به شرح زیر خلاصه شده است:

- شناسایی معیارهای مختلف مؤثر بر فرآیند طراحی مسیر در منطقه هدف و توسعه GIS برای طراحی خط لوله نفت
- استفاده از رویکرد AHP فازی برای اعمال قضاوت‌های متخصصین در تعیین وزن عوامل مؤثر
- استفاده از الگوریتم مسیریابی با کمترین هزینه برای رسیدن به مسیر بهینه در سناریوهای زیست‌محیطی، اقتصادی و جامع مطالعه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای مقایسه روش‌های مختلف در این زمینه، کم و بیش مورد توجه محققان قرار گرفته است. اما موضوع این تحقیق تعیین معیارهای مناسب برای مقایسه است که در این جا بعد از وزن‌دهی معیارها با استفاده از AHP فازی، به منظور یکپارچه‌سازی اطلاعات، روش‌هایی مانند همپوشانی شاخص با عملگرهای فازی مختلف بررسی شدند و عملگر ضرب جبری انتخاب شده است [۲۲-۲۴].

در باب موضوع محاسبه وزن‌های شاخص‌ها، سه روش مرسوم برای محاسبه وزن در روش AHP فازی وجود دارد که عبارتند از روش تحلیل توسعه چانگ، روش بهبودیافته و روش فازی. در این پژوهش، روش تحلیل توسعه چانگ استفاده شد که از روش‌های پرستفاده در این حوزه می‌باشد [۲۵]. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد فازی مثلثی هستند. برای انجام آخرین مرحله نیز با استفاده از تابع Shortest Path در ArcGIS کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه به دست می‌آید [۳، ۲۶].

در GIS مسیریابی با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و با در نظر گرفتن کمترین هزینه به طور کلی با مدل داده‌ای رستر انجام می‌شود. مدل داده مکانی رستر با در نظر گرفتن کارکردها و امکانات مناسب از جمله امکان همپوشانی ساده‌تری که در ترکیب لایه‌های اطلاعاتی مختلف و تحلیل فضایی دارد، برای هدف این تحقیق نیز مناسب‌تر است (شکل ۶). در این مدل، ابتدا باید در سطح هزینه تجمعی حرکت کرد که نشان دهنده هزینه مقاومت در برابر عبور از یک سلول به سلول دیگر به صورت تجمعی است. در این جا، تابع مربوطه در GIS، سطح هزینه جابجایی از مبدأ تا مقصد را با ترکیب خروجی چند ابزار هزینه وزنی (فاصله هزینه‌ای، مسیر برگشت هزینه‌ای یا تخصیص هزینه‌ای) به دست می‌آورد و به هر سلول، هزینه تجمعی می‌دهد [۲۷، ۲۸]. در نهایت، یک رستر خروجی تولید می‌کند که مسیر یا مسیرهای کم هزینه را از مکان‌های انتخاب شده تا نزدیک‌ترین سلول منبع تعریف شده در سطح هزینه انباشته، بر حسب فاصله هزینه، ثبت

طراحی مسیر یکی از معیارهای مهم دیگر است، چراکه زمین با پستی و بلندی زیاد هزینه‌های ساخت و ساز و ایستگاه‌های پمپاژ زیادی را طلب می‌کند. از نظر طراحان خطوط لوله شیب تا ۳۰ درجه مجاز است و شیب‌های پایین‌تر از آن مطلوب به حساب می‌آیند [۱۹].

مشکلات مربوط به تأمین مواد اولیه، تأمین برق، سیمان و فولاد، تأمین منابع انسانی که شامل نیروی کارگر ماهر و نیمه ماهر می‌شود، از جمله هزینه‌های موجود در طراحی مسیر خطوط لوله نفت است که تمامی کارشناسان تحقیق به آن اذعان کرده و معتقد بودند می‌تواند به عنوان یک معیار در نظر گرفته شود. از نظر کارشناسان تأمین آب جهت انجام تست هیدرواستاتیک از جمله موارد لازم و ضروری برای اجرای پروژه است.

از دیدگاه ملاحظات زیست‌محیطی در طراحی مسیر خط لوله، قطعاً خط لوله در هنگام احداث باید از مناطقی عبور داده شود که کمترین صدمه را به محیط زیست وارد کند. بنابراین، مناطق حفاظت‌شده‌ای از قبیل جنگل‌ها و زیستگاه‌های جانوری، مناطق غیر قابل عبور یا عبور با شرایط خاص شناخته می‌شوند [۲]. همچنین، توجه به محیط زیست و جلوگیری از صدمات احتمالی، یا به حداقل رساندن ضایعات ناشی از آلودگی محیط، در احداث تأسیسات صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در برخی از نظرات در تعریف محیط طبیعی، علاوه بر زیستگاه‌های گونه‌های جانوری و گیاهی، شبکه فاضلاب مسیل‌ها و باتلاق‌ها نیز از نواحی حساس و سخت عبور در نظر گرفته می‌شوند. در مجموع، با ارزیابی دیدگاه‌های کارشناسان مجدداً به سه گروه معیارهای فنی با محوریت مسائل مرتبط با نحوه بهره‌برداری و شرایط زمین‌شناسی، زیست‌محیطی و اقتصادی می‌رسیم [۲۰].

دسته‌بندی معیارها با توجه به پروژه‌های مستند موجود

در بخش دیگری از این پژوهش، مطالعه گسترده‌ای روی متن برخی از قراردادهای احداث خطوط لوله انجام شده است. در آن جا برخی از معیارهای مغفول در مطالعات گذشته و نظرات کارشناسی استخراج شده‌اند که عبارتند از حداقل تقاطع با تپه‌های ریزشی، حفظ حریم با جاده‌ها، حفظ حریم مناطق مسکونی، بررسی ویژگی‌های زمین نظیر فرسایش، ریزش‌ها، لغزش‌ها و جابجایی لایه‌ها، بررسی آب‌های زیرزمینی و روان‌آب‌ها و اخذ استعلام از سازمان‌های ذینفع [۲۱].

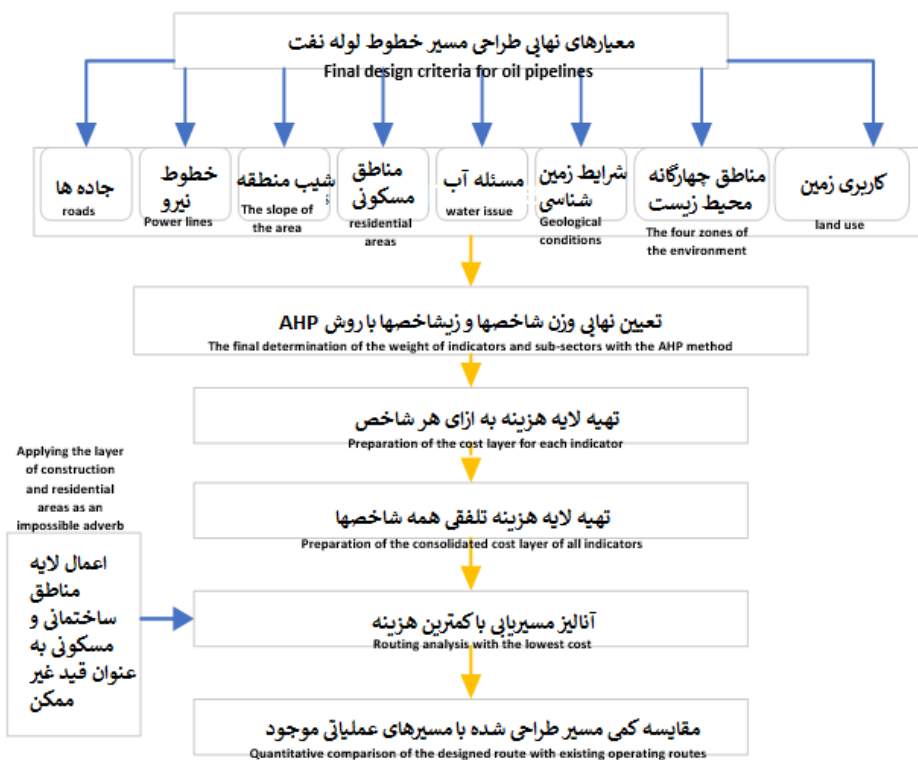
در نهایت، با پالایش معنایی ۱۵۵ ریز معیار و حذف موارد تکراری به هشت معیار کلی‌تر ارجح که بیشترین پوشش معنایی را بر ۱۵۵ تای فهرست‌شده داشتند، بسنده شد. این هشت معیار در سه سناریوی زیست‌محیطی، اقتصادی و جامع (هر دو) توزیع شده‌اند. در جدول ۱ معیارهای مورد نظر معرفی شده‌اند.

می‌کند. ایجاد یک سطح هزینه جمعی با استفاده از تابع هزینه در واقع، تلاشی برای شناسایی سلول با کمترین هزینه است که یک فرآیند تکراری است که از نقطه مبدأ شروع می‌شود و هدف آن ارزش گذاری سلول‌های سطح بر اساس هزینه جابه‌جایی از نقطه مبدأ است [۲۹، ۳۰].

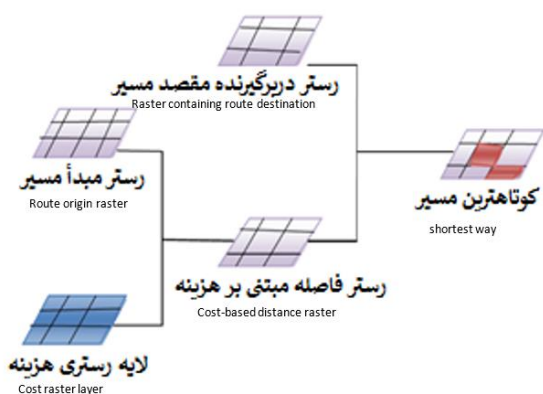
جدول ۱: فهرست معیارهای مورد استفاده

Table 1: List of criteria used

سناریوی جامع Comprehensive scenario	سناریوی اقتصادی Economic scenario	سناریوی زیست‌محیطی Environmental scenario	شرح معیار Criterion description	معیار Quality
*	*	*	در اینجا زمین به انواع زمین بدون مشکل، زمین بایر، زمین کشاورزی، زمین باتلاقی، زمین سنگی، کوه یا تپه‌های ریزشی و لغزنده تقسیم‌بندی می‌شود. Here, the land is divided into types of land without problems, barren land, agricultural land, swampy land, rocky land, mountains or steep and slippery hills.	۱ کاربری زمین Land use
*	*	*	موقعیت مکانی و حریم ضروری مناطق چهارگانه تحت نظر سازمان حفاظت از محیط زیست مورد نظر است. The location and necessary privacy of the four areas under the supervision of the environmental protection organization.	۲ مناطق چهارگانه محیط زیست Four environmental zones
*	*	*	موقعیت گسل‌ها، میزان زلزله‌خیزی و شرایط ریزش خاک در این معیار بررسی می‌شوند. The location of the faults, the level of seismicity and the conditions of soil fall are examined in this criterion	۳ شرایط زمین شناسی Geological conditions
*	*	*	مسائلی نظیر کمیت آب‌های زیرزمینی، کمیت آب‌های سطحی، وضعیت زهکشی منطقه، مصارف فعلی منابع آب و آلودگی آب همگی در این معیار مورد بررسی هستند. Issues such as the amount of underground water, the amount of surface water, the drainage situation of the region, the current consumption of water resources and water pollution are all investigated in this criterion.	۴ مسئله آب water issue
*	*	*	موقعیت مناطق مسکونی و چگالی جمعیت در این معیار دیده شده است. The location of residential areas and population density are seen in this measure.	۵ ابنیه و مناطق مسکونی buildings and residential areas
*	*	*	مهمترین معیار فنی برای پیاده‌سازی و بهره‌برداری از خطوط لوله موضوع شیب زمین است. The most important technical criterion for the implementation and operation of pipelines is the issue of land slope.	۶ میزان شیب منطقه The slope of the area
*	*	*	تقاطع با مسیر خطوط انتقال نیرو و الزامات ناشی از آن مورد نظر است. Intersection with the path of power transmission lines and the requirements arising from it is desired.	۷ خطوط انتقال نیرو Power transmission lines
*	*	*	موقعیت راه‌ها و حریم آنها هر یک الزامات خاصی بر مسئله تقاطع با خطوط لوله اعمال می‌کنند. The location of the roads and their boundaries impose special requirements on the problem of intersection with pipelines.	۸ جاده‌های دسترسی و اصلی Access and main roads



شکل ۴: گردش کار انجام تحقیق  
Fig. 4: The research steps

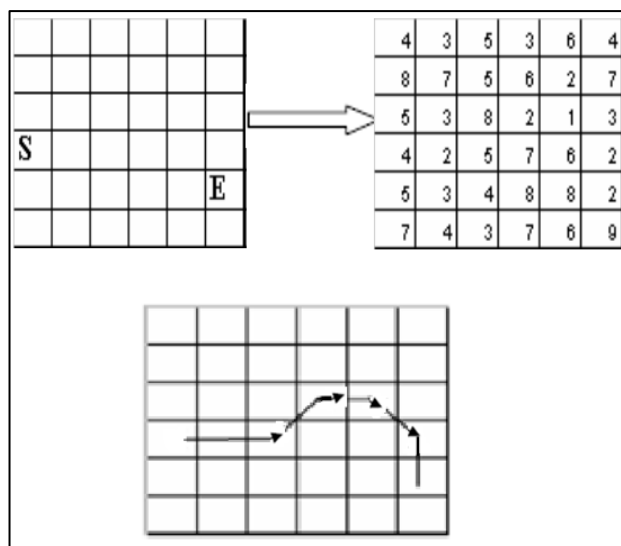


شکل ۶: روند انجام مسیریابی مبتنی بر هزینه در مدل داده رستر  
Fig. 6: The procedure of route finding based on cost in the raster data model

### پیاده‌سازی و نتایج تحلیلی

در این پژوهش، که هدف یافتن مسیری است که حداقل هزینه مسیر خط لوله را ایجاد می‌کند، برای تهیه لایه هزینه نهایی مدل شاخص همپوشانی در سه مرحله اجرا شد. در مرحله اول، لایه‌ها در یک کلاس بر اساس اهمیت طبقه‌بندی شدند. در شکل ۷، نتایج تحلیل اطلاعات دریافتی از نظرات کارشناسان بعد از انجام محاسبات اوزان نشان داده شده است.

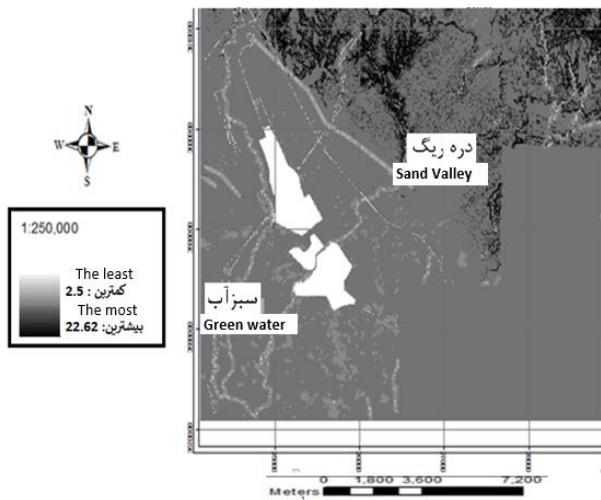
این کار تا زمانی که تمام سلول‌ها طی شوند ادامه خواهد داشت. شکل ۵، نمایی از انجام محاسبات این روند را نشان می‌دهد. در شکل ۶، نیز روند کار با در نظر گرفتن همه لایه‌های مرتبط با وزن هزینه نشان داده شده است.



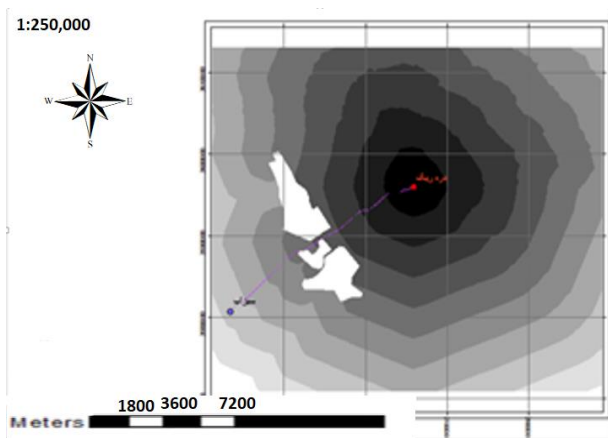
شکل ۵: مسیر بهینه از S به E که با در نظر گرفتن کمترین هزینه به دست می‌آید  
Fig. 5: The optimum route from S to E by considering the minimum cost



این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده برتری AHP فازی در ترکیب با GIS نسبت به طراحی سنتی باشد.



شکل ۸: نگاشت نمایه همپوشانی لایه‌ها و حذف مناطق کاملاً ممنوعه  
Fig.8: Mapping the overlaid layers and removing the absolutely forbidden area



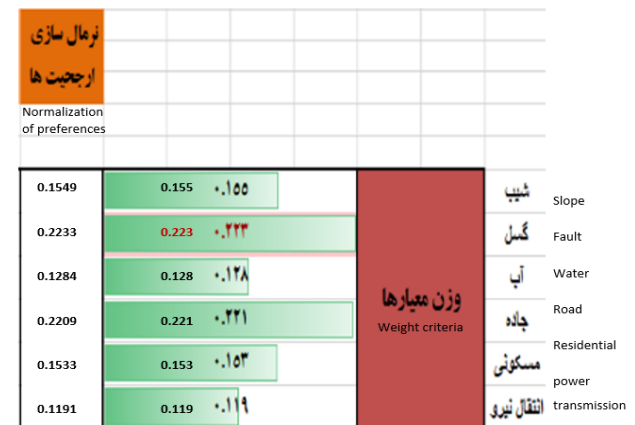
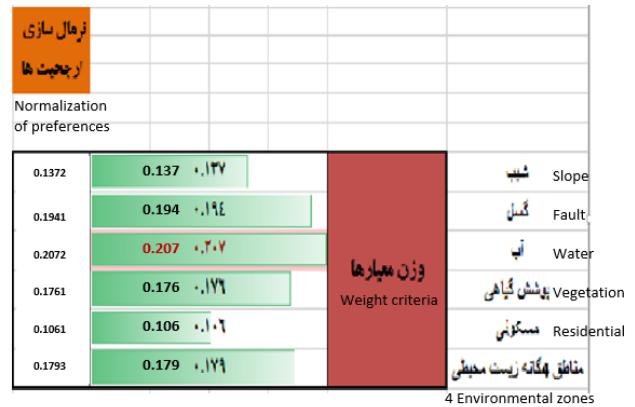
شکل ۹: نگاشت نمایه همپوشانی لایه‌ها و مسیر تعیین شده  
Fig.9: Mapping the overlaid layers and the determined route

جدول ۲: نتایج مقایسه‌ای سه سناریو

Table 2: The comparative results of three scenarios

اختلاف با خط طراحی شده به روش سنتی The difference with the line designed in the traditional way	طول (کیلومتر) length (km)	سناریو scenario
0.941	55.206	اقتصادی Economic
0.635	55.512	زیست‌محیطی environmental
0.586	55.561	جامع Comprehensive

از منظر پیاده‌سازی خطوط جدید نیز با بررسی وضعیت منطقه مشخص شد که ۱۴/۵۶ کیلومتر از قسمت شمالی منطقه مشخص شده توسط شرکت نفت باید تغییر مسیر دهد.



شکل ۷: اوزان محاسبه شده پس از تحلیل، بالا در سناریوی زیست‌محیطی و پایین در سناریوی اقتصادی

Fig. 7: The final weights obtained after the analyzes, Top: In the environmental scenario, down: In the economic scenario

در مرحله بعد، نقشه‌های معیار با وزن تعیین شده به روش AHP ترکیب شدند. در این‌جا، نقشه‌های خروجی در محدوده صفر تا یک هستند و نقاط با مقادیر بالاتر مناسب‌تر هستند. بعد از این مرحله به لایه هزینه نهایی رسیدیم که لازم است حدود مناطقی که مجاز به عبور از آن‌ها نیستیم را به عنوان فیلتر اعمال کنیم. این کار، با اعمال هزینه بسیار بالا برای آن مناطق که ساختمانی و مسکونی هستند، انجام شد که منجر به عدم عبور خطوط لوله پیشنهادی از این مناطق شد. شکل ۸، نتیجه نهایی لایه هزینه کلی به همراه مناطق ممنوعه حذف شده را نشان می‌دهد.

در ادامه با معرفی مبدأ و نقاط مقصد در لایه‌هایی مجزا، مناسب‌ترین مسیرهای لوله‌گذاری پیشنهادی نمایان می‌شوند (شکل ۹).

روند تدوین مسیر برای سناریوی یکپارچه و جامع نیز انجام شد که تحلیل آماری مسیرهای به دست آمده در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس این بررسی خطوط پیشنهاد شده توسط سناریوی اقتصادی به طول ۵۵۲۰۶ کیلومتر، در سناریوی زیست‌محیطی به طول ۵۵۵۱۲ و در سناریوی جامع به طول ۵۵۵۶۱ کیلومتر می‌باشند. خط طراحی شده به روش سنتی ۵۶۱۴۷ کیلومتر است که هر سه سناریو مسیرهای کوتاه‌تری را در محدوده مشخص شده شرکت نفت پیشنهاد کرده‌اند.

implications for their application in geoscience modelling and prediction. *Earth-Science Reviews*. 2020;211:103414.

[2] Swift DA, Cook S, Heckmann T, Gärtner-Roer I, Korup O, Moore J. Chapter 6 - Ice and snow as land-forming agents. In: Haerberli W, Whiteman C, editors. *Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters* (Second Edition): Elsevier; 2021. p. 165-198.

[3] Swift DA, Cook S, Heckmann T, Moore J, Gärtner-Roer I, Korup O. Chapter 6 - Ice and Snow as Land-Forming Agents. In: Shroder JF, Haerberli W, Whiteman C, editors. *Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters*. Boston: Academic Press; 2015. p. 167-199.

[4] Huggett R, Shuttleworth E. *Fundamentals of Geomorphology*. 5 ed: Taylor & Francis; 2022.

[5] Huggett RJ. *Fundamentals of Geomorphology*: Routledge; 2003.

[6] Moravej K, Eghba MK, Toomanian N, Mahmoodi S. Comparison of automated and manual landform delineation in semi detailed soil survey procedure. *African Journal of Agricultural Research*. 2012;7(17):2592-2600.

[7] Vergari F, Della Seta M, Del Monte M, Barbieri M. Badlands denudation "hot spots": The role of parent material properties on geomorphic processes in 20-years monitored sites of Southern Tuscany (Italy). *CATENA*. 2013;106:31-41.

[8] Hallouz F, Meddi M, Mahé G, Alirahmani S, Keddar A. Modeling of discharge and sediment transport through the SWAT model in the basin of Harraza (Northwest of Algeria). *Water Science*. 2018;32(1):79-88.

[9] Dill HG, Ludwig RR. Geomorphological-sedimentological studies of landform types and modern placer deposits in the savanna (Southern Malawi). *Ore Geology Reviews*. 2008;33(3):411-434.

[10] Dehn M, Gärtner H, Dikau R. Principles of semantic modeling of landform structures. *Computers & Geosciences*. 2001;27(8):1005-1010.

[11] Godif G, Manjunatha BR. Delineation of groundwater potential zones using remotely sensed data and GIS-based analytical hierarchy process: Insights from the Geba river basin in Tigray, Northern Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2023;46:101355.

[12] Sarkar D, Saha S, Mondal P. Modelling agricultural land suitability for vegetable crops farming using RS and GIS in conjunction with bivariate techniques in the Uttar Dinajpur district of Eastern India. *Green Technologies and Sustainability*. 2023;1(2):100022.

[13] Shary PA, Sharaya LS, Mitusov AV. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*. 2002;107(1):1-32.

[14] Anda M, Ritung S, Suryani E, Sukarman, Hikmat M, Yatno E, et al. Revisiting tropical peatlands in Indonesia: Semi-detailed

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با روش AHP از تعدادی فاکتور مسیریابی استفاده می‌کند و سعی می‌کند آنها را با توجه به تأثیری که در مسیریابی دارند، موزون کند. در زمینه یکپارچه‌سازی داده‌ها، مدل‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفت که مدل همپوشانی شاخص با پارامترهای وزنی بر اساس روش AHP فازی به عنوان مدل مناسب انتخاب شد. برای انتخاب مدل مناسب، سه پارامتر طول مسیر، میزان انطباق مسیرهای انتخابی با مسیر بین دو طرف و رعایت استانداردها با توجه به نظرات کارشناسی به عنوان پارامترهای ارزیابی هر مسیر در نظر گرفته شد. ترکیب مدل‌های فازی و AHP با استفاده از GIS توانست به خوبی دقت مسیریابی را افزایش داده و از طریق کاهش محسوس طول مسیرهای پیشنهادی با توجه به مسائل زیست‌محیطی، محدودیت‌های قانونی و مسائل فنی و مهندسی، هزینه‌های اجرا را کاهش دهد. در این پژوهش با توجه به کاستی‌های عمده سازمان‌های مختلف برای مدیریت بخش‌های مختلف، نبود بانک اطلاعاتی کامل و به هنگام یکی از اصلی‌ترین موانع اجرا شناخته شد. وجود چنین پایگاه داده‌ای می‌تواند علاوه بر تحلیل‌های مورد نیاز، یک پیوند اطلاعاتی بین بخش‌های مختلف سازمان ایجاد کند. پایگاه داده مکانی گزینه بسیار مناسبی برای پیاده‌سازی نیازهای چنین سازمان‌هایی است که توجه به آن با رعایت اصول طراحی بهینه پایگاه‌های داده اولین پیشنهاد این پژوهش است. با توجه به گستردگی کاربردهای GIS، حمایت از تحقیقات در مورد توسعه برنامه‌های کاربردی در این زمینه ضروری می‌باشد. مسیریابی خطوط نفت با مطالعه عوامل جدید و نقش آنها در مسیریابی جای کار گسترده‌ای دارد که در تلفیق با روش‌های مناسب تصمیم‌گیری چند معیاره انتظار می‌رود به نتایج بهتری بیانجامد. البته ذکر این نکته، ضروری است که اقتضائات هر منطقه مطالعاتی مخصوص به همان منطقه هستند که انجام پروژه‌های مسیریابی خطوط انتقال نفت در قالب مجموعه واحد از معیارها را با چالش مواجه می‌کند.

## مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمام افرادی که در جمع‌آوری اطلاعات و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها ما را در این تحقیق یاری رساندند، تشکر و تقدیر می‌نمایند.

## تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

## منابع و مآخذ

[1] Minár J, Evans IS, Jenčo M. A comprehensive system of definitions of land surface (topographic) curvatures, with

[30] Jenny H. Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology: Dover; 1994.

[31] Howard J. Anthropogenic Landforms and Soil Parent Materials. In: Howard J, editor. Anthropogenic Soils. Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 25-51. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54331-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54331-4_3)

## معرفی نویسندگان

### AUTHOR(S) BIOSKETCHES



**سحر ابوللی** دارای تحصیلات کارشناسی مهندسی تکنولوژی نقشه برداری و کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری-سامانه اطلاعات مکانی می باشد. وی هم اینک به عنوان کارشناس صنعت نفت، در زمینه قراردادهای پروژه های خطوط لوله فعال است و در این زمینه دانش GIS خود را در طراحی مسیرهای خطوط لوله نفت، گاز و میعانات نفتی به کار می گیرد.

**Abolali, S. Master of GIS, Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University-South Tehran Branch, Iran**

✉ [sahar.myapple@gmail.com](mailto:sahar.myapple@gmail.com)



**طلوع سیالوی** درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران-نقشه برداری را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه تهران اخذ نمود. وی سپس موفق به اخذ مدارک کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی همین رشته با گرایش GIS به ترتیب در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ از دانشگاه تهران شد. وی هم اینک به عنوان کارشناس پژوهشی گروه مهندسی سیستم های اطلاعات مکانی در دانشکده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران مشغول به فعالیت می باشد. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان کیفیت سنجی اطلاعات مکانی، GIS تحت وب و برنامه نویسی پیشرفته است.

**Silavi, T. Laboratory expert, Department of Geospatial Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran**

✉ [silavi@alborz.kntu.ac.ir](mailto:silavi@alborz.kntu.ac.ir)



**جواد صابریان** دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه برداری (گرایش سیستم اطلاعات مکانی) از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی می باشد. از سال ۱۳۹۰ تا کنون در دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب به عنوان استادیار گروه مهندسی نقشه برداری مشغول فعالیت می باشد. ایشان تا کنون موفق به چاپ بیش از ۳۰ مقاله در

mapping, extent and depth distribution assessment. *Geoderma*. 2021;402:115235.

[15] Bishop MA. A generic classification for the morphological and spatial complexity of volcanic (and other) landforms. *Geomorphology*. 2009;111(1):104-109.

[16] Tsai H, Hseu Z-Y, Huang S-T, Huang W-S, Chen Z-S. Pedogenic properties of surface deposits used as evidence for the type of landform formation of the Tadu tableland in central Taiwan. *Geomorphology*. 2010;114(4):590-600.

[17] Shirani K, Solhi S, Pasandi M. Automatic Landform Recognition, Extraction, and Classification using Kernel Pattern Modeling. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. 2023;7(1):2. <https://doi.org/10.1007/s41651-022-00131-z>

[18] Lobeck AK. Geomorphology: An Introduction to the Study of Landscapes: McGraw-Hill Book Company, Incorporated; 1939.

[19] Ahnert F. Introduction to Geomorphology: Wiley; 1998.

[20] Pitty AF. Introduction to Geomorphology: Methuen; 1971.

[21] Zinck JA. Physiography and Soils: Soil Survey Courses Subject Matter K6: ITC; 1989.

[22] Hosseinali F, Alesheikh AA, Nourian F. Rapid Urban Growth in the Qazvin Region and Its Environmental Hazards: Implementing an Agent-Based Model. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2014;23(3):727-735.

[23] Weiss A. Topographic position and landforms analysis. ESRI user conference: 2001: San Diego, CA, USA.

[24] MacMillan RA, Shary PA. Chapter 9 Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. In: Hengl T, Reuter HI, editors. Developments in Soil Science. 33: Elsevier; 2009. p. 227-254.

[25] Webb AA, Dowling AJ. Characterization of basaltic clay soils (vertisols) from the Oxford land system in central Queensland. *Soil Research*. 1990;28(6):841-856. <https://doi.org/10.1071/SR9900841>

[26] Awoonor JK, Dogbey BF. An Assessment of Soil Variability along a Toposequence in the Tropical Moist Semi-Deciduous Forest of Ghana. *Open Journal of Soil Science*. 2021;11:448-477.

[27] Udomsri S, Martin AR, Fransson TH. Economic assessment and energy model scenarios of municipal solid waste incineration and gas turbine hybrid dual-fueled cycles in Thailand. *Waste Management*. 2010;30(7):1414-1422.

[28] Shaw JN, West LT, Bosch DD, Truman CC, Leigh DS. Parent material influence on soil distribution and genesis in a Paleudult and Kandudult complex, southeastern USA. *CATENA*. 2004;57(2):157-174.

[29] Feng Y, Wang J, Bai Z, Reading L. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review. *Earth Science Reviews*. 2019;191:12-25.

های وزارت نیرو، شرکت نفت و سازمان ثبت اسناد و املاک کشور نقش موثر داشته‌اند.

**Saberian, J. Assistant Professor, Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University-South Tehran Branch, Iran**

[✉ j\\_saberian@azad.ac.ir](mailto:j_saberian@azad.ac.ir)

مجلات و کنفرانس‌های معتبر داخلی و بین‌المللی شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: شبکه‌های حمل و نقل، الگوریتم‌های مسیریابی، مسایل بهینه‌سازی در GIS و پایگاه داده. از سال ۱۳۸۵ در بسیاری پروژه‌های اجرایی مرتبط با نقشه برداری و GIS بویژه در پروژه

**Citation (Vancouver):** Abolali S, Silavi T, Saberian J. [Improving Location Indices in Design of Oil Transmission Lines with an Economic and Environmental Protection Attitude]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 177-188

 <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10412.1040>



#### COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Assessing the Influence of Image Network and Image Texture on the Quality of 3D Point Cloud Production in Close-Range Photogrammetry

R. Naeimaei, E. Ghanbari Parmehr\*

Department of Geomatics, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

### ABSTRACT


Received: 30 May 2023  
Reviewed: 7 July 2023  
Revised: 12 August 2023  
Accepted: 01 October 2023

#### KEYWORDS:

Close-Range Photogrammetry  
Structure from Motion  
3D Point cloud  
Imaging Network  
Image texture  
Agisoft

\* Corresponding author

 [parmehr@nit.ac.ir](mailto:parmehr@nit.ac.ir)

 (+9811) 35501580

**Background and Objectives:** Close-range photogrammetry aims to produce accurate 3D geometric models of objects using images taken from the subject. Nowadays, the creation of realistic 3D models and their visualisation is a common practice that is becoming more popular every day. On the other hand, choosing the right modelling software for photogrammetry has always been a challenge and a topic of discussion among experts and researchers. Therefore, it is essential to examine and evaluate the models produced by different software tools. Due to the widespread use of Agisoft software among engineers and researchers in this field, this study aimed to perform image processing and modelling using two versions of this software, namely Photoscan and Metashape. In previous research, the criterion for optimising the image mesh has been based on improving the accuracy of the modelling. In order to assess and evaluate the 3D models produced by the two versions of the software, we defined different scenarios for the design of the image mesh. We compared the 3D models generated for each scenario with a mathematical reference model. We also examined the complete modelling in the software under different conditions using two different textures, as the texture of the image directly affects the quality of the point cloud. It is important to analyse the role of the image texture together with the geometry of the image mesh. Therefore, we evaluated the image texture as a radiometric index and investigated how these two factors affect the quality of the point cloud. As a result, we determined the optimal number of images with appropriate texture required to produce an accurate and high-quality 3D model.

**Methods:** close-range photogrammetry, we capture a series of images of an object using a specific image network. These images are then used with the Structure from Motion (SfM) method to generate point clouds and 3D models. The concept behind SfM is inspired by how our eyes perceive objects. This approach offers a quick, automated, and cost-effective way to obtain 3D data. It involves creating 3D coordinate models by processing a sequence of overlapping images of the object. Finally, the resulting 3D models are compared with a reference point cloud using the Cloud Compare point cloud processing software.

**Findings:** The results of using images with simple texture show that in Photoscan software, increasing the number of images not only leads to noise in the point cloud, but also reduces the similarity of the generated model to the cube. According to the results, the best 3D model with a high similarity to the cube is associated with the fourth scenario (45 images) with an error of 0.01 millimetres. In the case of the Metashape software, the best model is associated with the third scenario (90 images) with an error of 0.05 millimetres. On the other hand, in cases where images with complex textures were used, the best point cloud is related to the fourth scenario (45 images) with an error of 0.02 millimetres in Photoscan software and to the third scenario (90 images) with an error of 0.04 millimetres in Metashape software. In general, the use of objects with complex textures leads to a better match and therefore to denser point clouds due to the presence of complex and non-uniform gradients in the images.

**Conclusion:** The results show that the optimal number of images and the presence of a complex image texture have a significant impact on the improvement of the quality of the 3D point cloud of the object. Despite the increased processing time, the quality of the 3D model does not increase significantly with a large number of images; it only leads to denser point clouds due to increased noise in the point cloud.





NUMBER OF REFERENCES

51



NUMBER OF FIGURES

24



NUMBER OF TABLES

2

## مقاله پژوهشی

## ارزیابی تأثیر شبکه تصویربرداری و بافت تصویر بر کیفیت تولید ابرنقطه سه بعدی در فتوگرامتری برد کوتاه

رضا نعیمایی، عبادت قنبری پرمهر\*

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** فتوگرامتری برد کوتاه به ارائه مدل دقیق هندسی سه بعدی اشیاء با استفاده از تصاویری که از جسم اخذ شده می پردازد. امروزه، ایجاد مدل های سه بعدی واقع بینانه و تجسم آن ها متداول شده و روز به روز محبوب تر می شود. از طرفی، انتخاب درست نرم افزار مدل سازی در برد کوتاه همواره چالش برانگیز و مورد بحث متخصصان و محققان بوده و هست. از این رو، بررسی و ارزیابی مدل های تولید شده در نرم افزارهای مختلف، حائز اهمیت است. به علت فراگیر بودن نرم افزار Agisoft در میان مهندسان و محققان این حوزه، سعی شد تا در این تحقیق، پردازش تصاویر و مدل سازی در دو نسخه این نرم افزار با نام های Photoscan و Metashape اجرا شوند. در تحقیقات صورت گرفته تا به امروز معیار بهینه سازی شبکه عکس برداری، بر مبنای افزایش دقت مدل سازی بوده است، به همین جهت، برای بررسی و ارزیابی مدل های سه بعدی تولیدی در دو نسخه این نرم افزار، سناریوهای متفاوتی برای طراحی شبکه عکس برداری تعریف شده و مدل سه بعدی تولیدی هر سناریو با یک مدل ریاضی به عنوان مدل مرجع مقایسه شدند. علاوه بر این، در این پژوهش علاوه بر ارزیابی دقت مدل سه بعدی تولیدی، مدل سازی کامل در نرم افزار به صورت اجرایی در حالت های مختلف با دو بافت متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که بافت تصویر تأثیر مستقیم بر کیفیت ابرنقطه دارد، برای بررسی کیفیت ابرنقطه تولید شده به روش فتوگرامتری لازم است تا نقش بافت تصویر به همراه هندسه شبکه تصویربرداری به طور دقیق مورد بررسی قرار گیرند. از این رو، علاوه بر بررسی وضعیت هندسی شبکه عکس برداری، بافت تصاویر به عنوان یک شاخص رادیومتریکی مورد ارزیابی قرار گرفته و تأثیر این دو عامل بر کیفیت ابرنقطه تولید شده بررسی شده است. در نتیجه تعداد بهینه تصویر با بافت مناسب برای ساخت یک مدل سه بعدی دقیق و با کیفیت تعیین شده است.

**روش ها:** برای مدل سازی یک شیء در روش فتوگرامتری برد کوتاه، تعدادی تصویر طبق شبکه از پیش طراحی شده از شیء مورد نظر اخذ شده و سپس، به کمک روش ساختار ناشی از حرکت (SfM)، ابرنقاط و مدل سه بعدی ایجاد می شود. اساس روش ساختار ناشی از حرکت، از نحوه ادراک اجسام توسط چشم انسان الگوبرداری شده است. روش ساختار ناشی از حرکت، امکان دستیابی سریع، خودکار و کم هزینه به داده های سه بعدی را فراهم می سازد. این روش به گونه ای است که با استفاده از تصاویر متوالی پوشش دار مربوط به یک شیء و پردازش تصویر، مدل سه بعدی دارای مختصات ایجاد می کند. پس از ساخت مدل های سه بعدی بر مبنای سناریوهای تعریف شده در دو نسخه نرم افزار، در نرم افزار پردازش ابرنقطه Cloud Compare با ابرنقطه ریاضی (مرجع) مورد قیاس قرار گرفتند.

**یافته ها:** یافته های استفاده از تصاویر با بافت ساده حاکی از آن است که در نرم افزار Photoscan با افزایش تعداد تصاویر علاوه بر نویزی شدن ابرنقطه، میزان شباهت مدل ساخته شده به مکعب نیز، کاهش می یابد. بر اساس نتایج، بهترین مدل سه بعدی که شباهت زیادی با مکعب دارد مربوط به حالت چهارم (۴۵ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۱ میلی متر است. در مورد نرم افزار Metashape بهترین مدل مربوط به حالت سوم (۹۰ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۵ میلی متر است. از طرفی در حالات استفاده از تصاویر با بافت پیچیده، بهترین ابرنقطه مربوط به حالت چهارم (۴۵ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۲ میلی متر در نرم افزار Photoscan و حالت سوم (۹۰ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۴ میلی متر در نرم افزار Metashape است. به طور کلی استفاده از شیء با بافت پیچیده موجب تناظریابی بهتر عوارض می شود. تصاویر با بافت پیچیده گرادیان های پیچیده و به دنبال آن جهت های گرادیان غیر هم سو تولید می کنند و در مقابل آن، تصاویر با بافت ساده گرادیان های یکسان تولید می کنند. در نتیجه، وجود گرادیان های پیچیده و غیر هم سو موجب به تناظریابی بهتر و پایدارتر و در نتیجه آن تولید نقاط گرهی و تراکم ابرنقطه متراکم بیشتر می شود.

تاریخ دریافت: ۰۹ خرداد ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۱۷ تیر ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۲۱ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۹ مهر ۱۴۰۲

## واژگان کلیدی:

فتوگرامتری برد کوتاه  
ساختار ناشی از حرکت  
ابرنقطه سه بعدی  
شبکه تصویربرداری  
بافت تصویر  
Agisoft

\* نویسنده مسئول

parmehr@nit.ac.ir

۰۱۱-۳۵۵۰۱۵۸۰

**نتیجه گیری:** نتایج، نشان داد که تعداد بهینه تصاویر و وجود بافت پیچیده تصویر تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت ابرنقطه سه بعدی شیء دارند و با وجود عکس‌های زیاد کیفیت مدل سه بعدی علی‌رغم صرف زمان پردازش زیاد افزایش نیافته و تنها موجب تراکم ابرنقطه شده که این افزایش تراکم به دلیل افزایش نویز در ابرنقطه است.

## مقدمه

فتوگرامتری به‌عنوان یکی از روش‌های اندازه‌گیری غیرتماسی سه بعدی برای کنترل ابعادی مطرح است، در این روش، با استفاده از اندازه‌گیری‌های دقیق نقاط بر روی تصاویر اندازه‌گیری‌های سه بعدی مانند فاصله، ارتفاع، مساحت، حجم و شکل اجسام مختلف تعیین می‌شود. یکی از اهداف فتوگرامتری دستیابی به اطلاعات هندسی، رادیومتریکی و تشخیص عوارض در دنیای سه بعدی است. امروزه، ایجاد مدل‌های سه بعدی واقع‌بینانه و تجسم آن‌ها متداول شده و روزه‌روز محبوب‌تر می‌شوند. به عبارت دیگر، مدل‌های سه بعدی بخشی از عصر دیجیتال جدید هستند [۱]. روند کلی ایجاد مدل سه بعدی شامل اخذ تصاویر از شیء مورد نظر، ایجاد ارتباط بین تصاویر و در نهایت رسیدن به ابرنقطه از شیء مذکور است. روش‌های مدل‌سازی مبتنی بر تصویر ایزاری مهم برای تولید مدل‌های سه بعدی بسیار کاربردی و به صرفه هستند. مدل‌های دقیق مبتنی بر تصویر می‌توانند هم‌زمان با تعیین کالیبراسیون دقیق دوربین، اطلاعات هندسی تصاویر را به دست آورند که امروزه به‌طور خودکار در بینایی کامپیوتر و فتوگرامتری انجام می‌شوند [۲].

تکنیک فتوگرامتری به‌عنوان یک ابزار ارزشمند در مستندسازی و انتشار بهره‌وری فرهنگی هستند. لراما، در سال ۲۰۱۳ بر اهمیت مدل‌های سه بعدی واقع‌گرایانه در بازسازی و تعامل مجازی با میراث فرهنگی تأکید می‌کند [۳]. لونا در سال ۲۰۱۸ به بررسی نحوه این‌که چگونه فتوگرامتری می‌تواند اشیاء میراث فرهنگی را قابل دسترسی‌تر کند و یک مرور جامع از جریان کار فتوگرامتری ارائه می‌دهد [۴]. لورو در سال ۲۰۲۳، به نیاز به یک روش مشترک برای نقشه‌برداری فتوگرامتری در باستان‌شناسی پرداخته و یک جریان کار عملی برای نقشه‌برداری سه بعدی پیشنهاد می‌دهد [۵]. اوسلو در سال ۲۰۲۰ ترکیب فتوگرامتری، واقعیت افزوده، و تصویر مبتنی بر وب را برای ارائه تعاملی از میراث فرهنگی مورد بررسی قرار داد. به طور کلی، این مقالات توانایی فتوگرامتری را در بهبود مستندسازی، تصویرسازی و دسترسی به میراث فرهنگی نشان می‌دهند [۶].

مدل‌سازی مبتنی بر تصویر، یک روش مناسب برای ایجاد مدل‌های سه بعدی اشیاء مختلف است که با طراحی شبکه دوربین شروع می‌شود [۷]. با توجه به تأثیر مستقیم نحوه عکس‌برداری و انتخاب زاویه مناسب میان تصاویر اخذ شده بر دقت نهایی مدل سه بعدی، طراحی شبکه پروژه فتوگرامتری بردکوتاه در موفقیت و یا عدم موفقیت پروژه مؤثر است. در طول چند دهه گذشته، موضوع بهینه‌سازی شبکه یکی از موضوعات مورد علاقه و چالش‌برانگیز در فتوگرامتری بردکوتاه بوده است. هدف اصلی بهینه‌سازی یک شبکه چند ایستگاهی دستیابی به دقت و کیفیت

مورد نظر با کمترین میزان هزینه است [۸]. برای طراحی یک شبکه تصویربرداری متراکم، هزینه محاسباتی برای توجیه و تعیین مکان بهینه دوربین با مربع تعداد تصاویر افزایش می‌یابد [۹]. به همین علت تعداد تصاویر یک عامل بسیار مهم و تأثیرگذار بر دقت و همچنین زمان پردازش است. هدف از این طراحی، پیش‌بینی و تضمین کیفیت کلی اندازه‌گیری‌های فتوگرامتری است، در حالی که منظور از کیفیت به معنای یک پارامتر کلی شامل دقت، قابلیت اطمینان و هزینه است [۱۰]. در واقع، شبکه‌های عکس‌برداری که تصاویر اضافی ندارند با وجود استفاده از تعداد تصویر کمتر و کاهش زمان پردازش، دقت را کاهش نمی‌دهند.

در طول دو دهه گذشته، فتوگرامتری بردکوتاه به ابزاری قدرتمند و گسترده برای مدل‌سازی سه بعدی تبدیل شده است [۷، ۱۲]. توسعه الگوریتم‌های استخراج اطلاعات سه بعدی مبتنی بر تصویر دو بعدی و مثلث‌بندی‌های فتوگرامتری به شدت کیفیت داده‌هایی که از همپوشانی جفت تصاویر استریو حاصل می‌شود را افزایش داده است [۱۳، ۱۴].

محققان با پیشرفت در علوم کامپیوتر به رویکرد جدیدی در زمینه تحلیل تصویری دست یافته‌اند که ساختار ناشی از حرکت (Structure from Motion) نامیده می‌شود [۱۵، ۱۶]. این روش به کنترل زمینی محدودی نیاز داشته و معمولاً تصاویر به دست آمده از دوربین‌های رقومی ارزان قیمت و غیرمتریک قابل استفاده هستند. این روش رو به رشد به علت ارزان بودن و سرعت بالا، برتری قابل توجهی نسبت به سایر روش‌ها مانند پوششگر لیزری دارد. در سال‌های اخیر استخراج داده‌های سه بعدی از سطح اشیاء و بازسازی و مدل‌سازی آن‌ها به دلیل کاربردهای متنوعی مانند ساخت قطعات صنعتی و برآورد احجام خاکی که در علوم مختلف دارند سبب شده است که روش‌های مختلفی جهت استخراج داده‌های سه بعدی به کار گرفته شوند [۱۷]. در این میان، استفاده از تصاویر متوالی یا همان روش ساختار ناشی از حرکت از جمله روش‌هایی است که به دلیل امکانات ارزان قیمت برای استفاده از آن، توجه خاص محققان را به خود جلب نموده است.

به طور مثال، مصطفوی در سال ۲۰۱۹ به کمک تکنیک ساختار از حرکت با استفاده از تصاویر هوایی پهپاد و تصاویر زمینی به منظور به دست آوردن ابر نقطه متراکم از مکان‌های تاریخی می‌پردازد [۱۸]. اسپودک در سال ۲۰۲۲ به بررسی استفاده از فتوگرامتری دیجیتال با دوربین‌های ارزان قیمت و نرم‌افزارهای موجود برای مستندسازی مکان‌های تاریخی دورافتاده، می‌پردازد [۱۹]. گونزالس-کوویو در سال ۲۰۲۱ کاربرد فتوگرامتری سه بعدی را در تجزیه و تحلیل، تصویرسازی و آثار باستانی بومی، شامل مکان‌های هنر غاری و مکان‌های دفن شده، نمایش می‌دهد [۲۰].

شبکه عکس برداری را با هدف اندازه گیری موقعیت، شکل و ابعاد شیء و تأمین همزمان قیود دید مورد بررسی قرار دادند [۲۹]. حسینی نوه و همکاران، روشی به نام Image Network Designer (IND) را برای مدل سازی مصنوعات موزه معرفی کردند [۳۰]. ونزل و همکاران، یک راهنما برای دستیابی به تصاویر مناسب به نام One panorama earth step را ارائه دادند [۳۱]. آل سادیک و همکاران، با به کارگیری الگوریتم های فازی، حداقل تعداد تصاویر را برای مدل سازی و بازسازی آثار باستانی تخمین زدند [۳۲، ۳۳]. همچنین، شریفی و قنبری پرمهر، تأثیر منتظم بودن شبکه عکس برداری بر دقت فتوگرامتری برد کوتاه را بررسی کردند [۳۴]. همچنین نعیمایی و قنبری پرمهر، تعداد بهینه تصاویر شبکه عکس برداری با توجه به حفظ دقت مدل سازی را بررسی کردند [۳۵].

تاکنون در تحقیقات انجام شده، معیار اصلی بهینه سازی شبکه های عکس برداری، بر مبنای افزایش دقت بوده است. اما در این مطالعه، علاوه بر ارزیابی دقت، مدل سازی جامع در نرم افزار به صورت اجرایی در حالت های مختلف با دو بافت متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که بافت تصویر تأثیر مستقیم بر کیفیت ابرنقطه دارد، برای بررسی کیفیت ابرنقطه تولید شده به روش فتوگرامتری لازم است تا نقش بافت تصویر به همراه هندسه شبکه تصویربرداری به طور دقیق مورد بررسی قرار گیرند. از این رو، علاوه بر بررسی وضعیت هندسی شبکه عکس برداری، بافت تصاویر به عنوان یک شاخص رادیومتریکی مورد ارزیابی قرار گرفته و تأثیر این دو عامل بر کیفیت ابرنقطه تولید شده بررسی شده است. در نتیجه، تعداد بهینه تصویر با بافت مناسب برای ساخت یک مدل سه بعدی دقیق و باکیفیت تعیین شده است.

## مواد و روش

در این مقاله، به بررسی تأثیر طراحی شبکه عکس برداری و بافت تصاویر برای ساخت مدل سه بعدی دقیق و باکیفیت، با تعداد بهینه تصویر با استفاده از دوربین عکس برداری رقومی پرداخته شده است. برای ارزیابی دقت مدل سه بعدی فتوگرامتری، عکس برداری از یک مکعب به ابعاد (۱۰×۱۰×۱۰) سانتی متر انجام شد. مکعب، به دلیل داشتن شکل هندسی ساده و معلوم برای ارزیابی کیفی هندسی مدل سه بعدی انتخاب گردید. برای عکس برداری از دوربین رقومی Canon مدل EOS 500D با حسگر CMOS و قدرت تفکیک مکانی ۱/۱۵ مگاپیکسل، به همراه عدسی متغیر (۵۵-۱۸ میلی متر) استفاده شد. برای بررسی وضعیت هندسی شبکه عکس برداری با رعایت نکات عکس برداری (مثل شرایط نوری عکس برداری، پس زمینه مناسب، فاصله ثابت تا شیء و ...) در فواصل زاویه ای متفاوت از شیء عکس برداری شد. در مرحله اول، ۳۶۰ عکس به صورت یک درجه یک درجه منتظم همانند شکل ۱ از جسم اخذ شده و ابرنقطه سه بعدی در نرم افزار ایجاد شد. در مرحله بعدی با در نظر گرفتن فاصله زاویه یکنواخت بین تصاویر، کاهش تعداد تصاویر تا رسیدن به ۲۳ تصویر حول شیء (با فاصله زاویه ای تقریباً ۱۶ درجه) ادامه یافت. در هر

استخراج مدل سه بعدی از یک شیء یا محیط تنها با به کارگیری تصاویر دو بعدی، یکی از مسائل اساسی در بینایی کامپیوتر است. از خصوصیات این روش می توان به امکان خودکار نمودن فرآیند استخراج داده های سه بعدی، قابلیت استفاده برای اجسام با ویژگی های مختلف، عدم نیاز به تماس مستقیم با جسم جهت اندازه گیری و حصول دقت های قابل قبول اشاره نمود [۲۱].

تکنیک مطرح شده، تنها یکی از تکنیک های بازسازی سه بعدی اشیاء از میان بسیاری از تکنیک های بازسازی سه بعدی است. تکنیک های دیگری نیز وجود دارد که می توان به اجمالی به مواردی همچون بازسازی بینایی استریو [۲۲]، نور ساخت یافته [۲۳] یا اسکن لیزری [۲۴] به عنوان مرجع اشاره کرد.

هر کدام از این روش ها، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار محققان قرار می دهند اما هر کدام بر روی یک نوع سطح و جسم و یا یک موضوع متمرکز شده اند تا تحت شرایط خاصی الگوریتم پایدارتری ارائه دهند. منابع دیگری همچون [۲۵، ۲۶] وجود دارد که بررسی های عمیق تری با استفاده از مجموعه داده های خود ارائه می دهند.

انتخاب درست نرم افزار مدل سازی در برد کوتاه همواره چالش و مورد بحث متخصصان و محققان بوده و هست و تحقیقات متعددی در این زمینه برای ارزیابی نرم افزارها در کاربردهای مختلف صورت گرفته است. ایوان نیکلو و همکاران، شش نرم افزار Memento، Context Capture، Reality Capture، 3DF Zephyr و Pix4D در مدل سازی شش جسم چالشی مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، نرم افزارها به دو گروه تقسیم شدند. (۱) نرم افزارهایی که پایدار و بهینه هستند ولی توانایی ثبت جزئیات زیاد را ندارند. (۲) نرم افزارهایی که توانایی ثبت جزئیات زیادی را دارند ولی عملکرد پایینی دارند و اگر برخی شرایط محیطی برقرار نباشد مدل سازی به همراه نویز اتفاقی تولید می شود [۲۷].

گابارا و همکاران، سه نرم افزار Reality Capture، Photoscan و Pix4D در تولید دو محصول ابرنقطه مترکم و مش مقایسه کردند. به طور خلاصه هر نرم افزار محدودیت خاص خود را به همراه داشت. نرم افزار Reality Capture از نظر کامل بودن مدل، کاهش نویز و هندسه مش سه بعدی دارای بالاترین کیفیت بوده و از طرفی فضای کمتری از حافظه را هنگام پردازش اشغال می کند. Photoscan دارای استحکام بالاتری است اما در مدل سازی اشیاء نامنتظم ابرنقطه ناقصی تولید می کند. Pix4D در ساخت بافت تصویر به خوبی عمل می کند اما فضای زیادی از حافظه را اشغال می کند و ابرنقطه نویز داری تولید می کند [۲۸].

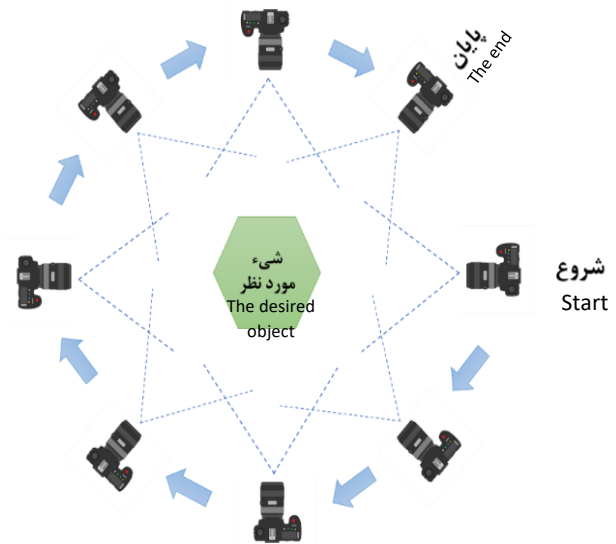
کاهش هزینه، مخصوصاً هزینه محاسباتی همواره مورد توجه محققان بوده و هست. انتخاب تعداد مناسب تصویر در مدل سازی هم در این مورد مستثنا نیست. از این رو، تحقیقات متعددی در سال های اخیر برای بررسی انتخاب صحیح تعداد تصاویر از میان مجموعه داده های بزرگ، برای ساخت مدل سه بعدی انجام شده است. سعادت سرشت و صمدزادگان، با استفاده از روش NSGA-II جانمایی ایستگاه دوربین در

(استریو) است و بر این اساس، جسم سه بعدی ساخته می‌شود [۳۸] و [۳۹]. این روش که برای تخمین مسیر حرکت دوربین مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر اساس ارتباط هندسی میان نقاط متناظر در دو یا چند تصویر از یک فضا شکل گرفته است که به آن هندسه چند منظر نیز گفته می‌شود. تحولات جدید در کامپیوتر بر اساس دید ساختار ناشی از حرکت یا فتوگرامتری استریو (MVS) مطالعات را تنها با یک دوربین دیجیتال برای جمع‌آوری مجموعه‌ای از داده‌های ارتفاعی با کیفیت بالا آسان نموده است [۱۵].

روش ساختار ناشی از حرکت امکان دستیابی سریع، خودکار و کم‌هزینه به داده‌های سه بعدی را فراهم می‌سازد [۱۷]. ساختار اصلی این روش به گونه‌ای است که با استفاده از تصاویر متوالی پوشش‌دار مربوط به یک شیء و پردازش تصویر، مدل سه بعدی دارای مختصات  $(x,y,z)$  ایجاد می‌کند ولی در روش‌های سنتی فتوگرامتری جهت تخمین موقعیت سه بعدی نقاط مدل با استفاده از تصاویر دوبعدی، با در دسترس داشتن موقعیت سه بعدی تعدادی نقاط کنترل از روش‌های ترفیع و تقاطع فتوگرامتری میسر است. در ترفیع فضایی تصویر، نقاط کنترل به صورت دستی در عکس‌های ورودی مشخص می‌شوند و از روند تصویر نقاط در عکس برای تعیین موقعیت دوربین استفاده می‌شود. برای تقاطع در صورت نبود پارامترهای توجیه خارجی دوربین، از مثلث‌بندی برای توجیه دوربین استفاده می‌شود [۴۰]. در حالی که روش ساختار ناشی از حرکت به هیچ‌یک از موارد فوق نیاز ندارد. فرآیند ساختار ناشی از حرکت شامل سه دسته است:

- تشخیص ویژگی‌های متناظر در دنباله تصاویر
  - محاسبه ساختار اولیه به‌عنوان نقطه شروع برای مرحله بعد
  - سرشکنی دسته اشعه (Bundle Adjustment)
- مهم‌ترین مرحله، تناظریابی و ایجاد ارتباط بین تصاویر و تشخیص ویژگی‌های متناظر دو تصویر است. تناظریابی، فرآیندی است که طی آن نقاط و یا عوارض مشترک تصاویر پوشش‌دار شناسایی می‌شوند و از طرفی به‌عنوان یک مرحله مهم و دشوار در فتوگرامتری و بینایی ماشین مطرح است [۴۱]. فرآیند ساختار ناشی از حرکت برای تشخیص ویژگی‌های نقاط متناظر در تصاویر از دو الگوریتم SURF و SIFT استفاده می‌کند.
- الگوریتم SIFT به منظور انجام فرآیند تناظریابی، برای هر عارضه استخراج شده، توصیف‌گر متمایزی با استفاده از تخصیص یک بردار از توزیع مقادیر اندازه و جهت گرادیان در اطراف آن ایجاد می‌کند [۴۲].
- [۴۳]. ایجاد این توصیف‌گر مطابق با پارامترهای مقیاس و جهت هر عارضه، انجام می‌شود تا فرآیند تناظریابی مستقل از مقیاس و دوران میان تصاویر قابل انجام باشد. علاوه بر این دو پارامتر، توصیف‌گر به گونه‌ای ایجاد می‌شود که در مقابل دیگر تغییرات نظیر روشنایی تا حد ممکن مستقل باشد. این الگوریتم شامل دو بخش استخراج عوارض محلی و ایجاد توصیف‌گر برای این عوارض است، این روش را می‌توان مهم‌ترین روش تناظریابی عارضه مبنا دانست [۴۴].

مرحله، مدل سه بعدی مستقلی ساخته شده و مدل‌های سه بعدی با یکدیگر مقایسه گردیدند. برای بررسی وضعیت بافت تصاویر عملیات عکس‌برداری از یک مکعب با بافت ساده و یکنواخت و از یک مکعب با بافت پیچیده انجام شد. در نهایت، با مقایسه کیفیت مدل‌های ایجاد شده از لحاظ کامل بودن و ارائه ساختار هندسی صحیح، تعداد بهینه تصاویر مورد نیاز برای ساخت یک مدل سه بعدی کامل و دقیق مشخص شد.



شکل ۱: روند عکس‌برداری در تولید ابرنقطه سه بعدی  
Fig. 1: The flow of imaging to generate 3D point cloud

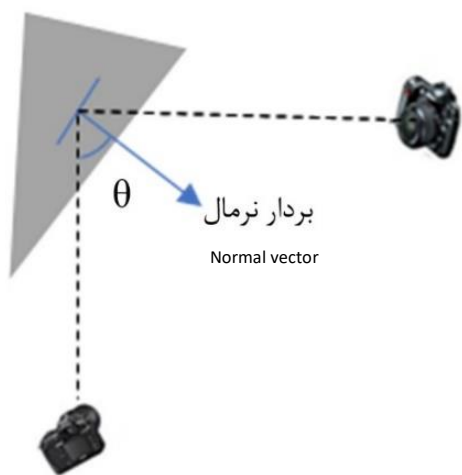
در این تحقیق، پردازش تصاویر در نرم‌افزار Agisoft و صحت ابرنقطه سه بعدی ایجاد شده شیء با شکل هندسی منظم (مکعب) ارزیابی شده است. دو نسخه نرم‌افزار Agisoft به نام‌های Photoscan و Metashape به عنوان نرم‌افزار مستقل امکان انجام پردازش‌های فتوگرامتری و تولید اطلاعات و داده‌های سه بعدی از تصاویر را برای بررسی دقیق‌تر تصاویر در حوزه سامانه اطلاعات جغرافیایی، میراث فرهنگی، ساخت جلوه‌های ویژه و همچنین، اندازه‌گیری غیرمستقیم اشیاء از مقیاس‌های مختلف را ممکن می‌سازند [۳۶، ۳۷].

در این بخش، روش رایج توجیه تصاویر و تولید ابرنقطه به همراه عوامل مؤثر بر هندسه و کیفیت مدل سه بعدی مانند بردار نرمال و میدان دید دوربین، بافت تصویر ارائه شده و در پایان ارزیابی صحت ابرنقاط حاصل با مقایسه با مدل مبنای ریاضی انجام می‌شود.

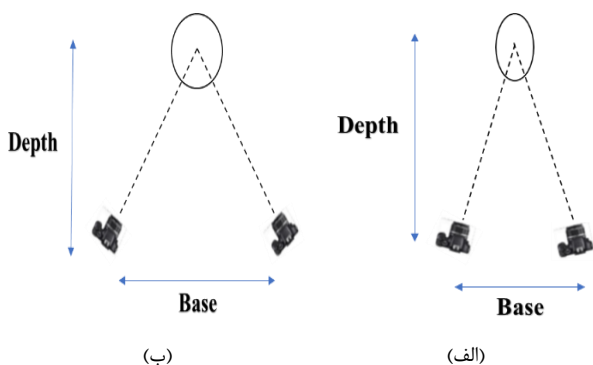
#### ساختار ناشی از حرکت (SfM)

اساس روش ساختار ناشی از حرکت، از نحوه ادراک اجسام توسط چشم انسان الگوبرداری شده است. انسان از طریق حرکت دادن چشم، اطلاعات زیادی در مورد ساختار سه بعدی در محیط اطراف خود درک می‌کند. هنگامی که ناظر حرکت می‌کند و اشیاء اطراف ناظر حرکت می‌کنند، اطلاعات مفید و در عین حال ثابت در تمام تصاویر شناسایی می‌شود. در حقیقت، نحوه عملکرد این روش بر اساس دید سه بعدی

نیاز دارد [۴۷]. زاویه بین بردار نرمال و محور دوربین ارتباط مستقیمی با نسبت  $B/D$  دارد. در واقع، با زیاد شدن نسبت  $B/D$  دقت بیشتری به دست می‌آید (شکل ۴) [۴۸]. در نتیجه، با حذف کردن تصاویر زائد یک شبکه عکس‌برداری با هندسه قوی به دست می‌آید و در نهایت با تعیین زاویه مناسب بین بردار نرمال و محوری نوری ( $\theta$ ) یک شبکه عکس‌برداری مستحکم حاصل می‌شود [۴۹، ۵۰].



شکل ۳: زاویه دید با استفاده از بردار نرمال بر سطح  
Fig. 3: View angle using the normal vector of surface

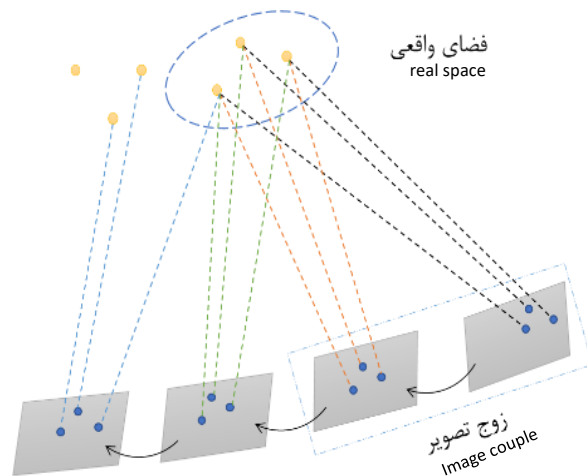


شکل ۴: تقاطع محورهای نوری و بیضی خطا. (الف) تقاطع هندسی ضعیف و نسبت  $B/D$  کم. (ب) تقاطع هندسی قوی و نسبت  $B/D$  زیاد  
Fig. 4: The intersection of the optical rays and error ellipse. A) Poor geometrical intersection and low  $B/D$  ratio. B) Strong geometrical intersection and high  $B/D$  ratio

میدان دید دوربین

زاویه دید نقاط شیء از مکان‌های مختلف دوربین عامل مهمی در طول طراحی و حذف دوربین‌های زائد در شبکه تصویربرداری است. به عبارت دیگر، مکان و جهت‌های طراحی شده برای دوربین‌های تصویربرداری همان‌طور که در شکل ۵، نشان داده شد باید به گونه‌ای باشند که علی‌رغم پوشش تمامی وجه‌های شیء، هر وجه حداقل در دو تصویر حضور داشته باشد تا عمل تناظریابی صورت گیرد. چینش ایستگاه‌های عکس‌برداری شبکه باید به گونه‌ای انجام شود تا یک سازگاری و همبستگی هندسه‌ای میان ایستگاه‌های عکس‌برداری به وجود آید [۵۱].

الگوریتم SURF، یک ردیاب و توصیف‌گر ویژگی‌های محلی است. از این الگوریتم همانند الگوریتم SIFT در بینایی ماشین برای تناظریابی، شناسایی اشیاء و طبقه‌بندی استفاده می‌شود. الگوریتم SURF تا حد زیادی عملکردی مشابه به توصیف‌گر SIFT دارد و چندین برابر سریع‌تر از SIFT عمل می‌کند [۴۵].



شکل ۲: مراحل تخمین مسیر دوربین در روش SfM  
Fig. 2: Camera path estimation steps in SfM method

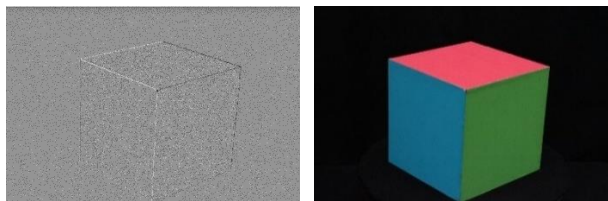
استخراج ساختار شبکه، معمولاً بر اساس خط مشی‌های متفاوتی انجام می‌گیرد که رویکرد افزایشی بیشتر از سایر رویکردها مورد توجه قرار گرفته است. در این رویکرد، تخمین ساختار و موقعیت دوربین از دنباله تصاویر معمولاً با یک گام تشخیص و انطباق (ردیابی) ویژگی برای دو تصویر متوالی آغاز می‌شود. بر اساس تناظر صورت گرفته میان دو تصویر و با کمک روش مثلث‌بندی، یک مدل سه‌بعدی اولیه از فضا ایجاد می‌شود. البته باید توجه داشت که بایستی فاصله میان دو دوربین در این دو تصویر به اندازه کافی زیاد باشد تا نتایج محاسبات اپی‌پلار (Epipolar) قابل اعتماد باشد. سپس به صورت افزایشی، همانند شکل ۲ موقعیت دوربین در تصاویر جدید بر اساس تناظر نقاط سه بعدی فضا و ویژگی‌های دو بعدی ردیابی شده در تصاویر جدید محاسبه می‌شود. با دریافت تصاویر جدید، بخش‌های جدیدی از فضا نیز قابل مشاهده خواهد بود. از این‌رو، توسعه مدل سه بعدی صحنه با استفاده از نقاط جدید و الگوریتم مثلث‌بندی ضروری است. شکل ۲، نمایی از مراحل گفته شده برای تخمین مسیر حرکت دوربین با استفاده از رویکرد افزایشی را نشان می‌دهد [۴۶].

بردارهای نرمال بر سطح

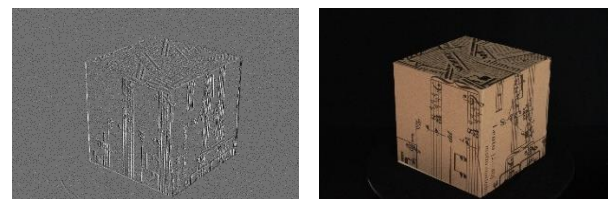
در ابرنقطه تولید شده پس از تناظریابی، به ازای هر سه نقطه یک سطح تولید می‌شود و هر سطح یک بردار نرمال دارد. از بردارهای نرمال سطح برای آزمایش دید نقاط در هر دوربین استفاده می‌شود (شکل ۳). تناظریابی ابرنقاط و بازسازی مدل سه بعدی با دقت مناسب، به درصد کافی از همپوشانی، شباهت میان تصاویر و همچنین نسبت خوب  $B/D$



خاکستری تشکیل شده باشد، جهات گرادیان محاسبه شده همسو نبوده (شکل ۸) و از یک پیکسل به پیکسل بعدی متفاوت است.



شکل ۷: (راست) تصویر اصلی با بافت ساده. (چپ) گرادیان تصویر  
Fig. 7: (Right) Original image with simple texture. (Left) Image gradient



شکل ۸: (راست) تصویر اصلی با بافت پیچیده. (چپ) گرادیان تصویر  
Fig. 8: (Right) Original image with complex texture. (Left) Image gradient

#### ارزیابی دقت ابرنقطه

به منظور ارزیابی صحت و دقت ابرنقاط تولید شده در حالت‌های مختلف در دو گروه کلی تصاویر با بافت ساده و با بافت پیچیده در مقایسه با یک مدل ریاضی از مکعب، جذر میانگین مربعات خطا مورد استفاده قرار گرفت.

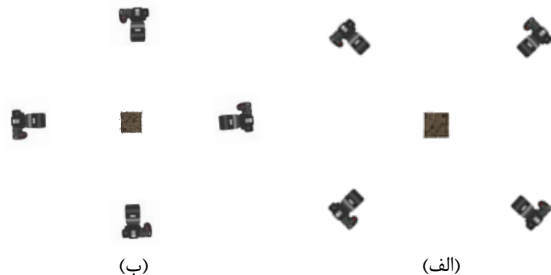
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2}{n}} \quad (1) \text{ معادله ۱}$$

که  $(\hat{x}_i - x_i)$  اختلاف فاصله نقاط ابرنقطه سه بعدی و مدل ریاضی (خطا)،  $n$  تعداد نقاط و  $i$  نیز شماره نقاط است.

#### روند کار

هدف از اجرای این تحقیق، بررسی تأثیر طراحی شبکه عکس برداری و بافت تصاویر بر کیفیت ساخت مدل سه بعدی دقیق و تولید ابرنقطه با حداقل تعداد عکس در یک نوار با استفاده از دوربین عکس برداری رقومی است. کلیات روش پیشنهادی به طور شماتیک در فلوچارت شکل ۹ ارائه شده است.

در این تحقیق، پس از تولید ابرنقاط در دو نسخه از نرم افزار Agisoft به کارگیری دو سری تصاویر با بافت ساده و بافت پیچیده کیفیت ابرنقاط از نظر بصری و آماری مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند. در روند کار برای ارزیابی کیفیت ابرنقطه در ابتدا نحوه قرارگیری ایستگاه‌های دوربین حول شیء یا به اصطلاح هندسه شبکه عکس برداری مورد بررسی قرار گرفت. به همین جهت طبق شکل ۱، پنج حالت برای شبکه عکس برداری انتخاب شد. در ادامه، همراه با تعیین زاویه بین محورهای نوری تصاویر، جهت تعریف حالت‌های عکس برداری، بافت تصاویر نیز مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از شیء با بافت پیچیده موجب تناظریابی بهتر عوارض می‌شود. همان طور که در شکل ۸ نشان داده شد، تصاویر با بافت پیچیده



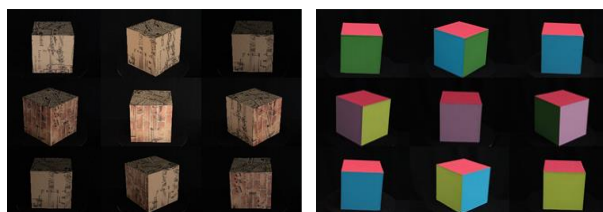
شکل ۵: محل قرارگیری دوربین‌ها. (الف) علی‌رغم حفظ پوشش تمامی وجه‌های مکعب، هر وجه در دو تصویر حضور دارد. (ب) حفظ پوشش تمامی وجه‌های مکعب، هر وجه تنها در یک تصویر حضور دارد

Fig. 5: Location of cameras. A) Despite maintaining the coverage of all the faces of the cube, each face is present in two images. B) To maintain the coverage of all the faces of the cube, each face is present in only one image

در طراحی شبکه و تعیین ایستگاه‌های دوربین، همانند شکل ۵-الف ایستگاه‌ها باید در مکان‌هایی قرار گیرند که علاوه بر پوشش تمامی وجه‌های شیء، بتوان از تصاویر اخذ شده در تناظریابی نیز استفاده نمود. نمی‌توان از تصاویر اخذ شده شکل ۵-ب در تناظریابی استفاده نمود. در مورد اجسامی که شکل هندسی منظم و مشخصی دارند مانند مکعب، توصیه می‌شود ایستگاه‌های اولیه و اصلی مقابل رئوس شیء تعیین شوند تا دو وجه شیء در میدان دید دوربین قرار گیرد.

#### بافت تصویر

در طراحی شبکه و تعیین ایستگاه‌های دوربین، همانند شکل ۵-الف ایستگاه‌ها باید در مکان‌هایی قرار گیرند که علاوه بر پوشش تمامی وجه‌های شیء، بتوان از تصاویر اخذ شده در تناظریابی نیز استفاده نمود. نمی‌توان از تصاویر اخذ شده شکل ۵-ب در تناظریابی استفاده نمود. در مورد اجسامی که شکل هندسی منظم و مشخصی دارند مانند مکعب، توصیه می‌شود ایستگاه‌های اولیه و اصلی مقابل رئوس شیء تعیین شوند تا دو وجه شیء در میدان دید دوربین قرار گیرد.

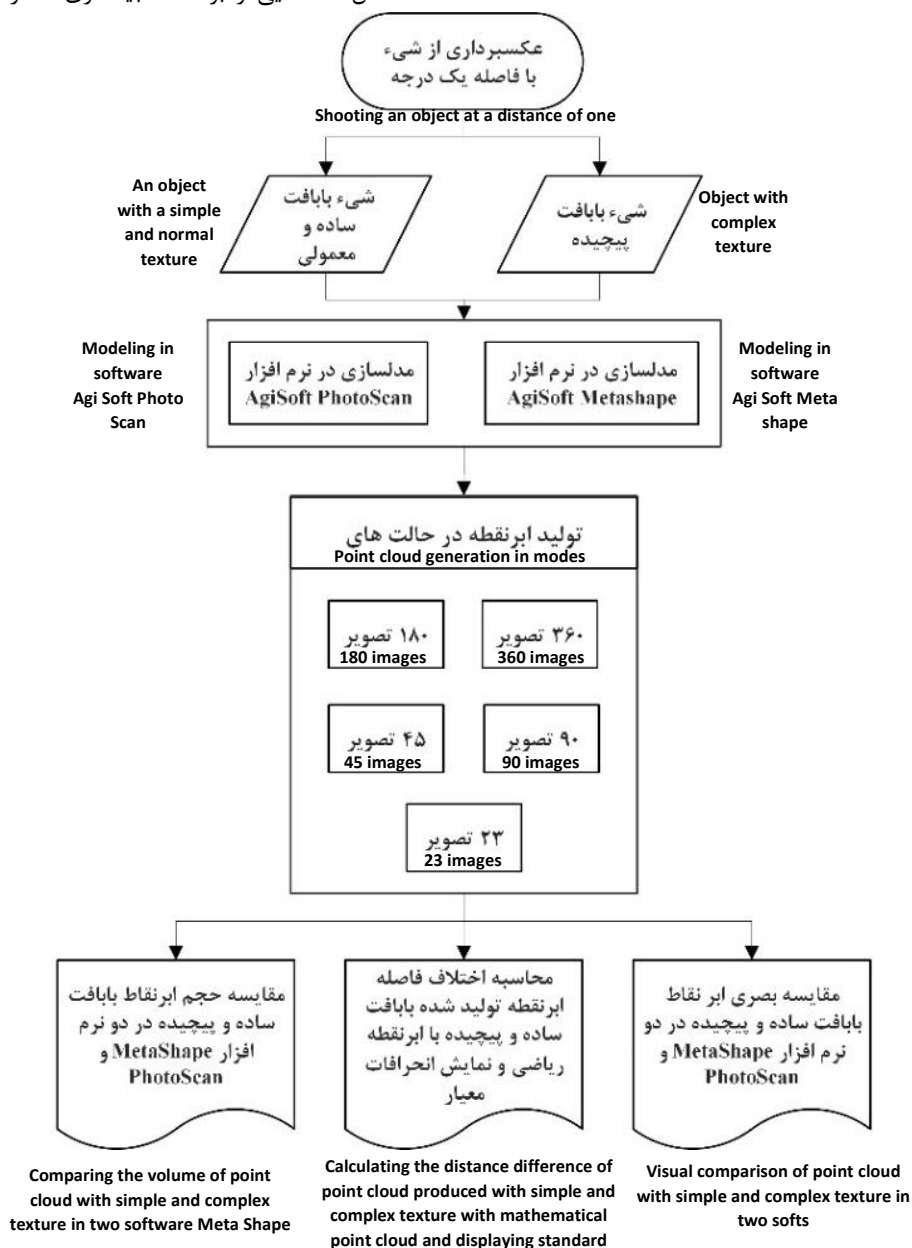


شکل ۶: (راست) تصاویر با بافت ساده و (چپ) تصاویر با بافت پیچیده  
Fig. 6: (right) images with simple texture and (left) images with complex texture

یکی از راه‌های نشان دادن وجود یا عدم وجود بافت در تصاویر استفاده از گرادیان تصویر است. چنانچه شیء مورد نظر مانند شکل ۷، دارای بافت ثابت و از طیف رنگی محدودی تشکیل شده باشد، جهات محاسبه شده توسط اپراتورهای گرادیان، همگی هم‌سو بوده و تنها لبه‌های عارضه مشخص می‌شود. در واقع، از نظر گرادیان اضلاع مکعب با گرادیان پس‌زمینه تفاوت چندانی ندارد. ولی چنانچه مانند شکل ۸-الف شیء مورد نظر دارای بافت پیچیده و الگوی غیر ثابت از مقادیر درجات

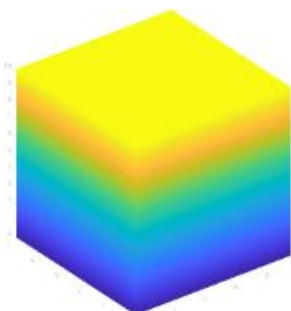
برای مقایسه کیفیت ابرنقطه ایجاد شده از یک مدل ریاضی عاری از خطا استفاده می‌شود. این مدل ریاضی به صورت یک مکعب (با ابعاد واقعی شیء  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ) به صورت ابرنقطه با تراکم مناسب شبیه‌سازی شد. شکل ۱۰ شمایی از ابرنقطه شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

گرادین‌های پیچیده و به دنبال آن جهت‌های گرادین غیر هم‌سو تولید می‌کنند و در مقابل آن می‌توان به شکل ۷ اشاره کرد که تصاویر با بافت ساده گرادین‌های یکسان تولید می‌کنند.



شکل ۹: روند نمای کلی روش پیشنهادی

Fig. 9: Overview process of the proposed method

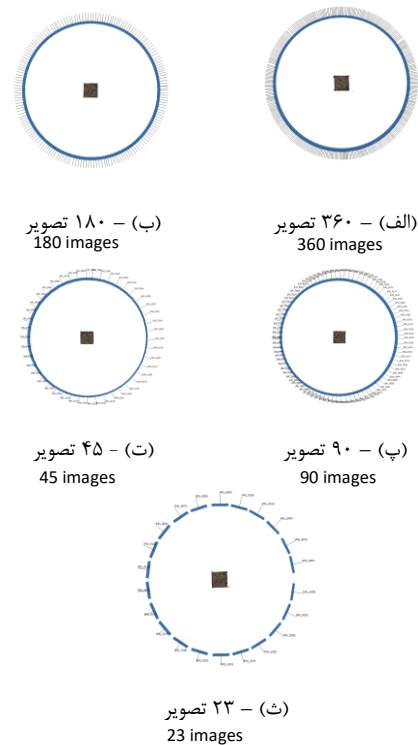


شکل ۱۰: ابرنقطه ریاضی که بر اساس ارتفاع رنگ‌آمیزی شد.

Fig. 10: Reference point cloud which was colored based on height

## تولید ابرنقطه

برای بررسی تأثیر بافت تصویر بر کیفیت ابرنقطه، ابرنقطه برای مکعب با بافت ساده و پیچیده تولید شد و برای بررسی تأثیر تعداد ایستگاه‌های عکس‌برداری دوربین ۳۶۰ عکس با فاصله زاویه‌ای یک درجه (به صورت یک درجه یک درجه) از جسم اخذ شد. در مرحله بعدی با در نظر گرفتن فاصله زاویه یک‌نواخت بین تصاویر، از تعداد تصاویر کاسته شد. پنج حالت برای تصاویر با بافت ساده و پیچیده در نظر گرفته شد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: ایستگاه‌های تصویربرداری در حالت‌های مختلف

Fig. 11: Image location in different modes

## مقایسه عملکرد Photoscan و Metashape

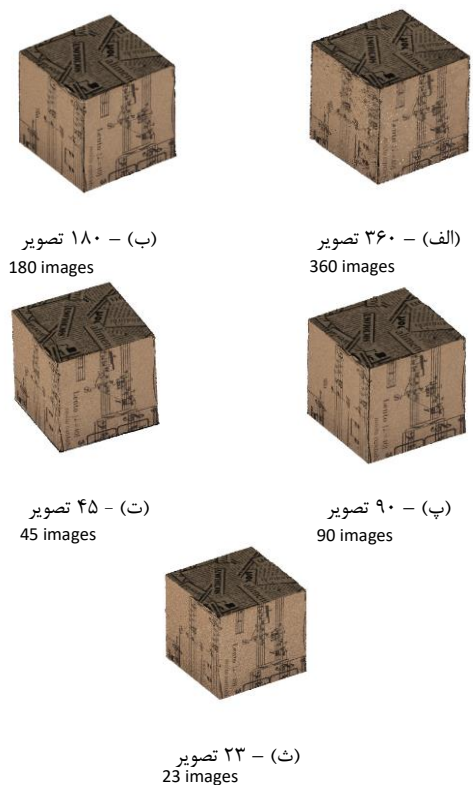
طی چند دهه گذشته نرم‌افزارهای متعددی مبتنی بر تکنیک SfM توسعه داده شدند. از جمله نرم‌افزارهای تولید مدل سه بعدی با بهره‌گیری از تصاویر، می‌توان نرم‌افزار Agisoft را نام برد. در این تحقیق، دو نسخه از نرم‌افزار Agisoft با نام‌های Photoscan (1.4.0.5076) و (1.5.2.7838) از نظر تولید ابرنقطه سه بعدی و تشخیص نقاط متناظر با یکدیگر مقایسه می‌شوند. ابرنقطه با استفاده از دو نسخه نرم‌افزار Agisoft انجام شده و تحلیل‌های بصری و هندسی بر روی خروجی‌های این نرم‌افزار انجام شد. [۳۶، ۳۷].

در شکل ۱۲ نتایج ابرنقاط تولید شده از تصاویر با بافت ساده در نسخه Photoscan نمایش داده شد. مقایسه بصری ابرنقاط تولید شده حاکی از آن است که بهترین نتیجه در حالت چهارم یعنی ابرنقطه حاصل از ۴۵ به دست آمده است. به دلیل ایجاد شبکه تصویربرداری قوی ابرنقطه ایجاد شده تمامی بخش‌های مکعب را شامل شده است و هیچ‌گونه نویزی در لبه‌ها دیده نمی‌شود. پس از حالت چهارم می‌توان به حالت سوم (شکل ۱۲-پ) اشاره کرد که ابرنقطه ایجاد شده بسیار شبیه ابرنقطه

حالت چهارم است، تنها با این تفاوت که به علت وجود تصاویر اضافی حساسیت نرم‌افزار برای یافتن نقاط متناظر بالا رفته و در نتیجه، ابرنقطه حجیم‌تری تولید کرده است. در حالت‌های اول و دوم (به ترتیب ۳۶۰ و ۱۸۰ تصویر) نرم‌افزار نیز در حساس‌ترین حالت قرار گرفته و ابرنقطه کاملی از مکعب ایجاد شده است. در حالت پنجم (۲۳ تصویر) ابرنقطه ایجاد شده به علت کمبود عکس ناقص بوده و نرم‌افزار در تناظریابی وجه‌هایی از مکعب دچار مشکل شده است. علت نقص‌های موجود را می‌توان به عدم حضور نقاط شیء در حداقل دو تا سه تصویر و ناتوانی الگوریتم‌های تناظریابی در شناسایی نقاط متناظر اشاره کرد. در شکل ۱۳ نتایج ابرنقاط تولید شده از تصاویر با بافت پیچیده در نسخه Photoscan نمایش داده شد. در همه حالت‌ها، ابرنقطه کامل و بدون هیچ‌گونه نقصی ایجاد شده است و تنها تفاوت حالت‌های مختلف، حجم ابرنقطه و زمان پردازش است. با به کارگیری از بافت‌های پیچیده در تصاویر اخذ شده، عوارض تصویر افزایش پیدا می‌کند و حضور عوارض اضافی در تصاویر در روند تناظریابی بسیار مؤثر بوده است.

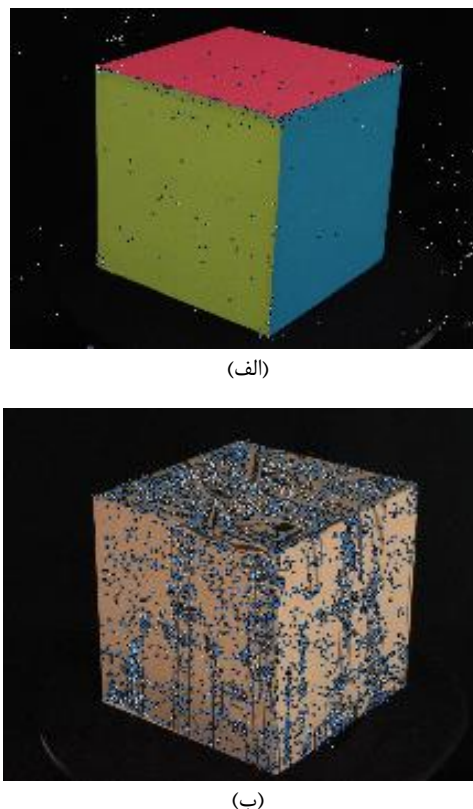
شکل ۱۴ نتایج ابرنقاط تولید شده از تصاویر با بافت ساده در نسخه Metashape را نمایش می‌دهد. با تفسیر بصری آن می‌توان دریافت که در حالت اول و دوم که از تصاویر با زاویه بین محورهای نوری یک و دو درجه استفاده شده، شبکه تصویربرداری ضعیفی را ایجاد کرده است. در این دو حالت، ابرنقطه دچار نقصان شده و این نسخه نرم‌افزار نتوانسته به خوبی ابرنقطه کاملی را ایجاد کند. برخلاف نسخه PhotoScan، بهترین ابرنقطه ساخته شده در نسخه Metashape مربوط به حالت سوم (۹۰ عکس) بوده و بعد از آن می‌توان به حالت چهارم (۴۵ عکس) اشاره کرد. ابرنقاط تولید شده در نسخه Metashape با وجود کامل نبودن در تعدادی از حالت‌ها، دارای نقاط زائد و نویز کمتری در اطراف لبه‌ها هستند. در حالت شکل ۱۴-ث ابرنقطه ایجاد شده ناقص بوده و همانند Photoscan علت نقص موجود در این حالت را می‌توان به عدم حضور نقاط شیء در حداقل دو تا سه تصویر اشاره کرد. همان‌طور که در شکل ۱۵ نشان داده شده، ابرنقاط تولید شده با استفاده از تصاویر با بافت پیچیده در حالت‌های مختلف از نظر بصری مشابه نتایج Photoscan (شکل ۱۳) در حالات مختلف هستند.

برای ساخت ابرنقاط با تعداد تصاویر کم‌تر از ۴۵ تصویر علاوه بر شبکه‌ای مستحکم، وجود عوارض مختلف در تصویر الزامی است. همان‌طور در شکل ۱۶ نشان داده شده در هنگام استفاده از تصاویر با بافت ساده الگوریتم‌های تناظریابی در پس‌زمینه تصویر نقاط متناظر را شناسایی کرده‌اند. به عبارت دیگر، توصیف‌گرهای ایجاد شده برای نقاط صفحات مکعب وابستگی بالایی با توصیف‌گرهای ایجاد شده با نقاط پس‌زمینه دارند. از طرفی الگوریتم‌های تناظریابی به علت وجود ویژگی‌های زیاد، توصیف‌گرهای مستقل و قدرتمندی تولید کرده‌اند که وابستگی بسیار کمی با توصیف‌گرهای پس‌زمینه دارد و به همین دلیل تمامی نقاط بر روی اضلاع مکعب مشخص شدند. پس از مشاهده نتایج ابرنقطه تولید شده با تصاویری با بافت پیچیده و تفسیر بصری می‌توان دریافت که حضور بافت‌های پیچیده در تصاویر در مقایسه با ابرنقاط تولید شده با بافت ساده تأثیر بسزایی دارند.



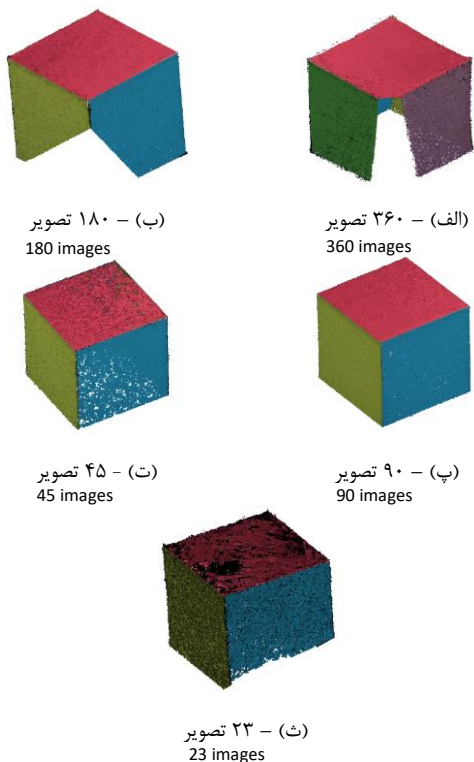
شکل ۱۴: ابرنقطه‌های متراکم ایجاد شده در حالت‌های مختلف با تصاویر با بافت پیچیده در نرم‌افزار Photoscan

Fig. 14: Dense cloud created in various modes with complex textured images in Photoscan software



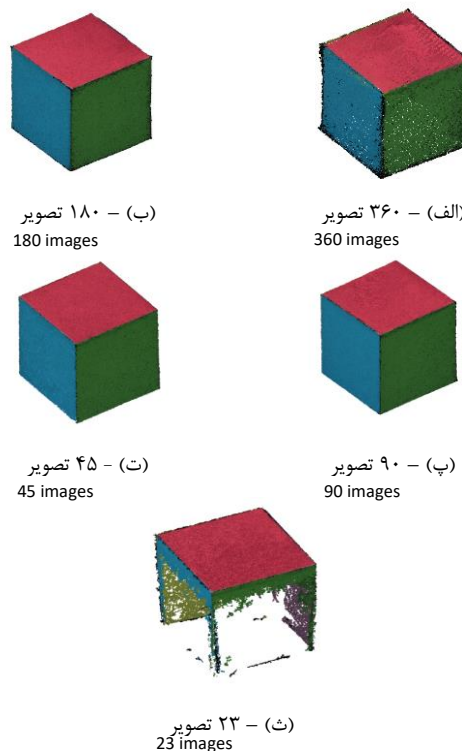
شکل ۱۲: تأثیر بافت در تناظریابی نقاط. (الف) تصاویر با بافت ساده. (ب) تصاویر با بافت پیچیده.

Fig. 12: The effect of texture on matching points. (A) Images with simple texture. (B) Images with complex texture



شکل ۱۵: ابرنقطه‌های متراکم ایجاد شده در حالت‌های مختلف با تصاویر با بافت ساده در نرم‌افزار Metashape

Fig. 15: Dense cloud created in various modes with simple textured images in Metashape software



شکل ۱۳: ابرنقطه‌های متراکم ایجاد شده در حالت‌های مختلف با تصاویر با بافت ساده در نرم‌افزار Photoscan

Fig. 13: Dense cloud created in various modes with simple textured images in Photoscan software



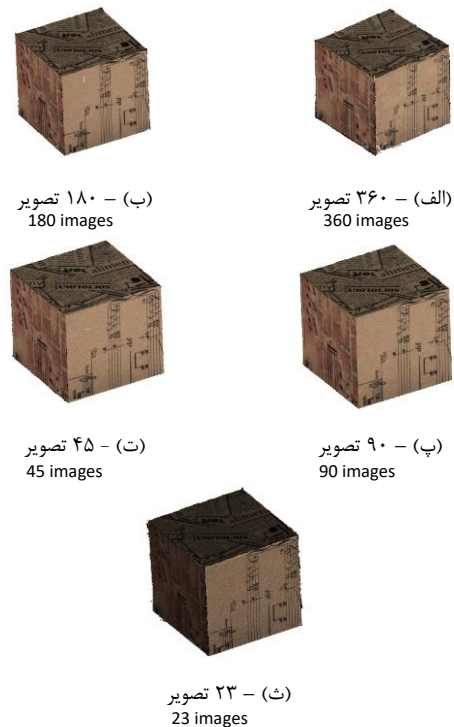
جدول ۱: مقایسه خطای کمترین مربعات (میلی متر) ابرنقاط برای حالت‌های مختلف با تصاویر با بافت ساده در نرم‌افزار Photoscan و Metashape  
Table 1: Comparison of the least squares error (mm) of the point cloud for different modes on images with simple texture in Photoscan and Metashape software

RMSE (mm)		حالت state of
PhotoScan	Metashape	
0.47	0.10	اول (۳۶۰ تصویر) First (360 images).
0.02	0.03	دوم (۱۸۰ تصویر) Second (180 images).
0.05	0.05	سوم (۹۰ تصویر) Third (90 images).
0.01	0.09	چهارم (۴۵ تصویر) Fourth (45 pictures).
0.15	0.46	پنجم (۲۳ تصویر) Fifth (23 pictures).

جدول ۲: مقایسه خطای کمترین مربعات (میلی متر) ابرنقاط برای حالت‌های مختلف با تصاویر با بافت پیچیده در نرم‌افزار Photoscan و Metashape  
Table 2: Comparison of the least squares error (mm) of the point cloud for different modes on images with complex texture in Photoscan and Metashape software

RMSE (mm)		حالت state of
PhotoScan	Metashape	
0.03	0.06	اول (۳۶۰ تصویر) First (360 images)
0.04	0.04	دوم (۱۸۰ تصویر) Second (180 images)
0.03	0.04	سوم (۹۰ تصویر) Third (90 images)
0.02	0.05	چهارم (۴۵ تصویر) Fourth (45 pictures)
0.11	0.46	پنجم (۲۳ تصویر) Fifth (23 pictures)

همین‌طور، تغییرات مشابه توضیحات قبل در ستون Metashape در حالت دوم (۱۸۰ تصویر) نسبت به حالت سوم (۹۰ تصویر) دیده می‌شود. جدول ۲ نیز مقادیر خطای کمترین مربعات مربوط به ابرنقاط ساخته‌شده توسط تصاویر با بافت پیچیده در دو نرم‌افزار Metashape و Photoscan را نشان می‌دهد. نتایج بهترین ابرنقطه در جدول ۲ مربوط به حالت چهارم (۴۵ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۲ میلی‌متر در نرم‌افزار Photoscan و حالت سوم (۹۰ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۴ میلی‌متر در نرم‌افزار Metashape است.

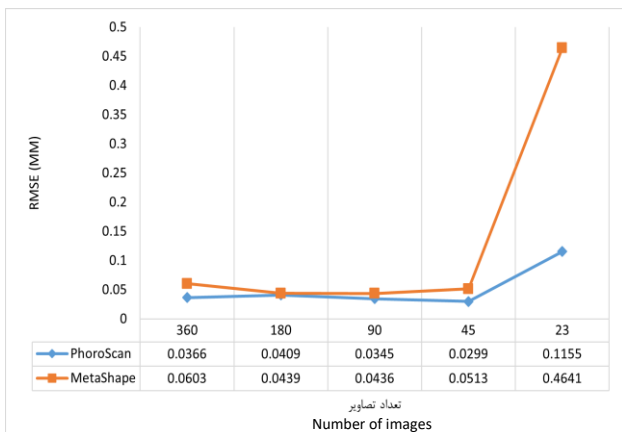


شکل ۱۶: ابرنقطه‌های متراکم ایجادشده در حالت‌های مختلف با تصاویر با بافت پیچیده در نرم‌افزار Metashape  
Fig. 16: Dense cloud created in various modes with simple textured images in Metashape software

### ارزیابی و صحت‌سنجی ابرنقاط

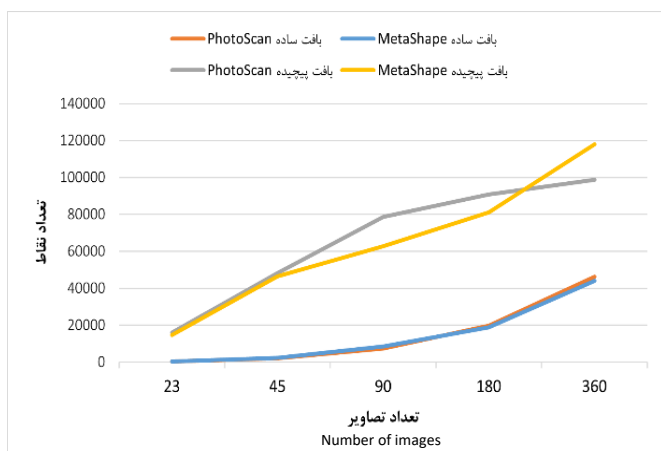
برای ارزیابی ابرنقاط تولید شده در حالات مختلف با استفاده از تصاویر نمی‌توان تنها به تفسیر بصری اکتفا کرد. از این‌رو، برای صحت‌سنجی ابرنقاط تولید شده از تکنیک‌های آماری و هندسی استفاده شد. در این بخش، ابرنقاط تولید شده از طریق روش فتوگرامتری با ابرنقطه‌ای که به روش ریاضی تولید شده بود، مقایسه شدند و در نهایت میزان اختلاف این ابرنقاط با هم محاسبه شد. جدول ۱ مقادیر خطای کمترین مربعات مربوط به ابرنقاط ساخته شده توسط تصاویر با بافت ساده در دو نرم‌افزار Photoscan و Metashape را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، تفسیر بصری بخش (۲-۳) در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. در ستون مربوط به نرم‌افزار Photoscan با افزایش تعداد تصاویر علاوه بر نویزی شدن ابرنقطه، میزان شباهت مدل ساخته شده به مکعب نیز کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج، بهترین مدل سه‌بعدی که شباهت زیادی با مکعب دارد مربوط به حالت چهارم (۴۵ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۱ میلی‌متر است. در مورد نرم‌افزار Metashape بهترین مدل مربوط به حالت سوم (۹۰ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۵ میلی‌متر است. طبق جدول ۱ در ستون مربوط به Photoscan، مقدار خطای کمترین مربعات حالت پنجم (۲۳ تصویر) کم‌تر از حالت اول (۳۶۰ تصویر) به‌دست آمده است. این نتیجه به دلیل وجود نقص در ابرنقطه حالت پنجم است. به‌عبارت‌دیگر، الگوریتم تناظریابی توانسته تعداد نقاط کمی را تشخیص دهد که اختلاف کمی با نقاط متناظرشان در ابرنقطه ریاضی داشته و به همین علت مقدار خطای کمترین مربعات آن کمتر از حالت اول محاسبه شد.





شکل ۱۸: نمودار خطای کمترین مربعات (میلی‌متر) ابرنقاط برای حالت‌های مختلف با تصاویر با بافت پیچیده در نرم‌افزار PhotoScan و MetaShape  
 Fig. 18: Least squares (mm) error diagram of superpoints for different modes on images with complex texture in Photoscan and Metashape software

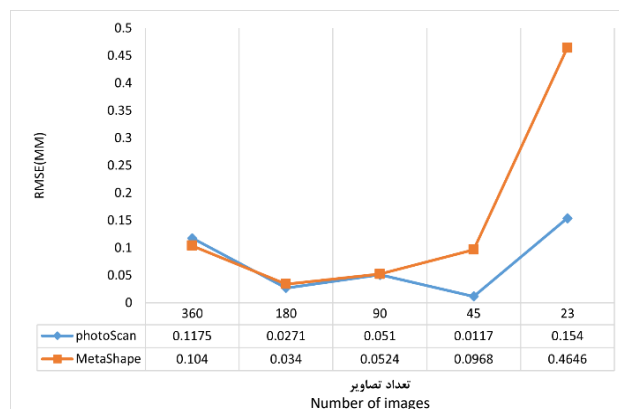
در شکل ۲۱ تا ۲۴ اختلاف فاصله بین ابرنقطه مدل‌سازی شده و ابرنقطه ریاضی در حالت‌های مختلف به صورت بصری نمایش داده شده است. به طور کلی در تمامی حالات مربوط به نرم‌افزارهای Photoscan و Metashape اختلاف فاصله در لبه‌ها بیشتر دیده می‌شود. به عبارت دیگر در مدل‌های ایجادشده لبه‌ها به سمت بیرون کشیده شده‌اند و این بیرون‌زدگی لبه‌ها ابرنقاط حاصل از تصاویر با بافت ساده بیشتر دیده می‌شود (شکل ۲۱ و ۲۳). محدوده خطای تمامی حالت‌ها به جز حالتی که از ۲۳ تصویر استفاده شد، نزدیک یکدیگر هستند و تفاوت چندانی ندارند؛ اما حالاتی که مربوط به اختلاف فاصله ابرنقطه ریاضی و ابرنقطه با تصاویر با بافت پیچیده در Photoscan است (شکل ۲۲) دارای خطای کمتری نسبت به بقیه حالت‌ها است. در شکل ۲۴ با افزایش تعداد تصاویر مقدار اختلاف بین دو ابرنقطه ریاضی و مدل‌سازی شده بیشتر می‌شود و این اختلاف در حالت ۱۸۰ تصویر بیشتر از بقیه حالت‌ها مشاهده می‌شود. در این شکل برخلاف حالت‌های دیگر علاوه بر لبه‌ها، سطح مکعب نیز با ابرنقطه ریاضی دارای اختلاف است.



شکل ۱۹ - نمودار تراکم ابرنقاط تنک  
 Fig. 19: Number of points in thin point cloud

با توجه نتایج مقدار خطای کمترین مربعات از اختلاف فاصله بین ابرنقطه مدل‌سازی شده با استفاده از نرم‌افزارها و ابرنقطه ریاضی در بیشتر حالت‌ها شبیه هم هستند. در حالت‌هایی که از ۳۶۰، ۱۸۰ و یا ۹۰ تصویر برای مدل‌سازی استفاده شد اختلاف خطای کمترین مربعات تقریباً ۰/۰۱ میلی‌متر بوده ولی در حالت ۴۵ و ۲۳ تصویر این اختلاف به ترتیب به ۰/۰۸ و ۰/۳۱ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۱۷). نمودار تغییرات خطای کمترین مربعات ابرنقطه حاصل از تصاویری با بافت پیچیده را نشان می‌دهد. نتایج ابرنقطه با بافت پیچیده در نمودار شکل ۱۸ نمایش داده شد که همانند نمودار شکل ۱۷ در ابرنقاط حاصل از ۳۶۰، ۱۸۰ و ۹۰ تصویر است و اختلاف زیادی بین نتایج دو نرم‌افزار مشاهده نمی‌شود. در حالتی که از ۴۵ تصویر استفاده شد این اختلاف به ۰/۰۲ میلی‌متر رسیده و در مقایسه با تصاویر با بافت ساده ۰/۰۶ میلی‌متر کاهش پیدا کرده است. همچنین، در حالت ۲۳ تصویر این اختلاف به ۰/۰۴ میلی‌متر رسیده است.

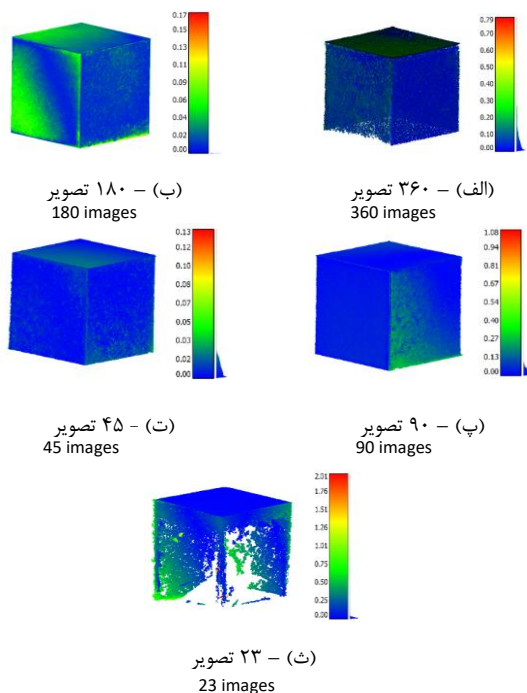
نتایج شکل ۱۹ و ۲۰ تعداد ابرنقطه تنک و ابرنقطه متراکم را نشان می‌دهد طبق شکل ۱۹ ابرنقطه تنک تولید شده در نرم‌افزار Photoscan در اکثر حالت‌ها بیشتر از نرم‌افزار Metashape است و علت آن را می‌توان وجود نویز در ابرنقاط در Photoscan که در بخش تفسیر بصری توضیح داده شد، اشاره کرد. در این حالت، نمودار تغییرات تراکم ابرنقاط تنک نمایش داده شد که روند صعودی تراکم ابرنقاط را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، ابرنقطه تولید شده حاصل از تصاویر با بافت پیچیده به علت وجود الگوهای متفاوت برای تناظریابی، ابرنقطه متراکم‌تری نسبت به ابرنقاط تولید شده حاصل از تصاویر با بافت ساده ارائه می‌دهد. ولی در شکل ۲۰ با وجود صعودی بودن تراکم ابرنقاط، تصاویر با بافت ساده تعداد نقاط بیشتری تولید می‌کنند که وجود نویز نیز در افزایش این حجم ابرنقطه بی‌تأثیر نیست. در این حالت، روند کلی افزایش تعداد ابرنقاط در ابرنقاط متراکم، مشابه ابرنقطه تنک بوده و اختلاف چندانی بین آن‌ها مشاهده نمی‌شود.



شکل ۱۷: نمودار خطای کمترین مربعات (میلی‌متر) ابرنقاط برای حالت‌های مختلف با تصاویر با بافت ساده در نرم‌افزار PhotoScan و MetaShape  
 Fig. 17: Least squares (mm) error diagram of point cloud for different modes on images with simple texture in Photoscan and Metashape software

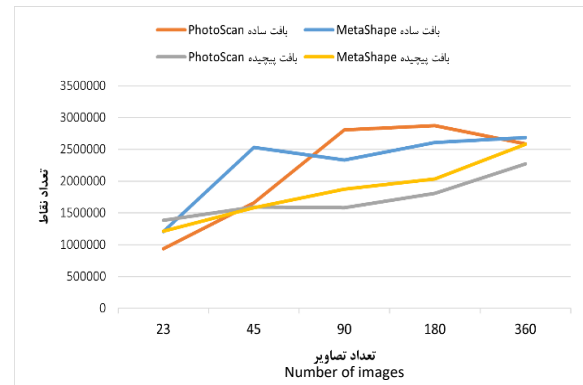
در کنار ارزیابی‌های کمی صورت گرفته، مقدار تغییرات و انحراف معیارهای ابرنقاط نسبت به ابرنقطه ریاضی به صورت بصری در شکل ۲۱ تا ۲۴ نشان داده شدند. به طور کلی در تمامی حالات مربوط به نرم‌افزارهای Photoscan و Metashape اختلاف ابرنقطه مبنا (ابرنقطه ریاضی) در لبه‌ها بیشتر دیده می‌شود. در بین این حالت‌ها در شکل ۲۳ که مربوط به اختلاف فاصله ابرنقطه ریاضی و ابرنقطه با تصاویر با بافت پیچیده در Photoscan است، خطای کمتری نسبت به بقیه حالت‌ها مشاهده می‌شود. فقط در حالتی که از ۴۵ تصویر استفاده شد مقداری در لبه‌ها با ابرنقطه ریاضی تفاوت وجود دارد که این برتری نسخه Photoscan را نشان می‌دهد. در انتها پارامترهای کالیبراسیون برای حالات بهینه یعنی استفاده از ۴۵ تصویر برای تصاویر با بافت پیچیده و بافت ساده اجرا شد و اختلاف چشم‌گیری مشاهده نشد.

در کنار ارزیابی و تحلیل نتایج نیاز است تا به محدودیت‌های روش پیشنهاد شده در این تحقیق اشاره کرد. از جمله محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به دو مورد جنس اشیا و شبکه عکسبرداری اشاره نمود. روش اجرا شده در مواجهه با اشیایی که سطح شیشه‌ای و یا براق دارند، کارایی ندارد. زیرا تکنیک ساختار ناشی از حرکت همان‌طور که پیشتر بیان شد، تنها توانایی مدل‌سازی اشیایی را دارد که دارای بافت مناسب هستند. از طرفی روند عکس‌برداری، تنها در یک ردیف انجام شده است. به عبارت دیگر شبکه عکس‌برداری به صورت نیم‌کره اجرا نشده است. در روش اجرا شده در این تحقیق، در صورت استفاده از اشیای پیچیده که شکل هندسی مشخصی ندارد (همانند آثار باستانی)، امکان ایجاد نواحی پنهان زیاد می‌شود و نیاز است تا به صورت نیم‌کره و بیشتر از یک ردیف از شیء مدنظر عکس‌برداری کرد.



شکل ۲۱: توزیع مکانی باقی‌مانده (میلی‌متر) ابرنقطه ریاضی و ابرنقطه با تصاویر بافت ساده در Photoscan

Fig. 21: Spatial distribution of residuals (mm) Reference point cloud and point cloud with simple texture images in Photoscan



شکل ۲۰: نمودار تراکم ابرنقاط متراکم

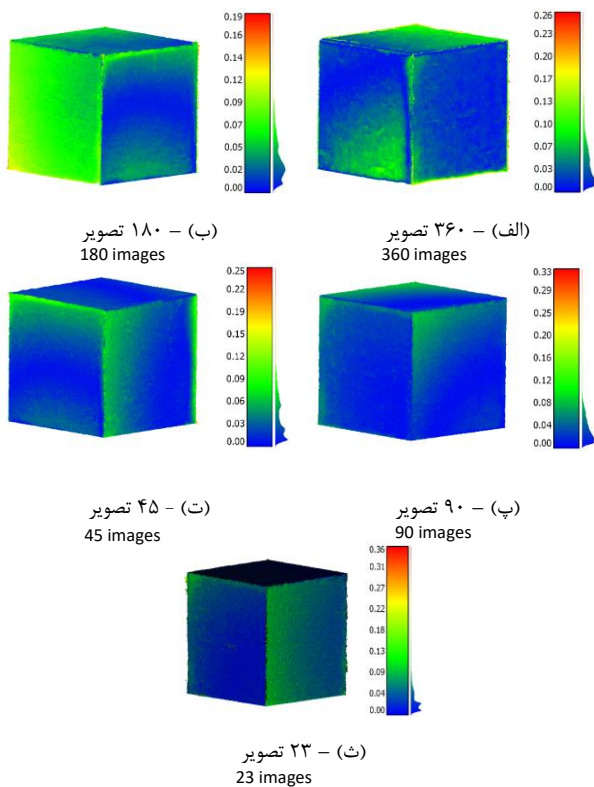
Fig. 20: Number of points in thin point cloud

## تحلیل نتایج

همان‌طور که پیشتر بیان شد، در این تحقیق، پس از تولید ابرنقاط در دو نسخه از نرم‌افزار Agisoft و به‌کارگیری دو سری تصاویر با بافت ساده و بافت پیچیده کیفیت ابرنقاط از نظر بصری و آماری مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند.

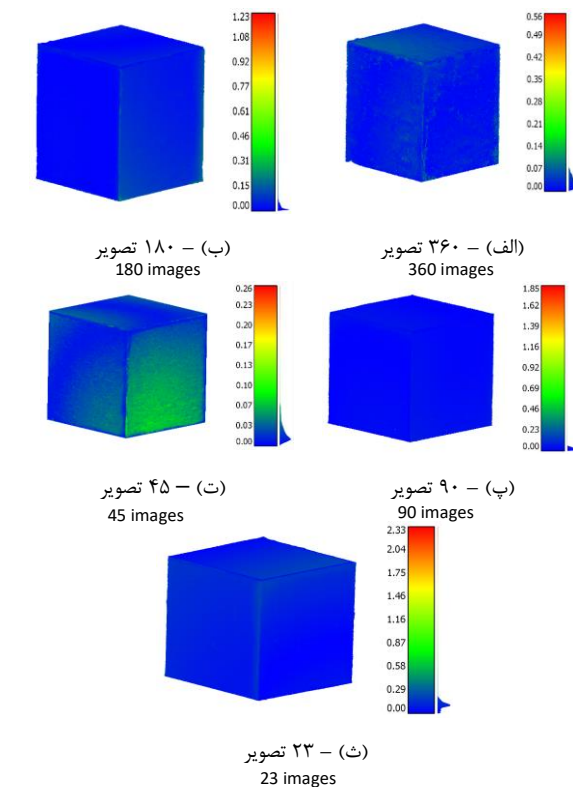
ارزیابی آماری ابرنقاط و مقایسه آن با ابرنقاط ریاضی تکمیل‌کننده ارزیابی و مشاهدات بصری ابرنقاط است. طبق جدول ۱ بهترین ابرنقطه با استفاده از تصاویر با بافت ساده در نرم‌افزار Photoscan در حالت چهارم (۴۵ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۱ میلی‌متر و همچنین حالت ذکر شده در نرم‌افزار Metashape نیز با دقت کمتری ۰/۰۹ میلی‌متر تولید شد. طبق نتایج جدول ۲ بهترین ابرنقطه تولید شده با استفاده از تصاویر با بافت پیچیده در نرم‌افزار Photoscan در حالت چهارم (۴۵ تصویر) با مقدار خطای ۰/۰۲ میلی‌متر و همچنین حالت ذکر شده در نرم‌افزار Metashape نیز با دقت کمتری ۰/۰۵ میلی‌متر تولید شد. بهترین مدل تولید شده در نرم‌افزار Metashape مربوط به حالت سوم (۹۰ تصویر) با دقت ۰/۰۵ میلی‌متر در تصاویر با بافت ساده و ۰/۰۴ میلی‌متر در تصاویر با بافت پیچیده است؛ که نشان می‌دهد نرم‌افزار Photoscan توانسته در این زمینه بهتر از Metashape عمل کند. در مورد وجود نویز و نقاط اضافی در ابرنقطه Metashape توانسته این موضوع را مدیریت کند ولی طبق شکل ۱۴ در مورد کامل بودن ابرنقطه تولید شده و وجود نقص هنگام استفاده از تصاویر با بافت ساده نسخه Metashape دچار مشکل شده و Photoscan در این زمینه بهتر عمل کرده است.

پس از بررسی کیفیت و ارزیابی ابرنقاط، تراکم نقاط تولید شده دو نرم‌افزار در حالات مختلف با یکدیگر مقایسه شدند. طبق جدول ۳ حجم ابرنقطه تنک تولید شده در نرم‌افزار Photoscan در اکثر حالت‌ها بیشتر از نرم‌افزار Metashape است. طبق نتایج نمودارهای شکل ۱۹ و ۲۰ روند افزایش حجم ابرنقاط صعودی است. با توجه به نتایج، تصاویر با بافت پیچیده ابرنقطه حجیم‌تری نسبت به تصاویر با بافت ساده تولید می‌کنند. از طرف دیگر، در شکل ۱۹ اختلاف زیادی بین نمودارها تغییرات حجم ابرنقطه تولید شده با تصاویر با بافت ساده و با بافت پیچیده وجود دارد که اختلاف زیادی در بین نمودارهای شکل ۲۰ مشاهده نمی‌شود.



شکل ۲۴: توزیع مکانی باقی‌مانده (میلی‌متر) ابرنقطه ریاضی و ابرنقطه با تصاویر با بافت پیچیده در Metashape

Fig. 24: Spatial distribution of residuals (mm) of Reference point cloud and point cloud with complex texture images in Metashape

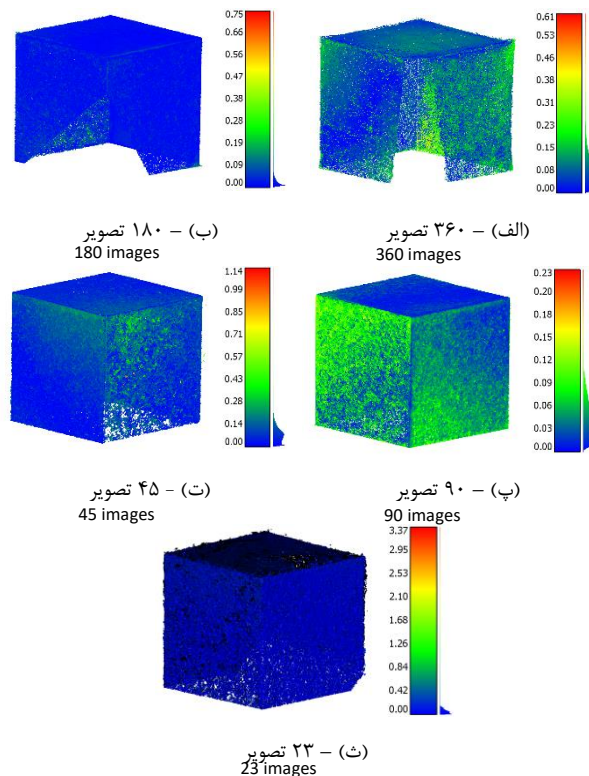


شکل ۲۲: توزیع مکانی باقی‌مانده (میلی‌متر) ابرنقطه ریاضی و ابرنقطه با تصاویر با بافت پیچیده در Photoscan

Fig. 22: Spatial distribution of residuals (mm) Reference point cloud and point cloud with complex texture images in Photoscan

### نتیجه‌گیری

تعداد بهینه عکس برای تهیه یک مدل سه بعدی همواره یک چالش اصلی در مدل‌سازی سه بعدی به روش فتوگرامتری است. تحقیقات انجام‌شده در این خصوص بیشتر بر روی دقت نهایی اندازه‌گیری‌های سه بعدی متمرکز بوده و کیفیت سطح (رویه) ایجاد شده سه بعدی مورد توجه قرار نگرفته است. از این‌رو، در این تحقیق برای اولین بار کیفیت رویه تولید شده به روش فتوگرامتری توسط دو نسخه رایج نرم‌افزار Agisoft که محبوبیت زیادی در تولید مدل سه بعدی با استفاده از عکس‌های رقومی دارد مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در این مقاله، به بررسی تأثیر طراحی شبکه عکس‌برداری و بافت تصاویر برای ساخت مدل سه بعدی دقیق و باکیفیت، با حداقل تعداد عکس در یک نوار عکس‌برداری با استفاده از دوربین عکس‌برداری رقومی پرداخته شد. برای ارزیابی دقت مدل سه‌بعدی فتوگرامتری با تعداد تصاویر مختلف، از یک مکعب به دلیل داشتن شکل هندسی ساده و معلوم استفاده شد. در کنار تحلیل هندسی شبکه عکس‌برداری، کیفیت و تأثیر بافت تصاویر بر کیفیت ابرنقطه نیز مورد بررسی قرار گرفت. به همین جهت، از دو بافت متفاوت به‌عنوان یک معیار مستقل استفاده شد تا تأثیر بافت ساده و پیچیده در تناظرایی نقاط و در نهایت در تولید ابرنقطه بررسی شود. لازم به ذکر است که تعداد عکس‌ها برای تولید مدل سه بعدی در هیچ مرجعی بیان نشده و همیشه بیشترین تعداد عکس توصیه شده است. با توجه به تحقیق صورت گرفته این موضوع در عمل همواره صحیح نبوده



شکل ۲۳: توزیع مکانی باقی‌مانده (میلی‌متر) ابرنقطه ریاضی و ابرنقطه با تصاویر با بافت ساده در Metashape

Fig. 23: Spatial distribution of residuals (mm) Reference point cloud and point cloud with simple texture images in Metashape

[14] Lane, S., T. James, and M. Crowell, Application of digital photogrammetry to complex topography for geomorphological research. *The Photogrammetric Record*, 2000. 16(95): p. 793-821.

[15] Fonstad, M.A., et al., Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth surface processes and Landforms*, 2013. 38(4): p. 421-430.

[16] Westoby, M.J., et al., 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 2012. 179: p. 300-314.

[17] Natan, M., C. Jim, and L. Stuart N., Structure from motion (SFM) photogrammetry. 2015.

[18] Mostafavi, A., M. Scaioni, and V. Yordanov, Photogrammetric solutions for 3d modeling of cultural heritage sites in remote areas. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2019. 42: p. 765-772.

[19] Spodek, J.C. and C.K. Harrison, Creating Virtual Models with Digital Photogrammetry: Pertev Paşa Mosque (İzmit, Turkey). *Preservation Education & Research*, 2020. 12(1): p. 96-115.

[20] Grau González-Quevedo, E.R., et al., The Use of 3D Photogrammetry in the Analysis, Visualization, and Dissemination of the Indigenous Archaeological Heritage of the Greater Antilles. *Open Archaeology*, 2021. 7(1): p. 435-453.

[21] Esmaeelpour, M., Evaluation of a method for justifying video-based video frames for 3D image reconstruction. 2009, M. Sc. Thesis, Department of Surveying Engineering, University of Tehran. (In ....

[22] Ahmadabadian, A.H., et al., A comparison of dense matching algorithms for scaled surface reconstruction using stereo camera rigs. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2013. 78: p. 157-167.

[23] Izadi, S., et al. KinectFusion: real-time 3D reconstruction and interaction using a moving depth camera. in *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*. 2011.

[24] Kaartinen, H., et al., Benchmarking the performance of mobile laser scanning systems using a permanent test field. *Sensors*, 2012. 12(9): p. 12814-12835.

[25] Bräuer-Burchardt, C., P. Kühmstedt, and G. Notni. Combination of air-and water-calibration for a fringe projection based underwater 3d-scanner. in *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*. 2015. Springer.

[26] Singh, S.P., K. Jain, and V.R. Mandla, 3D scene reconstruction from video camera for virtual 3d city modeling. *American Journal of Engineering Research*, 2014. 3(1): p. 140-148.

[27] Nikolov, I. and C. Madsen. Benchmarking close-range structure from motion 3D reconstruction software under varying capturing conditions. in *Euro-Mediterranean Conference*. 2016. Springer.

[28] Gabara, G. and P. Sawicki. Accuracy study of close range 3D object reconstruction based on point clouds. in *2017 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)*. 2017. IEEE.

[29] Saadat Sarasht, M., Samadzadegan, Farhad. Camera placement in industrial photogrammetry, multi-evolutionary optimization approach.

[30] Hosseinaveh, A., et al. Automatic image selection in photogrammetric multi-view stereo methods. 2012. *Eurographics Association*.

[31] Wenzel, K., et al., Image acquisition and model selection for multi-view stereo. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 2013. 5: p. W1.

[32] Alsadik, B., M. Gerke, and G. Vosselman, Optimal camera network design for 3D modeling of cultural heritage. *ISPRS Annals of*

و در مواردی با وجود عکس‌های زیاد کیفیت مدل سه‌بعدی علی‌رغم صرف زمان پردازش زیاد افزایش نیافته و تنها موجب تراکم ابرنقطه شده که این افزایش تراکم به دلیل افزایش نویز در ابرنقطه است.

## مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمام افرادی که در جمع‌آوری اطلاعات و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها ما را در این تحقیق یاری رساندند، تشکر و تقدیر می‌نمایند.

## تعارض منافع

«هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

## منابع و مآخذ

- [1] Quan, L., Image-based modeling. 2010: Springer Science & Business Media.
- [2] Alsadik, B., et al., Robust extraction of image correspondences exploiting the image scene geometry and approximate camera orientation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2013. 5: p. W1.
- [3] Lerma García, J.L., et al., From digital photography to photogrammetry for cultural heritage documentation and dissemination. *Disegnarecon*, 2013. 6(12): p. 1-8.
- [4] Luna, O., Basics of photogrammetry for VR professionals: 3D visualization of cultural heritage objects. *Visual Resources Association Bulletin*, 2018. 45(1).
- [5] Lauro, V. and V. Lombardo, The Cataloging and Conservation of Digital Survey in Archaeology: A Photogrammetry Protocol in the Context of Digital Data Curation. *Heritage*, 2023. 6(3): p. 3113-3136.
- [6] Ahmet, U. and M. Uysal, Kültürel mirasın etkileşimli keşfi için mobil artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme teknolojilerinin kullanılması: Sfenks heykeli örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2020. 20(6): p. 1024-1031.
- [7] Remondino, F. and S. El-Hakim, Image-based 3D modelling: a review. *The photogrammetric record*, 2006. 21(115): p. 269-291.
- [8] Kiamehr, R., Multi object optimization of geodetic Network. *NCC Geomatics*, 2003. 82.
- [9] Barazzetti, L., M. Scaioni, and F. Remondino, Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation. *The Photogrammetric Record*, 2010. 25(132): p. 356-381.
- [10] FRASER, C., Limiting error propagation in network design((in photogrammetry)). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1987. 53: p. 487-493.
- [11] Fraser, C.S., Network design considerations for non-topographic photogrammetry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1984. 50(8): p. 1115-1126.
- [12] Fraser, C.S. and S. Cronk, A hybrid measurement approach for close-range photogrammetry. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2009. 64(3): p. 328-333.
- [13] Chandler, J., Effective application of automated digital photogrammetry for geomorphological research. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1999. 24(1): p. 51-63.



- [48] Fraser, C., Non Topographic Photogrammetry, ed. Edwards Brothers Inc., Virginia, 1989.
- [49] Alsadik, B., et al., Minimal camera networks for 3D image based modeling of cultural heritage objects. *Sensors*, 2014. 14(4): p. 5785-5804.
- [50] Haala, N. Multiray photogrammetry and dense image matching. in *Photogrammetric Week*. 2011. VDE Verlag.
- [51] Hullo, J.-F., P. Grussenmeyer, and S. Farès, Photogrammetry and dense stereo matching approach applied to the documentation of the cultural heritage site of Kilwa (Saudi Arabia). 2010.
- the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2012. 3: p. 7-12.
- [33] Alsadik, B., M. Gerke, and G. Vosselman, Automated camera network design for 3D modeling of cultural heritage objects. *Journal of Cultural Heritage*, 2013. 14(6): p. 515-526.
- [34] Sharifi, A., Ghanbari Parmehar, I., improving the accuracy of short-range photogrammetry using regular photography network, 25th and 3rd National Geomatics and Geomatics and Geospatial Information Technology Conference and Exhibition 2017.
- [35] Naimaei, R. , Ghanbari Parmehar, I., Determining the optimal number of photos for 3D modeling of objects in photogrammetry, 12th National Congress of Civil Engineering.
- [36] Agisoft, L., Agisoft PhotoScan user manual. Professional edition, version 0.9. 0. St. Petersburg: Agisoft LLC. Retrieved November, 2013. 8: p. 2018.
- [37] Agisoft, L., Agisoft metashape user manual, Professional edition, Version 1.5. Agisoft LLC, St. Petersburg, Russia, from [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_5\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf), accessed June, 2018. 2: p. 2019.
- [38] Shapiro, L.G. and G.C. Stockman, Computer vision. 2001: Prentice Hall.
- [39] Ullman, S., The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 1979. 203(1153): p. 405-426.
- [40] Snavely, K., Scene reconstruction and visualization from internet photo collections. 2008, Ph. D. thesis, University of Washington, Seattle, Washington, USA.
- [41] Zhu, Q., B. Wu, and Y. Tian, Propagation strategies for stereo image matching based on the dynamic triangle constraint. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2007. 62(4): p. 295-308.
- [42] Lowe, D.G. Object recognition from local scale-invariant features. in *Proceedings of the seventh IEEE international conference on computer vision*. 1999. Ieee.
- [43] Lowe, D.G., Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 2004. 60(2): p. 91-110.
- [44] Liu, Z., J. An, and Y. Jing, A simple and robust feature point matching algorithm based on restricted spatial order constraints for aerial image registration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2011. 50(2): p. 514-527.
- [45] Bay, H., et al., Speeded-up robust features (SURF). *Computer vision and image understanding*. 2008. 110(3): p. 346-359.
- [46] Hartley, R. and A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision. 2003: Cambridge University Press.
- [47] Remondino, F., et al. Design and implement a reality-based 3D digitisation and modelling project. in *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*. 2013. IEEE.

## معرفی نویسندگان

### AUTHOR(S) BIOSKETCHES



**رضا نعیمایی** در سال ۱۳۹۹ مدرک کارشناسی مهندسی نقشه برداری خود را از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل اخذ نموده و پس از آن در سال ۱۴۰۲ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری گرایش فتوگرامتری خود را از دانشگاه تهران دریافت نموده است. زمینه تخصصی ایشان بینایی ماشین، فتوگرامتری برد کوتاه و پردازش تصویر می باشد.

**Naimaei, R. School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran**

[r.naimaei@ut.ac.ir](mailto:r.naimaei@ut.ac.ir)



**عبادت قنبری پرمهر** دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه برداری (گرایش فتوگرامتری) از دانشگاه ملیبورن استرالیا می باشد. پس از اخذ دکتری، ایشان به مدت دو سال به عنوان پژوهشگر پسادکتر در دانشگاه RMIT استرالیا و از سال ۱۳۹۵ تا کنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه

صنعتی نوشیروانی بابل مشغول به فعالیت بودند. ایشان تا کنون موفق به چاپ بیش از ۳۰ مقاله در مجلات و کنفرانس های معتبر بین المللی شده اند. زمینه های تخصصی ایشان عبارتند از: فتوگرامتری، سنجش از دور، پردازش تصاویر، کاربرد یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در کشاورزی و سنجش از دور.

**Parmehr, E. G. Assistant Professor at Department of Geomatics Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran**

[parmehri@nit.ac.ir](mailto:parmehri@nit.ac.ir)

**Citation (Vancouver):** Naeimaei R, Ghanbari Parmehr E. [Assessing the Influence of Image Network and Image Texture on the Quality of 3D Point Cloud Production in Close-Range Photogrammetry]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 189-204

<https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10352.1036>



### COPYRIGHTS



© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)





ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Sentinel Satellites: Revolutionizing Earth Observation for Science and Sustainability

M. Abolghasemi

Department of Electrical and Computer Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

### ABSTRACT


Received: 09 July 2023  
Reviewed: 11 August 2023  
Revised: 06 September 2023  
Accepted: 01 October 2023

#### KEYWORDS:

Sentinel Satellites  
Earth Observation  
Copernicus Program  
Environmental Monitoring  
Remote Sensing  
Aerospace Sensors

\* Corresponding author

 [mo\\_abolghasemi@mut.ac.ir](mailto:mo_abolghasemi@mut.ac.ir)

 (+98913) 3319628

**Background and Objectives:** Earth has a complex ecosystem that is affected by natural processes and human activities, and understanding these processes is a real necessity. Environmental changes, from climate change to the reduction of natural resources, affect human life, economies, and the well-being of future generations. Therefore, the need for comprehensive Earth observation has never been more critical. To address this need, the Copernicus program was created by the European Space Agency in the early 2000s. The goal of this program was to create an operational system for earth monitoring with open access to high quality satellite data. The Sentinel satellites, as the core of the Copernicus program, is one of the symbols of humanity's progress in earth observation and environmental monitoring. This research examines the Sentinel satellites and shows the importance, basic principles and unique features of each of them. Sentinel satellites are unique operational platforms compared to the satellites of the previous generation.

**Methods:** In this paper, the main framework of the Copernicus program, such as open access to satellite data, global coverage, operational stability, diverse sensors, and the framework of global cooperation, which is of great help to researchers, policymakers, and other users of satellite data, has been evaluated. The Sentinel satellites includes several satellites that acquire images from the earth in different spectral ranges, with global coverage and different viewing times. These satellites have operational stability and new generations of satellites are developed and launched to replace older satellites. Each satellite is equipped with special sensors according to its mission goals and makes it possible to monitor the land, oceans and atmosphere with the best possible tools from space.

**Findings:** The Sentinel-1 satellite, which is equipped with a radar sensor, can image in the C frequency band and different spatial powers from 5 to 40 meters. Also, this satellite is able to take images in any weather conditions and at any hour of the day and night, which is valuable for many applications. The accuracy of Sentinel-1 data is very high in monitoring changes in the shape of the earth's surface, crisis management, polar ice observations and ocean monitoring. This vital role in detecting and monitoring land subsidence in urban areas makes it effective in urban planning and helping to prevent crises. On the other hand, the Sentinel-2 satellite with a multispectral sensor provides a powerful tool for Earth observation. By recording data in a wide spectral range in 13 spectral bands from visible to short-wave infrared, this satellite has been able to deepen our understanding of the features of the Earth's surface. The re-viewing time of this satellite has made it possible to monitor crops and evaluate the health of vegetation. Also, the spatial resolution of Sentinel-2 satellite images is an effective factor in urban planning, tree health monitoring, and natural disaster monitoring, such as fire and flood. In addition, the high bandwidth of this satellite helps to efficiently cover large areas and increases its efficiency in environmental monitoring.

**Conclusion:** The Copernicus program is known for several key principles that have underpinned their success. These principles include open access data, global coverage, operational interoperability, diverse sensors, and a global cooperation framework. The principle of open access has given the assurance to the general users, including researchers, policymakers and commercial companies, that a continuous flow of satellite images will support their activities. The Copernicus program with a system of satellites ensures global coverage with optimal revisit time. The operational continuity of the program has resulted in new generations of satellites being developed and launched to replace older generations, to ensure a continuous flow of data. Each Sentinel satellite is equipped with specific sensors designed for its mission objectives, enabling it to monitor the Earth, oceans, atmosphere, and more. According to the characteristics of the Copernicus program, Sentinel satellites have started a new era of Earth observation and have provided a powerful and versatile tool for monitoring and understanding the Earth's ecosystem.



NUMBER OF REFERENCES  
34



NUMBER OF FIGURES  
3



NUMBER OF TABLES  
2

## مقاله پژوهشی

# ماهواره‌های سنتینل: انقلاب در مشاهدات زمین برای دانش و توسعه پایدار

مجتبی ابوالقاسمی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

### چکیده

**پیشینه و اهداف:** زمین دارای یک اکوسیستم پیچیده است که تحت تأثیر فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی قرار دارد و درک این فرآیندها یک ضرورت واقعی است. تغییرات محیطی از تغییرات اقلیمی تا کاهش منابع طبیعی، بر زندگی بشر، اقتصادها و رفاه نسل‌های آینده تأثیر می‌گذارد. بنابراین، نیاز به رصد جامع زمین هرگز تا این اندازه حیاتی نبوده است. برای توجه به این ضرورت، برنامه کوپرنیکوس در اوایل دهه ۲۰۰۰ توسط سازمان فضایی اروپا ایجاد شد. هدف این برنامه، ایجاد یک سامانه عملیاتی برای نظارت بر زمین با دسترسی رایگان و آزاد به داده‌های ماهواره‌ای با کیفیت بالا بود. ماهواره‌های سنتینل، بعنوان هسته اصلی برنامه کوپرنیکوس، یکی از نمادهای پیشرفت بشریت در رصد زمین و پایش محیط زیست است. این مقاله به بررسی ماهواره‌های سنتینل می‌پردازد و اهمیت، اصول اولیه و ویژگی‌های منحصر به فرد هر یک از ماهواره‌های سنتینل را نشان می‌دهد. ماهواره‌های سنتینل نسبت به ماهواره‌های نسل قبل از خود، به عنوان پلتفرم‌های عملیاتی منحصر به فرد محسوب می‌شوند.

**روش‌ها:** در این مقاله چارچوب اصلی برنامه کوپرنیکوس، مانند دسترسی آزاد به داده‌های ماهواره‌ای، پوشش جهانی، پایداری عملیاتی، حسگرهای متنوع و چارچوب همکاری جهانی که کمک شایانی به پژوهشگران، سیاست‌گذاران و سایر بهره‌برداران داده‌های ماهواره‌ای کرده، مورد ارزیابی قرار گرفته است. مجموعه ماهواره‌های سنتینل شامل ماهواره‌های متعددی است که تصاویری در محدوده‌های طیفی مختلف، با پوشش جهانی و زمان دید مجددی مختلف از زمین اخذ می‌کنند. این ماهواره‌ها پایداری عملیاتی دارند و نسل‌های جدیدی از ماهواره‌ها برای جایگزینی ماهواره‌های قدیمی‌تر توسعه می‌یابند و به فضا پرتاب می‌شوند. هر ماهواره با حسگرهای خاص منطبق بر اهداف مأموریتی خود تجهیز شده است و این امکان را فراهم می‌کند که پایش خشکی‌ها، اقیانوس‌ها و جو کره زمین با بهترین ابزارهای ممکن از فضا صورت پذیرد.

**یافته‌ها:** ماهواره سنتینل-۱ که به حسگر راداری مجهز شده است می‌تواند در باند فرکانسی C و توان‌های مکانی مختلف از ۵ تا ۴۰ متر تصویربرداری کند. همچنین، این ماهواره قادر است در هر شرایط آب و هوایی و در هر ساعت از شبانه و روز تصویربرداری می‌کند که برای بسیاری از کاربردها ارزشمند است. دقت داده‌های سنتینل-۱ در پایش تغییرات شکل سطح زمین، مدیریت بحران، مشاهدات یخ‌های قطبی و پایش اقیانوس‌ها بسیار بالاست. این نقش حیاتی در آشکارسازی و پایش فرونشست زمین در مناطق شهری موجب می‌شود که در برنامه‌ریزی شهری و کمک به پیشگیری از بحران تأثیرگذار باشد. از سوی دیگر، ماهواره سنتینل-۲ با حسگر چندطیفی، ابزار قدرتمندی برای مشاهدات زمین ارائه می‌دهد. با ثبت داده‌ها در یک محدوده طیفی گسترده در ۱۳ باند طیفی از مرئی تا مادون قرمز موج کوتاه، این ماهواره توانسته است درک ما از ویژگی‌های سطح زمین را عمیق‌تر کند. زمان دید مجدد این ماهواره امکان پایش محصولات زراعی و ارزیابی سلامت پوشش‌های گیاهی را فراهم کرده است. همچنین، توان تفکیک مکانی تصاویر ماهواره سنتینل-۲ در برنامه‌ریزی شهری، پایش سلامت درختان و پایش سوانح طبیعی از جمله مانند آتش‌سوزی و سیل عامل مؤثری است. علاوه بر این، عرض‌گذر بالای این ماهواره به پوشش کارآمد مناطق وسیع کمک می‌کند و بهره‌وری آن در پایش محیط زیست را افزایش می‌دهد.

**نتیجه‌گیری:** برنامه کوپرنیکوس به چندین اصل کلیدی مشخص شناخته می‌شود که موفقیت آن‌ها را تضمین کرده است. این اصول شامل دسترسی آزاد به داده‌ها، پوشش جهانی، پیوستگی عملیاتی، حسگرهای متنوع و چارچوب همکاری جهانی است. اصل دسترسی آزاد این اطمینان را به عموم کاربران اعم از پژوهشگران، سیاست‌گذاران و شرکت‌های تجاری داده است که یک جریان پیوسته از تصاویر ماهواره‌ای پشتیبان فعالیت‌های آنها خواهد بود. برنامه کوپرنیکوس با منظومه‌ای از ماهواره‌ها پوشش جهانی با زمان دید مجدد مطلوب را تضمین می‌کند. پیوستگی عملیاتی این برنامه موجب شده است تا نسل‌های جدید از ماهواره‌ها برای جایگزینی نسل‌های قدیمی توسعه داده و پرتاب شوند، تا جریان مستمر داده‌ها به طور

تاریخ دریافت: ۱۸ تیر ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۲۰ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۱۵ شهریور ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۹ مهر ۱۴۰۲

### واژگان کلیدی:

ماهواره‌های سنتینل  
مشاهدات زمین  
برنامه کوپرنیکوس  
نظارت محیطی  
سنجش از راه دور  
حسگرهای هوا و فضا

\* نویسنده مسئول

mo\_abolghasemi@mut.ac.ir

۰۹۱۳-۳۳۱۹۶۲۸

مداوم تضمین شود. هر ماهواره سنتینل با حسگرهای خاصی که به منظور اهداف مأموریتی خود طراحی شده، تجهیز شده است و این امکان را فراهم می‌کند که زمین، اقیانوس‌ها، جو و موارد دیگر را نظارت کند. با توجه به ویژگی‌های برنامه کوپرنیکوس، ماهواره‌های سنتینل دوره‌ای جدید از مشاهدات زمین را آغاز کرده‌اند و یک ابزار قدرتمند و چندمنظوره برای پایش و درک اکوسیستم کره زمین فراهم آورده‌اند.

## مقدمه

کیفیت بالا را به صورت رایگان و با دسترسی باز برای مزایای همگان فراهم می‌کرد [۷]. در مرکز برنامه کوپرنیکوس، تشکیل ماهواره‌های سنتینل قرار دارد. با تعهد به دسترسی به داده و همکاری جهانی، ماهواره‌های سنتینل نمایانگر عصر جدیدی در مشاهدات زمین می‌باشند. به عکس از ماهواره‌های قبلی که عمدتاً تمرکز بر تحقیقات داشتند، سنتینل‌ها ماهواره‌های عملی هستند که به طور مداوم داده‌ها را مشاهده و ارسال می‌کنند تا از تعداد گسترده‌ای از کاربردها پشتیبانی کنند. برنامه کوپرنیکوس و ماهواره‌های سنتینل به چند اصل کلیدی مشخص شناخته می‌شوند: [۸،۹]

دسترسی به داده، برنامه کوپرنیکوس بر اصل دسترسی رایگان و باز به داده‌ها تأسیس شده است. داده‌های حاصل از ماهواره‌های سنتینل برای عموم مردم، پژوهشگران، سیاست‌گذاران و شرکت‌های تجاری در دسترس قرار می‌گیرند، که نوآوری و همکاری را تشویق می‌کند. پوشش جهانی، تشکیل ماهواره‌های سنتینل شامل چندین ماهواره است که پوشش جهانی با بازدیدهای متفاوت ارائه می‌دهند. این امر اطمینان می‌دهد که هیچ ناحیه‌ای از سیاره بدون نظارت نمی‌ماند [۱۰]. پیوستگی عملیاتی، ماهواره‌های سنتینل با در نظر گرفتن پیوستگی عملیاتی طراحی شده‌اند. نسل‌های جدیدی از ماهواره‌ها توسعه داده شده و پرتاب می‌شوند تا مطمئن شود که یک جریان مداوم از داده فراهم می‌شود. حسگرهای متنوع، هر ماهواره سنتینل با حسگرهای خاصی که به اهداف مأموریتی خود منطبق هستند تجهیز شده اس [۵]. این تنوع امکان مانیتورینگ اراضی، اقیانوس‌ها، جو و موارد دیگر را برای این تشکیل فراهم می‌کند. برنامه کوپرنیکوس همکاری بین‌المللی را تشویق می‌کند و اجازه می‌دهد که داده‌های حاصل از ماهواره‌های سنتینل با سیستم‌های مشاهدات زمین دیگر یکپارچه شود، که مفهوم جهانی از سیستم‌های زمین را تقویت می‌کند [۱۱]. برنامه کوپرنیکوس با ماهواره‌های سنتینل در پیش‌زمینه، نمایانگر یک تغییر پارادایم در مشاهدات زمین می‌باشد؛ تغییری از مأموریت‌های تحقیقی گذرا و محدود داده به یک سیستم نظارت جهانی عملی و جامع. شروع به کار ماهواره سنتینل-۱ A در سال ۲۰۱۴ نمایانگر آغاز این سیر تحولی بود و پرتاب ماهواره‌های دیگر سنتینل توانمندی‌های آن را گسترش داد. [۱۰]

ماهواره‌های سنتینل، هر یک با مجموعه منحصر به فردی از ابزار و اهداف مأموریتی، به عنوان نگهبانان زمین عمل می‌کنند و به صورت مداوم داده‌ها را مشاهده و ارائه می‌دهند که در مقابله با چالش‌های جهانی فوری حیاتی هستند. این ماهواره‌ها در دامنه‌های مختلف داده‌ها را دریافت می‌کنند و در محدوده‌های مختلف مدارها فعالیت می‌کنند، از مدار زمین پایین (LEO) تا مدار جیواستاری (GEO)، و از انواع متنوعی

زمین، یک سیستم پیچیده می‌باشد. دینامیک محیطی آن توسط فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی کنترل نشده و پیچیدگی‌های ساده‌ای را نمی‌پذیرد. درک این دینامیک‌ها یک ضرورت عملی می‌باشد. تغییرات محیطی، از تغییرات آب و هوایی تا استفاده از منابع، بر زندگی ما، اقتصادها و رفاه نسل‌های آینده تأثیر می‌گذارد. بنابراین، نیاز به مشاهده جامع زمین هرگز اهمیت بیشتری نداشته است در پاسخ به این نیاز، سازمان‌های فضایی در سراسر جهان تعداد زیادی ماهواره‌ای برای مشاهده زمین راه‌اندازی کرده‌اند [۱]. این ناقل‌های مداری، با مجموعه‌ای از حسگرها و ابزارها تجهیز شده‌اند و بی‌وقفه داده‌ها را به دست می‌آورند که تصویری زنده از وضعیت سلامت سیاره ما را نشان می‌دهند [۲]. در میان این تشکیل‌های ماهواره‌ای، ماهواره‌های سنتینل که یکی از پایه‌های برنامه کوپرنیکوس هستند، به عنوان نمونه‌هایی از توانایی فناوری و نوآوری علمی برجسته وارد می‌شوند قبل از ورود به جزئیات برنامه ماهواره‌های سنتینل، ضروری است که مسیر تکاملی ماهواره‌های مشاهده زمین را پیگیری کنیم. این ابزارهای بی‌نظیر علم و دیپلماسی یک تاریخچه غنی دارند که با جهش‌های فناورانه و تغییرات پارادایمی مشخص می‌شود. [۳]

شروع عصر مشاهدات فضایی، با پرتاب موفقیت‌آمیز اسپوتنیک ۱ اتحاد جماهیر شوروی در سال ۱۹۵۷، عرصه جدیدی را برای اکتشافات علمی باز کرد. ایده پرتاب ماهواره‌ها به مدار زمین برای مطالعه سطح، جو و اقیانوس‌های سیاره ما به سرعت شناخته شد. ماهواره‌های اولیه مشاهده زمین، مانند سری ماهواره‌های NASA's Landsat. نخستین دیدگاه‌هایمان از دنیایمان از فضا را ارائه دادند و زمینه‌هایی چون نقشه‌برداری، کشاورزی و جنگل‌داری را انقلابی کردند [۴]. همراه با پیشرفت فناوری، قابلیت‌های ماهواره‌های مشاهده زمین نیز بهبود یافت. معرفی تصویربرداری چندطیفی، رادار بازتفسیری دهانه‌ای (SAR) و حسگرهای هایپرطیفی بازده داده‌ها را گسترش داد [۵]. این انقلاب در حوزه حسگری از دور امکان مشاهده و پایش از تغییرات پوشش اراضی و جریان‌های اقیانوسی تا کیفیت هوا و الگوهای اقلیمی را فراهم کرد. با این وجود، علیرغم این پیشرفت‌ها، دسترسی به داده‌های مشاهده زمین و هزینه‌های مرتبط با آن همچنان یک چالش بود. پرتاب و نگهداری ماهواره‌ها برای بسیاری از کشورها و سازمان‌ها به دلیل هزینه‌های بسیار بالا دسترسی‌پذیر نبود. علاوه بر این، به اشتراک‌گذاری داده و همکاری‌ها به دلیل ملاحظات جغرافیایی اغلب دچار مشکلاتی می‌شد. [۵،۶]

نقطه عطف در تاریخ مشاهدات زمین با پرتاب برنامه کوپرنیکوس اروپا رخ داد. این برنامه که در اوایل دهه ۲۰۰۰ میلادی طراحی شد، هدف ایجاد یک سیستم عملی برای نظارت بر زمین بود و داده‌های محیطی با

شامل دقت، قابلیت‌های حسگر، اهداف مأموریت، ویژگی‌های مداری و سطح وضوح می‌شود [۱۸]. با بررسی این جنبه‌ها، این تحقیق سعی دارد تا درکی مفهومی از نقاط قوت منحصر به فرد و انطباق هر ماهواره سنتینل برای نیازهای خاص مشاهدات زمین ارائه دهد. این مطالعه مقایسه‌ای به هدف کمک به پژوهشگران، سیاست‌گذاران و سازمان‌ها در انتخاب ماهواره‌های سنتینل برای نیازهای متنوع در زمینه‌های مشاهدات محیطی و اجتماعی ارائه دهد. [۱۹]

### روش تحقیق

این روش‌شناسی رویکردی برای انجام تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای از ماهواره‌های مختلف سنتینل در ارتباط با قابلیت‌های حسگری آن‌ها ارائه می‌دهد. هدف از این تجزیه و تحلیل ارزیابی و مقایسه حسگرهای موجود در ماهواره‌های مختلف سنتینل است تا قدرت‌ها و کاربردهای منحصر به فرد آن‌ها را درک کنیم. روش‌شناسی شامل جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها و تفسیر آن‌ها می‌شود.

#### سنتینل-۱

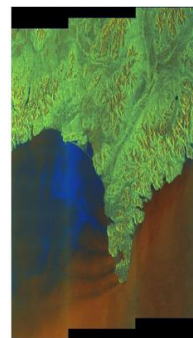
سنتینل-۱، یکی از نقاط عطفی در برنامه ماهواره‌ای سنتینل، در عرصه‌ی مشاهده زمین به موقعیتی کلیدی قرار دارد (شکل ۱). این ماهواره با یک حسگر رادار آپرتور مصنوعی (SAR) تجهیز شده است، یک فناوری پیشرفته که از توان امواج مایکروویو در طیف elektromagnetic بهره می‌برد. حسگرهای SAR در سنتینل-۱ به طور اصولی در باند C حدود ۵.۴ گیگاهرتز عمل می‌کنند و اخیراً در باند L حدود ۱.۲ گیگاهرتز نیز امکاناتی ارائه داده‌اند که تنوع را در مقابله با چالش‌های مشاهده زمین ممکن می‌سازد. یکی از ویژگی‌های برجسته سنتینل-۱، انعطاف‌پذیری چشمگیر آن در زمینه وضوح مکانی است. این ماهواره حالت‌های مختلفی را ارائه می‌دهد که از ۵ متر تا ۴۰ متر می‌رسد، که امکان تنظیم تصاویر بر اساس نیازهای خاص برنامه‌های مختلف را فراهم می‌کند. آیا وظیفه نیاز به جزئیات با وضوح بالا دارد، سنتینل-۱ می‌تواند با ارائه داده‌های مورد نیاز به تنظیمات خاص پاسخ دهد. [۲۰]

از حسگرها برای ثبت داده‌ها در حوزه‌های مختلف استفاده می‌کنند. [۱۲]

برنامه ماهواره‌ای سنتینل مجموعه‌ای از ماهواره‌های مشاهده زمین است که برای پوشش یک طیف گسترده از چالش‌های محیطی و اجتماعی طراحی شده‌اند. سنتینل-۱ که به سنسور رادار ترکیبی (SAR) مجهز شده است، در تصویربرداری در همه شرایط آب و هوا و تجزیه و تحلیل تغییرات ارضی برتری دارد [۱۳]. سنتینل-۲ با ابزار چندطیفی خود، تصاویر نوری با وضوح بالا برای طبقه‌بندی پوشش ارضی و نظارت محیطی ارائه می‌دهد. سنتینل-۳ بر روی پارامترهای اقیانوسی تمرکز دارد که شامل دمای سطح دریا و افزایش سطح دریا می‌شود، که برای تحقیقات اقلیمی و مدیریت دریایی بسیار حیاتی است. سنتینل-۴ و سنتینل-۵ در مانیتورینگ ترکیب جوی تخصص دارند و به ردیابی آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای می‌پردازند. این ماهواره‌ها با عملیات در مدارهای متنوع، دقت و وضوح بی‌نظیری ارائه می‌دهند و به عنوان نگهبانان زمین برای نظارت جهانی جامع خدمت می‌کنند. [۱۴، ۱۵]

دقت و وضوح ماهواره‌های سنتینل نیز بسیار قابل توجه است. داده‌های SAR سنتینل-۱ توانایی دقت زیر سانتی‌متری را دارند که برای نظارت بر تغییرات سطح زمین و تغییرات سطحی بسیار حیاتی است. تصاویر چندطیفی سنتینل-۲ وضوح تا ۱۰ متر را ارائه می‌دهند که تسهیل‌کننده تجزیه و تحلیل جزئیات پوشش ارضی است [۱۶]. ابزارهای سنتینل-۳ اندازه‌گیری‌های سطح دریا را با دقت میلی‌متری ارائه می‌دهند که برای پیگیری دینامیک‌های اقیانوس و افزایش سطح دریا بسیار حیاتی است. داده‌های ترکیب جوی سنتینل-۵ نیز دقت بسیار بالایی دارند که امکان مانیتورینگ دقیق کیفیت هوا و شناسایی منابع آلاینده را فراهم می‌کند در واقعیت، ماهواره‌های سنتینل نمایانگر تکامل مشاهدات زمین هستند و یک دید جامع، به‌صورت زمان‌واقعی و با دسترسی آزاد به سیستم‌های پیچیده سیاره‌مان ارائه می‌دهند. تفاوت‌های آن‌ها در مدارها، حسگرها، دقت، باندهای طیفی و وضوح، آن‌ها را به عنوان ابزارهای بی‌نیاز در تلاش جهانی برای بهتر درک، مدیریت و حفاظت از محیط و منابع زمین ترسیم می‌کند. [۱۳، ۱۷]

هدف این مطالعه، انجام یک تجزیه و تحلیل جامع و مقایسه‌ای از ماهواره‌های مختلف سنتینل در ارتباط با پارامترهای متنوعی است که



شکل ۱: تصویر ماهواره از سنتینل ۱

Fig. 1: Satellite image of Sentinel 1

شگفت آور است. این ماهواره قادر به شناسایی و پیگیری کشتی‌ها در دریا است و توظیف وظایفی از قبیل امنیت دریایی، عملیات جستجو و نجات، و پایش محیط زیست را پشتیبانی می‌کند. قابلیت آن برای شناسایی نشت نفتی و فعالیت‌های صید غیرقانونی، به تلاش‌های جهانی برای حفاظت از اقیانوس‌ها و مناطق ساحلی کمک می‌کند. [۲۳] لیست برنامه‌های کاربردی برای سنتینل-۱ به مرور زمان افزایش پیدا می‌کند و محققان و نهادهای مرتبط را در جستجوی راهکارهای نوآورانه برای بهره‌برداری از قابلیت‌های منحصر به فرد آن ترغیب می‌کند. از کشاورزی و جنگل‌داری تا پایش محیط زیست و تحقیقات علمی، تصویربرداری به همه شرایط آب‌وهوایی و دقت آن سنتینل-۱ را به یک ابزار ارزشمند در زمینه مشاهده زمین تبدیل کرده‌است. به اختصار، سنتینل-۱ به عنوان نماینده‌ای از توانایی‌های فناوری و پیشرفت انسان در علم و فناوری، امکان مشاهده دقیق و مقاوم کره‌ی زمین را فراهم می‌کند. حسگر SAR آن با توانایی عمل در شرایط مختلف، داده‌های حیاتی از ارزش استثنایی به ما تحویل می‌دهد و امکان درک، مدیریت و حفاظت از محیط زیست و منابع کره‌ی زمین را بهبود می‌بخشد. سنتینل-۱ تنها یک ماهواره نیست؛ این یک نگهبان بیدار از سیستم‌های پیچیده‌ی زمین است. [۹،۲۰]

### سنتینل-۲

سنتینل-۲، یکی دیگر از ستون‌های اصلی برنامه ماهواره‌ای سنتینل، در مشاهدات زمین است. در اساس آن، ابزار چندطیفی (MSI) قرار دارد که مجموعه‌ای از حسگرهای نوری را شامل می‌شود. این حسگرها داده‌ها را در یک دامنه گسترده از ۱۳ باند طیفی جمع‌آوری می‌کنند، از طیف قابل رؤیت تا طیف مادوام کوتاه موج. این ماهواره وضوح مکانی بالایی ارائه می‌دهد که به معنای توانایی عکاسی دقیق از سطح زمین است. سنتینل-۲ سه گزینه وضوح مکانی متمایز را ارائه می‌دهد: ۱۰ متر، ۲۰ متر و ۶۰ متر، که مشاهده‌های خود را به نیازهای مشاهده زمین خاص تطبیق می‌دهد. این انعطاف در وضوح مکانی بسیار ارزشمند است، زیرا به محققان و نهادهای مرتبط اجازه می‌دهد تا سطح دقت مورد نیاز برای برنامه‌های خود را انتخاب کنند. [۲۴،۲۵]

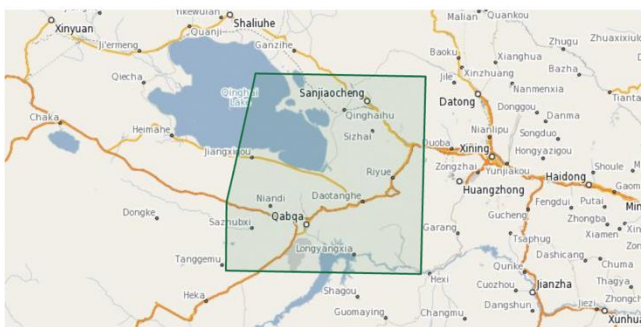
شاید مهم‌ترین ویژگی متمایز کننده سنتینل-۱ توانایی عکاسی در همه شرایط آب‌وهوایی و حالت شبانه‌روزی آن باشد. به عکس‌برداری بدون توقف این ماهواره حتی در شرایط آب‌وهوایی نیاز به ابرها، باران و حتی تاریکی اجازه می‌دهد. این توانایی باعث می‌شود سنتینل-۱ برای برنامه‌های زمین‌شناسی و مشاهده زمین که نیاز به تصاویر دقیق و بدون وقفه دارند، بسیار ارزشمند باشد. اهداف اصلی مأموریتی سنتینل-۱ برگرداندن تنوعی از وظایف مشاهده زمین است که نشان‌دهنده چندبعدی بودن آن و اهمیت آن است. این ماهواره در پایش تغییر سطح زمین عمده‌ترین داده‌ها را فراهم می‌کند که برای ارزیابی فرسایش زمین و پیگیری تغییرات سطحی در طول زمان ضروری هستند. این قابلیت تأثیرات عمیقی در برنامه‌ریزی شهری، مدیریت زیرساخت‌ها و کاهش خطرات زمین‌شناختی دارد. معادله رادار برای سیستم‌های رادار بسیار مهم است و می‌توان آن را به صورت زیر بیان کرد: [۲۱،۲۲]

$$P_r = \frac{\rho}{7} K P_t \lambda^2 \sum A \left(\frac{4\pi}{r}\right)^2 \quad (1)$$

که در آن:

- $P_r$  توان دریافتی است.
- $P_t$  توان ارسالی است.
- $\lambda$  طول موج است.
- $\sum A$  مقطع Radar هدف است.
- $r$  فاصله تا هدف است.

در چارچوب مدیریت بحران، سنتینل-۱ نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. توانایی به دست آوردن به سرعت داده‌ها، حتی پس از وقوع فاجعه‌های طبیعی مانند زلزله یا سیل، ارتقاء متاثر با اطلاعات به موقع برای ارزیابی اندازه خسارت و برنامه‌ریزی تلاش‌های امداد و نجات را فراهم می‌سازد. علاوه بر این، سنتینل-۱ به طور معنی‌داری در پایش یخ در مناطق قطبی نقش مهمی ایفا می‌کند. این ماهواره دینامیک‌های لایه‌های یخی و یخچال‌ها را پایش می‌کند و به محققان کمک می‌کند تا واکنش این مؤلفه‌های حیاتی اکوسیستم کره‌ی زمین به تغییرات آب‌وهوایی را پیگیری کنند. قابلیت‌های سنتینل-۱ در زمینه پایش دریا نیز بسیار



شکل ۲: تصویر ماهواره از سنتینل ۲

Fig. 2: Satellite image of Sentinel 2



تشخیص تغییرات در پوشش جنگلی کمک می‌کند که برای حفاظت از تنوع زیستی و کاهش تغییرات آب و هوا بسیار حیاتی است. [۱۱]

ارزیابی فاجعه‌های طبیعی از دیگر زمینه‌هایی است که از قابلیت‌های سنتینل-۲ بهره می‌برد. این ماهواره اطلاعات دقیقی را برای واکنش و ایجاد برنامه‌های بازسازی در مقابل حوادثی مانند آتش‌سوزی، سیلاب‌ها و پسماند زمین‌لرزه‌ها فراهم می‌کند. در برنامه‌ریزی کاربری اراضی، تصاویر با وضوح مکانی بالای سنتینل-۲ به تصمیم‌گیری در مورد توسعه شهری، برنامه‌ریزی زیرساخت‌ها و حفاظت از محیط زیست کمک می‌کند. این ماهواره با ارائه یک دید جامع در مورد تغییرات زمین در طول زمان، به توسعه‌های پایدار در مدیریت اراضی کمک می‌کند. به عبارت دیگر، سنتینل-۲ با حسگرهای نوری، وضوح مکانی بالا، زمان بازدید سریع و اهداف گسترده ماموریتی، به عنوان یک نماد از ظرفیت ما برای مشاهده و مدیریت فرآیندهای پویای سطح زمین ایستاده است [۲۹]. اطلاعات طیفی غنی آن کاربردهای گسترده‌ای را از کشاورزی و جنگلداری تا مدیریت بحران طبیعی و برنامه‌ریزی شهری پشتیبانی می‌کند و در نهایت به رویکردهای مدیریت اراضی و منابع در کره‌ی زمین تسهیل می‌دهد. سنتینل-۲ یک جزء اساسی از تلاش جهانی برای بهترین درک و حفاظت از محیط زیست ما است. [۲۸]

### سنتینل-۳

سنتینل-۳ به عنوان یک پلتفرم جامع مشاهده زمین است که دارای مجموعه‌ای از حسگرها است. این حسگرها شامل دستگاه تصویرگر دما و سطح دریا و زمین (SLSTR)، دستگاه رنگ دریا و زمین (OLCI) و دستگاه سنتزی آپرتور راداری الیتمتر (SRAL) هستند. داده‌ها را در ۲۱ باند طیفی جمع‌آوری می‌کند، از جمله باندهای قابل رؤیت و مادوام مادوام، در حالی که SLSTR تابش مادوام مادوام را اندازه‌گیری می‌کند. سنتینل-۳ وضوح مکانی را از ۳۰۰ متر تا ۱۲۰۰ متر (OLCI) و ۵۰۰ متر (SLSTR) ارائه می‌دهد. این ماهواره وضوح زمانی بالا را برای مناطق اقیانوسی (۱ تا ۲ روز) و زمین (۲۷ روز) ارائه می‌دهد. اهداف اصلی ماموریت این ماهواره مرتبط با پیش‌پارامترهای اقیانوسی همچون دمای سطح دریا، افزایش سطح دریا و رنگ اقیانوس است. همچنین به طور قابل توجهی در برنامه‌های مرتبط با زمین، از جمله پیش‌حریق، ارزیابی دمای زمین و تجزیه و تحلیل سلامت گیاهی نقش می‌بازد. [۱۵،۳۰،۳۱]



شکل ۳: تصویر ماهواره از سنتینل ۳

Fig. 3: Satellite image of Sentinel 3

زمان بازدید سریع سنتینل-۲، که تنها ۵ روز است، امکان مشاهده مکرر سطوح زمین را فراهم می‌آورد. این زمان بازدید سریع اطمینان می‌دهد که ماهواره به طور مکرر سطوح زمین را مشاهده کند و تغییرات پویا را در زمان وقوع آنها ثبت کند. این ویژگی به ویژه برای برنامه‌هایی که به داده‌های به‌روز نیاز دارند، مانند کشاورزی دقیق که نیاز به اطلاعات به موقع در مورد رشد و سلامت محصولات کشاورزی دارد، حیاتی است. [۲۶] اهداف ماموریتی سنتینل-۲ متنوع و گسترده هستند. این اهداف شامل طبقه‌بندی پوشش زمین، پیش‌پایش گیاهان، کشاورزی، جنگلداری و ارزیابی فاجعه‌های طبیعی می‌شوند، که نمایانگر کاربردهای گسترده این ماهواره هستند. اطلاعات طیفی غنی و وضوح مکانی بالای سنتینل-۲ در وظایفی مانند کشاورزی دقیق، پیش‌پایش سلامت جنگل و برنامه‌ریزی کاربری اراضی اثرگذار هستند. [۲۷،۲۸]

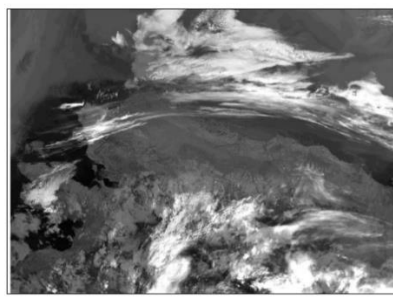
$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (2)$$

$$EVI = G * (NIR - Red) / (NIR + C1 * Red - C2 * Blue + L) \quad (3)$$

که در آن:

- NIR باند نزدیک به مادوام نور است.
- قرمز باند قرمز است.
- G، C1، C2، و L ثابت‌هایی هستند.

در زمینه طبقه‌بندی پوشش زمین، سنتینل-۲ توانایی برش بندی جزئیات مختلف پوشش زمینی را فراهم می‌کند که به ما اجازه می‌دهد بین انواع مختلف کاربری اراضی مانند مناطق شهری، جنگل‌ها و مناطق آب‌خیز تمییز بیافرینیم. این توانایی از مدیریت اراضی و برنامه‌ریزی شهری حمایت می‌کند. پیش‌پایش گیاهان یکی از زمینه‌های بسیار مهمی است که سنتینل-۲ در آن برجسته عمل می‌کند. با جمع‌آوری داده‌ها در باندهای طیفی حساس به محتوای کلروفیل و سلامت گیاهان، این ماهواره به پیش‌رشد محصولات کشاورزی، شناسایی تنش در گیاهان و حمایت از عملیات کشاورزی دقیق کمک می‌کند. این ماهواره با ارائه اطلاعات به موقع به کشاورزان و تصمیم‌گیران سیاست‌گذاری در زمینه امنیت غذایی جهانی کمک می‌کند. در بخش جنگلداری، سنتینل-۲ نقش اساسی در ارزیابی سلامت جنگل‌ها، پیش‌پایش از بین رفتن جنگل‌ها و نظارت بر تلاش‌های بازسازی دارد. تصاویر با وضوح مکانی بالای آن به



گلخانه‌ای را فراهم می‌کنند. هر چند وضوح مکانی آن‌ها معمولاً از ۷ کیلومتر تا ۵۰ کیلومتر متغیر است، اما وضوح زمانی بالای آن‌ها پشتیبانی مهمی را برای مدیریت کیفیت هوا و تحقیقات در زمینه تغییرات اقلیمی فراهم می‌کند. [۱۷،۳۴]

جدول ۱: انواع ماهواره و حسگرهای سنتینل  
Table 1: Types of satellites and sentinel sensors

Satellite	Sensors
ماهواره	حسگرها
Sentinel-1 سنتینل-۱	Synthetic Aperture Radar (SAR) - C-band and L-band رادار تصویرسازی مصنوعی - (SAR) باند C و باند L
Sentinel-2 سنتینل-۲	MultiSpectral Instrument (MSI) - 13 spectral bands دستگاه چند طیفی 13 - (MSI) باند طیفی Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) دما و سطح دریا و زمین تصویرگر
Sentinel-3 سنتینل-۳	Ocean and Land Color Instrument (OLCI) دستگاه رنگ دریا و زمین (OLCI) Synthetic Aperture Radar Altimeter (SRAL) سنتری آپرتور راداری الیتمتر (SRAL)
Sentinel-4 سنتینل-۴	Specialized instruments for atmospheric composition دستگاه‌های تخصصی برای ترکیب جوی
Sentinel-5P سنتینل-۵P	Specialized instruments for atmospheric composition دستگاه‌های تخصصی برای ترکیب جوی

حسگرهای نصب شده در ماهواره‌های سنتینل به صورت جمعی، امکانات گسترده‌ای از مشاهده زمین را ارائه می‌دهند که به بررسی چالش‌های محیطی و اجتماعی پاسخ می‌دهند. گستره‌های مختلف باندهای طیفی، وضوح مکانی و زمانی ویژگی‌های منحصر به فرد آن‌ها را در فهم علمی بهتر و پشتیبانی از کاربردهای عملی در زمین مشخص می‌کند. تعهد برنامه سنتینل به دسترسی آزاد و رایگان به داده‌ها، اطمینان می‌دهد که این اطلاعات ارزشمند برای جوامع جهانی به آسانی در دسترس باشد. در این بخش، ما به تفصیل ویژگی‌های کلیدی دقت و وضوح هر ماهواره‌ی سنتینل در چارچوب برنامه کوپرنیکوس را مورد بررسی قرار می‌دهیم و نقش حیاتی آن‌ها در مشاهده زمین را مورد تاکید قرار می‌دهیم. ماهواره‌های سنتینل دقت قابل توجهی را برای وظایف خاص مأموریت‌های خود ارائه می‌دهند. سنتینل-۱ با دقت زیر سانتیمتری خود برجستگی دارد، که آن را به انتخاب استثنایی برای نظارت بر تغییر شکل زمین و تغییرات سطحی با جزئیات بی‌همتا تبدیل می‌کند. سنتینل-۲ دقت بالایی ارائه می‌دهد که تضمین می‌کند داده‌های قابل اعتمادی برای برنامه‌های گوناگون مشاهده زمین مانند دسته‌بندی پوشش زمین و نظارت بر محیط زیست فراهم کند. دقت میلی‌متری سنتینل-۳ به ویژه برای دینامیک‌های اقیانوس و نظارت بر افزایش سطح دریا حیاتی است که به دنبال کردن تغییرات حتی ظریف در این پارامترهای حیاتی می‌آید. سنتینل-۴ و سنتینل-۵P نیز در ثبت دقیق داده‌های ترکیب جوی، که برای مدیریت کیفیت هوا و تحقیقات در زمینه تغییرات آب و هوا ضروری است، دقت بالایی ارائه می‌دهند. [۳۴]

سنتینل-۴ و سنتینل-۵P

سنتینل-۴ و سنتینل-۵ جزء مأموریت‌های سنتینل-۴ و سنتینل-۵ هستند که بر روی پایش ترکیب جوی تمرکز دارند. این ماهواره‌ها دستگاه‌های تخصصی را به منظور جمع‌آوری داده‌های مرتبط با ترکیب جوی حمل می‌کنند، از جمله اندازه‌گیری آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای. در حالی که آنها دارای وضوح طیفی بالا هستند، وضوح مکانی آنها به طور معمول در بازه ۷ کیلومتر تا ۵۰ کیلومتر Figure 3: Satellite image of Sentinel 3 واقع می‌شود. چیزی که آنها را از یکدیگر متمایز می‌کند، وضوح زمانی بالا آنهاست که امکان پایش مکرر پارامترهای جوی حیاتی برای درک کیفیت هوا، تغییرات اقلیمی و حمایت از تلاش‌های مدیریت کیفیت هوا را فراهم می‌کند. [۳۲] هر ماهواره‌ی سنتینل نقش منحصر به فردی را در کنار دیگر ماهواره‌های سنتینل ایفا می‌کند و قابلیت‌های حسگری خود را به منظور پاسخ به نیازهای مشاهده زمین مشخص ساخته است، سواء برای پایش از دور زمین، اقیانوس‌ها یا جو. با هم، آنها دیدی جامع، به زمان واقعی و دسترسی آزاد به سیستم‌های پیچیده کره‌ی زمین ما را ارائه می‌دهند و متناسب با یک آرایه گسترده از برنامه‌های علمی و کاربردی عمل می‌کنند. [۲۰،۳۳]

## نتایج و بحث

در این بخش، ما یک مرور جامع از حسگرهای نصب شده در هر یک از ماهواره‌های سنتینل در چارچوب برنامه کوپرنیکوس ارائه می‌دهیم و نقش اساسی آن‌ها در مشاهده زمین را بررسی می‌کنیم. سنتینل-۱ که به حسگرهای رادار تصویرسازی مصنوعی (SAR) در باندهای C و L مجهز است، امکان تصویربرداری در همه شرایط آب و هوایی و شبانه‌روزی را فراهم می‌کند. با داشتن گستره‌های دقت مکانی چندگانه از ۵ متر تا ۴۰ متر، در تحلیل تغییر شکل زمین، مدیریت بحران و نظارت دریایی به عنوان یک ابزار بی‌ظنیر برجسته است. در همین حین، سنتینل-۲ که دارای دستگاه چند طیفی (MSI) است، با دارا بودن ۱۳ باند طیفی از نور مرئی تا مادوام نزدیک، گزینه‌های با وضوح مکانی بالا به ارتفاعات ۱۰ متر، ۲۰ متر و ۶۰ متر ارائه می‌دهد که برای دسته‌بندی پوشش زمین و نظارت مکرر بر سطوح زمینی مانند نظارت بر گیاهان و ارزیابی حوادث طبیعی بسیار مفید هستند. سنتینل-۳ که دارای دستگاه‌هایی نظیر دما و سطح دریا و زمین تصویرگر (SLSTR)، دستگاه رنگ دریا و زمین (OLCI) و سنتری آپرتور راداری الیتمتر (SRAL) است، به طور معتبر به برنامه‌های اقیانوس و زمینی می‌پردازد. با گستره‌های دقت مکانی از ۳۰۰ متر تا ۱۲۰۰ متر، این ماهواره نقش کلیدی در نظارت بر پارامترهای اقیانوسی مانند دمای سطح دریا، افزایش سطح دریا و رنگ دریا ایفا می‌کند. همچنین نقش مهمی را در برنامه‌های زمینی نظیر نظارت بر حریق و ارزیابی دمای سطح زمین ایفا می‌کند. سنتینل-۴ و سنتینل-۵P که به مأموریت‌های ویژه برای نظارت بر ترکیب جوی اختصاص دارند، دارای دستگاه‌های بهینه شده برای وضوح طیفی بالا هستند که امکان نظارت مکرر بر پارامترهای جوی مانند آلاینده‌ها و گازهای

جدول ۲: معیارهای اندازه گیری شده ماهواره سنتینل

Table 2: Sentinel satellite measured parameters

Satellite ماهواره	Accuracy دقت	Spatial Resolution وضوح مکانی	Temporal Resolution وضوح زمانی
Sentinel-1 سنتینل-۱	Sub-centimeter Precision زیر سانتیمتر دقت	5m to 40m	Varies متغیر
Sentinel-2 سنتینل-۲	High accuracy دقت بالا	10m to 60m	5 days ۵ روز
Sentinel-3 سنتینل-۳	Millimeter accuracy دقت میلی متری	300m to 1200m	1 to 2 days for ocean, 27 days for land ۱ تا ۲ روز برای اقیانوس، ۲۷ روز برای زمین
Sentinel-4 سنتینل-۴	High accuracy دقت بالا	7km to 50km	High temporal resolution وضوح زمانی بالا
Sentinel-5P سنتینل-۵P	High accuracy دقت بالا	7km to 50km	High temporal resolution وضوح زمانی بالا

از ویژگی‌های دقت، وضوح مکانی و وضوح زمانی ارائه می‌دهند که آن‌ها را به عنوان ابزارهایی اساسی در مشاهده زمین تبدیل کرده است. این تنوع در قابلیت‌ها به دانشمندان، سیاست‌گذاران و پژوهشگران امکان انتخاب ماهواره مناسب برای نیازهای خاص مشاهده زمین را می‌دهد و به فهم جامع‌تری از سیستم‌های پیچیده کره‌ی زمین ما کمک می‌کند. این انعطاف و دقت، توانایی ما را در مقابله با چالش‌های محیطی و اجتماعی را گسترش می‌دهد.

ماهواره سنتینل-۱، که به حسگر راداری سنتتیک آپریچر (SAR) مجهز شده است و در C-band و L-band عمل می‌کند، چندان‌تخابی برای مشاهده زمین است. با حالت‌های وضوح مکانی متعدد از ۵ متر تا ۴۰ متر، این ماهواره در تصویربرداری در هر آب و هوا و هر ساعت از شب و روز بی‌نظیر عمل می‌کند و برای بسیاری از برنامه‌ها بسیار ارزشمند است. دقت سنتینل-۱ در نظارت بر تغییر شکل سطح زمین، مدیریت بحران، مشاهده یخ دریا و نظارت دریایی آشکار است. این نقش حیاتی در کشف و نظارت بر فروریزش زمین در مناطق شهری که به حرکت‌های زمین حساس هستند، باعث می‌شود که در برنامه‌ریزی شهری و تلاش‌های پیشگیری از بحران تأثیرگذار باشد. از سوی دیگر، سنتینل-۲ با حسگر اپتیکال موی‌اسپکترال (MSI) ابزار قدرتمندی برای مشاهده زمین ارائه می‌دهد. با ثبت داده‌ها در یک رده گسترده از ۱۳ باند طیفی از قابل مشاهده تا فروسرخ کوتاه، این ماهواره درک عمیقی از ویژگی‌های سطح زمین فراهم می‌کند. سنتینل-۲ گزینه‌های متعددی از وضوح مکانی از جمله ۱۰ متر، ۲۰ متر و ۶۰ متر ارائه می‌دهد و زمان بازدید کوتاه ۵ روزه اش امکان مشاهده مکرر سطوح زمین را فراهم می‌آورد. این امکان به ویژه برای کشاورزی دقیق مفید است زیرا اجازه می‌دهد که بهداشت محصولات کشاورزی را پایش کرده و نقص‌ها را به سرعت تشخیص دهد. به علاوه، وضوح مکانی بالای سنتینل-۲ در برنامه‌ریزی مصرف اراضی، ارزیابی سلامت جنگل و مشاهده بلایا مانند آتش‌سوزی و سیل عامل مؤثری است. علاوه بر این، عرض دیافراگم وسیع این

وضوح مکانی ویژگی مشخصی از این ماهواره‌هاست که بر تفصیل داده‌های تصویری آن‌ها تأثیر می‌گذارد. سنتینل-۱ حالت‌های متعددی از وضوح مکانی ارائه می‌دهد که از ۵ متر تا ۴۰ متر متغیر است، این انعطاف‌پذیری امکان تصویربرداری سفارشی بر اساس برنامه‌های خاص را فراهم می‌کند، از تجزیه و تحلیل دقیق تغییر شکل زمین تا نظارت گسترده‌تر در زمینه پایش دریا دربر می‌گیرد. سنتینل-۲ گزینه‌های متعددی از وضوح مکانی ارائه می‌دهد، از جمله ۱۰ متر، ۲۰ متر و ۶۰ متر. این وضوح‌ها نیازهای مختلف مشاهده زمین را پشتیبانی می‌کنند و امکان تجزیه و تحلیل دقیق پوشش زمین و نظارت مکرر بر سطوح زمین را فراهم می‌کنند. حسگرهای سنتینل-۳ وضوح مکانی را ارائه می‌دهند که از ۳۰۰ متر تا ۱۲۰۰ متر متغیر است و برای برنامه‌های اقیانوسی و زمینی اساسی است. سنتینل-۴ و سنتینل-۵P که به مشاهده ترکیب جوی اختصاص دارند، وضوح مکانی را معمولاً از ۷ کیلومتر تا ۵۰ کیلومتر ارائه می‌دهند که برای ثبت داده‌های ترکیب جوی در مناطق گسترده مناسب است.

وضوح زمانی، یا چقدر اغلب یک ماهواره به مناطق خاص بازمی‌گردد، ویژگی دیگر مهم مشاهده زمین است. وضوح زمانی سنتینل-۱ بر اساس اهداف مأموریت‌های خاص متغیر است و این امکان را فراهم می‌کند که داده‌ها به موقع و بر اساس نیاز برای برنامه‌های مختلف تجزیه و تحلیل شوند. سنتینل-۲ با زمان بازگشت کوتاه تنها ۵ روز تأمین می‌کند که امکان مشاهده مکرر سطوح زمین مانند کشاورزی دقیق و ارزیابی بلایا را فراهم می‌کند. سنتینل-۳ وضوح زمانی بالایی را برای مناطق اقیانوسی (۱ تا ۲ روز) و زمین (۲۷ روز) فراهم می‌کند که برای برنامه‌های هر دو اقیانوسی و زمینی حیاتی است. سنتینل-۴ و سنتینل-۵P که به مشاهده ترکیب جوی اختصاص دارند، وضوح زمانی بالایی را فراهم می‌کنند که امکان ثبت داده‌های مکرر مهم برای مدیریت کیفیت هوا و تحقیقات در زمینه تغییرات آب و هوا را فراهم می‌آورد. به عبارت دیگر، ماهواره‌های سنتینل در چارچوب برنامه کوپرنیکوس مجموعه‌ای متنوع

نمی‌ماند. پیوستگی عملیاتی تضمین می‌کند که نسل‌های جدید از ماهواره‌ها برای جایگزینی نسل‌های قدیمی توسعه داده و پرتاب شوند، تا جریان داده‌ها به طور مداوم تضمین شود. هر ماهواره سنتینل با حسگرهای خاصی که به منظور اهداف مأموریتی خود طراحی شده است، تجهیز شده است که این تنوع به مجموعه این امکان را می‌دهد که زمین، اقیانوس‌ها، جو و موارد دیگر را نظارت کند. برنامه کوپرنیکوس همکاری بین‌المللی را تشویق می‌کند و اجازه می‌دهد که داده‌ها از ماهواره‌های سنتینل با سایر سیستم‌های مشاهده زمین ترکیب شوند و فهم جهانی از سیستم‌های زمین را افزایش دهند.

در نتیجه، برنامه ماهواره‌های سنتینل دوره‌ای جدید از مشاهده زمین را آغاز کرده و یک ابزار قدرتمند و چندمنظوره برای نظارت و درک سیستم‌های پیچیده کره‌زمین ما فراهم آورده است. هر ماهواره سنتینل با قابلیت‌های حسگر منحصر به فرد، ویژگی‌های مداری و اهداف مأموریتی خود، به یک دیدگاه جامع و به زمان واقعی از محیط زمینی کمک می‌کند. این ماهواره‌ها نقش بحرانی خود را در مقابله با مجموعه‌ای گسترده از چالش‌های جهانی از رصد تغییرات اقلیمی و افزایش سطح دریا تا نظارت بر کاربری اراضی، سلامت گیاهان و ترکیب جوی نشان داده‌اند. تفاوت میان ماهواره‌های سنتینل از نظر حسگرها، دقت، باندهای طیفی و وضوح مکانی، راه‌حل‌های منطبق بر نیازهای مختلف مشاهده زمین را فراهم می‌کند. تصاویر در هر هوا و هر زمان از ماهواره سنتینل-۱، داده‌های بالای اپتیکی با وضوح بالای سنتینل-۲، مشاهدات اقیانوسی و زمینی سنتینل-۳ و نظارت بر ترکیب جوی با دقت سنتینل-۴/۵ P به تقویت توانایی ما برای مقابله با مسائل محیطی، اجتماعی و علمی کمک می‌کنند. سیاست داده‌های رایگان و آزاد برنامه کوپرنیکوس همراه با همکاری جهانی، تضمین می‌کند که این منابع ارزشمند برای محققان، سیاست‌گذاران و شرکت‌های تجاری در سراسر جهان دسترسی‌پذیر باشند. همانطور که به جلو حرکت می‌کنیم، برنامه ماهواره‌های سنتینل به تکامل و گسترش خود ادامه خواهد داد، با نسل‌های جدیدی از ماهواره‌ها و قابلیت‌های بهبود یافته در آینده. این تکامل به جوامع جهانی اجازه می‌دهد تا محیط و منابع کره‌زمین خود را بهتر مدیریت و حفاظت کنند و تصمیم‌گیری‌های اطلاع‌رسانی را برای حفظ آینده ما انجام دهند. در دوره‌ای از چالش‌های محیطی در حال افزایش، ماهواره‌های سنتینل به عنوان نگهبانان بیدار زمین ایستاده‌اند و داده‌ها و دیدگاه‌های مورد نیاز برای مقابله با مسائل پیچیده مواجهه‌شده توسط جهان ما را ارائه می‌دهند.

### مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کلیه عزیزانی که در این تحقیق همکاری لازم را داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

ماهواره به پوشش کارآمد مناطق بزرگ کمک می‌کند و بهره‌وری آن در مشاهده زمین و محیط زیستی را افزایش می‌دهد. این دو ماهواره سنتینل، همراه با دیگران در این برنامه، دیدگاهی جامع از سیستم‌های پویا و جذاب کره زمین ما فراهم می‌کنند. قابلیت‌های متنوع آن‌ها از نظر دقت، وضوح مکانی و زمان بازدید، محققان، سیاست‌گذاران و اجراکنندگان را قادر می‌سازد تا به مجموعه‌ای از چالش‌های محیطی و اجتماعی پاسخ دهند. علاوه بر این، سیاست داده‌های آزاد آن‌ها تعامل جهانی را ترویج کرده و این ماهواره‌ها را در تقدیر از فرآیندهای پویای کره زمین و تسهیل مدیریت منابع پایداری از اهمیت بالایی برخوردار می‌سازد. در این بخش، اهمیت دقت و وضوح در رابطه با هر ماهواره‌ی سنتینل برجسته شده است و نقش حیاتی آن‌ها در حل چالش‌های مشاهده زمین مورد تأکید قرار گرفته است. این ماهواره‌ها نقش مهمی در توسعه درک علمی و کاربردهای عملی در مشاهده زمین ایفا می‌کنند و در نهایت به مدیریت پایدار و حفاظت از محیط و منابع کره‌ی زمین کمک می‌کنند.

### نتیجه‌گیری

با وجود این پیشرفت‌ها، دسترسی مناسب داده‌های مشاهده زمین چالش‌های قابل توجهی بود. برای بسیاری از کشورها و سازمان‌ها، پرتاب و نگهداری ماهواره‌ها هزینه زیادی داشت. عوامل جغرافیایی نیز اشتراک داده و همکاری را اغلب به دلیل ملاحظات جغرافیایی متوقف می‌کرد. این تغییر به شدت با ظهور برنامه کوپرنیکوس اروپا تغییر کرد که در اوایل دهه ۲۰۰۰ میلادی وارد مراحل اجرایی شد. کوپرنیکوس هدف ایجاد یک سیستم عملی برای نظارت بر زمین بود که داده‌های محیطی با کیفیت بالا و دسترسی آزاد به تمامی افراد را فراهم می‌کند. در اصل این برنامه در سنتینل متمایز است که قلب کوپرنیکوس است و نماینده دوران جدیدی در مشاهده زمین می‌باشد. برخلاف سابقه ماهواره‌های پژوهشی که عمدتاً بر پایه تحقیقات بودند، سنتینل‌ها ماهواره‌های عملیاتی هستند که به صورت مداوم مشاهده و ارسال داده‌ها برای پشتیبانی از یک دسته گسترده از برنامه‌ها هستند. این گذار از مأموریت‌های تحقیقاتی به صورت نوبتی و محدود به یک سیستم نظارتی جهانی جدید را ایجاد کرده است. شروع سنتینل-۱ A در سال ۲۰۱۴ نشانه شروع این سفر تحولی بود و پرتاب‌های بعدی سنتینل‌ها قابلیت‌های این مجموعه را گسترش داد.

برنامه کوپرنیکوس و ماهواره‌های سنتینل به چندین اصل کلیدی مشخصی شناخته می‌شوند که پشتوانه موفقیت آن‌ها را تشکیل می‌دهند. این اصول شامل دسترسی به داده‌ها، پوشش جهانی، پیوستگی عملیاتی، حسگرهای متنوع و چارچوب همکاری است. اصل دسترسی آزاد به داده‌ها اطمینان می‌دهد که داده‌ها از ماهواره‌های سنتینل برای عموم، محققان، سیاست‌گذاران و شرکت‌های تجاری در دسترس باشند و نوآوری و همکاری را ترویج کنند. مجموعه سنتینل شامل چندین ماهواره است که پوشش جهانی با بازدیدهای متنوع را فراهم می‌کنند، تا اطمینان حاصل شود که هیچ منطقه‌ای از سیاره بدون نظارت

## تعارض منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

## منابع و مأخذ

- [11] Lu D, Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *Int J Remote Sens* 2007;28:823–70.  
<https://doi.org/10.1080/01431160600746456>.
- [12] Dronova I. Object-based image analysis in wetland research: A review. *Remote Sens (Basel)* 2015;7:6380–413.  
<https://doi.org/10.3390/RS70506380>.
- [13] Nomura K, Mitchard ETA. More than meets the eye: Using Sentinel-2 to map small plantations in complex forest landscapes. *Remote Sens (Basel)* 2018;10.  
<https://doi.org/10.3390/RS10111693>.
- [14] Verrelst J, Muñoz J, Alonso L, Delegido J, Rivera JP, Camps-Valls G, et al. Machine learning regression algorithms for biophysical parameter retrieval: Opportunities for Sentinel-2 and -3. *Remote Sens Environ* 2012;118:127–39.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2011.11.002>.
- [15] Clevers JGPW, Gitelson AA. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on sentinel-2 and-3. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2013;23:344–51.  
<https://doi.org/10.1016/J.JAG.2012.10.008>.
- [16] Claverie M, Ju J, Masek JG, Dungan JL, Vermote EF, Roger JC, et al. The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. *Remote Sens Environ* 2018;219:145–61.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2018.09.002>.
- [17] Chastain R, Housman I, Goldstein J, Finco M. Empirical cross sensor comparison of Sentinel-2A and 2B MSI, Landsat-8 OLI, and Landsat-7 ETM+ top of atmosphere spectral characteristics over the conterminous United States. *Remote Sens Environ* 2019;221:274–85.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2018.11.012>.
- [18] Sloan S, Sayer JA. Forest Resources Assessment of 2015 shows positive global trends but forest loss and degradation persist in poor tropical countries. *For Ecol Manage* 2015;352:134–45.  
<https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2015.06.013>
- [19] Sitokonstantinou V, Papoutsis I, Kontoes C, Arnal AL, Andrés APA, Zurbano JAG. Scalable parcel-based crop identification scheme using Sentinel-2 data time-series for the monitoring of the common agricultural policy. *Remote Sens (Basel)* 2018;10.  
<https://doi.org/10.3390/RS10060911>.
- [20] Malenovský Z, Rott H, Cihlar J, Schaepman ME, García-Santos G, Fernandes R, et al. Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote Sens Environ* 2012;120:91–101.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2011.09.026>.
- [1] Schulthess U, Rodrigues F, Taymans M, Bellemans N, Bontemps S, Ortiz-Monasterio I, et al. Optimal Sample Size and Composition for Crop Classification with Sen2-Agri's Random Forest Classifier. *Remote Sens (Basel)* 2023;15.  
<https://doi.org/10.3390/RS15030608>.
- [2] Debella-Gilo M, Gjertsen AK. Mapping seasonal agricultural land use types using deep learning on sentinel-2 image time series. *Remote Sens (Basel)* 2021;13:1–17.  
<https://doi.org/10.3390/RS13020289>.
- [3] Howe AA, Parks SA, Harvey BJ, Saberi SJ, Lutz JA, Yocom LL. Comparing Sentinel-2 and Landsat 8 for Burn Severity Mapping in Western North America. *Remote Sens (Basel)* 2022;14.  
<https://doi.org/10.3390/RS14205249>.
- [4] Haack BN. Landsat: A tool for development. *World Dev* 1982;10:899–909.  
[https://doi.org/10.1016/0305-750X\(82\)90064-X](https://doi.org/10.1016/0305-750X(82)90064-X).
- [5] Uribeetxebarria A, Castellón A, Aizpurua A. A First Approach to Determine if It Is Possible to Delineate In-Season N Fertilization Maps for Wheat Using NDVI Derived from Sentinel-2. *Remote Sens (Basel)* 2022;14.  
<https://doi.org/10.3390/RS14122872>.
- [6] Azzari G, Jain S, Jeffries G, Kilic T, Murray S. Understanding the requirements for surveys to support satellite-based crop type mapping: Evidence from sub-saharan Africa. *Remote Sens (Basel)* 2021;13.  
<https://doi.org/10.3390/RS13234749>.
- [7] Ibrahim ES, Rufin P, Nill L, Kamali B, Nendel C, Hostert P. Mapping crop types and cropping systems in nigeria with sentinel-2 imagery. *Remote Sens (Basel)* 2021;13.  
<https://doi.org/10.3390/RS13173523>.
- [8] Kganyago M, Mhangara P, Adjorlolo C. Estimating crop biophysical parameters using machine learning algorithms and sentinel-2 imagery. *Remote Sens (Basel)* 2021;13.  
<https://doi.org/10.3390/RS13214314>.
- [9] Reineremann S, Gessner U, Asam S, Ullmann T, Schucknecht A, Kuenzer C. Detection of Grassland Mowing Events for Germany by Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 Time Series. *Remote Sens (Basel)* 2022;14.  
<https://doi.org/10.3390/RS14071647>.
- [10] Gašparović M, Jogun T. The effect of fusing Sentinel-2 bands on land-cover classification. *Int J Remote Sens* 2018;39:822–41.  
<https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1392640>.



[31] Xu Y, Yu L, Feng D, Peng D, Li C, Huang X, et al. Comparisons of three recent moderate resolution African land cover datasets: CGLS-LC100, ESA-S2-LC20, and FROM-GLC-Africa30. *Int J Remote Sens* 2019;40:6185–202. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1587207>.

[32] Lark TJ, Mueller RM, Johnson DM, Gibbs HK. Measuring land-use and land-cover change using the U.S. department of agriculture's cropland data layer: Cautions and recommendations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2017;62:224–35. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.06.007>.

[33] Otunga C, Odindi J, Mutanga O, Adjorlolo C. Evaluating the potential of the red edge channel for C3 (*Festuca* spp.) grass discrimination using Sentinel-2 and Rapid Eye satellite image data. *Geocarto Int* 2019;34:1123–43. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1474274>.

[34] Padró JC, Pons X, Aragonés D, Díaz-Delgado R, García D, Bustamante J, et al. Radiometric Correction of Simultaneously Acquired Landsat-7/Landsat-8 and Sentinel-2A Imagery Using Pseudoinvariant Areas (PIA): Contributing to the Landsat Time Series Legacy. *Remote Sensing* 2017;9:1319. <https://doi.org/10.3390/RS9121319>.

[21] Jucker T, Caspersen J, Chave J, Antin C, Barbier N, Bongers F, et al. Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes. *Glob Chang Biol* 2017;23:177–90. <https://doi.org/10.1111/GCB.13388>.

[22] Hansen MC, Sohlberg R, Defries RS, Townshend JRG. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *Int J Remote Sens* 2000;21:1331–64. <https://doi.org/10.1080/014311600210209>.

[23] Chowdhury M, Hasan ME, Abdullah-Al-Mamun MM. Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 2020;23:63–75. <https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2018.11.003>.

[24] Baetens L, Desjardins C, Hagolle O. Validation of copernicus Sentinel-2 cloud masks obtained from MAJA, Sen2Cor, and FMask processors using reference cloud masks generated with a supervised active learning procedure. *Remote Sens (Basel)* 2019;11. <https://doi.org/10.3390/RS11040433>.

[25] Phiri D, Simwanda M, Salekin S, Nyirenda VR, Murayama Y, Ranagalage M. Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sensing* 2020, Vol 12, Page 2291 2020;12:2291. <https://doi.org/10.3390/RS12142291>.

[26] Turner W, Rondinini C, Pettorelli N, Mora B, Leidner AK, Szantoi Z, et al. Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation. *Biol Conserv* 2015;182:173–6. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2014.11.048>.

[27] Konda VGRK, Chejarla VR, Mandla VR, Voleti V, Chokkavarapu N. Vegetation damage assessment due to Hudhud cyclone based on NDVI using Landsat-8 satellite imagery. *Arabian Journal of Geosciences* 2018;11:35. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3371-8>.

[28] Wu M, Yang C, Song X, Hoffmann WC, Huang W, Niu Z, et al. Monitoring cotton root rot by synthetic Sentinel-2 NDVI time series using improved spatial and temporal data fusion. *Sci Rep* 2018;8. <https://doi.org/10.1038/S41598-018-20156-Z>.

[29] Goor E, Dries J, Daems D, Paepen M, Niro F, Goryl P, et al. PROBA-V mission exploitation platform. *Remote Sens (Basel)* 2016;8. <https://doi.org/10.3390/RS8070564>.

[30] Hansen MC, Potapov P V., Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* (1979) 2013;342:850–3. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1244693>.

## معرفی نویسندگان

### AUTHOR(S) BIOSKETCHES



**مجتبی ابوالقاسمی نجفآبادی** استادیار دانشکده برق دانشگاه صنعتی مالک اشتر می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی مهندسی برق - مخابرات را در سال ۱۳۷۶ از دانشگاه تبریز و مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات سیستم را در سال ۱۳۷۸ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر دریافت نمودند. در سال ۱۳۸۹ موفق به اخذ مدرک دکتری تخصصی در رشته مهندسی برق - مخابرات سیستم از دانشگاه صنعتی امیرکبیر گردیدند. ایشان به عنوان مدیر دفتر طراحی سامانه‌های فضایی در طراحی، ساخت و تست ماهواره طلوع همکاری داشته‌اند. کسب رتبه دوم پژوهشگر برتر در جشنواره تحقیقاتی دفاعی در سال ۱۳۹۲ و چاپ چندین عنوان مقاله علمی در حوزه ماهواره‌های سنجش از دور و نهان‌نگاری از جمله فعالیت‌های پژوهشی ایشان می‌باشد. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: سنجش از دور ماهواره‌ای، مهندسی سیستم ماهواره، نهان‌نگاری و نهان‌کاوی تصویر و طراحی محموله‌های اپتیکی فضایی.

**Abolghasemi Najafabadi, M. Assistant Professor at the Department of Electrical Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran**

✉ [mo\\_abolghasemi@mut.ac.ir](mailto:mo_abolghasemi@mut.ac.ir)

**Citation (Vancouver):** Abolghasemi M. [Sentinel Satellites: Revolutionizing Earth Observation for Science and Sustainability]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 205-216

 <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10288.1023>



**COPYRIGHTS**



© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Detection of Rice Seedlings in UAV Image Using DenseNet Network

K. Borooshan<sup>1</sup>, S. Behzadi<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> Department of GIS and Remote Sensing, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

### ABSTRACT

Received: 17 June 2023  
Reviewed: 20 July 2023  
Revised: 07 August 2023  
Accepted: 03 September 2023

#### KEYWORDS:

Deep Learning  
DenseNet Network  
Detection  
Rice Seedlings  
Remote SENSING  
UAV

\* Corresponding author

[behzadi@sru.ac.ir](mailto:behzadi@sru.ac.ir)

① (+9821) 22970021

**Background and Objectives:** Rice, recognized as a strategic product for food security, holds a significant position not only in national economies but also globally. The importance of rice in meeting the dietary needs of populations and its role in achieving food security have led to a serious and substantial emphasis on this staple crop. In this regard, accurate and up-to-date data collection on the status of rice fields, especially information related to the quantity and quality of products, is crucial. Remote sensing technologies have been proposed as an efficient and effective solution in this context, enabling cost-effective data collection over extensive areas. Among these technologies, drones, due to their superior spatial resolution and higher precision in various monitoring tasks compared to satellites, offer relative advantages. This research employs an advanced approach called deep learning to estimate the cultivation area of rice seedlings or seedbeds using RGB images captured by drones in the Wufeng region of Taichung Province, Taiwan. The method leverages the capabilities of deep neural networks as an effective tool for analyzing complex data, achieving high accuracy in distinguishing various types of rice seedling or seedbed cultivation areas.

**Methods:** In this study, an advanced deep learning technique called DenseNet is employed for modeling and predicting the rice seedling or seedbed cultivation area in RGB images taken by drones. This method, utilizing complex algorithms and a set of processing layers, can extract high-level abstract concepts from the data. One unique feature of DenseNet is its use of a layer-to-layer algorithm instead of traditional layer concatenation approaches, resulting in reduced weights and parameters, as well as increased network efficiency. The ability of deep learning to process data in real-time immediately after image acquisition demonstrates the dynamic potential of DenseNet in quickly and accurately processing information. This capability allows real-time analysis and prediction of the rice seedling or seedbed cultivation area, providing the necessary information for optimal farm management.

**Findings:** The results obtained from this research demonstrate a confirmation of an accuracy exceeding 99.8% on validation data. This exceptionally high percentage indicates the remarkable capability of the DenseNet deep learning method in accurately estimating the cultivation area of rice seedlings or seedbeds. This high accuracy not only showcases the excellent performance of the model in identifying and predicting the rice cultivation area but also instills confidence in users. The presented model has successfully achieved precise detection and assessment of the rice seedling or seedbed cultivation area. This practical application provides valuable tools for farmers and farm managers to gain more accurate and timely awareness of their farm's status, facilitating better decision-making in cultivation and productivity.

**Conclusion:** This study convincingly shows the viability of employing drones in conjunction with sophisticated deep learning techniques for accurately estimating the cultivation area of rice seedlings or seedbeds. This approach proves feasible, especially in geographical areas similar to Wufeng in Taichung Province, Taiwan. The integration of drones and deep learning represents a notable technological leap in monitoring capabilities, offering substantial assistance to pertinent authorities involved in agricultural management and ensuring food security.



NUMBER OF REFERENCES

31



NUMBER OF FIGURES

7



NUMBER OF TABLES

0

## مقاله پژوهشی

## آشکارسازی نشاء برنج در تصویر پهپاد با استفاده از شبکه DenseNet

کیارش بروشان<sup>۱</sup>، سعید بهزادی<sup>۲\*</sup><sup>۱</sup>گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد- واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران<sup>۲</sup>گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** برنج به عنوان یک محصول استراتژیک در زمینه امنیت غذایی نه تنها در اقتصاد کلان جوامع بلکه در جایگاه جهانی نیز جایگاه ویژه‌ای دارد. اهمیت این محصول در تأمین نیازهای غذایی جمعیت و نقش آن در تحقق امنیت غذایی، اهمیت جدی و چشم‌گیری به آن اختصاص داده است. در این راستا، جمع‌آوری دقیق و به‌روز اطلاعات از وضعیت مزارع برنج، به ویژه اطلاعات مرتبط با کمیت و کیفیت محصولات، امری بسیار حیاتی و اساسی است. استفاده از تکنولوژی‌های سنجش از دور در این زمینه به‌عنوان یک راهکار کارآمد و موثر مطرح شده است. این تکنولوژی‌ها امکان جمع‌آوری اطلاعات پایشی از مزارع را با کمترین هزینه و در مناطق گسترده‌تر فراهم می‌آورند. از جمله این تکنولوژی‌ها، پهپادها به‌خاطر توانایی بهتر در تفکیک مکانی و دقت بالاتر در انجام پایش‌های مختلف نسبت به ماهواره‌ها، از مزایای نسبی برخوردارند. تحقیق حاضر از یک رویکرد پیشرفته به نام یادگیری عمیق استفاده می‌نماید تا به منظور تخمین سطح زیر کشت برنج نشاء یا نهال از تصاویر RGB گرفته شده از پهپادها در منطقه ووفنگ استان تایچانگ کشور تایوان، اقدام نماید. این روش از توانمندی‌های شبکه‌های عصبی عمیق به‌عنوان یک ابزار موثر برای تحلیل داده‌های پیچیده بهره‌مند شده و به دقت بالایی در تفکیک انواع مختلف سطح زیر کشت نشاء یا نهال برنج دست یافته است.

**روش‌ها:** در این تحقیق، از یکی از روش‌های پیشرفته یادگیری عمیق به نام DenseNet برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سطح زیر کشت برنج نشاء یا نهال در تصاویر RGB گرفته شده از پهپادها استفاده شده است. این روش به وسیله الگوریتم‌های پیچیده و مجموعه‌ای از لایه‌های پردازشی، قابلیت استخراج مفاهیم انتزاعی سطح بالا را از داده‌ها دارد. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد DenseNet این است که از الگوریتم لایه به لایه (Layer-to-Layer) به جای رویکردهای سنتی که از ادغام لایه‌ها (layer concatenation) استفاده می‌کنند، بهره‌می‌برد. در این الگوریتم، هر لایه مستقل از سایر لایه‌ها کار می‌کند و به لایه‌های قبلی متصل می‌شود، که باعث کاهش تعداد وزن‌ها و پارامترها و همچنین افزایش کارایی شبکه می‌شود. استفاده از قابلیت یادگیری عمیق برای پردازش به‌هنگام داده‌ها به صورت فوری پس از اخذ تصاویر نشان‌دهنده قابلیت پویای DenseNet در پردازش اطلاعات به‌سرعت و با دقت بالا است. این امکان به ما اجازه را می‌دهد که در زمان واقعی به تحلیل و پیش‌بینی سطح زیر کشت برنج نشاء یا نهال پرداخته و اطلاعات مورد نیاز برای اداره بهینه مزارع را بدست آوریم.

**یافته‌ها:** نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، تأییدگر دقت بسیار بالای ۹۹.۸ درصد بر روی داده‌های اعتبارسنجی نشان می‌دهد. این درصد بسیار بالا نشان‌دهنده توانایی فوق‌العاده روش یادگیری عمیق DenseNet در تخمین دقیق سطح زیرکشت برنج نشاء یا نهال می‌باشد. این دقت بالا نه تنها نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب مدل در شناسایی و پیش‌بینی میزان کاشت برنج، بلکه اطمینان بخش بوده و به کاربران اعتماد می‌بخشد. مدل ارائه‌شده توانسته است با دقت بسیار بالا به تشخیص و ارزیابی سطح زیر کشت برنج نشاء یا نهال بپردازد. این امر در عمل به کشاورزان و مدیران مزارع ابزاری ارزشمند ارائه می‌دهد تا به‌صورت دقیق‌تر و سریع‌تر از وضعیت مزرعه خود آگاه شوند و تصمیم‌گیری‌های بهتری در مدیریت کشت و بهره‌وری انجام دهند.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع، این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از پهپادها به همراه روش‌های یادگیری عمیق، به منظور تخمین سطح زیرکشت برنج نشاء یا نهال با دقت بالا، در مناطقی چون ووفنگ استان تایچانگ تایوان، امکان‌پذیر است. این ارتقاء در تکنولوژی پایش می‌تواند به مدیران ذی‌ربط در امور کشاورزی و امنیت غذایی کمک زیادی کند.

تاریخ دریافت: ۲۷ خرداد ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۲۹ تیر ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۱۶ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۱۲ شهریور ۱۴۰۲

## واژگان کلیدی:

آشکارسازی  
پهپاد  
سنجش از دور  
شبکه DenseNet  
نشاء برنج  
یادگیری عمیق

\* نویسنده مسئول

behzadi@sru.ac.ir

۰۲۱-۲۲۹۷۰۰۲۱ (۳)

## مقدمه

(function) با باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده کردند که نتایج حاکی از میانگین خطای نسبی برای برنج بر محصول برابر با ۱۱.۵ و انحراف معیار ۹.۲ و ضریب تخمین ۰.۲ بود [۹]. ریاحی و همکاران با استفاده از سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و NDVI اقدام به شناسایی و تفکیک اراضی زیر کشت برنج در ناحیه لنجانان استان اصفهان نمودند. نتایج حاکی از ضریب کاپا و صحت کلی ۰.۸ و ۹۰٪ در روش حداکثر احتمال و ۰.۹ و ۹۳٪ برای روش NDVI بود [۱۰، ۱۱]. دشتی و همکاران با استفاده از تصویر مرداد و شهریور ۱۳۹۵ سنتینل ۲ و روش‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و فاصله ماه‌الانوبی اقدام به تفکیک اراضی برنج و سویا در چهار حوضه آبخیز استان گلستان نمودند. نتایج حاکی از افزایش ۲۵٪ سطح زیر کشت نسبت به سال ماقبل و کاهش ۱۳.۸٪ محصول سویا است. همچنین ضرایب کاپا و صحت کلی برای روش منتخب حداکثر احتمال برابر با ۹۲ و ۹۵٪ ارزیابی نمودند [۱۲]. صدوقی و همکاران با استفاده از تصاویر مودیس و لندست ۸ اقدام به برآورد عملکرد برنج با استفاده از مدل SVM در استان گیلان نمودند. ایشان از تعداد ۲۰ کرت و اطلاعاتی از جمله عملکرد واقعی اندازه‌گیری میدانی را انجام داده و سپس آن‌ها را درون‌یابی نمودند. نتایج حاکی از همبستگی بالای ۸۰٪ بین عملکرد عملکرد واقعی و عملکرد برآوردی و ضریب تبیین ۶۵٪ بود. ایشان این مدل را جهت شبیه‌سازی عملکرد برنج مناسب ارزیابی نمودند [۱۳]. یاقوتی و همکاران با هدف برقراری رابطه رگرسیونی بین عملکرد ارقام محلی و شاخص‌های NDVI، SAVI، DVI و RVI مستخرج از تصویر لندست ۷ در شهرستان تفت مطالعه‌ای انجام دادند. ایشان شاخص NDVI را مناسب‌ترین شاخص در برآورد عملکرد ارقام محلی و پرمحصول دانسته و مقادیر ضریب تبیین ۰.۷ و ۰.۶ بین عملکرد عملکرد واقعی و عملکرد عملکرد برآوردی را نشان از کارایی مدل EF دانستند [۱۴، ۱۵]. گلپور و همکاران به تشخیص ارقام شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید پرداختند. ایشان با استفاده از ۱۰۸ ویژگی بافتی تصاویر برنج، ماتریس هم‌وقوعی تصویر خاکستری را به شبکه عصبی پس‌انتشار خطا با یک لایه جهت طبقه‌بندی آموزش دادند. نتایج حاکی از دقت‌های ۹۲، ۹۷ و ۹۸ درصد برای شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید بود. نتایج برای موارد ذکر شده با شبکه عصبی دو لایه برابر با ۹۶، ۹۷ و ۹۸ درصد بود. در نهایت ایشان دقت ۹۸٪ را با ۴۵ ویژگی برای برنج قهوه‌ای و دقت ۹۳٪ را با ۱۱ ویژگی برای برنج سفید و دقت ۹۶٪ را با ۱۸ ویژگی مناسب ارزیابی نمودند [۱۶]. جعفری و همکاران به برآورد ضریب گیاهی KC (Crop Coefficient) و شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) در مراحل مختلف از دو قطعه شالیزار با استفاده از سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ پرداختند. ایشان مقدار متوسط ضریب گیاهی را در مراحل نشاء، پنجه‌زنی، خوشه‌دهی، و رسیدن را به ترتیب ۰.۹۲/۱، ۰.۲۴/۱، ۰.۱۹/۱، ۰.۱۲/۱ به‌دست آوردند. که نشان از رابطه خطی بین این ضریب و شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) به مقدار  $r > 0.92$  است و این شاخص را برای برآورد ضریب گیاهی برنج مناسب دانستند. همچنین شاخص

مدیران حوزه امنیت غذایی نیاز دارند تا سطح زیر کشت محصولات زراعی به‌صورت مستمر و تقریباً به‌هنگام (real-time) در دسترس باشد تا بتوانند جهت تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری‌های بعدی از آن استفاده کنند. در چند دهه گذشته افزایش تولید کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. افزایش تقاضا و عدم گسترش زمین‌های کشاورزی، نیاز کشاورزی دقیق را به‌وجود آورده تا تولید و بهره‌وری بهبود یابد [۱]. متدهای متداول موجود در پردازش تصاویر ماهواره و پهپاد چند طیفی جهت پایش برنج، مبتنی بر فنومتریک و SMF (Shape model fitting) نیازمند سری زمانی هستند [۲]. بدین معنا که ابتدا باید زمان کاشت، داشت و برداشت طی شود و تصاویر پهپاد یا ماهواره آن اخذ شده و سپس برای تشخیص دوره رشد مبتنی بر سری زمانی، شاخص‌هایی نظیر سبزی‌نگی و غیره اعمال و با آستانه‌گذاری، تفکیک شوند [۳]. که عملکرد این روش‌ها بستگی به مدت زمان و دوره تکرار داده دارد و در مرحله رسیدگی برنج نیز به خوبی عمل نمی‌کند [۴]. در روش‌های یادگیری عمیق هر زمان که تصویر پهپادی یا ماهواره‌ای مهیا باشد می‌توان پردازش تصویر را اعمال و نتیجه را دریافت کرد [۵]. منتها باید داده‌های تاریخیچه یک‌بار از قبل به مدل روش‌های یادگیری عمیق آموزش داده شده باشد [۶، ۷]. همچنین باید اشاره نمود که با توجه به تنوع محصولات زراعی و باغی، و همچنین تأثیرات آفات و تنش‌هایی مانند کم‌آبی، کود و بیماری، علناً نمی‌توان برای تک تک محصولات مدل‌های فیزیکی و تجربی ارائه داد و راهی جز استفاده از روش‌های یادگیری عمیق شاید بهترین انتخاب باشد. تاکنون تحقیقات مختلفی در مورد محصول برنج اعم از فنولوژی یا دوره رشد، کیفیت برنج، تخمین سطح زیر کشت، تهیه نقشه علف هرز، مصارف بیمه‌ای و غیره انجام شده است. در این بخش به برخی از این تحقیقات که با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی انجام شده پرداخته می‌شود.

علیزاده و همکاران با استفاده از داده‌های سری زمانی NDVI (Normalize) و (Difference Index) و (Land Surface Water Index) LSWI محصول ۱۶ روزه سنجنده مودیس با قدرت تفکیک ۲۵۰ متری برای تفکیک سه مرحله فنولوژی کاشت، سردهی و برداشت پرداختند. آن‌ها رفتار این دو شاخص را در فنولوژی برنج معکوس دانسته و با استفاده از ۱۸۳ نقطه کنترلی، خطای RMSE را برای مرحله نشاء‌کاری برابر ۷/۸ و مرحله برداشت را برابر با ۶.۶ ارزیابی نمودند. در نهایت، این روش را در مقیاس منطقه‌ای برای پایش برنج مناسب ارزیابی نمودند [۸]. ورما و همکاران از ۴ تصویر سنسور LISS-III ماهواره IRS-1D به برآورد میزان تولید برنج پرداختند. از ۴ تصویر موجود، ۲ تصویر مربوط به فصل برنج‌کاری و ۲ تصویر دیگر مربوط به فصل غیر برنج‌کاری بود. ایشان از آنالیز مؤلفه اصلی جهت کاهش بعد نمونه‌های ورودی به شبکه عصبی (Multi-layer perceptron) استفاده کردند. نتایج حاکی از دقت کلی ۹۸٪ و ضریب کاپا ۰.۹۶ روی مجموعه سنجشی بود. همچنین، جهت تفکیک برنج کم محصول از پر محصول از شبکه عصبی (Radial basis)



مرحله رسیدگی مناسب ارزیابی کرده و مقدار  $R^2$  را در حدود ۰.۴ ارائه نمودند [۲۰، ۲۱]. هانگ و همکاران به بررسی دو روش شیء منا و یادگیری عمیق برای تهیه نقشه علف هرز مزارع برنج پرداختند. ایشان از تصاویر پهپاد با ۴ روز مختلف در دو کرت متفاوت با ارتفاع پروازی ۱۰ متر استفاده نمودند. همچنین از الگوریتم K-mean جهت بهبود استخراج رنگ و بافت برای متد شیء منا استفاده نمودند. ایشان با انتخاب محتاطانه ابرمتغییرها و تصاویر اندازه  $1000 \times 1000$  پیکسل، صحت نهایی را برای روش شیء منا در حدود ۶۶٪ برآورد و برای روش یادگیری عمیق با شبکه تمام متصل و اعمال پیش آموزش انتقالی (Pre-train transfer learning) و سایر تنظیمات برای معماری VggNet را در حدود ۸۲٪ ارائه دادند [۲۲]. یانگ و همکاران اقدام به ترکیب روش یادگیری عمیق با شاخص‌های سبزیگی جهت تشخیص مزارع برنج در مقیاس بزرگ جهت مصارف بیمه‌ای در کشور تایوان استان تایچانگ، منطقه ووفنگ نمودند. ایشان از محدوده ۲۳۰ هکتاری، ۲ تصویر با ارتفاع پروازی ۲۳۰ متری در سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ برداشت کردند. ایشان سه شاخص سبزیگی (Excess Red) EXR، (Excess Green) EXG و (Excess Green minus Excess Red) را محاسبه و به مدل اضافه نمودند. در ادامه تصاویر را به کاشی‌های  $480 \times 480$  پیکسلی تقسیم و ۵ کلاس را برچسب‌گذاری کردند و دو معماری FCN-AlexNet و SegNet را روی آن اعمال نمودند. نتایج حاکی از امتیاز ۰.۸ برای معماری FCN-AlexNet و ۰.۷۹ برای معماری SegNet بود [۴]. دویا و همکاران به پایش متغیرهای زیست توده جمعی و غلظت نیتروژن برگ محصول برنج توسط پهپاد پرداختند. ایشان داده زمینی زیست توده را با وزن کردن مقدار معینی از محصولی که در اجاق با دمای ۶۵ درجه برای ۴ روز متوالی که رطوبت خود را از دست داده به دست آوردند. همچنین برای مقدار نیتروژن از دستگاه SPAD بهره بردند. نتایج حاکی از قابلیت تخمین شبکه عصبی با میانگین ۸۰٪ و ۷۸٪ برای زیست‌توده و نیتروژن برگ است [۲۳]. ژائو و همکاران به تشخیص وجود یا عدم وجود برنج به کمک معماری U-net با استفاده از پهپاد دارای سنجنده چند طیفی که در ارتفاع ۱۰۰ متری تصویر برداری کرده بود پرداختند. نتایج حاکی از همبستگی بین تصاویر رنگی و چند طیفی با مقدار ۰.۹۴ و ۰.۹۲ بود [۲۴].

همان‌طور که در پیشینه بررسی شد، جهت پایش برنج عموماً برای تصاویر ماهواره از روش‌های سری زمانی بهره گرفته شده است. مشکل اصلی این روش آن است که برای پردازش، نیاز به سپری شدن زمان کاشت، داشت و برداشت است و بصورت به‌هنگام امکان استفاده از این روش نیست. همچنین این روش برای مرحله رسیدگی برنج نمی‌تواند به‌خوبی تفکیک را انجام دهد. و در مورد روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق معماری‌های متنوعی روی تصاویر پهپاد و ماهواره انجام پذیرفته است. هدف اصلی این پژوهش، استخراج سطح زیر کشت محصول نشاء یا نهال برنج به‌صورت به‌هنگام در تصویر پهپاد RGB با یکی از روش‌های یادگیری عمیق به‌نام DenseNet می‌باشد.

RGVI (Rice Growth Vegetation Index) را با ضریب همبستگی  $r > 0.93$  در تعیین شاخص سطح برگ مناسب دانسته و در بیش از ۹۰ درصد تغییرات در مقدار شاخص سطح برگ را در مراحل رشد پیش‌بینی می‌کند [۱۷]. یانگ و همکاران برای شناسایی مراحل رشد برنج توسط رویکرد روش‌های یادگیری عمیق با پهپاد از ۶۷۲ پلات داده فنولوژی برداشت نموده و آن‌ها را به مقیاس BBCH تبدیل نمودند. بدین معنا که مرحله دانه را با ۰۰ و مرحله رسیدگی کامل و برداشت را با ۹۹ برچسب‌گذاری نمودند. ایشان مراحل رشد را به ۸ دسته: ۱- توسعه برگ، ۲- پنجه‌زنی، ۳- کشیدگی ساقه، ۵- ظهور سردهی، ۶- گل‌دهی، ۷- ایجاد میوه، ۸- رسیدن کامل طبقه‌بندی و مقیاس BBCH آن‌ها را نیز به ترتیب ۱۸، ۲۵، ۳۲، ۳۸، ۵۵، ۶۱ و ۸۶ برچسب‌گذاری نمودند. شایان‌ذکر است ایشان از مرحله ۴ داده برداشت نکردند. داده‌های مذکور توسط پهپادی با ۵ سنسور آبی، سبز، قرمز، لبه قرمز و مادون قرمز با ارتفاع پروازی ۲۹۳ متر به میانگین هر ۷ روز برداشت نمودند. در نهایت ایشان علاوه بر رویکرد SMF از ۵ معماری VGG16, Inception, ResNet, Inception-ResNet و شبکه عصبی ابداعی خویش را روی داده‌های ذکر شده اعمال که صحت و خطای مطلق میانگین آن‌ها به ترتیب ۰.۴ - ۰.۲، ۰.۲ - ۰.۸۱، ۰.۲ - ۰.۸۳، ۰.۲ - ۰.۸۱ و ۰.۲ - ۰.۸۳ اعلام نمودند [۱۸، ۱۹]. تری و همکاران از پهپاد با سنسور چند طیفی و روش یادگیری عمیق جهت ارائه یک رویکرد جدید برای ارزیابی کیفیت برنج استفاده کردند. ایشان از ۲ کرت تقریباً ۲ هکتاری ۸۰۰ تصویر برداشت و پس از اعمال فرآیندهایی از قبیل تنظیم کنتراست، بریدن تصویر به ابعاد  $256 \times 256$  پیکسل و فیلترگذاری جهت بائری کردن تصویر، آن‌ها را توسط معماری LeNet-5 آموزش دادند. ایشان بهترین تنظیمات را توسط سعی و خطا بدست آورده و نتیجه نهایی را با دقت ۷۲/۰ ارائه دادند. همچنین، بزرگ بودن اندازه تصاویر پردازشی را بر ایجاد نویز و افزایش زمان پردازش در نتیجه نهایی تأثیرگذار دانستند و پیشنهاد داده‌افزایی (Data Augmentation) را مهم دانستند [۱]. یانگ و همکاران از شبکه عصبی کانولوشنال جهت تخمین مزارع برنج در زمان برداشت با کمک تصاویر پهپاد استفاده نمودند. ایشان در منطقه گوانگجو استان چین از ۱۶۰ هکتار تصویر برداری و سپس به ۶ کلاس: ۱- برگ باز نشده، ۲- حداکثر تعداد پنجه، ۳- گل‌دهی، ۴- مرحله رسیدگی آبیکی (نرم)، ۵- مرحله شیری کامل و ۶- مرحله رسیدگی کامل در مقیاس BBCH برچسب‌گذاری نمودند. داده‌ها را با اندازه  $156 \times 156$  پیکسل به معماری AlexNet آموزش داده و همچنین شاخص‌های سبزیگی را محاسبه نمودند. نتایج، حاکی از بیشترین دقت برای شاخص‌های (Enhanced Vegetation Index) SAVI، (Soil-adjusted Vegetation Index) OSAVI، (Modified soil-adjusted Vegetation Index) MSAVI، (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index) و کمترین دقت مربوط به شاخص‌های (Ratio Vegetation Index Green) GRVI، (Green Normalized Difference Vegetation Index) GNDVI، (Wide Dynamic Range Vegetation Index) NDVI و (NDVI) بود. ایشان شبکه عصبی کانولوشنالی را برخلاف شاخص‌های سبزیگی برای ارزیابی

## روش تحقیق

## منطقه مورد مطالعه

مجموعه داده‌هایی که از تصاویر ارتوموزاییک تشکیل شده، در گیت هاب از ۱۰ فوریه ۲۰۲۱ قابل دسترس است (<https://github.com/aipal-nchu/RiceSeedlingDataset>) این مجموعه داده، شامل ۱۳ تصویر از مراحل رشد است که در سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ با سیستم مختصات TWD97/TM2 در زون ۱۲۱ با شماره EPSG:3826 زمین مرجع شده اند [۲۵]. شکل ۱، مسیر پروازی تصویر پهپاد از شالیزار برنج در تصویر ماهواره‌ای که توسط مرکز تحقیقات برنج تایوان TARI (Taiwan Agricultural Research Institute) در منطقه ووفنگ در استان تایچانگ تهیه شده است را نشان می‌دهد.

## داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده

تصویر پهپاد (2018-08-23\_ARI80\_20m\_Orthomosaic) مورد استفاده در این پژوهش در تاریخ ۲۳ آگوست ۲۰۱۸ در ساعت ۰۷:۳۰ تا ۰۸:۰۰ صبح توسط سنجنده RGB ساخت شرکت DJI با برند فانتوم ۴ پرو با فاصله کانونی ۸.۸ میلی‌متر تهیه شده است (شکل ۲) [۲۵]. این پهپاد با ارتفاع پروازی اسمی ۲۰ متری و قدرت تفکیک مکانی ۳.۵ میلی‌متری با سرعت ۱.۸ تا ۲.۲ متر بر ثانیه اقدام به ثبت تصویر نمود.

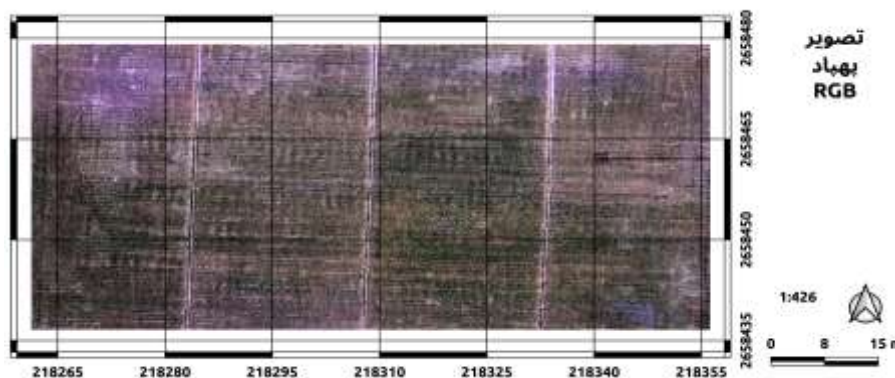
## روش شناسی

در این پژوهش، جهت استخراج سطح زیر کشت برنج، ابتدا تصویر پهپادی RGB که به صورت رایگان در دسترس عموم است، از گیت هاب (<https://github.com/aipal-nchu/RiceSeedlingDataset>) دانلود و سپس در نرم‌افزار QGIS هر باند آن به صورت جداگانه نرمال و در نهایت به یکدیگر چسبانده شدند. سپس یک شبکه مشبک (Mesh grid) برای کل تصویر ساخته شد. ابعاد این شبکه مشبک باید به گونه‌ای باشد که تعداد مشخصی از پیکسل‌ها در آن جای بگیرد و این تعداد پیکسل بر اساس کیفیت تصویر، دقت خروجی مورد نیاز و غیره متفاوت و بر اساس تجربه است. در ادامه، مناطقی که دارای خالص‌ترین محدوده نشاء برنج (Rice Seedling) و خاک (Arable Land) می‌باشند، از تصویر برش می‌خورند و به عنوان نمونه‌های آموزشی به شبکه DenseNet ارائه می‌شوند. منتها قبل از این مرحله این نمونه‌ها به دو بخش آموزشی و آزمایشی به نسبت ۷۵ به ۲۵ تقسیم‌بندی می‌شوند. در مرحله بعد، پس از ساخت مدل باید به کل تصویر اعمال شود ولی چون سیستم پردازشی برای این کار ضعیف بود، ابتدا تصویر پهپاد به ۱۰۹ تصویر کوچک‌تر توسط شبکه مشبک تقسیم‌بندی شد و پس از اعمال مدل و طبقه‌بندی، در نهایت به یکدیگر چسبانده شدند. روند نما (Flowchart) پیشنهادی جهت استخراج سطح زیر کشت نشاء برنج در تصویر پهپادی RGB در شکل ۳ نشان داده شده است.



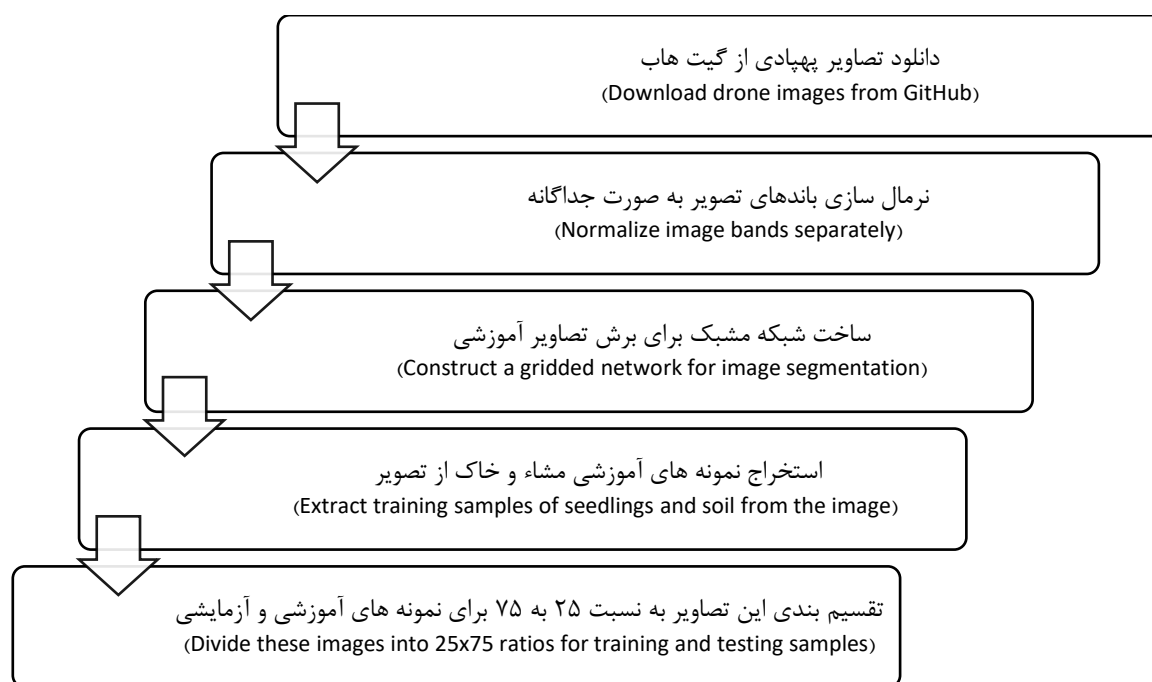
شکل ۱: کرت برنج منطقه مطالعاتی در کشور تایوان، استان تایچانگ [۲۵]

Fig. 1: Rice fields of the study area in Taiwan, Taichung Province



شکل ۲: تصویر پهپادی RGB از منطقه مورد مطالعه [۲۵]

Fig. 2: RGB image of the study area acquired by UAV



شکل ۳: روندنمای استخراج سطح زیر کشت برنج از تصویر پهپاد RGB  
Fig. 3: Flowchart of extraction of the area under rice cultivation from the RGB UAV image

#### پیش پردازش

در بخش آماده سازی داده ها، موضوع تغییر مقیاس از موضوعات پراهمیت در حوزه یادگیری ماشین است و معمولاً به دو روش استانداردسازی (Standardization) و نرمال سازی (Normalization) صورت می گیرد [۲۶، ۲۷]. در استانداردسازی تبدیلی (Transformation)، داده ها بدون مقیاس با میانگین صفر و انحراف معیار برابر با یک نرمال می شوند. رعایت ساختار داده استاندارد جزء مهم ترین بخش های یک معماری می باشد [۲۸، ۲۹]. معماری DenseNet به گونه ای طراحی شده که ورودی آن به صورت تصاویری با ابعاد  $n \times n$  پیکسل است. نویسنده، برای سهولت کار، از این پس این تصاویر را به نام پنجره داده نام گذاری می کند. مقدار  $n$ ، رابطه کاملاً مستقیمی با کیفیت قدرت تفکیک مکانی سنجنده دارد. هر چه سنجنده در ارتفاع پروازی کمتری تصویر برداشت کند، کیفیت تصویر بهتر است. مسلماً مقدار  $n$  هر چه بیشتر باشد، نتیجه خروجی مدل حاصل از معماری روش های یادگیری عمیق، بهتر و قابل اطمینان تر و احتمالاً هزینه پردازشی نیز بالاتر خواهد بود [۳۰].

جهت برش پنجره داده از تصویر پهپاد از یک شبکه مشبک که دارای تعداد مشخصی از پیکسل است، استفاده شد (شکل ۴). نکته خیلی مهم دیگر، خالص بودن پنجره داده است. بدین معنا که پیکسل های برداشت شده هر کلاس، باید دقیقاً مربوط به همان کلاس باشد. وجود پیکسل هایی از کلاس های دیگر به شدت روی نتیجه نهایی اثرگذار خواهند بود. انتخاب پنجره داده های خالص رابطه مستقیمی با ارتفاع پروازی سنجنده دارد. از طرفی دیگر، اگر تعداد  $n$  از مقدار معینی کمتر شود، اصلاً معماری DenseNet اجرا نخواهد شد. بنابراین، باید مقدار  $n$  در پنجره داده و تعداد پنجره داده، در مقدار بهینه خود باشد که بتوان

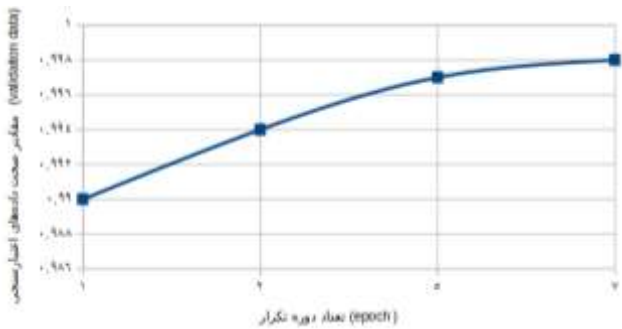
هم از پس هزینه پردازشی برآمد و هم مهم تر از همه بتوان تعداد بهینه ای از پنجره داده را مهیا نمود. نویسنده، با صرف زمان بسیار و با سعی و خطا به این تعداد بهینه از ابعاد پنجره داده، دست یافته است. در این پژوهش به غیر از داده تصویر رنگی پهپاد، هیچ گونه داده دیگری وجود ندارد. بنابراین، با توجه به شواهد بصری از تصویر رنگی، اقدام به نمونه برداری برای پنجره داده شد. بطور کل ۲، عارضه نهال یا نشاء برنج و خاک جهت استخراج پنجره داده در نظر گرفته شد. برای انتخاب پنجره داده، با توجه به ارتفاع بالای سنجنده، پنجره داده هایی انتخاب شدند که قسمت اعظم آن توسط نهال یا نشاء برنج پوشیده شده بود. همچنین به علت کیفیت پایین تصویر امکان برداشت پنجره داده برای عارضه سایه وجود نداشت.

#### معماری DenseNet

از شبکه های عصبی می توان به شبکه عصبی کانولوشن نام برد که در تشخیص و پردازش تصویر، فیلم، سیستم های توصیه کننده و پردازش زبان طبیعی کاربرد دارند. DenseNet (شکل ۵) یکی از شبکه های نورونی کانولوشن است که توسط گروه هایی از دانشگاه های Cornwell, Tsinghua و هوش مصنوعی فیس بوک در سال ۲۰۱۷ ارائه شد (<http://archiaai.ir/introduction-cnns-architectures>). با استفاده از ایده skip connection ورودی بلاک های موجود در این معماری از تمامی لایه های قبل به دست می آید و بین هر دو بلاک عملیات Pooling و غیره توسط بلوک Transition انجام می پذیرد [۲۲، ۳۱]. این عمل، باعث افزایش کارایی شده و اطلاعات می توانند در انتشار رو به عقب به صورت مستقیم در شبکه حرکت کنند (<https://alisterta.github.io/2017-07-16>).

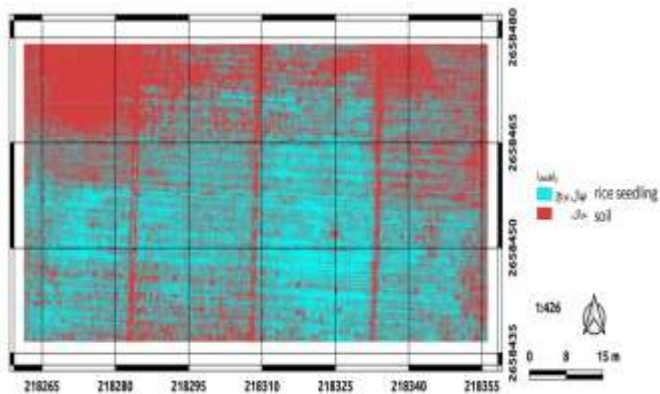


شکل ۴: نمونه‌هایی از پنجره داده برای نشاء برنج  
Fig. 4: Examples of data windows for rice planting



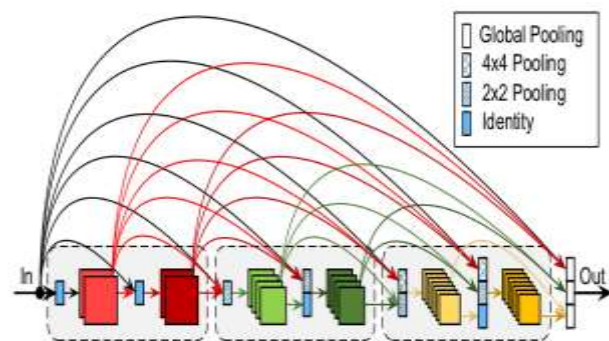
شکل ۶: مقادیر صحت روی داده‌های اعتبارسنجی در دوره‌های تکرار  
Fig. 6: Accuracy values on validation data in iteration periods

مدل ساخته شده توسط معماری DenseNet روی کل تصویر اعمال شد و نتیجه در شکل ۷ نمایش داده شده است. نتایج حاصله، با توجه به ارتفاع بالای سنجنده و خالص نبودن کلاس‌های پنجره داده، در مجموع مناسب ارزیابی می‌شود. البته برخی خطاها و طبقه‌بندی‌های اشتباه نیز وجود دارد که به علت کم بودن تعداد آن‌ها نسبت به کل تصویر و کیفیت تصویربرداری، قابل اغماض است. همچنین، برخی از اشتباهات در طبقه‌بندی، مربوط به سایه‌ها است. از آنجایی که این سایه‌ها کم و کوچک بوده و در پنجره داده جا نگرفته و امکان تهیه تعداد مناسبی از این داده وجود نداشت، از ساخت این مجموعه داده صرف‌نظر شد. این معماری در شناسایی سایه و برخی از نهال‌ها یا نشاءهای برنج که کوچک بودند به خوبی عمل نکرده، که علت آن عدم آموزش این نوع از عارضه به مدل، ارتفاع بالای سنجنده و ساعت تصویربرداری (۰۷:۳۰ تا ۰۸:۰۰ صبح) است.



شکل ۷: نقشه نهایی طبقه‌بندی سطح زیر کشت نشاء برنج در تصویر RGB  
Fig. 7: The final classification map of rice planting area in the RGB image

از ویژگی این معماری نسبت به معماری‌های دیگر آن است که به دلیل بهینه‌سازی موجود، ویژگی‌های هر لایه بسیار کمتر شده است. به عبارت دیگر عرض شبکه کمتر و عمق آن افزایش یافته است. این معماری، باعث آن می‌شود تا ویژگی‌های سطح پایین مثل بافت مورد توجه بیشتری نسبت به ویژگی‌های سطح بالا مانند لبه‌ها قرار گیرد. چون لایه‌ها به هم متصل‌اند، شبکه می‌تواند یاد بگیرد که از ویژگی‌های سطح پایین و یا ترکیبی از ویژگی‌های بالا و پایین را در نظر بگیرد.



شکل ۵: معماری مدل DenseNet [۲۲]  
Fig. 5: Architecture of DenseNet model

## نتایج و بحث

در این تحقیق، جهت استخراج سطح زیر کشت نهال برنج از تصویر پهپاد RGB و الگوریتم یادگیری عمیق به نام DenseNet استفاده گردید. برای این منظور، جهت به دست آوردن نمونه‌های آموزشی، پس از نرمال کردن تصویر، اقدام به بریدن نمونه‌های آموزشی نشاء برنج و خاک توسط شبکه مشبک شد. پس از تقسیم‌بندی این نمونه‌ها به نسبت ۷۵ به ۲۵ به معماری DenseNet آموزش داده و در نهایت مدل ساخته شده روی کل تصویر پهپاد پیاده‌سازی انجام گرفت. سیستم پردازشی در این تحقیق یک لپ‌تاپ با پیکربندی ۵ هسته سی‌پی‌یو، ۶ گیگ رم و کارت گرافیک Nvidia GeForce 840m با ۴ گیگ رم بود. پس از جمع‌آوری مجموعه پنجره داده، ساخت مدل زمان زیادی به خود اختصاص نداد و با هفت دوره تکرار (Epoch) به صحت ۸/۹۹ درصد روی داده‌های اعتبارسنجی رسید. ولی اعمال مدل بر روی کل تصویر حدود ۴۰ ساعت زمان برد. مقادیر صحت روی داده‌های اعتبارسنجی در هر دوره تکرار که بیشترین مقدار را داشت در شکل ۶ نمایش داده شده است.



## نتیجه‌گیری

این مطالعه، به منظور استخراج سطح زیرکشت برنج نشاء یا نهال با استفاده از تصویر پهپاد RGB از فانتوم ۴ پرو در منطقه ووفنگ استان تایچانگ تایوان انجام شد. پس از انجام پیش‌پردازش‌های مورد نیاز بر روی تصاویر، از روش یادگیری عمیق DenseNet استفاده شد و سطح زیرکشت با دقت بالغ ۹۹.۸٪ بر روی داده‌های اعتبارسنجی شناسایی شد. یانگ و همکاران در همین منطقه با پهپاد و سنجنده مشابه در منطقه‌ای وسیع‌تر با پیکسل‌سایز ۳.۵ سانتی‌متری جهت استخراج برنج در شالیزار از دیگر عوارض مانند ساختمان، اتوبان و غیره استفاده نمودند [۴]. نتایج F1-score برای معماری FCN-AlexNet برابر ۰.۸ و برای SegNet برابر ۰.۷۹ و برای FCN-AlexNet با ترکیب RGB+ExGR برابر ۰.۷۸ به‌دست آوردند. ایشان این روش‌ها را ۱۰ تا ۱۵ برابر نسبت به روش بیشترین شباهت سریع‌تر و خطای اشتباه کمتر دانستند. جهت ایجاد یک بانک اطلاعاتی برای استفاده در روش‌های یادگیری عمیق، تصویری از پهپادها با ویژگی‌های خاص توصیه می‌شود. این تصاویر باید دارای چند ویژگی از جمله طیف‌های مختلف و رنگی باشند. همچنین، تصاویر باید از ارتفاع ۷ متری از سطح زمین گرفته شوند. این ارتفاع ممکن است برای استخراج و تحلیل دقیق تصاویر و مشاهده سطح زیرکشت مفید باشد. این تصاویر، می‌توانند به‌عنوان یک منبع داده مهم برای آموزش مدل‌های یادگیری عمیق مورد استفاده قرار گیرند. در واقع، تصاویر پهپاد با این ویژگی‌ها می‌توانند به تحلیل محصولات کشاورزی و باغی در طول یک سال زراعی و در زمین‌شناسی، منابع طبیعی، پسماند و غیره کمک زیادی کنند. همچنین، تنوع در تعداد و نوع عوارض در این تصاویر نشان از اهمیت بیشتر این پیشنهاد دارد. به عبارت دیگر، جمع‌آوری تصاویر تنوع بالا و تغییرات مکرر در شرایط مزرعه و زمین‌شناسی را برای تحلیل دقیق‌تر و ارتقاء کارایی روش‌های یادگیری عمیق ارائه می‌دهد. باید توجه داشت که در سال زراعی در حال برداشت، باید آفت و تنش هم در مزرعه وجود داشته باشد تا بتوان پایگاه داده‌ای جامع شامل آفت و تنش نیز برای همان سال زراعی ایجاد نمود. در غیر این صورت، فقط می‌توان به تفکیک فنولوژی محصول پرداخت و برای سال زراعی بعدی از سایت‌هایی تصویربرداری نمود که دارای آفت و تنش باشند. این اطلاعات اضافی، به ما کمک می‌کند تا داده‌هایی جامع‌تر و کاربردی‌تر برای آموزش و بهبود روش‌های یادگیری عمیق ارائه دهیم تا در شرایط واقعی مرتبط با زمین‌شناسی و کشاورزی عملکرد بهتری داشته باشند. برای این تحقیق، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. مهم‌ترین آن محدودیت‌های دسترسی به داده می‌باشد. البته ممکن است محدودیت‌هایی در دسترسی به تصاویر پهپاد چند طیفی و رنگی با ارتفاع ۷ متر از سطح زمین وجود داشته باشد. ولی این محدودیت‌ها می‌توانند به دلیل محدودیت‌های مالی یا قوانین محلی باشند. محدودیت‌های زمانی نمونه دیگری از محدودیت‌ها می‌باشد. تصاویر پهپاد و داده‌های مورد نیاز ممکن است برای یک بازه زمانی محدود در دسترس باشند و نتایج تحقیق ممکن است در زمان‌بندی محدود ارائه شود.

محدودیت‌های مالی نیز برای این انجام این تحقیق ممکن است وجود داشته باشد. محدودیت‌های مالی ممکن است از جمع‌آوری داده‌های بیشتر و تحلیل دقیق‌تر داده‌ها جلوگیری کنند.

## مشارکت نویسندگان

در این مقاله نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از آقای دکتر یانگ و همکاران ایشان است، که با به اشتراک‌گذاری رایگان تصویر پهپاد زمینه را برای نگارش این مقاله مهیا نمودند، تشکر می‌نمایند. همچنین، نویسنده از سرکار خانم دکتر نادیا عباس‌زاده تهرانی و تمام اساتیدی که با سعه صدر تجربیات خویش را در اختیار قرار دادند کمال قدردانی را از آن فرهیختگان اعلام می‌دارد.

## تعارض منافع

«هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

## منابع و مآخذ

- [1] Tri NC, Van Hoai T, Duong HN, Trong NT, Van Vinh V, Snaasel V, editors. A novel framework based on deep learning and unmanned aerial vehicles to assess the quality of rice fields. *Advances in Information and Communication Technology: Proceedings of the International Conference, ICTA 2016; 2017: Springer.*
- [2] Norouzi E, Behzadi S. Evaluating machine learning methods and satellite images to estimate combined climatic indices. *International Journal of Numerical Methods in Civil Engineering.* 2019;4(1):30-8. <https://doi.org/10.52547/nmce.4.1.30>
- [3] Mirzapour S, Alemi Safaval P, Karimi S, Behzadi S, Kheirkhah Zarkesh M, Zavar H, et al. Identification and Separation of Rice Fields Using Remote Sensing. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* 2023;10:509-14. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-509-2023>
- [4] Yang Q, Shi L, Han J, Yu J, Huang K. A near real-time deep learning approach for detecting rice phenology based on UAV images. *Agricultural and Forest Meteorology.* 2020;287:107938. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107938>
- [5] Jalilzadeh A, Behzadi S. Machine learning method for predicting the depth of shallow lakes using multi-band remote sensing images. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering.* 2019;3(2):54-64. <https://doi.org/10.22115/scce.2019.196533.1119>
- [6] Norouzi E, Behzadi S. The Feasibility of Machine-learning Methods to Extract the Surface Evaporation Quantity using



- [16] Golpour I, Amiri Parian J, Amiri Chayjan R, Khazaei J. Recognition of Paddy, Brown Rice and White Rice Cultivars Based on Textural Features of Images and Artificial Neural Network. *J Agric Mach.* 2015;5(1):73–81. <https://doi.org/10.22067/jam.v5i1.21550>
- [17] Jafari sayadi fatemeh, Gholami Sefidkouhi MA, ziyaeetabar ahmadi mirkahlegh. Leaf Area Index and Crop Coefficient Estimation from Operational Land Imager (OLI) Sensor Data. *J Water Res Agric.* 2018;32(3):395–404. <https://doi.org/10.22092/jwra.2018.117797>
- [18] Yang M-D, Tseng H-H, Hsu Y-C, Tsai HP. Semantic segmentation using deep learning with vegetation indices for rice lodging identification in multi-date UAV visible images. *Remote Sensing.* 2020;12(4):633. <https://doi.org/10.3390/rs12040633>
- [19] Mahjoobi M, Behzadi S. Solar desalination site selection on the Caspian Sea coast using AHP and fuzzy logic methods. *Modeling Earth Systems and Environment.* 2022:1-9. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01418-2>
- [20] Yang Q, Shi L, Han J, Zha Y, Zhu P. Deep convolutional neural networks for rice grain yield estimation at the ripening stage using UAV-based remotely sensed images. *Field Crops Res.* 2019;235:142-53. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.02.022
- [21] Jalilzadeh A, Behzadi S, editors. Flood Mapping and Estimation of Flood Water-Level Using Fuzzy Method and Remote Sensing Imagery (Case Study: Golestan Province, Iran). *Forum Geografic*; 2020: University of Craiova, Department of Geography. <https://forumgeografic.ro/2021/2698/>
- [22] Huang H, Lan Y, Yang A, Zhang Y, Wen S, Deng J. Deep learning versus Object-based Image Analysis (OBIA) in weed mapping of UAV imagery. *IJRS.* 2020;41(9):3446-79. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020IJRS...41.3446H/abstr act>
- [23] Devia CA, Rojas Bustos JP, Petro EE, Mondragon IF, Patino D, Rebolledo C, et al. Aerial monitoring of rice crop variables using an UAV robotic system. 2019;2:97-103. <https://doi.org/10.5220/0007909900970103>
- [24] Rao DS, Kavya N, Kumar SN, Venkat LY, Kumar NP. Detection and classification of rice leaf diseases using deep learning. *Int J Adv Sci Tech.* 2020;29(3):5868-74. <http://sersec.org/journals/index.php/IJAST/article/view/6626>
- [25] Yang M-D, Tseng H-H, Hsu Y-C, Yang C-Y, Lai M-H, Wu D-H. A UAV open dataset of rice paddies for deep learning practice. *Remote Sensing.* 2021;13(7):1358. <https://doi.org/10.3390/rs13071358>
- [26] Behzadi S. An intelligent location and state reorganization of traffic signal. *Geodesy and Cartography.* 2020;46(3):145-50. <https://doi.org/10.3846/gac.2020.10806>
- Satellite Imagery. *Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations (JECEI).* 2021;9(2):229-38. <https://doi.org/10.22061/jecei.2021.7563.406>
- [7] Jafarian H, Behzadi S. Evaluation of PM2. 5 emissions in Tehran by means of remote sensing and regression models. *Pollution.* 2020;6(3):521-9. DOI: 10.22059/poll.2020.292065.706
- [8] Alizadeh H, Kheirkhah M, Abkar A, Dashti-Ahangar A. Monitoring rice paddy phenology using time series images of MODIS sensor of TERRA satellite. *Geomatic Conference, 2013, Tehran, Iran.* [In Persian].
- [9] Verma D, Singh AN, Kalubarme MH, Saroha GP, Sharma R, Brajendra. Varietal discrimination, acreage estimation and yield prediction of basmati aromatic rice in north-western India using satellite data. In: *Remote Sensing of Agriculture and Land Cover/Land Use Changes in South and Southeast Asian Countries.* 2022. p. 163–86. DOI:10.1007/978-3-030-92365-5\_9
- [10] Riahi V, Zeaiean Firouzabadi P, Azizpour F, Darouei P. Identification and investigation of the area under cultivation in Lenjanat using Landsat 8 satellite images TT. *jgs.* 2019 Mar 1;19(52):147–69. [In Persian]. DOI: 10.29252/jgs.19.52.147
- [11] Chatsimab Z, Alesheikh AA, Voosoghi B, Behzadi S, Modiri M, editors. Development of a Land Subsidence Forecasting Model Using Small Baseline Subset—Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry and Particle Swarm Optimization—Random Forest (Case Study: Tehran-Karaj-Shahriyar Aquifer, Iran). *Dokl Earth Sci*; 2020: Springer. [https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/2020DokES.494..718C/doi:10.1134/S1028334X20090056](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2020DokES.494..718C/doi:10.1134/S1028334X20090056)
- [12] Kamkar B, Dashtimarvili M, Kazemi H. Detection of rice and soybean grown fields and their related cultivation area using Sentinel-2 satellite images in summer cropping patterns to analyze temporal changes in their cultivation area (Case study: four watershed basins of Golestan Province). *J Water Soil Conserv.* 2019;26(1):151–67. [In Persian]. DOI: 10.22069/JWSC.2019.15246.3044
- [13] Sadooghi L, Homaee M, Noroozi A, Asadi Kapourchal S. Estimating rice yield using VSM model and satellite images in Guilan province. *Cereal Res.* 2017;6(3):397–410. In Persian. DOR: 20.1001.1.22520163.1395.6.3.10.2
- [14] Yaghouti H, Amiri E. Application of satellite imagery and remote sensing technology to estimate rice yield. *J Water Soil Resour Conserv.* 2018;7(3):55–69. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.22517480.1397.7.3.4.2
- [15] Shiravand H, Khaledi S, Behzadi S, Sanjabi, H. Monitoring and Assessing the Changes in the Coverage and Decline of Oak Forests in Lorestan Province using Satellite Images and BFAST Model. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences.* 2020;20(57):265-80. DOI: 10.29252/jgs.20.57.265



تخصصی ایشان یادگیری ماشین، مکان‌یابی و طراحی سایت با فریم‌ورک Django است.

**Borooshan, K. Department of GIS and Remote Sensing, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran**

✉ [kiarash.borooshan@gmail.com](mailto:kiarash.borooshan@gmail.com)



**سعید بهزادی** دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی عمران- نقشه برداری (گرایش سامانه اطلاعات مکانی) از دانشگاه صنعتی خواجه نصیر از تهران می‌باشد. از سال ۱۳۹۵ تاکنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی عمران-نقشه

برداری دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی مشغول به فعالیت می‌باشند. ایشان تا کنون موفق به چاپ بیش از ۱۰۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: هوش مصنوعی، GIS پزشکی، کاربرد یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در GIS.

**Behzadi, S. Assistant Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran**

✉ [behzadi@sru.ac.ir](mailto:behzadi@sru.ac.ir)

[27] Behzadi S, Alesheikh AA. A Pseudo Genetic Algorithm for solving best path problem. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008;3(1).  
[https://www.isprs.org/proceedings/xxxvii/congress/2\\_pdf/2\\_wg-ii-2/15.pdf](https://www.isprs.org/proceedings/xxxvii/congress/2_pdf/2_wg-ii-2/15.pdf)

[28] Mousavi Z, Behzadi S. Geo-Portal Implementation with a Combined Approach of AHP and SWOT. International Journal of Natural Sciences Research. 2019;7(1):23-31.  
<https://doi.org/10.18488/journal.63.2019.71.22.31>

[29] Mousavi Z, Behzadi S. Introducing an Appropriate Geoportal Structure for Managing Wildlife Location Data. International Journal of Natural Sciences Research. 2019;7(1):32-48.  
<https://ideas.repec.org/a/pkp/ijonsr/v7y2019i1p32-48id2376.html>

[30] Behzadi S, Jalilzadeh A. Introducing a Novel Digital Elevation Model Using Artificial Neural Network Algorithm. Civil Engineering Dimension. 2020;22(2):47-51.  
<https://doi.org/10.9744/ced.22.2.47-51>

[31] Hamoudzadeh A, Behzadi S. Predicting user's next location using machine learning algorithms. Spatial Information Research. 2021;29(3):379-87.  
DOI: 10.1007/s41324-020-00358-2

## معرفی نویسندگان

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES

**کیارش بروشان** دارای مدرک کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی (گرایش آب و خاک) از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد. زمینه‌های

**Citation (Vancouver):** Borooshan K, Behzadi S. [Detection of Rice Seedlings in UAV Image Using DenseNet Network]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 217-226

 <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10393.1038>



## COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Evaluation of Accuracy in Image-Based Navigation

M. Ezazi, M. Shirazian\*, F. Hosseinali, F. Hajmohammadtatar

Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

### ABSTRACT

Received: 25 May 2023  
Reviewed: 8 August 2023  
Revised: 05 September 2023  
Accepted: 24 October 2023

#### KEYWORDS:

GNSS  
Image Matching  
Indoor Positioning  
Navigation

\* Corresponding author

[m.shirazian@sru.ac.ir](mailto:m.shirazian@sru.ac.ir)

① (+9821) 22970021

**Background and Objectives:** The field of navigation, which is widely recognized as one of the most efficient and effective means of reaching a desired destination, holds immense significance in today's society. In order to cater to the needs of users by providing them with accurate routes to their intended destinations, navigation systems rely on the determination of the mobile location and the destination on the map. At present, the majority of location-based services heavily rely on navigation systems that utilize the Global Navigation Satellite System (GNSS) for determining the mobile location. However, it is crucial to acknowledge that this method is not applicable in indoor environments due to a multitude of limitations. Consequently, in order to overcome these limitations, a plethora of technologies have been developed for indoor positioning, such as Wi-Fi, Bluetooth, Inertial Navigation System (INS), ultrasonics, and acoustic waves. The range of applications involved in location-based services varies depending on the position quality (uncertainty), ranging from prevalent navigation that requires accuracy in the tens of meters to precise automatic object location that necessitates centimeter-level accuracy. The focus of this specific study is centered upon the utilization of image-based methods as a novel approach to address the problem of indoor mobile positioning.

**Methods:** The implementation of the image-based navigation method presents a series of challenges that must be comprehensively addressed in order to ensure its accuracy, efficiency, and cost-effectiveness. Extensive research has been conducted to tackle these challenges, and the aim of this study is to contribute to the existing knowledge base by delving into the accuracy requirements of the image-based navigation technique. To achieve this, a meticulous 3D model of the building was meticulously created, and the position of the image focal point was determined as the mobile location through the utilization of photography and image matching techniques. It is important to highlight the fact that this particular technique capitalizes on the widespread availability of current mobile phones, which are equipped with cameras, thereby rendering it an incredibly inexpensive, rapid, efficient, and accurate solution for indoor navigation.

**Findings:** The primary outcome of this study revolves around the assessment of positioning accuracy using the proposed image-based navigation method. The results obtained from this research possess significant implications for the design and development of an optimal image-based navigation system. The numerical analysis showcases an impressive average planimetric accuracy of 2.5 centimeters, thereby underscoring the efficacy of the proposed method in achieving precise indoor navigation.

**Conclusion:** In light of the findings derived from this study, it can be conclusively affirmed that the proposed image-based navigation method possesses a level of accuracy that fulfills all indoor navigation requirements. Furthermore, the widespread adoption of smartphones among the general population ensures that the utilization of this method is highly feasible. The outcomes of this study strongly bolster the applicability of the image-based navigation method for a myriad of indoor navigation applications, as well as certain close-range outdoor applications. Thus, it is evident that this research has paved the way for the implementation of a reliable and efficient navigation solution in both indoor and outdoor environments.



NUMBER OF REFERENCES

31



NUMBER OF FIGURES

12



NUMBER OF TABLES

6

## مقاله پژوهشی

## ارزیابی دقت در ناوبری مبتنی بر عکس

مجید اعزازی، مسعود شیرازیان\*، فرهاد حسینعلی، فرزاد حاج محمود عطار

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** عمل ناوبری که به عنوان یکی از سودمندترین و مؤثرترین ابزارها برای رسیدن به مقصد مطلوب شناخته می‌شود، نقش بیشک و حیاتی در جامعه معاصر ایفا می‌کند. به منظور پاسخگویی به نیازهای کاربرانی که به دنبال مسیری به مقصد مورد نظر خود هستند، سامانه های ناوبری به شدت به تعیین مکان تلفن همراه و مقصد مورد نظر بر روی نقشه متکی هستند. در حال حاضر، اکثریت قابل توجهی از خدمات مبتنی بر مکان به شدت به سامانه های ناوبری متکی هستند که از سامانه ماهواره ناوبری جهانی (GNSS) برای تعیین مکان تلفن همراه استفاده می‌کنند. با این حال، بسیار مهم است که اذعان کنیم که این روش خاص به دلیل محدودیت های فراوان در محیط های داخلی قابل اجرا نیست. به منظور غلبه بر محدودیت های فوق الذکر، فناوری های زیادی برای موقعیت یابی داخلی توسعه یافته اند، که شامل Wi-Fi، بلوتوث، سامانه ناوبری اینرسی (INS)، اولتراسونیک و امواج صوتی است، اما محدود به آن ها نیست. بسته به کیفیت موقعیت، دامنه برنامه های درگیر در خدمات مبتنی بر مکان می تواند بسیار متفاوت باشد. این محدوده، شامل سامانه های ناوبری رایج است که نیاز به دقت تا دهه متر دارند، و همچنین سامانه های دقیق مکان یابی خودکار شیء که نیاز به دقت در سطح سانتی متر دارند. در زمینه این مطالعه خاص، یک رویکرد انقلابی که از روش های مبتنی بر تصویر استفاده می کند برای مقابله با مشکل موقعیت یابی موبایل داخلی استفاده شده است.

**روش ها:** اجرای روش ناوبری مبتنی بر تصویر، چالش های بی شماری را به وجود می آورد که نیاز به بررسی و کاهش کامل به منظور اطمینان از حداکثر دقت، کارایی و مقرون به صرفه بودن دارد. تحقیقات گسترده و جامع برای رسیدگی به این چالش ها انجام شده است و هدف اصلی این مطالعه، کمک به پایگاه دانش موجود با بررسی نیازهای دقت تکنیک ناوبری مبتنی بر تصویر است. برای رسیدن به این هدف، یک مدل سه بعدی پیچیده و مفصل از ساختمان مورد نظر با دقت ایجاد شد و موقعیت نقطه کانونی تصویر به عنوان مکان تلفن همراه با استفاده از تکنیک های پیشرفته عکاسی و تطبیق تصویر تعیین شد. ضروری است که برجسته و تأکید کنیم که این تکنیک خاص از حضور گسترده تلفن های همراه فعلی که مجهز به دوربین های با کیفیت بالا هستند، استفاده می کند و در نتیجه، آن را به یک راه حل فوق العاده ارزان، سریع، کارآمد و دقیق برای ناوبری داخلی تبدیل می کند.

**یافته ها:** نتیجه اولیه این مطالعه، حول ارزیابی جامع دقت موقعیت یابی حاصل از استفاده از روش ناوبری مبتنی بر تصویر پیشنهادی است. نتایج حاصل از این پژوهش، پیامدهای عمیق و اساسی برای طراحی و توسعه یک سامانه ناوبری بهینه مبتنی بر تصویر دارد. تجزیه و تحلیل عددی عمیق، دقت پلانمتری متوسط فوق العاده ۲.۵ سانتی متر را نشان می دهد، بنابراین، اثربخشی شدید روش پیشنهادی در دستیابی به دقت بی نظیر در حوزه ناوبری داخلی را تأکید می کند.

**نتیجه گیری:** با توجه به یافته های حاصل از این مطالعه دقیق، می توان به طور قاطع و صریح نتیجه گرفت که روش ناوبری مبتنی بر تصویر پیشنهادی در واقع، دارای سطح دقت لازم برای تحقق کلیه الزامات ناوبری داخلی است. علاوه بر این، شیوع گسترده و پذیرش تلفن های هوشمند در میان جمعیت عمومی، استفاده از این روش نوآورانه و پیشگامانه را نه تنها بسیار امکان پذیر، بلکه به طور فزاینده ای عملی می کند. نتایج و پیامدهای این مطالعه، به طور قاطع و صریح از کاربرد روش ناوبری مبتنی بر تصویر در بسیاری از برنامه های ناوبری داخلی و همچنین برخی از برنامه های فضای باز با فاصله نزدیک پشتیبانی می کند. بنابراین، کاملاً واضح و آشکار است که این تلاش، تحقیقاتی با موفقیت، راه را برای اجرای یکپارچه و کارآمد یک راه حل ناوبری قابل اعتماد و قوی در محیط های داخلی و خارجی، هموار کرده است.

تاریخ دریافت: ۰۴ خرداد ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۱۷ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۱۴ شهریور ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۲ آبان ۱۴۰۲

## واژگان کلیدی:

انطباق تصویر  
تعیین موقعیت در داخل محیط  
سامانه ماهواره ناوبری جهانی  
ناوبری

\* نویسنده مسئول

m.shirazian@sru.ac.ir

① ۰۲۱-۲۲۹۷۰۰۲۱

## مقدمه

در این تحقیق، از روش مبتنی بر تصویر برای ناوبری داخل ساختمان استفاده شده است. ابتدا، از روش نقشه برداری زمینی برای تعیین موقعیت دقیق نقاط کنترل عکسی استفاده شد، سپس عکس برداری از منطقه مورد مطالعه انجام شد و با استفاده از نرم افزار agisoft ایستگاه‌های برداشت شده مدل سه بعدی داخل ساختمان ساخته شد. در نهایت، برای کنترل مدل سه بعدی و عملکرد سامانه ناوبری از نقاطی با مختصات مشخص (چک پوینت)، عکس برداری انجام شده و با تکنیک image matching مختصات مرکز تصویر ایستگاه، محاسبه شد و با مختصات مشخص فوق (که در عملیات نقشه برداری به دست آمد) مقایسه و کنترل شد.

## روش تحقیق

در این بخش، مبانی نظری روش‌های تعیین موقعیت در فضای بسته مبتنی بر عکس، از جمله موارد مختلفی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند، تشریح می‌شود. مطالب مورد بررسی در این بخش، تکنیک‌ها و فرآیندهای مورد نیاز نقشه برداری از داخل ساختمان، تشخیص ویژگی‌های عکس، تطبیق عکس و بازسازی مدل سه بعدی، بومی‌سازی ویژگی‌ها در عکس‌ها توسط آشکارسازها، توصیف و کمی‌سازی ویژگی‌های، الگوریتم‌های دسته‌بندی برای تطبیق عکس و ارزیابی آشکارسازها و توصیفگرها می‌باشد.

نقشه برداری از داخل ساختمان: تکنیک‌های نقشه برداری از داخل ساختمان: با استفاده از توتال استیشن و با استفاده از روش‌های پیمایش، ترفیع و تقاطع، موقعیت نقاط کنترل عکسی و همچنین نقاط چک به طور دقیق مشخص گردید.

تشخیص و تطبیق ویژگی عکس: تکنیک‌های مختلفی برای نیل به این هدف وجود دارد [۱۹]. ویژگی‌های محلی و سراسری عکس: در دید کامپیوتری، ویژگی به‌عنوان توصیفی از خصوصیات قابل اندازه‌گیری یک شیء در تصویر تعریف می‌شود. این ویژگی‌ها، می‌توانند مشخصه‌هایی از شیء مانند گوشه‌ها، رنگ، بافت و شکل باشند و برای ارزیابی و مقایسه عکس‌ها استفاده می‌شوند. ویژگی‌ها، به دو نوع تقسیم می‌شوند: عمومی (مانند رنگ و بافت) و در حوزه‌های خاص (مانند اشیاء خاص مانند اتومبیل یا صورت انسان). این ویژگی‌ها می‌توانند محلی (محدود به یک قسمت خاص از تصویر) یا سراسری (برای کل تصویر) باشند.

موضوعاتی در حوزه کامپیوتری وابسته به تشخیص ویژگی‌های عکس، تطبیق تصاویر و بازسازی مدل‌های سه بعدی مورد تحقیق قرار دارند. تلاش‌های اولیه در تشخیص ویژگی‌های عکس به محدودیت‌های لبه‌ها و گوشه‌ها، محدود بوده است. در حال حاضر، الگوریتم‌های تشخیصی با مقیاس واقعی برای تطبیق بافت‌ها، رنگ‌ها، شکل و بخش‌بندی توسعه یافته‌اند که یکی از مهم‌ترین چالش‌های دید کامپیوتری را معرفی می‌کنند. در سال ۲۰۰۱، لو با طراحی الگوریتم‌های تشخیص ویژگی پیشرفت کرد و ویژگی‌های ثابت مقیاس در عکس‌ها را به موقع توصیف

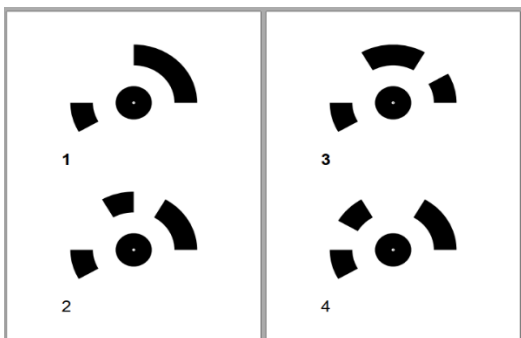
به طور معمول امروزه، از شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم برای آگاهی از موقعیت جغرافیایی اشیاء، افراد و حیوانات استفاده می‌شود. برخورداری از دانش مکان محور از ضروریات اساسی برای ایجاد یک ساختمان هوشمند است [۱-۴]. هر چند که سامانه‌های ناوبری ماهواره‌ای جهانی (GNSS) اکثراً برای تعیین موقعیت به کار می‌روند، اما به دلیل تلفاتی که از انتشار سیگنال‌ها ناشی می‌شود، نمی‌توان آن‌ها را به طور مؤثر برای تشخیص موقعیت در داخل ساختمان‌ها مورد استفاده قرار داد [۵-۹]. در سال‌های اخیر، با گسترش تلفن‌های همراه هوشمند و دیگر دستگاه‌های بی‌سیم، مجموعه‌ای وسیع از خدمات از جمله موقعیت‌یابی در داخل ساختمان فراهم شده است. مکان‌یابی در داخل ساختمان، فرآیندی است که موقعیت یک دستگاه یا کاربر در محیط داخلی را مشخص می‌کند. اخیراً، موقعیت‌یابی دستگاه‌ها در صنعت و شبکه‌های حسگر بی‌سیم و روباتیک مورد بررسی قرار گرفته است [۱۰-۱۴]. موقعیت‌یابی و ردیابی این دستگاه‌ها، مترادف با موقعیت‌یابی و ردیابی کاربران است و طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی و خدمات مرتبط را فعال کرده است [۱۵-۱۸]. گسترش چشمگیر بهره‌مندی از تلفن‌های همراه هوشمند، استفاده از سامانه‌های ناوبری مبتنی بر تصویر را امری ارزان و امکان‌پذیر می‌نماید.

کاواچی و همکاران [۲] یک سامانه محلی‌سازی داخلی با استفاده از تصاویر پانوراما ارائه داده‌اند. این سامانه از دوربین همه جهته (omnidirection) برای عکاسی در یک موزه استفاده کرده و ویژگی‌های تصویر با PCA-SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) استخراج شده‌اند. جستجوی تصویر، با تقسیم کردن اطلاعات حساس محلی و فیلتر کردن نقاط پرت RAN-SAC انجام شده است. این سامانه با دقت بالا (۷۸٪ - ۹۱٪) و زمان پاسخ سریع (میانگین ۳/۱۱ ثانیه) موقعیت‌یابی در داخل موزه را انجام می‌دهد. با این حال، این سامانه فقط از تصاویر به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند و نمی‌تواند برای پرس‌وجو از تصاویر، مورد استفاده قرار گیرد؛ بنابراین، کاربران نمی‌توانند از آن برای ناوبری در داخل ساختمان استفاده کنند.

چن و همکاران [۳] یک سامانه ناوبری داخلی با استفاده از بینایی پیشنهاد کردند که بر اساس تصاویر متوالی کار می‌کند. این سامانه از حرکات کاربران بر اساس تغییرات در تصاویر تشکیل شده است که توسط یک حسگر تشخیص داده می‌شوند. الگوریتم آن‌ها ابتدا خطوط را تشخیص داده و نقطه ناپدید را که خطوط همگرا می‌شوند، محاسبه می‌کند. این الگوریتم، به برنامه امکان می‌دهد حدس بزند که کاربر به کجا می‌رود، اما نیاز به ساختارهای قابل تشخیص دارد و به حسگرهای اضافی نیاز دارد. ورنر و همکاران [۴] یک برنامه ناوبری داخلی بدون حسگرهای اضافی توسعه دادند. آن‌ها، از الگوریتم SURF برای تشخیص ویژگی‌ها استفاده کرده‌اند و از روش تخمین فاصله بین ابعاد شیء در تصاویر مختلف، استفاده می‌کنند.



تعیین موقعیت اهداف کددار (نقاط کنترل عکسی) ابتدا ۳۴ عدد هدف کددار را که به صورت شکل ۳ می باشد، چاپ شد. سپس هر یک از آنها، در نقاط مختلف طبقه همکف دانشکده عمران با فاصله های مناسب مانند شکل ۴ بر روی دیوارها قرار گرفتند.



شکل ۳: اهداف کددار  
Fig. 3: Coded targets



شکل ۴: هدف نصب شده بر روی دیوار  
Fig. 4: Mounted target on the wall

در طبقه همکف دانشکده مهندسی عمران، یک پیمایش آنتنی بسته با ۱۴ نقطه انجام شد. از طریق یک نقطه فرضی با مختصات (۵۰۰، ۵۰۰) و مشاهدات طول و زاویه افقی از دوربین توتال استیشن، این پیمایش با دقت مسطحاتی ۴ میلی متر حل شد (شکل ۵). اکنون، تمامی این ۱۴ نقطه، دارای مختصات هستند. دوربین توتال استیشن در ایستگاه های مختلف به نحوی مستقر شد که به اهداف روی دیوار و حداقل به ۲ نقطه از نقاط پیمایش دید داشته باشد. با استفاده از ۲ نقطه از نقاط پیمایش، مختصات مرکز اهداف کددار توسط دوربین توتال استیشن توجیه شدند و ذخیره شدند.

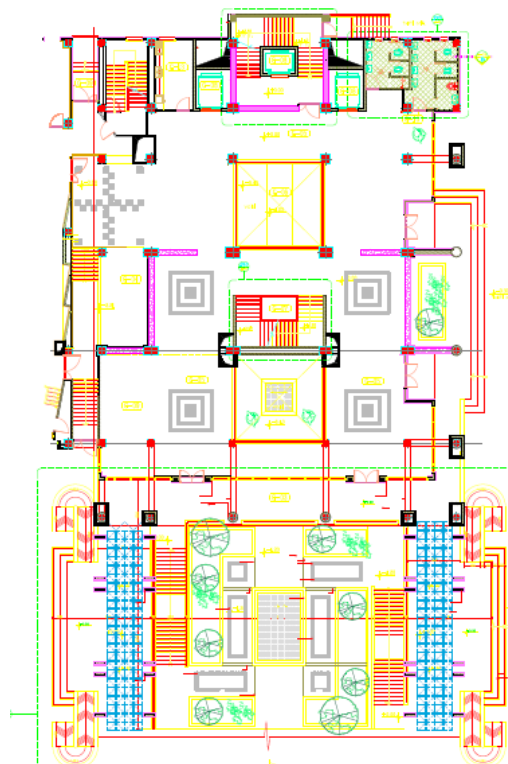


شکل ۵: استقرار بر روی نقاط عکس برداری به منظور تعیین دقت موقعیت یابی  
Fig. 5: Placement on the photogrammetric points to determine the positioning accuracy

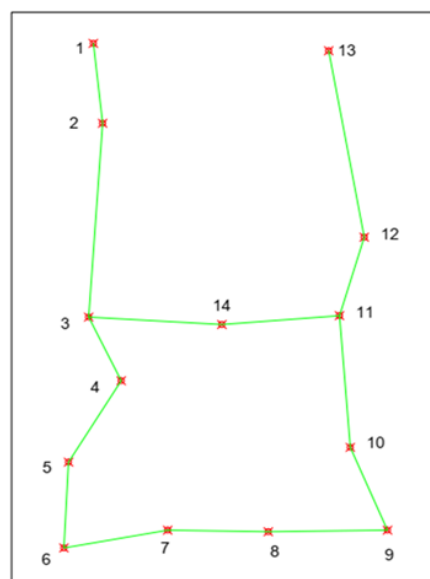
کرد. این کار، الهام بخش بوده و الگوریتم های پیشرفته تری نیز در سال های اخیر پیشنهاد شده اند.

#### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، طبقه همکف دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی واقع در محله لویزان شهر تهران است که طرح نقشه طبقه همکف ساختمان عمران در شکل ۱ و نقشه پیمایش آنتنی انجام شده در شکل ۲ مشخص شده است.



شکل ۱: طرح نقشه طبقه همکف دانشکده مهندسی عمران  
Fig. 1: Ground floor plan of Civil Engineering Faculty



شکل ۲: پیمایش آنتنی در طبقه همکف  
Fig. 2: Surveying on the ground floor

دقیق کالیبره گردد. هدف اصلی از کالیبراسیون دوربین، به دست آوردن المان‌های داخلی دوربین شامل  $x_p, y_p, c$  و یعنی خطاهای مربوط به عدسی هست. اکثر روش‌های کالیبراسیون، المان‌های توجیه خارجی دوربین را نیز به دست می‌آورند. معادلات مورد استفاده در کالیبراسیون به صورت رابطه زیر مطرح می‌شود [۲۹، ۳۰]:

$$x_o - x_p + \Delta x = -c_x \frac{m_{11}(X_j - X_{C_i}) + m_{12}(Y_j - Y_{C_i}) + m_{13}(Z_j - Z_{C_i})}{m_{31}(X_j - X_{C_i}) + m_{32}(Y_j - Y_{C_i}) + m_{33}(Z_j - Z_{C_i})} \quad (۱)$$

(۲)

$$y_o - y_p + \Delta y = -c_y \frac{m_{21}(X_j - X_{C_i}) + m_{22}(Y_j - Y_{C_i}) + m_{23}(Z_j - Z_{C_i})}{m_{31}(X_j - X_{C_i}) + m_{32}(Y_j - Y_{C_i}) + m_{33}(Z_j - Z_{C_i})} \quad (۳)$$

$$\Delta x = \bar{x}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + p_1 (r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2 \bar{x}\bar{y} + b_1 y \quad (۴)$$

$$\Delta y = \bar{y}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + p_2 (r^2 + 2\bar{y}^2) + 2p_2 \bar{x}\bar{y} + a_1 \bar{x} + a_2 \bar{y} + b_1 x + b_2 y \quad (۵)$$

$$\bar{y} = y - y_p \quad (۶)$$

که  $c$  مرکز پرسپکتیو،  $i$  شماره عکس،  $i$  شماره نقطه شیء،  $c_x, c_y$  فواصل اصلی، ضرایب  $k_1, k_2, \dots$  اعوجاج شعاعی،  $p_1, p_2$  ضرایب اعوجاج مماسی و  $b_1$  و  $b_2$  ضرایب اعوجاج عدم تعامد و کشیدگی تصویر می‌باشند. کالیبراسیون دوربین‌ها، مهم‌ترین پارامترها برای انجام فعالیت‌های عکاسی است. این پارامترها، شامل پارامترهای اعوجاج عدسی (شعاعی و مماسی)، کشیدگی و عدم تعامد سنجنده می‌شوند. روش‌های کالیبراسیون دوربین شامل روش‌های آزمایشگاهی، کالیبراسیون در حین کار و روش سلف کالیبراسیون می‌باشند. روش‌های آزمایشگاهی گران قیمت هستند و در شرایط خاص انجام می‌شوند. روش کالیبراسیون در حین کار، همراه با تعیین مختصات نقاط جسم، پارامترهای کالیبراسیون دوربین نیز محاسبه می‌شود. در روش سلف کالیبراسیون، معادلات شرط هم‌خطی به کار می‌روند که با اضافه کردن شرط‌های ریاضی مناسب، می‌توان خطاها و اعوجاجات موجود در تصویر را حذف کرد و کالیبراسیون دوربین را با دقت مناسب محاسبه نمود [۳۱]:

$$x - x_o = -c \frac{m_{11}(X - X_o) + m_{12}(Y - Y_o) + m_{13}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)} \quad (۷)$$

$$y - y_o = -c \frac{m_{21}(X - X_o) + m_{22}(Y - Y_o) + m_{23}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)} \quad (۸)$$

که  $(x, y)$  مختصات عکسی،  $(X, Y, Z)$  مختصات زمینی،  $x_o, y_o, c$  پارامترهای توجیه داخلی و  $M_{i,j}, X_o, Y_o, Z_o$  پارامترهای توجیه خارجی هستند.

## عکس‌برداری با پوشش بالا

از تمامی زوایای طبقه همکف با پوشش بسیار بالا، ۶۷۷ عکس گرفته شد. این عملیات، با استفاده از دوربین موبایل سامسونگ Galaxy A70 انجام شد. وضوح عکس‌های ورودی بر کیفیت نتایج پردازش تأثیر دارد و با افزایش وضوح، دقت نتایج افزایش می‌یابد. تصاویر به صورت افقی گرفته شدند و باید هر نقطه از فضای مورد نظر در چندین عکس دیده شود تا شرط همپوشانی تصاویر رعایت شود. تنظیم درست F-Stop (تقسیم مقدار فاصله کانونی لنز بر اندازه قطر عدسی) و نور دوربین، هنگام عکس‌برداری بسیار حائز اهمیت است؛ در صورت عدم تنظیم صحیح ممکن است به مشکلات منتهی شود. اگر نور در تصویر زیاد باشد و یا بسیار تاریک باشد، تشخیص عوارض به درستی ممکن نخواهد بود و تطبیق تصاویر با مشکل مواجه می‌شود؛ بنابراین، تنظیم نور به گونه‌ای که عوارض مورد نظر واضح دیده شوند، بسیار حائز اهمیت است؛ به علاوه، Stop و سرعت شاتر بهینه به صورت تجربی و با توجه به شرایط نوری محیط، F- باید تنظیم شوند. مشخصات دوربین مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات دوربین رقومی غیر متریک مورد استفاده

Table 1: Specifications of the non-metric digital camera used

مدل دوربین Camera model	وضوح Resolution	فاصله کانونی (میلیمتر) Focal length (mm)	ابعاد هر پیکسل (میکرومتر) Pixel size (μm)
Samsung A70	6528 × 4896	3.92	0.8 × 0.8

## نتایج و بحث

### حل مسأله تعیین موقعیت مرکز تصویر یا متحرک

الگوریتم SIFT از تفاوت گاوسی به عنوان آشکارساز نقطه علاقه استفاده می‌کند و نمایش ویژگی از توزیع گرادیان برخوردار است [۲۰-۲۲]. توصیفگرهای SIFT در برابر مقیاس، چرخش، روشنایی و تاری تغییرناپذیرند و برای حفظ تغییرناپذیری در چرخش و جهت، جهت‌گیری اولیه ارزیابی می‌شود و تصویر محلی به آن جهت چرخش داده می‌شود تا توصیفگرها محاسبه شوند. اندازه توصیفگر SIFT توسط اندازه آرایه هیستوگرام جهت‌گیری  $(n \times n)$  و تعداد جهت‌گیری‌ها در هر هیستوگرام  $(r)$  کنترل می‌شود؛ بنابراین اندازه  $r \times n^2$  است. توصیفگر 128D مانند  $n = 4$  و  $r = 8$  سایر اندازه‌ها را با توجه به دقت تطبیق جدا کرد [۲۳-۲۷]. توصیفگرها، در اندازه کوچک‌تر منجر به استفاده کمتر از حافظه و داده با ابعاد کوچک‌تر می‌شوند. اما روی دقت، تأثیر منفی می‌گذارند. اکثر تحقیقات نشان داد که SIFT در مجموعه داده‌های مختلف کاملاً قوی است، اگرچه کاملاً کارآمد نیست. از نظر ترکیب آشکارساز و توصیفگر، به نظر می‌رسد بهتر است یک آشکارساز ثابت Affine به همراه توصیفگر SIFT پیاده‌سازی شود [۲۸].

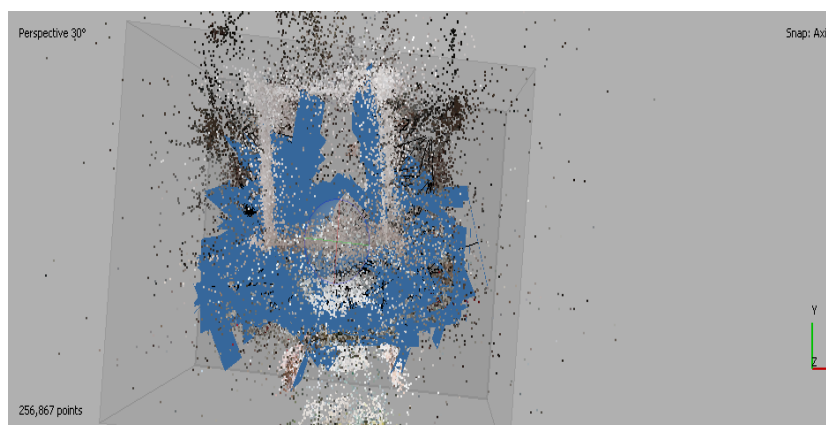
جهت دسترسی به دقت مناسب، می‌بایست برآورد صحیحی از پارامترهای دوربین داشت؛ در نتیجه باید دوربین مورد استفاده به‌طور

کالیبراسیون انجام گرفت. پس از سلف کالیبراسیون، ضرایب برای دوربین تلفن همراه Galaxy A70 به دست آمد که در جدول ۲ آمده است. نتایج پیاده سازی در شکل‌های ۶ الی ۹ آمده است.

در این پژوهش، به دلیل این که از دوربین غیر متریک تلفن همراه استفاده شد و هزینه انجام روش‌های آزمایشگاهی برای کالیبراسیون این دوربین بسیار زیاد بود، عملیات کالیبراسیون در نرم‌افزار به وسیله روش سلف

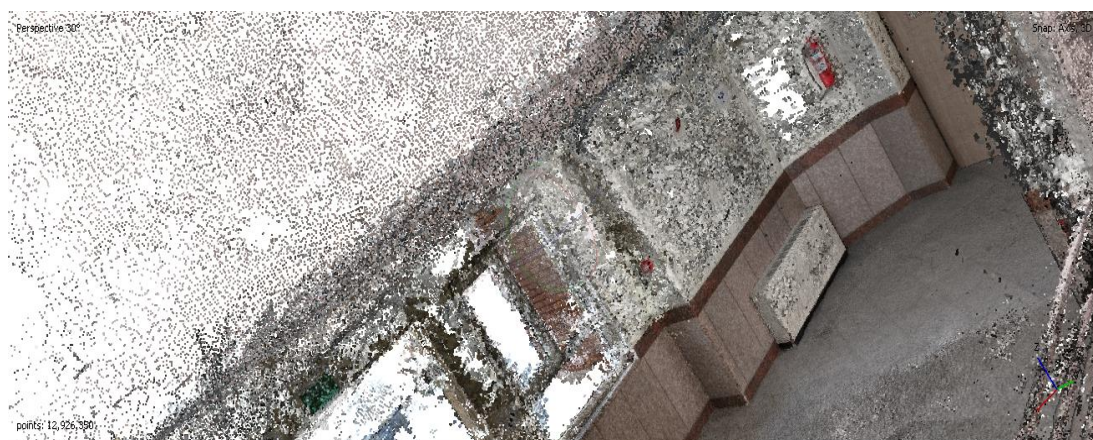
جدول ۲: ضرایب کالیبراسیون و ماتریس همبستگی  
Table 2: Calibration coefficients and correlation matrix

پارامتر Parameter	مقدار Value	RMSE	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	499.33	0.04	۱	0.02	-0.4	-0.4	0.37	-0.33	0.04	-0.16
Cx	44.75	0.08		1	0	-0	0.05	-0.05	0.95	0.01
Cy	-1.24107	0.086			1	0.05	-0.1	0.13	0.01	0.86
K1	0.149602	0.000053				1	-1	0.91	-0.04	0.03
K2	0.469941	0.00021					1	-0.98	0.05	-0.11
K3	0.412931	0.00024						1	-0.05	0.11
P1	0.00000424643	4.9E-06							1	0.00
P2	-0.000329377	4.5E-06								1



شکل ۶: خروجی مرحله توجیه نسبی تصاویر و ابر نقاط پراکنده

Fig. 6: The output of the relative orientation level of images and scattered point clouds



شکل ۷: ابر نقطه متراکم سه بعدی پس از بزرگ‌نمایی

Fig. 7: 3D dense point cloud after zoom in



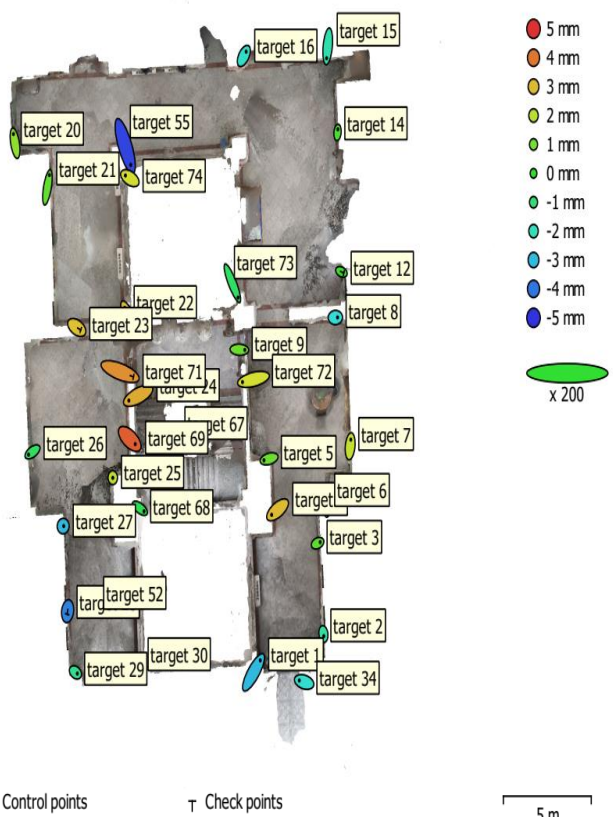


شکل ۸: نتایج حاصل از افزودن بافت تصویر به مدل سه بعدی ساختمان  
 Fig. 8: The results of adding image texture to the building 3D model

عددی خطای هر کدام از نقاط کنترل آمده‌اند؛ بنابراین خطای نقاط کنترل در راستای محور  $X$   $2/5$  میلی‌متر، خطای نقاط کنترل در راستای محور  $Y$   $2/8$  میلی‌متر و خطای مجموعی  $4/4$  میلی‌متر بوده و همچنین خطای عکسی نقاط کنترل به مجموع  $1/14$  پیکسل برآورد شده است. همچنین، خطای نقاط چک در راستای محور  $X$   $3/6$  میلی‌متر، خطای نقاط چک در راستای محور  $Y$   $2/04$  میلی‌متر و خطای مجموع  $5/00$  میلی‌متر بوده و همچنین خطای عکسی نقاط چک به مجموع  $1/27$  پیکسل برآورد شده است. کلیه اعداد فوق در سطح اطمینان  $95\%$  ارائه شده است.



شکل ۹: مدل سه بعدی طبقه همکف دانشکده عمران از نمای بالا  
 Fig. 9. 3D model of the ground floor of the Faculty of Civil Engineering from the top view



● Control points

† Check points

5 m

شکل ۱۰: موقعیت نقاط کنترل و خطای برآورد شده  
 Fig. 10: Position of control points and calculated error

### ارزیابی دقت ساخت مدل سه بعدی

بعد از ساخت مدل سه بعدی، در این مرحله به ارزیابی دقت مدل سه بعدی با استفاده از نقاط کنترل زمینی پرداخته‌ایم. در این تحقیق، نقاط کنترل به تعداد ۲۹ هدف انتخاب شده‌اند و ۵ هدف نیز به عنوان نقاط چک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مقادیر خطای جذر میانگین مربعات (RMS) برای نقاط کنترل و نقاط چک به ترتیب  $3/8$  و  $4/2$  میلی‌متر بود. در شکل ۱۰، مکان و خطاهای هر یک از نقاط کنترل زمینی نشان داده شده‌اند. خطاهای مسطحاتی با شکل بیضی نمایش داده شده‌اند و موقعیت تخمینی نقاط کنترل با یک نقطه و نقاط چک با شکل صلیب مشخص شده‌اند. رنگ بیضی‌ها، نشان‌دهنده میزان خطا است. در جدول ۳، مقادیر عددی خطای هر یک از نقاط چک و در جدول ۴، مقادیر

جدول ۳: خطای نقاط چک

Table 3: Check points error

برچسب Label	خطای محور X (میلی متر) X error (mm)	خطای محور Y (میلی متر) Y error (mm)	خطای مجموع (میلی متر) Total error (mm)	خطای عکسی Image error (pixel)
target 12	1.35915	-0.448079	1.43743	0.660 (12)
target 23	2.25752	-1.02472	3.81801	0.937 (22)
target 28	-0.280845	-1.20651	4.019	1.142 (31)
target 67	-1.51188	-3.70051	4.07518	2.179 (11)
target 71	7.61051	-2.1114	8.69516	1.358 (33)
مجموع Total	3.66683	2.04246	5.00017	1.278

جدول ۴: خطای نقاط کنترل

Table 4: Control points error

برچسب Label	خطای محور X (میلی متر) X error (mm)	خطای محور Y (میلی متر) Y error (mm)	خطای مجموع (میلی متر) Total error (mm)	خطای عکسی Image error (pixel)
target 1	3.8	4.8	6.9	1.203 (25)
target 2	0.2	-0.9	1.8	1.044 (26)
target 3	1.5	0.4	1.7	1.238 (18)
target 4	-3.4	-2.0	4.9	0.925 (4)
target 5	-2.9	-0.6	3.1	1.376 (11)
target 6	0.1	3.2	3.3	1.511 (12)
target 7	0.4	2.7	3.4	1.950 (19)
target 8	1.2	0.0	2.7	1.134 (35)
target 9	3.1	-0.1	3.2	1.433 (14)
target 14	0.2	1.3	1.3	0.785 (11)
target 15	-0.6	-4.7	5.1	0.777 (19)
target 16	1.3	1.7	3.1	0.870 (17)
target 20	-0.9	3.7	4.0	0.776 (20)
target 21	1.2	4.9	5.1	0.986 (12)
target 22	-3.0	4.9	6.5	0.837 (3)
target 24	-5.3	-1.9	6.5	0.789 (7)
target 25	0.0	-0.1	2.0	0.696 (11)
target 26	-2.2	-1.1	2.6	1.361 (10)
target 27	0.3	0.0	3.1	0.563 (8)
target 29	1.1	-0.5	1.8	0.586 (18)
target 30	0.6	0.6	1.0	1.160 (23)
target 34	-2.8	0.6	3.6	0.494 (3)
target 52	3.0	-0.5	4.4	0.926 (9)
target 55	3.1	-7.5	9.4	1.134 (4)
target 68	2.3	-1.2	2.7	1.489 (29)
target 69	3.1	-2.1	5.7	1.034 (17)
target 72	-6.2	-1.1	6.8	1.423 (12)
target 73	3.2	-5.7	6.6	0.728 (12)
target 74	-2.5	1.1	3.6	0.949 (16)
مجموع Total	2.6	2.9	4.5	1.143



ارزیابی دقت تعیین موقعیت متحرک

برای ارزیابی دقت تعیین موقعیت متحرک، نقاطی روی مدل انتخاب و مختصات آن نقاط در مدل یافته می‌شود. در ساختمان، ژالن و سه پایه روی نقاط انتخابی تراز و سانتراژ شده و تلفن همراه روی رأس ژالن قرار داده و عکس برداری انجام می‌شود. عکس‌های اخذ شده وارد مدل سه بعدی شده و با استفاده از تطبیق تصاویر و توصیفگر SIFT، موقعیت مورد نظر تعیین می‌شود. مختصات مرکز تصویر دوربین تلفن همراه بدین شکل مشخص می‌شود. سپس با مقایسه این مختصات با مختصات مرکز تصویر دوربین قبل از عکس برداری، خطای تعیین موقعیت مدل محاسبه می‌شود. این عملیات عکس برداری برای ۷ نقطه از محل‌های گوناگون طبقه همکف انجام شد و مختصات به دست آمده از تطبیق تصاویر با مختصات مدل مقایسه شده و خطای تعیین موقعیت در راستای محور X و محور Y محاسبه شده و در جدول ۵ آمده است. موقعیت ۷ نقطه تعیین موقعیت در طبقه همکف به همراه عکس اخذ شده توسط دوربین از محل نقطه Q2 در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱: موقعیت ۷ نقطه تعیین موقعیت در طبقه همکف

Fig. 11: Location of seven positioning points on the ground floor



شکل ۱۲: عکس اخذ شده توسط دوربین از محل نقطه Q2

Fig. 12. The photo taken by the camera from the location of point Q2

جدول ۵: محاسبه خطای تعیین موقعیت

Table 5: Calculation of positioning error

نقطه Point	X(Model)	Y(Model)	X(Aligned)	Y(Aligned)	خطای محور X (میلی‌متر) X error (mm)	خطای محور Y (میلی‌متر) Y error (mm)
Q1	490.40	518.17	490.37	518.16	2.32	0.64
Q2	490.64	510.14	490.63	510.19	1.25	-5.15
Q3	488.01	503.54	488.03	503.56	-1.67	-2.87
Q4	499.22	514.14	499.21	514.22	1.10	-7.51
Q5	497.05	521.00	497.03	521.00	2.17	-0.21
Q6	498.87	510.59	498.89	510.60	-1.57	-0.66
Q7	499.02	499.70	499.01	499.74	0.43	-3.71

جدول ۶: مقایسه مدل با حجم عکس‌های متفاوت

Table 6: Comparison of models with different photo sizes

ابعاد پیکسل (میکرومتر) Pixel size (μm)	رزولوشن Resolution	دقت مسطحاتی مدل (متر) Accuracy of planimetric model	تعداد تصاویر تراز شده از ۷۱۲ عکس Number of aligned images from 712 images	حجم متوسط عکس‌ها (مگابایت) Average size of images (MB)
0.8 × 0.8	6528 × 4896	0.0038	708	(Original) 6.5
0.8 × 0.8	1265 × 947	0.0059	696	2
0.8 × 0.8	1024 × 512	0.0155	684	1
0.8 × 0.8	667 × 500	0.926	363	0.5

## منابع و مأخذ

- [1] Zafari, F., A. Gkelias, and K.K. Leung, A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019. 21(3): p. 2568-2599. Doi: 10.1109/COMST.2019.2911558
- [2] Kawaji, H., et al., Image-based indoor positioning system: Fast image matching using omnidirectional panoramic images. 2010. <https://doi.org/10.1145/1878039.1878041>
- [3] Chen SE. Quicktime VR: An image-based approach to virtual environment navigation. In: Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques; September 1995; pp. 29-38. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/218380.218395>
- [4] Werner, M., M. Kessel, and C. Marouane. Indoor positioning using smartphone camera. in 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation. 2011 <https://10.1109/IPIN.2011.6071954>
- [5] Uribeetxebarria A, Castellón A, Aizpurua A. A First Approach to Determine if It Is Possible to Delineate In-Season N Fertilization Maps for Wheat Using NDVI Derived from Sentinel-2. Remote Sens (Basel) 2022;14(12):2872. <https://doi.org/10.3390/RS14122872>.
- [6] Ishihara Y, Takahashi M. Image-based robot navigation with task achievability. Front Robot AI. 2023;10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2023.944375/full>
- [7] Liang, J.Z., et al. Image Based Localization in Indoor Environments. in 2013 Fourth International Conference on Computing for Geospatial Research and Application. 2013 . <https://10.1109/COMGEO.2013.11>

[8] Thomas DR. Interpreting discriminant functions: A data analytic approach. Multivariate Behavioral Research. 1992 Jul 1;27(3):335-62. [https://10.1207/s15327906mbr2703\\_3](https://10.1207/s15327906mbr2703_3)

[9] Chaurasia, Gaurav and Duchene, Sacha and Sorkine-Hornung, Olga and Drettakis, George. Depth Synthesis and Local Warps for Plausible Image-Based Navigation. ACM Transactions on Graphics (TOG). 32.3.1—12. 2013 <https://doi.org/10.1145/2487228.2487238>

[10] Bradley D, Brunton A, Fiala M, Roth G. Image-Based Navigation in Real Environments Using Panoramas. In: IEEE International Workshop on Haptic Audio-Visual Environments and their Applications; October 2005.

## نتیجه‌گیری

یکی از اصلی‌ترین نتایج این پژوهش، نوابری مبتنی بر عکس با دقت ۲ الی ۳ سانتی‌متر بود. همچنین، با توجه به نتایج آورده شده در جدول ۶ می‌توان دریافت که با ورود عکس‌ها با حجم متوسط کمتر، نه تنها می‌توان به دقت بهتر از ۲ سانتی‌متر رسید، بلکه می‌توان مدل سه بعدی با سرعت بالاتری ساخت که این امر، باعث کارایی بهتر روش مورد استفاده می‌شود. یکی دیگر از نکات این روش، استفاده از دوربین تلفن همراه برای عکس‌برداری بود که برخلاف برخی روش‌های تعیین موقعیت مبتنی بر عکس نیاز به تجهیزات گران‌قیمت همچون لیزر اسکنر و دوربین پانورامیک و... نبود. پیشنهاد نرم‌افزاری متمرکز بر تغییر نقطه مرکزی از سرور به کاربر را دارم. این نرم‌افزار، قابلیت اجرای عملیات و انجام وظایف مختلف را از سمت کاربر به سرور انتقال داده و از این طریق، مزایای زیر را فراهم می‌کند: (۱) افزایش سرعت: با انتقال عملیات به سمت کاربر، زمان پاسخ‌دهی و انجام وظایف به طرز چشم‌گیری کاهش می‌یابد؛ (۲) حفاظت از حریم خصوصی اطلاعات حساس کاربران در دسترس کاربر خود قرار دارد و از نقل‌وانتقال اطلاعات حساس به سرور جلوگیری می‌شود؛ (۳) افزایش کارایی: کاربران قادرند وظایف مورد نظر خود را در زمان و مکان دلخواه انجام دهند که افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری را به ارمغان می‌آورد؛ (۴) کاهش هزینه: انتقال بار محاسباتی از سمت سرور به دستگاه کاربران، هزینه‌های مربوط به زیرساخت سرور را کاهش می‌دهد. با استفاده از این نرم‌افزار، کاربران می‌توانند به صورت مستقیم و بدون واسطه به وظایف مورد نظر خود دسترسی داشته باشند و بهره‌وری و راحتی خود را افزایش دهند.

## مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از همکاری مسئولین دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی که برای جمع‌آوری داده‌های این تحقیق همکاری لازم را داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

## تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

- [21] Yagi Y, Nishizawa Y, Yachida M. Map-based navigation for a mobile robot with omnidirectional image sensor COPIS. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. 1995;11(5):634-648. <https://doi.org/10.1109/70.466602>
- [22] Sala, P., Sim, R., Shokoufandeh, A., & Dickinson, S. (2006). Landmark selection for vision-based navigation. *IEEE Transactions on robotics*, 22(2), 334-349. <https://doi.org/10.1109/TRO.2005.861480>
- [23] Roumeliotis, S. I., Johnson, A. E., & Montgomery, J. F. (2002, May). Augmenting inertial navigation with image-based motion estimation. In *Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 02Ch37292)* (Vol. 4, pp. 4326-4333). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2002.1014441>
- [24] Yu SE, Kim D. Image-based homing navigation with landmark arrangement matching. *Information Sciences*. 2011;181(16):3427-3442. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2011.04.015>
- [25] Badrloo S, Varshosaz M, Pirasteh S, Li J. Image-based obstacle detection methods for the safe navigation of unmanned vehicles: A review. *Remote Sensing*. 2022;14(15):3824. <https://doi.org/10.3390/rs14153824>
- [26] Čížek P, Faigl J, Masri D. Low-latency image processing for vision-based navigation systems. In: 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA); May 2016; pp. 781-786. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2016.7487207>
- [27] Sridhar B, Phatak AV. Analysis of image-based navigation system for rotorcraft low-altitude flight. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1992;22(2):290-299. <https://doi.org/10.1109/21.148431>
- [28] Hager GD, Kriegman D, Teh E, Rasmussen C. Image-based prediction of landmark features for mobile robot navigation. In: *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*; April 1997; Vol. 2; pp. 1040-1046. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1997.614272>
- [29] Othman Z, Yaakub AR, Zulkifli AN. Virtual environment navigation using an image-based approach. In: *Student Conference on Research and Development*; July 2002; pp. 364-367. IEEE. <https://doi.org/10.1109/SCORED.2002.1033133>
- [30] Basri R, Rivlin E, Shimshoni I. Image-based robot navigation under the perspective model. In: *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 99CH36288C)*; May 1999; Vol. 4; pp. 2578-2583. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1999.773985>
- [31] Fu Z, Jiang J, Gao Y, Krienke B, Wang M, Zhong K, Cao Q, Tian Y, Zhu Y, Cao W, Liu X. Wheat growth monitoring and yield estimation based on multi-rotor unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing*. 2020 Feb 5;12(3):508. <https://doi.org/10.3390/rs12030508>
- <https://10.1109/HAVE.2005.1545652>
- [11] Thoma J, Paudel DP, Chhatkuli A, Probst T, Gool LV. Mapping, localization and path planning for image-based navigation using visual features and map. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019. p. 7383-7391. [https://openaccess.thecvf.com/content\\_CVPR\\_2019/html/Thoma\\_Mapping\\_Localization\\_and\\_Path\\_Planning\\_for\\_Image-Based\\_Navigation\\_Using\\_Visual\\_CVPR\\_2019\\_paper.html](https://openaccess.thecvf.com/content_CVPR_2019/html/Thoma_Mapping_Localization_and_Path_Planning_for_Image-Based_Navigation_Using_Visual_CVPR_2019_paper.html)
- [12] Remazeilles A, Chaumette F. Image-based robot navigation from an image memory. *Robotics and Autonomous Systems*. 2007;55(4):345-356. <https://10.1016/j.robot.2006.10.002>
- [13] Robertson DP, Cipolla R. An Image-Based System for Urban Navigation. In: *Bmvc* (Vol. 19, No. 51); September 2004; p. 165. [https://mi.eng.cam.ac.uk/reports/svr-ftp/cipolla\\_bmvc04.pdf](https://mi.eng.cam.ac.uk/reports/svr-ftp/cipolla_bmvc04.pdf)
- [14] Yandell BS, Anselin L. Spatial Econometrics: Methods and Models. *J Am Stat Assoc*. 1990;85(411):905. [https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=3dPIXClv4YYC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Anselin+L.+Spatial+Econometrics:+Methods+and+Models+1988%3B4.+https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1.&ots=gXGBA30pGW&sig=oK9za87VOtU\\_BvH4woLNHfWR194#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=3dPIXClv4YYC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Anselin+L.+Spatial+Econometrics:+Methods+and+Models+1988%3B4.+https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1.&ots=gXGBA30pGW&sig=oK9za87VOtU_BvH4woLNHfWR194#v=onepage&q&f=false)
- [15] Courbon J, Mezouar Y, Guénard N, Martinet P. Vision-based navigation of unmanned aerial vehicles. *Control Engineering Practice*. 2010;18(7):789-799. <https://10.1016/j.conengprac.2010.03.004>
- [16] Menegatti E, Maeda T, Ishiguro H. Image-based memory for robot navigation using properties of omnidirectional images. *Robotics and Autonomous Systems*. 2004;47(4):251-267. <https://10.1016/j.robot.2004.03.014>
- [17] Lu YH, Delp III EJ. An overview of problems in image-based location awareness and navigation. *Visual Communications and Image Processing 2004*. 2004;5308:102-109. <https://10.1117/12.538246>
- [18] Dong J, Xiao Y, Noreikis M, Ou Z, Ylä-Jääski A. iMoon: Using smartphones for image-based indoor navigation. <https://doi.org/10.1145/2809695.2809722>
- [19] Larson CD. An integrity framework for image-based navigation systems. 2010. <https://scholar.afit.edu/etd/1967>
- [20] Wang E, Yan W. iNavigation: An image-based indoor navigation system. *Multimedia Tools and Applications*. 2014;73:1597-1615. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-013-1656-9>

## معرفی نویسندگان

## AUTHOR(S) BIOSKETCHES



**فرهاد حسینعلی** دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری (گرایش سامانه اطلاعات مکانی) از دانشگاه تهران و دکتری تخصصی همین رشته از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران می باشد. وی، هم‌اکنون عضو هیأت علمی گروه

مهندسی نقشه برداری دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی تهران است و در زمینه‌های متنوع مرتبط با اطلاعات مکانی از جمله هوش مصنوعی، تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، تحلیل مدل‌های شهری، مدلسازی عامل-مبنا و غیره به فعالیت مشغول می‌باشد. حاصل این تلاش تا کنون بیش از ۴۰ مقاله چاپ شده در مجلات علمی گوناگون داخلی و خارجی بوده است.

**Hosseinali, F. Assistant Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran**

✉ [f.hosseinali@sru.ac.ir](mailto:f.hosseinali@sru.ac.ir)



**فرزاد حاج محمود عطار** دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی عمران (گرایش سنجش از دور) از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی تهران می‌باشد. پس از ۵ سال فعالیت در صنعت، از سال ۱۴۰۰ تاکنون به عنوان کارشناس GIS در شرکت تأمین و تصفیه شهر تهران مشغول به کار

هستند. ایشان تاکنون موفق به چاپ دو مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر داخلی شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: مهندسی نقشه برداری، پردازش تصویر، تصویربرداری با پهپاد، و سنجش از دور.

**Hajmohammadtatar, F. Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran**

✉ [farzad.attar@yahoo.com](mailto:farzad.attar@yahoo.com)



**مجید اعزازی** دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی سامانه‌های اطلاعات مکانی از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی تهران می‌باشد. همچنین مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی عمران - نقشه برداری از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی در سال ۱۳۹۶ اخذ نموده بود.

ایشان از سال ۱۳۹۷ تاکنون به عنوان هنرآموز رشته ساختمان و کامپیوتر در آموزش و پرورش تهران مشغول به فعالیت می‌باشد. ایشان موفق به چاپ مقاله‌ای در دومین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران، شهرسازی و محیط زیست دانشگاه هنر اسلامی تبریز شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: سامانه‌های اطلاعات مکانی و تحلیل‌های مکانی، فتوگرامتری برد کوتاه، تعیین موقعیت داخل ساختمان، تهیه مدل سه بعدی با استفاده از عکس.

**Ezazi, M. Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran**

✉ [majid.ezazi201@gmail.com](mailto:majid.ezazi201@gmail.com)



**مسعود شیرازیان** دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه برداری (گرایش ژئودزی - GNSS) از انستیتو تکنولوژی سلطنتی (KTH) استکهلم کشور سوئد می‌باشد. از سال ۱۳۹۵ به عنوان استادیار در گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه دبیر شهید رجائی تهران مشغول به

فعالیت بوده‌اند. ایشان تاکنون موفق به چاپ بیش از ۱۵ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: ژئودزی هندسی، GNSS، هواشناسی مبتنی بر GNSS، آنالیز تغییر شکل سازه‌های بزرگ.

**Shirazian, M. Assistant Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran**

✉ [m.shirazian@sru.ac.ir](mailto:m.shirazian@sru.ac.ir)

**Citation (Vancouver):** Ezazi M, Shirazian M, Hosseinali F, Hajmohammadtatar F. [Evaluation of Accuracy in Image-Based Navigation]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 227-238

doi <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10414.1041>



## COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)





## ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Using Convolutional Long Short-Term Memory Model for Flood Prediction in Golestan Province, Iran

S. Ahmadi, A. Nabizadeh\*

Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

## ABSTRACT

Received: 22 April 2023  
 Reviewed: 20 June 2023  
 Revised: 05 July 2023  
 Accepted: 28 August 2023

## KEYWORDS:

ConvLSTM model  
 Flood prediction  
 Hydrology  
 Spatiotemporal features

\* Corresponding author

✉ [ali.nabizadeh@sru.ac.ir](mailto:ali.nabizadeh@sru.ac.ir)

☎ (+9821) 22970021

**Background and Objectives:** Every year, floods cause significant damages around the world. Timely and accurate prediction can significantly minimize the amount of human and financial losses after flood. In recent years, several machine learning models have been used to predict floods; So that their results indicate the better performance of these models compared to classical statistical models. However, these models do not take into account the spatial features that lead to the creation and strengthening of floods. Using convolutional long-short-term memory model (ConvLSTM), time series prediction is combined with spatial features and hydrological information. Therefore, a new model of combination of spatiotemporal prediction has been designed with the aim of extracting spatiotemporal features in order to solve the main challenge in flood prediction, which combine spatial data with time series hydrological data as much as possible.

**Methods:** In order to comprehensively analyze the spatiotemporal features of precipitation, we integrated the spatial features with time series analysis. For this purpose, the ConvLSTM model was used, whose inputs include longitude, latitude, altitude, precipitation, discharge and others gathered by ground stations. ConvLSTM is a time series processing model that extracts spatial features. To achieve spatiotemporal prediction, ConvLSTM was used as a basic block so that features can be extracted layer by layer by designing a dense network, so that after mapping them, prediction can be performed. In the simulation stage, the batch size and the number of epochs were selected as 64 and 30, respectively. Also, a three-layer convolutional network with the number of kernels 1, 8 and 32 and the number of neurons 20, 40 and 80 in each layer was used.

**Findings:** By analyzing the results, it was found that the prediction accuracy gradually decreases with the increase of time. However, when the prediction time is 10 hours before the flood event, the prediction accuracy is lower than other times. The reason is that when the prediction time increases, the amount of accurate information will be less, which leads to less accuracy in learning the model and as a result, the prediction accuracy decreases. To solve this problem, the depth of the network should be increased, which increases the modeling time, which shows the importance of trade-off between the expected accuracy and processing time.

**Conclusion:** In conclusion, the ConvLSTM model is able to provide suitable prediction results, especially in short-term times, and this model is a suitable tool for time series prediction. Even though the ConvLSTM model achieved a remarkable performance for short-term prediction, there are still some limitations, including long-term flood prediction based on time series data. Moreover, the complexity and dependence of the ConvLSTM model on the number of training samples can be mentioned. Therefore, more accurate model requires the collection of more data in this model. Thus, in regions with limited number of samples, the accuracy of the prediction may be affected.



NUMBER OF REFERENCES

33



NUMBER OF FIGURES

5



NUMBER OF TABLES

1



## مقاله پژوهشی

## استفاده از مدل حافظه طولانی کوتاه‌مدت پیچشی برای پیش‌بینی سیلاب در استان گلستان، ایران

سیما احمدی، علی نبی‌زاده\*

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** سیلاب‌ها، هر ساله موجب بروز خسارات قابل توجهی در سراسر جهان منجر می‌شوند. پیش‌بینی به موقع و دقیق آن‌ها می‌تواند میزان خسارات جانی و مالی را به طور چشم‌گیری به حداقل برساند. در سال‌های اخیر، مدل‌های یادگیری ماشین متعددی به منظور پیش‌بینی سیل مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ به طوری که نتایج آن‌ها حاکی از عملکرد بهتر این مدل‌ها نسبت به مدل‌های آماری کلاسیک می‌باشد. با این حال، این مدل‌ها ویژگی‌های مکانی که منجر به ایجاد و تقویت سیلاب‌ها می‌شوند، مدنظر قرار نمی‌دهند. با استفاده از مدل حافظه طولانی کوتاه مدت پیچشی (ConvLSTM)، پیش‌بینی سری‌های زمانی با ویژگی‌های مکانی و اطلاعات هیدرولوژی ترکیب می‌گردد. بدین ترتیب، الگویی جدید از ترکیب عوارض مکانی و پیش‌بینی سری‌های زمانی با هدف استخراج خصوصیات زمانی-مکانی طراحی شده است تا چالش اصلی در پیش‌بینی سیل، یعنی ترکیب داده‌های مکانی با داده‌های هیدرولوژی را تا حد امکان حل کند.

**روش‌ها:** برای تحلیل جامع خصوصیات زمانی-مکانی بارش، ویژگی‌های مکانی را با تحلیل‌های سری زمانی ادغام کردیم. به همین منظور از مدل ConvLSTM استفاده گردید که ورودی‌های آن شامل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع، بارش، دبی و سایر اطلاعات ایستگاه‌های اندازه‌گیری است. ConvLSTM یک مدل پردازشی سری‌های زمانی است که ویژگی‌های مکانی را استخراج می‌کند. برای دستیابی به پیش‌بینی مکانی-زمانی، از ConvLSTM به عنوان یک بلوک پایه استفاده گردید تا بتوان با طراحی یک شبکه متراکم، ویژگی‌ها را لایه به لایه استخراج کرد تا پس از نگاشت آن‌ها، عمل پیش‌بینی انجام شود. در مرحله شبیه‌سازی، اندازه بچ و تعداد اپک‌ها به ترتیب ۶۴ و ۳۰ انتخاب شد. همچنین، از یک شبکه پیچشی سه لایه با تعداد هسته‌های ۸، ۱ و ۳۲ و تعداد عصب‌های ۲۰، ۴۰ و ۸۰ در هر لایه به عنوان مدل نهایی استفاده گردید.

**یافته‌ها:** با تحلیل نتایج، مشخص شد که دقت پیش‌بینی با افزایش زمان به تدریج کاهش می‌یابد. با این حال، هنگامی که زمان پیش‌بینی ۱۰ ساعت پیش از رخداد سیلاب باشد، دقت پیش‌بینی از زمان‌های دیگر کمتر است. علت این است که هنگامی که زمان پیش‌بینی افزایش یابد، میزان اطلاعات دقیق کمتر خواهد بود که منجر به حصول دقت کمتر در یادگیری مدل و در نتیجه کاهش دقت پیش‌بینی می‌شود. برای حل این مسأله باید عمق شبکه افزایش یابد که این امر موجب افزایش زمان مدل‌سازی می‌گردد که نشان از اهمیت مصالحه میان دقت مورد انتظار و زمان پردازش است.

**نتیجه‌گیری:** ارزیابی نتایج، نشان داد که مدل ConvLSTM قادر است نتایج پیش‌بینی قابل قبولی، به‌ویژه در زمان‌های کوتاه مدت، ارائه دهد و این مدل یک ابزار مناسب برای پیش‌بینی‌های سری زمانی است. با وجود این که مدل ConvLSTM، عملکرد قابل ملاحظه‌ای برای پیش‌بینی‌های کوتاه مدت به دست آورد اما هنوز هم برخی محدودیت‌ها از جمله پیش‌بینی بلند مدت سیلاب بر پایه داده‌های سری زمانی وجود دارد. از جمله محدودیت‌های دیگر، می‌توان به پیچیدگی و وابستگی مدل ConvLSTM به تعداد نمونه‌های آموزشی اشاره کرد که به تبع آن مدل‌سازی دقیق‌تر نیازمند جمع‌آوری داده‌های بیشتر است. بدین ترتیب، در مناطقی که تعداد نمونه‌ها برای مدل‌سازی کافی نباشد، ممکن است دقت مدل پیش‌بینی تحت تأثیر قرار بگیرد.

تاریخ دریافت: ۰۲ اردیبهشت ۱۴۰۲  
تاریخ دوری: ۳۰ خرداد ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۱۴ تیر ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۶ شهریور ۱۴۰۲

## واژگان کلیدی:

پیش‌بینی سیلاب  
مدل حافظه طولانی کوتاه مدت پیچشی  
ویژگی‌های مکانی-زمانی  
هیدرولوژی

\* نویسنده مسئول

ali.nabizadeh@sru.ac.ir

① ۰۲۱-۲۲۹۷۰۰۲۱

کشاورزی و اقتصاد وارد می‌کنند [۴]. بدین ترتیب، پیش‌بینی به موقع و دقیق آن‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در مقوله کنترل سیل و به حداقل رساندن خسارات حاصل از آن کمک شایانی کند. اخیراً، روش‌های گوناگونی برای پیش‌بینی سیل پیشنهاد شده است [۵، ۶]. اگرچه مدل‌های آماری توانایی‌های قابل توجهی را در پیش‌بینی گستره متنوعی از سناریوهای سیلابی نشان داده‌اند، اغلب به مجموعه‌های

## مقدمه

به طور معمول سیلاب‌ها، تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله بارش، تبخیر، تابش خورشیدی و گردش جوی قرار می‌گیرند. از جمله ویژگی‌های آن‌ها می‌توان به غیرخطی بودن و عدم قطعیت بالا اشاره کرد [۱-۳]. شمال ایران، منطقه‌ای مستعد سیلاب است و برخی سال‌ها، سیلاب‌ها خسارات عظیمی را به زندگی انسان، زیرساخت‌ها، صنعت

الگوریتم ConvLSTM قادر به استخراج خصوصیات زمانی مکانی از اطلاعات هیدرولوژی منطقه بوده و نتایج پیش‌بینی بهتری را حاصل می‌دهد [۲۸-۳۰]. در این مقاله، با استفاده از الگوریتم ConvLSTM، پیش‌بینی سری‌های زمانی با ویژگی‌های مکانی و اطلاعات هیدرولوژی ترکیب می‌گردد. بدین ترتیب، الگویی جدید از ترکیب عوارض مکانی و پیش‌بینی سری‌های زمانی با هدف استخراج خصوصیات زمانی-مکانی طراحی شده است تا چالش اصلی در پیش‌بینی سیل، یعنی ترکیب داده‌های مکانی با داده‌های هیدرولوژی را تا حد امکان حل کند.

## روش تحقیق

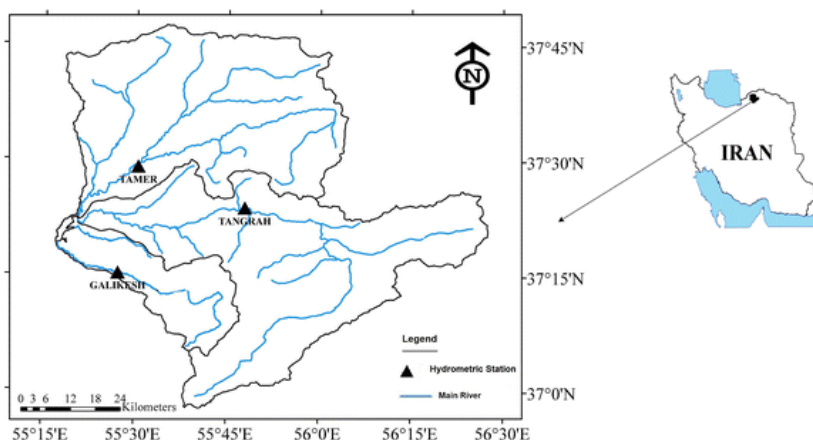
### منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، حوزه آبخیز سد گلستان به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. استان گلستان، در شمال شرقی ایران بین طول‌های ۵۳ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی، مابین دریای خزر و رشته کوه البرز، واقع شده است. آب و هوای این منطقه، معتدل است و میانگین دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد با رطوبت ۷۵ درصد است. میانگین بارندگی سالانه نیز کمتر از ۶۵۰ میلی‌متر است. اگرچه، بیشتر بارندگی‌ها مربوط به فصل زمستان است اما تابستان‌های آن نیز خشک نیست. در این منطقه، سیل‌های بزرگ عمدتاً در تابستان و در نتیجه طوفان‌های شدید ایجاد می‌شوند که اصلی‌ترین سانحه طبیعی در این منطقه است و در بیشتر موارد، موجب بروز تلفات جانی و مالی می‌شود. حوزه آبریز این منطقه ۵۱۵۵ کیلومترمربع وسعت دارد و بخشی از منابع آبی آن به مخزن سد گلستان با حجم ۹۰ میلیون مترمکعب تخلیه می‌شود. لازم به ذکر است که حداقل، متوسط و حداکثر ارتفاع حوزه به ترتیب ۵۳، ۹۳۵ و ۲۰۵۰ متر می‌باشند. شکل ۱ موقعیت حوزه، مرزهای زیرحوضه اصلی، شبکه زهکشی و ایستگاه‌های هیدرومتری را نشان می‌دهد [۳۱].

داده‌های نظارت هیدرو-ژئومورفولوژیک مختلف و محاسبات گسترده نیازمند هستند که این امر وابسته به صرف زمان و منابع قابل توجه بوده و عملاً پیش‌بینی‌های کوتاه مدت را غیرقابل انجام می‌کند [۷، ۸]. مشابه مدل‌های آماری و عددی، مدل‌های مبتنی بر داده نیز تاریخچه‌ای قدیمی در مبحث پیش‌بینی سیلاب دارند [۹-۱۲]. یادگیری ماشین، محبوبیت چشمگیری را به عنوان جدیدترین تکنیک داده محور کسب کرده است [۱۳].

مدل‌های پیش‌بینی سری زمانی مبتنی بر یادگیری ماشین مورد استفاده در هیدرولوژی، عملکرد بهتری علاوه بر مقرون به صرفه بودن نشان می‌دهند. به عنوان یک مدل پیش‌بینی سری زمانی معمولی، شبکه عصبی بازگشت‌پذیر (RNN) برای ایجاد مدل‌های هیدرولوژی از دهه ۲۰۰۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴-۱۷]. در تحقیقات صورت گرفته، عملکرد مدل‌های RNN را با مدل‌های فیزیکی مقایسه نموده و نشان داده‌اند که نسبت به هم‌تایان خود با مجموعه داده‌های محدود، عملکرد بهتری را ارائه می‌دهند [۱۸-۲۱]. در سال‌های اخیر، شبکه حافظه طولانی کوتاه مدت (LSTM)، به عنوان شکل تکامل یافته‌ای از RNN، به‌طور گسترده‌ای در پیش‌بینی سیل استفاده شده است [۲۲-۲۵]. محققین از مدل LSTM جهت پردازش داده‌های سری زمانی نظیر سطح آب و بارش استفاده نموده و LSTM را با مدل RNN مقایسه کرده‌اند. نتایج، نشان داده‌اند که مدل LSTM در پیش‌بینی سطح آب پایین دست بسیار دقیق‌تر عمل کرده است [۲۶]. اگرچه، الگوریتم‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی می‌توانند استخراج ویژگی‌ها را بهتر انجام دهند، اطلاعات هیدرولوژیک نیز حاوی ویژگی‌های مکانی می‌باشند. به‌طور مثال، روابط پایین دست و بالادست بین دو ایستگاه اندازه‌گیری، روند ایجاد و غلظت سیل را مشخص می‌کنند. از این رو، نمایش مکانی اطلاعات هیدرولوژی برای پیش‌بینی دقیق سیلاب امری حیاتی است [۲۷].

در اغلب تحقیقات پیشین، ویژگی‌های مکانی را صرف نظر از اطلاعات هیدرولوژی استخراج می‌کردند. نتایج برخی تحقیقات، نشان می‌دهد که



شکل ۱: موقعیت استان گلستان و حوزه آبریز مورد مطالعه [۳۱]

Fig. 1: The location of study area and its watershed [31]

## مجموعه داده‌ها

در این مقاله، از داده‌های سری زمانی هیدرولوژی و هواشناسی منطقه از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۱ استفاده شده است. با استفاده از داده‌های سری زمانی پیش‌بینی روند امکان‌پذیر می‌گردد. در مطالعات هیدرولوژی بارش‌ها به صورت فصلی مقایسه می‌شوند تا تغییرات فصلی بارندگی استخراج گردد اما با استفاده از تغییرات ماهانه بارش‌ها می‌توان روند تغییرات را بهتر استخراج و رخدادهای آبی را پیش‌بینی کرد. از کل مجموعه داده، ۶۰٪ برای آموزش مدل، ۲۰٪ برای اعتبارسنجی و ۲۰٪ به آزمایش مدل تعلق گرفت. از مرحله اعتبارسنجی برای تنظیم فرآیندهای مدل و ارزیابی توانایی آن‌ها در جلوگیری از بیش‌برازشی مدل استفاده می‌گردد. همچنین در مرحله آزمایش، توانایی تعمیم‌پذیری مدل ارزیابی می‌گردد. در مناطقی که امکان جمع‌آوری داده وجود نداشت، از روش درون‌یابی Kriging برای تکمیل داده‌ها استفاده شد. این روش از اطلاعات مکانی مورد نظر و ماتریس کوواریانس برای افزایش دقت تخمین‌ها استفاده می‌کند [۳۲]. مدل‌های کلاسیک پیش‌بینی سیلاب، داده‌های هیدرولوژی را به صورت سری‌های زمانی یک بعدی پردازش کرده و تنها از بعد زمانی به پیش‌بینی سیلاب می‌پردازد که منجر به از دست رفتن اطلاعات مکانی آن می‌شود. برای حل این مسأله از شبکه عصبی پیچشی استفاده شد که منجر به حفظ اطلاعات مکانی با استخراج ویژگی‌ها گردید. برای استفاده بهتر از محاسبات مدل CNN، حوضه آبریز شبکه‌بندی شده و اطلاعات هیدرولوژی در این قالب پردازش شدند. بدین ترتیب، توزیع مکانی داده‌های هیدرولوژی از طریق شبکه‌بندی به دست آمده و ماتریس توزیع مکانی داده‌های هیدرولوژی در زمان‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود و ویژگی‌های زمانی-مکانی استخراج شده در آموزش مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

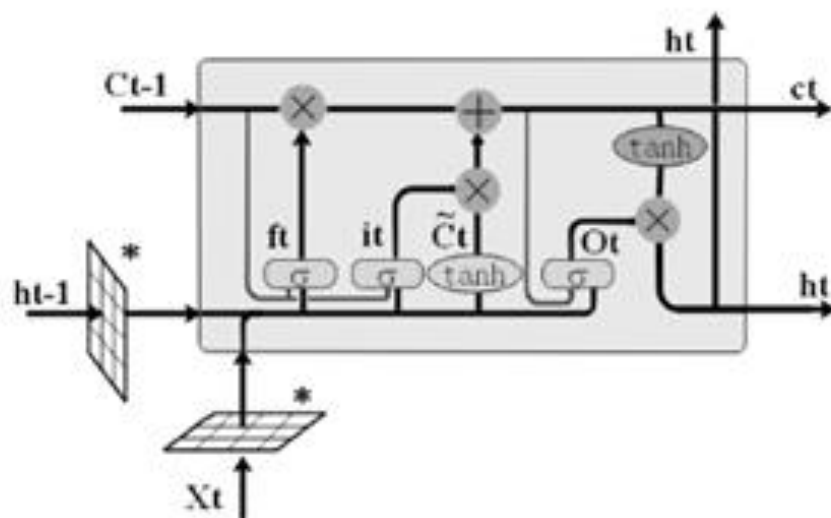
## روش‌شناسی

در این مقاله، برای تحلیل جامع خصوصیات زمانی- مکانی بارش، ویژگی‌های مکانی را با تحلیل‌های سری زمانی ادغام می‌کنیم. به همین منظور از مدل ConvLSTM استفاده گردید که ورودی‌های آن شامل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع، بارش، دبی و سایر اطلاعات هر ایستگاه است. طبق رابطه (۱)، در این مدل تمامی لایه‌های اتصال با ضرب ماتریس تبدیل با پیچشی جایگزین می‌شود.

$$z(u, v) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} x_{i,j} k_{u-i, v-j} \quad (1)$$

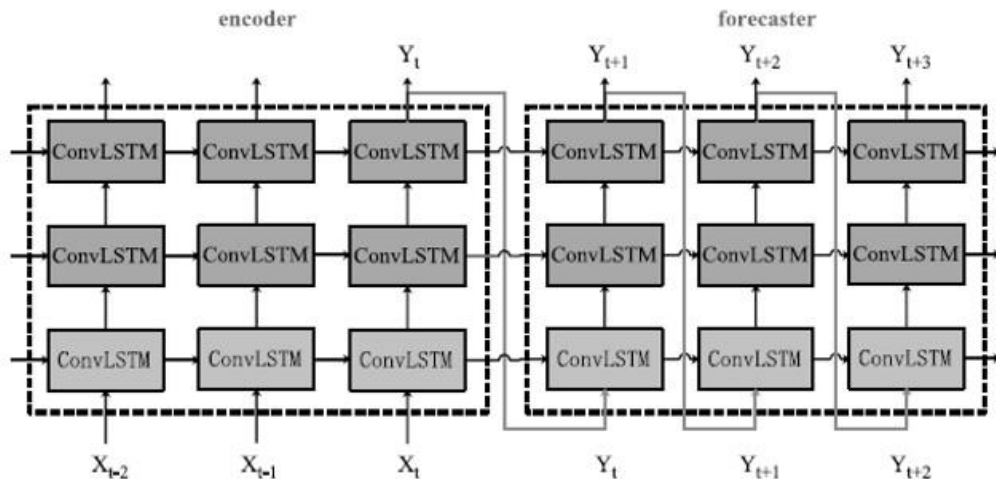
بدین ترتیب، ویژگی‌های مکانی پایه در داده‌های چند بعدی ثبت می‌گردد. بنابراین، ConvLSTM یک مدل پردازشی سری‌های زمانی است که ویژگی‌های مکانی را مطابق شکل ۲ استخراج می‌کند.

مطابق شکل ۲، \* نشان‌دهنده عملگر پیچشی،  $W$  ماتریس وزن هر لایه، وضعیت گیت ورودی و  $f_t$  وضعیت گیت فراموشی (برای تعیین این‌که چه مقدار از وضعیت قبلی  $C_{t-1}$  برای زمان کنونی نگهداری شود) هستند.  $C_t$  وضعیت سلول در زمان کنونی و  $O_t$  وضعیت گیت خروجی را نشان می‌دهد و هر دو پارامتر  $C_t$  و  $O_t$  برای تشخیص وضعیت لایه پنهان  $H_t$  مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس، ماتریس وزن به ترتیب با ورودی و وضعیت‌های پنهان ضرب می‌شود تا ویژگی‌های مکانی داده‌های هیدرولوژی توسط افزودن هسته‌های پیچشی استخراج شوند. برای دستیابی به پیش‌بینی مکانی- زمانی، از ConvLSTM به‌عنوان یک بلوک پایه استفاده گردید تا بتوان با طراحی یک شبکه متراکم (شکل ۳)، ویژگی‌ها را لایه به لایه استخراج کرد تا پس از نگاشت آن‌ها، عمل پیش‌بینی انجام شود. در نهایت، به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل از معیارهای خطای میانگین مربعات (RMSE) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) استفاده می‌شود.



شکل ۲: ساختار مدل ConvLSTM [۳۰]

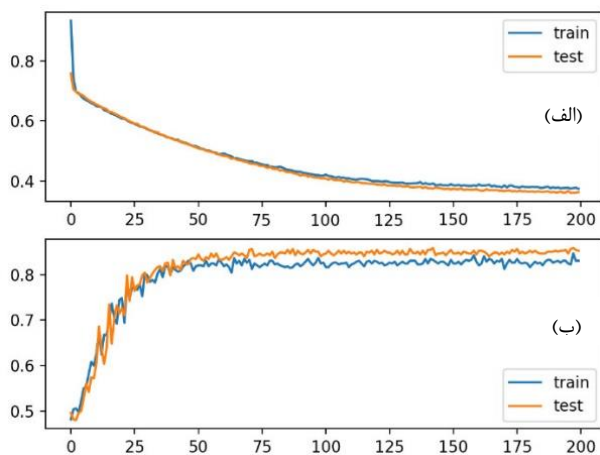
Fig. 2: The structure of ConvLSTM model [30]



شکل ۳: شبکه متراکم ConvLSTM [۲۹]

Fig. 3: ConvLSTM dense network [29]

میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. بدین ترتیب، در این مقاله از یک شبکه پیچشی سه لایه‌ای با تعداد هسته‌های ۱، ۸ و ۳۲ و تعداد عصب‌های ۲۰، ۴۰ و ۸۰ در هر لایه به عنوان مدل نهایی در آزمایشات خود استفاده کردیم.

شکل ۴: (الف) تابع زیان، (ب) دقت مدل  
Fig. 4: (a) Loss function, (b) Model accuracy

با پیاده‌سازی مدل طراحی شده، نتایج پیش‌بینی مطابق انتظار حاصل گردید. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، دقت پیش‌بینی با افزایش زمان به تدریج کاهش می‌یابد. هنگامی که زمان پیش‌بینی ۱۰ ساعت پیش از وقوع سیلاب باشد (شکل ۵)، دقت پیش‌بینی از زمان‌های دیگر کمتر است. علت این است که هنگامی که زمان پیش‌بینی افزایش یابد، میزان اطلاعات دقیق کمتر خواهد بود که منجر به حصول دقت کمتر در یادگیری مدل و در نتیجه کاهش دقت پیش‌بینی می‌شود. برای حل این مسئله باید عمق شبکه افزایش یابد که این موضوع سبب می‌شود تا زمان زیادی صرف آموزش مدل گردد. از اینرو، بهینه‌سازی مدل بسیار ضروری است زیرا یک مصالحه میان دقت مدل و زمان پردازش خواهیم داشت.

## نتایج و بحث

در این برای پیاده‌سازی یک مدل بهینه، دقت پیش‌بینی بسیار حائز اهمیت است زیرا دقت مدل پیش‌بینی بستگی به تنظیم فرآیندهای پارامترهای آن دارد. کاهش گرادیان، یکی از بهترین روش‌هایی است که برای تعیین پارامترهای بهینه است. بدین ترتیب، می‌توان تابع کمینه‌سازی را حل و به تدریج پارامترهای مدل را پیدا کرد. این کار، از طریق مشتق جزئی تابع زیان نسبت به پارامترهای مدل (وزن و بایاس) انجام می‌شود. مشتق جزئی هر پارامتر که توسط بردار بیان می‌شود، گرادیان نام دارد. تابع خطا در جهت مخالف بردار گرادیان سریع‌تر کاهش می‌یابد، بنابراین، یافتن مقدار کمینه آن آسان‌تر است. مهم‌ترین عوامل در الگوریتم کاهش گرادیان، نرخ یادگیری ( $\alpha$ ) و مقدار شیب نزولی آن می‌باشد. نرخ یادگیری مدل، تعیین‌کننده این موضوع است که آیا می‌توانیم با یک مقدار  $\alpha$  مناسب به راه‌حل بهینه دست پیدا کنیم یا خیر. اگر مقدار  $\alpha$  خیلی کوچک باشد احتمال دارد جواب مسأله، یک بهینه محلی باشد و اگر مقدار  $\alpha$  خیلی بزرگ باشد احتمال دارد به جواب بهینه دست پیدا نکنیم. در این مقاله، مقدار  $\alpha$  بر روی  $0.005$  تنظیم گردید. شکل ۴، نشان دهنده روند تابع زیان و دقت مدل را در فرآیند آموزش و آزمایش مدل نشان می‌دهد.

در این مقاله، از الگوریتم Adam به عنوان بهینه‌سازها مدل ConvLSTM و از MSE به عنوان تابع خطا استفاده شد [۳۳]. به منظور یافتن مقادیر بهینه فرآیندها، از روش متغیر کنترل استفاده گردید. همان‌طور که می‌دانیم که با افزایش اندازه یک بچ (Batch)، سرعت آموزش بیشتر و نوسانات در آموزش کمتر می‌شود. با این حال، اگر اندازه بچ خیلی بزرگ باشد، فرآیند بهینه‌سازی پارامترهای شبکه کند می‌شود. در این مقاله، اندازه بچ و تعداد اپک‌ها به ترتیب ۶۴ و ۳۰ انتخاب شد. عمق شبکه نیز، فاکتور مؤثری بر عملکرد مدل است. هرچه تعداد لایه‌های یک شبکه بیشتر باشد، توانایی استخراج ویژگی بیشتر می‌شود. با این وجود، افزایش تعداد لایه‌های یک شبکه، فرآیند بهبود عملکرد و سرعت آموزش را به

## مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته اند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کارشناسانی که برای جمع‌آوری داده‌های این تحقیق همکاری لازم را داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

## تعارض منافع

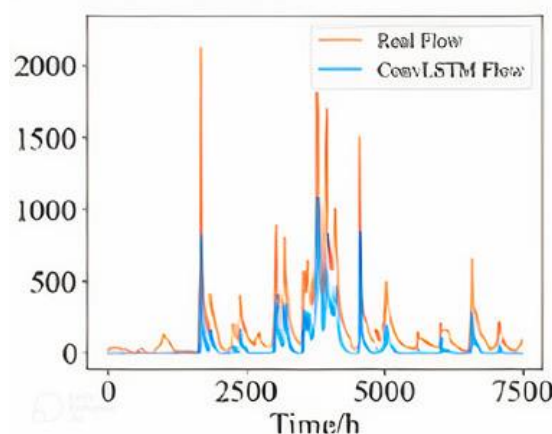
«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

## منابع و مآخذ

- [1] Disse M, Johnson TG, Leandro J, Hartmann T. Exploring the relation between flood risk management and flood resilience. *Water Security*. 2020;9:100059. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100059>
- [2] Wang L, Cui S, Li Y, Huang H, Manandhar B, Nitivattananon V, et al. A review of the flood management: from flood control to flood resilience. *Heliyon*. 2022;8(11):e11763. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11763>
- [3] Munawar HS, Hammad AWA, Waller ST. Remote Sensing Methods for Flood Prediction: A Review. *Sensors*. 2022;22(3):960. <https://doi.org/10.3390/s22030960>
- [4] Arabameri A, Rezaei K, Cerdà A, Conoscenti C, Kalantari Z. A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. *Sci Total Environ*. 2019;660:443–58. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.021
- [5] Moharrami M, Javanbakht M, Attarchi S. Automatic flood detection using sentinel-1 images on the google earth engine. *Environ Monit Assess*. 2021;193(5). DOI:10.1007/s10661-021-09037-7
- [6] Pawar U, Suppawimut W, Muttill N, Rathnayake U. A GIS-Based Comparative Analysis of Frequency Ratio and Statistical Index Models for Flood Susceptibility Mapping in the Upper Krishna Basin, India. *Water (Switzerland)*. 2022;14(22):3771. <https://doi.org/10.3390/w14223771>
- [7] Strnad F, Moravec V, Markonis Y, Máca P, Masner J, Stoces M, et al. An index-flood statistical model for hydrological drought assessment. *Water (Switzerland)*. 2020;12(4):1213. doi:10.3390/w12041213
- [8] Jehanzaib M, Ajmal M, Achite M, Kim TW. Comprehensive Review: Advancements in Rainfall-Runoff Modelling for Flood Mitigation. *Climate*. 2022;10(10):147. <https://doi.org/10.3390/cli10100147>
- [9] Suppawimut W. Gis-based flood susceptibility mapping using statistical index and weighting factor models. *Environ Nat Resour J*. 2021;19(6):481–93.

جدول ۱: میزان زمان پیش‌بینی، خطا و دقت تعیین مدل پیشنهادی  
Table 1: Prediction time, RMSE, and R<sup>2</sup> of the proposed model

R <sup>2</sup>	RMSE	زمان پیش‌بینی (ساعت) Prediction time (h)
0.932	0.035	2
0.915	0.046	4
0.884	0.063	6
0.771	0.079	8
0.750	0.081	10



شکل ۵: نتیجه پیش‌بینی برای ۱۰ ساعت. اختلاف بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی با گذشت زمان افزایش یافته و دقت مدل را تحت تأثیر قرار داده است.

Fig. 5: The prediction result for 10 hours. The difference between the observation and predicted values increased over time and affected the accuracy of the model.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله، با هدف پیش‌بینی سیلاب، از مدل ConvLSTM استفاده گردید. این مدل، کارایی مناسبی برای استخراج خصوصیات زمانی-مکانی و پیش‌بینی سری‌های زمانی هیدرولوژی دارد. استفاده از این مدل، موجب بهبود قابل توجه دقت نتایج در قیاس با مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین شد. برای آموزش مدل، داده‌های هیدرولوژی و هواشناسی مانند بارش در قالب یک مجموعه داده با هم ترکیب شدند و سپس، به عنوان ورودی الگوریتم ConvLSTM مورد استفاده قرار گرفتند. پس از فرآیند آموزش و اعتبارسنجی، با استفاده از ۲۰٪ داده‌ها مرحله آزمایش مدل انجام شد و دقت مدل برآورد گردید. نتایج تحقیق، نشان داد که مدل ConvLSTM این توانایی را دارد که نتایج پیش‌بینی قابل قبولی، به‌ویژه در زمان‌های کوتاه مدت، ارائه دهد و این مدل یک ابزار مناسب برای پیش‌بینی‌های سری زمانی است. با وجود این که مدل ConvLSTM، عملکرد قابل ملاحظه‌ای برای پیش‌بینی‌های کوتاه مدت به‌دست آورد اما هنوز هم برخی محدودیت‌ها از جمله پیش‌بینی بلندمدت سیلاب بر پایه داده‌های سری زمانی وجود دارد. از جمله محدودیت‌های دیگر، می‌توان به پیچیدگی و وابستگی مدل ConvLSTM به تعداد نمونه‌های آموزشی اشاره کرد که به تبع آن مدل‌سازی دقیق‌تر نیازمند جمع‌آوری داده‌های بیشتر است. بدین ترتیب، در مناطقی که تعداد نمونه‌ها برای مدل‌سازی کافی نباشد، ممکن است دقت مدل پیش‌بینی تحت تأثیر قرار بگیرد.



<https://www.imeko.org/publications/tc4-2020/IMEKO-TC4-2020-85.pdf>

[21] Ali MHM, Asmai SA, Abidin ZZ, Abas ZA, Emran NA. Flood Prediction using Deep Learning Models. *Int J Adv Comput Sci Appl.* 2022;13(9):972–81.

[https://thesai.org/Downloads/Volume13No9/Paper\\_112-Flood\\_Prediction\\_using%20Deep\\_Learning\\_Models.pdf](https://thesai.org/Downloads/Volume13No9/Paper_112-Flood_Prediction_using%20Deep_Learning_Models.pdf)

[22] Lee JY, Choi C, Kang D, Kim BS, Kim TW. Estimating design floods at ungauged watersheds in south Korea using machine learning models. *Water (Switzerland).* 2020;12(11):3022.

<https://doi.org/10.3390/w12113022>

[23] Ding Y, Zhu Y, Feng J, Zhang P, Cheng Z. Interpretable spatio-temporal attention LSTM model for flood forecasting. *Neurocomputing.* 2020;403:348–59.

DOI: 10.1109/iThings/GreenCom/CPSCoM/SmartData.2019.00095

[24] Ulloa NI, Yun SH, Chiang SH, Furuta R. Sentinel-1 Spatiotemporal Simulation Using Convolutional LSTM for Flood Mapping. *Remote Sens.* 2022;14(2):246.

<https://doi.org/10.3390/rs14020246>

[25] Le XH, Ho HV, Lee G, Jung S. Application of Long Short-Term Memory (LSTM) neural network for flood forecasting. *Water (Switzerland).* 2019;11(7):1387.

<https://doi.org/10.3390/w11071387>

[26] Fang Z, Wang Y, Peng L, Hong H. Predicting flood susceptibility using LSTM neural networks. *J Hydrol.* 2021;594:125734.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125734>

[27] Dixon SJ, Sear DA, Odoni NA, Sykes T, Lane SN. The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. *Earth Surf Process Landforms.* 2016;41(7):997–1008.

<https://doi.org/10.1002/esp.3919>

[28] Boulila W, Ghandorh H, Khan MA, Ahmed F, Ahmad J. A novel CNN-LSTM-based approach to predict urban expansion. *Ecol Inform.* 2021;64:101325.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.01695>

[29] Moishin M, Deo RC, Prasad R, Raj N, Abdulla S. Designing deep-based learning flood forecast model with ConvLSTM hybrid algorithm. *IEEE Access.* 2021;9:50982–93.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3065939>

[30] Muckley L, Garforth J. Multi-Input ConvLSTM for Flood Extent Prediction. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics).* 2021. p. 75–85.

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-68780-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68780-9_8)

[31] Heidarpour B, Saghafian B, Yazdi J, Azamathulla HM. Effect of Extraordinary Large Floods on at-site Flood Frequency. *Water Resour Manag.* 2017;31(13):4187–205.

DOI:10.32526/enrj/19/2021003

[10] Malgwi MB, Schlögl M, Keiler M. Expert-based versus data-driven flood damage models: A comparative evaluation for data-scarce regions. *International Journal of Disaster Risk Reduction.* 2021;57:102148.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102148>

[11] Boutkhamouine B, Roux H, Pérés F. Data-driven model for river flood forecasting based on a Bayesian network approach. *J Contingencies Cris Manag.* 2020;28(3):215–27.

<https://hal.science/hal-03164840>

[12] Zhang Y, Gu Z, Thé JVG, Yang SX, Gharabaghi B. The Discharge Forecasting of Multiple Monitoring Station for Humber River by Hybrid LSTM Models. *Water (Switzerland).* 2022;14(11).

<https://doi.org/10.3390/w14111794>

[13] Wagenaar D, Curran A, Balbi M, Bhardwaj A, Soden R, Hartato E, et al. Invited perspectives: How machine learning will change flood risk and impact assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences.* 2020;20:1149–61.

<https://doi.org/10.5194/nhess-20-1149-2020>

[14] Kim J, Park M, Yoon Y, Lee H. Application of Recurrent Neural Network for Inflow Prediction into Multi-purpose Dam Basin. *Springer Water.* 2020;397–408.

[15] Zhong M, Zhang H, Jiang T, Guo J, Zhu J, Wang D, et al. A Hybrid Model Combining the Cama-Flood Model and Deep Learning Methods for Streamflow Prediction. *Water Resour Manag.* 2023;37(12):4841–59.

[16] Panahi M, Jaafari A, Shirzadi A, Shahabi H, Rahmati O, Omidvar E, et al. Deep learning neural networks for spatially explicit prediction of flash flood probability. *Geosci Front.* 2021;12(3):101076.

DOI: 10.1016/j.gsf.2020.09.007

[17] Hayder IM, Al-Amiedy TA, Ghaban W, Saeed F, Nasser M, Al-Ali GA, et al. An Intelligent Early Flood Forecasting and Prediction Leveraging Machine and Deep Learning Algorithms with Advanced Alert System. *Processes.* 2023;11(2):481.

<https://doi.org/10.3390/pr11020481>

[18] Liu H, Hao Y, Zhang W, Zhang H, Gao F, Tong J. Online urban-waterlogging monitoring based on a recurrent neural network for classification of microblogging text. *Nat Hazards Earth Syst Sci.* 2021;21(4):1179–94.

<https://doi.org/10.5194/nhess-21-1179-2021>

[19] Kumar V, Azamathulla HM, Sharma KV, Mehta DJ, Maharaj KT. The State of the Art in Deep Learning Applications, Challenges, and Future Prospects: A Comprehensive Review of Flood Forecasting and Management. *Sustainability (Switzerland).* 2023;15(13):10543.

<https://doi.org/10.3390/su151310543>

[20] Sekulić P, Regina P, Spadafina L, Dentamaro G, Porcelli A, Bove C, et al. Real-time flood prediction using recurrent neural networks and random forest. In: *24th IMEKO TC4 International Symposium and 22nd International Workshop on ADC and DAC Modelling and Testing.* 2020. p. 456–60.

Ahmadi, S. Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

s.ahmadi@sru.ac.ir



**علی نبی‌زاده** دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی عمران (گرایش ژئوتکنیک) از دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشد. پس از ۳ سال فعالیت در صنعت، به مدت ۵ سال از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ به عنوان استادیار در گروه مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز به عنوان عضو هیأت‌علمی و

سپس از سال ۱۳۹۸ تا کنون به عنوان عضو هیأت‌علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی مشغول به فعالیت بودند. ایشان در سال ۱۳۹۱ به عنوان پژوهشگر دکتری به مدت ۶ ماه در دانشگاه بین‌المللی تایوان مشغول به فعالیت بوده‌اند. ایشان، تاکنون موفق به چاپ بیش از ۳۵ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: ژئوتکنیک لرزه‌ای، اندرکنش تونل و گسل، اندرکنش گسل و سازه سطحی، استفاده از هوش مصنوعی در مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک پیشرفته.

**Nabizadeh, A. Assistant Professor at the Department of Geotechnical and Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran**

ali.nabizadeh@sru.ac.ir

[32] Xiao H, Zhang Z, Chen L, He Q. An Improved Spatio-Temporal Kriging Interpolation Algorithm and Its Application in Slope. *IEEE Access*. 2020;8:90718–29. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2994050>

[33] Wang Y, Xiao Z, Cao G. A convolutional neural network method based on Adam optimizer with power-exponential learning rate for bearing fault diagnosis. *J Vibroengineering*. 2022;24(4):666–78. <https://doi.org/10.21595/jve.2022.22271>

## معرفی نویسندگان

### AUTHOR(S) BIOSKETCHES



**سیما احمدی** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نقشه‌برداری گرایش سنجش از دور، در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می‌باشد. وی فارغ‌التحصیل رشته مهندسی نقشه‌برداری از دانشکده نقشه‌برداری سازمان نقشه‌برداری کشور بوده و ۴ سال سابقه فعالیت به عنوان کارشناس

نقشه‌برداری، سامانه اطلاعات مکانی، کارتوگرافی، هیدروگرافی و پردازش داده در شرکت مهندسین مشاور دریانگار پارس در رابطه با هیدروگرافی بنادر کشور را دارا می‌باشد. همچنین، ایشان عضو انجمن هیدروگرافی ایران بوده و سابقه فعالیت به عنوان کارشناس سامانه اطلاعات مکانی در بخش مدیریت بحران شهرداری تهران را داراست. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: بکارگیری سنجش از دور، سامانه اطلاعات مکانی و هوش مصنوعی در هیدرولوژی و مدیریت اراضی.

**Citation (Vancouver):** Ahmadi S, Nabizadeh A. [Using Convolutional Long Short-Term Memory Model for Flood Prediction in Golestan Province, Iran]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 239-246

<https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10328.1030>



### COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Using GIS and Multi-Criteria Evaluation for Land Suitability Assessment

D. Akbari

Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran

### ABSTRACT

Received: 10 June 2023  
Reviewed: 17 July 2023  
Revised: 08 August 2023  
Accepted: 24 September 2023

#### KEYWORDS:

Agriculture  
GIS  
Land Suitability  
Multi-Criteria Evaluation  
Sustainable Land Use Planning

\* Corresponding author

✉ [davoodakbari@uoz.ac.ir](mailto:davoodakbari@uoz.ac.ir)

☎ (+9854) 31232027

**Background and Objectives:** Land evaluation is a very important link in the chain that leads to sustainable management of land and soil resources. Exploitation of lands according to their capabilities, in addition to meeting the needs of the present and future generations, also maintains the ecological balance of the earth. Analyzing the suitability of land by using a variety of factors affecting the quantitative and qualitative production of products and examining the intricacies of their relationships with each other, as well as simultaneously with land use analysis, is one of the most useful applications of spatial information systems in agricultural land management. Many methods have been developed since the presentation of the FAO framework for land suitability assessment, and some of them are still widely used. In the present study, the qualitative assessment of land suitability using geographic information system (GIS) and multi-criteria evaluation (MCE) for three strategic crops of wheat, barley and rice was investigated in four study areas in northern Iran.

**Methods:** In order to implement the proposed model, data related to soil characteristics, climate data, topography data, geological map and land cover map were collected. Among the collected data, temperature plays an important role in determining the suitability of land for agricultural products, spatial patterns of rainfall are important for assessing water availability, and the slope of the land has a great impact on drainage, the amount of light received from the sun and, consequently, the required energy. It has plants to grow. Then, according to the climatic diversity in the north of Iran and the diverse set of crops that are grown in this region, appropriate criteria were selected. The selected criteria are: soil type, temperature, precipitation, slope and geological parameters. In order to assign weight to each of the criteria and intensify their effect in the land suitability assessment stage, a weight assignment process was carried out. This weight allocation was done by experts. Each criterion was evaluated based on its effect on the cultivation of different crops in this area and the weight of each layer was determined. Finally, a detailed examination of the results and analysis of suitability of land for agriculture in the studied areas was carried out.

**Findings:** The analysis of the results of the geospatial information system showed that the west of Gilan Province is an ideal place for rice cultivation, but this area has challenges for barley and wheat cultivation. Relatively good scores for all three crops, wheat, barley and rice in the east of Gilan Province showed that this area is prone to growing diverse crops. The center of Mazandaran Province did not get good points for the cultivation of wheat, barley and rice crops. Also, the center of Golestan Province was determined as a very suitable place for wheat and barley cultivation.

**Conclusion:** In conclusion, the areas with a relatively suitable score provide facilities for diversifying the cultivation methods, which increases flexibility and reduces the risks associated with market fluctuations and climate changes. Also, in areas with a low suitability score, the role of environmental protection and sustainable land management practices is important. From another dimension, the classification of land suitability allows the policy makers and managers of the agricultural sector to allocate resources correctly and optimally. For future research, it is suggested to analyze the time series of satellite data using deep learning models.



NUMBER OF REFERENCES

36



NUMBER OF FIGURES

1



NUMBER OF TABLES

2

## مقاله پژوهشی

## به‌کارگیری سامانه اطلاعات مکانی و ارزیابی چند معیاره جهت ارزیابی تناسب اراضی کشاورزی

داود اکبری

گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** ارزیابی اراضی، حلقه‌ای بسیار مهم در زنجیره‌ای است که منجر به مدیریت پایدار منابع اراضی و خاک می‌گردد. بهره‌برداری از اراضی مطابق با قابلیت آن‌ها، افزون بر تأمین احتیاجات نسل حاضر و آینده، تعادل اکولوژیک کره زمین را نیز، حفظ می‌کند. تحلیل تناسب اراضی با مجموعه متنوعی از عوامل مؤثر بر تولید کمی و کیفی محصولات و بررسی پیچیدگی‌های روابط آن‌ها باهم و همچنین، همگام با تحلیل کاربری اراضی، از مفیدترین کاربردهای سامانه اطلاعات مکانی در مدیریت اراضی کشاورزی است. روش‌های بسیاری از زمان ارائه چارچوب FAO برای ارزیابی تناسب اراضی توسعه یافته‌اند و برخی از آن‌ها هنوز به‌صورت گسترده استفاده می‌شوند. در پژوهش حاضر، ارزیابی کیفی تناسب اراضی با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی (GIS) و ارزیابی چند معیاره (MCE) برای سه محصول راهبردی گندم، جو و برنج در چهار منطقه مطالعاتی در شمال ایران، مورد بررسی قرار گرفت.

**روش‌ها:** جهت پیاده‌سازی مدل پیشنهادی، داده‌های مرتبط با ویژگی‌های خاک، داده‌های اقلیمی، داده‌های توپوگرافی، نقشه زمین‌شناسی و نقشه پوشش اراضی جمع‌آوری شد. در میان داده‌های جمع‌آوری شده، دما نقش مهمی در تعیین تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی دارد، الگوهای مکانی بارش برای ارزیابی دسترسی به آب اهمیت دارند و شیب زمین تأثیر زیادی در زهکشی، میزان نور دریافتی از خورشید و بالطبع آن، انرژی مورد نیاز برای رشد گیاه دارد. سپس، با توجه به تنوع اقلیمی در شمال ایران و مجموعه متنوع از محصولات زراعی که در این منطقه کشت می‌شوند، معیارهای مناسب انتخاب شدند. معیارهای انتخاب شده عبارتند از: نوع خاک، دما، بارش، شیب و پارامترهای زمین‌شناسی. جهت تخصیص وزن به هر یک از معیارها و تشدید تأثیر آن‌ها در مرحله ارزیابی تناسب اراضی، یک فرآیند تخصیص وزن انجام شد. این تخصیص وزن، توسط متخصصین امر انجام گرفت. هر معیار بر اساس تأثیر آن بر کشت محصولات مختلف در این منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت و وزن هر لایه مشخص گردید. در نهایت، بررسی دقیق نتایج و تحلیل تناسب اراضی برای کشاورزی در مناطق مورد مطالعه انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج این تحقیق، نشان داد که غرب استان گیلان مکانی ایده‌آل برای کشت برنج اما این منطقه چالش‌هایی برای کشت جو و گندم دارد. امتیازات نسبتاً مناسب برای هر سه محصول، گندم، جو و برنج شرق استان گیلان نشان داد که این منطقه مستعد کشت محصولات متنوع است. مرکز استان مازندران برای کشت محصولات گندم، جو و برنج امتیاز مناسبی کسب نکرد. همچنین، مرکز استان گلستان به عنوان یک مکان بسیار مناسب برای کشت گندم و جو تعیین گردید.

**نتیجه‌گیری:** در مجموع، مناطق با امتیاز نسبتاً مناسب امکاناتی برای متنوع کردن شیوه‌های کشت ارائه می‌دهند که باعث افزایش انعطاف‌پذیری و کاهش خطرات مرتبط با نوسانات بازار و تغییرات اقلیمی می‌شود. همچنین، در مناطق با امتیاز تناسب پایین نقش حفاظت از محیط زیست و شیوه‌های مدیریت پایدار اراضی حائز اهمیت است. از یک بعد دیگر، دسته‌بندی تناسب اراضی به سیاست‌گذاران و مدیران بخش کشاورزی این امکان را می‌دهد تا منابع به‌صورت صحیح و به‌صورت بهینه تخصیص یابند. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود تحلیل سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق صورت پذیرد.

تاریخ دریافت: ۲۰ خرداد ۱۴۰۲  
تاریخ داوری: ۲۶ تیر ۱۴۰۲  
تاریخ اصلاح: ۱۷ مرداد ۱۴۰۲  
تاریخ پذیرش: ۰۲ مهر ۱۴۰۲

## واژگان کلیدی:

ارزیابی چندمعیاره  
تناسب اراضی  
توسعه پایدار  
سامانه اطلاعات مکانی  
کشاورزی

نویسنده مسئول

davoodakbari@uoz.ac.ir

۳۱۲۳۲۰۲۷-۰۵۴

## مقدمه

با وجود پیشرفت‌های حاصل شده در ارزیابی تناسب اراضی، هنوز مشکلات و موانعی در بخش کشاورزی به‌ویژه در مناطق شمال ایران وجود دارد که از آن جمله، می‌توان به این موارد، اشاره کرد [۲۰-۲۵]: (۱) تناسب محصولات: مطالعات کنونی، اغلب ارزیابی‌های کلی تناسب اراضی را ارائه می‌دهند، که ممکن است نیازهای دقیق محصولات کشاورزی در شمال ایران مانند گندم، جو، برنج، میوه‌ها و سبزیجات را نادیده بگیرند؛ (۲) تغییرات اقلیمی و منابع آب: در مقابل تغییرات اقلیمی و منابع آب محدود در منطقه، یک فاصله تحقیقاتی در زمینه تأثیر الگوهای کشت و همچنین ارزیابی تناسب اراضی در ارتباط با دسترسی به آب وجود دارد؛ (۳) ادغام با دانش کشاورزان محلی: با وجود توانایی GIS و MCE، همگام‌سازی آن‌ها با دانش و تجربه کشاورزان محلی، ضروری است؛ (۴) توسعه پایدار کاربری اراضی: دستیابی به پایداری در کاربری اراضی، هدف اصلی است. بنابراین، تحقیقات باید به سمت تبیین این مسأله حرکت کنند که ارزیابی‌های تناسب اراضی چگونه می‌توانند به‌عنوان زیرساخت در ایجاد برنامه‌های پایدار کاربری اراضی عمل کنند تا بتوان همزمان با افزایش بهره‌وری در تولیدات کشاورزی، محیط‌زیست را نیز حفظ نمود.

برای پاسخ به این سؤالات و ارائه ارزیابی جامع تناسب اراضی برای کشاورزی در شمال ایران، این تحقیق از یک رویکرد چند جانبه استفاده می‌کند تا درک جامعی از ظرفیت کشاورزی منطقه، ایجاد کند. در این تحقیق، اطلاعات مربوط به خصوصیات خاک، داده‌های اقلیمی، الگوهای بارش و سایر اطلاعات مورد نیاز، جمع‌آوری گردید. تنوع جغرافیایی شمال ایران، نیازمند دقت زیادی در جمع‌آوری داده‌ها برای بهره‌گیری بهینه از آن‌ها است. سپس، فناوری GIS برای انجام تجزیه و تحلیل این داده‌ها به کار گرفته شد تا الگوها و روندهای تأثیرگذار بر تناسب اراضی مشخص گردد. با توجه به محصولات خاص زراعی که به‌طور معمول در شمال ایران کشت می‌شوند با کارشناسان کشاورزی محلی مشورت گردید تا وزن‌دهی به معیارها متناسب با پیچیدگی‌های کشاورزی منطقه باشد. در نهایت، مناطق مناسب برای کشت محصولات مورد مطالعه، تعیین و تحلیل عوامل مؤثر بر آن انجام گرفت.

## روش تحقیق

## منطقه مورد مطالعه

شمال ایران منطقه‌ای با تنوع جغرافیایی زیاد و شرایط اقلیمی متفاوت است. این منطقه، از شمال به دریای خزر و از جنوب به رشته کوه‌های البرز محدود می‌شود و شامل مناظری متنوع مانند دشت‌های ساحلی، دشت‌های مرتفع، دره‌های زراعی و مناطق خشک است. این تنوع جغرافیایی، مشخصه اصلی این منطقه است که آن را به یک مورد جذاب برای ارزیابی تناسب اراضی تبدیل کرده است. به دلیل مجاورت با دریای خزر، مناطق ساحلی تحت تأثیر اقلیم، نیمه‌مرطوب هستند؛ در حالی که بخش‌های مرکزی و جنوبی تحت تأثیر اقلیم نیمه‌بیابانی و بیابانی قرار دارند. با افزایش ارتفاع در رشته‌کوه‌های البرز، نوساناتی در میزان دما و

از آغاز فعالیت کشاورزی، لزوم تعیین خصوصیات اراضی از جمله خاک، به خودی خود آشکار بود. کوشش‌های علمی اولیه، لزوم طبقه‌بندی خاک و متغیرهای مرتبط با آن را در خصوص استفاده از خاک و یا کاربری اراضی، به‌ویژه به منظور اهداف کشاورزی مشخص نموده است. طبقه‌بندی اراضی به‌منظور تعیین قابلیت و استعداد اراضی و تناسب منطقه‌ای خاک‌ها برای استفاده‌های گوناگون انجام می‌شود [۱]. در این طبقه‌بندی، به کمک بهره‌گیری از خصوصیات خاک، چشم‌انداز و اقلیم، کیفیت خاک برای کاربری معینی مشخص می‌شود. به‌منظور بهره‌بردار پایدار از منابع، باید از اراضی متناسب با مشخصات و استعداد طبیعی آن‌ها استفاده کرد [۲-۴]. لازمه این مهم، انجام ارزیابی‌های دقیق از وضعیت موجود و سپس برنامه‌ریزی در راستای استفاده صحیح از این منابع است. در این میان، ارزیابی اراضی حلقه‌ای بسیار مهم در زنجیره‌ای است که منجر به مدیریت پایدار منابع اراضی و خاک می‌گردد. بهره‌برداری از اراضی مطابق با قابلیت آن‌ها، افزون بر تأمین احتیاجات نسل حاضر و آینده، تعادل اکولوژیک کره زمین را نیز حفظ می‌کند. در حال حاضر، با توجه به توانمندی رایانه‌ها در تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات زیاد در زمان اندک، همچنین امکان استفاده از سامانه اطلاعات مکانی (GIS) در سطوح وسیع، کاربرد برنامه‌های رایانه‌ای در ارزیابی اراضی در دنیا بسیار مورد توجه است [۵-۷].

به‌کارگیری سامانه اطلاعات مکانی (GIS) با رویکرد ارزیابی چند معیاره (MCE) به‌عنوان یک ابزار ضروری برای ارزیابی تناسب اراضی برای کشاورزی استفاده می‌شود [۸، ۹]. بدین ترتیب، امکان تجزیه و تحلیل عوامل مختلف مانند خصوصیات خاک، شیب، دما و بارش فراهم می‌شود. توانایی ترکیب و بررسی این داده‌های مکانی، به محققان این امکان را می‌دهد که نقشه‌های تناسب جامعی ایجاد کنند و برنامه‌ریزی کشاورزی و فرآیندهای تصمیم‌گیری را با دقت هدایت کنند [۱۰]. همچنین، MCE چارچوبی روش‌مند است که وزن‌دهی به معیارهای مختلف را بر اساس اهمیت نسبی آن‌ها برای محصولات خاص ارائه می‌دهد. استفاده از MCE در GIS به پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در بهینه‌سازی استفاده از زمین برای کشاورزی منجر شده است [۱۱]. همچنین، در کنار تحلیل اطلاعات مکانی، تجزیه و تحلیل سری زمانی داده‌های اقلیمی و پیش‌بینی روندهای آتی، الگوهایی برای تناسب اراضی توسعه داده شده است که منطبق با تغییرات اقلیمی می‌باشد. چنین رویکردی برای کاهش ریسک‌های ناشی از تغییرات اقلیمی ضروری است. همچنین، در مناطقی که منابع آب محدود و تغییرات اقلیمی شدید است، این ارزیابی‌ها اهمیت خاصی پیدا می‌کنند. تلفیق تکنیک‌های GIS و MCE نشانگر توانایی آن‌ها در هدایت تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد است [۱۲-۱۶]. این تلفیق، امکان می‌دهد تا کشاورزان، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کاربری اراضی قدرت بیشتری در بهره‌گیری از پتانسیل کشاورزی برای امنیت غذایی داشته باشند [۱۷-۱۹].



تعیین تناسب اراضی برای محصولات کشاورزی دارد. به عنوان مثال، محصولات مقاوم به سرما در مناطق سردسیر به خوبی رشد می‌کنند. همچنین، الگوهای مکانی بارش برای ارزیابی دسترسی به آب که یک عامل کلیدی در کشاورزی است، حیاتی هستند [۳۱]. شیب زمین نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا شیب تأثیر زیادی در زهکشی، میزان نور دریافتی از خورشید و بالطبع آن، انرژی مورد نیاز برای رشد گیاه دارد. پارامترهای زمین‌شناسی مانند نوع سنگ‌ها نیز در ترکیب و ویژگی‌های خاک، تعیین‌کننده هستند. برای تخصیص وزن به هر یک از معیارها و تشدید تأثیر آن‌ها در مرحله ارزیابی تناسب اراضی، یک فرآیند تخصیص وزن انجام شد. این تخصیص وزن، توسط یک تیم تخصصی با مشارکت کشاورزان و متخصصان مرتبط در منطقه انجام گرفت. هر معیار بر اساس تأثیر آن بر کشت محصولات مختلف در این منطقه، مورد ارزیابی قرار گرفت و وزن هر لایه مشخص گردید. لازم به ذکر است که مجموع وزن‌ها برابر یک است [۳۲].

گام بعدی، تجزیه و تحلیل علمی داده‌ها بود. این مرحله، شامل بررسی دقیق نتایج و تأثیرات تناسب اراضی برای کشاورزی در شمال ایران است. هدف اصلی این مرحله شناسایی مناطق مناسب برای محصولات مختلف و تحلیل عواملی بود که بر این انطباق تأثیر دارند. علاوه بر این، با هدف اعتبارسنجی دقت مدل و توانایی پیش‌بینی عملکرد محصولات، یک تحلیل آماری برای ارزیابی ارتباط بین امتیازهای تناسب اراضی و عملکرد محصولات در سال‌های قبل انجام شد [۳۳]. با استفاده از رابطه (۱) می‌توان امتیاز تناسب اراضی را محاسبه کرد. مطابق جدول ۱، به مناطقی که امتیاز پایینی کسب کنند، اراضی نامناسب یا اراضی با اهمیت پایین، اطلاق می‌گردد و بالعکس، مناطقی که امتیاز بالایی کسب کنند اراضی بسیار مناسب یا اراضی با اهمیت بالا خواهند بود [۳۴، ۳۵].

$$S = \sum_{i=1}^n (W_i \cdot C_i) \quad (1)$$

که  $S$  امتیاز تناسب برای سلول مورد نظر،  $W_i$  وزن معیار  $i$ ،  $C_i$  امتیاز سلول برای معیار  $i$  و  $n$  تعداد کل معیارها است.

شدت بارش ایجاد می‌شود. خاک این مناطق، تنوع وسیعی در نوع، بافت، میزان اسیدی یا بازی بودن، محتوای مواد آلی و ترکیب عناصر از خود، نشان می‌دهد. این خصوصیات خاک بیشتر وابسته به اقلیم، توپوگرافی و پوشش گیاهی منطقه است [۲۶]. شکل ۱، موقعیت مکانی چهار منطقه مورد مطالعه در شمال ایران را نشان می‌دهد.

#### جمع‌آوری داده‌ها

گام اول در این تحقیق، جمع‌آوری داده‌های مرتبط با ویژگی‌های خاک (شامل اطلاعاتی در مورد نوع خاک، بافت، میزان اسیدی یا بازی بودن خاک، محتوای ماده آلی و ترکیب عناصر که توسط آزمایشگاه‌های مربوطه جمع‌آوری شده است)، داده‌های اقلیمی (شامل داده‌های سری زمانی دما و بارش که از ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در سراسر منطقه، جمع‌آوری شد)، داده‌های توپوگرافی (شامل ارتفاع، شیب و جهت شیب که از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه استخراج شد)، نقشه زمین‌شناسی و نقشه پوشش اراضی (که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ تولید شده است) بود. این مجموعه داده، برای درک تأثیر عوامل متنوعی که بر تناسب اراضی در این منطقه تأثیر می‌گذارند، بسیار ضروری است [۲۷، ۲۸]. لازم به ذکر است تمرکز این تحقیق بر تناسب اراضی برای کشت محصولات زراعی راهبردی شامل گندم، برنج و جو بوده است.

#### روش شناسی

گام دوم و مهم، انتخاب معیارها برای ارزیابی تناسب اراضی بود. با توجه به تنوع اقلیمی در شمال ایران و مجموعه متنوع از محصولات زراعی که در این منطقه کشت می‌شوند، انتخاب معیارهای مناسب، بسیار مهم بود. معیارهای انتخاب شده شامل نوع خاک، دما، بارش، شیب و پارامترهای زمین‌شناسی بودند [۲۹]. نوع خاک، یک معیار اساسی است که به‌طور قابل توجهی بر تناسب اراضی در کشاورزی مؤثر است. کشت محصولات مختلف، الزامات خاصی در مورد نوع خاک دارد و شناخت توزیع مکانی نوع خاک‌ها ضروری است [۳۰]. دما نیز نقش مهمی در



شکل ۱: موقعیت مناطق مورد مطالعه در شمال ایران

Fig. 1: Location of study areas in Northern Iran

محیطی را برای شکوفایی محصولات کشاورزی، فراهم می‌کند. مناطق با امتیازهای تناسب مابین ۰/۴ تا ۰/۶ به دسته تناسب کمتر تخصیص می‌یابند (مانند منطقه C). این مناطق، با این‌که برای کشاورزی یک محیط پرچالش هستند اما همچنان پتانسیل کاربری‌های دیگر را دارند. در مناطقی که امتیاز خوبی در کشت دو نوع محصول کسب شده است (مانند منطقه A)، امکان مدیریت مزرعه برای کشت‌های پاییزه و بهاره فراهم است. بدین ترتیب، بهره‌وری زمین نیز افزایش می‌یابد. در مناطقی که امتیاز تناسب آن‌ها کمتر از ۰/۴ است، هیچ تناسبی برای کشت آن محصول خاص وجود ندارد (مانند کشت برنج در منطقه D).

جدول ۲: امتیازات تناسب اراضی برای کشت سه محصول راهبردی در شمال ایران  
Table 2: Land suitability scores for the cultivation of three strategic crops in northern Iran

مکان Location	گندم (امتیاز) Wheat (Score)	جو (امتیاز) Barley (Score)	برنج (امتیاز) Rice (Score)
منطقه الف Region A	0.48	0.45	0.82
منطقه ب Region B	0.62	0.67	0.71
منطقه ج Region C	0.53	0.51	0.59
منطقه د Region D	0.85	0.73	0.39

مناطق که به‌عنوان بسیار مناسب دسته‌بندی می‌شوند، برای کشت محصولات خاص، قابل استفاده هستند و می‌توان به حداکثر کردن بهره‌وری و ایجاد منافع اقتصادی در آن مناطق، امید داشت. به عنوان مثال، منطقه A با تناسب بالا برای برنج، نشان‌دهنده یک فرصت مناسب برای کشت برنج است. مناطق نسبتاً مناسب، فرصت‌هایی برای کشت انواع مختلفی از محصولات کشاورزی ارائه می‌دهند که این تنوع، نه تنها انعطاف‌پذیری در کشت محصولات را بهبود می‌دهد، بلکه منطقه را در برابر نوسانات بازار و تغییرات آب‌وهوایی تقویت می‌کند. مناطق با امتیازهای تناسب کم، نیازمند رویکردهای دقیق‌تری در کاربری اراضی هستند. شیوه‌های مدیریت پایدار اراضی می‌توانند منجر به بهبود تناسب اراضی گردد و در عین حال، اثرات مخرب بر محیط زیست را کاهش دهند. در مواجهه با شرایط نامناسب زیست محیطی که به دلیل عواملی نظیر تغییرات اقلیمی رخ می‌دهد، پایش دائمی تناسب اراضی ضروری است. راهبردهای تطبیقی، از جمله تغییر تقویم زراعی و انتخاب محصولات زراعی مقاوم، به کشاورزان اجازه می‌دهند تا به بهترین شکل بر چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی غلبه کنند. با استفاده از نتایج تحقیقات تناسب اراضی، سیاست‌گذاران و مدیران بخش کشاورزی، قادر به تخصیص دقیق منابعی نظیر زیرساخت‌های آبیاری و حمایت‌های مالی از کشاورزان به مناطقی هستند که یا بسیار مناسبند یا نسبتاً مناسب. این تخصیص منابع، استفاده بهینه از منابع مالی و انسانی را فراهم می‌کند.

برای اعتبارسنجی نقشه‌های تناسب، از نقشه‌های موجود استفاده شد که این فرآیند شامل مقایسه نتایج مدل با داده‌های واقعی از مزارع و محصولات بود.

جدول ۱: دسته‌بندی تناسب اراضی

Table 1: Classification of land suitability

حد آستانه Threshold	کلاس تناسب Suitability Class
$S > 0.8$	بسیار مناسب Highly Suitable
$0.6 \leq S \leq 0.8$	نسبتاً مناسب Moderately Suitable
$0.4 \leq S < 0.6$	کمی مناسب Marginally Suitable
$S < 0.4$	نامناسب Unsuitable

## نتایج و بحث

نتایج ارزیابی تناسب اراضی برای کشاورزی در شمال ایران مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی در جدول ۲ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، منطقه A، مکانی ایده‌آل برای کشت برنج است زیرا از امتیاز بسیار بالایی برای کشت این محصول برخوردار است (۰/۸۲). با این حال، این منطقه چالش‌هایی برای کشت جو (۰/۳۵) دارد که نشان می‌دهد ممکن است نیاز به کشت محصولات جایگزین باشد تا به افزایش بهره‌وری تولید، کمک کند. همچنین این منطقه با امتیاز ۰/۴۸، مکان مناسبی برای کشت گندم هم نیست. امتیازات نسبتاً مناسب برای هر سه محصول، گندم (۰/۶۲)، جو (۰/۶۷) و برنج (۰/۷۱) در منطقه B نشانگر تنوع محصولات قابل کشت در این منطقه است. نسبت به سایر مناطق، منطقه C امتیازات تناسب اراضی متفاوتی دارد. بدین ترتیب، که این منطقه برای کشت هر سه محصول، تناسب کمی (امتیاز ۰/۵۳) برای گندم، ۰/۵۱ برای جو و ۰/۵۹ برای برنج) دارد. از این منطقه، برای کشت سایر محصولات زراعی و یا احداث شهرک‌های مسکونی و صنعتی می‌توان استفاده کرد. منطقه D به عنوان یک مکان بسیار مناسب برای کشت گندم (امتیاز ۰/۸۵) مشخص شد. این امتیاز، نشان می‌دهد که تمام شرایط برای کشت گندم در این منطقه، مهیا است. با این حال، این منطقه برای کشت جو تقریباً مناسب (امتیاز ۰/۷۳) و برای کشت برنج نامناسب (امتیاز ۰/۳۹) است.

در مجموع، مناطقی که امتیاز تناسب آنها بیش از ۰/۸ است، برای کشت محصولات خاص، بسیار مناسب هستند و نمایانگر پتانسیل قوی برای کشت موفق آن دسته از محصولات می‌باشند. در شمال ایران، مناطق بسیار مناسب مانند منطقه A برای کشت برنج (۰/۸۲) از اهمیت راهبردی خاصی در امنیت غذایی برخوردار هستند. از طرف دیگر، مناطقی که امتیازهای تناسب آن‌ها در بازه ۰/۶ تا ۰/۸ قرار دارند به دسته نسبتاً مناسب تعلق می‌گیرند (مانند منطقه B). این دسته‌بندی، فرصت‌های گوناگونی برای کشت محصولات مختلف، فراهم می‌کند و

## نتیجه‌گیری

ارزیابی مبتنی بر GIS برای تناسب اراضی کشاورزی، ابزاری بسیار مهم برای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه، برنامه‌ریزی صحیح در کاربری اراضی و بهینه‌سازی شیوه‌های کشاورزی است. در این تحقیق، از ترکیب GIS و MCE برای ارزیابی تناسب اراضی در شمال ایران، با در نظر گرفتن عوامل مختلف مانند ویژگی‌های خاک، شیب، دما و بارندگی استفاده گردید. نتایج این ارزیابی، نشان دهنده ظرفیت‌های کشاورزی در مناطق مختلف شمال ایران است. دسته‌بندی تناسب اراضی، یک چارچوب ساختاری برای تفسیر امتیازها و انجام تصمیم‌گیری‌های راهبردی در مورد انتخاب محصولات و تخصیص منابع فراهم می‌کند. یکی از یافته‌های کلیدی این تحقیق، شناسایی مناطق بسیار مناسب برای کشت محصولات خاص مانند برنج است. این مناطق، فرصت‌های مهمی برای افزایش عملکرد و افزایش درآمد ناشی از کشت این محصول را فراهم می‌کنند. علاوه بر این، مناطق با امتیاز نسبتاً مناسب، امکاناتی برای متنوع کردن شیوه‌های کشت ارائه می‌دهند که باعث افزایش انعطاف‌پذیری و کاهش خطرات مرتبط با نوسانات بازار و تغییرات اقلیمی می‌شود. همچنین، ارزیابی‌ها نشان داد که در مناطق با امتیاز تناسب پایین، باید نقش حفاظت از محیط زیست و شیوه‌های مدیریت پایدار اراضی مورد توجه قرار گیرند. دسته‌بندی تناسب اراضی به سیاست‌گذاران و مدیران بخش کشاورزی این امکان را می‌دهد تا با دقت منابع را تخصیص دهند. بدین ترتیب، بهره‌برداری بهینه از منابع، تضمین می‌شود و سرمایه‌گذاری‌ها در زیرساخت‌های کشاورزی به مناطقی با چشم‌اندازهای مطلوب سوق داده می‌شود. با توجه به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود تا در تحقیقات آتی، تناسب اراضی از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای برای درک پویایی تغییرات اراضی کشاورزی استفاده گردد. همچنین، استفاده از داده‌های زمینی مؤثر بر ارزیابی تناسب، از جمله اطلاعات تجزیه و تحلیل خاک با پراکندگی مناسب می‌تواند واقعیت‌های منطقه و پیچیدگی‌های آن را، به‌صورت دقیق‌تری در نتایج ارزیابی تناسب اراضی منعکس کند.

## مشارکت نویسندگان

این مقاله یک نویسنده دارد.

## تشکر و قدردانی

نویسنده مقاله، از همکاری جهاد کشاورزی استان مازندران تشکر می‌کند.

## تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسنده بیان نشده است.»

## منابع و مأخذ

- [1] Karimi H, Amiri S, Huang J, Karimi A. Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. *Int J Environ Sci Technol* 2019;16(11):7305–18. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2151-7>
- [2] Rathi R, Khanduja D, Sharma SK. Synergy of fuzzy AHP and six sigma for capacity waste management in Indian automotive industry. *Decision Science Letters* 2015;4: 441–51. doi: 10.5267/j.dsl.2015.1.005
- [3] Nyeko M. GIS and Multi-Criteria Decision Analysis for Land Use Resource Planning. *Journal of Geographic Information System* 2012;04:341–8. doi: 10.4236/jgis.2012.44039
- [4] Mikhailov L, Tsvetnov P. Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. *Applied Soft Computing Journal* 2004;5: 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2004.04.001>
- [5] Meng Y, Malczewski J, Boroushaki S. A GIS-Based Multicriteria Decision Analysis Approach for Mapping Accessibility Patterns of Housing Development Sites: A Case Study in Canmore, Alberta. *Journal of Geographic Information System* 2011;03: 50–61. doi: 10.4236/jgis.2011.31004.
- [6] Feizizadeh B, Blaschke T. Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. <http://DxDoiOrg/101080/096405682011646964> 2013;56: 1–23.
- [7] Ottomano Palmisano G, Govindan K, Loisi R V., Dal Sasso P, Roma R. Greenways for rural sustainable development: An integration between geographic information systems and group analytic hierarchy process. *Land Use Policy* 2016;50: 429–40. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.10.016
- [8] Yu J, Chen Y, Wu J, Khan S. Cellular automata-based spatial multi-criteria land suitability simulation for irrigated agriculture. *International Journal of Geographical Information Science* 2011;25: 131–48. DOI: 10.1080/13658811003785571
- [9] KaurSehra S, Singh Brar Y, Kaur N. Multi Criteria Decision Making Approach for Selecting Effort Estimation Model. *Int J Comput Appl* 2012;39:10–7. <https://research.ijcaonline.org/volume39/number1/pxc3876989.pdf>
- [10] Mbügwa G wa, Prager SD, Krall JM. Utilization of spatial decision support systems decision-making in dry land agriculture: A Tifton burclover case study. *Comput Electron Agric* 2015;118: 215–24. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.008>
- [11] Malczewski J. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2006;8: 270–7. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.01.003>

- [24] Letsoalo EM, Thupana MJJ. The repeal of the land acts: The challenge of land reform policies in South Africa. *Soc Dyn* 2013;39:298–307. DOI: 10.1080/02533952.2013.796120
- [25] La Rosa D, Barbarossa L, Privitera R, Martinico F. Agriculture and the city: A method for sustainable planning of new forms of agriculture in urban contexts. *Land Use Policy* 2014;41: 290–303. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.06.014>
- [26] Maghrebi M, Noori R, Bhattarai R, Mundher Yaseen Z, Tang Q, Al-Ansari N, et al. Iran's Agriculture in the Anthropocene. *Earths Future* 2020;8. <https://doi.org/10.1029/2020EF001547>
- [27] Kalogirou S. Expert systems and GIS: An application of land suitability evaluation. *Comput Environ Urban Syst* 2002;26: 89–112. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00031-X](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00031-X)
- [28] Kumar T, Jhariya DC. Land quality index assessment for agricultural purpose using multi-criteria decision analysis (MCDA). *Geocarto Int* 2015;30: 822–41. DOI: 10.1080/10106049.2014.997304
- [29] Seyedmohammadi J, Sarmadian F, Jafarzadeh AA, McDowell RW. Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. *Geoderma* 2019;352: 80–95. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.05.046>
- [30] Akpoti K, Kabo-bah AT, Zwart SJ. Agricultural land suitability analysis: State-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis. *Agric Syst* 2019;173: 172–208. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.013>
- [31] Akbari M, Neamatollahi E, Neamatollahi P. Evaluating land suitability for spatial planning in arid regions of eastern Iran using fuzzy logic and multi-criteria analysis. *Ecol Indic* 2019;98: 587–98. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.035>
- [32] Michael Griffel L, Toba AL, Paudel R, Lin Y, Hartley DS, Langholtz M. A multi-criteria land suitability assessment of field allocation decisions for switchgrass. *Ecol Indic* 2022;136. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108617>
- [33] Dornik A, Chețan MA, Drăguț L, Iliuță A, Dicu DD. Importance of the mapping unit on the land suitability assessment for agriculture. *Comput Electron Agric* 2022;201. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107305>
- [34] Tan Y, Wang X, Liu X, Zhang S, Li N, Liang J, et al. Comparison of AHP and BWM methods based on ArcGIS for ecological suitability assessment of *Panax notoginseng* in Yunnan Province, China. *Ind Crops Prod* 2023;199. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116737>
- [35] See CR, Yanai RD, Fahey TJ. Shifting N and P concentrations and stoichiometry during autumn litterfall: Implications for ecosystem monitoring. *Ecol Indic* 2019;103: 488–92. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.017>
- [36] Zhang J, Su Y, Wu J, Liang H. GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in
- [12] Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science* 2006;20:703–26. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- [13] Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Prog Plann* 2004;62: 3–65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- [14] Jiang H, Eastman JR. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 2000;14: 173–84. <https://doi.org/10.1080/136588100240903>
- [15] Giri S, Nejadhashemi AP. Application of analytical hierarchy process for effective selection of agricultural best management practices. *J Environ Manage* 2014;132: 165–77. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.021>
- [16] Erensal YC, Öncan T, Demircan ML. Determining key capabilities in technology management using fuzzy analytic hierarchy process: A case study of Turkey. *Inf Sci (N Y)* 2006;176: 2755–70. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2005.11.004>
- [17] Chang N Bin, Parvathinathan G, Breeden JB. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *J Environ Manage* 2008;87: 139–53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.011>
- [18] Chang DY. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *Eur J Oper Res* 1996;95: 649–55. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- [19] Ceballos-Silva A, López-Blanco J. Delineation of suitable areas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: A case study in Central Mexico. *Agric Syst* 2003;77: 117–36. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00103-8](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00103-8)
- [20] Maddahi Z, Jalalian A, Zarkesh MMK, Honarjo N. Land suitability analysis for rice cultivation using a GIS-based fuzzy multi-criteria decision making approach: central part of Amol District, Iran. *Soil and Water Research* 2017;12 (2017):29–38. doi: 10.17221/1/2016-SWR
- [21] Joerin F, Thériault M, Musy A. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science* 2001;15: 153–74. DOI: 10.1080/13658810051030487
- [22] Bandyopadhyay S, Jaiswal RK, Hegde VS, Jayaraman V. Assessment of land suitability potentials for agriculture using a remote sensing and GIS based approach. *Int J Remote Sens* 2009;30: 879–95. DOI: 10.1080/01431160802395235
- [23] Pereira JMC, Duckstein L. A multiple criteria decision-making approach to GIS -based land suitability evaluation. *International Journal of Geographical Information Systems* 1993;7: 407–24. [https://www.researchgate.net/publication/262188026\\_A\\_multiple\\_criteria\\_decision-making\\_approach\\_to\\_GIS-based\\_land\\_suitability\\_evaluation#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/262188026_A_multiple_criteria_decision-making_approach_to_GIS-based_land_suitability_evaluation#fullTextFileContent)



شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: سنجش از دور، پردازش تصویر، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و سامانه اطلاعات مکانی.

**Akbari, D. Assistant professor at the Department of Geomatic Engineering, Faculty of Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran**

 [davoodakbari@uoz.ac.ir](mailto:davoodakbari@uoz.ac.ir)


Shandong province of China. *Comput Electron Agric* 2015;114: 202–11. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.04.004>

## معرفی نویسندگان

### AUTHOR(S) BIOSKETCHES

**داود اکبری** دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه‌برداری (گرایش سنجش از دور) از دانشگاه تهران می‌باشد. ایشان از سال ۱۳۸۸ تاکنون، در گروه نقشه‌برداری دانشگاه زابل به عنوان عضو هیأت علمی مشغول به فعالیت هستند. وی تاکنون موفق به چاپ بیش از ۶۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی

**Citation (Vancouver):** Akbari D. [Using GIS and Multi-Criteria Evaluation for Land Suitability Assessment]. *J. Geoinf. Civ. Eng.* 2023; 1(2): 247-254

 <https://doi.org/10.22061/jgce.2023.10292.1024>



### COPYRIGHTS

© 2023 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



# Journal of Geoinformatics in Civil Engineering

## CONTENTS

Volume 1, Issue 2, Serial Number 2, Summer & Autumn 2023

---

Geo-spatial Analysis of Environmental Factors Affecting Human Health in Tehran <i>Gh. Azari Arani, A. Ahmadi, K. Azari Arani</i>	127-134
Using Spatial Analysis and Decision Support Systems for Design and Development of Urban Roads <i>M. A. Tootoonchian</i>	135-142
Applications of Satellite-based Geodesy in Navigation and Earth Monitoring <i>A. Ghasemi Khalkhali</i>	143-151
Land Use Investigation and Its Distribution Analysis in Various Districts of Tehran City According to Land Use Planning Standards <i>M. Kolbadi nejad, R. Sarvar</i>	153-162
Extracting FaçadePoints of Urban Buildings from Mobile Laser Scanner Point Clouds <i>M. Heidarimozaffar, S. A. Hosseini</i>	163-176
Improving Location Indices in Design of Oil Transmission Lines with an Economic and Environmental Protection Attitude <i>S. Abolali, T. Silavi, J. Saberian</i>	177-188
Assessing the Influence of Image Network and Image Texture on the Quality of 3D Point Cloud Production in Close-Range Photogrammetry <i>R. Naeimaei, E. Ghanbari Parmehr</i>	189-204
Sentinel Satellites: Revolutionizing Earth Observation for Science and Sustainability <i>M. Abolghasemi</i>	205-216
Detection of Rice Seedlings in UAV Image Using DenseNet Network <i>K. Borooshan, S. Behzadi</i>	217-226
Evaluation of Accuracy in Image-Based Navigation <i>M. Ezazi, M. Shirazian, F. Hosseinali, F. Hajmahmoudattar</i>	227-238
Using Convolutional Long Short-Term Memory Model for Flood Prediction in Golestan Province, Iran <i>S. Ahmadi, A. Nabizadeh</i>	239-246
Using GIS and Multi-Criteria Evaluation for Land Suitability Assessment <i>D. Akbari</i>	247-254

---