

دو فصلنامه علمی نشریه پژوهش های سنجش از دور و اطلاعات مکانی



دوره ۱، شماره ۱، زمستان و بهار ۱۴۰۲

Journal of Remote Sensing and Geoinformation Research



Volume 1, Issue 1, Winter & Spring 2023

نشریه پژوهش های سنجش از دور و اطلاعات مکانی

دوره ۱ شماره ۱ زمستان و بهار ۱۴۰۲

نشریه علمی پژوهش‌های بخش از دور و اطلاعات مکانی

دوره ۱، شماره ۱، زمستان و بهار 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 محمد شمس اسفندآبادی	دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
پروفسور موسی محمودی صاحبی	دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
پروفسور اسماعیل ضرغامی	دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، 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: ۱۶۷۸۵-۱۶۳ کد پستی: ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸

تلفن: ۲۲۹۷۰۰۶۰-۹ داخلی ۲۵۹۸ فکس: ۲۲۹۷۰۰۷۰

وب سایت: www.sru.ac.ir

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

پست الکترونیکی: jrsg@sr.ac.ir

نشریه علمی پژوهش‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی

دوره ۱، شماره ۱، زمستان و بهار ۱۴۰۲

۱-۱۰	پایش شیء مبنای تغییرات کاربری و پوشش اراضی ناشی از ساخت و ساز: منطقه‌ی مورد مطالعه، مسکن مهر پردیس سمیه بیات، فاطمه طبیب محمودی
۱۱-۲۰	رویکردی جدید برای حل کوتاه‌ترین مسیر در شبکه‌های شهری بر اساس الگوریتم‌های تکاملی سعید بهزادی، مصطفی آدرسی، مسعود شیرازیان
۲۱-۳۰	شناسایی کاربری‌های بهینه اراضی بافت فرسوده شهری با استفاده از GIS و منطق فازی (مطالعه موردی: محله ایران گاز، شهر قزوین) محبوبه ابراهیمی، علیرضا وفائی نژاد
۳۱-۴۰	مروری بر ارزیابی عملکرد تاسواره‌ها در مأموریت‌های سنجش از دور مهدی نصیری سروی، هادی مهدی‌پور
۴۱-۵۲	پایش و آشکارسازی گاز متان در شهر تهران در پلت فرم گوگل ارث انجین مینا محمدی، مهدی آخوندزاده هنزائی
۵۳-۶۲	ارزیابی استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی شهر قزوین با استفاده از مدل شبیه‌ساز مبشر کاظمی، فرهاد حسینی‌علی
۶۳-۷۲	تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی در شهر کرمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای داریوش عباسی مقدم، علی محمدی
۷۳-۸۲	بررسی تأثیر موقعیت دامنه و مواد مادری در تشکیل و تکامل لندفرم‌ها زهره علیجانی، حامد عاشوری
۸۳-۹۰	ارزیابی روش‌های تولید نقشه پوشش گیاهی با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و سنجش از دور معصومه دستانیان، جواد صابریان
۹۱-۱۰۲	مقایسه‌ی الگوریتم‌های جستجوی ممنوع هدایت شونده و ژنتیک تو در تو، جهت حل مسئله‌ی مکان‌یابی-تخصیص ظرفیت‌دار در شرایط اضطراری حسین آقامحمدی

۱۰۳-۱۱۴

استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه‌های اطلاعات مکانی در معدن کاوی جهت
تولید نقشه‌ی پتانسیل معدنی
طلوع سیلاوی، معصومه خیرخواه زاده

۱۱۵-۱۲۶

سایزینگ سریع سازه‌ی یک ماهواره با توان تفکیک مکانی بالا مبتنی بر استراتژی طراحی
برای عملکرد سامانه
امیررضا کوثری، محمدرضا سقامنش، علیرضا احمدی



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Object Based Analysis of Land Use/Land Cover Changes Caused by Construction: A Case Study in the Mehr Pardis Housing Area

S. Bayat, F. Tabib Mahmoudi*

Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 26 January 2023
 Reviewed: 04 April 2023
 Revised: 25 April 2023
 Accepted: 13 June 2023

KEYWORDS:

Change Detection
 Land use/Cover map
 Object-Based Analysis
 Remote Sensing
 Segmentation

* Corresponding author

✉ fmahmoudi@sru.ac.ir

☎ (+9821) 22970021

Background and Objectives: The increasing population of the large cities has led to developing new constructions in areas around cities to create settlements for the overflow of the population. Such changes in the natural land cover not only disturb the heat balance, but also have negative effects on the landscape, energy efficiency, health and quality of human life. Therefore, it is important for urban planners and managers to be aware of the changes in land cover and land use, especially in metropolitan areas, during long-term periods of time, in order to evaluate and predict the problems caused by these changes. Multi-temporal remote sensing data are one of the powerful tools for detecting land use/cover changes due to the increasing urban growth and then, for updating the three dimensional city models.

Methods: In this paper, the impact of Mehr Pardis housing construction is investigated on the land use/cover changes. The proposed land use/cover change detection strategy in this paper is a post-classification method based on performing object based image analysis procedure. For this reason, Landsat satellite images have been used in 17 years' time interval, between 2002 and 2019. After performing initial image processing and image segmentation, the three object classes of residential buildings, vegetation, and soil were identified by the object based image analysis procedure. Then, post-classification change detection performed on the generated object based classification maps of both 2002 and 2019 epochs. For change detection in this research, while comparing and contrasting the classes of recognized objects in the classification maps, the results of revealing the changes in the environment, including determining the amount of increase in constructions, changes in the area of soil and vegetation It is obtained.

Findings: The produced change map and statistical analysis of the post-classification change detection results reveals that the soil object class is decreased for about 17% and built up areas are increased for about 184% in the 17 years' time interval. Agricultural fields in this study area are mostly destructed due to the developments in constructing built up areas. The increasing amount of about 104% in vegetation covers relates to the trees and grasslands in new constructed built up areas. To evaluate the obtained results of changes detection in this research, the evaluation of classification maps was used. In this regard, the values of the overall accuracy and Kappa coefficient of the land cover/use classification map in 2002 were 98.41% and 0.86, respectively, and for 2019, 97.01% and 0.87, respectively. Using the capabilities of the object-based analysis method in this research, along with the 15-meter spatial accuracy of the Landsat images, made the classification maps have an acceptable accuracy.

Conclusion: Due to the fact that construction is associated with changing the ecosystem, the construction of housing units in Mehr Pardis has led to the destruction of the mountain environment in some areas and the loss of vegetation in other areas. It is illustrated in the produced land use/cover change map between 2002 and 2019 that the constructions are rapidly increased in Pardis area and this causes the serious impacts on the environment.



NUMBER OF REFERENCES

31



NUMBER OF FIGURES

6



NUMBER OF TABLES

2

مقاله پژوهشی

پایش شیء مبنای تغییرات کاربری و پوشش اراضی ناشی از ساخت و ساز: منطقه مورد مطالعه، مسکن

مهر پردیس

سمیه بیات، فاطمه طبیب محمودی*

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: همزمان با توسعه شهرنشینی، افزایش جمعیت ساکن در شهرها و به تبع آن رشد و گسترش شهری، پوشش زیست محیطی و طبیعی نواحی پیرامون کلان‌شهرهایی نظیر تهران، دستخوش تغییراتی گردید تا به واسطه آن برای سکونت سرریز جمعیت شهری، آماده گردد. این گونه تغییرات در پوشش طبیعی اراضی، نه تنها تعادل گرمایی را بر هم می‌زند، بلکه تأثیرات منفی بر چشم‌انداز، بهره‌وری انرژی، سلامت و کیفیت زندگی انسان نیز دارد. بنابراین، آگاهی از روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی خصوصاً در محدوده کلان‌شهرها، طی دوره‌های زمانی بلندمدت برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری، به منظور ارزیابی و پیش‌بینی مشکلات ناشی از این تغییرات، حائز اهمیت است. داده‌های سنجش از دور چندزمانه یکی از ابزارهای قدرتمند برای تشخیص تغییرات کاربری و پوشش زمین به دلیل رشد روزافزون شهری و به روزرسانی مدل‌های سه‌بعدی شهر است.

روش‌ها: در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و لندست ۸ در دو بازه زمانی با فاصله ۱۷ سال، بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸ به منظور بررسی تغییرات پوشش و کاربری اراضی در منطقه پردیس استفاده شده است. پس از اعمال پردازش‌های اولیه بر روی تصاویر و انجام قطعه‌بندی، سه کلاس عارضه سازه‌های مسکونی، پوشش گیاهی و خاک به روش شیء مبنای، تشخیص داده شدند. سپس، تغییرات صورت گرفته در هر کلاس عارضه به روش پس طبقه‌بندی، تخمین زده شد. به منظور آشکارسازی تغییرات در این تحقیق، ضمن مقایسه و تفاضل کلاس‌های عارضه تشخیص داده شده در نقشه‌های طبقه‌بندی، نتایج آشکارسازی تغییرات محیط از جمله، تعیین میزان افزایش ساخت و سازها، تغییرات مساحت زمین‌های خاکی و پوشش گیاهی به دست می‌آید.

یافته‌ها: نقشه تغییرات کاربری/پوشش اراضی تولید شده بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸ نشان داد که ساخت و سازها در منطقه پردیس، به سرعت در حال افزایش است و این امر، اثرات جدی بر محیط زیست دارد. با توجه به نتایج تشخیص تغییر پس طبقه‌بندی به دست آمده، کلاس عارضه خاک حدود ۱۷٪ کاهش و کلاس عارضه سازه‌ها حدود ۱۸۴٪ افزایش یافته است. در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، زمین‌های کشاورزی نیز عمده‌تاً نابود و به جای آن‌ها سازه‌ها و ساختمان‌ها، بنا شده‌اند. افزایش تقریبی ۱۰۴ درصدی پوشش گیاهی این منطقه، به دلیل کاشت درختان و ایجاد فضای سبز در اطراف نواحی مسکونی می‌باشد. برای ارزیابی نتایج آشکارسازی تغییرات در این تحقیق، از ارزیابی نقشه‌های طبقه‌بندی استفاده شد. در این راستا، مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای نقشه طبقه‌بندی پوشش/ کاربری اراضی سال ۱۳۸۱ به ترتیب ۹۸/۴۱٪ و ۸۶٪ و برای سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۹۷/۰۱٪ و ۸۷٪ به دست آمده است. استفاده از قابلیت‌های روش آنالیز شیء مبنای در این تحقیق، در کنار دقت مکانی ۱۵ متری تصاویر لندست، موجب شد که نقشه‌های طبقه‌بندی دقت قابل قبولی داشته باشند.

نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که ساخت و ساز با تغییر اکوسیستم همراه است، ساخت واحدهای مسکن مهر پردیس نیز در مناطقی منجر به تخریب محیط زیست کوهستانی و در مناطقی نیز منجر به از دست رفتن پوشش گیاهی شده است. بر این اساس، رشد ۱۸۴ درصدی ساخت و سازها بدون در نظر گرفتن زیرساخت‌های مناسب و رعایت نکردن استانداردهای زیست محیطی، مشکلات فراوانی را برای منطقه پردیس ایجاد کرده است. استفاده از پیشرفت‌های مطرح در فناوری‌های برداشت داده‌های سنجش از دور در قالب ادغام داده‌ها و همچنین، استفاده از روش‌های نوین پردازش تصاویر و تشخیص الگو نظیر یادگیری عمیق، می‌تواند به عنوان راه حل مناسبی برای کنترل نرخ ساخت و ساز و تغییرات محیطی در نظر گرفته شود.

تاریخ دریافت: ۰۶ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۱۵ فروردین ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۵ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۳ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

آشکارسازی تغییرات
تحلیل شیء مبنای
سنجش از دور
قطعه‌بندی
نقشه کاربری/ پوشش اراضی

* نویسنده مسئول

fmahmoudi@sru.ac.ir

© ۲۰۲۱-۲۲۹۷۰۰۲۱

مقدمه

سطح زمین، در مقیاس محلی و جهانی، به سرعت در حال تغییر است و این موضوع، با انعکاس قابل توجهی در زندگی مردم، اقتصاد و محیط زیست همراه می‌باشد. برخی تغییرات، به دلایل طبیعی رخ می‌دهند، مانند تغییرات ناشی از طوفان یا آتش‌سوزی زمین‌های جنگلی، در حالی که برخی دیگر از تغییرات زمین، مانند استخراج منابع زیرزمینی، ساخت و ساز و رشد شهری، ناشی از پروژه‌های انسانی هستند [۴-۱]. انواع دیگری از تغییرات نیز وجود دارند که ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی می‌باشند. تغییرات پوشش اراضی به منظور ایجاد کاربری‌های مورد نیاز بشر، از جمله مهم‌ترین تغییرات سطح زمین هستند که اثرات قابل توجهی بر روی محیط زیست، منابع طبیعی و فرایندهای محیطی دارند [۵]. همزمان با توسعه شهرنشینی، افزایش جمعیت ساکن در شهرها و به تبع آن رشد و گسترش شهری، پوشش زیست محیطی و طبیعی نواحی پیرامون کلان‌شهرهایی نظیر تهران دستخوش تغییراتی گردید تا به واسطه آن، برای سکونت سرریز جمعیت شهری آماده گردد [۶].

بروز این‌گونه تغییرات در پوشش طبیعی اراضی، نه تنها تعادل گرمایی را بر هم می‌زند، بلکه تأثیرات منفی بر چشم‌انداز، بهره‌وری انرژی، سلامت و کیفیت زندگی انسان نیز دارد. بنابراین، آگاهی از روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی خصوصاً در محدوده کلان‌شهرها، طی دوره‌های زمانی بلندمدت برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری، به منظور ارزیابی و پیش‌بینی مشکلات ناشی از این تغییرات، حائز اهمیت است [۱۰-۷]. به بیان دیگر، کنترل شهرها و محیط‌های پیرامون آن‌ها با بهره‌گیری از مدیریت و برنامه‌ریزی کاربری و پوشش اراضی، امکان‌پذیر است. به منظور جمع‌آوری اطلاعات مکانی در مورد کاربری و پوشش اراضی در مناطق شهری و پیراشهری، منابع مختلفی از داده‌های سنجش از دور، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است [۴-۸].

داده‌های سنجش از دور چند زمانه، در بسیاری از موارد به عنوان منبعی بسیار مطمئن برای آشکارسازی تغییرات رخ داده در محیط زیست شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۱-۲۳]. داده‌های سنجش از دور هوابرد و فضابرد، می‌توانند به طور قابل توجهی نظارت بر شهرها را در محدوده گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی مانند نظارت بر رشد شهری، ساخت و ساز و تخریب ساختمان‌ها، ارزیابی آسیب در برابر بلایای طبیعی و مدیریت بحران، بهبود بخشند [۲۴-۲۸]. در این تحقیق، سعی بر آن است با استفاده از تصاویر سنجش از دور ماهواره‌ای زمان‌مند، میزان ساخت و ساز در سال‌های اخیر در منطقه مورد مطالعه بررسی و تغییرات حاصل از این ساخت و ساز مشخص گردد.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

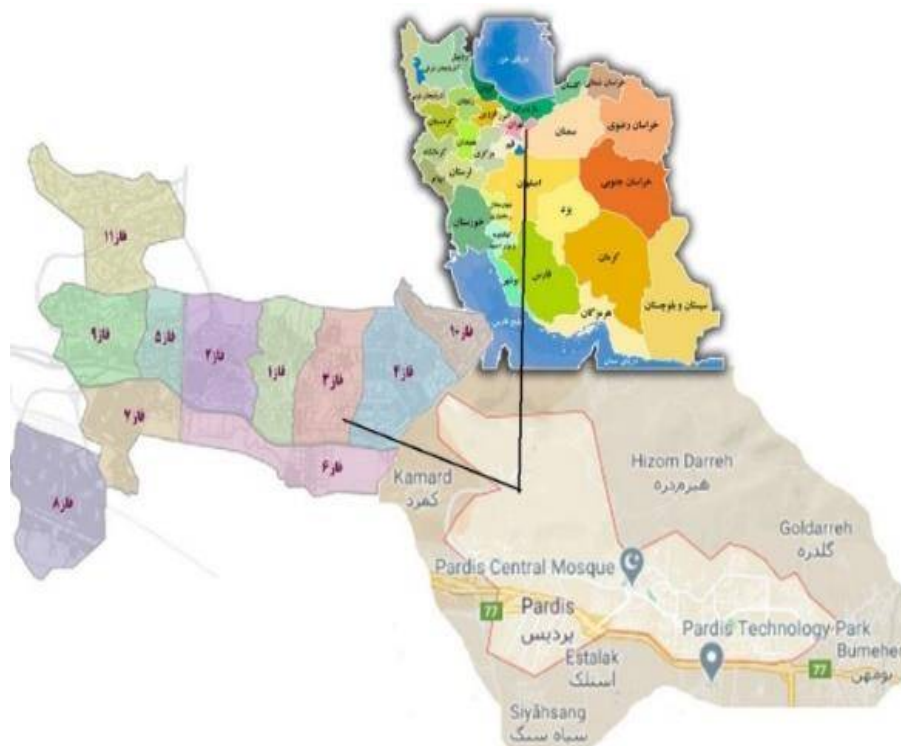
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شهر جدید پردیس، مرکز شهرستان پردیس در ۱۷ کیلومتری شمال شرق کلانشهر تهران است (شکل ۱). جمعیت این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ ایران، ۷۳,۳۶۳ نفر است. جمعیت پردیس در سال ۱۳۸۵ برابر با ۲۵,۳۶۰ نفر و در سال ۱۳۹۰ برابر با ۳۷,۲۵۷ نفر بوده است. این منطقه، در سال‌های اخیر آماج ساخت و سازهای برج‌ها و آپارتمان‌های مسکن مهر بوده است. براین اساس، در این مطالعه سعی شده تأثیرات ناشی از ساخت و سازهای مسکن مهر در طول بازه زمانی بلند مدت، مورد بررسی قرار گیرد. علت این‌که این منطقه جهت مطالعه موردی بررسی تغییرات پوشش و کاربری اراضی انتخاب شد، این است که در گزارشات و اخبار ارائه شده در سال‌های اخیر، میزان ساخت و سازها و تغییرات پوشش و کاربری اراضی در این منطقه بسیار زیاد بوده است.

داده مورد استفاده

در این مطالعه، از دو تصویر ماهواره‌ای لندست برداشت شده از منطقه پردیس در بازه زمانی ۱۷ سال، استفاده شده است. تصویر اول، مربوط به سال ۱۳۸۱ شمسی (۲۰۰۲ میلادی) و تصویر دوم، مربوط به سال ۱۳۹۸ شمسی (۲۰۱۹ میلادی) از منطقه مورد مطالعه، انتخاب شدند. تصویر سال ۱۳۸۱، از سنجنده ETM+ ماهواره‌ی لندست-۷ و در تاریخ ۱۹ شهریور ماه و تصویر مربوط به سال ۱۳۹۸، از سنجنده OLI ماهواره‌ی لندست-۸ در تاریخ ۲۶ شهریور ماه از سایت USGS دریافت گردید.

روش شناسی

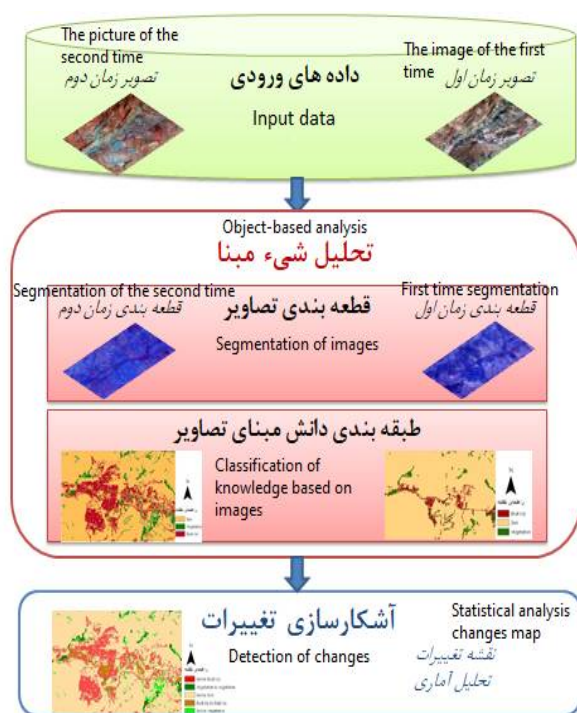
روش ارائه شده در این تحقیق به منظور پایش تغییرات پوشش و کاربری اراضی در منطقه شهر جدید پردیس، در زمره روش‌های پس طبقه‌بندی قرار دارد. به همین جهت، لازم است ابتدا داده‌های زمان‌مند برداشت شده از منطقه، برای ورود به الگوریتم، آماده‌سازی گردند. سپس، تشخیص عوارض و طبقه‌بندی تصاویر، منجر به تولید نقشه‌های طبقه‌بندی زمان‌مند مبتنی بر تصاویر برداشت شده می‌گردد. در نهایت، ضمن مقایسه و تفاضل کلاس‌های عارضه تشخیص داده شده در نقشه‌های طبقه‌بندی، نتایج آشکارسازی تغییرات محیط از جمله، تعیین میزان افزایش ساخت و سازها، تغییرات مساحت زمین‌های خاکی و پوشش گیاهی به‌دست می‌آید. مطابق شکل ۲، روش ارائه شده در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات پوشش و کاربری اراضی از سه مرحله اصلی پیش‌پردازش، تشخیص عارضه و آشکارسازی تغییرات تشکیل شده است. در ادامه مباحث این بخش، هر یک از سه مرحله فوق‌الذکر، به تفکیک تشریح خواهند شد.



شکل ۱: نمای کلی از موقعیت شهر جدید پردیس

Fig. 1: Location of New Pardis city

به کارگیری روش‌های دقیق در طبقه‌بندی، اطمینان به نتایج طبقه‌بندی قطعات عارضه در تحلیل‌های شیء مبنا افزایش می‌یابد [۲۹-۳۱].



شکل ۲: ساختار روش پیشنهادی پایش تغییرات پوشش و کاربری اراضی

Fig. 2: Proposed Land use/cover change monitoring method

پیش پردازش داده‌ها

در مرحله پیش‌پردازش، با یک سری عملیات بر روی داده‌های خام (قبل از هرگونه پردازش بصری یا رقومی)، خطاهای رادیومتریک، اتمسفری و هندسی مورد توجه قرار می‌گیرند. در این تحقیق، برای انجام تصحیحات اتمسفری از فیلتر تصحیح اتمسفری FLAASH استفاده شد [۱۵]. با توجه به این‌که تصاویر زمان‌مند مورد استفاده در این تحقیق، هر دو زمین مرجع بوده و دارای سیستم مختصات جهانی UTM هستند و نیاز به تصحیح هندسی نیست. باندهای طیفی تصاویر لندست-۷ و ۸ دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است و هر دو ماهواره، دارای یک باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، هستند. لذا، برای افزایش وضوح تصاویر، با استفاده از باند پانکروماتیک موجود در هر تصویر، یک پهنارپ ساخته شد تا با افزایش قدرت تفکیک مکانی نتایج بهتری از مرحله تشخیص عارضه حاصل گردد [۱۷].

تشخیص عوارض و طبقه‌بندی تصاویر

به منظور تشخیص عوارض و انجام طبقه‌بندی بر روی تصاویر، در این تحقیق از روش تحلیل شیء مبنا استفاده شد. دو مرحله اصلی در انجام این‌گونه تحلیل‌ها در نظر گرفته می‌شوند: (۱) اعمال الگوریتم طبقه‌بندی بر روی هر تصویر ورودی به الگوریتم شیء مبنا؛ (۲) طبقه‌بندی دانش مبنای قطعات تصویری مبتنی بر ویژگی‌های مستخرج از هر قطعه تصویری. از قطعات تصویری حاصل از انجام طبقه‌بندی به عنوان واحدهای پایه، در طبقه‌بندی دانش مبنا استفاده می‌گردد. بنابراین، با

از هم تشخیص داده و در کلاس‌های عارضه تعریف شده، طبقه‌بندی نمود. شاخص‌های طیفی مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۱ با استناد به رابطه ریاضی و توصیف آن‌ها به تفکیک ارائه شده است. در روش شیء مبنای پیشنهادی در این تحقیق، با استفاده از شاخص‌های تعریف شده، قوانین مناسب برای طبقه‌بندی قطعات تصویری تعریف شد. ساختار سلسله مراتبی اعمال قوانین طبقه بندی بر قطعات تصویری در شکل ۳ نشان داده شده است.

آشکارسازی تغییرات

در آخرین مرحله از روش پیشنهادی، به منظور آشکارسازی تغییرات بین دو نتیجه طبقه‌بندی شیء مبنای سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۸ مقایسه انجام شده و نقشه تغییرات تهیه گردید. آشکارسازی تغییرات اراضی به دو روش ارائه می‌گردد: (۱) تعیین کلاس‌هایی که تغییر کردند و کلاس‌هایی که بدون تغییر باقی ماندند، (۲) تعیین کلاس‌هایی که تغییر کردند و نوع تغییر از یک کلاس به کلاس دیگر. در این مطالعه، برای آشکارسازی تغییرات، از هر دو روش استفاده شده است. هم تغییر و عدم تغییر کلاس‌ها نمایش داده شده و هم نوع تغییر کلاس و تبدیل آن به کلاس دیگر، مشخص شده است.

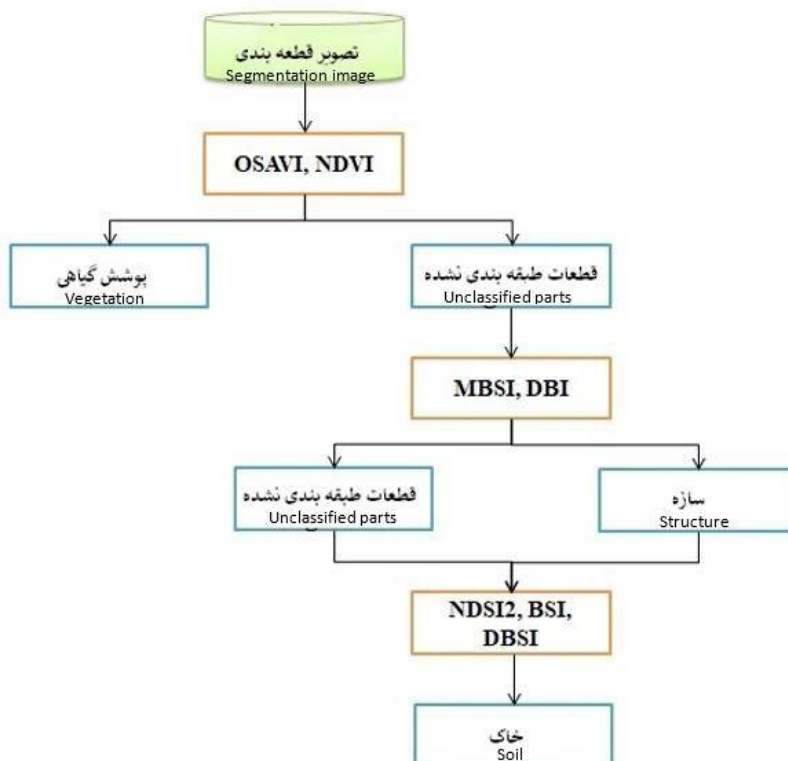
در انجام تحلیل شیء مبنای در این تحقیق، از الگوریتم قطعه‌بندی مستخرج از مدل چند مقیاسی برای تولید واحدهای پایه در طبقه‌بندی دانش مبنای، استفاده شده است. تکنیک قطعه‌بندی چند مقیاسی با قطعات عارضه متشکل از تنها یک پیکسل، فرآیند عملیاتی خود را آغاز کرده و به صورت تکراری، زوج‌هایی از این قطعات تصویری را که دارای شرط همگونی هستند، به یکدیگر متصل می‌نماید تا قطعات بزرگتر تشکیل شوند. در بررسی شرط همگونی محلی از شباهت بین عوارض تصویری مجاور برای اتصال آن‌ها استفاده می‌گردد [۲۹-۳۱]. پس از انجام قطعه‌بندی تصویر در روند آنالیز شیء مبنای، لازم است ضمن انجام طبقه‌بندی دانش مبنای، هر یک از قطعات تصویری در کلاس عارضه خود، قرار داده شوند. در این راستا، پایگاه دانشی مناسب و قابل اطمینان بر اساس دانش شخص خبره و انواع تعاملات طیفی بین پیکسل‌های هر قطعه و خصوصیات ساختاری آن، مورد نیاز می‌باشد.

با توجه به تعاریف انجام شده در خصوص منطقه مورد مطالعه و داده‌های تحقیق، سه نوع عارضه پوشش گیاهی، خاک و سازه به عنوان کلاس‌های عارضه مورد نظر در انجام طبقه‌بندی شیء مبنای، تعریف شدند. شاخص‌های طیفی بر اساس نسبت‌های بین باندهای تصویر، محاسبه می‌شوند تا با استفاده از آن‌ها بتوان عوارض مختلف تصویری را

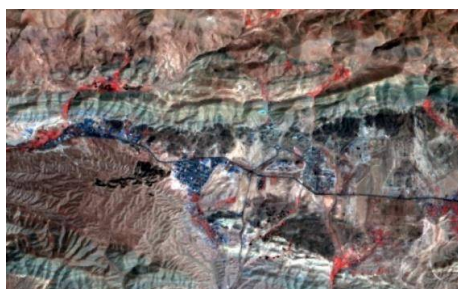
جدول ۱: شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی، خاک و سطوح نفوذناپذیر

Table 1: Spectral Indices for vegetation, soil and built up areas

شاخص طیفی Spectral Index	فرمول ریاضی Mathematical Formula	توضیحات Description
OSAVI	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED) + 0.16}$	شاخص گیاهی بهینه شده با خاک Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index
NDVI	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	شاخص گیاهی تفاوت عادی شده Normalized Difference Vegetation Index
DBI	$\frac{(Blue - TIR)}{(Blue + TIR)} (NDVI)$	شاخص ایجاد تفاوت Difference Builtup Index
MBSI	$\frac{(Red - Green) * 2}{(Red + Green) - 2}$	شاخص خاک لخت اصلاح شده Modified Bare Soil Index
DBSI	$\frac{(SWIR - GREEN)}{(SWIR + GREEN)} (NDVI)$	تفاوت شاخص خاک لخت Difference Bare Soil Index
nDSI2	$\frac{(Red - Green)}{(Red + Green)}$	شاخص تفاوت نرمال شده خاک Normalized Difference Soil Index
BSI	$\frac{(SWIR1 + RED) - (Red + Blue)}{(SWIR1 + RED) + (Red + Blue)}$	شاخص خاک برهنه Bare Soil Index



شکل ۳: ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی برای اعمال قوانین طبقه‌بندی
Fig. 3: Proposed hierarchical classification rules



a(الف)

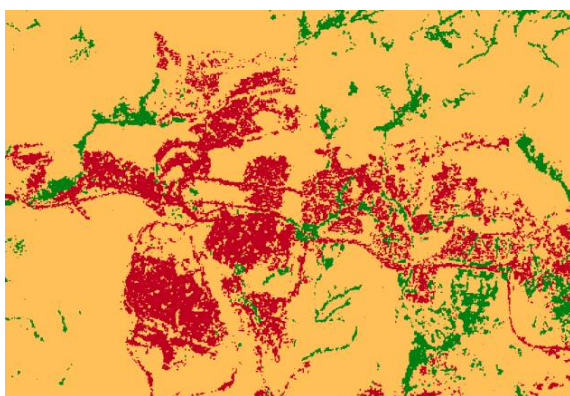


b(ب)

شکل ۴: تصاویر ماهواره لندست الف) سال اخذ ۱۳۸۱، ب) سال اخذ ۱۳۹۸
Fig. 4: Satellite images a) acquisition date 2002, b) acquisition date 2019

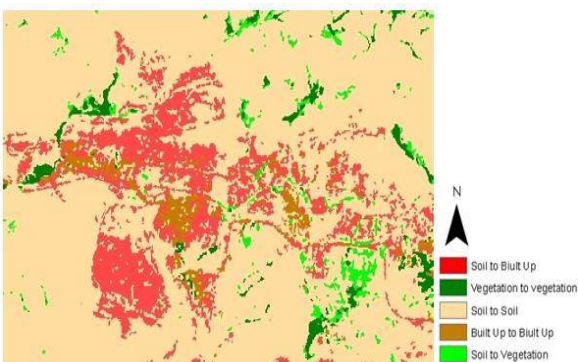
نتایج تحقیق

از آنجایی که اعتبار پژوهش‌های علمی، وابستگی مستقیم به ارزیابی نتایج اجرایی آن‌ها دارد، در این بخش به ارائه نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی داده‌های ماهواره ای لندست اخذ شده از منطقه شهر جدید پردیس پرداخته شده و به تفصیل نحوه به دست آمدن نتایج، بیان خواهد شد. برای تصویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست-۷ باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ برای تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست-۸ باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ انتخاب شدند. مرحله بعد، اعمال تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک بود که در این پروژه، تصحیح اتمسفری FLAASH بر روی تمامی تصاویر اعمال شد. در آخرین مرحله از پیش پردازش داده‌ها برای بالا بردن دقت مکانی تصاویر طیفی و افزایش وضوح این تصاویر، از قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر با استفاده از نرم افزار ENVI 5.3 و به روش گرام اشمیت، برای هر یک از تصاویر، یک پنهانپوش تهیه شد. شکل ۴، نتایج اعمال عملیات پیش پردازش بر روی هر یک از تصاویر برداشت شده از منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۵: نقشه‌های طبقه بندی کاربری/ پوشش اراضی منطقه پردیس تولید شده در سال‌های الف) ۱۳۸۱، ب) ۱۳۹۸

Fig. 5: Land use/cover classification maps in years a) 2002, b) 2019



شکل ۶: نقشه تغییرات حاصل از روش پیشنهادی پس طبقه‌بندی

Fig. 6: Change map produced from post-classification change detection algorithm

جدول ۲: اطلاعات آماری تغییرات.

Table 2: Statistical change information

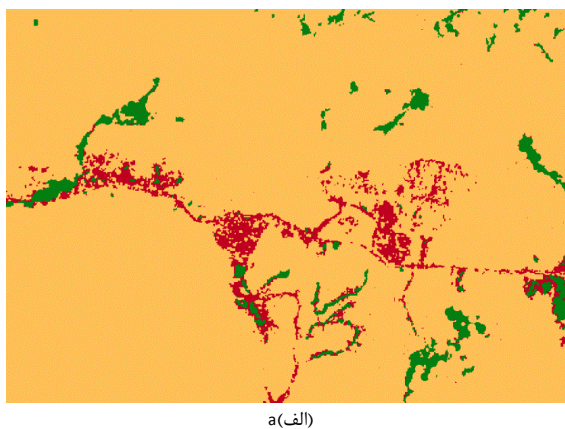
کلاس Class	تصویر اول (هکتار) Initial Image	تصویر دوم (هکتار) Second Image	تفاضل (هکتار) Difference	درصد Difference Percentage
خاک Soil	44426	36881	-7545	17%
گیاه Vegetation	1545	3147	1603	104%
ساختمان Building	3193	9091	5898	185%

برای ارزیابی نقشه‌های طبقه‌بندی و نتیجه آشکارسازی تغییرات به روش پس طبقه‌بندی، برخی از مناطق نمونه متعلق به هر کلاس عارضه توسط عامل خبره به منظور تهیه نقشه واقعیت زمینی، انتخاب شده است. مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای نقشه طبقه‌بندی پوشش/ کاربری اراضی سال ۱۳۸۱ به ترتیب ۹۸/۴۱٪ و ۸۶/۰٪ و برای سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۹۷/۰۱٪ و ۸۷/۰٪ به دست آمده است. استفاده از قابلیت‌های روش

به منظور طبقه‌بندی شیء مبنای تصاویر، ابتدا هر دو تصویر در محیط نرم‌افزار eCognition به روش چند مقیاسی، قطع‌بندی شدند [۲۹]. برای هر دو تصویر برداشت شده در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۸ در الگوریتم قطع‌بندی، وزن تمام باندها برابر یک و پارامتر مقیاس نیز، برابر با یک در نظر گرفته شد. برای قطع‌بندی چند مقیاسی تصویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست-۷ مقادیر ۱، ۵/۰ و ۵/۰ به ترتیب به پارامتر مقیاس، شکل و فشردگی، اختصاص یافت. برای قطع‌بندی تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست-۸ مقدار یک برای پارامتر مقیاس و ۶/۰ برای هر یک از پارامترهای شکل و فشردگی در نظر گرفته شد. پس از قطع‌بندی تصاویر، باید به هر کدام از این قطعات تصویری ایجاد شده، یک کلاس عارضه اختصاص داده شود. نتایج اجرایی طبقه‌بندی دانش مبنای تصاویر به سه کلاس عارضه پوشش گیاهی، خاک و سازه‌ها به تفکیک سال برداشت در شکل ۵ نشان داده شده است.

برای اعمال الگوریتم پیشنهادی پایش تغییرات به روش پس طبقه‌بندی، نقشه‌های طبقه‌بندی شیء مبنای زمان‌مند به دست آمده با یکدیگر مقایسه شدند. نقشه تغییرات، در شکل ۶ نشان داده شده است و جدول ۲ نیز اطلاعات آماری مربوط به مساحت اولیه و نهایی هر یک از کلاس‌های عارضه پوشش گیاهی، خاک و سازه را به همراه درصد تغییرات آن‌ها، نشان می‌دهد.

همان‌طور که در نقشه تغییرات تولید شده و اطلاعات آماری مربوط به آشکارسازی تغییرات به روش پس طبقه‌بندی مشخص است، در بازه زمانی ۱۷ ساله مورد مطالعه در این تحقیق، مساحت کلاس عارضه خاک حدود ۱۷٪ کاهش و مساحت کلاس سازه‌ها و مناطق مسکونی، ۱۸۵٪ افزایش داشته است. این نتیجه، بر اساس کاهش تعداد پیکسل‌های کلاس خاک، به دست آمده است. در این بازه زمانی و در اثر ساخت و سازهای انجام شده در منطقه پردیس، تعداد ۵۸۹۸ هکتار به نواحی مسکونی، افزوده شده است. با این حال، در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، زمین‌های کشاورزی نیز عمدتاً نابود و به جای آن‌ها، سازه‌ها و ساختمان‌ها بنا شده‌اند. افزایش تقریبی ۱۰۴ درصدی پوشش گیاهی این منطقه به دلیل کاشت درختان و ایجاد فضای سبز در اطراف نواحی مسکونی می‌باشد.



مشارکت نویسندگان

خانم سمیه بیات در جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل نتایج و نگارش نسخه اولیه مقاله مشارکت داشته‌اند. خانم فاطمه طبیب محمودی در ایده‌پردازی، طراحی پژوهش و اصلاح مقاله مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

مقاله ارسالی، حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد بوده که در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی انجام شده است. لذا، از گروه مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله، اعلام می‌کنند که در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند. همچنین، نویسندگان منافعی تجاری در این راستا نداشته‌اند و در قبال ارائه اثر خود، وجهی دریافت ننموده‌اند.

منابع و مآخذ

- [1] Villa P. Mapping urban growth using Soil and Vegetation Index and Landsat data: The Milan (Italy) city area case study. *Landsc Urban Plan.* 2012;107(3):245–54.
- [2] Jensen JR. Urban change detection mapping using landsat digital data. *Am Cartogr.* 1981;8(2):127–47.
- [3] Gunawan SPW, Matsui T, Machimura T. Stochastic gradient boosting for urban change detection using multi-temporal LANDSAT-5TM in Yogyakarta, Indonesia. *ASEAN J Sci Technol Dev.* 2022;39(3):133–42.
- [4] Hafner S, Nascetti A, Azizpour H, Ban Y. Sentinel-1 and Sentinel-2 Data Fusion for Urban Change Detection Using a Dual Stream U-Net. *IEEE Geosci Remote Sens Lett.* 2022;19.
- [5] Stilla U, Xu Y. Change detection of urban objects using 3D point clouds: A review. Vol. 197, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* 2023. p. 228-255
- [6] Che M, Du P, Gamba P. 2- and 3-D urban change detection with Quad-PolSAR data. *IEEE Geosci Remote Sens Lett.* 2018;15(1):68–72.
- [7] Fyleris T, Kriščiūnas A, Gružauskas V, Čalnerytė D, Barauskas R. Urban Change Detection from Aerial Images Using Convolutional Neural Networks and Transfer Learning. *ISPRS Int J Geo-Information.* 2022;11.
- [8] Luo H, Liu C, Wu C, Guo X. Urban change detection based on Dempster-Shafer theory for multitemporal very high-resolution imagery. *Remote Sens.* 2018;10.

آنالیز شیء مبنا در این تحقیق، در کنار دقت مکانی ۱۵ متری تصاویر لندست، موجب شد که نقشه‌های طبقه‌بندی دقت قابل قبولی داشته باشند. با توجه به این‌که سازه‌های مسکونی از جمله عوارض شهری مرتفع می‌باشند، استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی سطح برداشت شده از منطقه مطالعاتی در کنار تصاویر ماهواره‌ای میتواند در بهبود نتایج طبقه‌بندی تصاویر، نقش قابل توجهی داشته باشد. دسترسی همزمان به مدل‌های رقومی ارتفاعی و تصاویر ماهواره‌ای در مناطق مختلف، به عنوان محدودیت اصلی روش‌های پایش تغییرات به روش پس طبقه‌بندی، مطرح می‌گردد.

نتیجه‌گیری

هدف این مقاله، بررسی تغییرات ناشی از ساخت و ساز مسکن مهر در منطقه پردیس، واقع در شمال شرق تهران است. شهر جدید پردیس با حدود ۱۲۰ هزار واحد مسکونی به عنوان پایتخت مسکن مهر ایران شناخته می‌شود و حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ هزار نفر جمعیت خواهد داشت. روش پیشنهادی پایش تغییرات کاربری/ پوشش اراضی مبتنی بر پس طبقه‌بندی بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست برداشت شده از منطقه مطالعاتی شهر جدید پردیس در یک بازه ۱۷ ساله، اعمال گردید. روش پس طبقه‌بندی بر اساس قابلیت‌های روش آنالیز شیء مبنا و مبنی بر ویژگی‌های ساختاری و طیفی برای طبقه‌بندی تصاویر زمان‌مند به کار می‌رود. همان‌طور که در نقشه تغییر کاربری/ پوشش تولید شده بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸ نشان داده شده است، ساخت و سازها در منطقه پردیس به سرعت، در حال افزایش است و این امر، اثرات جدی بر محیط زیست دارد. با توجه به نتایج آشکارسازی تغییر پس طبقه‌بندی به‌دست آمده، کلاس عارضه خاک، حدود ۱۷٪ کاهش و کلاس عارضه سازه‌ها، حدود ۱۸۵٪ افزایش یافته است. ساخت و ساز در هر منطقه، با تغییر اکوسیستم همراه است. به عنوان مثال، فاز ۱۱ پروژه مسکن مهر پردیس به طور کامل در یک منطقه کوهستانی قرار دارد و ساخت و سازهای جدید، ساختار طبیعی این منطقه را، تغییر داده است. همچنین، فاز ۸ این پروژه با مشکلات زیست محیطی فراوانی که دارد، همواره دغدغه‌های بسیاری را به همراه داشته است. افزایش بی‌رویه ساخت و سازها بدون در نظر گرفتن زیرساخت‌های مناسب، باعث ایجاد مشکلاتی از جمله، آلودگی آب در روستاهای مجاور شهرستان پردیس و تصفیه‌خانه فاضلاب، شده است. همچنین، به دلیل تغییر نامنظم کاربری اراضی، زمین‌های کشاورزی این منطقه تقریباً از بین رفته و تنها نامی از آن‌ها، باقی مانده است. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که رشد ۱۸۵ درصدی ساخت و سازها بدون در نظر گرفتن زیرساخت‌های مناسب و رعایت نکردن استانداردهای زیست محیطی، مشکلات فراوانی را برای منطقه پردیس، ایجاد کرده است. دانش سنجش از دور، به عنوان یکی از ابزارهای مدیریتی قدرتمند می‌تواند به عنوان راه حل مناسبی برای کنترل نرخ ساخت و ساز و تغییرات محیطی، در نظر گرفته شود.

- [22] Martha TR, Kerle N, Jetten V, Van Westen CJ, Vinod Kumar K. Landslide volumetric analysis using cartosat-1-derived DEMs. *IEEE Geosci Remote Sens Lett*. 2010;7(3):582–6 .
- [23] Tian J, Nielsen AA, Reinartz P. Improving change detection in forest areas based on stereo panchromatic imagery using kernel MNF. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*. 2014;52(11):7130–9 .
- [24] de Gélis I, Lefèvre S, Corpetti T. Change detection in urban point clouds: An experimental comparison with simulated 3d datasets. *Remote Sens*. 2021;13.
- [25] Veettil BK, Zanardi RP. A comparative study of various urban change detection techniques using high spatial resolution commercial satellite images: Quickbird and Worldview-2. *Proc 4th GEOBIA [Internet]*. 2012;(1):76–84.
- [26] Li L, Wang C, Zhang H, Zhang B, Wu F. Urban building change detection in SAR images using combined differential image and residual U-net network. *Remote Sens*. 2019;11.
- [27] Pang L, Sun J, Chi Y, Yang Y, Zhang F, Zhang L. CD-TransUNet: A Hybrid Transformer Network for the Change Detection of Urban Buildings Using L-Band SAR Images. *Sustain*. 2022;14.
- [28] Vakalopoulou M, Karatzalos K, Komodakis N, Paragios N. Simultaneous registration and change detection in multitemporal, very high resolution remote sensing data. In: *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2015. p. 61–9 .
- [29] Tabib Mahmoudi F, Samadzadegan F, Reinartz P. Object oriented image analysis based on multi-agent recognition system, *Computers & Geosciences*, 2013; 54(2):219–230.
- [30] Tabib Mahmoudi F. Semantic object-based urban scene analysis for feature fusion of VHR imagery and Lidar DSM. *SIVIP* 17, 1723–1731 (2023).
- [31] Bayat, S., Tabib Mahmoudi, F. Post-Classification Urban Heat Island Change Detection Based on Multi-Temporal Satellite Images. *J Indian Soc Remote Sens* 49, 2977–2988 (2021).
- [9] Daudt RC, Le Saux B, Boulch A, Gousseau Y. Urban change detection for multispectral earth observation using convolutional neural networks. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 2018. p. 2115–8 .
- [10] Chaabouni-Chouayakh H, Rainartz, p. Oberpfaffenhofen. Towards automatic 3D change detection inside urban areas by combining height and shape information. *Photogramm Fernerkundung, Geoinf*. 2011;2011(4):205–17.
- [11] Xuedong Z, Wenxi L, Shuguang H. Urban change detection in TerraSAR image using the difference method and sar coherence coefficient. *J Eng Sci Technol Rev*. 2018;11(3):18–23 .
- [12] Lee H, Lee K, Kim JH, Na Y, Park J, Choi JP, et al. Local Similarity Siamese Network for Urban Land Change Detection on Remote Sensing Images. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens*. 2021;14:4139–49 .
- [13] Wang N, Li W, Tao R, Du Q. Graph-based block-level urban change detection using Sentinel-2 time series. *Remote Sens Environ*. 2022;274 .
- [14] Ossola A, Cadenasso ML, Meineke EK. Valuing the Role of Time in Urban Ecology. Vol. 9, *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2021 .
- [15] Tasnim S, Mahbub F, Biswas G, Enamul Haque DM. Spatial indices and SDG indicator-based urban environmental change detection of the major cities in Bangladesh. *J Urban Manag*. 2022;11(4):519–29 .
- [16] Jabari S, Zhang Y. RPC-based coregistration of VHR imagery for urban change detection. *Photogramm Eng Remote Sensing*. 2016;82(7):521–34 .
- [17] Fekete A, Priesmeier P. Cross-border urban change detection and growth assessment for mexican-usa twin cities. *Remote Sens*. 2021;13.
- [18] Kundu K, Halder P, Mandal JK. Urban Change Detection Analysis during 1978–2017 at Kolkata, India, using Multi-temporal Satellite Data. *J Indian Soc Remote Sens*. 2020;48(11):1535–54 .
- [19] López-Serrano PM, Corral-Rivas JJ, Díaz-Varela RA, Álvarez-González JG, López-Sánchez CA. Evaluation of radiometric and atmospheric correction algorithms for aboveground forest biomass estimation using landsat 5 TM data. *Remote Sens*. 2016;8, 369, doi:10.3390/rs8050369.
- [20] You Y, Cao J, Zhou W. A survey of change detection methods based on remote sensing images for multi-source and multi-objective scenarios. *Remote Sens*. 2020, 12, 2460; doi:10.3390/rs12152460.
- [21] Hafner S, Ban Y, Nascetti A. Urban Change Detection Using a Dual-Task Siamese Network and Semi-Supervised Learning. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 2022. p. 1071–4 .

معرفی نویسنده‌گان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



سمیه بیات در سال ۱۳۹۰ در رشته مهندسی نقشه برداری از دانشکده سازمان نقشه برداری در مقطع کارشناسی فارغ التحصیل گردید. ایشان مدرک کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری گرایش سنجش از دور را در سال ۱۳۹۹ از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی اخذ نمود.

Bayat, S. Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

✉ bayat.somayeh@gmail.com

گردیدند. ایشان علاوه بر تألیف و ترجمه کتب، دهها مقاله علمی در مجلات و کنفرانسهای علمی ملی و بین المللی ارائه نمودهاند و همچنین در کمیته علمی و داوری چندین مجله و کنفرانس علمی نیز فعالیت داشتهاند. شاخص ترین زمینههای تخصصی ایشان عبارتند از: تشخیص الگو، یادگیری ماشین، ادغام دادههای سنجش از دور و الگوریتمهای هوشمند.

Tabib Mahmoudi, F. Assistant Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

 fmahmoudi@sru.ac.ir



فاطمه طبیب محمودی استادیار گروه مهندسی نقشه برداری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی میباشند. ایشان مدرک کارشناسی مهندسی نقشه برداری را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و مدرک

کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری-گرایش فتوگرامتری را در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه تهران دریافت نمودند. در سال ۱۳۸۹ به عنوان دانشجوی دکتری فتوگرامتری در دانشگاه تهران مشغول به تحقیق شدند و در سال ۱۳۹۳ موفق به اخذ مدرک دکتری تخصصی خود

Citation (Vancouver): Bayat S, Tabib Mahmoudi F. [Object Based Analysis of Land Use/Land Cover Changes Caused by Construction: A Case Study in the Mehr Pardis Housing Area]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 1-10

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1938>



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

A New Approach to Solve the Shortest Route in Urban Networks Based on Evolutionary Algorithms

S. Behzadi^{*1}, M. Adresi², M. Shirazian¹¹ Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran² Department of Geotechnical and Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 04 February 2023
 Reviewed: 10 April 2023
 Revised: 16 May 2023
 Accepted: 12 June 2023

KEYWORDS:

Combination Operators
 Genetic Algorithm
 Graph Theory
 Jump Operators
 Optimal Route

* Corresponding author

✉ behzadi@sru.ac.ir

☎ (+9821) 22970021

Background and Objectives: Today, urban management is one of the most important issues for decision makers and managers in urban areas. The problem of finding the shortest route, as one of the important issues in the field of urban management in order to reduce the travel time between two critical points, has always been the focus of many research fields such as urban management, transportation, communication, etc. During the past decades, the genetic algorithm has worked well in solving complex multi-objective optimization problems, but many genetic algorithms are only suitable for finding the optimal route in local networks. In these networks, if the number of points increases, algorithms will not be effective. The purpose of this research is to find a route in the street network of Tehran that has the least time, distance and cost. Therefore, a new method is proposed to solve the routing problem based on genetic algorithm, with the assumption that all lines in the network have positive weights.

Methods: The characteristics of the proposed algorithm is the variability of genetic algorithm operators, which is defined according to the network structure. Accordingly, the mutation operator in the genetic algorithm is defined based on the studied space and the distance between the start and end points. Integer coding is used to solve the problem, and therefore the points in this graph are named using integers and each person in the population is considered as an answer to solve the problem. The population size depends on the number of nodes in the graph and the length of each chromosome. The length of the selected strings is considered equal to the maximum number of nodes in the network, because there is a possibility that the best route is the route that passes through all the nodes. At the end, the proposed algorithm is implemented on the study area, which is a planar graph. The accuracy of the proposed method compared to the conventional genetic algorithm has been evaluated in three pairs of points.

Findings: Considering that the goal of solving the problem was to find the route that has the least weight, one combination operator and three mutation operators were presented in the proposed algorithm. This is despite the fact that in traditional genetic algorithms, only one mutation and combination operator is used. In this algorithm, the way to use mutation operators depends on the structure of the network and the distance between the start and end points. The use of the proposed genetic algorithm compared to the traditional genetic algorithm has been associated with a 16% improvement in performance, which shows that the proposed genetic algorithm reaches the solution of the problem faster. As shown in Figure 4, the best route is the route whose fitness function value is closer to one. The results of comparing the proposed method with conventional methods show 16% higher speed.

Conclusion: Considering that the initial assumption of this research was the positive weight of all the lines in the network, the mutation operator in the genetic algorithm was defined based on the studied space and the distance between the start and end points. The results showed that if there is a small search space, fewer points are needed and in order to generate the initial population, the nodes that are next to each other and closer to each other should be selected. In this way, the value of the fitness function of the people in the initial population

increases and the answers become closer to reality. For future research, it is suggested that in order to generate the initial population, the points between the start and end points should be selected, and also the selected points should be near the connecting line between the start and end points, because when the weight of the edges of the network is the distance between the points, the best route is in the space between the starting point and the end point. It is also suggested to evaluate the performance of the network with several combination operators.



NUMBER OF REFERENCES
30



NUMBER OF FIGURES
4



NUMBER OF TABLES
0

مقاله پژوهشی

رویکردی جدید برای حل کوتاه‌ترین مسیر در شبکه‌های شهری بر اساس الگوریتم‌های تکاملی

سعید بهزادی^{۱*}، مصطفی آدرسی^۲، مسعود شیرازیان^۱

^۱ گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران
^۲ گروه مهندسی ژئوتکنیک و آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: امروزه، مدیریت شهری به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل تصمیم‌گیران و مدیران در حوزه‌های شهری است. مسئله یافتن کوتاه‌ترین مسیر، به عنوان یکی از مسائل مهم در حوزه مدیریت شهری به منظور کاهش زمان سفر بین دو نقطه حیاتی، همواره مورد توجه بسیاری از حوزه‌های تحقیقاتی از قبیل مدیریت شهری، حمل و نقل، ارتباطات و غیره بوده است. در طول دهه‌های گذشته، الگوریتم ژنتیک در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی چند هدفه، به خوبی عمل کرده است، اما بسیاری از الگوریتم‌های ژنتیک، تنها برای یافتن مسیر بهینه در شبکه‌های محلی، مناسب هستند. در این شبکه‌ها، در صورتی که تعداد نقاط افزایش یابد، الگوریتم‌های ارائه شده کارایی خود را نخواهند داشت. هدف از این تحقیق، یافتن مسیری در شبکه خیابان‌های شهر تهران می‌باشد که کمترین زمان، مسافت و هزینه را داشته باشد. بنابراین، یک روش جدید برای حل مسئله مسیریابی بر مبنای الگوریتم ژنتیک، با این فرض که تمام خطوط موجود در شبکه دارای وزن‌های مثبت می‌باشند، پیشنهاد می‌گردد.

روش‌ها: ویژگی الگوریتم پیشنهادی، متغیر بودن عملگرهای الگوریتم ژنتیک می‌باشد که متناسب با ساختار شبکه، تعریف می‌گردد. بر همین اساس، عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک بر اساس فضای مورد مطالعه و فاصله بین نقاط شروع و پایان، تعریف می‌گردد. برای حل مسئله، از کدگذاری اعداد صحیح استفاده می‌شود و لذا، نقاط موجود در این گراف با استفاده از اعداد صحیح، نام‌گذاری شده و هر فرد در جمعیت به عنوان یک جواب برای حل مسئله، در نظر گرفته می‌شود. اندازه جمعیت، بسته به تعداد گره‌های موجود در گراف و طول هر کروموزوم دارد. طول رشته‌های انتخاب شده، حداکثر برابر با تعداد گره‌های موجود در شبکه، در نظر گرفته می‌شود، زیرا این احتمال وجود دارد که بهترین مسیر، مسیری باشد که از تمام گره‌ها عبور می‌کند. در پایان، این الگوریتم بر روی شبکه‌ی مورد مطالعه که یک گراف مسطح می‌باشد، پیاده‌سازی می‌شود. دقت روش پیشنهادی نسبت به روش متداول، در سه جفت نقطه، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

یافته‌ها: با توجه به این که هدف از حل مسئله، یافتن مسیری بود که کمترین وزن را داشته باشد، در الگوریتم پیشنهادی یک عملگر ترکیب و سه عملگر جهش، ارائه گردید. این، در حالی است که در الگوریتم‌های ژنتیک رایج، تنها از یک عملگر جهش و ترکیب، استفاده شده است. در این الگوریتم، نحوه استفاده از عملگرهای جهش، به ساختار شبکه و فاصله بین نقطه شروع و پایان، بستگی دارد. استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، نسبت به الگوریتم ژنتیک رایج، با ۱۶٪ بهبود عملکرد همراه بوده است که نشان می‌دهد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، سریع‌تر به جواب مسئله می‌رسد.

تاریخ دریافت: ۱۵ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۲۱ فروردین ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۲ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

عملگر ترکیب
عملگر جهش
الگوریتم ژنتیک
تنوری گراف
مسیر بهینه

* نویسنده مسئول

behzadi@sru.ac.ir

© ۲۰۲۱-۲۲۹۷۰۰۲۱

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است بهترین مسیر، مسیری است که مقدار تابع برازندگی آن به یک، نزدیک‌تر باشد. نتایج حاصل از مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های متداول، ۱۶ درصد سرعت بالاتر را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که فرض اولیه این تحقیق، مثبت بودن وزن تمام خطوط موجود در شبکه بوده است، عملکرد جهش در الگوریتم ژنتیک، بر اساس فضای مورد مطالعه و فاصله بین نقاط شروع و پایان، تعریف شد. نتایج نشان داد که در صورت وجود فضای جستجوی کوچک، نقاط کمتری مورد نیاز است و به منظور تولید جمعیت اولیه، گره‌هایی که در کنار هم قرار دارند و به هم نزدیک‌تر هستند، باید انتخاب شوند. بدین ترتیب، مقدار تابع برازندگی افراد موجود در جمعیت اولیه، افزایش یافته و جواب‌ها به واقعیت، نزدیک‌تر می‌شود. برای تحقیقات آتی، پیشنهاد می‌گردد که به منظور تولید جمعیت اولیه، نقاط بین نقطه شروع و پایان انتخاب گردد و همچنین، نقاط انتخاب شده در نزدیکی خط واصل بین نقطه شروع و پایان باشد، زیرا هنگامی که وزن یال‌های شبکه، فاصله بین نقاط باشد، بهترین مسیر در فضای بین نقطه شروع و پایان قرار دارد. همچنین، پیشنهاد می‌شود که عملکرد شبکه با چندین عملکرد ترکیب نیز، مورد ارزیابی قرار گیرد.

مقدمه

الگوریتم ژنتیک، برگرفته از نظریه تکاملی داروین می‌باشد. این الگوریتم، یک الگوریتم بهینه‌سازی می‌باشد که بر اساس انتخاب طبیعی تعریف شده است [۱۴، ۱۵]. الگوریتم ژنتیک، به طور پیوسته جمعیت جواب‌ها را در هر نسل، تغییر می‌دهد [۱۶، ۱۷]. در هر مرحله، الگوریتم ژنتیک، افرادی را به طور تصادفی انتخاب می‌کند. افراد انتخاب شده، به عنوان والد در نظر گرفته می‌شوند و به کمک آن‌ها، افراد نسل بعد تولید می‌گردد. در صورتی که تولید افراد با موفقیت انجام پذیرد، بهینه‌ترین جواب برای حل مسئله، به دست خواهد آمد.

الگوریتم، کار خود را با مجموعه‌ای از جواب‌ها آغاز می‌کند. به جواب موجود در هر مرحله، جمعیت گفته می‌شود که از جواب‌های موجود در هر نسل، برای تولید جمعیت (جواب‌های) نسل بعد استفاده می‌شود. جمعیت نسل بعد، به این امید تولید می‌شود که جواب‌های بهتری نسبت به نسل قبل تولید نماید. افرادی که برای تولید جمعیت نسل بعد انتخاب می‌شوند، باید تابع برازندگی مناسبی داشته باشند. هرچه تابع برازندگی بهتر باشد، شانس انتخاب شدن بیشتر می‌باشد [۱۸]. پس از انتخاب بهترین افراد، جمعیت نسل بعد با استفاده از عملگرهای ترکیب و جهش به وجود خواهد آمد. سپس، این فرایند آن‌قدر ادامه پیدا می‌کند تا بهترین جمعیت به وجود آید و جمعیت به وجود آمده، به عنوان جواب مسئله در نظر گرفته می‌شود [۱۹].

در این مقاله، یک روش جدید برای حل مسئله تعیین مسیر بهینه ارائه می‌گردد که در آن، تابع برازندگی معرفی شده توسط چن و همکاران (۲۰۱۸)، توسعه می‌یابد. علاوه بر این، یک عملگر ترکیب و سه عملگر جهش جدید نیز، معرفی می‌گردد. در این راستا، عملگرهای جهش بر اساس ساختار شبکه، تعریف می‌گردند. سپس، با پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی، تحلیل‌های مورد نیاز انجام می‌شود و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرند.

روش تحقیق

شبکه مورد بررسی، یک گراف مسطح می‌باشد. نقاط موجود در این گراف، با استفاده از اعداد صحیح یک تا N ، نامگذاری می‌شوند که در آن N ، تعداد نقاط موجود در شبکه می‌باشد. هر فرد در جمعیت، به عنوان

مسئله برآورد مسیر بهینه بین دو نقطه، یکی از مسائل شناخته شده در تجزیه و تحلیل شبکه، ارتباطات و حمل و نقل می‌باشد [۱]. الگوریتم‌های مسیریابی، موضوع تحقیقات فراوانی بوده است که با توجه به ویژگی‌ها و قیود شبکه، الگوریتم‌های جدید برای حل مسائل تعیین مسیر بهینه، حاصل گردیده است [۲-۴]. مشکل اصلی که در بسیاری از این الگوریتم‌ها وجود دارد، عدم توجه به ساختار شبکه می‌باشد و قیود تعریف شده، فاقد انعطاف‌پذیری برای شرایط خاص هر شبکه می‌باشند [۵، ۶]. یافتن بهترین مسیر در شبکه، موضوع بسیاری از تحقیقات بوده است [۷-۱۰]. احمدی در سال ۲۰۱۸، الگوریتم ژنتیک را برای یافتن مسیر بهینه در داخل یک شبکه محلی، ارائه کرد [۵]. وی، در این مسئله تنها یک نوع عملگر ترکیب و جهش را معرفی نمود. عملگرهای معرفی شده، تنها برای شبکه‌های محلی و کوچک مناسب می‌باشند و در صورتی که تعداد نقاط موجود در شبکه افزایش یابد، الگوریتم کارایی خود را نخواهد داشت. عملگرهای تعریف شده توسط دیب و همکاران (۲۰۱۵)، نیز برای شبکه‌های محلی مناسب می‌باشند [۲]. در این تحقیق، در صورتی که تعداد نقاط موجود در شبکه افزایش یابد، الگوریتم نمی‌تواند بهترین مسیر را بین دو نقطه شروع و پایان، پیدا نماید [۱۱، ۱۲]. همچنین، در این تحقیقات جمعیت اولیه به صورت واقعی می‌باشد؛ به این معنا که مسیرهای اولیه، همگی وجود خارجی دارند. این حالت نیز، تنها در شبکه‌های محلی مناسب است و در صورتی که تعداد نقاط موجود در شبکه افزایش یابد، مدت زمان بیشتری طول خواهد کشید که جمعیت اولیه ایجاد گردد. بنابراین، چن و همکاران (۲۰۱۸) یک روش جدید برای تولید جمعیت اولیه، ارائه دادند [۱۳]. در روش پیشنهادی، مسیر بین دو نقطه شروع و پایان ممکن است شامل بخش‌های مجازی باشد. بر همین اساس، با توجه به جمعیت تولید شده، تابع برازندگی جدیدی نیز معرفی گردید که برای ارزیابی جمعیت مجازی تولید شده، مناسب می‌باشد. البته، یکی از مشکلاتی که در تابع برازندگی معرفی شده، عدم توجه به تعداد بخش‌های مجازی در داخل مسیر می‌باشد.

مناطق موجود در شبکه باشد، کمیت n برابر با ۴ در نظر گرفته می‌شود. باید اشاره نمود که اولین و آخرین ژن موجود در کروموزوم، نقاط شروع و پایانی مسیر می‌باشد. دیگر نقاط موجود در کروموزوم، به طور تصادفی از بین نقاط موجود در گراف مشخص می‌گردد با این شرط که باید از رابطه (۵) تبعیت نمایند:

$$d = \frac{\left| x_i - \left(\frac{x_E - x_S}{y_E - y_S} \right) y_i + \left(\frac{x_E - x_S}{y_E - y_S} \right) y_S - x_S \right|}{\sqrt{1 + \left(\frac{x_E - x_S}{y_E - y_S} \right)^2}} \quad (5)$$

$$D = \sqrt{(x_E - x_S)^2 + (y_E - y_S)^2}$$

$$d \leq 0.5D$$

که d فاصله بین نقطه تصادفی از خط واصل بین نقطه شروع و پایان، D فاصله مستقیم بین نقطه شروع و پایان، (x_i, y_i) مختصات نقطه تصادفی، (x_S, y_S) نقطه شروع و (x_E, y_E) نقطه پایانی می‌باشد.

تابع برازندگی

تابع برازندگی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، به صورت رابطه (۶) تعریف می‌گردد [۱۳]:

$$F(x) = \frac{1}{Actual_length_of_the_path} - The_number_disconnected_path \quad (6)$$

که $Actual_length_of_the_route$ برابر جمع جبری فواصل بین نقاط مجاور می‌باشد؛ بنابراین، مقدار عبارت $1/[Actual_length_of_the_path]$ عددی بین صفر و یک است. عبارت $The_number_disconnected_routes$ نشان دهنده تعداد قسمت‌های مجازی موجود در مسیر است و مقدار آن بین صفر و i می‌باشد. در این صورت، می‌توان نتیجه گرفت که مقداری که از تابع برازش برای هر کروموزوم به دست می‌آید، بین $-i$ و ۱ می‌باشد. در صورتی که بین دو نقطه T_1 و T_2 مسیر واقعی وجود نداشته باشد، از فاصله اقلیدسی بین دو نقطه، استفاده می‌شود.

عملگرهای الگوریتم ژنتیک

فرایند تولید جمعیت جدید از افراد موجود در جمعیت فعلی، توسط عملگرهای الگوریتم ژنتیک انجام می‌پذیرد [۲۲]. کارایی الگوریتم ژنتیک، به نحوه تعریف عملگرهای الگوریتم ژنتیک بستگی دارد [۲۳]. در الگوریتم پیشنهادی، عملگرهای جهش و ترکیب به صورت زیر تعریف می‌گردد:

عملگر ترکیب

در عملگر ترکیب، کروموزوم‌های موجود در جمعیت حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرند. سپس، به گونه‌ای این کروموزوم‌ها ترکیب می‌شوند که جمعیت ایجاد شده از آن‌ها، بهتر از جمعیت حاضر باشد [۲۴، ۲۵]. عملگر ترکیب تک نقطه‌ای، یکی از ساده‌ترین عملگرهای ترکیب در الگوریتم ژنتیک می‌باشد و با توجه به این که شبکه مورد نظر، یک حالت

یک جواب برای حل مسئله در نظر گرفته می‌شود [۲۰]. باید توجه نمود که در داخل جواب‌ها نباید از گره‌های تکراری استفاده نمود. طول رشته‌های انتخاب شده، حداکثر برابر با تعداد گره‌های موجود در شبکه در نظر گرفته می‌شود، زیرا این احتمال وجود دارد که بهترین مسیر، مسیری باشد که از تمام گره‌ها عبور می‌کند. در رابطه (۱)، یک نمونه از جواب‌های موجود در یک نسل، نشان داده شده است:

$$(T_1, T_2, \dots, T_b, \dots, T_{(n-1)}, T_n) \quad (1)$$

که مسیر ۱، مسیری شامل تمام گره‌ها می‌باشد.

کدگذاری

برای حل مسئله، از کدگذاری اعداد صحیح استفاده می‌شود. در این کدگذاری، هر کروموزوم به صورت یک رشته از اعداد صحیح در نظر گرفته می‌شود. در این صورت، یک کروموزوم یک رشته از اعداد می‌باشد [۲۱]. باید اشاره نمود که تعداد گره‌ها در هر رشته، با هم برابر نمی‌باشد. بردار $P = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ یک کروموزوم می‌باشد که نشان دهنده یک مسیر از گره شماره یک (نقطه شروع)، به گره شماره N (نقطه انتها) می‌باشد. همچنین، هر کروموزوم نشان دهنده یک مسیر می‌باشد. مسیرهای مختلف، شامل گره‌ها و یال‌های مختلف می‌باشد و تعداد گره‌ها در هر مسیر نیز، متفاوت است. بنابراین، طول کروموزوم‌ها با هم، متفاوت است. در صورتی که $(v_1, v_2, \dots, v_k)$ نشان دهنده یک مسیر بین گره یک و N باشد، قطعات $\{(1, v_1)A, (v_2, v_3)A, \dots, (v_k, n)A\}$ بخش‌هایی از این مسیر می‌باشند [۵]. در این صورت:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } i=1, j=v_1, \\ 1, & \text{if there exists } l \text{ such that } i=v_l, j=v_{l+1}, \\ 1, & \text{if } i=v_k, j=n, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (2)$$

که برای تمام $(i, j) \in A$ صادق می‌باشد. به این ترتیب، $\{x_{ij}(i, j)A\}$ به عنوان یک مسیر از گره یک به N شناخته می‌شود.

جمعیت اولیه

اندازه جمعیت، بسته به تعداد گره‌های موجود در گراف و طول هر کروموزوم دارد. طول کروموزوم‌ها، به صورت رابطه (۳) تعریف می‌گردد:

$$Chromosome_Length = \frac{N_P \times D_{(Start, End)}}{\sqrt{Area}} \times n \quad (3)$$

که $Chromosome_Length$ به عنوان طول کروموزوم در جمعیت، N_P تعداد نقاط گراف، $D(Start, End)$ فاصله مستقیم بین نقاط شروع و پایان، $Area$ مساحت کل ناحیه مورد مطالعه می‌باشد. مساحت کل ناحیه را می‌توان با استفاده از x, y نقاط موجود در اطراف فضا به صورت رابطه (۴) به دست آورد:

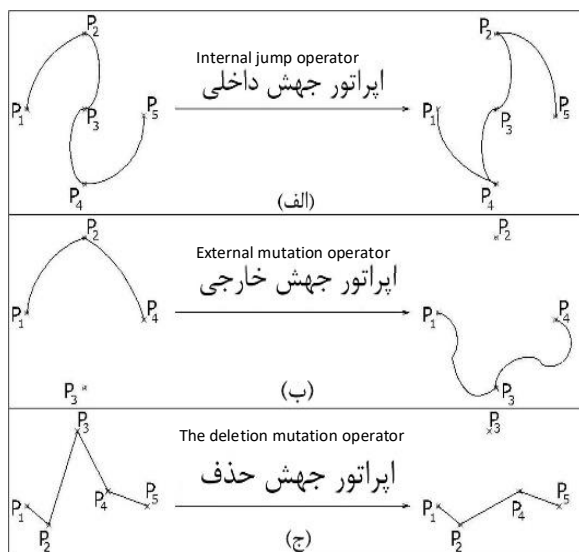
$$Area = (Max_X - Min_X) \times (Max_Y - Min_Y) \quad (4)$$

کمیت n ، انعطاف‌پذیری طول کروموزوم می‌باشد که عدد صحیحی بین ۱ تا ۴ در نظر گرفته می‌شود و وابسته به تراکم نقاط موجود در شبکه، می‌باشد. در صورتی که تراکم بین دو نقطه شروع و پایان بیشتر از بقیه

(۱-۲-۳-۴-۵-۶)، یک مسیر متشکل از ۶ گره می‌باشد. با استفاده از این عملگر، گره شماره (۲) در مسیر انتخاب می‌گردد و سپس، با گره شماره (۹) که در داخل مسیر نمی‌باشد، جابه‌جا می‌گردد. در این صورت، رشته‌ای به صورت (۱-۳-۴-۵-۶)، به وجود می‌آید.

(ج) عملگر جهش حذف: در این عملگر، یک گره به صورت تصادفی در داخل کروموزوم انتخاب و از داخل رشته، حذف می‌گردد. برای مثال، رشته (۱-۲-۳-۴-۵-۶)، یک مسیر متشکل از ۶ گره می‌باشد. با استفاده از این عملگر، گره شماره (۵) در مسیر، انتخاب و سپس حذف می‌گردد. در این صورت، رشته‌ای به صورت (۱-۲-۳-۴-۶)، به وجود می‌آید [۲۹].

طریقه استفاده از عملگر جهش، بسته به ساختار شبکه و نقاط شروع و پایانی می‌باشد. در صورتی که فاصله بین نقطه شروع و پایانی کمتر از نصف طولانی‌ترین فاصله مستقیم در فضا باشد، عملگر جهش حذف، اولویت بالاتری دارد [۳۰]. همچنین، در صورتی که فاصله بین نقطه شروع و پایانی بیشتر از نصف طولانی‌ترین فاصله مستقیم در فضا باشد، نسبت استفاده از عملگر جهش داخلی و خارجی بیشتر از عملگر جهش حذف می‌باشد. طولانی‌ترین فاصله مستقیم در فضا، خط مستقیمی است که دو نقطه‌ای که بیشترین فاصله را از هم دارند، به هم وصل می‌نماید. عملگرهای جهش در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲: الف) عملگر جهش داخلی؛ ب) عملگر جهش خارجی؛ ج) عملگر جهش حذف
Fig. 2: a) Inside mutation operator; b) Outside mutation operator; c) Deletion mutation operator

نتایج و بحث

در این مرحله، الگوریتم پیشنهادی، پیاده‌سازی گردید. فضای مطالعاتی، بخشی از شهر تهران می‌باشد (شکل ۳). در این مسئله، طول خطوط به عنوان وزن خطوط در نظر گرفته می‌شود. هدف از حل مسئله، یافتن مسیری می‌باشد که کمترین وزن را بین دو نقطه شروع و پایان داشته باشد. نتیجه کار، در شکل ۳ نشان داده شده است.

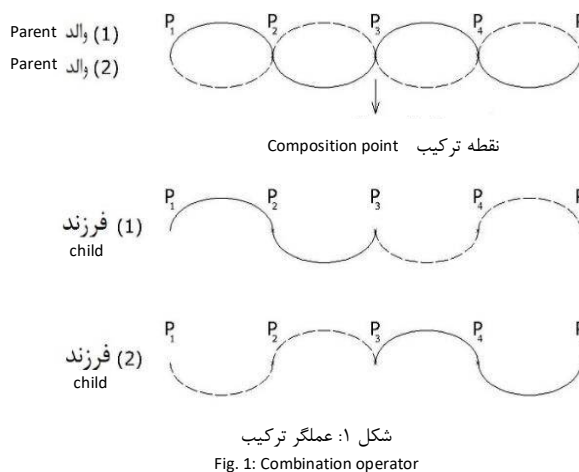
خاص از شبکه‌های واقعی می‌باشد و همچنین، این شبکه پیچیدگی زیادی ندارد، بنابراین در این‌جا از عملگرهای تک نقطه‌ای استفاده می‌گردد و روش کار به این صورت می‌باشد که $P_1 = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ و $P_2 = (v'_1, v'_2, \dots, v'_k)$ به عنوان دو کروموزوم در نظر گرفته می‌شوند. این دو کروموزوم در قسمت جمعیت اولیه تشکیل گردیده‌اند. در ابتدا، یک گره مشترک بین این دو کروموزوم، مشخص می‌گردد. در این صورت، داریم:

$$\{v_i = v'_i \mid v_i \in P_1, v'_i \in P_2\} \quad (7)$$

به کمک این گره مشترک و عملگر ترکیبی تک نقطه‌ای، دو کروموزوم به صورت رابطه (۸) تشکیل می‌شود:

$$(v_1, v_2, \dots, v_i, v'_{i+1}, \dots, v'_k), (v'_1, v'_2, \dots, v'_i, v_{i+1}, \dots, v_k) \quad (8)$$

در صورتی که بین دو کروموزوم P_1 و P_2 گره مشترکی پیدا نگردد، هیچ عمل ترکیبی بین این دو کروموزوم انجام نمی‌شود [۵، ۲۶، ۲۷]. این فرایند، در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱: عملگر ترکیب
Fig. 1: Combination operator

عملگر جهش

در این تحقیق، سه نوع عملگر جهش مورد استفاده قرار گرفته است. نحوه استفاده از عملگرهای جهش، به وسعت ناحیه و فاصله بین شروع و پایان، بستگی دارد. عملگرهای جهش، به صورت زیر تعریف می‌گردد: (الف) عملگر جهش داخلی: در این عملگر، دو گره موجود در کروموزوم به طور تصادفی انتخاب می‌گردد، سپس جای این دو گره با یکدیگر عوض می‌شود. برای مثال، رشته (۱-۲-۳-۴-۵-۶-۷-۸-۹) یک مسیر متشکل از ۹ گره می‌باشد. با استفاده از این عملگر، دو گره به طور تصادفی در این رشته انتخاب می‌شود (۲ و ۸) و سپس، جای این دو گره با یکدیگر عوض می‌شود، در این صورت، رشته‌ای به صورت (۱-۳-۴-۵-۶-۷-۸-۲-۹) به وجود می‌آید.

(ب) عملگر جهش خارجی: در این عملگر، یک گره به صورت تصادفی در داخل کروموزوم انتخاب می‌گردد. سپس، این گره با گره دیگر که در داخل رشته کروموزوم نیست، جابه‌جا می‌گردد [۲۸]. برای مثال، رشته



(الف)



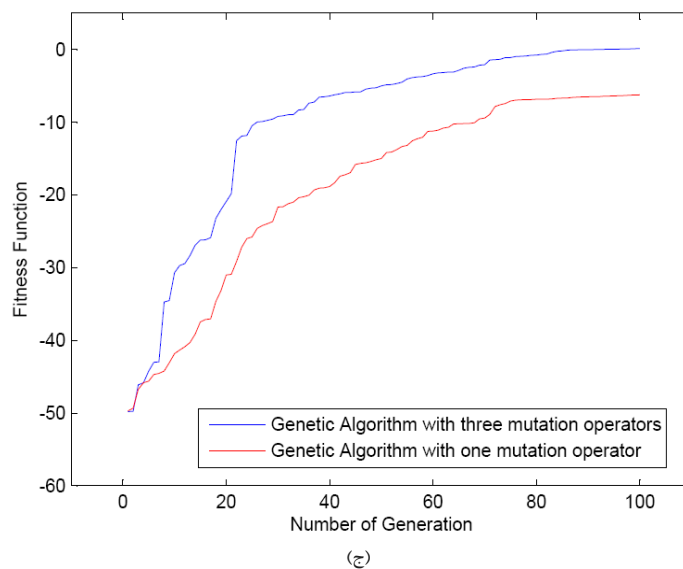
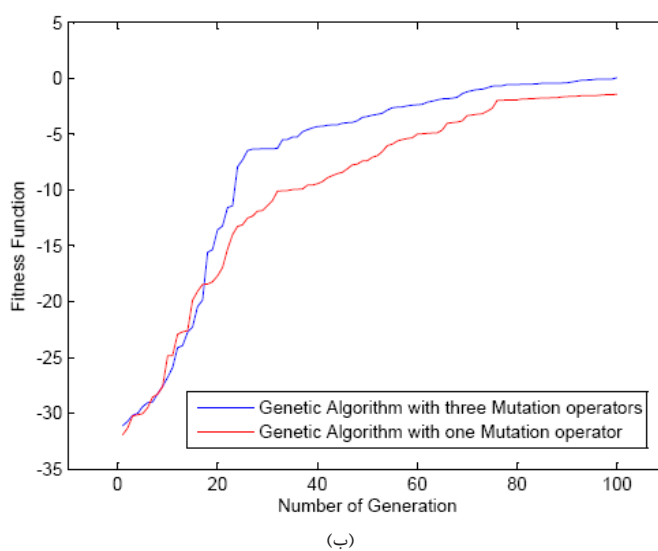
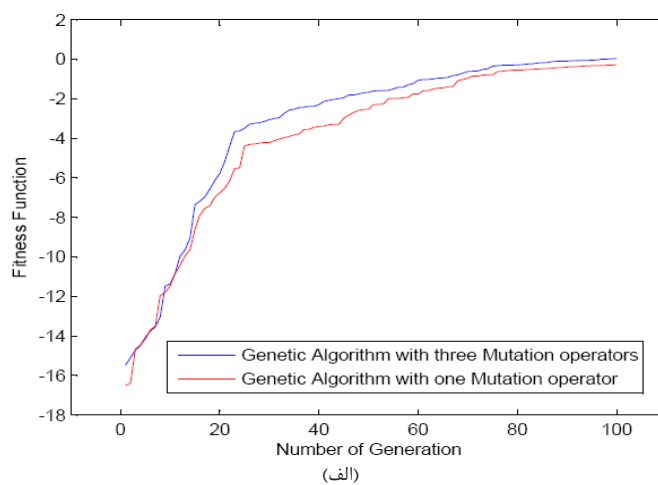
(ب)

شکل ۳: الف) منطقه مورد مطالعه؛ ب) نقطه شروع، پایان و کوتاهترین فاصله

Fig. 3: a) Study area; b) Start point, end point and shortest distance

ارائه گردید؛ در حالی که در الگوریتم‌های ژنتیک قبلی، تنها از یک عملگر جهش و ترکیب استفاده شده است. در این الگوریتم، نحوه استفاده از عملگرهای جهش، به ساختار شبکه و فاصله بین نقطه شروع و پایان، بستگی دارد. شکل ۴، مقایسه بین الگوریتم‌های ژنتیک پیشنهادی و الگوریتم‌های ژنتیک معمولی را برای یافتن بهترین مسیر بین سه جفت نقطه شروع و پایان، نشان می‌دهد.

همان‌طور که اشاره شد، بسیاری از الگوریتم‌های ژنتیک برای یافتن مسیر بهینه در شبکه‌های محلی مناسب هستند. در این شبکه‌ها، در صورتی که تعداد نقاط افزایش یابد، الگوریتم‌های پیشنهادی کارایی خود را نخواهند داشت. یکی از دلایل عدم کارایی این الگوریتم‌ها، مربوط به فرایند تولید جمعیت اولیه می‌باشد. نکته دیگری که باید در مورد الگوریتم پیشنهادی بیان نمود، استفاده از عملگرهای جهش هوشمند می‌باشد. در الگوریتم پیشنهادی، یک عملگر ترکیب و سه عملگر جهش



شکل ۴: مقایسه بین الگوریتم پیشنهادی (آبی) و الگوریتم ژنتیک متداول (قرمز) در سه حالت: الف) فاصله دو نقطه کم؛ ب) فاصله دو نقطه متوسط؛ ج) فاصله دو نقطه زیاد
 Fig. 4: Comparison between the proposed algorithm (blue) and the traditional genetic algorithm (red) in three cases: a) Short distance between two points; b) Medium distance between two points; c) Long distance between two points

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] Behzadi S, Alesheikh AA. Developing a BDI Agent Model for Solving Shortest Route Problem on a Raster Data Model. *Caspian Journal of Applied Sciences Research*. 2014; 3.
- [2] Dib O, Manier M-A, Caminada A. Memetic algorithm for computing shortest routes in multimodal transportation networks. *Transportation Research Procedia*. 2015; 10: 745-755.
- [3] Dijkstra E. A note on two papers in connection with graphs. *NuMat*. 1959; 1: 269-271.
- [4] Babaei M, Behzadi S. Spatial Data-Driven Traffic Flow Prediction Using Geographical Information System. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*. 2023; 7(4): 132-143.
- [5] Ahmadi E, Süer GA, Al-Ogaili F. Solving Stochastic Shortest Distance Route Problem by Using Genetic Algorithms. *Procedia Comput Sci*. 2018; 140: 79-86.
- [6] Behzadi S. Designing a Commercial Location-Based System to Serve Customers Based on GIS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2023; 48: 9-14.
- [7] 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): 145-158. Persian.
- [8] Behzadi S, Alesheikh AA. Cellular Automata vs. Object-Automata in Traffic Simulation. *International Journal of Remote Sensing Applications*. 2014; 4(1): 61-69.
- [9] Behzadi S. An intelligent location and state reorganization of traffic signal. *Geodesy and Cartography*. 2020; 46(3): 145-50.
- [10] Abbasi Z, Alesheikh A, Behzadi S, Aghamohammadi H. Development of spatiol network for optimal routing of BRT lines. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2020; 22(8): 75-87. Persian.
- [11] 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.

شکل ۴، مقدار تابع برازندگی بهترین فرد را در هر نسل، نشان می‌دهد. مقدار به‌دست آمده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی (آبی)، دقت بالاتری از الگوریتم ژنتیک متداول (قرمز) دارد که نشان می‌دهد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، سریع‌تر به جواب مسئله می‌رسد. هدف از حل مسئله، یافتن مسیری می‌باشد که کمترین وزن را داشته باشد. همان‌طور که در شکل ۴، نشان داده شده است در سه حالت مختلف، الگوریتم ژنتیک پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک متداول در سه جفت نقطه، مورد مقایسه قرار گرفته است. بهترین مسیر، مسیری است که مقدار تابع برازندگی آن به یک، نزدیک‌تر باشد. همان‌طور که توضیح داده شد، محدوده تابع برازندگی پیشنهادی، بین i و ۱ می‌باشد. در صورتی که مقدار تابع برازندگی بین i و صفر باشد، مسیر مورد نظر واقعی نمی‌باشد. این، بدان معنا است که در داخل مسیر، بخش‌های غیرواقعی وجود دارد. تعداد بخش‌های مجازی مسیر، بستگی به مقدار تابع برازندگی دارد. هرچه مقدار تابع برازندگی منفی‌تر باشد، قطعات مجازی آن بیشتر است. در صورتی که مقدار تابع برازندگی بین صفر و یک باشد، مسیر یک مسیر واقعی می‌باشد و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، مسیر انتخاب شده بهتر است. بنابراین، الگوریتم ژنتیک پیشنهادی به همراه سه عملگر جهش، زودتر از الگوریتم ژنتیک متداول به جواب مسئله می‌رسد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سعی گردید که یک روش جدید برای حل مسئله مسیریابی بر اساس الگوریتم ژنتیک، پیشنهاد گردد. فرض اولیه این تحقیق، مثبت بودن وزن تمام خطوط موجود در شبکه می‌باشد. عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک، بر اساس فضای مورد مطالعه و فاصله بین نقاط شروع و پایان تعریف گردید. در انتها نیز، این الگوریتم بر روی یک شبکه شهری پیاده‌سازی گردید که نتایج قابل قبولی به‌دست آمد. به منظور انتخاب جمعیت اولیه، تمامی نقاط دارای شانس یکسان برای انتخاب شدن دارند. در صورتی که فضای جستجو کوچک باشد، نقاط کمتری مورد نیاز است. بنابراین، در چنین حالتی پیشنهاد می‌شود به منظور تولید جمعیت اولیه، گره‌هایی که در کنار هم قرار دارند و به هم نزدیک‌تر هستند، انتخاب گردند. این امر، سبب می‌شود که مقدار تابع برازندگی افراد موجود در جمعیت اولیه، افزایش یابد و جواب‌ها به واقعیت نزدیک‌تر باشد. همچنین، پیشنهاد می‌گردد که به منظور تولید جمعیت اولیه، نقاط بین نقطه شروع و پایان انتخاب گردند و همچنین، نقاط انتخاب شده در نزدیکی خط واصل بین نقطه‌ی شروع و پایان باشد؛ به این دلیل که معمولاً بهترین مسیر در فضای بین نقطه‌ی شروع و پایان قرار دارد. البته باید اشاره نمود که این حالت در زمانی که وزن یال‌های شبکه، فاصله بین نقاط باشد، صادق است. عملگر ترکیبی که در این جا مورد استفاده قرار گرفت، عملگر ترکیب تک نقطه‌ای بود که یک عملگر ساده در الگوریتم ژنتیک می‌باشد. همچنین، پیشنهاد می‌شود که چندین عملگر ترکیب برای این مسئله تعریف نمود و با توجه به ساختار شبکه، از نوع خاصی از عملگر استفاده نمود.

[26] Xiao Y, Xie Y, Kulturel-Konak S, Konak A. A problem evolution algorithm with linear programming for the dynamic facility layout problem—A general layout formulation. *Comput Oper Res.* 2017; 88: 187-207.

[27] Carrano EG, Tarôco CG, Neto OM, Takahashi RH. A multiobjective hybrid evolutionary algorithm for robust design of distribution networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems.* 2014; 63: 645-656.

[28] Tani K, Yamamoto K. Search Methods for Evacuation Routes during Torrential Rain Disasters Using Genetic Algorithms and GIS. *J Geogr Inf Syst.* 2020; 12(03): 256-74.

[29] Qin Y, Li Z, Ding J, Zhao F, Meng M. Automatic optimization model of transmission line based on GIS and genetic algorithm. *Array.* 2023; 17: 100266.

[30] Ebrahimipour AR, Alimohamadi A, Alesheikh AA, Aghighi H. Routing of water pipeline using GIS and genetic algorithm. *J Appl Sci.* 2009; 9(23): 4137-4145.

[12] Ghasempoor Z, Behzadi S. Provide an Automated Web-based Platform for Collecting Traffic Data. *Journal of Geomatics Science and Technology.* 2022; 12(1): 171-186. Persian.

[13] Chen P, Tong R, Lu G, Wang Y. The α -reliable route problem in stochastic road networks with link correlations: A moment-matching-based route finding algorithm. *Expert Syst Appl.* 2018; 110: 20-32.

[14] Behzadi S, Kolbadinejad M. INTRODUCING A NOVEL METHOD TO SOLVE SHORTEST ROUTE PROBLEMS BASED ON STRUCTURE OF NETWORK USING GENETIC ALGORITHM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences.* 2019; 44: 201-203.

[15] 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. Persian.

[16] Hosseinali F, Alesheikh AA. Weighting spatial information in GIS for copper mining exploration. *Am J Appl Sci.* 2008; 5(9): 1187-1198.

[17] 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.

[18] Shen-jun G, Jie C, Hao-cheng T, Ping X, Yun Y. An Agent-based Distributed QoS Multicast Routing Algorithm. *Phys Procedia.* 2012; 24: 1951-1958.

[19] Ergenç D, Eksert L, Onur E. Dependability-based Clustering in Mobile Ad-Hoc Networks. *Ad Hoc Networks.* 2019; 93: 101926.

[20] Behzadi S, Alesheikh AA, Poorazizi E. Developing a genetic algorithm to solve shortest route problem on a raster data model. *J Appl Sci.* 2008; 8(18): 3289-3293.

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

[22] Zhao D, Liu J. Study on network security situation awareness based on particle swarm optimization algorithm. *Computers & Industrial Engineering.* 2018; 125: 764-775.

[23] Li L-L, Sun J, Tseng M-L, Li Z-G. Extreme learning machine optimized by whale optimization algorithm using Insulated Gate Bipolar Transistor module aging degree evaluation. *Expert Syst Appl.* 2019; 127: 58-67.

[24] Wang J, Duan L, Yang Y. An improvement crossover operation method in genetic algorithm and spatial optimization of heliostat field. *Energy.* 2018; 155: 15-28.

[25] Pérez-Galarce F, Candia-Véjar A, Astudillo C, Bardeen M. Algorithms for the Minmax Regret Route problem with interval data. *Inf Sci.* 2018; 462: 218-241.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



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 تا کنون 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 بین المللی 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.saeed@gmail.com



مصطفی آدرسی دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی عمران (گرایش راه و ترابری) از دانشگاه تربیت مدرس و مدرک دکترای تخصصی از دانشگاه پلی تکنیک تورین ایتالیا می‌باشد. بعد از اتمام دوره دکتری از سال ۱۳۹۶ تاکنون در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی فعالیت دارند.

تاسیس و راه اندازی رشته حمل و نقل در هنرستان‌های کشور و تدوین کتب مختلف فنی برای هنرجویان این رشته محصل همکاری ایشان با



استکهلم کشور سوئد می‌باشد. از سال ۱۳۹۵ به عنوان استادیار در گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه دبیر شهید رجایی تهران مشغول به فعالیت بوده اند. ایشان تا کنون موفق به چاپ بیش از ۱۵ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین المللی شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند

از: ژئودزی هندسی، GNSS، هواشناسی مبتنی بر GNSS، آنالیز تغییر شکل سازه های 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

دفتر تدوین کتب درسی وزارت آموزش و پرورش بوده است. ایشان تاکنون موفق به چاپ بیش از ۳۵ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین المللی و همچنین تالیف ۴ کتاب شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: روسازی بتنی و آسفالتی، استفاده از مواد چند کاربردی در روسازی (خودترمیم شونده‌گی، خودحسگر، خودگرمایی)، تکنولوژی بتن، تثبیت و بهسازی راه.

Adresi, M. Assistant Professor at the Department of Geotechnical and Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

✉ m.adresi@sru.ac.ir

مسعود شیرازیان دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه برداری (گرایش ژئودزی - GNSS) از انستیتو تکنولوژی سلطنتی (KTH)

Citation (Vancouver): Behzadi S. Adresi M, Shirazian M. [A New Approach to Solve the Shortest Route in Urban Networks Based on Evolutionary Algorithms]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 11-20

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1939>



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

Optimum Identifications of Urban Deteriorated Texture Using GIS and Fuzzy Logic
(Case study: Iran Gas neighborhood, Qazvin city)M. Ebrahimi¹, A. Vafaeinejad^{*2}¹ Department of GIS and Remote Sensing, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran² Department of Geotechnical and Transportation Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 22 January 2023

Reviewed: 16 March 2023

Revised: 19 April 2023

Accepted: 13 June 2023

KEYWORDS:

AHP Model

Fuzzy Logic

Geo-Spatial Information System

Incompatible Blocks

Urban Deteriorated Texture

* Corresponding author

✉ a_vafaei@sru.ac.ir

☎ (+9821) 73932452

Background and Objectives: The urban deteriorated texture areas is without a doubt one of the most important challenges faced by urban areas and especially metropolises in recent decades and is considered one of the main concerns of urban management. By identifying the areas that need revitalization, reconstruction and improvement, it is possible to optimize the use of land in order to improve the quality of the neighborhood and create spatial justice, as well as prevent the linear growth of cities. Old textures of urban areas can affect social and economic activities. Therefore, urban deteriorated texture areas can affect citizens as one of the challenges of cities. The phenomenon of deteriorated texture in urbanization is considered as one of the challenges of advancing sustainable urban development. This happens for several reasons, the most important of which is the reliance on traditional and insufficient monitoring and classification tools. Despite the increasing number of these areas, sufficient efforts are not made for spatial monitoring and classification of these areas. The process of monitoring and classifying these areas is considered as the first step. This study is presented with the aim of determining the optimal use of the urban deteriorated texture areas in order to improve the physical appearance of the city, reduce traffic, improve the environmental conditions, increase the standard of living of the people, and provide all citizens with welfare, educational, and medical services, as well as adequate security.

Methods: In this study, by using cost optimization algorithms and AHP multi-criteria decision making model and integrating it into GIS system, it has been used to identify and prioritize the intervention in the blocks and urban deteriorated texture neighborhoods of Iran Gas in Qazvin city based on predetermined criteria. At first, we got a full understanding of the characteristics of this section to compare it with the whole city. In order to identify the criteria used in this research, we examined the main location factors for Irangaz neighborhood of Qazvin city. Then, the amount of urban deteriorated texture in Iran Gas neighborhood was calculated in two different dimensions of physical and functional urban deteriorated texture and the existing land use was evaluated. Finally, by identifying the incompatible blocks and the optimal blocks, the required maps for the management of urban deteriorated texture were produced.

Findings: In the study area, the urban deteriorated texture areas are monitored and classified into 4 classes: no deteriorated texture (zero to 50%), low deteriorated texture (50 to 65%), moderate deteriorated texture (65 to 80% wear) and high deteriorated texture (over 85%). The results showed that there are rarely blocks without urban deteriorated texture in this area, and by examining the causes of urban deteriorated texture, which were mainly the incompatibility of uses, the current situation should be re-evaluated.

Conclusion: In general, most of the tissues of the studied area have suffered urban deteriorated texture in recent years due to lack of planning and management, which is very important to prevent the aggravation of this problem and its impact on the neighboring tissues. Therefore, in order to achieve this goal, it is very important to collect information on the areas that are prone to urban deteriorated texture and to monitor the areas that are subject to urban deteriorated texture.



NUMBER OF REFERENCES
30



NUMBER OF FIGURES
7



NUMBER OF TABLES
2

مقاله پژوهشی

شناسایی کاربری‌های بهینه اراضی بافت فرسوده شهری با استفاده از GIS و منطق فازی (مطالعه موردی: محله ایران گاز، شهر قزوین)

محبوبه ابراهیمی^۱، علیرضا وفائی نژاد^{۲*}

^۱ گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

^۲ گروه مهندسی ژئوتکنیک و حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: بافت فرسوده، بدون شک یکی از مهم‌ترین چالش‌های فراروی غالب شهرها و به طور خاص کلان‌شهرها طی دهه‌های اخیر است و از دغدغه‌های اصلی مدیریت شهری، محسوب می‌شود. با شناسایی محدوده‌های نیازمند احیا، بازسازی و بهسازی می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب، اقدام به بهینه‌سازی کاربری اراضی در جهت بالابردن کیفیت محله و ایجاد عدالت فضایی و همچنین، جلوگیری از رشد خطی شهرها اقدام نمود. بافت‌های قدیمی مناطق شهری، می‌توانند بر فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی تأثیر بگذارند. از این رو، مناطق فرسوده شهری به عنوان یکی از چالش‌های شهرها می‌توانند شهروندان را تحت تأثیر قرار دهند. پدیده فرسودگی شهری در شهرنشینی، به عنوان یکی از چالش‌های پیشروی توسعه پایدار شهری، محسوب می‌شود. این امر، به دلایل متعددی رخ می‌دهد که مهم‌ترین آن‌ها، اتکا به ابزارهای سنتی و ناکافی نظارت و طبقه‌بندی است. علیرغم افزایش روزافزون این مناطق، تلاش‌های کافی برای پایش مکانی و طبقه‌بندی میزان فرسودگی این مناطق، صورت نمی‌گیرد. فرآیند پایش و طبقه‌بندی این مناطق، به عنوان اولین گام در نظر گرفته می‌شود. تحقیق حاضر، با هدف تعیین بهینه کاربری اراضی بافت فرسوده شهری در جهت بهبود سیمای کالبدی شهر، کاهش ترافیک، بهبود شرایط زیست‌محیطی، افزایش سطح زندگی مردم، بهره‌مندشدن تمامی شهروندان از خدمات رفاهی، آموزشی، درمانی و همچنین، امنیت کافی ارائه شده است.

روش‌ها: در این مقاله، با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی $Cost$ و مدل تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و تلفیق آن در سامانه GIS برای شناسایی و اولویت‌بندی مداخله در بلوک‌ها و محله فرسوده شهری ایران گاز در شهر قزوین، بر اساس معیارهای از پیش تعیین شده، بهره گرفته شده است. در ابتدا، درک کاملی از ویژگی‌های این بخش، برای مقایسه آن با کل شهر، پیدا کردیم. برای شناسایی معیارهای مورد استفاده در این تحقیق، عوامل اصلی مکانی را برای محله ایران گاز شهر قزوین، بررسی کردیم. سپس، میزان فرسودگی در محله ایران گاز در دو بعد مختلف فرسودگی کالبدی و فرسودگی عملکردی محاسبه شد و کاربری اراضی موجود، مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، با شناسایی بلوک‌های ناسازگار و بلوک‌های بهینه، نقشه‌های مورد نیاز جهت مدیریت بافت فرسوده، تولید گردید.

یافته‌ها: در منطقه مورد مطالعه، مناطق فرسوده پایش و به ۴ کلاس فاقد فرسودگی (صفر تا ۵۰ درصد فرسوده)، فرسودگی کم (۵۰ تا ۶۵ درصد فرسوده)، فرسودگی متوسط (۶۵ تا ۸۰ درصد فرسوده) و فرسودگی زیاد (بالای ۸۵ درصد فرسوده)، طبقه‌بندی شده است. نتایج، نشان داد که بلوک‌های فاقد فرسودگی در این منطقه، به‌ندرت وجود دارد و با بررسی علل فرسودگی که عمدتاً ناسازگاری کاربری‌ها بوده است، وضع موجود باید، مورد ارزیابی مجدد قرار گیرد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، اغلب بافت منطقه مورد مطالعه در طول سالیان اخیر به‌دلیل عدم برنامه‌ریزی و مدیریت، دچار فرسودگی شده‌اند که جلوگیری از تشدید این مسئله و تأثیر آن، بر روی بافت‌های همجوار، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از این رو، جهت دستیابی به این مهم، برداشت اطلاعات مناطقی که مستعد فرسودگی بوده و یا این‌که دچار فرسودگی شده‌اند و نیز، پایش مناطقی که در معرض فرسودگی قرار دارند، بسیار حائز اهمیت است.

تاریخ دریافت: ۰۲ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۲۵ اسفند ۱۴۰۱
تاریخ اصلاح: ۳۰ فروردین ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۳ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

بافت فرسوده
بلوک‌های ناسازگار
سامانه اطلاعات مکانی
مدل AHP
منطق فازی

* نویسنده مسئول
a_vafaei@sbu.ac.ir
① ۷۳۹۳۲۴۵۲-۰۲۱

مقدمه

امروزه، در پی تغییرات سریع شهرها، بخشی از بافت‌های شهری به علت فرسودگی و ناکارآمدی، نتوانسته‌اند رابطه‌ای مناسب با محیط پیرامون خود و خدمات دهی به بهره‌برداران برقرار کنند [۱-۳]. از این رو، نیاز به مداخله در این گونه بافت‌ها، با توجه به ایجاد خط مشی‌هایی در برنامه‌ریزی و طراحی فضاهای مناسب با فعالیت‌های مردم، امری ضروری است [۴]. یکی از مشکلات اساسی و قدیمی شهرها در ایران که همیشه برنامه‌ریزان و مسئولان شهری را به چاره‌اندیشی واداشته، افت فیزیکی بخش‌های قدیمی و بافت‌های مسئله‌دار شهری یا بافت‌های بی کیفیت، در فضاهای شهری است که بر اثر عوامل بیرونی و درونی با مشکلات بی‌شماری مواجه‌اند و به مرور زمان، اصطلاحاً فرسوده شده‌اند. بنابراین، یکی از دغدغه‌های اصلی برنامه‌ریزان و طراحان شهری، برنامه‌ریزی، بهسازی، نوسازی و ساماندهی این قبیل بافت‌ها در کنار بافت‌های جدیدتر بوده است [۵، ۶].

ارزیابی موفقیت برنامه‌های موجود، در زمینه توسعه بافت‌های فرسوده شهر، عمدتاً حاکی از عدم کامیابی کامل این برنامه‌ها در دست یابی به اهدافشان، می‌باشد. از جمله دلایل این امر، فقدان جامعیت لازم در مطالعات و کمرنگ بودن نقش مباحث اجتماعی در پیشنهادات برنامه‌های مذکور و به‌خصوص، عدم توجه کافی و جدی این برنامه‌ها به نقش مردم و مشارکت ایشان در روند برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های توسعه شهری می‌باشد [۷-۹]. از آنجایی که شهرهای ایرانی با مسائل بسیاری از جمله مشکلات مربوط به بافت‌های مسئله‌دار و فرسوده مواجه هستند، ورود به این عرصه توسط نهادهای شهری مانند شهرداری و مسکن و شهرسازی به دلیل پیچیدگی‌های بسیار، کاری سخت و توأم با مخاطرات اجتماعی و اقتصادی است و از این رو، همراهی و مشارکت مردم می‌تواند به بهبود این فرآیند سخت، کمک شایانی نماید [۱۰].

نکته حائز اهمیت، این است که تراکم بالای جمعیتی و ساختمانی، شرایط نامطلوب اقتصادی، درآمد کم، بیکاری و فقر نسبی، شرایط نامساعد اجتماعی، عدم برخورداری از خدمات شهری، فرهنگی، درمانی و امنیت ناکافی و همچنین شرایط نامناسب سکونت و زیست محیطی در این بافت‌ها موجب کاهش سطح زندگی مردم و افزایش آسیب‌های اجتماعی در این محدوده‌ها می‌شود، در نتیجه به نظر می‌رسد که چگونگی شناسایی بافت‌های فرسوده و همچنین، نوسازی و تعیین کاربری بهینه آن‌ها، بسیار به بهبود شکل و ارتقای سطح زندگی مردم و کاهش آسیب‌های اجتماعی در این محدوده‌ها، کمک کند [۱۱-۱۳]. ضرورت ذکر شده، ایجاب می‌کند تا از طریق شناسایی و مداخلات صحیح که بر پایه اصول و معیارهای صحیح استوار است، مؤثرترین راه برای شناسایی این گونه بافت‌ها انتخاب شود و در بحث مداخله در اینگونه بافت‌ها، بهینه‌ترین راه به لحاظ اقتصادی در مقابل مدیران شهری قرار گیرد.

ابوراس و همکاران [۱۴]، روش‌های ارزیابی برای بازسازی بافت‌های فرسوده شهرهای بزرگ را بررسی کرده و اذعان داشته‌اند که مناطق

بزرگ شهری فرسوده، در بسیاری از شهرهای اروپا، دیده می‌شوند. خصوصاً، در مناطقی که انحطاط اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی به هم پیوسته و در سطح معنی‌داری، رخ می‌دهد. آن‌ها، برای شناخت دقیق این مشکلات به ارائه پرسشنامه با ۴ معیار زیست محیطی، اقتصادی، ساختاری/کالبدی و اجتماعی در ۶ شهر، اقدام نمودند که نتایج به‌دست آمده از این نظرسنجی در ۶ شهر، متفاوت بوده و هر شهر، درصد عوامل فرسودگی متفاوت‌تری را نسبت به شهر دیگر، نشان می‌دهد. فونسکا [۱۵] (لطفاً معادل انگلیسی نام نویسنده درج گردد) به شناسایی مفهوم طراحی شهری پایدار و بررسی فاکتورهای اساسی مورد نیاز، برای بهبود پایداری اجتماعی در پروژه‌های بهسازی و تجدید حیات شهری پرداخته‌اند. نتایج، نشان داد که باید ویژگی‌های مشخص طرح برای دستیابی به پایداری اجتماعی، همسو شوند. رضایت‌مندی از تقاضای نیازهای مرتبط با آسایش، حفظ و نگهداری منابع و محیط، ایجاد محیط زندگی هماهنگ، دسترسی آسان به عملکردهای زندگی روزانه، توسعه و در دسترس بودن فضاهای بازار از عوامل اساسی و مهم برای افزایش پایداری اجتماعی در پروژه‌های نوسازی شهری محلی محسوب می‌شوند.

وانگ و همکاران [۱۶] (معادل نام ...) به بررسی راهکارهای بهسازی و باززنده‌سازی نواحی مسکونی غیرمعمور و فرسوده، در شهر آنکارا پرداخته است و باززنده سازی و نوسازی این مناطق را، استراتژی فضایی جهت هویت بخشیدن به ساکنین این مناطق و افزایش تجهیزات مورد نیاز شهروندان، دانسته است. رحمت الله [۱۷]، برای تهیه یک نقشه آسیب پذیری از سیستم اطلاعات مکانی استفاده کرد. او در مدل خود، از اطلاعاتی نظیر توپوگرافی و محل گسل‌های منطقه، محل تأسیسات زیربنایی حساس، مانند نیروگاه‌های هسته‌ای، شبکه معابر و در نهایت، از پراکنش جمعیت برای مدل‌سازی آسیب‌پذیری، استفاده کرده است. طی سال‌های اخیر، بسیاری از محققین تلاش نموده‌اند تا از طریق کاربست مدل‌ها، معیارها و روش‌های مناسب، اقدام به شناسایی و اولویت بندی مداخله این گونه بافت‌ها نمایند [۱۸-۲۲].

عوامل اجتماعی، اقتصادی و کالبدی هر جامعه، نقش تعیین کننده‌ای در میزان مداخله‌پذیری بافت‌های شهری دارد [۲۳-۲۵]. در روند برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌ها برای بافت‌های شهری، سه عامل اساسی تأثیرگذار خواهد بود: شناخت، تحلیل و تصمیم‌گیری برای پیشنهادات [۲۶]. اهمیت ساماندهی بافت‌های فرسوده و ناکارآمد شهری به اندازه‌ای است که دولت، از برنامه سوم توسعه به نوسازی آن‌ها به صورت شفاف، اشاره کرده و در قانون برنامه پنجم توسعه نیز، به وضوح، دستگاه‌های متولی را موظف به نوسازی و تعیین کاربری بهینه آن‌ها کرده است. در نتیجه، شناسایی بافت فرسوده و تعیین کاربری بهینه آن، از اولویت‌های مهم سیستم مدیریت شهری، در کشور می‌باشد. شورای عالی معماری و شهرسازی، در خصوص معیارهای فرسودگی بافت‌های شهری، تنها بر ریزدانی، نفوذ ناپذیری و ناپایداری بیش از نیمی از بناها و معابر بلوک‌های شهری، اشاره کرده است ولی این عوامل، به تنهایی عامل

مکانی سازمان‌های ذیربط از جمله شهرداری، سازمان مسکن و شهرسازی و مرکز آمار ایران مربوط به سال ۱۳۹۰ بهره گرفته شده است (جدول ۱).

بخش دوم، مربوط به مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم چند معیاره (MCDM) می‌باشد که در این بخش، تمامی معیارها با استفاده از مدل AHP وزن‌دهی می‌شوند و وزن نهایی هر یک از معیارها، محاسبه می‌گردد [۲۰]. بخش سوم، مربوط به آماده‌سازی داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS، بهره‌گیری از منطق فازی، روی هم‌گذاری و یافتن تأثیر وزن هریک از معیارها در لایه‌های مربوطه خود و تولید نقشه نهایی فرسودگی، بر اساس مدل AHP خواهد بود. در نهایت، بخش چهارم، مربوط به تهیه برنامه و ارائه پیشنهادات در بهبود وضعیت بافت‌های فرسوده شهری با توجه به معیارهای بهینه انتخاب اراضی کاربری مسکونی می‌باشد (شکل ۲).

فرسودگی، فقط در فرم و کالبد شهر پدید نمی‌آید، چه بسا که یک بافت به لحاظ کالبد نو و بدون فرسودگی و مشکل باشد، ولی به لحاظ ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی، فرسوده و دارای مشکل باشد. در مطالعه حاضر، از ۱۵ شاخص در دو دسته کالبدی و عملکردی، برای شناسایی و اولویت‌بندی بلوک‌های فرسوده محدوده محله ایران گاز، بهره گرفته شده است (شکل ۳).

از آنجایی که ماهیت داده‌ها و میزان فرسودگی، به گونه‌ای است که نمی‌توان گفت که در یک منطقه، فرسودگی هست و در منطقه دیگر، فرسودگی وجود ندارد، بلکه فرسودگی به صورت یک طیف پیوسته در سراسر پهنه محله وجود دارد، باید از منطق فازی در آن استفاده نمود. بنابراین، در مرحله روی هم‌گذاری لایه‌ها برای رسیدن به نقشه نهایی بافت فرسوده، لازم است تا لایه‌های اطلاعاتی، دارای شرایطی باشند که همه این شرایط، در مرحله فازی کردن لایه‌ها، در نظر گرفته شده است. برای نرمال‌سازی فازی داده‌ها، از روابط $ms\ small$ و $ms\ large$ استفاده شده است.

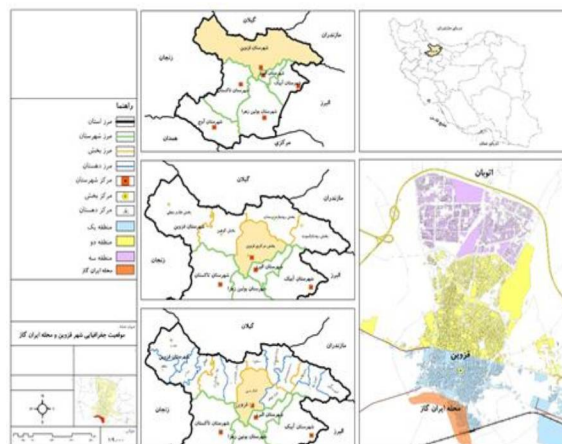
نتایج

در ابتدا، میزان فرسودگی در محله ایران گاز، در دو بعد مختلف فرسودگی کالبدی و فرسودگی عملکردی، محاسبه شده است تا تأثیرات ناشی از فرسودگی در کالبدی و عملکردی و عملکردهای عملکردی و کالبدی به صورت جدول ۲، می‌باشد. در نقشه میزان فرسودگی محله ایران گاز، اهمیت معیارهای عملکردی در شناسایی پهنه‌های فرسوده، بیش‌تر نمایان می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از مدل AHP، نشان داد که عوامل عملکردی اجتماعی و اقتصادی نظیر بیکاری، بی‌سوادی و مهاجرت، می‌تواند تأثیر بیشتری در فرسودگی بافت‌های شهری نسبت به معیارهای کالبدی، داشته باشد چرا که یک بافت شهری، هرچند که جدید و نوساز باشد ولی ساکنین آن، از ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی مطلوبی بهره‌مند نباشند، می‌توانند محله یا شهر خود را در کوتاه‌ترین زمان ممکن، به سوی فرسودگی سوق دهند.

فرسودگی نیستند، بلکه عوامل دیگر اقتصادی و اجتماعی، روند فرسودگی بافت‌های شهری را، فرونی می‌بخشند. از این رو، در این تحقیق، علاوه بر عوامل مصوبه شورای عالی معماری و شهرسازی، از عوامل کالبدی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی دیگری نیز، در بررسی بافت‌های فرسوده، بهره گرفته شده تا به ارائه یک مدل جامع تصمیم‌گیری در زمینه احیای بافت‌های فرسوده با پیاده سازی در شهر قزوین، منجر شود. همچنین، معیارهای فرسودگی ارائه شده، با استفاده از مدل AHP ، $Topsis$ و منطق فازی، مورد مطالعه، بررسی و مقایسه قرار می‌گیرند و در نهایت، خروجی داده‌ها در مقایسه با یکدیگر، تحلیل شده و بهترین و موثرترین روش مداخله، به لحاظ هزینه‌ای در بررسی بافت‌های فرسوده، شناسایی می‌شود.

روش تحقیق

محله ایران گاز در شهر قزوین، با جمعیتی بالغ بر ۳۱۴۰ نفر و مساحتی معادل ۴۶۶۳۱۲ مترمربع، در ورودی شهر از سمت جاده بویین زهرا و از سمت جنوب و غرب، به جاده نسیم شمال و باغات سنتی محدود می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت محله ایران گاز و شهر قزوین
Fig. 1: The location of Iran Gas neighborhood and Qazvin city

به منظور دستیابی به شاخص‌های مؤثر در جهت بهبود وضعیت بافت‌های فرسوده با توجه به معیارهای مؤثر در انتخاب اراضی مناسب سکونت در پهنه‌بندی بافت‌های فرسوده محله ایران گاز قزوین، از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، بهره گرفته شده است. مراحل کار را، می‌توان به چهار بخش کلی، تقسیم بندی نمود [۲۷-۲۹]. بخش اول شامل شناخت، تعریف، تعیین و جمع‌آوری داده‌ها است که در آن، می‌بایست داده‌های مورد نیاز، جمع‌آوری شوند. به منظور اجرای مدل، ابتدا معیارهای شناسایی پهنه‌های فرسوده شهری تعریف شده، سپس از میان معیارهای تعریف شده، سعی گردیده است تا بیشترین معیارهایی که در دسترس بوده است، به کار گرفته شود. همچنین، برای جمع‌آوری داده‌ها، از روش‌هایی مانند برداشت میدانی برای آمار و اطلاعات مکانی و داده‌های

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در تحقیق

Table 1: Datasets used in the research

سال Year	داده Dataset	شاخص Index
1395	اطلاعات توصیفی و مکانی شهر قزوین-پارسل Descriptive and locational information of Qazvin-Parsel city	قدمت بالای ابنیه (ناپایداری) High age of the building (instability)
		سازه ناپایدار ابنیه (ناپایداری) unstable building structure (instability)
		کیفیت پایین ابنیه (ناپایداری) Low building quality (instability)
1395	اطلاعات بلوکی شهر قزوین Block information of Qazvin city	عدم پوشش شبکه مخابرات Lack of telecommunication network coverage
		عدم پوشش شبکه گاز Lack of gas network coverage
		عدم پوشش شبکه برق Lack of power network coverage
1395	اطلاعات بلوکی شهر قزوین Block information of Qazvin city	عدم پوشش شبکه آب Lack of water coverage network
		عدم پوشش شبکه فاضلاب Lack of sewage network coverage
1395	اطلاعات توصیفی و مکانی معابر شهر قزوین Descriptive and locational information of the roads of Qazvin city	وجود معابر بن بست The existence of dead ends
		وجود معابر با عرض کم (نفوذناپذیری) The existence of passages with a small width (impenetrability)
1395	اطلاعات توصیفی و مکانی شهر قزوین-پارسل Descriptive and locational information of Qazvin-Parsel city	مساحت زیر ۲۰۰ متر (ریزدانگی) Area below 200 meters (smallness)
		ناسازگاری کاربری User incompatibility
1395	اطلاعات بلوکی شهر قزوین Block information of Qazvin city	مهاجرپذیری زیاد High immigration
		نرخ بی‌سوادی Illiteracy rate
		میزان بیکاری Unemployment rate

جدول ۲: وزن‌های مربوط به معیارهای عملکردی و کالبدی

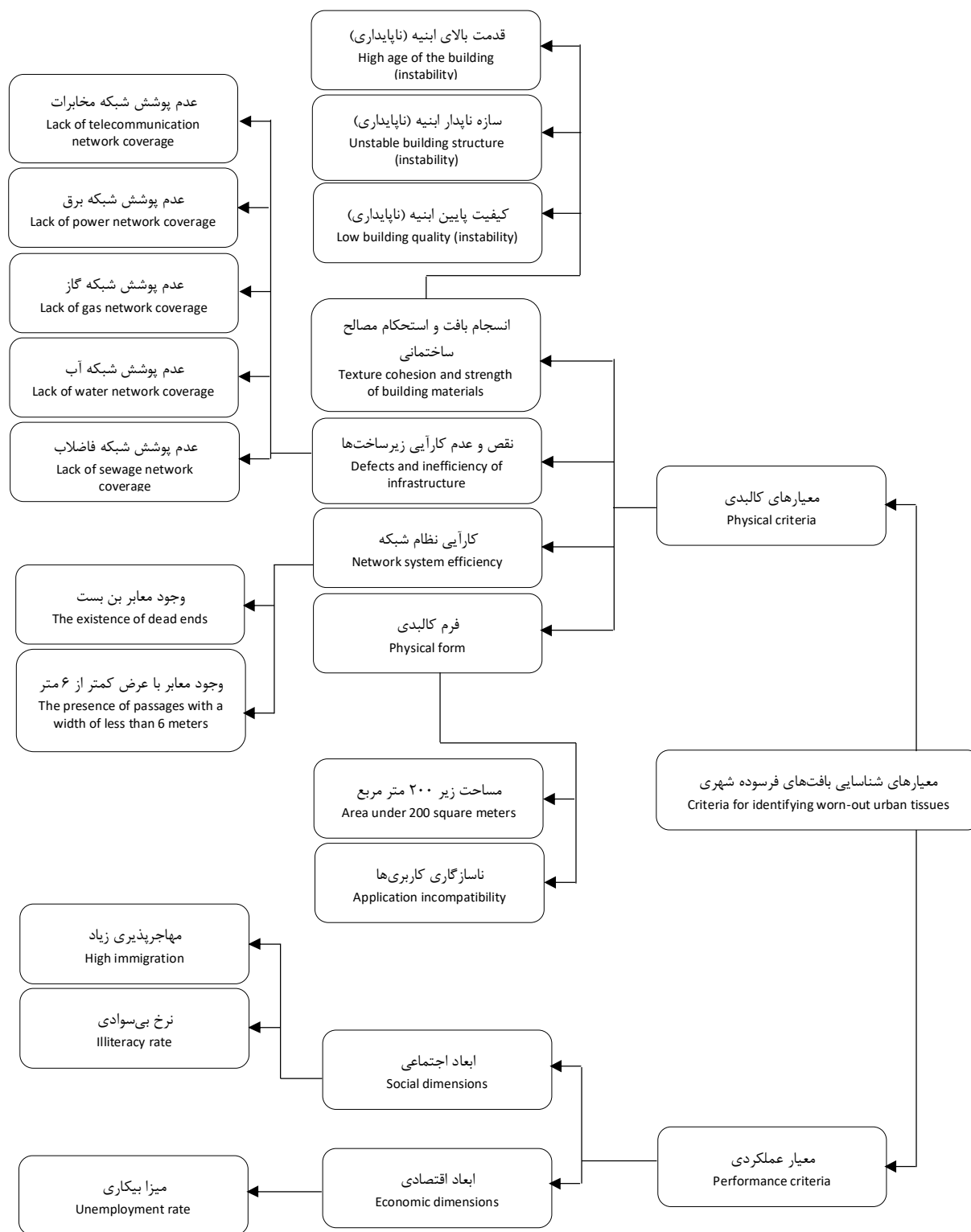
Table 2: Weights related to functional and physical functions

وزن Weight	نام معیار Criterion name
0.065	بیکاری Unemployment
0.073	شبکه برق Electricity network
0.106	شبکه آب Water network
0.077	شبکه گاز Gas network
0.047	شبکه تلفن Telephone network
0.028	شبکه فاضلاب Sewer network
0.039	بن بست Deadend
0.046	زیر ۶ متر Under 6 meters
0.28	زیر ۲۰۰ متر Under 200 meters
0.049	سازگاری کاربری User compatibility
0.036	مهاجرت Migration
0.1	کیفیت سازه The quality of the structure
0.139	ساختمان نوساز Newly built building
0.084	ساختمان فرسوده Dilapidated building
0.083	بی‌سوادی Illiteracy
1	مجموع Total



شکل ۲: فلوچارت انجام مراحل تحقیق

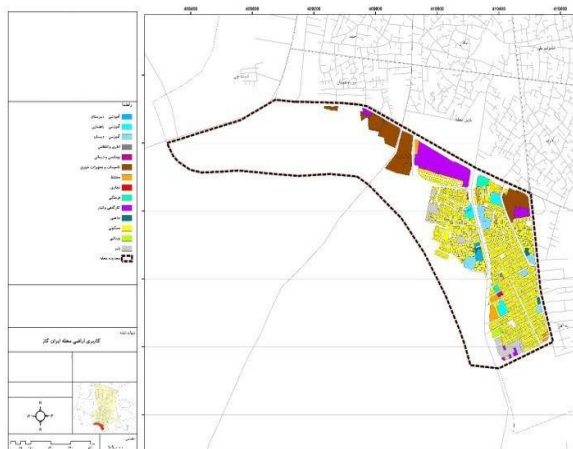
Fig. 2: Flowchart of the research process



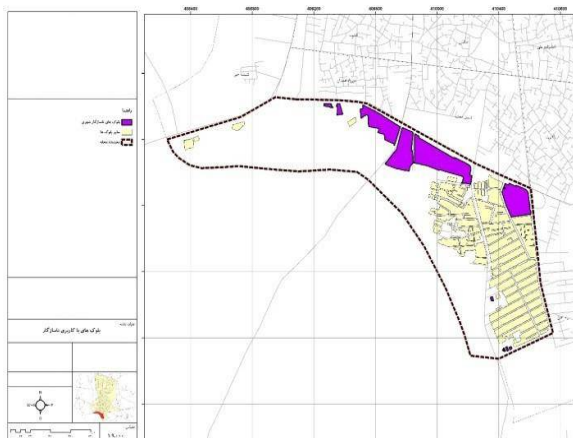
شکل ۳: معیارهای شناسایی بافت فرسوده در محدوده مورد نظر

Fig. 3: Criteria for identifying worn-out urban textures

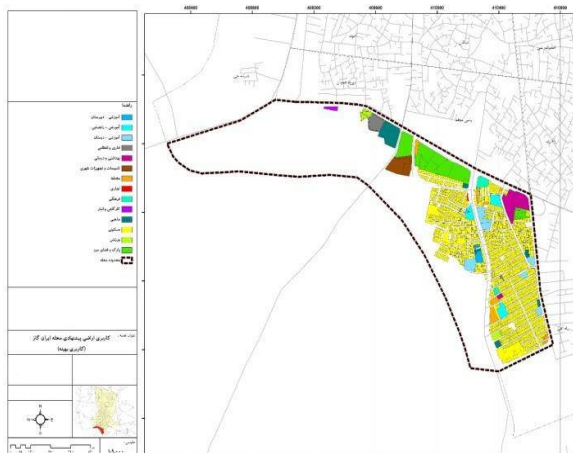
کاربری‌ها در کنار یکدیگر، فرسودگی بافت محله و بلوک‌های آن کاهش یابد.



شکل ۵: کاربری اراضی موجود در محله ایران گاز شهر قزوین
Fig. 5: Existing land use in Iran Gas neighborhood in Qazvin city

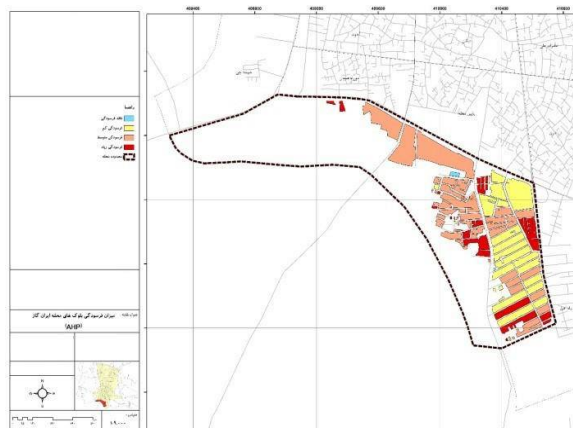


شکل ۶: بلوک‌های ناسازگار در محله ایران گاز شهر قزوین
Fig. 6: Incompatible blocks in Iran Gas neighborhood in Qazvin city



شکل ۷: بلوک‌های بهینه در محله ایران گاز شهر قزوین
Fig. 7: Optimum blocks in Iran Gas neighborhood in Qazvin city

با توجه به شکل ۴، تقریباً بخش عمده محله دچار فرسودگی متوسط می‌باشد که این، زنگ خطری برای محله می‌باشد، تعدادی از بلوک‌ها نیز دچار فرسودگی زیاد می‌باشد. با توجه به این که بلوک‌هایی فرسوده می‌باشند که بیش از ۵۰ درصد آن دچار فرسودگی باشند، نقشه نهایی فرسودگی به چهار کلاس فاقد فرسودگی (صفر تا ۵۰ درصد فرسوده)، فرسودگی کم (۵۰ تا ۶۵ درصد فرسوده)، فرسودگی متوسط (۶۵ تا ۸۰ درصد فرسوده) و فرسودگی زیاد (بالای ۸۵ درصد فرسوده) طبقه‌بندی شده است. همچنین، از آن جایی که تمامی تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌های مدون شهرداری، در بخش بافت‌های فرسوده در مقیاس محله دیده می‌شوند، نیاز است که محله‌های شهر به لحاظ درجه فرسودگی شناسایی و رتبه‌بندی گردند.



شکل ۴: میزان فرسودگی بلوک‌ها در محله ایران گاز شهر قزوین بر اساس مدل AHP
Fig. 4: The level of worn-out texture of urban blocks in Iran Gas neighborhood in Qazvin city using AHP model

بدین ترتیب، بلوک‌های فاقد فرسودگی (نوساز)، بسیار کم بوده و با بررسی علل فرسودگی، که عمدتاً ناسازگاری کاربری‌ها بوده است، به بررسی وضع موجود کاربری‌ها، پرداخته می‌شود و سپس، با تعیین بلوک‌های ناسازگار، پیشنهاداتی جهت بهینه‌سازی کاربری‌ها، ارائه شده است. شکل ۵ کاربری‌های وضع موجود را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

پس از مشخص شدن بلوک‌های فرسوده و میزان فرسودگی آن‌ها، بلوک‌های ناسازگار با بافت در مقیاس محله در شکل ۶، تعیین شده است. در نهایت، کاربری‌های بهینه محله ایران گاز در جهت افزایش کیفیت محله و کاهش میزان فرسودگی از طریق شاخص‌های بهینه‌سازی کاربری اراضی، همچنین بر اساس فرسودگی محله، کاربری‌های وضع موجود و بلوک‌های ناسازگار، مطابق شکل ۶ پیشنهاد می‌گردد.

در نقشه پیشنهادی کاربری بهینه، با توجه به کاربری‌های وضع موجود و میزان کمبود سطح و سرانه و همچنین، ناسازگاری کاربری‌ها در کنار یکدیگر، برخی از اراضی با کاربری‌های بایر، تأسیسات و تجهیزات، کارگاهی و انبار، جای خود را به کاربری‌های مسکونی، پارک و فضای سبز، اداری و انتظامی، مذهبی و ورزشی داده‌اند تا با سازگاری این

[3] Yalcin G, Selcuk O. 3D City Modelling with Oblique Photogrammetry Method. *Procedia Technol.* 2015;19: 424–31.

[4] 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.

[5] Soufi M, Behzadi S, Aghamohammadi H. Developing a Baseline Approach for Modeling Land use Change. *Journal of Geomatics Science and Technology.* 2018;7(4): 103–18. Persian.

[6] Yeo IA, Yee JJ. Development of an automated modeler of environment and energy geographic information (E-GIS) for ecofriendly city planning. *Autom Constr.* 2016;71(Part 2): 398–413.

[7] Pradhan B, Moneir AAA, Jena R. Sand dune risk assessment in Sabha region, Libya using Landsat 8, MODIS, and Google earth engine images. *Geomatics, Nat Hazards Risk.* 2018;9(1): 1280–1305.

[8] Sun B, Qian J, Qu K, Draper GM. Heuristic decision tree model for ecological urban green space network construction. *J Intell Fuzzy Syst.* 2019;37(1): 79–86.

[9] Karteris M, Slini T, Papadopoulos AM. Urban solar energy potential in Greece: A statistical calculation model of suitable built roof areas for photovoltaics. *Energy Build.* 2013;62: 459–68.

[10] Hanoon SK, Abdullah AF, Shafri HZM, Wayayok A. Urban Growth Forecast Using Machine Learning Algorithms and GIS-Based Novel Techniques: A Case Study Focusing on Nasiriyah City, Southern Iraq. *ISPRS Int J Geo-Information.* 2023;12(2).

[11] Aklibasinda M, Ozdarici Ok A. Determination of the urbanization and changes in open-green spaces in Nevsehir city through remote sensing. *Environ Monit Assess.* 2019;191(12): 1–10.

[12] Ambugadu AM, Hosni N. Identifying Informal Settlements in Satellite Images for Sustainable Urban Planning: a Systematic Review of Methods Available. *J Inf Syst Technol Manag.* 2022;7(25): 102–119.

[13] Bremer M, Mayr A, Wichmann V, Schmidtner K, Rutzinger M. A new multi-scale 3D-GIS-approach for the assessment and dissemination of solar income of digital city models. *Comput Environ Urban Syst.* 2016;57: 144–154.

[14] Aburas MM, Abdullah SHO, Ramli MF, Asha'Ari ZH. Land Suitability Analysis of Urban Growth in Seremban Malaysia, Using GIS Based Analytical Hierarchy Process. *Procedia Engineering.* 2017; 1: 1128–1136.

[15] Fonseca FT, Egenhofer MJ, Davis CA, Borges KAV. Ontologies and knowledge sharing in urban GIS. *Comput Environ Urban Syst.* 2000;24(3):251–72.

[16] Wang Y, Ni Z, Chen S, Xia B. Microclimate regulation and energy saving potential from different urban green infrastructures in a subtropical city. *J Clean Prod.* 2019;226: 913–927.

[17] Arefiev N, Terleev V, Badenko V. GIS-based fuzzy method for urban planning. In: *Procedia Engineering.* 2015. p. 39–44.

نتیجه‌گیری

این تحقیق، بر پایش مکانی دقیق مناطق فرسوده شهری و طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس مجموعه‌ای از شاخص‌های جامع که شامل بخش‌های مختلف توسعه پایدار با استفاده از GIS و مدل AHP است، متمرکز شده است. این کار، برای درک ویژگی‌های مختلف مناطق فرسوده و الگوهای مختلف شهری با طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس شاخص‌های فرسودگی است که می‌تواند به سایر شهرهای کشور تعمیم یابد. در محله ایران گاز شهر قزوین، مناطق فرسوده پایش و به ۴ کلاس فاقد فرسودگی (صفر تا ۵۰ درصد فرسوده)، فرسودگی کم (۵۰ تا ۶۵ درصد فرسوده)، فرسودگی متوسط (۶۵ تا ۸۰ درصد فرسوده) و فرسودگی زیاد (بالای ۸۵ درصد فرسوده) طبقه‌بندی شده است. این طبقه‌بندی، به ارائه راهبردهای مداخله متفاوت برای جلوگیری از بروز آسیب‌های احتمالی، کمک می‌کند. همچنین، نتایج نشان داد که بلوک‌های فاقد فرسودگی (نوساز) بسیار کم بوده و با بررسی علل فرسودگی که عمدتاً ناسازگاری کاربری‌ها بوده است، وضع موجود مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت، تا به اجرای طرح جامع بافت فرسوده و دستیابی به پایداری برای بهبود کیفیت زندگی در این محله، کمک شود. همچنین، از مدل پیشنهادی برای پیش بینی مناطقی که در مسیر فرسودگی قرار دارند، در نظر گرفت که به اتخاذ اقدامات پیشگیرانه برای محدود کردن افزایش فرسودگی شهری در سطح شهر کمک می‌کند. البته، این تحقیق، به عواملی که به فرسودگی شهری با الگوهای متفاوت آن منجر می‌شود، و همچنین، اثرات ناشی از آن نپرداخته است و پیشنهاد می‌شود، در تحقیقات آتی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مشارکت نویسندگان

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

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از کلیه عزیزانی 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] Daqamseh S. Land Use Land Cover of an Urban Area using Remote Sensing (Texture Analysis Applications) and GIS - A Case Study of Central Region of Almadinah Almunawarah, Saudi Arabia. *Int J Adv Remote Sens GIS.* 2017;6(1): 2114–23.

[2] Mobaraki O, Ahmadi J. Urban Regeneration and Reuse of Urban Spaces. the Case of Metropolitan Tabriz, Iran. *Rom J Geogr.* 2022;66(2): 197–213.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



محبوبه ابراهیمی دارای مدرک کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (گرایش شهری و روستایی) از دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات و مدرک کارشناسی رشته کارتوگرافی می‌باشد. ایشان از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ با شرکت

نقش نگار و همچنین شرکت راه آهن شهری تهران و حومه همکاری داشته و از سال ۱۴۰۰ به عنوان استاد حق‌التدریس در دانشگاه آزاد واحد یادگار امام (ره) مشغول به تدریس می‌باشد. زمینه تحقیقاتی کنونی ایشان موضوعات مرتبط با سنجش از دور می‌باشد.

Ebrahimi, M. Department of GIS and Remote Sensing, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran

✉ mahboobe20ebrahimi@gmail.com



علیرضا وفائی نژاد دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه‌برداری (گرایش سیستم اطلاعات مکانی) از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد. ایشان در حال حاضر به عنوان دانشیار در دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط

زیست دانشگاه شهید بهشتی مشغول فعالیت بوده و تاکنون بیش از ۳۵ مقاله در نشریات معتبر بین المللی، ۷۰ مقاله در نشریات معتبر داخلی و ۵۰ مقاله در کنفرانس‌های داخلی و بین‌المللی ارائه نموده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: سیستم‌های اطلاعات مکانی هوشمند، بهینه‌سازی با سیستم‌های اطلاعات مکانی و کاربردهای سیستم‌های اطلاعات مکانی در منابع آب و مدیریت بحران.

Vafaeinejad, A. Associate Professor at the Department of Geotechnical and Transportation Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ a_vafaei@sbu.ac.ir

[18] Jiang B, Claramunt C, Klarqvist B. Integration of space syntax into GIS for modelling urban spaces. *ITC J.* 2000;2(3-4): 161-171.

[19] Okunuki KI. Urban analysis with GIS. *GeoJournal.* 2000;52(3): 181-188.

[20] Jiang B, Claramunt C. Integration of space syntax into GIS: New perspectives for urban morphology. *Trans GIS.* 2002;6(3): 295-309.

[21] Lad KS, Petkar AS. Assessing transformations in peri-urban areas using GIS: A case of Pune city, India. *GeoScape.* 2022;16(1): 80-92.

[22] Xhafa S, Kosovrasti A. Geographic Information Systems (GIS) in Urban Planning. *Eur J Interdiscip Stud.* 2015;1(1):85.

[23] Lebedeva O, Dzhevakhadze A. Transport Planning and Gis Technology Integration in Urban Environment. *Bull Angarsk State Tech Univ.* 2022;1(15): 145-149.

[24] Oh K, Jeong S. Assessing the spatial distribution of urban parks using GIS. *Landsc Urban Plan.* 2007;82(1-2): 25-32.

[25] Haidari Y, Rezaei MR, Abdouli F, Biglar A. Assessment of Revitalization town old texture With regard to sustainable development (Yazd city). *Sci J Manag Syst.* 2015;3(10): 55-77. Persian.

[26] Hejazi A, Khodaie Geshlag F, Khodaie Geshlag L. Zoning the villages at flood risk in the Varkesh-Chai drainage basin by GIS and HEC - RAS software and HEC- GEO - RAS extension. *J Appl Res Geogr Sci.* 2019;19(53): 137-155. Persian.

[27] Pilehvar AA, Hoseini G. Assessment and Zoning of Bojnord City in Terms of Seismic Hazards. *Iran J Sci Technol - Trans Civ Eng.* 2020;44(2): 501-511.

[28] Mohammadi sarin dizaj mehdi, ahadnejad roshti mohsen. The evaluation of the urban fabric resiliency against earthquake risk Case Study: Zanjan. *J Spat Anal Environ Hazarts.* 2016;3(1): 103-114. Persian.

[29] Yariyan P, Ali Abbaspour R, Chehreghan A, Karami MR, Cerdà A. GIS-based seismic vulnerability mapping: a comparison of artificial neural networks hybrid models. *Geocarto Int.* 2022;37(15): 4312-4335.

[30] Kapilan S, Elangovan K. Potential landfill site selection for solid waste disposal using GIS and multi-criteria decision analysis (MCDA). *J Cent South Univ.* 2018;25(3): 570-85.

Citation (Vancouver): Ebrahimi M, Vafaeinejad A. [Optimum Identifications of Urban Deteriorated Texture Using GIS and Fuzzy Logic (Case study: Iran Gas neighborhood, Qazvin city)]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 21-30

<https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1946>



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

Performance Evaluation of CubeSats for Remote Sensing Missions: A Review

M. Nasiri Sarvi^{*1}, H. Mahdipour²

¹ Department of Satellite Engineering, School of Advanced Technologies, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran

² Department of Electrical Engineering, University of Oviedo, Gijón, Spain

ABSTRACT

Received: 09 February 2023
Reviewed: 17 April 2023
Revised: 08 May 2023
Accepted: 10 June 2023

KEYWORDS:

CubeSat
Earth Observation Missions
Remote Sensing
Space Technology
Satellite Engineering

* Corresponding author

mnasiri@iust.ac.ir

(+9821) 73225800

Background and Objectives: Remote sensing includes collecting information about the physical, chemical and biological characteristics of targets on the surface of the earth. In the last decade, Cube Satellites (CubeSats) have been transformed from pure educational tools to standard and inexpensive platforms for technology demonstration and placement of scientific-research payloads in Earth's orbit. Cubesat is a type of Nanosatellite consisting of cube-shaped units measuring $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ and weighing around 1.300 kg. The use of Nanotechnology for miniaturization of space-quality electronic components, cost and time reduction for the development of technologies related to the construction of satellite bus, and the possibility of placing a constellation of Cubesats in orbit with only one launch are among the advantages that companies and It has encouraged space organizations to design and build such satellites.

Methods: In this study, the technical characteristics, capabilities, applications and limitations of Cubesats for earth observation missions are reviewed, so that by evaluating these missions, a clear perspective can be imagined for the future of remote sensing applications for our country. In the beginning, a report on the development and new missions of spacecrafts of space organizations, universities and private companies is presented. After a comprehensive review on the capabilities of the Cubesats base and its potential limitations and effects on earth observation missions, the applications of the Cubesats are discussed. Finally, the results are compared with the technical requirements of earth observation missions and the capability of Cubesats satellites to perform these missions is evaluated. Thus, the possibility of carrying out several earth observation missions by Cubesats satellites has been identified, which are potentially compatible with the capabilities of this type of satellites.

Findings: Cubesats constellation transfer a large volume of satellite images to the ground stations, which produce remote sensing big data and therefore requires the use of artificial intelligence to calculate, process and store them. Low price, small dimensions, manufacturing and development cycle in a short time and reducing the revisit time are one of the most important advantages of Cubesats, which have enabled the monitoring of natural hazards and continuous monitoring of the environment. In addition to the simple architecture and the reduction of the development and launch costs of spacecraft, the need for less investment has made it possible for private companies and universities to participate in space missions. Unlike to the strengths of the Earth observation satellite constellations, we can mention the low radiometric resolution, the reduction of the signal-to-noise ratio and, as a result, the reduction of image quality in non-solar orbits, low spectral resolution and dependence on satellite and UVA images pointed out as their current weaknesses.

Conclusion: Real-time monitoring of natural disasters, forest fires, and flood mapping is one of the main applications of Cubesats images, which is possible due to high temporal resolution of Cubesats constellations. Also, desertification monitoring, drought monitoring, climate change monitoring and investigating its effects on the reduction of natural glaciers, tracking human activities and their environmental and economic effects, investigating light pollution in cities, expanding cities, estimating housing prices and monitoring marginalization in cities are other applications of Cubesats constellations. Currently, Cubesats images are used as a complement to the satellite images to improve the temporal resolution and to monitor specific areas in a specific time of the day and night.



NUMBER OF REFERENCES

46



NUMBER OF FIGURES

0



NUMBER OF TABLES

1

مقاله مروری

مروری بر ارزیابی عملکرد تاسواره‌ها در مأموریت‌های سنجش از دور

مهدی نصیری سروی^۱، هادی مهدی پور^۲^۱ گروه مهندسی ماهواره، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران^۲ گروه مهندسی برق، دانشگاه ابيه‌دو، خیخن، اسپانیا

چکیده

پیشینه و اهداف: سنجش از دور شامل جمع‌آوری اطلاعات در مورد ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی اهداف روی سطح زمین است. در دهه اخیر، تاسواره‌ها (CubeSats) از ابزارهای آموزشی محض به سکوها استاندارد و ارزان‌قیمت برای نمایش فناوری و قرارگیری محموله‌های علمی-تحقیقاتی در مدار زمین تبدیل شده‌اند. تاسواره، به نوعی از ماهواره‌های کوچک متشکل از واحدهای مکعب شکل در ابعاد $10 \times 10 \times 10$ سانتیمتر مکعب و وزنی در حدود $1/3$ کیلوگرم گفته می‌شود. استفاده از فناوری نانو برای کوچک‌سازی قطعات الکترونیکی با کیفیت فضایی، کاهش هزینه و زمان برای توسعه فناوری‌های مرتبط با ساخت محموله و باس ماهواره و امکان قرارگیری منظومه‌ای از ماهواره‌های تاسواره در مدار تنها با یک پرتاب، ازجمله مزایایی است که شرکت‌ها و سازمان‌های فضایی را نسبت به طراحی و ساخت این‌گونه ماهواره ترغیب نموده است.

روش‌ها: در این مطالعه، به مرور مشخصات فنی، توانایی‌ها، کاربردها و محدودیت‌های تاسواره برای مأموریت‌های مشاهدات زمین پرداخته می‌شود تا با ارزیابی این مأموریت‌ها بتوان چشم‌انداز روشنی برای آینده کاربری‌های سنجش از دور در کشور، متصور شد. در ابتدا، گزارشی از توسعه و مأموریت‌های جدید تاسواره‌های سازمان‌های فضایی، دانشگاه‌ها و شرکت‌های خصوصی ارائه می‌گردد. پس از مروری جامع با دید سامانه بر توانمندی باس تاسواره و محدودیت‌های بالقوه و اثرات آن بر روی مأموریت‌های مشاهدات زمین، به کاربردهای تاسواره پرداخته می‌شود. در نهایت، این نتایج با الزامات فنی مأموریت‌های مشاهدات زمین مقایسه شده و توانمندی ماهواره‌های تاسواره برای انجام این مأموریت‌ها ارزیابی می‌شود. بر این اساس، امکان انجام چندین مأموریت مشاهدات زمین توسط ماهواره‌های تاسواره شناسایی شده که به‌صورت بالقوه با توانمندی‌های این نوع ماهواره سازگار می‌باشند.

یافته‌ها: منظومه‌های تاسواره، حجم زیادی از تصاویر ماهواره‌ای را به زمین ارسال می‌کنند که خود موجب شکل‌گیری کلان داده سنجش از دوری شده و بنابراین نیازمند به‌کارگیری هوش مصنوعی برای محاسبه، پردازش و ذخیره کلان داده‌ها است. قیمت پایین، ابعاد کوچک، چرخه تولید و توسعه در زمان کوتاه و کاهش زمان دید مجدد، یکی از مهم‌ترین مزایای تاسواره‌ها است که پایش مخاطرات طبیعی و نظارت مستمر بر محیط زیست را میسر کرده است. علاوه بر معماری ساده و کاهش هزینه‌های توسعه و پرتاب تاسواره‌ها، نیاز به سرمایه‌گذاری کمتر نیز، امکان مشارکت شرکت‌های خصوصی و دانشگاه‌ها در مأموریت‌های فضایی را فراهم نموده است. در کنار نقاط قوت منظومه تاسواره‌های مشاهدات زمین، می‌توان به توان تفکیک رادیومتریک پایین، کاهش نسبت سیگنال به نویز و در نتیجه کاهش کیفیت تصویر در مدارات غیرخورشید آهنگ، تفکیک‌پذیری طیفی پایین و وابستگی به تصاویر ماهواره‌های بزرگ و تصاویر پهپادی، به عنوان نقاط ضعف کنونی آن‌ها اشاره کرد.

نتیجه‌گیری: پایش به‌هنگام سوانح طبیعی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و طغیان رودخانه‌ها از جمله کاربردهای اصلی تاسواره‌ها می‌باشد که به دلیل توان تفکیک زمانی بالای منظومه‌های تاسواره، این امکان فراهم شده است. همچنین، پایش بیابان‌زایی، پایش خشکسالی، پایش تغییرات اقلیمی و بررسی اثرات آن بر کاهش یخچال‌های طبیعی، ردیابی فعالیت‌های بشر و تأثیرات زیست‌محیطی و اقتصادی آن، بررسی آلودگی نوری شهرها، گسترش شهرها، تخمین قیمت مسکن و پایش حاشیه‌نشینی در شهرهای بزرگ، از دیگر کاربردهای منظومه‌های تاسواره می‌باشد. در حال حاضر، از تصاویر این منظومه‌ها به‌عنوان مکمل تصاویر ماهواره‌های بزرگ برای بهبود توان تفکیک زمانی و رؤیت مناطق خاص در یک محدوده زمانی خاص از شبانه‌روز استفاده می‌شود.

تاریخ دریافت: ۲۰ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۲۸ فروردین ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۰ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

تاسواره
سنجش از دور
فناوری فضایی
مأموریت‌های مشاهدات زمین
مهندسی ماهواره

* نویسنده مسئول

mnasiri@iust.ac.ir

① ۰۲۱-۷۲۲۲۵۸۰۰

مقدمه

توانمندی بسیار متنوع بودند تا این‌که دو استاد از دانشگاه‌های استنفورد و کالیفرنیای جنوبی به نام‌های جوردی پوگ-ساری و باب توتینگز در سال ۱۹۹۹ یک تاسواره (CubeSat) استاندارد را توسعه دادند [۴].

تاسواره استاندارد یک واحدی (1U) دارای ابعاد $10 \times 10 \times 10$ سانتیمتر مکعب، جرم کمتر از ۱۳۳۰ گرم، مصرف توان کمتر از ۱۰ وات و نرخ ارسال داده ۱۲۸ کیلوبایت بر ثانیه می‌باشد. هزینه طراحی، ساخت، تست و پرتاب این ماهواره‌ها بین ۵۰ هزار الی ۲۰۰ هزار دلار می‌باشد که نسبت به قیمت ماهواره‌های بزرگ، بسیار پایین است [۵]. این کاهش هزینه به دانشگاه‌ها و شرکت‌های خصوصی امکان سرمایه‌گذاری و اجرای مأموریت‌های فضایی را می‌دهد [۶]. تاسواره‌ها، دسترسی به فضا را آسان نموده و با درگیر کردن افراد و فرهنگ‌های مختلف، چرخه‌های جدیدی از توسعه فناوری فضایی را به ارمغان آورده است.

هدف این مقاله، بررسی مشخصات فنی، توانایی‌ها، کاربردها و محدودیت‌های تاسواره برای مأموریت‌های سنجش از دور می‌باشد تا با ارزیابی این مأموریت‌ها بتوان چشم‌انداز روشنی برای آینده کاربری‌های سنجش از دور متصور شد. به همین منظور، در بخش دوم مروری اجمالی بر تاسواره‌های با مأموریت مشاهدات زمین خواهیم داشت. سپس، مشخصات باس این تاسواره‌ها، محدودیت‌ها و اثر آن‌ها بر مأموریت‌های مشاهدات زمین در بخش سوم بحث خواهد شد. در بخش چهارم، کاربردهای عمده این تصاویر در سنجش از دور و کمک آن‌ها به توسعه کاربری‌های علوم زمین شرح داده می‌شود. سرانجام، در بخش پنجم، موارد فوق‌الذکر نتیجه‌گیری خواهد شد.

مروری بر تاسواره‌های با مأموریت مشاهدات زمین

در این بخش به بررسی مأموریت‌های مختلف تاسواره‌ها در سنجش از دور پرداخته می‌شود. مشاهدات زمین، به مأموریت‌های سنجش از دوری که محموله‌های تصویربرداری از سطح زمین را در مدار قرار می‌دهند، اطلاق می‌شود. در ابتدا، توسعه تاسواره‌ها در سازمان‌های فضایی مرور می‌گردد و سپس منظومه‌های تاسواره که اغلب توسط شرکت‌های خصوصی طراحی و ساخته شده‌اند، بررسی خواهند شد. در سال‌های اخیر سازمان‌های فضایی در دنیا، برای حمایت از دانشگاه‌ها، آزمایش فناوری‌های نوین و تکمیل نقایص داده‌های ماهواره‌ای موجود، بر روی تاسواره‌ها سرمایه‌گذاری زیادی کرده‌اند. اولین برنامه توسعه تاسواره‌ها در ناسا با برنامه آموزشی Elana در سال ۲۰۱۰ آغاز شد که هدف آن، جذب دانشجویان در فعالیتهای فضایی بود [۷]. از ابتدای این برنامه تاکنون، ۸۵ تاسواره طراحی و ساخته شده است که بخشی از آن‌ها به مدار تزریق شده و بخشی از آن‌ها هنوز در نوبت پرتاب قرار دارند [۸]. با آزمایش فناوری‌های نوظهور در این پروژه‌ها، کمک شایانی به تعریف مأموریت‌های جدید برای تاسواره‌ها در آینده خواهد شد. در کنار این برنامه آموزشی، ناسا در حال توسعه تاسواره انحصاری خود در زمینه سنجش از دور با همکاری دانشگاه کالیفرنیا با نام IPEX است. یکی از

اولین ماهواره مشاهدات زمین، ماهواره هواشناسی TIROS-1 بود که در سال ۱۹۶۰ توسط ایالات متحده آمریکا در مدار قرار گرفت [۱]. از آن پس، صدها ماهواره مشاهدات زمین در مدار زمین قرار گرفته‌اند تا بتوانند اطلاعات گران‌بهایی جهت ارتقاء دانش در حوزه‌های مختلف علوم مانند آب‌شناسی، هواشناسی، اقلیم‌شناسی، شیمی جو، اقیانوس‌شناسی، زمین‌شناسی، نقشه‌برداری و غیره، جمع‌آوری کنند [۲]. برتری محسوس سنجنده‌های فضا برد در مقایسه با سنجنده‌های زمین برد یا هوا برد در پوشش جهانی و نیز رزولوشن زمانی بالای داده‌های ماهواره‌ای است. این دو ویژگی کاربردهای فراوانی در پیش‌بینی وضعیت آب و هوا، پایش سوانح طبیعی، مدیریت منابع آب، پایش محصولات کشاورزی و پایش آلودگی دارند. روند مأموریت‌های مشاهدات زمین در طول ۵۰ سال گذشته به مرور تغییر کرده که با توجه به مأموریت هر ماهواره، جرم آن نیز دستخوش تغییر قرار گرفته است. ناسا، در سال ۱۹۹۹ ماهواره TERRA را با جرم ۵۲۰۰ کیلوگرم و سازمان فضایی اروپا در سال ۲۰۰۲ ماهواره Envisat (شامل ۹ محموله) را با جرم ۷۹۰۰ کیلوگرم در مدار زمین قرار دادند. قابلیت اصلی این دو ماهواره، استفاده از تعداد زیادی سنجنده در طول موج‌های مختلف (شامل محدوده‌های طیفی مرئی، مادون قرمز و مایکروویو) بود که موجب می‌شد اغلب داده‌های مورد نیاز برای کاربردهای کشاورزی، سوانح طبیعی، جنگلداری، نقشه‌برداری، زمین‌شناسی و غیره از یک سکو و به صورت هم‌زمان از زمین، اخذ شوند. هدف اصلی این ماهواره‌های سنگین وزن، کاهش هزینه به ازای طراحی، ساخت و پرتاب هر کیلوگرم محموله بود، زیرا برای قرار دادن چندین محموله در فضا، تنها یک‌بار پرتاب ماهواره صورت می‌پذیرفت و همگی از یک باس مشترک استفاده می‌کردند؛ اما در عمل، این کاهش هزینه‌ها به‌طور کامل تحقق نیافت که علت اصلی آن پدیدار شدن مشکلاتی از قبیل ناسازگاری الکترومغناطیسی بین تجهیزات رادیویی و اثر منفی ارتعاشات سکو بر عملکرد سنجنده‌های حساس بود. از طرف دیگر، محموله‌هایی که از نظر فناوری به بلوغ رسیده و آماده قرارگیری در مدار بودند، باید منتظر تکمیل محموله‌هایی می‌شدند که از لحاظ فناوری به بلوغ نرسیده بودند [۳]. در نتیجه، برای حل مشکلات به وجود آمده در پروژه‌های میلیون دلاری فضایی، افزایش جرم ماهواره‌های سنجش از دور در دهه گذشته متوقف شد و سازمان‌های فضایی، جرم ماهواره‌های مشاهدات زمین خود را به کمتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم کاهش دادند. بدین ترتیب، از دیدگاه ساخت، زمان‌بندی، بودجه و کاهش ریسک پرتاب، ماهواره‌هایی با یک محموله بسیار ایده آل شدند.

هم‌زمان با کاهش جرم ماهواره‌های مشاهدات زمین، در دهه اخیر از میکروماهواره‌ها برای نمایش فناوری (مانند برنامه PROBA سازمان فضایی اروپا و برنامه‌های Franklin و Edison ناسا) و آموزش (مانند ماهواره ثقل سنج دانشگاه استنفورد) اشاره کرد. در دنیای آموزش، تاکنون چندین دانشگاه از نانو ماهواره‌ها برای آموزش عملی دانشجویان در حوزه مهندسی ماهواره استفاده کرده‌اند. این ماهواره‌ها از بعد جرم، اندازه و

ویژگی‌های اصلی این پروژه، کاهش بیست برابری حجم تصاویر ماهواره‌ای با حفظ رادیناس بازتابی از سطح زمین است [۹]. در کنار ناسا، سازمان فضایی اروپا هم به‌طور فزاینده‌ای در حال توسعه تاسواره‌ها برای کاربردهای مختلف از جمله سنجش از دور است. پیرو و همکاران [۱۰]، یک تاسواره از نوع 3U با نام HYBRIS طراحی کردند و آن را به عنوان یکی از اجزای منظومه کوپرنیک پیشنهاد دادند. این تاسواره، حامل یک سنجنده فرا طیفی با توان تفکیک طیفی ۶ نانومتر (۲۷۰ باند در محدوده طیفی ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر) است. از مهم‌ترین کاربردهای این تاسواره، می‌توان به بررسی ذرات اتمسفر، پایش مناطق ساحلی، پایش تغییرات، طبقه‌بندی محصولات کشاورزی، مدیریت جنگل‌ها و زمین‌شناسی اشاره کرد. همچنین، سازمان فضایی اروپا در سال ۲۰۲۰ یک تاسواره از نوع 6U با نام FSSCat برای پایش مناطق قطبی در مدار قرار داده است. این تاسواره، حامل یک سنجنده مایکروویو و یک سنجنده چند طیفی نوری (Optical) با توان تفکیک مکانی ۴۰ متر برای اندازه‌گیری رطوبت خاک، میزان و ضخامت یخ و حوضچه‌های ذوب یخ است [۱۱].

سازمان‌های فضایی آلمان، ایتالیا، سوئد، آرژانتین، اسپانیا، تایلند، پاکستان، ترکیه، ژاپن، کره جنوبی، هند و چین همگی برنامه‌های خود را برای طراحی و ساخت منظومه‌ای از تاسواره‌های سنجش از دوری اعلام کرده‌اند که این امر موجب رشد قابل توجه فناوری فضایی در دنیا خواهد شد. هزینه کم و امکان طراحی آسان‌تر تاسواره‌ها موجب شده است تا سایر کشورهایی که به‌طور مرسوم در فناوری‌های فضایی فعال نبودند نیز در طراحی و ساخت تاسواره سرمایه‌گذاری کنند [۱۲]. به عنوان مثال در کشورهای در حال توسعه آفریقایی، تاسواره‌های سنجش از دوری مختلفی از جمله XinaBox ThinSat آفریقای جنوبی، ALSAT-1N الجزایر و NARSSCube-2 مصر تا سال ۲۰۲۰ به مدار تزریق شده‌اند. علاوه بر این، کشورهای غنا، کنیا، مراکش، رواندا، سودان و اتیوپی نیز همگی در حال سرمایه‌گذاری بر روی ساخت تاسواره‌های سنجش از دوری ارزان قیمت هستند [۱۳].

در کنار معماری ساده و کاهش هزینه‌های توسعه و پرتاب تاسواره‌ها، نیاز به سرمایه‌گذاری کمتر نیز امکان مشارکت شرکت‌های خصوصی و دانشگاه‌ها در مأموریت‌های فضایی را فراهم نموده است؛ امری که در آغاز عصر فضا، غیر قابل تصور بود. آمار مربوط به موفقیت پرتاب تاسواره‌ها، نشان می‌دهد که رشد سالانه ساخت تاسواره‌ها از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ به‌طور متوسط، ۷۵ درصد بوده است [۶]. بخش خصوصی در صنایع فضایی، در حال توسعه تاسواره‌های جدید است و تلاش می‌کند منظومه‌هایی از صدها یا هزاران تاسواره جهت پایش به‌هنگام زمین (زیر یک دقیقه) در مدار تزریق کند؛ مزیتی که بزرگ‌ترین چالش ماهواره‌های بزرگ بوده است. تاسواره‌های این شرکت‌ها که عمدتاً به صورت پلتفرم‌های آماده هستند، زنجیره‌ای جهانی از خدمات و محصولات فضایی را ایجاد می‌کنند [۱۴]. به‌عنوان مثال، دانشگاه ساری انگلستان، یک پلتفرم تاسواره از نوع 12U به مشتریان ارائه می‌دهد که قادر است

محموله‌های تصویربرداری را حمل کند [۱۵]. با این حال، سهم دانشگاه‌ها به‌نسبت شرکت‌های خصوصی در توسعه و راه‌اندازی منظومه‌های تاسواره، کمتر بوده است. دانشگاه آلتو در فنلاند تاسواره‌ای به نام Aalto-1، از نوع 3U برای کاربردهای سنجش از دوری طراحی نموده است [۱۶]. دانشگاه نایروبی در کنیا، یک تاسواره از نوع 1U با نام KUNS-PF1 و دانشگاه ووهان در چین، منظومه‌ای شامل ۸۰ تاسواره از نوع 6U با نام Luojia 1-01 برای تصویربرداری در طول شب طراحی و ساخته‌اند [۱۷].

در سال ۲۰۱۸، اولین تاسواره با محموله راداری جهت اندازه‌گیری پروفایل بارش باران در باند Ka (فرکانس ۳۵.۷۵ گیگاهرتز) به نام RainCube توسط ناسا در مداری با ارتفاع ۴۰۰ کیلومتر و میل ۵۲ درجه قرار گرفت. این تاسواره، با وزن ۱۶ کیلوگرم دارای باس 6U بوده و توان مصرفی محموله آن ۳۵ وات می‌باشد. موفقیت مأموریت RainCube، امکان طراحی و ساخت ماهواره‌های مقرون به صرفه راداری برای پایش اتمسفر را فراهم نمود. همچنین، استفاده از انواع دیگر سنجنده‌های راداری نیز با طراحی و ساخت دو تاسواره MASTR و CIRES فراهم شده است. تاسواره MASTR دارای محموله راداری در باندهای W، Ku و Ka است و مأموریت آن، اندازه‌گیری میزان بارش باران، ارتفاع یخ دریا، عمق برف و سرعت باد می‌باشد [۱۸]. محموله راداری تاسواره CIRES از نوع SAR بوده و مأموریت اصلی آن، اندازه‌گیری فرونشست‌های سطح زمین با دقت میلی‌متر در باند S (فرکانس ۲/۹ گیگاهرتز) و با توان تفکیک مکانی ۲۵ متر است. این تاسواره، با وزن ۱۲/۹ کیلوگرم دارای باس 6U بوده و توان مصرفی محموله آن ۱۹۲ وات می‌باشد که توسط دو باتری با ظرفیت ۹۶ وات بر ساعت تأمین می‌شود. طول عمر اسمی CIRES دو سال، ارتفاع مداری ۵۰۰ کیلومتر، میل مداری ۵۵ درجه و زمان دید مجدد آن ۱۶ روز می‌باشد. آنتن SAR این تاسواره از نوع چتری با مساحت ۶/۵ مترمربع است که پس از تزریق در مدار، باز می‌شود. اگرچه توان تفکیک این تاسواره در مقایسه با ماهواره‌های بزرگ موجود، بسیار ضعیف است اما به عنوان اولین نمونه عملیاتی، نویدبخش دوره جدیدی از ماهواره‌های SAR خواهد بود. از دیگر نقاط ضعف این تاسواره، می‌توان به محدودیت توان اشاره کرد که تنها تصویربرداری در ۱۰٪ از یک مدار را پوشش می‌دهد. بنابراین، تاسواره CIRES در مدت ۹ دقیقه می‌تواند ۳۸ گیگابایت داده ذخیره‌سازی کند و برای تصویربرداری مجدد باید توان مورد نیاز، مجدد تأمین‌شده و داده‌ها نیز به ایستگاه زمینی، ارسال گردد. بدین ترتیب، برای اخذ تصاویر جدید، این داده‌ها به نزدیک‌ترین ایستگاه زمینی ارسال شود. البته، دقت کنترل وضعیت این تاسواره ۰/۰۵۶ درجه است که برای توان تفکیک فعلی مناسب می‌باشد [۱۹].

از میان شرکت‌های خصوصی فعال در زمینه تاسواره، شرکت آمریکایی Planet، توسعه تاسواره‌های سنجش از دور را در دنیا رهبری کرده است. این شرکت، از سال ۲۰۱۳ بیش از ۳۵۰ تاسواره در مدار زمین قرار داده است. این تاسواره‌ها از نوع 3U، با ارتفاع مداری ۴۷۵ کیلومتر، توان تفکیک مکانی ۳/۷ متر و ۴ باند طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک

تقسیم می‌شوند [۲۵]. با سرمایه‌گذاری عظیم کشور چین در صنعت فضایی، شرکت‌های خصوصی این کشور از جمله ZeroG و Lab در حال ساخت منظومه‌های تاسواره سنجش از دور با زمان دید مجدد کمتر از یک ساعت در سطح زمین هستند. پیش‌بینی شده است که توسعه سریع منظومه‌های سنجش از دور چینی با بیش از ۱۳۸۲ تاسواره، منجر به سرمایه‌گذاری ۵ میلیارد دلاری در این حوزه خواهد شد [۲۶]. جدول ۱، مهم‌ترین منظومه‌های تجاری تاسواره در دنیا را نشان می‌دهد.

الزامات طراحی تاسواره برای انجام مأموریت مشاهدات زمین

در این بخش، به بررسی سامانه تاسواره‌ها جهت انجام مأموریت‌های مشاهدات زمین پرداخته می‌شود. در ادامه، به بررسی زیرسامانه‌های مخابرات، پردازش داده و فرمان، تعیین و کنترل وضعیت، سازه و توان ماهواره در مأموریت‌های مشاهدات زمین پرداخته می‌شود که از جمله اجزای مهم ماهواره هستند. همچنین، محدودیت‌هایشان در زمینه مأموریت‌های مشاهدات زمین مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

مخابرات

با مرور تاسواره‌ها، مشخص شد که حدود ۷۵٪ آن‌ها از فرستنده باند UHF با نرخ ارسال داده ۹/۶ کیلو بیت بر ثانیه و ۱۵٪ دیگر از فرستنده باند S با نرخ ارسال داده ۲۵۶ کیلو بیت بر ثانیه استفاده می‌کنند. مابقی ماهواره‌ها نیز از باند VHF بهره می‌برند [۲۷]. همچنین، توان ارسال داده برای این نوع ماهواره‌ها بین ۰/۱ تا ۱ وات متغیر است. محدودیت جدی در تاسواره‌ها برای انجام مأموریت‌های مشاهدات زمین، هم از بعد توان ارسال و هم از بعد بودجه لینک قابل بررسی است.

پردازش داده و فرمان

باس استاندارد در این نوع ماهواره‌ها برای زیرسامانه پردازش داده و فرمان (C&DH) از CAN، USB، I2C و کنترلرهای PIC، MSP و ARM با فرکانس ۸ الی ۳۳ مگا هرتز استفاده می‌کند [۲۸]. همچنین، حجم حافظه استاندارد برای یک تاسواره، بین ۳۲ کیلوبایت تا ۸ مگابایت است که با استفاده از یک حافظه فلش، به ۸ گیگابایت نیز قابل ارتقاء است [۲۷]. با فرض اینکه یک دوربین VGA رنگی بتواند تصاویری با ابعاد ۴۸۰×۶۴۰ پیکسل با رزولوشن رادیومتریکی ۸ بیت اخذ کند، بدون فشرده‌سازی تنها ۱۱۰۰ تصویر در حافظه ۸ گیگابایت، قابل ذخیره‌سازی خواهد بود. با توجه به رابطه خطی میان حافظه ذخیره‌سازی و نرخ ارسال داده، طبق رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$Storage(MB) = \frac{60}{8} \Delta T \left(\frac{min}{access} \right) R_b (Mbps) \quad (1)$$

که ΔT میانگین دسترسی ماهواره به ایستگاه زمینی برحسب دقیقه، R_b نرخ ارسال داده برحسب مگابیت بر ثانیه، ضریب ۶۰ برای تبدیل دقیقه به ثانیه و ضریب ۱/۸ برای تبدیل بیت به بایت است.

هستند. همچنین، هر سین تصویر Planet، مساحتی معادل $24/6 \times 16/4$ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد [۲۰]. شرکت پرتغالی TEKEVER اولین تاسواره (از نوع 16U) خود با نام INFANTE به فضا پرتاب کرده است [۲۱]. شرکت آمریکایی Astro Digital، ۶ تاسواره از نوع 6U را با پلتفرم Corvus در سال ۲۰۱۷ در مدار زمین قرار داده است. محموله این تاسواره قادر به تصویربرداری در محدوده مرئی با توان تفکیک مکانی ۲۲ متر است [۲۲]. شرکت اسپانیایی Karten Space در حال توسعه منظومه‌ای از تاسواره‌های 6U، با چهار باند مرئی و مادون قرمز نزدیک و توان تفکیک مکانی ۳ متر و زمان دید مجدد یک روز است. یک شرکت اسپانیایی دیگر با نام Aistech Space، در حال برنامه‌ریزی منظومه‌ای از ۱۵۰ تاسواره است که تا سال ۲۰۲۲ پرتاب خواهد شد [۲۳]. شرکت فنلاندی Reaktor Space، در سال ۲۰۱۸ کوچک‌ترین تصویربردار فراطیفی دنیا را با نام Reaktor Hello World به مدار تزریق کرد. این تاسواره که از نوع 2U، با باند طیفی در محدوده ۹۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر با توان تفکیک مکانی ۲۲ متر می‌باشد، جهت توسعه کاربردهای سنجش از دور در کشاورزی طراحی شده است [۲۴].

جدول ۱: منظومه‌های تجاری تاسواره

Table1: Cubesat comeercial constellations

کشور (Country)	اولین پرتاب (First launch)	ابعاد (Size)	تعداد تاسواره (No. of Cubsats)	سازمان / شرکت (Organization/Co mpany)
آمریکا America	2013	3U	505	Planet Labs
آمریکا America	2014	6U	25	Astro Digital
فنلاند Finland	2018	2U	36	Reaktor Space
چین china	2018	---	192	ADA Space
اسپانیا Spain	2018	---	150	Aistech Space
اسپانیا Spain	2019	6U	14	Karten Space
آمریکا- آمریکا	2019	---	---	---
لهستان America - Poland	---	6U	1024	SatRevolution
چین china	2019	6U	132	ZeroG Lab
آمریکا America	2019	12U	50	Hera Systems
پرتغال Portugal	2020	16U	12	Tekever

شرکت آمریکایی- لهستانی SatRevolution قصد دارد با سرمایه‌گذاری اتحادیه اروپا، یک منظومه سنجش از دوری شامل ۱۰۲۴ تاسواره از نوع 6U را تا سال ۲۰۲۶ در مدار قرار دهد. با این تعداد تاسواره، زمان دید مجدد به کمتر از ۳۰ دقیقه، کاهش خواهد یافت. توان تفکیک مکانی تاسواره‌های این منظومه، نیم متر است و از لحاظ باندهای طیفی به دسته‌های ۴ باندهای (مرئی و مادون قرمز نزدیک)، ۳۲ باندهای و ۶۰۰ باندهای

از آنجا که دوربین تصویربرداری با قطر روزنه بزرگتر از ۱۰ سانتیمتر بر روی سازه تاسواره قابل نصب نیست، لذا اگر بخواهیم برای مثال در یک محدوده طیفی به مرکزیت طول موج ۰/۵ میکرومتر، تصویربرداری نماییم دستیابی به رزولوشن مکانی بیش از ۶ متر در نادر امکان پذیر نیست. البته در این جا، فرض بر دقت بالای زیر سامانه کنترل وضعیت است.

توان

از آنجا که سلولهای خورشیدی در پربازدهترین شرایط به ازای هر مترمربع، ۱۰۰ وات انرژی تولید می کنند، بنابراین اگر چهار سطح یک تاسواره دارای پوشش سلول خورشیدی باشد، در حالت ایده آل توان تولیدی حداکثر ۴ وات خواهد بود؛ بنابراین با به کارگیری باتریهای لیتیومی، این مقدار توان برای سنجنده های فعال از جمله رادارهای تصویربرداری کافی نخواهد بود. همچنین، پایین بودن میزان توان تولیدی، منجر به افت توان تفکیک مکانی در محموله های نوری خواهد شد.

کاربردهای تصاویر تاسواره در سنجش از دور

در این بخش، به بررسی مهم ترین کاربردهای تصاویر تاسواره در سنجش از دور پرداخته می شود. پایش بهنگام سوانح طبیعی، یکی از مهم ترین کاربردهای تاسواره در سنجش از دور است زیرا توان تفکیک زمانی منظومه های تاسواره بسیار بالاست. پایش سوانح طبیعی و ارائه اطلاعات کلیدی برای کاهش خسارت در مناطق آسیب پذیر و نیز ارزیابی خسارات برای شرکت های بیمه در کشور برزیل بسیار کارآمد بوده است [۳۰]. هرچند، به دلیل قرارگیری این تاسواره ها در میل های مداری مختلف، نیاز بوده است تا با یک روش پیش پردازشی کارآمد، کیفیت رادیومتریکی تصاویر یکسان گردد تا بتوان با استفاده از الگوریتم های آشکارسازی تغییرات و مقایسه تصاویر چند زمانه، میزان خسارت را به صورت دقیق محاسبه کرد [۳۱]. همچنین، پایش بیابان زایی، آتش سوزی جنگل ها، طغیان رودخانه ها و پایش خشکسالی از جمله کاربردهای تصاویر تاسواره در آفریقا بوده است [۳۲]. با هدف پایش منابع آب شیرین در آفریقا، منظومه ای شامل چهار تاسواره از نوع 2U که حامل سنجنده فراطیفی با توان تفکیک ۱۰ تا ۳۰ نانومتر در محدوده ۵۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر می باشد، پیشنهاد شده است. توان تفکیک مکانی این تاسواره، ۲۵۰ متر و زمان دید مجدد آن کمتر از ۳ روز است [۳۳].

برای پایش تغییرات اقلیمی و بررسی اثرات آن بر کاهش یخچال های طبیعی، چین یک تاسواره با نام STU-2A از نوع 3U با توان تفکیک ۹۴ متر ساخته است. از تصاویر شب تاسواره Luojia 1-01 برای ردیابی فعالیت های بشر و تأثیرات زیست محیطی و اقتصادی آن، بررسی آلودگی نوری شهرها، گسترش شهرها، تخمین قیمت مسکن و پایش حاشیه نشینی در شهرهای بزرگ استفاده می شود [۳۴]. همچنین، تاسواره آلمانی TUBIN جهت آشکارسازی آتش سوزی جنگل ها طراحی و

با توجه به رابطه (۱) اگر ماهواره در مدت زمان ۶ دقیقه در دید ایستگاه زمینی باشد، برای ارسال داده در باند S با نرخ ۲۵۶ کیلو بیت بر ثانیه تنها ۱۱ مگابایت حافظه، مورد نیاز است. به عبارت دیگر، در هر گذر ماهواره تنها یک تصویر رنگی قابل ارسال خواهد بود؛ در حالی که حافظه ماهواره قابلیت ذخیره سازی بیش از ۱۰۰۰ تصویر را داراست. بنابراین، یکی از نقاط ضعف تاسواره، نرخ ارسال داده بسیار پایین آن است و نه حجم حافظه آن. این در حالی است که در مثال بالا، فقط یک دوربین تصویربرداری بسیار ساده با رزولوشن پایین مورد بررسی قرار گرفته و برای سنجنده های تصویربرداری چند طیفی، فرا طیفی و حتی محموله های پانکروماتیک با رزولوشن مکانی بالا نرخ ارسال داده باید بیش از ۱۰۰ مگا بیت بر ثانیه باشد که تاسواره ها در این زیرسامانه، نقطه ضعف بزرگی دارند.

تعیین و کنترل وضعیت

در این زیرسامانه، به دلیل عدم وجود حسگر ستاره ی دقیق با این کلاس وزنی، تنها از تلفیق حسگر خورشید و مغناطیس سنج برای تعیین وضعیت استفاده می شود که دقت آن به حدود ۲ درجه در تاسواره CanX-2 رسیده است [۲۸]. این در حالی است که دقت حسگر ستاره در راستای دو محور yaw و pitch حدود ۰/۱ درجه و در راستای محور roll کمتر از ۰/۰۵ درجه است [۲۹]. دقت کنترل وضعیت نیز با استفاده از کنترل مغناطیسی فعال و غیرفعال به حدود ۵ درجه رسیده است. هرچند در ماهواره های CanX-2 و Beesat ادعا شده است که با استفاده از چرخ های عکس العملی (با طراحی مینیاتوری) توانسته اند دقت کنترل وضعیت را به ۲ درجه برسانند [۲۸]. با توجه به دقت های تعیین و کنترل وضعیت تاسواره ها، دقت موقعیت مکانی هر پیکسل بر روی زمین برای یک ماهواره در ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری حدود ۱۷ کیلومتر در نادر خواهد بود. این در حالی است که در مأموریت های تصویربرداری، این مقدار باید کمتر از ۵۰۰ متر باشد که در این زیرسامانه نیز، تاسواره ها محدودیت دارند.

سازه

همان طور که در قبل اشاره شد، جرم و ابعاد یک تاسواره در واحد U تعریف می شود که تاسواره 1U ماهواره ای به جرم ۱۳۳۰ گرم و ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر مکعب می باشد. البته پیکربندی های 2U و 3U نیز برای برخی از تاسواره ها استفاده می شود و اخیراً پیکربندی 6U نیز پیشنهاد شده است. از آنجا که قیود سازه، شامل محموله نیز خواهد شد، لذا نمی توان از محموله ای با قطر روزنه بزرگ که طبیعتاً ابعاد بزرگتری نیز دارد استفاده کرد. رابطه (۲) نشان دهنده رابطه رزولوشن مکانی با قطر روزنه دوربین است.

$$GSD = 2.44 \frac{h\lambda}{D} \quad (2)$$

که GSD رزولوشن مکانی سنجنده، h ارتفاع ماهواره، λ طول موج و D قطر روزنه دوربین است.

از تصاویر تاسواره برای آشکارسازی لکه نفتی در سواحل کویت استفاده شده که دقت بالای ۸۰٪ به همراه داشته است [۴۳]. همچنین، پایش فعالیت‌های آتش‌فشانی در آتش‌فشان فوئگو در گواتمالا (یکی از فعال‌ترین آتش‌فشان‌های جهان) با استفاده از تصاویر Planet انجام گرفته است، زیرا استفاده از منظومه تاسواره با توان تفکیک زمانی بالا، پایش ابرهای خاکستر و جریان گدازه‌ها را پیش، حین و پس از فوران میسر نموده است [۴۴]. اسنر و همکاران (۲۰۱۷) از تصاویر تاسواره برای پایش صخره‌های مرجانی در دریای چین جنوبی استفاده کردند. دلیل اصلی استفاده از تصاویر Planet، عدم دسترسی به تصاویر بدون پوشش ابر لندست در آن بازه زمانی بود، اما نتایج این تحقیق نشان داد که دقت تصاویر Planet برای طبقه‌بندی صخره‌های مرجانی بسیار مطلوب می‌باشد، زیرا این تصاویر علاوه بر توان تفکیک زمانی بالا، توان تفکیک مکانی مطلوبی نیز برای این کاربرد داشته‌اند [۴۵]. غفار [۴۶] از تصاویر Planet یک منطقه کوهستانی در پاکستان برای تولید مدل ارتفاعی رقومی استفاده کرد. نتایج نشان داد که امکان تولید نقشه توپوگرافی با دقت ارتفاعی ۴ متر از این تصاویر، میسر است که می‌توان از آن‌ها برای پایش بهمن و رانش زمین استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ابتدا به مرور وضعیت گذشته و جاری تاسواره‌ها پرداخته شد و در ادامه، الزامات طراحی یک سامانه تاسواره در مأموریت‌های مشاهدات زمین، مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، کاربرد منظومه‌های تاسواره در سنجش از دور و مزایا و محدودیت‌های آن‌ها در سنجش از دور، مورد بحث قرار گرفت. قیمت پایین، ابعاد کوچک، چرخه تولید و توسعه در زمان کوتاه و کاهش زمان دید مجدد، یکی از مهم‌ترین مزایای تاسواره‌ها است که پایش مخاطرات طبیعی و نظارت مستمر بر محیط زیست را میسر کرده است. منظومه‌های تاسواره، حجم زیادی از تصاویر ماهواره‌ای را به زمین ارسال می‌کنند که خود موجب شکل‌گیری کلان داده سنجش از دوری شده و بنابراین، به روش‌های جدیدی برای محاسبه، پردازش و ذخیره داده‌ها نیاز است. علیرغم رشد روزافزون منظومه‌های تاسواره، هزینه‌های خرید این تصاویر، کاربرد آن‌ها را محدود کرده است. از این رو، به دلیل رایگان بودن و کیفیت بهتر، تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل همچنان در بین کاربران محبوب هستند. بدین ترتیب، در حال حاضر منظومه‌های تاسواره به‌عنوان مکمل ماهواره‌های بزرگ استفاده می‌شوند؛ به‌ویژه، برای کاهش توان تفکیک زمانی و رؤیت مناطق خاص در یک محدوده خاص از شبانه‌روز. هرچند توسعه این منظومه‌ها، احتمال برخورد بین ماهواره‌ها را افزایش داده است که خود سبب تولید مقادیر زیادی از زباله‌های فضایی می‌شود. در کنار ویژگی‌های ارزنده تصاویر تاسواره، می‌توان به نقاط ضعف آن‌ها نیز اشاره کرد، از جمله: ۱) سنجنده‌های موجود در تاسواره‌ها دارای توان تفکیک رادیومتریک پایین (حساسیت کم نسبت به انرژی بازتابی از سطح زمین) هستند؛ بنابراین در مأموریت‌هایی که نیاز به حساسیت رادیومتریکی

ساخته شده است، این تاسواره حامل یک سنجنده مادون قرمز حرارتی و یک دوربین مرئی است. تاسواره nsight-1 با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و عرض‌گذر ۶۴ کیلومتر، توسط یک شرکت آفریقای جنوبی توسعه یافته است و هدف آن، پایش منابع طبیعی آفریقا می‌باشد [۳۵]. با وجود تاسواره‌های متعدد در مدار زمین، اما بیشتر تحقیقات سنجش از دوری مربوط به تصاویر منظومه Planet هستند. تاکنون بیش از ۶۰ مقاله در مجلات معتبر بین‌المللی سنجش از دور در مورد توسعه کاربری‌های تصاویر این منظومه به چاپ رسیده است. بیش از یک سوم مقالات مربوط به پوشش‌های گیاهی، نیمی از مقالات مربوط به سوانح طبیعی (رانش زمین، زلزله، پایش آتش‌فشان، ارزیابی خسارات ناشی از طوفان و آتش‌سوزی)، اقیانوس‌شناسی و منابع آب و مابقی نیز مربوط به مدل‌سازی سه‌بعدی زمین، تولید نقشه‌های پوشش اراضی و زمین‌شناسی بوده است. به‌کارگیری تاسواره‌ها جهت پایش پوشش‌های گیاهی بسیار امیدوارکننده بوده است؛ به‌ویژه، در حوزه کشاورزی دقیق و پایش محیط‌زیست. ترکیب اطلاعات لندست و Planet یکی از بهترین روش‌های پیشنهادی برای تخمین میزان مصرف آب در بخش کشاورزی بوده که اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت آب محسوب می‌گردد [۳۶]. همچنین، با ادغام تصاویر تاسواره و تصاویر پهپادی، دقت تمایز محصول برنج سالم از آفت‌زده نسبت به تصاویر لندست تا ۱۰ درصد افزایش یافته است که کارایی بالای تصاویر Planet را نشان می‌دهد [۳۷]. مطالعه صورت گرفته در ایالت ریوگرانند دوسول در کشور برزیل نشان داد که شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و EVI مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های عملکرد محصول (با دقت بیش از ۷۰٪) با استفاده از تصاویر تاسواره هستند [۳۸].

نتایج تحقیقات، نشان داده است که تصاویر تاسواره برای مطالعه طغیان رودخانه‌ها نیز مفید هستند. کولی و همکاران [۳۹] با مقایسه شاخص NDWI مستخرج از تصاویر تاسواره و تصویر Worldview-2، الگوهای طغیان را در رودخانه یوکان در آلاسکا مطالعه کردند. نتایج نشان داد که علیرغم توان تفکیک مکانی و رادیومتریکی بالاتر تصویر Worldview-2 نسبت به تصویر Planet، نتایج بیش از ۹۹٪ همبستگی دارد که نشان از موفقیت تصاویر تاسواره در این زمینه است. یکی دیگر از کاربردهای جدید تصاویر تاسواره، تخمین سرعت آب رودخانه در مناطق سردسیر است. کاب و همکاران [۴۰] حرکت یخ را با استفاده از تصاویر سری زمانی Planet ردیابی کردند. همچنین، از این تصاویر برای پایش ذرات معلق آب در خلیج سانفرانسیسکو استفاده شده است [۴۱]. پورسانیدیس و همکاران [۴۲] از تصاویر Planet برای تهیه نقشه‌های عمق‌سنجی در سواحل جزیره کرت در یونان استفاده کردند. مقایسه نتایج با اطلاعات هیدروگرافی منطقه نشان داد که تا عمق ۱۰ متر (به دلیل زلال بودن آب)، خطای اطلاعات استخراج‌شده از تصاویر تاسواره کمتر از ۳۰ سانتیمتر بوده است. اما با افزایش عمق به ۲۵ متر، میزان خطا به ۱۵۸ سانتیمتر افزایش یافته است. این تحقیق، کاربردی بودن تصاویر تاسواره در تهیه نقشه مناطق کم‌عمق را ثابت کرده است.

[7] Crusan J, Galica C. NASA's CubeSat Launch Initiative: Enabling broad access to space. *Acta Astronaut.* 2019; 157: 51–60.

[8] Camps A. Nanosatellites and Applications to Commercial and Scientific Missions. *Satellites Missions and Technologies for Geosciences.* IntechOpen; 2020.

[9] Doubleday J, Chien S, Norton C, Wagstaff K, Thompson DR, Bellardo J, et al. Autonomy for remote sensing - Experiences from the IPEX CubeSat. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): 2015 July 26-31: Milan, Italy.*

[10] Morcillo-Pallarés P, Rivera-Caicedo JP, Belda S, De Grave C, Burriel H, Moreno J, et al. Quantifying the robustness of vegetation indices through global sensitivity analysis of homogeneous and forest leaf-canopy radiative transfer models. *Remote Sens.* 2019; 11(20): 2418.

[11] Camps A, Golkar A, Gutierrez A, Ruiz De Azua JA, Munoz-Martin JF, Fernandez L, et al. FSSCAT, the 2017 copernicus masters' "ESA sentinel small satellite challenge" winner: A federated polar and soil moisture tandem mission based on 6U Cubesats. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): 2018 July 22-27: Valencia, Spain.*

[12] Yaglioglu B, Kose S, Atas O, Tekinalp O, Kahraman D, Suer M. A multi-national multi-institutional education framework: APSCO SSS-2B CubeSat project. 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST): 2019 June 11-14: Istanbul, Turkey.

[13] Woldai T. The status of Earth Observation (EO) & Geo-Information Sciences in Africa—trends and challenges. *Geo-Spatial Inf Sci.* 2020; 23(1): 107–23.

[14] Denis G, Clavier A, Pasco X, Darnis JP, de Maupeou B, Lafaye M, et al. Towards disruptions in Earth observation? New Earth Observation systems and markets evolution: Possible scenarios and impacts. *Acta Astronaut.* 2017; 137: 415–33.

[15] Da Silva Curiel A, Cawthorne A, Sweeting M. A low cost video and still imaging constellation for high temporal coverage. 36th Asian Conference on Remote Sensing: 2015 October 19-23: Quezon City, Philippines.

[16] Niemela P, Praks J, Riwanto B, Kestila A, Näsila A, Jovanovic N, et al. Aalto-1 satellite first months in orbit. 4th IAA Conference on University Satellite Missions and CubeSat Workshop: 2017 December 04-07: Rome, Italy.

[17] Liu L, Zhou H, Lan M, Wang Z. Linking Luojia 1-01 nightlight imagery to urban crime. *Appl Geogr.* 2020; 125: 102267.

[18] Peral E, Tanelli S, Haddad Z, Sy O, Stephens G, Im E. Raincube: A proposed constellation of precipitation profiling radars in CubeSat. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS): 2015 July 26-31: Milan, Italy.*

بالایی هست (مانند پایش حرارت سطح اقیانوس‌ها و پایش کیفیت آب)، استفاده از تاسواره، یک چالش عمده می‌باشد. ۲) تزریق منظومه‌های تاسواره به مدارهای غیر خورشید آهنگ، سبب کاهش نسبت سیگنال به نویز و در نتیجه کاهش کیفیت تصاویر می‌گردد. همچنین، به دلیل یکسان نبودن شرایط نوردهی، تحلیل سری زمانی تصاویر یک منطقه و نیز آشکارسازی تغییرات دشوار است. ۳) تفکیک‌پذیری طیفی پایین (محدود بودن باندهای طیفی به مرئی و مادون قرمز نزدیک)، امکان تمایز بین ابر، برف، یخ و آب را محدود می‌کند. ۴) هرچند استفاده از روش‌های ادغام برای افزایش کیفیت مکانی، رادیومتریکی و طیفی تصاویر تاسواره استفاده شده است اما وابستگی آن‌ها به سایر تصاویر ماهواره‌ای و پهنای جهت توسعه کاربری‌ها، موجب می‌گردد تا در مناطقی که با فقدان داده سنجنش از دور مواجه هستیم، همچنان این نقص یک چالش بزرگ باشد.

مشارکت نویسندگان

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

تشکر و قدردانی

به‌دینوسیله از ریاست محترم سازمان فضایی که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع و مأخذ

[1] Lynch P, Reid JS, Westphal DL, Zhang J, Hogan TF, Hyer EJ, et al. An 11-year global gridded aerosol optical thickness reanalysis (v1.0) for atmospheric and climate sciences. *Geosci Model Dev.* 2016; 9(4): 1489–522.

[2] Kramer HJ. *Observation of the Earth and its Environment.* Berlin: Springer; 2002.

[3] Lowe CJ, MacDonald M. Rapid model-based inter-disciplinary design of a CubeSat mission. *Acta Astronaut.* 2014; 105(1): 321–32.

[4] Tsitas SR, Kingston J. 6U CubeSat commercial applications. *Aeronaut J.* 2012; 116(1176): 189–98.

[5] Bouwmeester J, Guo J. Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology. *Acta Astronaut.* 2010; 67(7–8): 854–62.

[6] Villela T, Costa CA, Brandão AM, Bueno FT, Leonardi R. Towards the thousandth CubeSat: A statistical overview. Vol. *International Journal of Aerospace Engineering.* 2019; 5063145.

- [32] Kameche M, Benzeniar H, Benbouzid AB, Amri R, Bouanani N. Disaster monitoring constellation using nanosatellites. *J Aerosp Technol Manag*. 2014; 6(1): 93–100.
- [33] Antonini K, Langer M, Farid A, Walter U. SWEET CubeSat – Water detection and water quality monitoring for the 21st century. *Acta Astronaut*. 2017; 140: 10–17.
- [34] Wang X, Zhou T, Tao F, Zang F. Correlation analysis between UBD and LST in Hefei, China, using LuoJia1-01 night-time light imagery. *Appl Sci*. 2019; 9(23): 5224.
- [35] Mhangara P, Mapurisa W, Mudau N. Image interpretability of nSight-1 nanosatellite imagery for remote sensing applications. *Aerospace*. 2020; 7(2): 19.
- [36] Aragon B, Houborg R, Tu K, Fisher JB, McCabe M. Cubesats enable high spatiotemporal retrievals of crop-water use for precision agriculture. *Remote Sens*. 2018; 10(12): 1867.
- [37] Shi Y, Huang W, Ye H, Ruan C, Xing N, Geng Y, et al. Partial least square discriminant analysis based on normalized two-stage vegetation indices for mapping damage from rice diseases using planetscope datasets. *Sensors*. 2018; 18(6): 1901.
- [38] Breunig FM, Galvão LS, Dalagnol R, Dauve CE, Parraga A, Santi AL, et al. Delineation of management zones in agricultural fields using cover–crop biomass estimates from PlanetScope data. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*. 2020; 85: 102004.
- [39] Cooley SW, Smith LC, Stepan L, Mascaro J. Tracking dynamic northern surface water changes with high-frequency planet CubeSat imagery. *Remote Sens*. 2017; 9(12): 1306.
- [40] Kääb A, Altena B, Mascaro J. River-ice and water velocities using the Planet optical cubesat constellation. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2019; 23(10): 4233–4247.
- [41] Vanhellemont Q. Daily metre-scale mapping of water turbidity using CubeSat imagery. *Opt Express*. 2019; 27(20): A1372–A1399.
- [42] Poursanidis D, Traganos D, Chrysoulakis N, Reinartz P. Cubesats allow high spatiotemporal estimates of satellite-derived bathymetry. *Remote Sens*. 2019; 11(11): 1299.
- [43] Park SH, Jung HS, Lee MJ, Lee WJ, Choi MJ. Oil spill detection from planetscope satellite image: Application to oil spill accident near ras Al Zour Area, Kuwait in August 2017. *J Coast Res*. 2019; 90(sp1): 251–260.
- [44] Aldeghi A, Carn S, Escobar-Wolf R, Groppelli G. Volcano monitoring from space using high-cadence planet CubeSat images applied to Fuego volcano, Guatemala. *Remote Sens*. 2019; 11(18): 2151.
- [45] Asner GP, Martin RE, Mascaro J. Coral reef atoll assessment in the South China Sea using Planet Dove satellites. *Remote Sens Ecol Conserv*. 2017; 3(2): 57–65.
- [46] Ghuffar S. DEM generation from multi satellite Planetscope imagery. *Remote Sens*. 2018; 10(9): 1462.
- [19] Peral E, Im E, Wye L, Lee S, Tanelli S, Rahmat-Samii Y, et al. Radar Technologies for Earth Remote Sensing from CubeSat Platforms. *Proc IEEE*. 2018; 106(3): 404–418.
- [20] Li J, Knapp DE, Schill SR, Roelfsema C, Phinn S, Silman M, et al. Adaptive bathymetry estimation for shallow coastal waters using Planet Dove satellites. *Remote Sens Environ*. 2019; 232: 111302.
- [21] Castelhão I, Andrade JM, Ferreira JP, Campana M, Rodrigues P, Cunha F V. New small SAR-enabled satellite concept to support early warning for fast-developing events. International Astronautical Congress (IAC): 2019 October 21–25: Washington, D.C., USA.
- [22] Chris M, Sundkvist DJ, Abiad R, Badman ST, Bale SD, Maruca B, et al. CURIE: Low Frequency Radio Interferometry from Space. AGU Fall Meeting: 2022 December 12–16: Chicago, USA.
- [23] Laskar MR, Bhattacharjee R, Giri MS, Bhattacharya P. Weather Forecasting Using Arduino Based Cube-Sat. *Procedia Computer Science*. 2016; 89: 320–323.
- [24] Björklund TA, Mikkonen M, Mattila P, van der Marel F. Expanding entrepreneurial solution spaces in times of crisis: Business model experimentation amongst packaged food and beverage ventures. *J Bus Ventur Insights*. 2020; 14: e00197.
- [25] Bush A, Sollmann R, Wilting A, Bohmann K, Cole B, Balzter H, et al. Connecting Earth observation to high-throughput biodiversity data. *Nature Ecology and Evolution*. 2017; 1: 0176.
- [26] Wang B, Liu Y, Zhou Y, Wen Z. Emerging nanogenerator technology in China: A review and forecast using integrating bibliometrics, patent analysis and technology roadmapping methods. *Nano Energy*. 2018; 46: 322–330.
- [27] Toorian A, Diaz K, Lee S. The CubeSat approach to space access. IEEE Aerospace Conference: 2008 March 01–08: Big Sky, MT, USA.
- [28] Shah A, Sarda K, Grant C, Eagleson S, Kekez D, Zee RE. Canadian advanced nanospace experiment 2 orbit operations: One year of pushing the nanosatellite performance envelope. 60th International Astronautical Congress: 2009 October 12–16, Daejeon, Republic of Korea.
- [29] Yin H, Yan Y, Song X, Yang Y. Compressive measurement and feature reconstruction method for autonomous star trackers. *Opt Laser Technol*. 2016; 86: 103–114.
- [30] Santilli G, Vendittozzi C, Cappelletti C, Battistini S, Gessini P. CubeSat constellations for disaster management in remote areas. *Acta Astronaut*. 2018; 145: 11–17.
- [31] Shendryk Y, Rist Y, Ticehurst C, Thorburn P. Deep learning for multi-modal classification of cloud, shadow and land cover scenes in PlanetScope and Sentinel-2 imagery. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*. 2019; 157: 124–136.

✉ mnasiri@iust.ac.ir

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



هادی مهدی پور دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی برق (گرایش مخابرات-سیستم) از دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. پس از ۷ سال فعالیت در صنعت، به مدت ۲ سال از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ به عنوان استادیار در گروه مهندسی الکترونیک و مخابرات دریایی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر و سپس تا سال ۱۳۹۹ با همین عنوان در دانشگاه صنعتی اسفراین مشغول به فعالیت بودند. ایشان از سال ۱۴۰۰ تاکنون به عنوان پژوهشگر پسادکتر در دانشگاه کارلوس سوم مادرید و سپس دانشگاه ایه دو خیخون در کشور اسپانیا مشغول به کار هستند. ایشان تاکنون موفق به چاپ بیش از ۳۰ مقاله در مجلات و کنفرانس های معتبر بین المللی شده اند. زمینه های تخصصی ایشان عبارتند از: هوش مصنوعی، پردازش سیگنال، پردازش تصویر، مخابرات بی سیم، کاربرد یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در بیوانفورماتیک، کشاورزی و سنجش از دور.

Mahdipour, H. Postdoctoral researcher at the Department of Electrical Engineering, University of Oviedo, Gijón, Spain

✉ mahdipourhadi@uniovi.es

مهدی نصیری سروی استادیار دانشکده فناوری های نوین دانشگاه علم و صنعت می باشند. ایشان مدرک کارشناسی مهندسی برق- کنترل را در سال ۱۳۷۶ از دانشگاه صنعتی اصفهان و مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق- کنترل را در سال ۱۳۸۰ از دانشگاه علم و صنعت دریافت نمودند. در سال ۱۳۹۲ موفق به اخذ مدرک دکتری تخصصی در رشته مهندسی برق- الکترونیک گردیدند. ایشان به عنوان مدیر صنعت سامانه های فضایی در طراحی، ساخت و تست ماهواره ملی امید همکاری داشته اند. دبیری همایش "سنجش از دور و توسعه پایدار" با محوریت ماهواره سینا-۱ اولین ماهواره ایرانی پرتاب شده به فضا در سال ۱۳۸۴، کسب رتبه دوم جشنواره خوارزمی در سال ۱۳۹۴ و چاپ چندین عنوان مقاله علمی در حوزه ماهواره های سنجش از دور از جمله فعالیت های پژوهشی ایشان می باشد. زمینه های تخصصی ایشان عبارتند از: مهندسی سیستم ماهواره، تعیین و کنترل وضعیت ماهواره و مدیریت پروژه ماهواره.

Nasiri Sarvi, M. Assistant Professor at the Department of Satellite Engineering, School of Advanced Technologies, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran

Citation (Vancouver): Nasiri Sarvi M, Mahdipour H. [Performance Evaluation of CubeSats for Remote Sensing Missions: A Review]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 31-40

<https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1947>



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

Monitoring and detection of methane gas in Tehran in Google Earth Engine

M. Mohammadi, M. Akhoondzadeh*

Department of Photogrammetry and Remote Sensing, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 07 February 2023
Reviewed: 3 April 2023
Revised: 30 April 2023
Accepted: 04 June 2023

KEYWORDS:

Google Earth Engine
Methane gas
Sentinel-5
Temporal-spatial
changes

* Corresponding author

✉ makhonz@ut.ac.ir

① (+9821) 61114522

Background and Objectives: Studying the emission of methane gas as the second most important greenhouse gas is vital due to climate change. This study was conducted to check the correctness of the news published by NASA regarding the existence of a methane cloud in the south of Tehran. Due to the importance of the subject, so far many remote sensing satellites such as Sentinel-5, MethanSAT, SCIAMACHY, and GOSAT have been provided to monitor pollutants, especially methane gas. Also, much research has been done in evaluating this sensor and monitoring polluted areas. For example, Cherepanova, et al analyzed the spatial-temporal analysis of methane concentration and its relationship with burned areas. Using daily data from the TROPOMI sensor, they concluded that methane concentrations were higher in newly burned areas than in the previous year's burns. Maurya, N.K., et al investigated the concentration of SO₂, CO, SOX, and CH₄ pollutants using Sentinel-5P TROPOMI data in the periods after wheat and rice harvesting and land burning. The results showed that the concentration of CH₄, SO₂, SOX, CO, and aerosol increased significantly during the burning period of agricultural land after harvesting rice and wheat every year.

Methods: In this research, the daily data series of the TROPOMI sensor on the Santi-5 satellite were used on the Google Earth Engine platform. First, the spatio-temporal analysis of methane dynamics in Tehran has been discussed. In this way, time changes are made from July to October 2022 and also for the spatial analysis of pollutants, a monthly map has been made. Then according to the obtained date, the correctness or incorrectness of the presented map has been checked. Finally, in order to evaluate the results, the length of the methane cloud observed by NASA was compared with the methane cloud extracted by TROPOMI.

Findings: The obtained results showed that on September 1st, 2022 methane concentration was high and around 1970 ppm, and other gases did not have a high value on this date, which indicates the lack of effect of other gases on the increase of methane concentration and lack of misdiagnosis and according to the average map in the south of Tehran This gas has been more. Also, the methane cloud observed by NASA on the old Tehran-Qom road near the Qasemabad-Shorabad neighborhood was confirmed by the use of Sentinel-5 satellite data on the Google Earth Engine platform in red, meaning high concentration, which caused the release and concentration of methane gas. It is located in the south of Tehran and its main source was the landfill in this area. In addition, the length reported by NASA was compared with the length of the methane cloud extracted from the TROPOMI instrument, which was 4.8 km and 4.41 km, respectively.

Conclusion: Nowadays, air pollution has become a major problem due to environmental problems and adverse effects on human health, especially in densely populated cities. Based on the obtained results and the image of methane gas on September 1st in the south of Tehran, it was found that the news published by NASA was true and the main factor was that this area is a garbage dump. In this way, the Google Earth Engine platform can be used as a suitable tool for monitoring daily, monthly and annual changes.



NUMBER OF REFERENCES

30



NUMBER OF FIGURES

5



NUMBER OF TABLES

1

مقاله پژوهشی

پایش و آشکارسازی گاز متان در شهر تهران در پلت فرم گوگل ارث انجین

مینا محمدی، مهدی آخوندزاده هنزائی*

گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

چکیده

پیشینه و اهداف: مطالعه انتشار گاز متان، به‌عنوان دومین گاز گلخانه‌ای مهم، به دلیل ایجاد تغییرات آب و هوایی، حائز اهمیت است. این مطالعه، با هدف بررسی درستی خبر منتشرشده توسط ناسا، در خصوص وجود یک ابر متان در جنوب تهران، انجام شده است. با توجه به اهمیت موضوع، تاکنون ماهواره‌های سنجش از دور زیادی نظیر *sentinel-5*، *SCIAMACHY*، *MethanSAT* و *GOSAT* برای پایش آلاینده‌ها به‌خصوص گاز متان، ارائه شده است. همچنین، تحقیقات بسیاری در زمینه ارزیابی این سنجنده و پایش مناطق آلوده، صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه، چریانووا و همکاران به تجزیه و تحلیل مکانی- زمانی غلظت متان و ارتباط آن با مناطق سوخته، پرداختند. آن‌ها، با استفاده از داده‌های روزانه سنجنده *TROPOMI* به این نتیجه رسیدند که غلظت متان در مناطق تازه سوخته شده نسبت به سوختگی‌های سال گذشته، بیشتر است. نیراج مایریا و همکاران، به بررسی غلظت آلاینده‌های SO_2 ، CO ، SOX و CH_4 با استفاده از داده‌های *Sentinel-5P TROPOMI* در دوره‌های پس از برداشت گندم و برنج و سوزاندن زمین‌ها پرداختند. نتایج، نشان داد که غلظت CH_4 ، CO ، SOX و SO_2 در طی دوره سوزاندن زمین‌های کشاورزی پس از برداشت برنج و گندم، هرسال افزایش معنی‌داری داشت.

روش‌ها: در این تحقیق، سری‌های زمانی داده‌های روزانه سنجنده *TROPOMI* در ماهواره سنتینل-۵ در پلتفرم گوگل ارث انجین، مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا، به تجزیه و تحلیل مکانی-زمانی دینامیک غلظت متان در تهران پرداخته شده است. بدین منظور، نمودارهای تغییرات زمانی از مرداد تا آبان ۱۴۰۱ و همچنین، به جهت تحلیل مکانی غلظت آلاینده‌ها، نقشه میانگین ماهیانه، تولید شده است. سپس، با توجه به تاریخ به‌دست آمده به بررسی درستی یا نادرستی نقشه ارائه شده، پرداخته شده است. در نهایت، به‌منظور ارزیابی نتایج طول ابر متان مشاهده شده توسط ناسا با ابر متان استخراج شده توسط سنجنده *TROPOMI* مقایسه شد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده، نشان داد که در تاریخ ۱۰ شهریور ۱۴۰۱ غلظت متان بالا و در حدود 1970 ppm بوده است و گازهای دیگر در این تاریخ، مقدار بالایی نداشته‌اند که این، نشان‌دهنده عدم تأثیر دیگر گازها، بر افزایش غلظت متان و عدم تشخیص نادرست می‌باشد و طبق نقشه، میانگین در جنوب تهران این گاز بیشتر بوده است. همچنین، ابر متان مشاهده شده توسط ناسا در جاده قدیم تهران - قم، در نزدیکی محله قاسم‌آباد - شورآباد با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل-۵ در پلت فرم گوگل ارث انجین، به رنگ قرمز به معنای غلظت بالا تأیید شد که باعث انتشار و میزان غلظت گاز متان بیشتر، در جنوب تهران شده و منشأ اصلی آن، دفن زباله در این منطقه بوده است. علاوه بر این، طول گزارش شده توسط ناسا با طول ابر متان استخراج‌شده از سنجنده *TROPOMI* با یکدیگر مقایسه شد که به ترتیب، برابر با ۴.۸ کیلومتر و ۴.۴۱ کیلومتر بوده‌اند.

نتیجه‌گیری: امروزه، آلودگی هوا به علت مشکلات زیست‌محیطی و اثرات نامطلوب بر سلامت انسان‌ها، به‌خصوص در شهرهای پرجمعیت، به یک مشکل اساسی تبدیل شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده و تصویر گاز متان در تاریخ ۱۰ شهریور در جنوب تهران، مشخص شد خبر منتشرشده توسط ناسا، صحت داشته و عامل اصلی آن، این بوده است که این منطقه، محل دفن زباله می‌باشد. بدین ترتیب، پلت فرم گوگل ارث انجین می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب برای پایش روزانه، ماهانه و تغییرات سالانه، مورد استفاده قرار بگیرد.

تاریخ دریافت: ۱۸ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۱۴ فروردین ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

تغییرات زمانی- مکانی
سنتینل-۵
گاز متان
گوگل ارث انجین

* نویسنده مسئول

makhoonzadeh@ut.ac.ir

۰۲۱-۶۱۱۱۴۵۲۲۱

مقدمه

آلودگی هوا، یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلاتی است که به طور جدی در تغییرات آب و هوایی و مرگ و میر، نقش دارد. بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت، بیماری‌های مرتبط با آلودگی هوا، باعث حدود ۶.۵ میلیون مرگ و میر شده و تخمین زده می‌شود که تا ۹۲ درصد از جمعیت جهان، در مناطقی زندگی می‌کنند که کیفیت هوای آن‌ها از

آستانه این سازمان، فراتر رفته است [۱]. از طرف دیگر، پیامدهای زیان‌بار تغییرات آب و هوایی ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز، یک موضوع نگران‌کننده جهانی است. بنابراین، نظارت منظم و کاهش میزان آلودگی هوا در کاهش اثرات آن، بر سلامت انسان و محیط زیست، نقش اساسی دارد. مهم‌ترین آلاینده‌های هوا، شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، مونو اکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (SO_2)، دی اکسید نیتروژن

(NO_2)، اوزون (O_3)، متان (CH_4)، و ذرات معلق در هوا می‌باشند. متان، پس از دی اکسید کربن که بیشترین سهم را از نیروی تشعشعی ناشی از فعالیت‌های انسانی از سال ۱۷۵۰ به خود اختصاص می‌دهد، در رتبه دوم قرار دارد. متان در جو، کم‌تر از دی اکسید کربن (به نظر وجود این کلمه، ضروری نمی‌باشد) است، اما پتانسیل گرمایش جهانی در واحد جرم به طور قابل توجهی بالاتر است [۲]. گاز متان، از فعالیت‌های انسانی چون دامداری، سیستم‌های نفت/گاز، معدن زغال‌سنگ، محل‌های دفن زباله، تصفیه فاضلاب و کشت برنج، منتشر می‌شود [۳]. در این بین، محل‌های دفن زباله، منبع بالقوه عظیمی از متان هستند، زیرا تجزیه مواد آلی در شرایط بی‌هوازی باعث افزایش تولید متان می‌شود. با این حال، تعیین کمیت انتشار کل متان برای هر محل دفن زباله معین، چالش برانگیز است زیرا عملیات، هواشناسی، توپوگرافی و زیرساخت‌ها، دائماً تغییر می‌کنند [۴]. همچنین، بسیاری از متان منتشرشده از صنعت نفت و گاز را می‌توان بدون هزینه کاهش داد یا حذف کرد که نشان می‌دهد کاهش انتشار متان از عملیات نفت و گاز یکی از عملی‌ترین گام‌ها برای کاهش تغییرات آب و هوایی است [۵]. علاوه بر این، گاز متان قابل اشتعال است و اگر غلظت آن، در یک منطقه بسته به ۵ تا ۱۵ درصد برسد، می‌تواند منفجر شود [۶]. علیرغم اثرات منفی آن بر محیط زیست، گاز طبیعی به دلیل فراوانی و فرآیند سوختن پاک مورد علاقه است و بنابراین، در آینده به طور گسترده مورد استفاده قرار خواهد گرفت [۷]. در نتیجه، پایش و اندازه‌گیری متان، امری ضروری است. یکی از راه‌های به‌دست آوردن اطلاعات، در مورد مکان‌هایی که انتشار گاز در آن‌ها رخ می‌دهد، اندازه‌گیری روی زمین یا با استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین است [۸]. از آنجایی که اندازه‌گیری‌های زمینی یا هوایی از نظر پوشش مکانی و زمانی محدود است، نمی‌توان اطلاعات جامعی را از آن‌ها به‌دست آورد [۹]. در این زمینه، فناوری سنجش از دور با ساخت ماهواره‌هایی توانسته است بستر مناسبی را برای ارزیابی جهانی کیفیت هوای فعلی و تغییرات آب و هوایی آینده، فراهم کند. ماهواره‌ها، با گرفتن یک عکس فوری از غلظت متان در جو در یک نقطه و زمانی خاص، کار می‌کنند که سپس می‌تواند به نرخ انتشار تبدیل شود [۱۰]. در زمینه پایش ماهواره‌ای گازهای گلخانه‌ای به خصوص گاز متان، می‌توان به سنجنده‌های *sentinel-5*، *SCIAMACHY*، *MethanSAT* و *GOSAT* اشاره کرد که می‌توانند به طور دقیق توزیع جهانی و منطقه‌ای گاز متان را در قدرت تفکیک مکانی بین ۷ تا ۶۰ کیلومتر مشخص کنند [۱۱]. در این بین، ماهواره *Sentinel-5* و حسگر آن *TROPOMI*، به دلیل رزولوشن بالاتر نسبت به سایر ماهواره‌ها، مورد توجه محققین قرار گرفته است. تاکنون، مطالعات زیادی در رابطه با سنجنده‌های مخصوص پایش آلودگی هوا انجام گرفته است. ایریک کراسمن (لطفاً نام اندیشمند به انگلیسی آورده شود) به مطالعه ارتباط تغییرات مکانی و زمانی متان با الگوهای جریان هواشناسی در حوضه پرمیان، بزرگ‌ترین منطقه تولید نفت و گاز در ایالات متحده با استفاده از سنجنده *TROPOMI* پرداخت. تغییرات گاز متان، در دو دوره باد متوسط و دیگری

فشار زیاد و سرعت باد کم، بررسی شد. مشاهدات و تحلیل‌های هواشناسی همراه با مشاهدات *TROPOMI*، نشان داد که در سرعت باد کم به افزایش متان در سراسر حوضه، کمک می‌کند [۱۲]. چرپانوا (معادل انگلیسی نام) و همکاران، به تجزیه و تحلیل مکانی-زمانی غلظت متان و ارتباط آن با مناطق سوخته پرداختند. آن‌ها، با استفاده از داده‌های روزانه سنجنده *TROPOMI* به این نتیجه رسیدند که غلظت متان در مناطق تازه سوخته شده نسبت به سوختگی‌های سال گذشته بیشتر است [۱۳]. نیراج مایریا (نام ...) و همکاران، به بررسی غلظت آلاینده‌های SO_2 ، CO و SOX با استفاده از داده‌های *Sentinel-5P TROPOMI* در دوره‌های پس از برداشت گندم و برنج و سوزاندن زمین‌ها پرداختند. نتایج، نشان داد که غلظت CH_4 ، SO_2 ، SOX و CO و آئروسول در طی دوره سوزاندن زمین‌های کشاورزی پس از برداشت برنج و گندم، هر سال افزایش معنی‌داری داشت [۱۴]. سیاوش شامی و همکاران، به بررسی روند تغییرات دو گاز CO و NO_2 در طول پاندمی کووید با استفاده از تصاویر *Sentinel-5* پرداختند. نتایج، نشان داد در سال اول قرنطینه به دلیل رعایت قوانین، میزان این آلاینده‌ها ۵ درصد کاهش یافته است [۱۵].

در تحقیق دیگری، پلامن ترینچو (نام ...) و همکاران، به مطالعه و بررسی الگوهای مکانی و زمانی CH_4 ، CO و NO_2 در مناطق استخراج ذغال سنگ پرداختند. درصد نسبتاً بالای پیکسل‌های از دست رفته، یکی از مشکلات اصلی در مطالعه انتشار آلاینده‌های هوا از داده‌های ماهواره‌ای با رزولوشن متوسط است. آن‌ها، با استفاده از داده‌های *TROPOMI* ارائه یک رویکرد تکراری، پیکسل‌های از دست رفته را پیش‌بینی کرده و به نظارت سالانه منطقه مورد مطالعه پرداختند [۱۶]. ژانگ (...) و همکاران، با استفاده از داده‌های *TROPOMI* از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ به تجزیه و تحلیل گاز متان در چین پرداختند. نتایج، نشان داد غلظت متان در تابستان، زیاد و در زمستان، کم بوده، همچنین توزیع متان تقریباً در شرق زیاد، در غرب کم، در جنوب زیاد و در شمال کم است [۱۷]. پولیفیتو (نام ...) و همکاران، به مقایسه دو پایگاه داده ملی و بین‌المللی گاز متان با اندازه‌گیری‌های سنجنده *TROPOMI* در آرژانتین پرداختند. نتایج نشان داد، میانگین مقدار گاز متان از جنوب به شمال افزایش یافته، در حالی که بخش دریایی، ثابت مانده است [۱۸]. هاو سانگ (نام ...) و همکاران، به بررسی الگوی مکانی و زمانی متان از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۱ با استفاده از مشاهدات *TROPOMI* و *GOSAT* پرداختند. نتایج، نشان‌دهنده افزایش غلظت متان با رشد سالانه تقریباً $ppb/4$ بوده است [۱۹]. پانکاژ ساداوآرته (نام ...) و همکاران، از سنجنده *TROPOMI* برای تعیین کمیت انتشار متان از معادن زغال سنگ در استرالیا استفاده کردند. نتایج، نشان داد که برای دو مورد، تخمین‌های ماهواره‌ای به‌طور قابل توجهی بالاتر از گزارش دولت استرالیا بوده است [۲۰].

با توجه به اهمیت موضوع پایش آلاینده‌ها و اعلام خبری مبنی بر مشاهده یک توده ابر در جنوب تهران توسط ناسا، این مطالعه به بررسی درستی یا نادرستی خبر با استفاده از داده‌های سری زمانی سنجنده

۲۱۲۹ کیلومترمربع مساحت دارد و ۲۶۸۸۰ کیلومترمربع، بقیه استان است. تراکم جمعیت استان تهران، در حدود ۱۱۸۰۰ کیلومترمربع گزارش شده است. همچنین، استان تهران پرجمعیت‌ترین شهر ایران و غرب آسیا است. این استان، با توجه به جمعیت کلان‌شهرهای جهان، در رتبه ۲۴ جهانی قرار دارد [۲۲]. تغییرات بارگذاری آتروسل ناشی از شهرنشینی، خشک‌سالی، انتشار وسایل نقلیه و صنعت، یک نگرانی عمده به‌ویژه در مناطق شهری است. تهران، با غلظت بسیار بالای آلاینده‌های هوا، یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان است. علاوه بر این، توپوگرافی پیچیده و اقلیم نیمه‌خشک آن، مشکل آلودگی را تشدید می‌کند. این شهر، توسط رشته‌کوه البرز، احاطه شده است که آلودگی هوا را به دام می‌اندازد، درحالی‌که آب و هوای مدیترانه‌ای باعث وارونگی دمای زمستان می‌شود.

بنابراین، انتشار آلاینده‌ها می‌تواند منجر به بار آتروسل بالا، به‌ویژه در فصول سرد شود. منابع آتروسل محلی عمدتاً منابع شهری انسانی هستند که از انواع احتراق، از جمله وسایل نقلیه، نیروگاه‌ها و منابع صنعتی همراه با منابع طبیعی، به‌ویژه گرد و غبار، در فصل گرم که خشکی فزاینده در منطقه وجود دارد، منشأ می‌گیرند [۲۳].

TROPOMI پرداخته است. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی وجود یک توده گاز متان در شهر تهران است. بدین منظور، با توجه به محدودیت داده‌های ماهواره‌ای از این نظر که گاهی در بعضی از روزها یا برخی مناطق ممکن است داده‌ای نباشد، انتخاب یک سنجنده مناسب، به بررسی و تصمیم‌گیری نیازمند است. همچنین، در این پژوهش، به بررسی آلاینده‌های دیگر برای تعیین این مسئله که متان با گاز دیگری اشتباه نگرفته شده باشد و امکان وجود رابطه افزایش متان با سایر آلاینده‌ها، پرداخته شده است.

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در تهران، پایتخت ایران که در شمال فلات مرکزی ایران در طول جغرافیایی 51° تا $51^{\circ}40'$ شرقی و عرض جغرافیایی 30° تا $35^{\circ}51'$ شمالی واقع شده است، انجام شد که در شکل ۱ آمده است [۲۱]. تهران، پرجمعیت‌ترین و بزرگ‌ترین منطقه شهری ایران است که شامل ۲۲ منطقه شهرداری می‌باشد. استان تهران با حدود ۲۵ میلیون نفر جمعیت، حدود ۹ میلیون نفر در کلان‌شهر تهران و بقیه، در سایر شهرهای استان تهران زندگی می‌کنند. کلان‌شهر تهران، حدود



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه
Fig. 1: Area of study

داده‌های مورد استفاده

در سال‌های اخیر، ابزار *TROPOMI* نصب شده بر روی ماهواره *Sentinel-5* به یکی از پرکاربردترین حس‌گرها برای پایش آلودگی هوا تبدیل شده است. *Sentinel-5* در ۱۳ اکتبر ۲۰۱۷، به‌عنوان بخشی از سری برنامه‌های فضایی کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (ESA)، پرتاب شد [۲۴]. این سنجنده، نقشه‌برداری روزانه جهانی از گونه‌های جوی کلیدی را برای نظارت بر کیفیت آب و هوا، امکان‌پذیر کرده است [۲۵]. *TROPOMI* در یک پیکربندی مبتنی بر روش جارویی با پهنای باند در حدود ۲۶۰۰ کیلومتر، در طول مسیر ۷ کیلومتر، از ۶ اگوست ۲۰۱۹ به ۵۶ کیلومتر تبدیل شد و پوشش جهانی را به‌صورت روزانه، برداشت می‌کند. این ابزار، یک سیستم چهار طیف‌سنج است که در باندهای طیفی فرابنفش (UV)، فرابنفش-مرئی (UV-VIS)، مادون قرمز نزدیک (NIR) و امواج مادون قرمز کوتاه (SWIR) اندازه‌گیری می‌کند [۲۶]. اندازه پیکسل معمولی (در نادیر) 7×3.5 کیلومترمربع برای همه باندهای طیفی، به‌جز *UVW1* ماوراء بنفش (7×2.8 کیلومترمربع) و موج کوتاه مادون قرمز *SWIR* (7×7 کیلومترمربع) است. *TROPOMI* از برد موج مادون قرمز کوتاه (SWIR) $2385-2305$ نانومتر برای اندازه‌گیری متان استفاده می‌کند [۱۳].

روش تحقیق

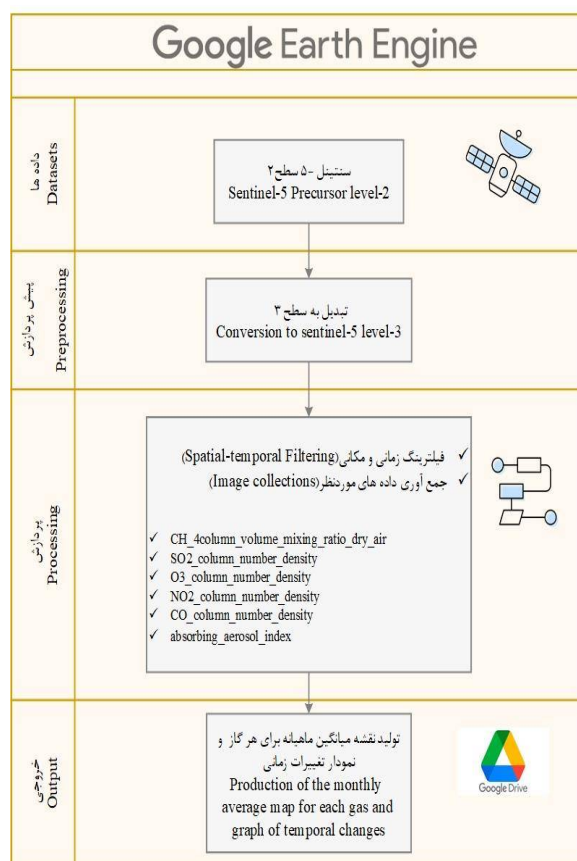
با توجه به این‌که در تاریخ ۳ آبان ۱۴۰۱، ناسا اعلام کرد که یک توده متان، به طول $4/8$ کیلومتر در جنوب شهر تهران مشاهده شده است، در این پژوهش، علاوه بر بررسی این موضوع به بررسی سایر گازهای موجود در اتمسفر مانند CO ، NO_2 ، O_3 و AOD به جهت اینکه تأثیری برافزایش گاز متان نداشته یا به اشتباه تشخیص داده شده باشند، پرداخته شده است. انتشار متان از مراکز شهری در سراسر جهان، هنوز به‌خوبی شناخته نشده است، اما به‌عنوان یک منبع بالقوه مهم CH_4 برای هدف کاهش هست [۲۷]. بنابراین، با توجه به این‌که متان، یک گاز قابل اشتعال است که بو و رنگ نداشته و جزء اصلی گاز طبیعی است، پایش و تشخیص به موقع آن، حائز اهمیت است [۲۸].

تمامی پردازش‌ها و مراحل کار، در محیط گوگل ارث انجام گرفته است. گوگل ارث انجین، مجموعه‌ای چند پتابیتی از داده‌های مکانی است که با عملکرد بالا و خدمات محاسباتی ذاتی موازی در کنار هم، قرار گرفته‌اند. مزیت اصلی گوگل ارث انجین، این است که مجموعه‌های بزرگی از داده‌ها از جمله پوشش زمین، متغیرهای محیطی، آب و هوا و پیش‌بینی آب و هوا را فراهم می‌کند که برای دسترسی به داده‌های قبل پردازش شده است. ویرایشگر کد ارث انجین، توسط کتابخانه‌های کلاینت که از طریق جاوا اسکریپت و پایتون، مدیریت می‌شوند، انجام می‌شود [۲۹]. همچنین، استفاده از محیط گوگل ارث انجین، باعث افزایش سرعت پردازش‌ها شده، که این مسئله در پایش مسائل محیط زیستی، حائز اهمیت است.

همان‌طور که در بخش داده‌ها گفته شد، برای بررسی تمام گازها از داده‌های ماهواره *Sentinel-5* استفاده شده است. مطابق شکل ۲،

داده‌های سطح ۲ *Sentinel-5* به سطح ۳، با استفاده از *HARP bin_spatial* تبدیل می‌شود. داده‌های اصلی سطح ۲ *Sentinel-5*، با زمان و نه طول و عرض جغرافیایی، متصل می‌شوند. برای این‌که بتوان داده‌ها را در گوگل ارث انجین وارد کرد، هر محصول سطح ۲ *Sentinel-5* به سطح ۳ تبدیل می‌شود و یک شبکه، در هر مدار حفظ می‌شود. این تبدیل، بر اساس یک سری پارامتر است که در عین حال به ابعاد (زمان، طول و عرض جغرافیایی)، متغیرها (نام داده‌ها و انواع داده‌ها)، ویژگی‌ها و مختصات اشاره دارد [۳۰].

سپس، فیلترینگ زمانی و مکانی، روی داده‌ها اعمال می‌شود. منظور از فیلترینگ زمانی و مکانی، تعیین تاریخ و محدوده‌ای است که قصد داریم میزان آلاینده آن را، اندازه‌گیری کنیم که به جهت این‌که تاریخ دقیق مشاهده توده متان مشخص نبود، به بررسی تغییرات زمانی از ۱ مرداد تا ۳۰ آبان برای آلاینده‌های CO ، CH_4 ، NO_2 ، SO_2 ، O_3 و AOD در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. همچنین، نقشه میانگین ماهانه برای زمانی که گاز متان، حداکثر مقدار خود را داشته است، برای تمامی گازها، تولید شده است. سپس، پس از پردازش داده‌ها، دو نوع خروجی شامل نقشه‌ها و گزارش‌های آماری تغییرات سری زمانی آلاینده‌ها، به‌دست آمده است. در نهایت، نتایج به‌دست آمده با نتایج ارائه شده توسط ناسا، مقایسه شده و مورد تحلیل و بررسی، قرار گرفتند.



شکل ۲: فلوچارت روش پیشنهادی
Fig. 2: Flowchart of the proposed method

نتایج و بحث

نتایج تغییرات زمانی گازهای CH_4 ، CO ، SO_2 ، NO_2 ، O_3 و AOD در بازه زمانی ۱ مرداد تا ۳۰ آبان ماه در شکل ۳ آمده است. همان طور که در نمودار الف، مشاهده می شود غلظت متان در ۱۰ شهریور و ۲۹ آبان بیشترین مقدار خود را در شهر تهران داشته است و روند تغییرات آن، از الگوی کاهشی یا افزایشی خاصی پیروی نمی کند. نمودار ب، مربوط به گاز CO است که در مرداد و شهریور تقریباً مقادیر در یک محدوده تغییر یافته اند و حداکثر مقدار آن، مربوط به ۲۳ و ۳۰ آبان بوده است. تغییرات گاز NO_2 در نمودار پ مشاهده می شود که در آبان ماه روند صعودی داشته و در ۳۰ آبان به اوج خود رسیده است. مقادیر اوزون، در ماه های مرداد و شهریور تقریباً بالا بوده و در مهرماه، کاهش اما در آبان، دوباره افزایش یافته است که در نمودار ت، تغییرات آن آمده است. همچنین، اوزون در ۱۷ آبان ماه بالاترین مقدار خود را داشته است. SO_2 از جمله گازهایی است که طبق نمودار ث مشاهده می شود، تغییرات آن روند نزولی و صعودی نداشته و دائماً در حال افزایش و کاهش می باشد. طبق نمودار ث، گاز SO_2 در ۱۷ شهریور، ۲۹ مهر، ۲۲ و ۳۰ آبان ماه، بالاترین مقادیر خود را در بازه زمانی مورد نظر، داشته است. نمودار ج، نشان دهنده تغییرات زمانی گرد و غبار، در شهر تهران است. طبق این نمودار، گرد و غبار در مهر و آبان، کاهش یافته و حداکثر مقدار آن، مربوط به ۵ مرداد بوده است.

با توجه به نمودار تغییرات گازها و بررسی آن ها، نتایج حاوی این بود که سایر گازها، تأثیری بر ایجاد توده متان نداشته و در تاریخ ۱۰ شهریور گاز دیگری در حداکثر مقدار خود، مشاهده نشده است. علاوه بر این، سه گاز NO_2 ، SO_2 و CO در ۳۰ آبان ماه بیشترین مقدار خود را داشته و نشان دهنده حداکثر آلودگی در شهر تهران است. اما با توجه به اینکه در تاریخ ۳ آبان ناسا این خبر را اعلام کرده است، می توان گفت که توده متان مشاهده شده مربوط به ۱۰ شهریور ۱۴۰۱ بوده است.

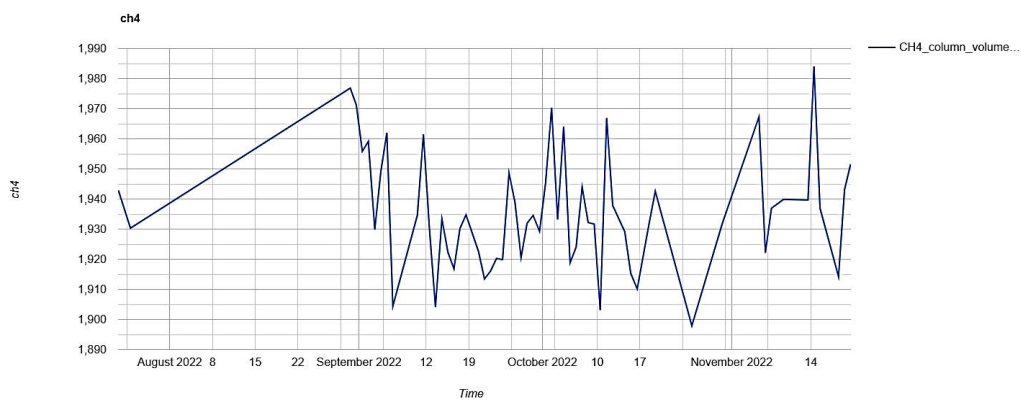
از طرف دیگر، گفته شده بود که این گاز متان، در جنوب تهران، مشاهده شده است. بنابراین، بررسی دیگری بر اساس میانگین مقدار گازهای موجود در شهریور ماه صورت گرفت که در شکل ۴ آمده است. مطابق شکل ۴، محدوده مکانی گازهای مورد نظر مشاهده می شود. گاز متان، در مناطق جنوبی و مرکز تهران، بیشترین غلظت را دارد. CO و

NO_2 در شمال شرق و نواحی مرکزی، اوزون و گرد و غبار بیشتر مناطق تهران به جز بخشی از شمال شرق تهران و حداکثر غلظت SO_2 در منطقه مورد نظر، پراکنده است. همچنین، به منظور بررسی دقیق تر منشأ گاز متان و تأیید درستی توده ابر متان توسط ناسا، نتایج مربوط به تاریخ ۱۰ شهریور در جنوب تهران نیز، در شکل ۵ آمده است. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، ابر متان مشاهده شده توسط ناسا در جاده قدیم تهران - قم در نزدیکی محله قاسم آباد - شورآباد با استفاده از داده های ماهواره Sentinel-5 در پلت فرم گوگل ارث انجین، به رنگ قرمز به معنای غلظت بالا، تأیید شد که باعث انتشار و میزان غلظت بالای گاز متان در جنوب تهران شده است. همچنین طبق گزارش ها، این منطقه، آزاد کوه کهریزک است که محل دفن زباله های شهر تهران بوده و علت اصلی تشدید و تشکیل این توده ابر متان در این جا است. علاوه بر این، طول این توده ابر متان در گوگل ارث انجین، محاسبه و با گزارش ارائه شده توسط ناسا، مقایسه شد که نتایج، در جدول ۱ آمده است.

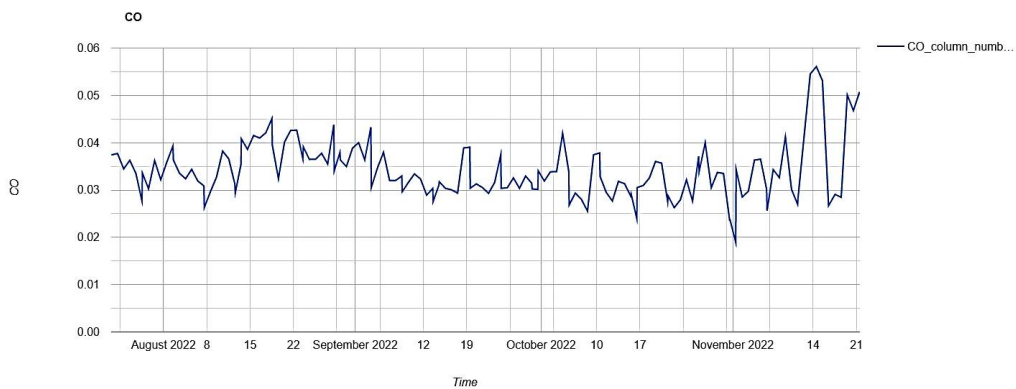
جدول ۱: مقایسه طول ابر متان ارائه شده توسط ناسا و حاصله از سنجنده ROPOMI
Table 1: Comparison of methane cloud length provided by NASA and obtained from the TROPOMI instrument

توده ابر مشاهده شده توسط ناسا Cloud mass observed by NASA	توده ابر متان استخراج شده در گوگل ارث انجین با سنجنده TROPOMI Methane cloud mass extracted in Google Earth Engine with TROPOMI meter
طول اندازه گیری شده Measured length	۴/۸ کیلومتر 4.8 Km
	۴/۴۱ کیلومتر 4.41 Km

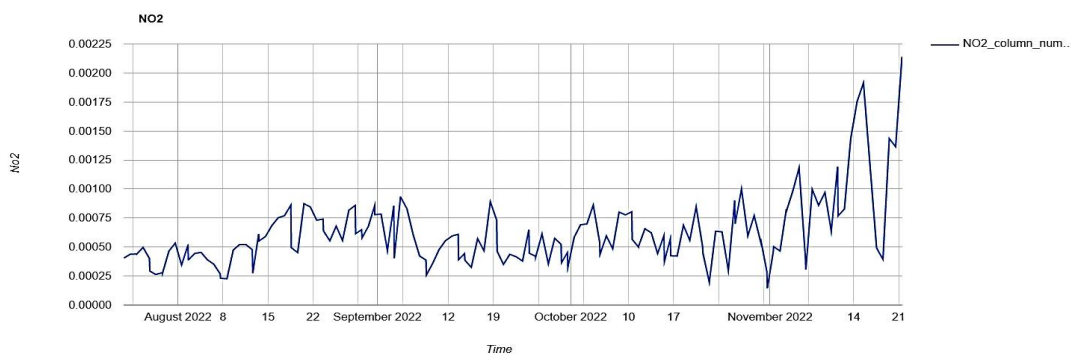
ناسا، طول توده ابر متان مشاهده شده را ۴/۸ کیلومتر گزارش کرده بود که این طول با نتایج به دست آمده از سنجنده TROPOMI تفاوت چندانی نداشته و درستی وجود گاز متان در منطقه آزاد کوه کهریزک را تأیید می کند.



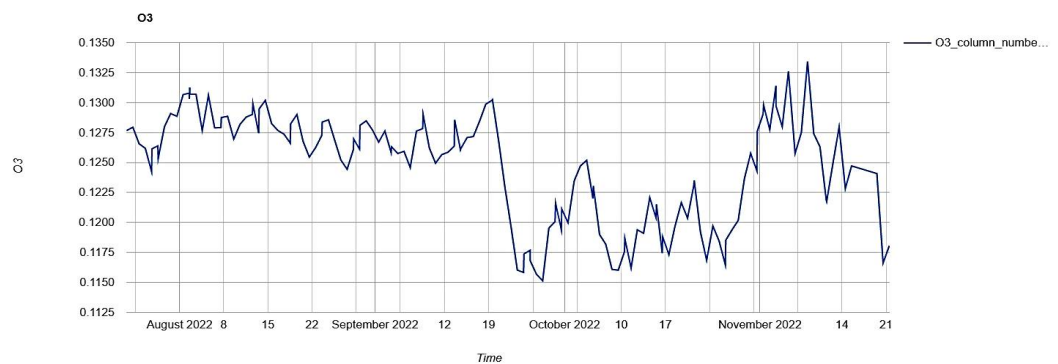
(الف)



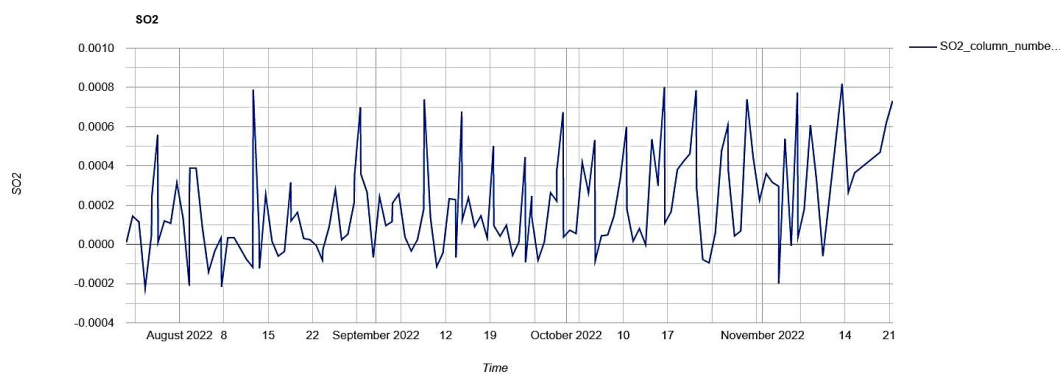
(ب)



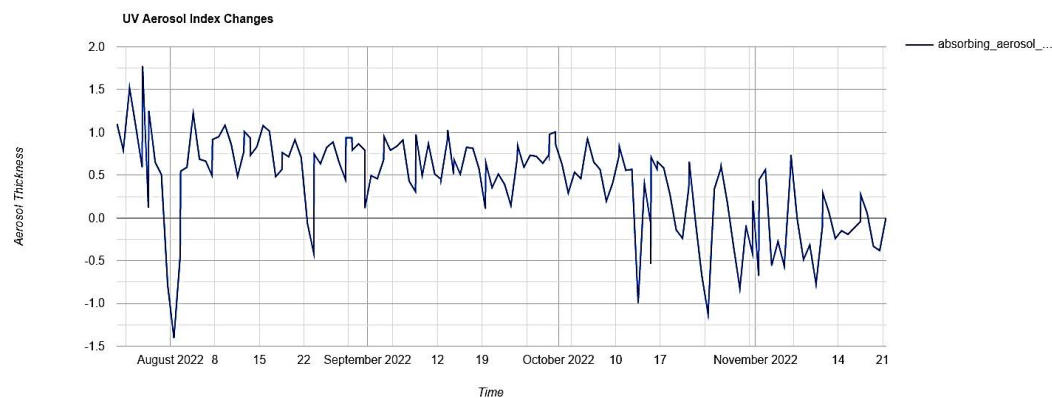
(پ)



(ت)

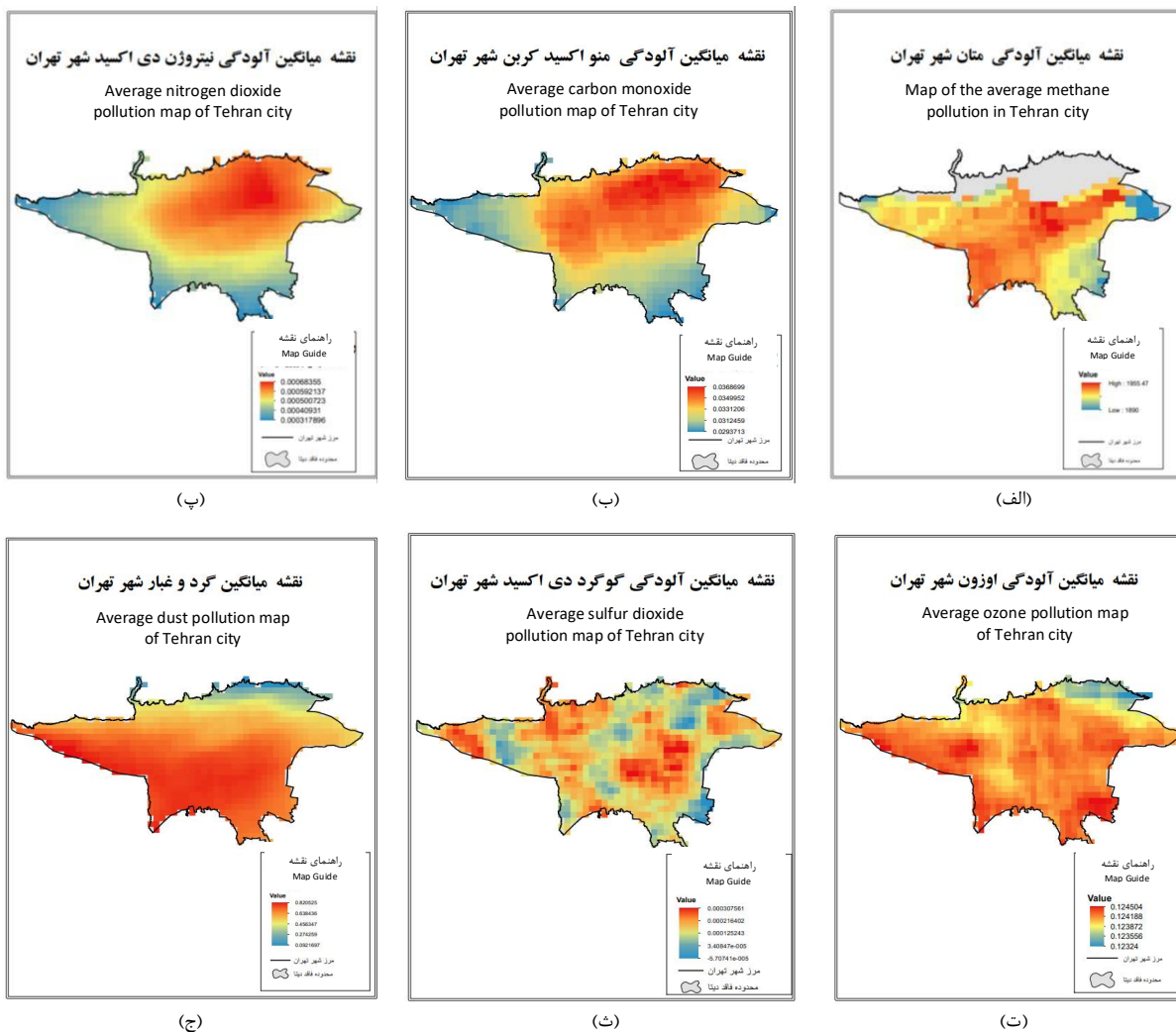


(ث)



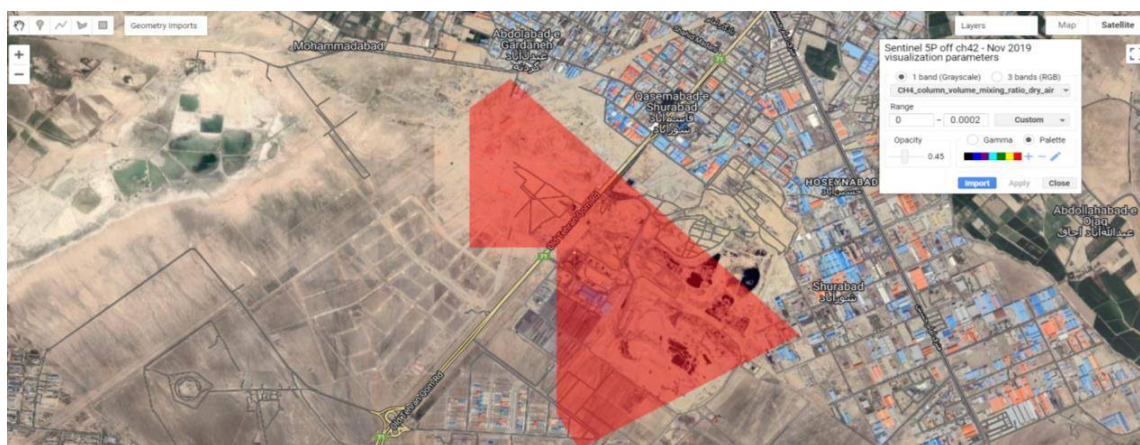
(ج)

شکل ۳: تغییرات زمانی میزان غلظت گازهای : الف) CH_4 ، ب) CO ، پ) NO_2 ، ت) O_3 ، ث) SO_2 ، ج) AOD؛
 Fig. 3: Temporal changes in the concentration of gases; a) CH_4 , b) CO , c) NO_2 , d) O_3 , e) SO_2 , f) AOD

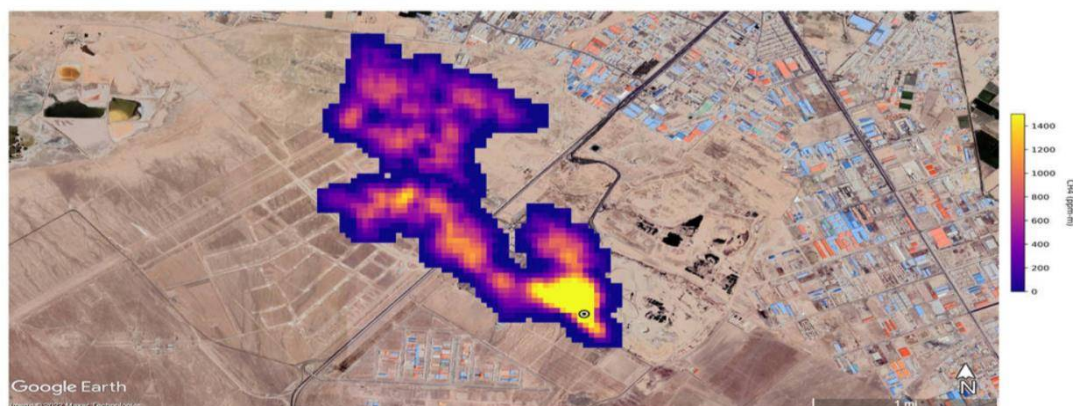


شکل ۴: نقشه میانگین آلودگی شهریورماه: الف) CH_4 ، ب) CO ، پ) NO_2 ، ت) O_3 ، ث) SO_2 ، ج) AOD

Fig. 4: Map of average pollution in September a) CH_4 , b) CO , c) NO_2 , d) O_3 , e) SO_2 , f) AOD



(الف)



(ب)

شکل ۵: الف) گاز متان حاصل از سنجنده TROPOMI در ۱۰ شهریور، ب) توده ابر متان ارائه شده توسط ناسا
 Fig. 5: a) Methane gas obtained from the TROPOMI sensor on 10 September, b) Methane cloud mass provided by NASA

شده و مقادیر آن، به ترتیب ۴/۸ و ۴/۴۱ کیلومتر بود که تفاوت چندانی نداشته و بدین ترتیب، بر اساس نتایج به دست آمده، درستی خبر منتشر شده توسط ناسا، تأیید شد. در پایان، پیشنهاد می شود، با توجه به اهمیت موضوع، ایستگاه های زمینی بیشتری به خصوص در مناطقی که احتمال انتشار گاز متان بیشتر است، نصب شده و از سنجنده TROPOMI به علت پوشش جهانی و رزولوشن بالاتر برای پایش روزانه و ماهانه، استفاده شود.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته اند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می کنیم.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع و مآخذ

- [1] Shikwambana L, Mhangara P, Mbatha N. Trend analysis and first time observations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020;91:102130.
- [2] Schneising O, Buchwitz M, Reuter M, Bovensmann H, Burrows JP, Borsdorff T, et al. A scientific algorithm to simultaneously retrieve carbon monoxide and methane from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2019;12(12):6771-802.
- [3] Jacob DJ, Varon DJ, Cusworth DH, Dennison PE, Frankenberg C, Gautam R, et al. Quantifying methane emissions from the

نتیجه گیری

آلودگی هوا، از جمله مشکلات زیست محیطی است که در اثر افزایش غلظت گازها و آلاینده ها به یک چالش مهم، به خصوص در کلان شهرها، تبدیل شده است. پایش و مدیریت آلودگی هوا، به دلیل تهدید سلامت انسان و آسیب های دیگر برای سایر جانداران، یک مسئله اساسی است. در این زمینه، سنجنش از دور به عنوان یک ابزار کارآمد در جهت تشخیص و تصمیم گیری به هنگام به منظور کنترل و کاهش آن کمک کننده است. گاز متان، دومین گاز گلخانه ای است که به طور قابل توجهی، باعث تغییرات آب و هوایی می شود. محل های دفن زباله، دامداری ها، تولید گاز طبیعی و تالاب ها، از منابع اصلی گاز متان می باشند. طبق اخبار منتشر شده توسط ناسا، اعلام شد که یک توده ابر متان در جنوب تهران، مشاهده شده است. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع در این تحقیق، به بررسی درستی این خبر، پرداخته شده است.

در این مطالعه، ابتدا تغییرات گازها و آلاینده های مختلف، از جمله CH_4 ، CO ، SO_2 ، NO_2 و O_3 و AOD در یک بازه زمانی ۴ ماهه به جهت تعیین تاریخی که غلظت متان در حداکثر مقدار خود بوده و همچنین، بررسی تأثیر سایر آلاینده ها بر گاز متان، پرداخته شده است. پردازش های مورد نظر، با استفاده از سنجنده TROPOMI ماهواره Sentinel-5 در پلت فرم گوگل ارث انجام شد. طبق نتایج به دست آمده، گاز متان در شهریور ماه به خصوص ۱۰ شهریور، غلظت بیشتری داشته است. بنابراین، نقشه میانگین غلظت آلاینده ها در شهریور ماه، برای بررسی میزان آلاینده ها در مناطق مختلف تهران، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده، نشان داد که میانگین غلظت متان در جنوب تهران، نسبت به سایر مناطق، بیشتر است.

در نهایت، طبق نقشه ای که توسط ناسا ارائه شده بود، به بررسی گاز متان در تاریخ ۱۰ شهریور، در منطقه آراد کوه کهریزک، پرداخته شد. نتیجه به دست آمده، نشان داد که غلظت متان، در این منطقه بالا و در حدود 1970 ppm بوده است. علاوه بر این، گاز متان استخراج شده از سنجنده TROPOMI با تصویر ارائه شده توسط ناسا از نظر میزان طول مقایسه

- [16]Trenchev P, Dimitrova M, Avetisyan D. Huge CH₄, NO₂ and CO Emissions from Coal Mines in the Kuznetsk Basin (Russia) Detected by Sentinel-5P. *Remote Sensing*. 2023;15(6):1590.
- [17]Zhang J, Han G, Mao H, Pei Z, Ma X, Jia W, et al. The spatial and temporal distribution patterns of XCH₄ in China: New observations from TROPOMI. *Atmosphere*. 2022;13(2):177.
- [18]Puliafito SE, Berná L, Lopez-Noreña A, Pascual R, Bolaño-Ortiz T, editors. Atmospheric Methane Emissions for Argentina. Comparison with TROPOMI Satellite Measurements. 2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS); 2020: IEEE.
- [19]Song H, Sheng M, Lei L, Guo K, Zhang S, Ji Z. Spatial and Temporal Variations of Atmospheric CH₄ in Monsoon Asia Detected by Satellite Observations of GOSAT and TROPOMI. *Remote Sensing*. 2023;15(13):3389.
- [20]Sadavarte P, Pandey S, Maasakkers JD, Lorente A, Borsdorff T, Denier van der Gon H, et al. Methane emissions from superemitting coal mines in Australia quantified using TROPOMI satellite observations. *Environmental Science & Technology*. 2021;55(24):16573-80.
- [21]Hajiloo F, Hamzeh S, Gheysari M. Impact assessment of meteorological and environmental parameters on PM 2.5 concentrations using remote sensing data and GWR analysis (case study of Tehran). *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26:24331-45.
- [22]Fuladlu K, Altan H. Examining land surface temperature and relations with the major air pollutants: A remote sensing research in case of Tehran. *Urban Climate*. 2021;39:100958.
- [23]Sabetghadam S, Khoshsima M, Pierleoni A. Aerosol climatology and determination of different types over the semi-arid urban area of Tehran, Iran: application of multi-platform remote sensing satellite data. *Atmospheric Pollution Research*. 2020;11(9):1625-36.
- [24]Rabiei-Dastjerdi H, Mohammadi S, Saber M, Amini S, McArdle G. Spatiotemporal Analysis of NO₂ Production Using TROPOMI Time-Series Images and Google Earth Engine in a Middle Eastern Country. *Remote Sensing*. 2022;14(7):1725.
- [25]Hu H, Landgraf J, Detmers R, Borsdorff T, Aan de Brugh J, Aben I, et al. Toward global mapping of methane with TROPOMI: First results and intersatellite comparison to GOSAT. *Geophysical Research Letters*. 2018;45(8):3682-9.
- [26]Cersosimo A, Serio C, Masiello G. TROPOMI NO₂ tropospheric column data: regridding to 1 km grid-resolution and assessment of their consistency with in situ surface observations. *Remote Sensing*. 2020;12(14):2212.
- [27]Plant G, Kort EA, Murray LT, Maasakkers JD, Aben I. Evaluating urban methane emissions from space using TROPOMI methane and carbon monoxide observations. *Remote Sensing of Environment*. 2022;268:112756.
- global scale down to point sources using satellite observations of atmospheric methane. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2022;22(14):9617-46.
- [4]Cusworth DH, Duren RM, Thorpe AK, Tseng E, Thompson D, Guha A, et al. Using remote sensing to detect, validate, and quantify methane emissions from California solid waste operations. *Environmental Research Letters*. 2020;15(5):054012.
- [5]Varon D, McKeever J, Jervis D, Maasakkers J, Pandey S, Houweling S, et al. Satellite discovery of anomalously large methane point sources from oil/gas production. *Geophysical Research Letters*. 2019;46(22):13507-16.
- [6]Stocker T. Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge university press; 2014.
- [7]Tran M-K, Fowler M. A review of lithium-ion battery fault diagnostic algorithms: Current progress and future challenges. *Algorithms*. 2020;13(3):62.
- [8]Schuit BJ, Maasakkers JD, Bijl P, Mahapatra G, Van den Berg A-W, Pandey S, et al. Automated detection and monitoring of methane super-emitters using satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2023:1-47.
- [9]Cusworth DH, Jacob DJ, Varon DJ, Chan Miller C, Liu X, Chance K, et al. Potential of next-generation imaging spectrometers to detect and quantify methane point sources from space. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2019;12(10):5655-68.
- [10]Dubey L, Cooper J, Hawkes A. Minimum detection limits of the TROPOMI satellite sensor across North America and their implications for measuring oil and gas methane emissions. *Science of the Total Environment*. 2023;872:162222.
- [11]Ayasse AK, Dennison PE, Foote M, Thorpe AK, Joshi S, Green RO, et al. Methane mapping with future satellite imaging spectrometers. *Remote Sensing*. 2019;11(24):3054.
- [12]Crosman E. Meteorological drivers of Permian Basin methane anomalies derived from TROPOMI. *Remote Sensing*. 2021;13(5):896.
- [13]Cherepanova E, Feoktistova N, Chudakova M. Analysis of methane concentration anomalies over burned areas of the boreal and arctic zone of eastern Siberia in 2018–2019 using TROPOMI data. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020;56:1470-81.
- [14]Maurya NK, Pandey PC, Sarkar S, Kumar R, Srivastava PK. Spatio-Temporal Monitoring of Atmospheric Pollutants Using Earth Observation Sentinel 5P TROPOMI Data: Impact of Stubble Burning a Case Study. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2022;11(5):301.
- [15]Shami S, Ranjgar B, Bian J, Khoshlahjeh Azar M, Moghimi A, Amani M, et al. Trends of CO and NO₂ Pollutants in Iran during COVID-19 pandemic using Timeseries Sentinel-5 images in Google Earth Engine. *Pollutants*. 2022;2(2):156-71.

Mohammadi, M. PhD. candidate of Remote sensing at the School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

✉ minamohammadi@ut.ac.ir



مهدی آخوندزاده هنزائی در سال ۱۳۸۱ مدرک کارشناسی مهندسی عمران- نقشه‌برداری از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران و مدرک کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی عمران سنجش‌ازدور را از دانشگاه تهران به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۰ دریافت کرد.

وی در حال حاضر دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران است. علایق تحقیقاتی او شامل تحلیل سری‌های زمانی، شناسایی آنومالی و زلزله است.

Akhoondzadeh, M. Associate Professor at the School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

✉ makhonz@ut.ac.ir

[28] Aldhafeeri T, Tran M-K, Vrolyk R, Pope M, Fowler M. A review of methane gas detection sensors: Recent developments and future perspectives. *Inventions*. 2020;5(3):28.

[29] Kulithalai Shiyam Sundar P, Deka PC. Spatio-temporal classification and prediction of land use and land cover change for the Vembanad Lake system, Kerala: a machine learning approach. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29(57):86220-36.

[30] Sharifi A, Felegari S. Nitrogen dioxide (NO₂) pollution monitoring with sentinel-5P satellite imagery over during the coronavirus pandemic (case study: Tehran). *Remote Sensing Letters*. 2022;13(10):1029-39.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



مینا محمدی دانشجوی دکتری مهندسی نقشه‌برداری- سنجش از دور در دانشگاه تهران می‌باشد. علایق تحقیقاتی او شامل پایش تغییرات، شناسایی و پایش بلایای طبیعی است.

Citation (Vancouver): Mohammadi M, Akhoondzadeh M. [Monitoring and detection of methane gas in Tehran in Google Earth Engine]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 41-52

doi <https://doi.org/10.22061/jrsg.2022.1948>



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 Use of Public Transportation System in Qazvin City Using a Simulator Model

M. Kazemi, F. Hosseinali*

Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 28 January 2023
Reviewed: 17 March 2023
Revised: 07 May 2023
Accepted: 15 June 2023

KEYWORDS:

Geo-spatial Information System
Public Transport Network
Qazvin
Simulation

* Corresponding author

✉ f.hosseinali@sru.ac.ir

☎ (+9821) 22970021

Background and Objectives: Geospatial Information Systems has developed their applications in various areas of science. The reason for this development is that Geospatial Information Systems are based on spatial data while nowadays spatial data is a major portion of information. One of the areas of wide use of Geospatial Information Systems is Transportation and Traffic. It is obvious that Transportation and Traffic is dependent on Geospatial Information. In this paper the public multi-modal transportation in the city is studied. In cities, people may use private vehicles (such as automobile or motorbike) or public vehicles (such as bus, subway, etc). The city managers always aim to engage people to use public transportation system because extensive use of private vehicles can lead to various problems such as air pollution, noise, increasing fuel consumption etc. Public transport only runs on a certain route and so many travels within the city need use of more than one public vehicle. Thus, a traveler in a city may be obliged to use several and probably dissimilar public vehicles. He/she may also traverse a short path on his/her feet. In this situation we are facing a multi-modal transportation problem on a spatial framework which can be solved by multiple methods considering various criteria. Such a problem has a good research background. However, in Iran, specially in Qazvin city (the case of this study) such a system does not exist.

Methods: In this study the agent-based modeling is applied to simulate the travels of people in the city by public transportation system. The environment is the map of street network of Qazvin city which the routes of public transportation system have been laid on it. The public transportation system in Qazvin city includes taxis and buses plus telephone taxi agencies. In this mode, the agents play the role of the travellers who travel from a specific point to another specific point in the city and have various options of using transportation system. The agent is able to use all of the options of travel and calculate the duration and the cost of each one to determine the most desirable option.

Findings: The results revealed that public transportation system of Qazvin city have various desirability in its various routes. Thus, it is better to estimate the desirability of each route separately. However, generally speaking, we can argue that in the short travels, taxi is a good option, in mean travels the bus is affordable and for long travels using telephone taxis may be convincing. Nowadays, internet taxis are widely used. Internet taxis may be considered similar to telephone taxis. The difference between internet taxis and telephone taxis is that internet taxis are usually more abundant and also cheaper than telephone taxis.

Conclusion: Deployment of agent-based model as a simulator model creates a lot of power to analyze the problems of transportation system and traffic. This study proved this claim. The results of this study provide a general view of the cost and speed of public transportation system of Qazvin city while any traveller may have his/her specific idea. For instance, some people may choose the bus for their travel because of their own economical or security reasons. Nevertheless, the model developed in this study is able to evaluate the desirability of each travel based on not only cost and time but based on the other criteria if the data is available. Therefore, the power of the model is revealed when it is implemented on a public online or mobile application.



NUMBER OF REFERENCES

30



NUMBER OF FIGURES

6



NUMBER OF TABLES

1

مقاله پژوهشی

ارزیابی استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی شهر قزوین با استفاده از مدل شبیه‌ساز

مبشر کاظمی، فرهاد حسینی*

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: سامانه‌های اطلاعات مکانی، کاربردهای خود را در شاخه‌های مختلف علمی و اجرایی گسترش داده‌اند. دلیل مبرهن این گسترش، استوار بودن این سامانه‌ها بر اطلاعات مکانی است، چراکه این اطلاعات بخش گسترده‌ای از اطلاعات تولید شده و مبادله شده در دنیای امروز را به خود اختصاص می‌دهد. یکی از حوزه‌هایی که سامانه‌های اطلاعات مکانی کاربرد وسیعی در آن یافته است، حوزه حمل و نقل و ترافیک می‌باشد و پر واضح است که این حوزه، وابسته به اطلاعات مکانی است. در این تحقیق، حمل و نقل چند منظوره شهری با استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی، مد نظر می‌باشد. مسافرت درون شهری، می‌تواند با استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی، نظیر اتوبوس، مترو، تاکسی و نظایر آن، یا با استفاده از وسایل شخصی مانند اتومبیل و موتور سیکلت، انجام گردید. مدیران شهری، همواره می‌کوشند که مردم را به استفاده از حمل و نقل عمومی ترغیب و تشویق نمایند، چون استفاده از وسایل شخصی پیامدهای ناخوشایند زیادی نظیر افزایش مصرف سوخت، سنگینی ترافیک و به تبع آن آلودگی هوا، آلودگی صوتی، اتلاف وقت و غیره را، به همراه دارد. وسایل حمل و نقل عمومی در خطوط مشخصی حرکت می‌کنند و به همین دلیل بسیاری از سفرهای شهری با استفاده از تنها یک وسیله حمل و نقل عمومی، به سرانجام نمی‌رسد. از این رو، مسافر برای طی طریق از مبدأ به مقصد، مجبور می‌شود که از چند خط حمل و نقل عمومی که ممکن است شامل وسایل غیر یکسانی باشند، استفاده نماید و حتی مسیری را نیز، به صورت پیاده پیماهد. در این جا، با یک مسأله حمل و نقل چند حالتی روبرو هستیم که در یک بستر مکانی با استفاده از ابزارهای مختلف و با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، قابل بررسی است. این مسأله، سابقه پژوهش‌های زیادی در دنیا دارد ولی در ایران و مشخصاً در شهر قزوین که مورد مطالعه این پژوهش است، چنین سیستمی تاکنون به ثمر ننشسته است.

روش‌ها: در این پژوهش، از مدل عامل-مبنا برای شبیه‌سازی استفاده مسافران از وسایل حمل و نقل عمومی در داخل شهر، استفاده می‌شود. محیط کار، نقشه شبکه خیابان‌های شهر قزوین است که مسیرهای حمل و نقل عمومی روی آن، پیاده شده است. وسایل حمل و نقل عمومی در شهر قزوین، اتوبوس و تاکسی است که استفاده از آن‌س نیز به آن، افزوده شده است. در این مدل، عامل‌ها در نقش مسافرانی هستند که از یک مبدأ مشخص، قصد عزیمت به مقصدی مشخص را دارند و با گزینه‌های مختلفی برای سفر خود، مواجه می‌باشند. عامل، می‌تواند همه این گزینه‌ها را در محیط نقشه، تجربه نماید و زمان و هزینه استفاده از هر یک از آن‌ها را به‌دست آورد تا در نهایت، مشخص شود که کدام گزینه می‌تواند برای مسافر، مطلوب‌تر باشد.

یافته‌ها: نتایج، نشان داد که وسایل حمل و نقل عمومی شهر قزوین در مسیرهای مختلف می‌توانند مطلوبیت‌های متفاوتی داشته باشند و بهتر است هر مسیر، به صورت جداگانه سنجیده شود. با این حال، به صورت کلی می‌توان گفت در مسیرهای کوتاه، تاکسی گزینه مطلوبی است، در مسیرهای متوسط، اتوبوس می‌تواند از نظر هزینه، مقرون به صرفه باشد و در مسیرهای طولانی، استفاده از آن‌س، توجیه‌پذیر خواهد بود. امروزه، استفاده از تاکسی‌های اینترنتی، گسترش بسیاری یافته است. این تاکسی‌ها را نیز، می‌توان به صورت آن‌س در نظر گرفت. تنها تفاوت آن‌ها در این است که معمولاً هزینه کمتری نسبت به آن‌س‌های تلفنی دارند و از فراوانی بسیار بیشتری نیز، برخوردار هستند.

نتیجه‌گیری: به‌کارگیری مدل عامل‌مبنا به عنوان یک مدل شبیه‌ساز، قدرت زیادی در تحلیل مسائل حمل و نقل و ترافیک ایجاد می‌کند و این تحقیق، گواه این امر است. نتایج این تحقیق، یک دید کلی از میزان مطلوبیت گزینه‌های مختلف حمل و نقل عمومی در شهر قزوین ایجاد می‌کند، حال آن‌که هر مسافری، ممکن است دیدگاه اختصاصی خود را داشته

تاریخ دریافت: ۰۸ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۲۶ اسفند ۱۴۰۱
تاریخ اصلاح: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۵ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

سامانه اطلاعات مکانی
شبکه حمل و نقل عمومی
شبیه‌سازی
قزوین

* نویسنده مسئول

f.hosseinali@sru.ac.ir

۰۲۱-۲۲۹۷۰۰۲۱

باشد. برای مثال، ممکن است افرادی به دلیل اقتصادی یا امنیت، تنها از اتوبوس برای سفر درون‌شهری، استفاده نمایند. در هر صورت، مدل توسعه داده شده در این پژوهش، می‌تواند مطلوبیت هر سفر را از جنبه‌های مختلف حتی فراتر از زمان و هزینه، به شرط فراهم بودن اطلاعات آن، ارزیابی و در اختیار مسافر قرار دهد. از این رو، قدرت و قابلیت واقعی این مدل، زمانی به منصه ظهور خواهد رسید که در یک سامانه برخاسته با قابلیت استفاده در تلفن‌های همراه، در اختیار عموم قرار گیرد.

مقدمه

یکی از دغدغه‌های مهم این روزهای مدیران شهری در بسیاری از مناطق جهان به ویژه کشورهای نفت‌خیز که در آن‌ها قیمت سوخت به نسبت، ارزان است؛ جذاب نمودن سیستم حمل‌ونقل عمومی می‌باشد. از این رو، مدیران شهر به دنبال راهکارهایی برای افزایش جذابیت حمل‌ونقل عمومی نسبت به استفاده از خودروی شخصی هستند، زیرا با افزایش جذابیت سیستم حمل و نقل عمومی، بسیاری از مشکلات در سطح شهر، کاهش می‌یابد. کاهش مشکلات می‌تواند به جلوگیری از ترافیک بیهوده در سطح شهر، کاهش شاخص آلودگی هوا، کاهش باران‌های اسیدی، کاهش تصادفات درون‌شهری، امنیت برای دوچرخه سواران و عابران پیاده و از همه مهم‌تر، کاهش هزینه‌های حاصل از عبور و مرور بسیار همچون هزینه تعمیر و نگهداری آسفالت، هزینه تولید سوخت و غیره بیانجامد. هدف اصلی در این پژوهش، ساخت یک سکوی نرم‌افزاری کارآمد برای مسافرت درون‌شهری با وسایل حمل و نقل عمومی چندمنظوره می‌باشد، به صورتی که مسافران بتوانند با در اختیار داشتن سه عامل هزینه، زمان و مطلوبیت (که سومی می‌تواند بر اساس دو عامل اول تعریف شود)، برای تمامی وسایل حمل و نقل عمومی چندمنظوره، به راحتی و در کمترین زمان، وسیله حمل و نقل عمومی خود را، انتخاب نمایند.

با توجه به هزینه ساخت، ساز و تدارکات ایستگاه‌های مترو، معمولاً ایستگاه‌ها در نقاط حساس شهری از نظر فعالیت سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و یا تمرکز جمعیتی، احداث می‌شوند. گاهی، این ایستگاه‌ها باعث عدم رعایت عدالت فضایی در دسترسی به حمل و نقل عمومی می‌شود [۱، ۲]. برای برقراری این عدالت، می‌توان ایستگاه‌های اتوبوس را به این شبکه، متصل کرد. از این رو، شناخت تمامی مسیرهای موجود، چه تک منظوره و چه چند منظوره (پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری، مترو، اتوبوس‌ها و تاکسی) برای تمامی کاربران، حیاتی می‌باشد.

شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی، برای بهره‌گیری مطلوب شهروندان از امکانات شهری، بسیار حیاتی هستند [۳-۷]. افراد، همواره هنگام سفر از مبدأ به مقصد با چالش انتخاب بهترین مسیر رو به رو می‌شوند. بهترین مسیر، همیشه شامل نزدیک‌ترین و یا کم‌زمان‌ترین مسیر نیست، بلکه گاهی عوامل دیگری مانند کم‌ترین هزینه، کم‌ترین جابه‌جایی و سردرگمی، مطلوبیت و راحتی سفر را نیز، شامل می‌شود. از جهت دیگر، ما باید تمرکز لازم را بر شبکه حمل و نقل عمومی چند منظوره و پیچیدگی‌های ذاتی و چالش‌های آن، داشته باشیم. ما به دنبال ارائه چند مسیر آزموده شده توسط عامل‌ها، هستیم [۸]. در شهرهای بزرگ،

عقلانی‌ترین راه حل برای عدم تطابق بین عرضه و تقاضای حمل و نقل عمومی، ایجاد یک سلسله مراتب برای مسیرها، بهینه‌سازی ایستگاه‌ها با تغییر توزیع تراکم، ادغام مناسب حمل‌ونقل موتوری و غیر موتوری و ارائه یک چارچوب مناسب است [۹]. انسان‌ها در جوامع پیشرفته و در شهرها، با مشکل انتخاب مسیر مواجه هستند و این امر، زمانی تشدید می‌شود که شما به کلان‌شهری با پیچیدگی‌های زیاد، سفر کنید و یا حتی در آن، زندگی کنید و در آن صورت، مشکلات زیادی در طراحی مسیر مبدأ به مقصد خواهید داشت. این امر، وقتی شما می‌خواهید با وسایل حمل و نقل عمومی سفر کنید، بیشتر به چشم می‌خورد [۱۰]. آشنایی با خطوط حمل و نقل عمومی و هماهنگی بین آن‌ها در شهرها، معمولاً کار بسیار دشواری خواهد بود، چراکه شما به راحتی نمی‌توانید تصمیم بگیرید که چه میزان از سفر را با چه وسیله حمل و نقل عمومی طی کنید. مثلاً نمی‌دانید چه زمانی سوار مترو شوید، چه وقت پیاده شوید و از تاکسی استفاده کنید، آیا ایستگاه اتوبوسی وجود دارد؟ آیا تاکسی موجود است؟ و مسائلی نظیر این. انتقال و یا تبادل برای مسافرهای شهری در شبکه حمل و نقل عمومی چند منظوره، اجتناب ناپذیر است [۱۱]. در بسیاری از مواقع، به تجربیات افراد حاضر در محیط، اکتفا می‌کنید که اصولاً راحت‌ترین کار است ولی این، لزوماً بهترین راه نمی‌تواند باشد. شما برای رفتن از مبدأ به مقصد، گاهی لازم است مقداری پیاده‌روی داشته باشید، مقداری از سفر را از وسایل حمل و نقل عمومی استفاده کنید و حتی وسیله حمل و نقل عمومی را چندین بار، عوض نمایید. این که چگونه این هماهنگی را ایجاد کنید، بسیار دشوار و گاهی مشکل‌ساز می‌نماید و این، همان چیزی است که تحقیق حاضر، به دنبال بررسی آن است.

بسیاری از محققان، به دنبال راهی مناسب برای بهینه‌سازی بهترین وسیله حمل و نقل عمومی در هر منطقه و وضعیت هستند و این مهم، مستلزم یافتن میزان مطلوبیت وسایل حمل و نقل عمومی، می‌باشد. مطلوبیت یک پارامتر، کیفی است و نمی‌توان آن را به درستی اندازه‌گیری نمود و فقط، با نمایش دادن درست پارامترهای مختلف می‌توان به کاربر، قدرت انتخاب بیشتری داد. لذا، در پژوهش پیش‌رو، به دنبال این خواهیم بود که با توسعه یک مدل عامل-مبنا، امکان پیشنهاد سفر چند منظوره را، فراهم نماییم و سپس، نتیجه عملکرد این مدل را، با پنداشت عمومی مقایسه کنیم. در راستای نیل به این منظور، از نقشه شهر استفاده می‌شود و در این‌جا، نقش سامانه‌های اطلاعات مکانی، خود را نشان می‌دهد. در واقع، اطلاعاتی که از آن استفاده می‌شود، بر بستر سامانه‌های اطلاعات مکانی، آماده می‌گردد و نتایج بصری حاصل نیز، بر همین بستر به بهترین شکل، قابل نمایش خواهد بود.

برای کارمندان، با اهمیت‌تر است. همچنین، کارمندان اغلب در جستجوی مسیر بدون تبادل هستند و از این رو، اکثر آن‌ها از مسیر مستقیم و ترجیحاً اتوبوسی، استفاده می‌کنند [۱۵].

طهماسبی و حق‌شناس در تهران، دسترسی وسایل حمل و نقل عمومی به فعالیت‌های مختلف شهری اعم از اشتغال، تحصیل، مراقبت‌های بهداشتی، فروشگاه‌ها و نقاط تفریحی و گردشگری را، مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها، به کمک تحلیل مؤلفه‌های اصلی به یک شاخص منحصر به فرد، دست یافتند. ارزیابی با استفاده از این شاخص، نشان داد زمان سفر در شبکه حمل و نقل عمومی، منجر به ارزیابی خوش‌بینانه از عدالت فضایی می‌شود. به عبارت دیگر، زمانی که هیچ تمایزی بین میزان پیاده‌روی، زمان انتظار در ایستگاه و زمان سفر با وسیله نقلیه وجود ندارد؛ زمان سفر، سطح دسترسی به مناطق مختلف شهری را نشان می‌دهد و بر همین اساس، نتیجه گرفتند که مرکز شهر از دسترسی بهتری به وسایل نقلیه عمومی به نسبت حاشیه شهر، برخوردار است [۱۶].

مرور پیشینه تحقیق، نشان می‌دهد که موضوع حمل و نقل چندمنظوره با وجود اهمیت زیاد آن، مورد بررسی کافی قرار نگرفته است و گواه آن، عدم وجود سیستمی در شهرهای ایران است. این تحقیق، می‌کوشد گامی در راستای پر نمودن خلأ موجود بردارد و سیستمی که پیشنهاد می‌شود در صورت مقبولیت نزد مسئولان امر، می‌تواند به بهره‌برداری عملیاتی نیز برسد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، شبیه‌سازی استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی با استفاده از مدل عامل-مبنا، انجام می‌شود. مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار *NetLogo* که یک نرم‌افزار خاص مدل‌سازی عامل-مبنا است، صورت می‌پذیرد. در واقع، افراد در نقش عامل‌هایی در نظر گرفته می‌شوند که قصد سفر از یک مبدأ مشخص به یک مقصد معلوم را دارند. بر این اساس، گزینه‌های موجود سفر با استفاده از مدل عامل-مبنا، شبیه‌سازی و مطلوبیت هریک از منظر هزینه و زمان، ارزیابی و مشخص می‌گردد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش، شهر قزوین است. شهر قزوین (شکل ۱)، بزرگ‌ترین شهر استان قزوین و مرکز آن، می‌باشد. استان قزوین با مساحت ۱۵۵۶۷ کیلومتر مربع (معادل ۹۶ صدم درصد از کل مساحت کشور)، شاهراه ارتباطی ۱۳ استان کشور و ارتباط‌دهنده پایتخت با مناطق شمالی و غربی و در ادامه کشورهای قفقاز و اروپا است. جمعیت استان قزوین بر اساس سرشماری عمومی سال ۱۳۹۵، یک میلیون و ۲۷۳ هزار و ۷۶۱ نفر می‌باشد که بیش از یک چهارم این افراد در شهر قزوین، ساکن هستند و تعداد زیادی نیز در شهرک‌های اقماری نزدیک به قزوین، سکونت دارند. حمل و نقل شهری در شهر قزوین اساساً بر سه وسیله اتوبوس، تاکسی و آژانس (تاکسی تلفنی یا اینترنتی) متکی است.

چن و همکاران (Chene et al) در نانجینگ چین مدل چند منظوره و چند مقیاسی را برای *GIS-T* طراحی کردند. آنان، پس از ادغام حالت‌های مختلف حمل و نقل شهری و با رویکرد شیء‌گرا، مدل را پیاده‌سازی کردند. مدل *GIS-T*، چندین امکان مدیریتی و ادغام، شامل ادغام شبکه حمل و نقل عمومی، خصوصی و چندین نمایندگی داده‌ها را، فراهم می‌سازد. همچنین، یک رابط انعطاف‌پذیر برای برنامه‌ریزی چندمسیری ارائه می‌دهد. این مدل، باعث شده که ارزیابی خدمات، کیفیت بالای خدمات جغرافیایی، تصمیم‌گیری برنامه‌ریزان شهری و ظرفیت زیرساخت‌ها، بهبود یابد [۱۷].

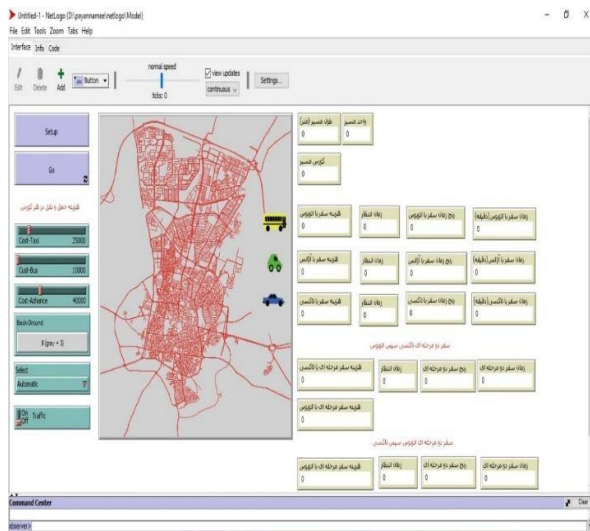
ژانگ و همکاران (Zhang et al) در رتردام هلند، کل شبکه حمل و نقل را به دو دسته عمومی و خصوصی، طبقه‌بندی کردند. سپس، شبکه حمل و نقل چند منظوره را، برای شبکه عمومی شبیه‌سازی نمودند و نشان دادند که الگوریتم پایه مسیریابی در حالت ساده، جوابگو ولی در حالت چندساختی، بسیار کند و ناکارآمد، عمل می‌کند [۱۲].

دلمل و همکاران (Delmelle et al) در کالی کلمبیا، با بررسی‌هایشان پی بردند که ۸۷٪ مردم، حدود ۲۰ دقیقه، پیاده‌روی روزانه دارند و مردمف به ۸۰٪ ایستگاه‌های *BRT* با ۱۵ دقیقه پیاده‌روی، دسترسی پیدا می‌کنند. بررسی‌های آنان، نشان داد که اقشار متوسط، دسترسی بهتری نسبت به اقشار کم‌درآمد و پردرآمد دارند و بیشتر تمرکز ایستگاه‌ها، در مرکز شهر قرار دارد. همچنین، تأثیر کاربری‌هایی همچون بیمارستان‌ها، کتابخانه‌ها و مراکز تفریحی بر ایستگاه‌های *BRT* و حجم بار آن‌ها، بررسی شد و آنان، با طراحی یک سیستم برای *BRT*‌ها دریافتند که بیشترین دسترسی برای مراکز تفریحی و بیمارستان‌ها، در نظر گرفته شده است، ولی در این سیستم، زمان‌بندی فردی توانمندی افراد معلول و مسن، مورد بررسی قرار نگرفت [۱۳].

مونیزاگا و همکاران (Munizaga et al) در سانتیاگو شیلی، با استفاده از کارت‌های هوشمند دارای *GPS* که برای استفاده از خدمات حمل و نقل عمومی، در اختیار مردم قرار گرفته است، توانستند مسیر حرکت مبدأ به مقصد و میزان استفاده از خدمات حمل و نقل عمومی را بیابند. آن‌ها، با تشخیص حرکت صورت‌گرفته با کمک *GPS* داخل کارت‌ها و مسیر حرکت کاربرها، توانستند زمان و هزینه سفر را تخمین بزنند. برای این کار، آنان ابتدا صحت مسیرهای کاربر را بررسی نمودند و سپس جابه‌جایی در ایستگاه‌های مترو و اتوبوس را یافتند و توانستند زمان و هزینه سفر را، محاسبه کنند. اما گستره منطقه، محدود بوده و معمولاً نمی‌تواند به طور کامل توزیع غیرمستقیم سفرها را، نمایش دهد [۱۴].

ین و همکاران (Yen et al) در کوئینزلند استرالیا مدل‌های *logit* توزیع شده را با استفاده از خصوصیات جمعیت‌شناختی اجتماعی برای اندازه‌گیری رفتار انتقال، به کار گرفتند. آن‌ها، تبادل بین وسایل حمل و نقل عمومی را برای چهار قشر: کارمندان، دانشجویان، افراد ثروتمند و سالمندان، مورد بررسی قرار دادند. ۹۰٪ نتایج حاصل شده نشان می‌دهد، تبادل تحت‌تأثیر ویژگی‌های سفر و سطح خدمات حمل و نقل عمومی، قرار می‌گیرد و یافتن اثرات شبکه حمل و نقل عمومی، بیشتر

سفر از مبدأ به مقصد از روش‌های مختلف ممکن، محاسبه و پس از ترکیب با سایر معیارها نظیر جذابیت سفر (بر اساس چشم انداز خیابان‌ها در صورت وجود)، در نهایت مطلوبیت هر یک از مسیرها اعلام می‌شود. شکل ۲، رابط کاربری توسعه داده شده توسط نرم‌افزار NetLogo را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمایشی از رابط کاربری نرم‌افزاری توسعه داده شده

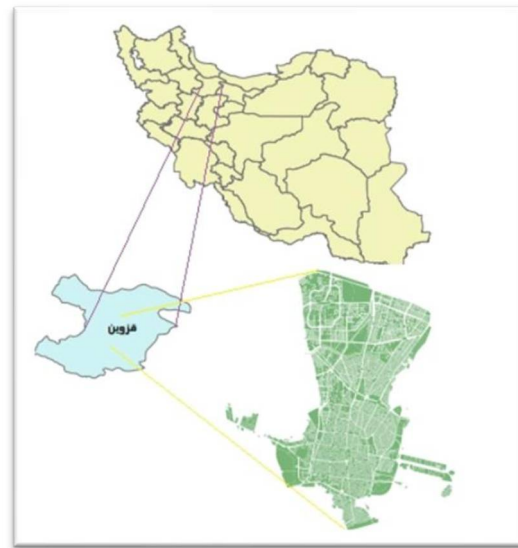
Fig. 2: A view of developed software interface

نتایج و بحث

نتایج مدل عامل-مبنا

در این تحقیق، هزینه عبور با استفاده از هریک از گزینه‌های حمل و نقل، اساس مدل‌سازی را تشکیل می‌دهد. هزینه‌ها، به‌صورت متغیر در نظر گرفته شد تا امکان استفاده از آن در هر زمان، فراهم باشد. به عبارت دیگر، با تغییر نرخ‌ها در سال‌های مختلف می‌توان به راحتی آن‌ها را در مدل اعمال و نتایج جدید را، استحصال نمود. در این‌جا، جای آن دارد که به این نکته اشاره شود که مقاله مزبور، حاصل ادامه یک کار تحقیقاتی است که بخشی از آن توسط محققان همین مقاله، قبلاً به چاپ رسیده است [۳۰]. در این مقاله، با رفع برخی محدودیت‌ها و نیز اضافه نمودن یک شیوه ترکیبی حمل‌ونقل دیگر، مدل شبیه‌سازی، ارتقا یافته است. طبق دستورالعمل واحد بین اتوبوسرانی و تاکسیرانی، هزینه‌های سفر بر اساس کورس مسافتی، تعیین می‌شوند و هر ۱۵۰۰ متر، یک کورس مسافرتی می‌باشد. هزینه سفر در سال ۱۴۰۰ برای اتوبوس، کورسی ۲۵۰ تومان، برای تاکسی ۸۰۰ تومان و برای آژانس اینترنتی و آژانس محلی، ۲۰۰۰ تومان می‌باشد. این مقادیر، به صورت متغیر در نرم‌افزار تعبیه شدند تا بتوان آن‌ها را برای سالیان سال، استفاده کرد. گفتنی است، به دلیل جمع‌آوری داده‌ها در سال ۱۴۰۰، نرخ‌ها مربوط به همان سال می‌باشند ولی با توجه به این‌که تغییر نرخ‌ها به یک نسبت انجام می‌شود این نتایج تا سال‌ها، معتبر خواهند بود. همچنین، به دلیل نداشتن ترافیک چندان به غیر از تعداد معدودی از روزها، لایه ترافیکی،

در این پژوهش، هر سه وسیله برای شبیه‌سازی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

Fig. 1: The study area

مدل عامل-مبنا

با وجود نداشتن تعریفی متفق‌القول برای مدل‌سازی عامل-مبنا، به طور کلی می‌توان گفت مدل عامل-مبنا یا عامل-بنیان، مدلی است که از عوامل در تعامل با هم ولی در عین مستقل، تشکیل شده است [۱، ۳]. به دلیل آن‌که در شبکه حمل‌ونقل، امکان بهره‌گیری از وسایل گوناگون برای سیر از مبدأ به مقصد وجود دارد، شبیه‌سازی با استفاده از مدل عامل-مبنا، راهکاری مناسب به شمار می‌رود.

عامل‌هایی که دارای قدرت تصمیم بر اساس اهداف تعیین‌شده خود باشند، عامل هوشمند نامیده می‌شوند [۱۷، ۱۸]. در مسأله این تحقیق، به دلیل قدرت تصمیم‌گیری در مورد نوع وسیله مورد استفاده، عامل‌های مورد استفاده، از نوع هوشمند خواهند بود. در واقع، مدل‌های عامل-مبنا به عنوان یک ابزار پیشرفته برای شبیه‌سازی دنیای واقعی و آزمون فرآیندهای مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۹-۲۲]. سوابق ارزنده‌ای از کاربرد مدل‌سازی عامل-مبنا در مسائل حمل و نقل و ترافیک وجود دارد [۲۳-۲۵] که به برخی از آن‌ها در بخش سوابق تحقیق، اشاره شد.

در این پژوهش، ساخت مدل عامل-مبنا با برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار عامل-مبنای NetLogo صورت گرفته است. NetLogo یک نرم‌افزار رایگان و متن باز مخصوص مدل‌سازی مبتنی بر عامل است که در سال ۱۹۹۹ میلادی توسط پوری ویلنسکی طراحی و اجرا شده است و مفهوم ذاتی آن، تعریف سیستم‌ها از دیدگاه جزء به کل می‌باشد [۲۶-۲۹]. این نرم‌افزار با استفاده از زبان برنامه‌نویسی مختص به خود، توانایی ایجاد مدل‌های عامل-مبنا در زمینه‌های گوناگون را دارد. با وارد کردن هزینه سفر با تاکسی، آژانس، اتوبوس و یا ترکیب آن‌ها به مدل، هزینه

۴، یک نمونه از یک مسیر طولانی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در سه دسته دو کورس، قابل تحلیل است (جدول ۱).

طول مسیر (متر)	واحد مسیر
7150.8000000000	121.2000000
کورس مسیر	
4.76720000000000	

زمان سفر با اتوبوس (دقیقه)	رانج زمان سفر با اتوبوس	زمان انتظار	هزینه سفر با اتوبوس
14.301600000000002	0.23836000000000004	23	44673.41200000000
زمان سفر با آژانس (دقیقه)	رانج زمان سفر با آژانس	زمان انتظار	هزینه سفر با آژانس
7.1508000000000001	0.11918000000000002	8	167805.44000000003
زمان سفر با تاکسی (دقیقه)	رانج زمان سفر با تاکسی	زمان انتظار	هزینه سفر با تاکسی
8.5809600000000003	0.14301600000000003	13	111800.37440000002

سفر دو مرحله ای تاکسی سپس اتوبوس

زمان سفر دو مرحله ای	رانج سفر دو مرحله ای	زمان انتظار	هزینه سفر مرحله ای با تاکسی
7.800872727272727	0.13001454545454547	29.5	37266.79146666667
هزینه سفر مرحله ای با اتوبوس			
29782.287466666676			

سفر دو مرحله ای تاکسی سپس اتوبوس

زمان سفر دو مرحله ای	رانج سفر دو مرحله ای	زمان انتظار	هزینه سفر مرحله ای با اتوبوس
8.211444976076555	0.1368574162679426	28.2	11168.357800000002
هزینه سفر مرحله ای با تاکسی			
74533.58293333335			

شکل ۳: نمونه‌ای از تنظیم متغیرها در رابط کاربری
Fig. 3: A sample of variable setting in the interface

در دو کورس اول، با در نظر گرفتن هزینه و زمان، محبوبیت تاکسی بسیار بالا است، به طوری که اتوبوس، برای سفرهای یک کورس، تقریباً بی‌فایده و برای دو کورس نیز، غیر مقرون به صرفه است. به هر حال، در دو کورس دوم، نتایج تا حدودی دست خوش تغییر می‌شود. در کورس سوم و چهارم، با افزایش نسبی فاصله هزینه بین وسایل حمل و نقل عمومی و از طرفی کاهش یافتن فاصله زمان‌ها با یکدیگر، در اثر گذر از موانعی مانند چهارراه‌ها، محبوبیت‌ها جابه‌جا شده و در کورس سوم، به سمت اتوبوس میل می‌کند. در کورس چهارم، محبوبیت آژانس و تاکسی تقریباً به یک اندازه می‌شود.

در دو کورس سوم، با در نظر گرفتن زمان و هزینه (دو فاکتور اساسی برای سفر)، به این نتیجه می‌رسیم که به دلیل خسته‌کننده بودن اتوبوس، تاکسی با زمان و هزینه‌ای که دارد، بسیار جذاب است و در عین حال، آژانس با وجود هزینه بالا ولی به دلیل زمان مطلوب می‌تواند گزینه خوبی برای سفر باشد. شاید به همین دلیل است که سازمان اتوبوس‌رانی، خطوط خود را با مسافت خیلی طولانی، طراحی نمی‌کند. شیوه‌های چهارم و پنجم در نظر گرفته شده که تنها شیوه‌های ترکیبی ممکن می‌باشند، محبوبیتی بینابین خواهد داشت، ضمن این‌که تنها در مسیرهای طولانی، امکان‌پذیر می‌باشند. در این بین، گزینه ابتدا تاکسی و سپس اتوبوس، شیوه مطلوب‌تری می‌باشد چراکه با استفاده از تاکسی، می‌توان در بهترین ایستگاه اتوبوس، تغییر وسیله داد. واضح است که استفاده از آژانس، با دو وسیله دیگر قابل ترکیب نیست، چون افراد معمولاً در صورت استفاده از آژانس، مستقیماً تا مقصد از آن استفاده می‌نمایند. در ادامه، نظرات جمع‌آوری شده از دیدگاه مسافران نیز، بررسی می‌گردد.

خاموش در نظر گرفته شد. در مجموع، پنج شیوه ترکیبی حمل‌ونقل که توسط عامل‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرند، عبارت خواهند بود از:

- شیوه اول، تنها اتوبوس: اتوبوس‌ها با سرعت متوسط ۱۰۰۰ متر در دقیقه و با هزینه هر کورس ۳۰۰ تومان و با در نظر گرفتن توقف، در هر ایستگاه اتوبوس و توقف در چهارراه‌ها، در نظر گرفته شده‌اند.
- شیوه دوم، تنها تاکسی: تاکسی‌ها با سرعت متوسط ۲۰۰۰ متر در دقیقه و با هزینه هر کورس ۸۰۰ تومان و با در نظر گرفتن توقف برای ۴ مسافر و توقف در چهارراه‌ها، در نظر گرفته شده‌اند.
- شیوه سوم، آژانس: آژانس‌ها با سرعت متوسط ۳۰۰۰ متر در دقیقه و با هزینه هر کورس ۲۰۰۰ تومان و هزینه ثابت ابتدایی ۴۰۰۰ تومان و با در نظر گرفتن زمان رسیدن به مبدأ، توقف برای مسافر و توقف در چهارراه‌ها، در نظر گرفته شده‌اند.
- شیوه چهارم، ابتدا تاکسی و سپس اتوبوس برای مسافت‌های طولانی: این مسیرها، با سرعت متوسط ۱۵۰۰ متر در دقیقه (با در نظر گرفتن میزان پیاده‌روی برای جابه‌جایی بین دو اتوبوس) و با هزینه هر کورس، ۳۰۰ تومان برای اتوبوس و هر کورس ۸۰۰ تومان برای تاکسی، با در نظر گرفتن توقف در هر ایستگاه، توقف در چهارراه‌ها و زمان متوسط بین جابه‌جایی بین تاکسی و اتوبوس، در نظر گرفته شده‌اند.

- شیوه پنجم، ابتدا اتوبوس و سپس تاکسی برای مسافت‌های طولانی: این مسیرها، با سرعت متوسط ۱۴۰۰ متر در دقیقه (با در نظر گرفتن میزان پیاده‌روی برای جابه‌جایی بین تاکسی و اتوبوس) و با هزینه هر کورس ۳۰۰ تومان برای اتوبوس و هر کورس ۸۰۰ تومان برای تاکسی، با در نظر گرفتن توقف در هر ایستگاه، توقف در چهارراه‌ها و زمان متوسط بین جابه‌جایی بین اتوبوس و تاکسی، در نظر گرفته شده‌اند. شکل ۳، تنظیم متغیرها را در نرم‌افزار NetLogo نشان می‌دهد.

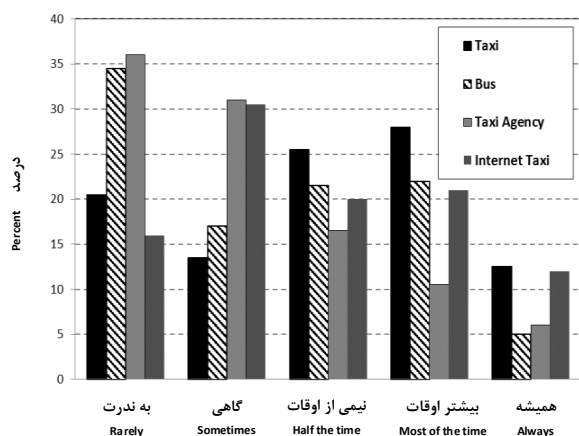
گفتنی است، که در شیوه‌های حمل و نقل به غیر از آژانس، فاصله بین مبدأ و مقصد تا اولین ایستگاه اتوبوس یا مسیر تاکسی، به صورت پیاده طی می‌شود. روش کار، به این صورت است که پنج عامل، مسیر مبدأ تا مقصد را با استفاده از شیوه‌های حمل و نقلی یاد شده، می‌پیمایند و هزینه، زمان و هر عامل دیگر مد نظر (نظیر زیبایی مسیر) را، در طول مسیر ثبت می‌کنند و در انتها، شیوه‌های حمل و نقلی به کار گرفته شده توسط عامل‌ها، با یکدیگر مقایسه می‌گردد. این کار، با تولید ۱۰۰ جفت نمونه اتفاقی مبدأ و مقصد در سطح شهر و با طول مسیر مختلف، در شش طبقه‌بندی کورسی شروع شد و نتایج کار، جمع‌آوری و تحلیل شدند. این تعداد نمونه، برای شهری در ابعاد قزوین، مناسب است. هر کورس، در سه بازه ۵۰۰ متری بررسی می‌شود و نتایج، پس از چند بار اجرا، به صورت خلاصه و به صورت میانگین‌گیری شده، نمایش داده می‌شود. باید خاطر نشان ساخت که بیشترین مسافت‌های قابل انتخاب در شهر قزوین، حدود ۹۰۰۰ متر و کمترین آن ۱۰۰ متر، می‌باشد. شکل

جدول ۱: شرایط هر یک از کورس‌های سفر با استفاده از وسیله مربوطه

Table1: The conditions of each of travel courses by various vehicles

	کورس اول First Course	کورس دوم Second Course	کورس سوم Third Course	کورس چهارم Fourth Course	کورس پنجم Fifth Course	کورس ششم Sixth course
تاکسی	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 14	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 14	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 16	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 17	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 19	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 21
اتوبوس	هزینه (ریال) Cost (Rial) 5000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 16000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 27000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 38000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 49000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 6000
آژانس تاکسی	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 21	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 24	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 27	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 30	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 33	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 36
	هزینه (ریال) Cost (Rial) 3000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 9000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 14000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 20000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 27000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 35000
	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 6	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 7	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 8	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 9	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 10	زمان (دقیقه) Time (Minutes) 12
	هزینه (ریال) Cost (Rial) 48000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 53000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 68000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 84000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 99000	هزینه (ریال) Cost (Rial) 115000

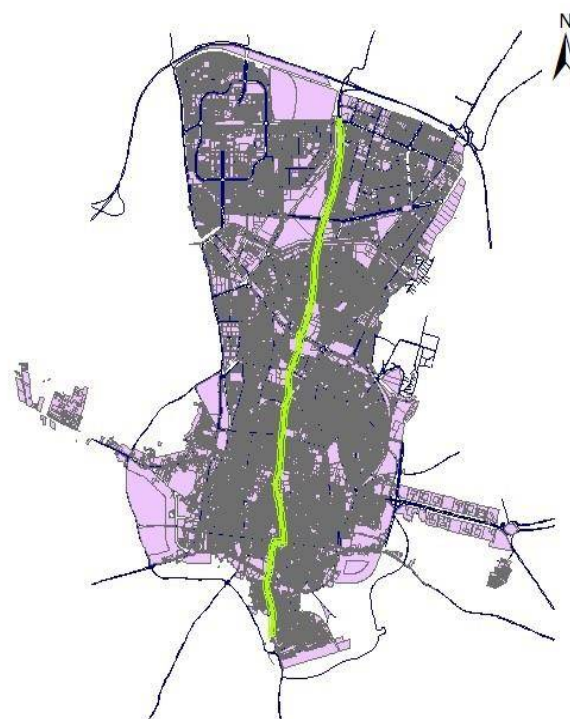
استفاده شهروندان قزوینی از وسایل حمل‌ونقل عمومی درون‌شهری محک زده شد. با توجه به توان کاری، حدود ۲۰۰ پرسشنامه جمع‌آوری شد که نتایج آن به صورت خلاصه در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵: میزان استفاده افراد از وسایل حمل‌ونقل عمومی بر اساس نظرات جمع‌آوری شده

Fig. 5: The amount of people usage of public transportation based on opinions collected

در این‌جا، بین استفاده از تاکسی اینترنتی و تاکسی تلفنی یا همان آژانس، تمایز قائل شده است. استفاده از تاکسی‌های اینترنتی، واقعیتی انکارناپذیر در دنیای دیجیتال امروز است و رشد آن، چنان بوده که استفاده از تاکسی‌های تلفنی راه تقریباً به حاشیه رانده است. از همین رو، این روش حمل و نقل در پرسش‌نامه، قرار داده شده است. به هر حال، از نظر مدل عامل-مبنای، نمی‌توان تمایز خاصی بین دو تاکسی اینترنتی و تلفنی قائل شد، چون عملکرد هر دو، شبیه به هم می‌باشد.



شکل ۴: نمونه یک مسیر مورد بررسی
Fig. 4: A sample of an evaluated route

نظر مسافران

میزان استفاده افراد جامعه از وسایل حمل‌ونقل عمومی تابع موارد مختلفی است که می‌تواند جذابیت هر وسیله را برای افراد مختلف، متفاوت سازد. در این پژوهش با طراحی و توزیع پرسشنامه‌هایی، میزان

این مسیر در نقش مسافر، مطلوبیت سفر را از نظر زمان و هزینه، به دست آوردند. در نهایت، جمع‌بندی نتایج، به صورت زیر حاصل شد:

(الف) بهترین انتخاب برای مسافران در مسافت‌های کوتاه (مسیر با طول یک تا سه کیلومتر) تاکسی می‌باشد، زیرا تفاوت قیمت چشمگیری مابین تاکسی و اتوبوس نیست، بنابراین، پیشنهاد مدل به مسافران برای راحتی بیشتر، تاکسی خواهد بود.

(ب) بهترین انتخاب برای مسافران در مسافت‌های متوسط (مسیر با طول دو و نیم تا شش کیلومتر)، تاکسی یا اتوبوس، می‌باشد. مسافران تاکسی، با آرامش خاطر بهتری سفر می‌کنند، ولی مسافران اتوبوس، هزینه کمتری می‌پردازند. در قزوین، در زمان تهیه داده‌ها، بهای سفر با اتوبوس متناسب با مسافت طی شده توسط اتوبوس، تغییر می‌کند.

(پ) بهترین انتخاب برای مسافران برای مسافت طولانی (مسیر با طول شش کیلومتر به بالا)، متغیر است، ولی مطلوبیت آژانس نسبت به مسافت‌های کوتاه، رشد چشمگیری پیدا می‌کند و از سویی اتوبوس تا حدود زیادی کند و خسته‌کننده، خواهد بود.

نتایج حاصل از نظرسنجی مسافران هم، نشان داد:

(الف) حدود ۶۵ درصد مردم، زمان سفر برایشان بسیار اهمیت دارد و از طرفی، به علت در دسترس بودن بیشتر تاکسی اینترنتی، برای این قشر از جامعه آماری مناسب‌ترین وسیله حمل و نقل عمومی، تاکسی‌های اینترنتی خواهد بود، در اولویت دوم، آژانس‌های محلی و در اولویت آخر، به دلیل وجود پیاده‌روی زیاد، تاکسی می‌باشد.

(ب) حدود ۶۵ درصد مردم، هزینه سفر برایشان اهمیت ویژه‌ای دارد و این نیز، یک برداشت منطقی می‌باشد و چون فقط سه درصد از افراد جامعه آماری اعلام کرده‌اند که هزینه سفر برای آن‌ها از اهمیت ناچیزی برخوردار است، می‌توان به این نتیجه رسید که هزینه سفر، اولویت اول مسافران، خواهد بود.

با بررسی علاقه‌مندی مسافران، مشخص شد که محبوبیت تاکسی‌های اینترنتی، از رشد چشمگیری در میان مردم، برخوردار بوده است. این تحقیق، یک جلوه دیگر از کاربردهای موفق مدل‌سازی عامل-مبنا در شبیه‌سازی رفتارهای انسانی بود. برای ادامه تحقیقات در زمینه حمل و نقل عمومی، پیشنهاد می‌شود عوامل دیگری نظیر جذابیت منظر نیز در مدل‌سازی، دخیل شود که البته، نیاز به اطلاعات زیاد و قضاوت‌های انسانی نیز، خواهد داشت.

مشارکت نویسندگان

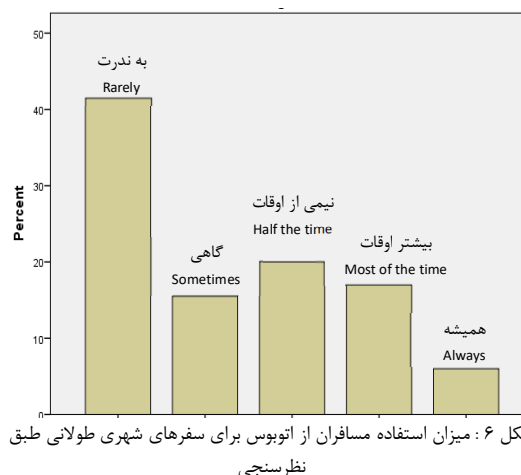
در این مقاله، نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله، از سازمان اتوبوسرانی و سازمان تاکسیرانی شهر قزوین، به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های لازم، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، میزان استفاده افراد از چهار وسیله حمل و نقل عمومی در پنج رده، همیشه، بیشتر اوقات، نیمی از اوقات، گاهی و به ندرت، نشان داده شده است. به عنوان مثال، در خصوص آژانس‌ها، ۶٪ افراد اذعان داشته‌اند که همیشه از آژانس استفاده می‌کنند، در حالی که ۳۶٪ استفاده به ندرت از آژانس را، اظهار نموده‌اند.

در مورد تاکسی‌های اینترنتی هم، یافته‌ها حاکی از آن است که عموم افراد، گاهی از آن استفاده کرده‌اند اما ۱۳٪ افراد، همیشه با آن سفر می‌کنند. در خصوص استفاده از اتوبوس، ۵٪ افراد اذعان داشتند که همه سفرهای طولانی خود را با اتوبوس، طی می‌کنند در حالی که ۴۱٪ بیان کردند که گاهی اوقات از اتوبوس، برای سفرهای طولانی شهری، استفاده می‌کنند (شکل ۶). از طرفی، بنا بر داده‌های نظرسنجی صورت گرفته، استفاده از ترکیب اتوبوس و تاکسی بیشترین میزان در بین شیوه‌های مورد پرسش، بوده است.



شکل ۶: میزان استفاده مسافران از اتوبوس برای سفرهای شهری طولانی طبق نظرسنجی

Fig. 6: The number of passengers using buses for long city trips according to the survey

انتخاب شیوه‌های مختلف حمل و نقل بر اساس معیارهای مختلف فردی، صورت می‌گیرد. هریک از افراد باتوجه به موقعیت، هزینه، هدف، راحتی، سرعت، زمان و موارد دیگر یک شیوه را برای سفر خود انتخاب می‌نمایند و این قابل تعمیم به افراد دیگر با شرایط غیر مشابه، نمی‌باشد. برای مثال، افرادی که عموماً دارای مشکلات اقتصادی هستند، تمایل دارند در سفرهای روزمره خود، از اتوبوس استفاده نمایند. از سوی دیگر، اتوبوس به دلیل امنیت بیشتر، گزینه‌ای ایده‌آل برای دانش‌آموزان به ویژه، دانش‌آموزان دختر است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از مدل‌سازی عامل-مبنا برای شبیه‌سازی سفر درون‌شهری افراد با استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی در شهر قزوین، استفاده شد. پنج شیوه استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی اتوبوس، تاکسی، آژانس و دو ترکیب از آن‌ها، در نظر گرفته شد و عامل‌ها با طی

country: The case of Cali, Colombia. *Transport Policy*. 2012;20:36-46.

[14] Munizaga MA, Palma C. Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin–Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2012;24:9-18.

[15] Yen BTH, Mulley C, Tseng W-C, Chiou Y-C. Assessing interchange effects in public transport: A case study of South East Queensland, Australia. *Transportation Research Procedia*. 2018;6(3):364-375.

[16] Tahmasbi B, Haghshenas H. Public transport accessibility measure based on weighted door to door travel time. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2019;76:163-177.

[17] Bandini S, Manzoni S, Vizzari G. Agent based modeling and simulation: an informatics perspective. 2009;12(4): 1-14.

[18] Wu J-J, Khan HA, Chien S-H, Wen C-H. Effect of customization, core self-evaluation, and information richness on trust in online insurance service: Intelligent agent as a moderating variable. *Asia Pacific Management Review*. 2022;27(1):18-27.

[19] Genesereth MR, Ketchpel SP. Software Agents. In: Department CS, editor. Stanford University, 1994. P. 1-12.

[20] Bradshaw JM, Suri N, Canas AJ, Davis R, Ford K, Hoffman R, et al. Terraforming cyberspace. *Computer*. 2001;34(7):48-56.

[21] Gong S, Dong X, Wang K, Lei B, Jia Z, Qin J, et al. Agent-based modelling with geographically weighted calibration for intra-urban activities simulation using taxi GPS trajectories. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023;122:103368.

[22] Tan R, Xiong C, Kimmich C. An agent-situation-based model for networked action situations: Cap-and-trade land policies in China. *Land Use Policy*. 2023;131:106743.

[23] Gurtner G, Delgado L, Valput D. An agent-based model for air transportation to capture network effects in assessing delay management mechanisms. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2021;133:103358.

[24] Balac M. Microsimulation and Agent-Based Models in Transportation. In: Vickerman R, editor. International Encyclopedia of Transportation. Oxford: Elsevier; 2021. p. 473-476.

[25] Sresakoolchai J, Kaewunruen S. Railway infrastructure maintenance efficiency improvement using deep reinforcement learning integrated with digital twin based on track geometry and component defects. *Scientific Reports*. 2023;13(1):2439.

[26] Crooks AT, Castle CJE. The Integration of Agent-Based Modelling and Geographical Information for Geospatial Simulation. In: Heppenstall AJ, Crooks AT, See LM, Batty M, editors. Agent-Based Models of Geographical Systems. Dordrecht: Springer Netherlands; 2012. p. 219-251.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان، بیان نشده است.

منابع و مآخذ

[1] Macal C, North M, editors. Tutorial on agent-based modeling and simulation. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005: December 4-4; Orlando, FL, USA.

[2] Chen J, Ni J, Xi C, Li S, Wang J. Determining intra-urban spatial accessibility disparities in multimodal public transport networks. *Journal of Transport Geography*. 2017;65:123-133.

[3] Chow A, Han K, Achuthan K. An agent-based analysis of transport network vulnerability and resilience with provision of travel information. The Sixth International Symposium on Dynamic Traffic Assignment: 2016 June 28-30: Sydney, Australia.

[4] Guo Z, Xiao G, Wang Y, Li S, Du J, Dai B, et al. Dynamic model of respiratory infectious disease transmission in urban public transportation systems. *Heliyon*. 2023;9(3):e14500

[5] Skuzinski T, Weinreich D, Hernandez CV. Exploring the link between regional transportation governance and outcomes: A novel measure of polycentricity in metropolitan public transportation systems. *Transport Policy*. 2023;13(3): 168-175.

[6] Solecka K, Žak J. Integration of the Urban Public Transportation System with the Application of Traffic Simulation. *Transportation Research Procedia*. 2014;3:259-268.

[7] Majumder S, De K, Kumar P, Rayudu R. A green public transportation system using E-buses: A technical and commercial feasibility study. *Sustainable Cities and Society*. 2019;51:101789.

[8] Flettermann M. Designing multimodal public transport networks using metaheuristics: University of Pretoria; 2008.

[9] Seaborn C, Attanucci J, Wilson N. Analyzing Multimodal Public Transport Journeys in London with Smart Card Fare Payment Data. *Transportation Research Record*. 2009;2121(1):55-62.

[10] Nigier M. Rationalizing Public Transport System of Dhaka City: Proposal of Creating a Multimodal Hierarchical Transport Network to Reduce Traffic Congestion. *Nakhara : Journal of Environmental Design and Planning*. 2019;16(2019):1-14.

[11] Chen S, Tan J, Claramunt C, Ray C. Multi-scale and multi-modal GIS-T data model. *Journal of Transport Geography*. 2011;19(1):147-161.

[12] Zhang J, Liao F, Arentze T, Timmermans H. A multimodal transport network model for advanced traveler information systems. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2011;20:313-322.

[13] Delmelle EC, Casas I. Evaluating the spatial equity of bus rapid transit-based accessibility patterns in a developing

پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل و نقل عمومی و سیستم‌های عامل مبنا و برنامه نویسی پیشرفته است.

Kazemi, M. Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rahjaee Teacher Training University, Tehran, Iran

✉ mobasher.kz74@gmail.com



فرهاد حسینیعلی 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 می‌باشد. وی هم‌اکنون عضو هیأت علمی گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی 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 Rahjaee Teacher Training University, Tehran, Iran

✉ f.hosseinali@sru.ac.ir

[27] Dalle Nogare D, Chitnis AB. NetLogo agent-based models as tools for understanding the self-organization of cell fate, morphogenesis and collective migration of the zebrafish posterior Lateral Line primordium. *Seminars in Cell & Developmental Biology*. 2020;100:186-198 .

[28] Amblard F, Daudé E, Gaudou B, Grignard A, Hutzler G, Lang C, et al. 3 - Introduction to NetLogo. In: Banos A, Lang C, Marilleau N, editors. *Agent-based Spatial Simulation with Netlogo*. Oxford: Elsevier; 2015. p. 75-123 .

[29] Gaudou B, Lang C, Marilleau N, Savin G, Rey Coyrehourcq S, Nicod J-M. 1 - NetLogo, an Open Simulation Environment. In: Banos A, Lang C, Marilleau N, editors. *Agent-based Spatial Simulation with NetLogo, Volume 2*: Elsevier; 2017. p. 1-36 .

[30] Kazemi M, Hosseinali F. Multi-Modal Agent-based Path Finding in Public Transportation System. *Quarterly Journal of Transportation Engineering*. 2022;13(3):1783-1796. Persian.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



مبشر کاظمی درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران- نقشه برداری را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه آزاد واحد قزوین اخذ نمود. وی دانش‌آموخته کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نقشه‌برداری- سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می‌باشد. زمینه

Citation (Vancouver): Kazemi M, Hosseinali F. [Assessing the Use of Public Transportation System in Qazvin City Using a Simulator Model]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 53-62

doi <https://doi.org/10.22061/jrsg.2022.1951>



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

Analysis of Land Use Changes by Using Satellite Images in Kerman City

D. Abbasi-Moghadam*, A. Mohammadi

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

ABSTRACT

Received: 11 February 2023

Reviewed: 16 March 2023

Revised: 06 May 2023

Accepted: 19 June 2023

KEYWORDS:

Change Analysis
Landsat Images
Land use/Land Cover
Remote Sensing
Supervised Classification

* Corresponding author

✉ abbasimoghadam@uk.ac.ir

☎ (+9834) 32114050

Background and Objectives: Having timely statistics and information from existing uses is a requirement for proper management of natural and urban areas. Considering the extensive changes in land use and the need for managers and planners to be aware of the changes that have occurred in order to make policies and find solutions to solve the existing problems, it seems necessary to reveal the changes in order to determine their time trends. Land use is one of the vital aspects in managing natural resources and evaluating environmental changes. The main goal of this research was to use remote sensing techniques along with GIS and Landsat TM and ETM+ satellite data in the period from 1975 to 2021 to detect changes in land use in Kerman region.

Methods: Classification of land use classes, analytical methods and changes were implemented using ENVI 5.3 and ArcGIS 10.3 software. The first step in this study included transferring the coordinates of sample points on satellite images to different land use classes. These points along with the objective data collected from field visits and unsupervised classification maps that show the spectral characteristics of the ground surface using different applications were used as training points for analysis.

Findings: The findings of this research after creating maps using Land and detailed analysis shows important changes in the way land is used during the studied period. In particular, urban and residential areas have increased from 1184 hectares to 2160 hectares from 1975 to 2020, which indicates a significant and sustainable growth. This rapid growth of urbanization has happened especially from 1995 to 2015 and has increased by 60% from 975.6 hectares to 2478 hectares. Along with the increase of residential areas, the studied area has also seen a significant increase in dry and unused lands. In the 2021 land use map, about 18% of the areas are classified as unused land. Considering the environmental conditions of the region, such changes may cause serious risks to the people of the region. It is necessary to emphasize that the environmental effects of these changes in land use should be considered. Climatic conditions and higher vulnerability compared to other areas require comprehensive and planned changes in land use. These changes have not only changed the landscape of the region, but may also endanger the ecological balance and sustainability of the region.

Conclusion: Land use maps are essential tools for national and regional development planning. They provide information that shows the current state of land use, allows comparison of capabilities and potential, and designs measures to meet current and future needs. Through the analysis of land use changes in Kerman during the last 45 years, this study shows the impact of urbanization and population growth on the landscape of the region. Its results emphasize that responsible and sustainable changes in land management are necessary to reduce harmful environmental impacts and promote long-term growth. In addition, it emphasizes the great importance of remote sensing technologies and GIS in monitoring and managing changes in land use and provides valuable data for informed decisions by authorities and related organizations.



NUMBER OF REFERENCES

30



NUMBER OF FIGURES

3



NUMBER OF TABLES

0

مقاله پژوهشی

تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی در شهر کرمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

داریوش عباسی مقدم*، علی محمدی

گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: همزمان با توسعه شهرنشینی، افزایش جمعیت ساکن در شهرها و به تبع آن رشد و گسترش شهری، پوشش زیست محیطی و طبیعی نواحی پیرامون کلان‌شهرهایی نظیر تهران، دستخوش تغییراتی گردید تا به واسطه آن برای سکونت سرریز جمعیت شهری، آماده گردد. این گونه تغییرات در پوشش طبیعی اراضی، نه تنها تعادل گرمایی را بر هم می‌زند، بلکه تأثیرات منفی بر چشم‌انداز، بهره‌وری انرژی، سلامت و کیفیت زندگی انسان نیز دارد. بنابراین، آگاهی از روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی، خصوصاً در محدوده کلان‌شهرها، طی دوره‌های زمانی بلندمدت برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری، به منظور ارزیابی و پیش‌بینی مشکلات ناشی از این تغییرات، حائز اهمیت است. داده‌های سنجش از دور چندزمانه، یکی از ابزارهای قدرتمند برای تشخیص تغییرات کاربری و پوشش زمین به دلیل رشد روزافزون شهری و به روزرسانی مدل‌های سه‌بعدی شهر است.

روش‌ها: در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و لندست ۸ در دو بازه زمانی با فاصله ۱۷ سال، بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸ به منظور بررسی تغییرات پوشش و کاربری اراضی در منطقه پردیس استفاده شده است. پس از اعمال پردازش‌های اولیه بر روی تصاویر و انجام قطعه‌بندی، سه کلاس عارضه سازه‌های مسکونی، پوشش گیاهی و خاک به روش شیء مبنا، تشخیص داده شدند. سپس، تغییرات صورت گرفته در هر کلاس عارضه به روش پس طبقه‌بندی، تخمین زده شد. به منظور آشکارسازی تغییرات در این تحقیق، ضمن مقایسه و تفاضل کلاس‌های عارضه تشخیص داده شده در نقشه‌های طبقه‌بندی، نتایج آشکارسازی تغییرات محیط از جمله، تعیین میزان افزایش ساخت و سازها، تغییرات مساحت زمین‌های خاکی و پوشش گیاهی به‌دست می‌آید.

یافته‌ها: نقشه تغییرات کاربری/پوشش اراضی تولید شده بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸ نشان داد که ساخت و سازها در منطقه پردیس، به سرعت در حال افزایش است و این امر، اثرات جدی بر محیط زیست دارد. با توجه به نتایج تشخیص تغییر پس طبقه‌بندی به‌دست آمده، کلاس عارضه خاک حدود ۱۷٪ کاهش و کلاس عارضه سازه‌ها حدود ۱۸۴٪ افزایش یافته است. در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، زمین‌های کشاورزی نیز عمدتاً نابود و به جای آن‌ها، سازه‌ها و ساختمان‌ها، بنا شده‌اند. افزایش تقریبی ۱۰۴ درصدی پوشش گیاهی این منطقه، به دلیل کاشت درختان و ایجاد فضای سبز در اطراف نواحی مسکونی می‌باشد. برای ارزیابی نتایج آشکارسازی تغییرات در این تحقیق، از ارزیابی نقشه‌های طبقه‌بندی استفاده شد. در این راستا، مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای نقشه طبقه‌بندی پوشش/کاربری اراضی سال ۱۳۸۱ به ترتیب ۹۸/۴۱٪ و ۸۶/۰٪ و برای سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۹۷/۰۱٪ و ۸۷/۰٪ به‌دست آمده است. استفاده از قابلیت‌های روش آنالیز شیء مبنا در این تحقیق، در کنار دقت مکانی ۱۵ متری تصاویر لندست، موجب شد که نقشه‌های طبقه‌بندی، دقت قابل قبولی داشته باشند.

نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که ساخت و ساز با تغییر اکوسیستم همراه است، ساخت واحدهای مسکن مهر پردیس نیز در مناطقی منجر به تخریب محیط زیست کوهستانی و در مناطقی نیز، منجر به از دست رفتن پوشش گیاهی شده است. بر این اساس، رشد ۱۸۴ درصدی ساخت و سازها بدون در نظر گرفتن زیرساخت‌های مناسب و رعایت نکردن استانداردهای زیست محیطی، مشکلات فراوانی را برای منطقه پردیس ایجاد کرده است. استفاده از پیشرفت‌های مطرح در فناوری‌های برداشت داده‌های سنجش از دور در قالب ادغام داده‌ها و همچنین، استفاده از روش‌های نوین پردازش تصاویر و تشخیص الگو نظیر یادگیری عمیق، می‌تواند به عنوان راه حل مناسبی برای کنترل نرخ ساخت و ساز و تغییرات محیطی در نظر گرفته شود.

تاریخ دریافت: ۲۲ بهمن ۱۴۰۱

تاریخ داوری: ۲۵ اسفند ۱۴۰۱

تاریخ اصلاح: ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۲۹ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

تجزیه و تحلیل تغییرات

کاربری/پوشش اراضی

تصاویر لندست

سنجش از دور

طبقه‌بندی نظارت شده

* نویسنده مسئول

abbasimoghadam@uk.ac.ir

① ۲۴-۳۲۱۱۴۰۵۰

مقدمه

کشاورزی و باغبانی و پتانسیل کشاورزی هر منطقه کشاورزی، مهم بوده و در تأمین غذای انسان، نقش اساسی داشته و در برنامه‌ریزی کشاورزی

کاربری و پوشش زمین نوعی از فرآیندی برای به‌کارگیری یک یا چند هدف در یک قطعه زمین است. به مدت طولانی، نوع و درصد استفاده‌های

از تصاویر ماهواره‌ای IRS-IC-LISS III و صفحات نقشه‌برداری Survey of India استفاده شد. روش تفسیر تصاویر به شکل بصری برای آشکارسازی الگوی تغییرات، به کار گرفته شد. نتایج آن‌ها، نشان داد که مساحت آب در منطقه مورد مطالعه در مدت ۱۵ سال ۱۵٪ کاهش یافته و زمین‌های کشاورزی ۱۳٪ کاهش داشته‌اند، اما مناطق صنعتی در طی ۱۵ سال ۷/۵٪ افزایش یافته است. Bukhari [۱۱] از تصاویر Landsat 8 در دشت کشمیر در هیمالیا‌های شمال غربی هیمالیا برای مطالعه تغییرات کاربری از زمین و پوشش زمین در مدت ۲۵ سال استفاده کرده است.

Vivekananda و همکاران [۱۲] تغییرات کاربری از زمین و پوشش زمین را با استفاده از سنجش از دور و GIS در استان آندراپرادش مورد بررسی قرار دادند. برای این تحقیق، روش طبقه‌بندی تحت نظارت و تصاویر Landsat 5 و ۸، برای طبقه‌بندی به کار رفت. نتایج، نشان داد که کشاورزی، جنگل، و مناطق زیر آب به ترتیب ۶۱/۸۴٪، ۳۱٪ و ۷۳/۰۴٪ کاهش یافتند، در حالی که مناطق بی‌بهره، مناطق دیگر، و مناطق ساخته‌شده به ترتیب ۱۰۴/۷٪ و ۴۵۴/۳۳٪ افزایش پیدا کردند. نقشه‌های پوشش و کاربری از زمین و نقشه‌های تغییرات آینده در زمان و فضا، بیشترین بخش از اطلاعات مورد نیاز مدیران و برنامه‌ریزان در برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از منابع و ایجاد محیط‌های زیستی و منابع طبیعی بهینه برای توسعه پایدار را فراهم می‌کنند. به دلیل توسعه فناوری سنجش از دور و GIS، در حال حاضر چندین روش و مجموعه داده برای شناسایی تغییرات وجود دارد [۱۳].

ترکیب سنجش از دور GIS، توانایی استفاده بهینه از داده‌های سنجش از دور را افزایش می‌دهد و می‌تواند تغییرات در پوشش زمین و کاربری از زمین را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف به خوبی نشان دهد [۹، ۱۴]. در این میان، تصاویر ماهواره‌ای به دلیل وضوح مکانی بالا، قابلیت تکثیر و توانایی پردازش کامپیوتری مهم‌ترین ابزارها در آماده‌سازی نقشه‌های کاربری از زمین و همچنین در مطالعه تغییرات زمانی در مناطق مختلف هستند [۱۵]. در میان روش‌های تشخیص تغییر، مقایسه پس از طبقه‌بندی روشی متداول‌تر است که از مشکلات ناشی از تغییرات در ویژگی‌های حسگر، اثرات جوی، تفاوت‌های محیطی و فنولوژی گیاهان بین دو زمان جلوگیری می‌کند، زیرا هر تصویر به طور مستقیم طبقه‌بندی می‌شود [۱۳]. در این مطالعه، ما سعی داریم که با استفاده از ابزارهای پیشرفته و داده‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی به فاصله‌های زمانی، با تجزیه و تحلیل یادگیری ماشین و رگرسیون برداری، کاربری از زمین منطقه مورد مطالعه را به صورت کامل طبقه‌بندی کنیم.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

استان کرمان، در جنوب شرقی دشت مرکزی ایران واقع شده و بزرگترین استان ایران می‌باشد که بیش از ۱۱٪ از مساحت کل کشور را پوشش می‌دهد. کرمان با مساحتی برابر با ۴۵۴۰۱ کیلومتر مربع، معادل

مدنظر قرار گرفته‌اند [۱]. بیشترین فرآیندهای تخریب و تغییر در زمین اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهند و اثرات مخربی بر منابع زمین دارند [۲]. زمین‌های خشک، به علت فشارهای اقلیمی و اثرات رشد جمعیت بسیار حساس به تغییر و تخریب هستند. امروزه، امکان شناسایی این تغییرات با مقایسه تفاوت‌های ایجادشده در یک منطقه خاص از تصاویر گرفته‌شده در چند دوره زمانی معین، وجود دارد [۳]. تشخیص تغییرات یک فرآیند است که اجازه مشاهده و شناسایی تفاوت‌ها در سری زمانی پدیده‌ها، پیچیدگی‌ها و الگوی سطح زمین را می‌دهد [۴]. سنجش از دور، یکی از بهترین و کارآمدترین فناوری‌ها در مانیتورینگ تغییرات محیطی و مدیریت منابع است، که اطلاعات به‌روزی برای اهداف مدیریتی فراهم می‌کند [۵]. تصاویر سنجش از دور، با وضوح مکانی بالا، به طریق گسترده‌ای در کشاورزی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تصاویر، ارزش زیادی دارند چرا که دیجیتال هستند، اطلاعات به‌موقعی ارائه می‌دهند، دیدگاه جامعی فراهم می‌کنند، از اجزاء مختلف طیف الکترومغناطیس برای ثبت ویژگی‌های پدیده‌ها استفاده می‌کنند، اشکال تداخلی را تکثیر می‌کنند، سرعت انتقال دارند و انواع متنوعی از داده‌ها را ارائه می‌دهند [۶]. به دلیل کارایی بالای این فناوری در زمینه کشاورزی، امروزه در کشاورزی، با استفاده از داده‌های سنجش از دور، استخراج نقشه‌های کاربری از زمین و تخمین مساحت زیر کشت محصولات و باغبانی امکان‌پذیر است [۷]. استفاده از داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور این فناوری را به مهم‌ترین و بهترین ابزار برای استخراج نقشه‌های کاربری از زمین و پوشش زمین تبدیل کرده است [۸].

تعداد زیادی مطالعه در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در نقشه‌برداری کاربری از زمین و پوشش زمین، انجام شده است. به مطالعه Meshesha و همکاران [۹] اشاره کرد که در سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۵ با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS تغییرات کاربری از زمین و پوشش زمین در اتیوپی را، مورد مطالعه قرار دادند. تصاویر Landsat 5 برای مطالعه تغییرات سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۹۹ و تصاویر Landsat 8 برای مطالعه تغییرات کاربری از زمین و پوشش زمین، استفاده شد. نقشه‌های تغییرات کاربری از زمین و پوشش زمین با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و ERDAS Imagine و روش طبقه‌بندی بدون نظارت، تهیه شد. در مجموع، شش کلاس کاربری از زمین و پوشش زمین، برای منطقه مورد مطالعه آماده شدند که شامل: آب، مسکونی، زمین‌های بی‌بهره، زمین‌های کشاورزی، زمین‌های چراگاهی و جنگل بودند. نتایج تحقیقات آن‌ها، نشان داد که استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در مطالعه تغییرات کاربری از زمین و پوشش زمین موثر است، و با استفاده از این تکنیک‌ها، آن‌ها اعلام کردند که ۵ هکتار از جنگل‌های اتیوپی از سال ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۹ کاهش یافت، اما از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۵، کلیه ۱۵۵ هکتار به پوشش جنگل اتیوپی افزوده شده است Inayathulla و Prasad [۱۰].

تغییرات ۱۵ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵) در کاربری از زمین و پوشش زمین در دره Hebal در بنگالور، هند را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه،

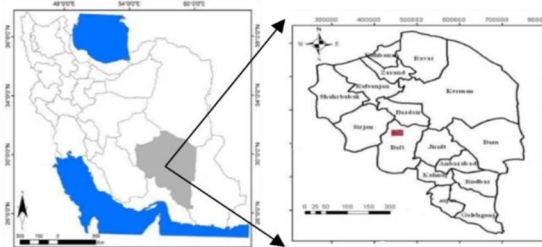
مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰ برای شناسایی اولیه ویژگی‌ها و ویژگی‌های زمین مورد مشاهده قرار گرفتند به علاوه، تصاویر هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰ برای افزایش درک از زمین‌شناسی و پوشش زمین منطقه استفاده شدند. این تصاویر ارائه‌دهنده نگاه‌های بصری ارزشمند به زمین منطقه هستند و به عنوان منابع داده‌ای تکمیلی برای تجزیه و تحلیل جامع الگوهای استفاده از زمین و خصوصیات خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند خلاصه این‌که، روش‌شناسی به کار رفته در این مطالعه، شامل رویکرد دقیق و چندجانبه‌ای است که تکنیک‌های پیشرفته تصویربرداری از دور، نقشه‌برداری زمین‌شناسی و توپوگرافی، نمونه‌برداری خاک و ادغام منابع داده‌ای تاریخی را ترکیب می‌کند. این روش‌شناسی جامع، به انجام مطالعه دقیقی از تغییرات استفاده از زمین و خصوصیات خاک در محدوده مورد مطالعه می‌پردازد و از دقت و قابلیت اطمینان نتایج، اطمینان حاصل می‌کند. با بهره‌گیری از مجموعه متنوعی از منابع داده‌ای و ابزارهای تحلیلی، این مطالعه به هدف ارائه نکات ارزشمندی درباره تعاملات پویا بین الگوهای استفاده از زمین و ویژگی‌های خاک در طول زمان می‌پردازد [۱۹،۲۰].

روش‌شناسی

سنسورهای TM و ETM+ به دلیل داشتن ۷ و ۸ باند مختلف به ترتیب، تعداد زیادی تصاویر رنگی غلط ارائه می‌دهند، و این تصاویر توانایی بسیاری در تشخیص ویژگی‌ها و پدیده‌های مختلف زمینی دارند [۲۱]. بهترین ترکیب باندها در این سنسور با استفاده از روش شاخص بهینه (OIF) تهیه می‌شود. این شاخص، بهترین ترکیب رنگ باندها را بر اساس همبستگی و واریانس بین باندها، انتخاب می‌کند. در واقع، ترکیب‌های باند با مقدار بالاتری از OIF نشان‌دهنده داشتن اطلاعات (انحراف معیار) و تکرار کم (همبستگی کم بین باندها) هستند. در این مطالعه، نمونه‌های آموزش با بهترین ترکیب OIF استفاده شدند، اما تمام باندهای موجود برای طبقه‌بندی دقیق‌تر و مقایسه بین روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند.

مقادیر طیفی پیکسل‌های تصویر با مثال‌های آموزشی برای طبقه‌بندی اطلاعات، مورد استفاده قرار گرفت. این روش، امکان قرار دادن پیکسل‌ها در کلاس‌های جداپذیر را بررسی می‌کند. از آن‌جا که طبقه‌بندی دیجیتال بر اساس اختلاف‌های طیفی بین پدیده‌های مختلف در باندهای طیفی مختلف استوار است، این به معنای آن نیست که هر پدیده بر روی هر باند خاصی قابل تفکیک باشد. به همین منظور، روش طبقه‌بندی نظارتی مناسب است. در این مطالعه، الگوریتم‌های شبکه عصبی استفاده شده‌اند. برای این منظور، ابتدا مختصات نقاط نمونه‌برداری شده در تصاویر به تمامی کلاس‌های کاربری منتقل شدند، و با استفاده از این نقاط و یادداشت‌ها، تصاویری که در میدان از کاربردهای اطراف این نقاط گرفته شده بود و همچنین، نقشه‌های حاضر از طبقه‌بندی بدون نظارت که ویژگی‌های طیفی سطح زمین با کاربردهای مشخص را منعکس می‌کنند، به عنوان محل‌های آموزش ایجاد شدند.

۳/۳۹٪ مساحت استان را تشکیل می‌دهد. شهر کرمان بین ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی از خط طول جغرافیایی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه شمالی از خط عرض جغرافیایی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۷۷۵ متر است. منطقه کرمان، دارای اقلیم معتدل، خشک و کوهستانی با میانگین بارش سالانه ۱۳۶ میلی‌متر می‌باشد. بخش قابل توجهی از کرمان، در بیابان لوت واقع شده است، اما این شهر از لوت با دیوار کوهستانی پلور جدا شده و بنابراین، عامل ارتفاع تأثیری بر اقلیم آن داشته است [۱۶].



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1: Location of study area

داده مورد استفاده

مرحله اول در این مطالعه، شامل تهیه تصاویر ماهواره‌ای Landsat از سیستم Google Earth Engine در سال ۲۰۲۱ است. این تصاویر ماهواره‌ای، به نام تصاویر ENVI شناخته می‌شوند و با استفاده از دستورات کالبراسیون رادیومتری، تصحیح رادیومتریکی انجام می‌شود. پس از این تصحیح، دستورات تصحیح جوی اجرا می‌شود تا حداقل اشکالات جوی کاهش یابند و در صورت وجود خطاها، این خطاها کاهش داده شوند. در این رابطه، طبقه‌بندی به پنج کلاس انجام می‌شود که شامل باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی، مناطق کوهستانی، زمین‌های بی‌خرجی، مناطق مسکونی و سنگ‌های توده‌ای می‌شود. برای تضمین دقت و ارتباط با واقعیت زمینی طبقه‌بندی، حداقل بازه زمانی بین تصویربرداری و در دسترس بودن اطلاعات خاک، بسیار مهم است. در این راستا، داده‌های ماهواره‌ای از ماهواره ETM+ استفاده شده است در مرحله بعدی، از گزارش‌های جامع مطالعات خاک و منابع زمین در منطقه مورد مطالعه برای چندین سال بهره‌گیری شده است که توسط مرکز تحقیقات کشاورزی تهیه شده‌اند. این گزارش‌ها، به تفصیل به تاریخچه تغییرات خصوصیات خاک و الگوهای استفاده از زمین پرداخته و اطلاعات قابل توجهی را ارائه می‌دهند. با این حال، شاید ذکر این مطلب ارزش داشته باشد که برخی مناطق ممکن است تغییرات بیشتری را در طول زمان نشان دهند و یا اطلاعات آن‌ها ناقص یا قدیمی باشد [۱۷،۱۸].

برای ایجاد مجموعه داده قوی برای تجزیه و تحلیل، نمونه‌برداری از نمونه‌های خاک از پروفیل‌های مختلف خاک در محدوده مطالعه صورت گرفت. مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری، با استفاده از فناوری GPS به دقت تعیین شدند، اطمینان حاصل شد که ارتباط مکانی دقیق داشته باشیم. همچنین، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه با

کلی بیشتری داشت، خروجی مدل شبکه عصبی از نظر تفسیر بصری و جداسازی دسته‌های کاربری اراضی، عملکرد بهتری از خود نشان داد. نتایج دهه سوم نیز، نشان داد که خروجی نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شبکه عصبی دقت کلی بسیار بالایی با نرخ ۹۶٪ داشته است. این دقت قابل توجه، نشان‌دهنده کارایی الگوریتم‌های شبکه عصبی در طبقه‌بندی دقیق کاربری و پوشش اراضی است، به ویژه زمانی که با الگوهای پیچیده و در حال تغییر موجود در مناظر واقعی، سر و کار دارند. به طور خلاصه، انتخاب دقیق ترکیب‌های باندها و بهره‌گیری از الگوریتم‌های شبکه عصبی، به موفقیت این مطالعه در زمینه طبقه‌بندی کاربری اراضی، بسیار کمک کرد. سطوح دقت ثابت و بالا، که به ویژه در روش شبکه عصبی به دست آمد، نشان‌دهنده نقش اساسی تکنیک‌های سنجش از دور در پایش و تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی، در طول زمان است.

بر اساس نقشه طبقه‌بندی اراضی سال ۱۹۷۵ (شکل ۲)، این سال کم‌ترین میزان گیاهان به‌مقایسه با سال‌های دیگر مطالعه شده، داشت. مساحت کل گیاهان، در این سال ۴۲۹۹ هکتار بوده و مساحت کاربری‌های مسکونی ۱۰۳۵ هکتار بود. در نقشه طبقه‌بندی اراضی سال ۱۹۸۵، مقدار گیاهان و مساحت شهر نسبت به سال ۱۹۷۵ افزایش یافته است، به‌طوری‌که در سال ۱۹۸۵ نسبت به سال ۱۹۷۵، افزایش ۳۸٪ و ۴۸٪ در مقدار گیاهان و مصرف مسکونی، وجود داشته است. در سال ۱۹۹۵، مقدار گیاهان و مساحت شهر نسبت به دو دهه پیش، افزایش یافته است. مساحت کل گیاهان، ۶۵۱۹ هکتار و مساحت کل استفاده‌های مسکونی، ۲۹۴۵ هکتار بود. در این دوره، شهر کرمان بیشترین رشد افقی را داشت و این توسعه، به‌طور عمده در شمال و شمال شرق شهر و تا حدی در جنوب شهر بود. یکی از دلایل توسعه شهر، اتصال ناحیه‌های قدیمی در شرق و جنوب شهر است. در سال ۲۰۰۵، مساحت کل گیاهان ۹۰۸۸ هکتار بود و مساحت کل کاربری‌های مسکونی ۴۷۷۱ هکتار بود. همچنین، شهر کرمان به سمت شمال و شمال شرق گسترش یافته است، اما بیشترین رشد، در غرب شهر اتفاق افتاده و در این دوره، بیشترین ساخت و ساز در غرب منطقه، دیده شد. همچنین در این دوره، گسترش به سمت جنوب با سرعت کمتر و نرخ کمتری، ادامه یافت.

در این دوره، رشد مناطق شهری در شمال و شمال شرق کرمان، اصولاً در زمین‌های غیرمسکونی و بیابانی انجام شده و کمترین مساحت، به کاربری‌های کشاورزی تبدیل شده است. در سال ۲۰۱۵، مساحت کل گیاهان ۶۱۲۸ هکتار بوده و مساحت استفاده از اراضی مسکونی ۷۲۹۷ هکتار بود. در این سال، گسترش شهر به سمت غرب و شمال شرق ادامه داشته، اما به دلیل وجود رشته کوهی در شرق کرمان، در جهت شمال‌غرب به جنوب‌شرق کشیده شده و توسعه شهر، متوقف شده است.

در طبقه‌بندی، پالایش، تفکیک، و تخصیص، بسیاری از الگوریتم‌ها برای تشخیص و تخمین مناطق تغییریافته از مناطق تغییرنیافته به انتخاب آستانه، نیاز دارند. این فرآیند دارای دو روش است: آزمون و خطا و روش آماری [۲۲-۲۴]. در این مطالعه، از روش آماری با معادله Z استفاده شد که نوعی استانداردسازی تمام مقادیر به ازای انحراف از معیار است:

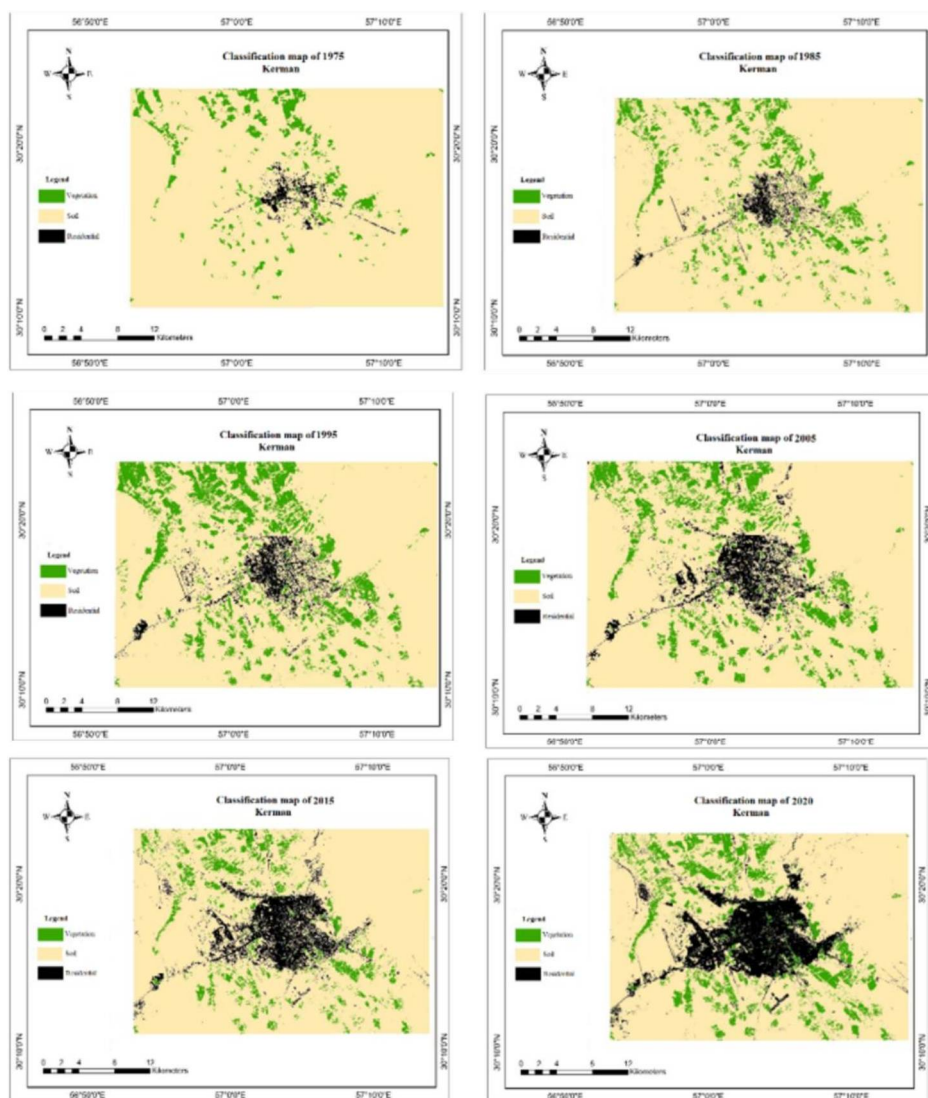
$$Kappa = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e} \quad (1)$$

در اینجا p_0 ، به درستی p_0 مشاهده شده است، توافق مورد انتظار است [۲۲]. باید توجه داشت که برای بررسی دقت نقشه‌های مرتبط با هر سال، پس از محاسبه دو شاخص ذکر شده، خطای مرتبط با این طبقه‌بندی نیز به دو شکل محاسبه شد: خطای کمیسون و خطای حذف. خطای کمیسون، مساحت زمینی از یک کلاس را نشان می‌دهد که واقعاً به آن تعلق ندارد و خطای حذف، مقدار زمین از یک کلاس را نشان می‌دهد که به عنوان کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده است.

نتایج تحقیق

در این مطالعه، انتخاب بهترین ترکیب باندها برای تصاویر Landsat TM و ETM+ نقش مهمی در بهبود تشخیص کاربری اراضی داشت. پس از بررسی دقیق، مشخص شد که باندهای ۲، ۴ و ۵ ترکیب بهینه‌ای برای این منظور، ارائه می‌دهند. با این حال، با توجه به پیچیدگی الگوهای کاربری اراضی، تعدادی ترکیب مختلف نیز برای اطمینان از دقت فرآیند طبقه‌بندی مورد بررسی قرار گرفت. برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی در منطقه مورد مطالعه، الگوریتم‌های پیشرفته شبکه‌های عصبی به کار رفت. این الگوریتم‌ها برای مدیریت داده‌های متنوع و مقیاس‌های آماری مختلف مناسب هستند، که آن‌ها را یک ابزار ارزشمند در برنامه‌های حوزه سنجش از دور می‌سازد. مدل شبکه عصبی مورد استفاده در این تحقیق از سه لایه تشکیل شده بود: لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی، که نوروهای ورودی توسط باندهای تصویر ماهواره‌ای Landsat، به ویژه باندهای ۲، ۴ و ۵ تعریف شده بود، در حالی که تعداد نوروهای خروجی با تعداد کلاس‌های نقشه کاربری متفاوت ارتباط داشت. ارزیابی دقت روش‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی در طول این مطالعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا، شاخص کاپا برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی متدهای مختلف، به کار گرفته شد. آستانه دقت قابل قبول برای طبقه‌بندی کاربری اراضی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای معمولاً در میزان ۸۵٪ تنظیم می‌شود [۲۵].

در طول این مطالعه، روش شبکه عصبی به طور مداوم دقت قابل قبول و گاهی اوقات، دقت بالاتری را نشان داد. به عنوان مثال، در دهه اول، این روش میزان دقت ۸۴٪ را به دست آورد که با استانداردهای صنعتی همخوانی داشت. به طور مشابه، در دهه دوم، روش شبکه عصبی دقت بالایی برابر با ۸۵٪ حفظ کرد. در حالی که، روش احتمال بیشینه دقت



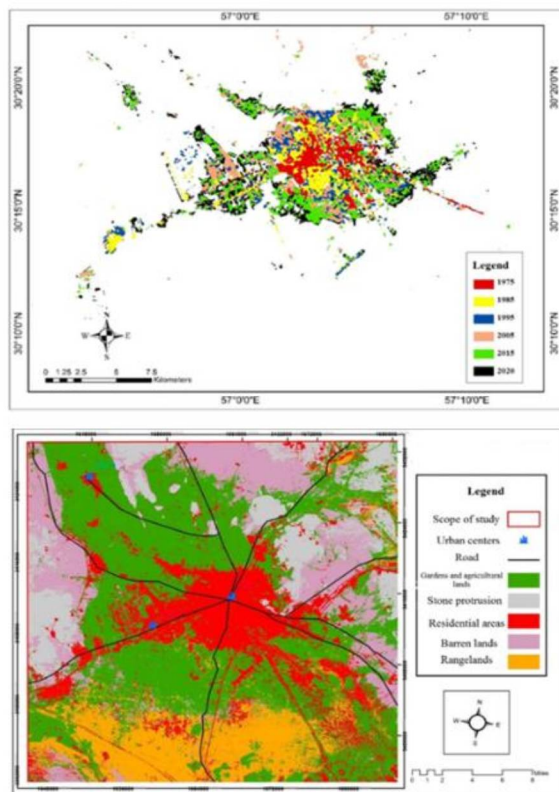
شکل ۲: نقشه طبقه‌بندی پوشش اراضی شهر کرمان
Fig. 2: Land cover classification map of Kerman city

طور کلی، روند تغییرات مصرف اراضی شهری و مسکونی، نشان می‌دهد که در دوره ۴۵ ساله از ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۰، این مصرف اراضی به مقدار ۵۰٪ افزایش یافته است که یک رشد قابل توجه می‌باشد. برای مقایسه بهتر تغییرات مصرف اراضی مسکونی در سال‌های مورد مطالعه در این تحقیق، نقشه توسعه کرمان تهیه شد (شکل ۳-الف). مقایسه نقشه چندباره توسعه شهر کرمان، نشان می‌دهد که تغییرات بیشتری در غرب و شرق رخ داده است. این مناطق، بیشترین اراضی کشاورزی و فضای سبز را در بر دارند، که در طی سال‌های مورد مطالعه به مصرف اراضی مسکونی تبدیل شده‌اند. بررسی این مناطق، نشان داده است که شهر در جهت‌های جغرافیایی مختلفی، گسترش یافته است. ناحیه شرقی به دلیل وجود کوهستان‌ها، کمتر در معرض ساخت و ساز شهری، قرار گرفته است.

با این حال، رشد شهر در بخش شمالی و به سمت افقی، ادامه یافته و این رشد به خصوص، در اراضی کشاورزی یا با تغییر باغ‌های پسته به مجتمع‌های مسکونی یا صنعتی، صورت گرفته است. در سال ۲۰۲۰، مساحت گیاهان ۹۰۴۱ هکتار و مساحت کاربری اراضی مسکونی ۱۰۸۵۱ هکتار خواهد بود. در این سال، رشد شهر و افزایش ساخت و ساز در تمام جهت‌ها ادامه یافت، اما بیشترین رشد در اراضی غربی شهر، تمرکز داشته است. در مطالعه حاضر، روند توسعه شهر کرمان در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۵، ۲۰۰۵، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ بررسی شد.

نتایج محاسبه مساحت توسعه شهری در دوره‌های زمانی، نشان می‌دهد که مساحت شهری از ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۰ به ۲۱۵۹ هکتار، افزایش یافته است که نمایانگر یک روند رشد است. مصرف اراضی مسکونی در دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ به سرعت افزایش یافت، به طوری که در این دوره ۲۰ ساله با رشد ۶۰٪ از ۹۷۵.۶ هکتار به ۲۴۷۷.۸۴ هکتار، افزایش یافت. به

برای برنامه‌ریزی شهری و مدیریت منابع است. در حالی که منطقه مورد مطالعه به مرور زمان به تغییر ادامه می‌دهد، انجام تصمیم‌گیری‌های مستند حیاتی است تا توسعه پایدار و حفظ کیفیت محیط زیست تضمین شود.



شکل ۳: (الف) نقشه توسعه چند دوره‌ای کرمان؛ (ب) نقشه استفاده از زمین شهر کرمان در سال ۲۰۲۱

Fig. 3: (a) Multi-period development map of Kerman city; (b) Land use map of Kerman city in 2021

پردازش تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مختلف، می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات در استفاده از فضاهای سبز و مسکونی باشد. براساس تجزیه و تحلیل انجام شده و نتایج به دست آمده از مطالعات دورسنجی با کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست در کرمان، مشخص شد که این روش برای منطقه مورد مطالعه، مناسب است و کارایی بالایی دارد. در این مطالعه، ابتدا نقشه زمین‌های کشاورزی که در معرض ساخت و ساز قرار دارند تهیه شد، و سپس استفاده‌های زمین به دو کلاس: گیاهان و مناطق مسکونی، طبقه‌بندی شدند که تغییرات در نقشه‌ها در طی دوره‌ای به مدت ۴۵ سال، نمایان می‌شوند. این تغییرات، اغلب نمونه‌هایی از گسترش افقی و افزایش ساخت و ساز در شهر هستند. الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، برای شناسایی این تغییرات، استفاده شده است. شبکه‌های عصبی، یک روش مناسب برای طبقه‌بندی استفاده از زمین و پوشش زمین هستند، زیرا می‌توانند برای انواع مختلفی از داده‌ها و

جهت بررسی کامل تغییرات در مناطق گیاهی و مسکونی، نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۱ با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده آماده شد. این فرآیند، به یک روند سیستماتیک آغاز شد که با شناسایی و جداسازی تمام لایه‌های اطلاعات مرتبط، از جمله باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی، زمین‌های خشک، مرتع‌ها و بیرون‌ریزهای سنگی آغاز شد. سپس، از این مجموعه داده گسترده برای ایجاد نقشه کاربری اراضی برای منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۱، استفاده شد. شکل ۳-ب، نقشه کاربری اراضی حاصل را برای سال ۲۰۲۱ نمایش می‌دهد و مهم است بدانید که روش شبکه عصبی، نقش مهمی در تولید این نقشه طبقه‌بندی، ایفا کرده است. دقت و صحت این نقشه، تاثیرگذاری بالایی دارد؛ با نرخ دقت کلی برابر با ۰/۹۸/۵، تاییدی برای دقت طبقه‌بندی‌ها، ارائه شده است. علاوه بر این، ضریب کاپا، که یک اندازه‌گیری از توافق است، با مقدار ۰/۹۵، قابلیت اطمینان این نقشه را تایید می‌کند. یکی از مشاهدات کلیدی که از تجزیه و تحلیل این نقشه کاربری به دست آمد، به توسعه شهری در سال ۲۰۲۱، اشاره دارد. به ویژه، افزایش مناطق مسکونی که محور اصلی این مطالعه بوده، نشان‌دهنده افزایش چشمگیری است. در مقایسه با سال ۲۰۲۰، مناطق مسکونی در سال ۲۰۲۱ با افزایش ۰/۶۳٪، مساحت تقریبی ۶۲,۰۲۹.۵ هکتار را شامل می‌شود. این روند گسترش شهری، به خصوص در پی یکسان شدن رشد جمعیت، نکته‌ای جالب است. با افزایش جمعیت، تقاضا برای مسکونی کردن و زیرساخت‌های شهری نیز، افزایش یافته است. در نتیجه، مناطق مسکونی افزایش چشمگیری دیده‌اند که نمایانگر ضرورت برای انطباق با رشد پرجمعیتی است با این حال، در کنار افزایش مناطق مسکونی، افزایش همزمانی در زمین‌های خشک نیز، شناسایی شده است. با وجود تبدیل برخی از زمین‌های کشاورزی و گیاهی به زمین‌های خشک، روند کلی به افزایش زمین‌های خشک اشاره دارد. این مشاهده، نشان‌دهنده طبیعت پویای تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه است.

نقشه‌های تغییر روند پیچیده و تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها که در طول این مطالعه انجام شده‌اند، به پوشش کامل از تعامل پیچیده بین توسعه شهری، دینامیک جمعیتی و تغییرات کاربری اراضی اشاره می‌کنند. این یافته‌ها روشنگری‌های ارزشمندی را در مورد منظر منطقه، مورد مطالعه ارائه می‌دهند و تصویر دقیقی از تحولات در طول زمان ارائه می‌کنند در پایان، آماده‌سازی نقشه کاربری سال ۲۰۲۱ و تحلیل دقیق انجام شده در این‌جا، الگوهای اساسی تغییرات منطقه مورد مطالعه را آشکار کرده‌اند. دقت بسیار بالای طبقه‌بندی‌های کاربری اراضی، مطابق با نرخ دقت بالا و ضریب کاپا، اعتماد به نتایج را، در سود نهاده است. گسترش مناطق مسکونی که توسط رشد جمعیت رقم خورده، به عنوان ویژگی مهمی از چشم‌انداز در حال تغییر، نقش می‌بازد. علاوه بر این، افزایش زمین‌های خشک، نکته‌ای مهم است که طبیعت پویای تغییرات کاربری اراضی در منطقه را، بیان می‌کند. شناخت الگوهای تغییرات اراضی، نه تنها از منظر تحصیلی جذابیت دارد، بلکه دارای اهمیت‌های عملی بزرگی

و دقت طبقه‌بندی برای سال‌های ۱۹۷۸، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۷ به ترتیب ۰/۸ و ۰/۸۸٪، ۰/۸ و ۰/۸۸٪ و ۰/۴۵ و ۰/۹۰٪ بود. Sushanth و همکاران [۳۰] از تصاویر لندست برای مانیتورینگ تغییرات ریزش خاک در حوضه Patiala-Ki-Rao استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که به دلیل افزایش جمعیت و رشد مناطق مسکونی، مساحت مناطق کشاورزی و جنگلی در طول ۱۰ سال گذشته کاهش یافته است.

Reddy و همکاران [۱۷]، تغییرات کاربری زمین در حوضه دارما را با استفاده از فناوری ماهواره‌ای GIS، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها، با مطالعه تصاویر لندست ۷ نشان داد که در یک دوره ۱۰ ساله، ۲۳٪ از مناطق مسکونی و مناطق کشاورزی افزایش یافته و جنگل‌ها و باغ‌ها ۹۰٪ افزایش داشتند، اما زمین‌های بی‌مصرف ۸۱٪ کاهش یافته است. با توجه به نتایج مقایسه نقشه‌های کاربری زمین، می‌توان نتیجه گرفت که در طی دوره مطالعه، بالاترین سطح تغییر کاربری زمین مربوط به هر دو کاربری گیاهان و نقشه کاربری مسکونی بوده است، به طوری که کاربری زمین مسکونی در طی ۴۵ سال مانیتورینگ منطقه افزایش یافته است. نتایج این مطالعه همچنین، نشان می‌دهد که بزرگترین سهم تغییر کاربری زمین در منطقه اصلی تراز ناشی از گسترش فعالیت‌های انسانی است که باعث تغییرات زیادی در پوشش زمین شده و متأسفانه این تغییرات، ممکن است تأثیرات منفی روی محیط زیست و منابع، داشته باشد. در نهایت، می‌توان گفت که تهیه نقشه‌های کاربری زمین و مطالعه تغییرات پوشش زمین در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، آگاهی محیطی را برای مدیریت پایدار منابع طبیعی افزایش می‌دهد و اجرای برنامه‌های مدیریتی را تسهیل می‌کند.

نتیجه‌گیری

نقشه‌های کاربری اراضی، یکی از الزامات برنامه‌ریزی توسعه ملی و منطقه‌ای است که به مدیران و برنامه‌ریزان، این امکان را می‌دهد که وضعیت فعلی را شناسایی کنند، توانایی‌ها و ظرفیت‌ها را ارزیابی کنند و تدابیر لازم برای تامین نیازهای فعلی و آتی، طراحی کنند. در واقع، نتایج این‌گونه مطالعات نوع مدیریتی که در منطقه اعمال شده را نشان می‌دهند و همچنین نقاط قوت و ضعف آن را، در طی دوره مورد مطالعه نمایش می‌دهند که می‌توانند به عنوان ابزار مدیریتی قدرتمندی برای مدیریت بهینه زمین برای دستیابی به توسعه پایدار، به کار روند. در مطالعه کنونی، تغییرات در کاربری اراضی در کرمان طی چهار دهه گذشته با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مورد مطالعه، تغییر معنی‌داری در الگوی استفاده از اراضی، نشان می‌دهند. در این دوره زمانی از ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۱، مساحت مناطق مسکونی تا ۹۵٪ افزایش یافته است و در سال ۲۰۲۱ نسبت به مساحت مناطق مسکونی در سال ۱۹۷۵ افزایش یافته است. یکی از دلایل اصلی این تغییرات،

مقیاس‌های آماری، استفاده شوند [۲۶، ۲۷]. در این مطالعه، یک شبکه عصبی مصنوعی سه لایه‌ای و الگوریتم پس‌انتشار برای طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از یک شبکه عصبی مصنوعی، به کار گرفته شده است. این مدل شامل یک لایه ورودی، یک لایه مخفی و یک لایه خروجی است، جایی که نورون‌های ورودی برای طبقه‌بندی تصاویر به عنوان باندهای تصویر ماهواره‌ای لندست و باندهای ۲، ۴ و ۵ همان تصاویر هستند و تعداد نورون‌های خروجی همان تعداد کلاس‌های نقشه استفاده از زمین است [۲۷].

در دهه اول مطالعه (از ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۵)، ما در سال ۱۹۸۵ نسبت به ۱۹۷۵ یک افزایش ۳۸٪ در گیاهان دیدیم. به نظر می‌رسد که در این دهه، شرایط مطلوب باران و ذخیره کافی آب زیرزمینی به همراه پروژه‌های تامین آب کانالی، باعث افزایش تمایل مردم به کشت زمین‌های بیابانی شده است. از سوی دیگر، افزایش ۴۸٪ در استفاده از مناطق مسکونی در سال ۱۹۸۵ در این دهه نشان می‌دهد که جمعیت منطقه افزایش یافته است. در دهه دوم (از ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵)، نیز افزایش گیاهان نسبت به دهه قبلی را مشاهده کردیم (۲۷٪ برای گیاهان و ۵۸٪ برای استفاده مسکونی). در این دوره، با کاهش باران در منطقه و کاهش سطح آب زیرزمینی، و همچنین افزایش صرفه جویی در بخش آب کشاورزی، منطقه تمایل زیادی به تغییر استفاده از باغ‌ها به محصولات داشته و به علت رشد جمعیت، در این دهه نسبت به دهه قبلی، ۵۷٪ افزایش رشد منطقه را مشاهده کردیم. مطالعه دوره سوم (از ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰) نشان می‌دهد که کل منطقه خشک یا به عبارت دیگر زمین‌های کشاورزی نشده، کاهش یافته و به مصرف مسکونی، تبدیل شده است. در این مدت، به نظر می‌آید که نقش نقشه‌های هیدروژئولوژی منطقه یکی از عواملی است که تغییرات این منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. احداث سد حلیل‌رود در این منطقه در این دوره (کاهش آب موجود و سطح آب زیرزمینی)، اصلاحات اراضی (کاهش اراضی و عدم تأمین ورودی توسط کشاورزان)، برنامه‌ریزی اقتصادی دولت در بخش‌های اجتماعی (ایجاد شغل‌های با بازدهی سریع و کمترین ریسک) و کمتر توجه به بخش کشاورزی، از جمله عواملی هستند که بر تغییرات استفاده از زمین در این منطقه، تأثیر می‌گذارند [۲۸].

به طور کلی، نتایج تحلیل مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از علم مشاهده از دور و داده‌های ماهواره‌ای، می‌تواند برای شناسایی و ارزیابی تغییرات استفاده از زمین در طول زمان مفید باشد و یکی از سریع‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌ها برای ارائه نقشه‌های استفاده از زمین و پوشش زمین باشد. Chowdhury و همکاران [۲۹] در یک مطالعه، دقت طبقه‌بندی استفاده از زمین با استفاده از فناوری‌های جی‌آی‌اس و مشاهده از دور در حوضه هالدا در بنگلادش را مورد بررسی قرار دادند. تصاویر لندست ۲، لندست ۵ و لندست ۷ و نرم‌افزارهای ArcGIS و ERDAS برای مانیتورینگ تغییرات، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیقات آن‌ها، نشان داد که حوضه به پنج کلاس تقسیم شده است: اعضای آبی، گیاهان، خاک خشک، و مناطق کشاورزی. ضریب کاپا

Based on the Land Use Remote Sensing Monitoring Data. Remote Sensing 2021, Vol 13, Page 2949 2021;13:2949.

[5] Liping C, Yujun S, Saeed S. Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China. PLoS One 2018;13:e0200493.

[6] Habte DG, Belliethathan S, Ayenew T. Evaluation of the status of land use/land cover change using remote sensing and GIS in Jewha Watershed, Northeastern Ethiopia. SN Appl Sci 2021;3.

[7] Felegari S, Sharifi A, Moravej K, Amin M, Golchin A, Muzirafuti A, et al. Integration of Sentinel 1 and Sentinel 2 Satellite Images for Crop Mapping. Applied Sciences 2021, Vol 11, Page 10104 2021;11:10104.

[8] Huang Z, Qi H, Kang C, Su Y, Liu Y. An Ensemble Learning Approach for Urban Land Use Mapping Based on Remote Sensing Imagery and Social Sensing Data. Remote Sensing 2020, Vol 12, Page 3254 2020;12:3254.

[9] Meshesha TW, Tripathi SK, Khare D. Analyses of land use and land cover change dynamics using GIS and remote sensing during 1984 and 2015 in the Beressa Watershed Northern Central Highland of Ethiopia. Model Earth Syst Environ 2016;2:1–12.

[10] S M V PC, Inayathulla M. LANDUSE AND LANDCOVER CHANGE DETECTION BY REMOTE SENSING AND GIS TECHNIQUES-A CASE STUDY OF HEBBAL VALLEY, BANGALORE n.d.

[11] Bukhari SK. Spatio-Temporal Land Use/Land Cover Dynamics In Ningli Watershed Of Jehlum Catchment In Kashmir Valley, North Western Himalaya Using Remote Sensing & Gis. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) n.d.:2278–3075.

[12] Vivekananda GN, Swathi R, Sujith AVLN. Multi-temporal image analysis for LULC classification and change detection. European Journal of Remote Sensing 2020;54:189–99.

[13] Singh Boori M, Vozenilek V. Remote Sensing and Land Use/Land Cover Trajectories. Journal of Geophysics & Remote Sensing 2014;03:1000123.

[14] Wang SW, Gebru BM, Lamchin M, Kayastha RB, Lee WK. Land Use and Land Cover Change Detection and Prediction in the Kathmandu District of Nepal Using Remote Sensing and GIS. Sustainability 2020; 12:3925.

[15] Shen Y, Li J, Zhao R, Han F. Multiresolution Mapping of Land Cover from Remote Sensing Images by Geometric Generalization. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2022;60.

[16] Zeinolabedini M, Esmaeily A. Groundwater potential assessment using geographic information systems and AHP method (case study: Baft city, Kerman, Iran). International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives 2015;40:769–74.

افزایش چشمگیر جمعیت است که منجر به افزایش اندازه مناطق مسکونی شده است. یافته‌های این مطالعه، ارتقاء و تغییرات در کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه را از جنبه‌های متعددی، نمایان می‌سازد. با توجه به شرایط آب و هوایی مناسب و آسمانی‌های زیرین در منطقه، ضرورت دارد تغییرات در کاربری اراضی به صورت برنامه‌ریزی شده، صورت گیرد. به طور کلی، برای این منظور به اجرای یک رویکرد جامع نیازمندیم که ملاحظات محیطی، برنامه‌ریزی شهری و مدیریت منابع پایدار را در نظر بگیرد. در پایان، نتیجه‌گیری از مطالعه نشان می‌دهد که اطلاعات و داده‌های مرتبط با کاربری اراضی و تغییرات آن‌ها که از طریق علوم مرتبط با تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های GIS به دست می‌آید، به موسساتی که در زمینه مدیریت اراضی فعالیت می‌کنند، به طور قابل‌توجهی کمک می‌کند. این ابزارها، داده‌های ارزشمندی برای تصمیم‌گیران فراهم می‌کنند و امکان می‌دهند تا استراتژی‌های طراحی شده برای استفاده از اراضی و حفاظت از آن‌ها را با اطلاعات دقیق به اجرا درآورند. همچنین، می‌توان توجه داشت که وضوح تصاویر ماهواره‌ای نیز به طور قابل‌توجهی به بهبود کارایی این تلاش‌ها، کمک کرده است. بنابراین، تلفیق فناوری پیشرفته و برنامه‌ریزی دقیق، کلید موفقیت در مدیریت اراضی و توسعه مناطقی متعادل را در اختیار دارد.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مسئولین محترم شهرداری کرمان که برای تحلیل نتایج این تحقیق همکاری لازم را داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع و مآخذ

- [1] Navin MS, Agilandeewari L. Comprehensive review on land use/land cover change classification in remote sensing. Journal of Spectral Imaging 2020;9:1–21.
- [2] Rwanga SS, Ndambuki JM, Rwanga SS, Ndambuki JM. Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. International Journal of Geosciences 2017;8:611–22.
- [3] Kavitha AV, Srikrishna A, Satyanarayana Ch. A Review on Detection of Land Use and Land Cover from an Optical Remote Sensing Image. IOP Conf Ser Mater Sci Eng 2021;1074:012002.
- [4] Cai T, Zhang X, Xia F, Zhang Z, Yin J, Wu S. The Process-Mode-Driving Force of Cropland Expansion in Arid Regions of China

recommendations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2017;62:224–35.

[29] 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.

[30] Sushanth K, Bhardwaj A. Assessment of landuse change impact on runoff and sediment yield of Patiala-Ki-Rao watershed in Shivalik foot-hills of northwest India. *Environ Monit Assess* 2019;191.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



داریوش عباسی مقدم مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال ۱۳۷۷ دریافت کرد و مدرک کارشناسی ارشد و دکتری خود را از دانشگاه علم و صنعت ایران به ترتیب در سال های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ اخذ نمود. وی از سال ۱۳۸۰

تاکنون بر روی طراحی و تحلیل سیستم های ارتباطات ماهواره ای و پردازش تصاویر سنجش از دور کار کرده است و در حال حاضر به عنوان دانشیار گروه مهندسی برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان فعالیت می کند. زمینه های تحقیقاتی ایشان شامل ارتباطات بی سیم، سیستم های ارتباطی ماهواره ای، سنجش از دور و پردازش سیگنال است.

Abbasi-Moghadam, D. Associate Professor at the Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

✉ abbasimoghadam@uk.ac.ir



علی محمدی مدرک کارشناسی برق خود را در سال ۱۴۰۰ از دانشگاه شهید باهنر کرمان دریافت نمود. زمینه های مورد علاقه ایشان، تئوری مخابرات، پردازش تصویر و تحلیل تصاویر ماهواره ای می باشد.

Mohammadi, A. Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

✉ a_mohammadi@gmail.com

[17] Reddy A. Land Use Land Cover Change Detection on Kanchinegalur sub watershed using GIS and Remote Sensing Technique. *Int J Res Appl Sci Eng Technol* 2017;V:2128–36.

[18] 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.

[19] Landsat 8 | Landsat Science n.d. (accessed August 13, 2023).

[20] Wulder MA, White JC, Goward SN, Masek JG, Irons JR, Herold M, et al. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring. *Elsevier* 2007;112:955–69.

[21] 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, Vol 9, Page 1319 2017;9:1319.

[22] De Raadt A, Warrens MJ, Bosker RJ, Kiers HAL. Kappa Coefficients for Missing Data. *Educ Psychol Meas* 2019;79:558–76.

[23] Serwa A, Elbially S. Enhancement of classification accuracy of multi-spectral satellites' images using Laplacian pyramids. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 2021;24:283–91.

[24] Dalezios NR, Loukas A, Vasiliades L, Liakopoulos E. Severity-duration-frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. *Hydrological Sciences Journal* 2000;45:751–69.

[25] Amini S, Saber M, Rabiei-Dastjerdi H, Homayouni S. Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series. *Remote Sens (Basel)* 2022;14:2654.

[26] Laban N, Abdellatif B, Ebeid HM, Shedeed HA, Tolba MF. Sparse Pixel Training of Convolutional Neural Networks for Land Cover Classification. *IEEE Access* 2021;9:52067–78.

[27] Song H, Kim Y, Kim Y. A Patch-Based Light Convolutional Neural Network for Land-Cover Mapping Using Landsat-8 Images. *Remote Sensing* 2019;11:114.

[28] 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

Citation (Vancouver): Abbasi-Moghadam D, Mohammadi A. [Analysis of Land Use Changes by Using Satellite Images in Kerman City]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 63-72

<https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1972>



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

Exploring the Influence of Slope Position and Parent Material on the Formation and Transformation of Landforms

Z. Alijani¹, H. Ashoori^{*2}

¹ Department of Geography, Environment & Geomatics, College of Social and Applied Human Sciences, University of Guelph, Ontario, Canada

² Department of Civil Engineering, Islamic Azad University- Qazvin branch, Qazvin, Iran

ABSTRACT

Received: 31 January 2023
Reviewed: 7 May 2023
Revised: 05 May 2023
Accepted: 19 June 2023

KEYWORDS:

Topography
Landform
Geomorphology
Geomorphic Surface
Digital Elevation Model

* Corresponding author

✉ ashoori@qiau.ac.ir

☎ (+9828) 33665275

Background and Objectives: The alteration in the landform pattern leads to changes in other landscape parameters such as soil, geology, and vegetation. Hence, the study of landforms and the investigation of factors that influence their formation and evolution are significant scientific disciplines in the fields of geomorphology and pedology. Climatic conditions with influencing on the geological processes, in conjunction with topographic features and the characteristics of parent materials, play an important role in forming and transformation of landforms.

Methods: In this research, the landforms of the study area were delineated using a digital elevation model with a resolution of 10 meters and the SAGA software based on the topographic position index. Subsequently, in two landforms, namely the plain and the open slope, which exhibited the highest degree of repeatability in the region, excavation and sampling were conducted, and the physicochemical properties and parameters such as parent material, elevation, and slope percentage were examined for each profile.

Findings: The studies indicated that in the plain landform the variation of slope is low and its maximum is three percent. This subject proves the transportation of parent materials from higher geomorphic surfaces accumulated in lower areas, resulting in the formation of this specific type of landform which is suitable for agriculture. Moreover, in the open slope landform with relatively high slope variations, erodible marl parent materials underwent alterations and transformations over time, leading to the development of distinct geomorphic surfaces. In this landform, the percentage of clay is reduced with depth, except for the profiles that have irregular patterns. Because of almost high slope, the soil depth of this landform is low. The reason for this low depth of soil is that the position of slope has the most important effect on the soil depth. Therefore, the positions on the top of the slope have low depth soils than the position on the bottom of the slope.

Conclusion: Topography has been known as a major factor in evolution and development of soils. The studied landform of this research showed that not only topography has a direct role in pedogenic processes but also parent materials are very importance in change of the processes and in landform construction. In this research, the landforms of the study area were separated based on topographic position index. In topographic position index, height and slope are used as the basic parameters for analyzing and classification of the landforms. Surveying the physical and chemical characteristics as well as assessing the parent material, height and slope percentage of the dug-up profiles in the more consequential landforms of the study area revealed that parent materials and slope have effective roles in creation of the landform. However, in the study area because of the arid and semi-arid conditions of the region and reduction of aeration and washing, the role of slope in creation of landforms was stronger than the role of parent materials. Thus, simultaneous study of the role of slope and parent materials in the regions with high aeration and active processes in geomorphic surface changes may create a broad context of research on creation of landforms.



NUMBER OF REFERENCES

31



NUMBER OF FIGURES

5



NUMBER OF TABLES

2

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر موقعیت دامنه و مواد مادری در تشکیل و تکامل لندفرم‌ها

زهره علیجانی^۱، حامد عاشوری^{۲*}^۱ گروه جغرافیا، محیط زیست و ژئوماتیک، دانشکده علوم انسانی کاربردی و اجتماعی، دانشگاه گوتلف، انتاریو، کانادا^۲ گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد قزوین، قزوین، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: تغییر در الگوی لندفرم سبب ایجاد تغییر در سایر پارامترهای زمین‌نما از جمله خاک، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی می‌شود. بنابراین، مطالعه لندفرم و بررسی عوامل مؤثر در تشکیل و تکامل آن، از علوم بسیار مهم در ژئومرفولوژی و پدولوژی می‌باشد. شرایط اقلیمی با تأثیر بر فرایندهای زمین‌شناسی و همراه با عوامل توپوگرافی و خصوصیات مواد مادری، نقش مؤثری در تشکیل و تکامل لندفرم‌ها دارند.

روش‌ها: در مطالعه حاضر، لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و نرم‌افزار SAGA بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی، جدا شدند. سپس، در دو لندفرم دشت و شیب باز که دارای بیشترین تکرارپذیری در منطقه مورد مطالعه بودند، اقدام به حفر نیمرخ و نمونه‌برداری گردید و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و پارامترهایی چون مواد مادری، ارتفاع و درصد شیب در هر نیمرخ، مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: بررسی‌ها، نشان داد که در لندفرم دشت، تغییرات شیب کم و حداکثر آن سه درصد می‌باشد و این، حاکی از آن است که در این لندفرم، مواد مادری تحت تأثیر رسوباتی می‌باشد که از بالادست آمده و به مرور در اعماق، ته‌نشین شده‌اند. بنابراین، مواد مادری انتقال یافته از سطوح ژئومرفیک بالا در اثر هوازدگی و فرایندهای فرسایش و انباشت و تجمع در سطوح پایین‌تر، منجر به ایجاد لندفرم‌های پایدار و نسبتاً هموار دشت گردیده که اراضی مناسبی را برای کشاورزی، به وجود آورده است. در دیگر سو، شیب باز در موقعیت‌های پشته و یا شانه شیب قرار گرفته است، جایی که دست‌خوش آیشویی بالای مواد و انتقال آن‌ها به سطوح پایین‌تر و فرسایش زیادتری نسبت به سایر سطوح است. تغییرات بافتی خاک، روند منظمی را نشان نمی‌دهد. میزان درصد رس، به جز در برخی از نیمرخ‌ها که روند نامنظمی را نشان می‌دهند، با عمق کاهش یافته است. به دلیل شیب نسبتاً بالا، خاک‌های این لندفرم، عمیق نیستند چراکه موقعیت شیب، بیشترین تأثیر را در عمق خاک دارد و موقعیت‌های بالای شیب، دارای خاک‌های کم‌عمق‌تری نسبت به موقعیت‌های پایین شیب هستند.

نتیجه‌گیری: توپوگرافی، به عنوان یک عامل اصلی در توسعه و تکامل خاک‌ها شناخته شده است. لندفرم مورد بررسی در این مطالعه، نشان داد نه تنها توپوگرافی به طور مستقیم در فرایندهای پدوژنیک نقش دارد، بلکه مواد مادری نیز در تغییر این فرایندها و تشکیل لندفرم بسیار حائز اهمیت هستند. در این مطالعه، لندفرم‌های منطقه بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی، تفکیک شدند. در شاخص موقعیت توپوگرافی، ارتفاع و شیب به عنوان پارامترهای اصلی برای تحلیل و طبقه‌بندی لندفرم‌ها، استفاده می‌شوند. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین بررسی مواد مادری، ارتفاع و درصد شیب در نیمرخ‌های حفر شده در لندفرم‌هایی که دارای بیشترین تکرارپذیری در منطقه بودند، نشان داد که مواد مادری و شیب، دارای نقش مؤثری در تشکیل لندفرم هستند. با این حال در منطقه مورد مطالعه، به دلیل شرایط خشک و نیمه خشک و کاهش میزان هوادهی و آیشویی، نقش شیب بیشتر از مواد مادری در تشکیل لندفرم‌ها بود. بنابراین، بررسی همزمان نقش مواد مادری و شیب در مناطقی با هوادهی بالا و فرایندهای فعال در تغییر سطوح ژئومرفیک می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات گسترده‌تر در تشکیل لندفرم‌ها ایجاد کند.

تاریخ دریافت: ۱۱ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۹ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

توپوگرافی
زمین‌نما
ژئومرفولوژی
سطح ژئومرفیک
مدل رقومی ارتفاع

* نویسنده مسئول

ashoori@qiau.ac.ir

۰۲۸-۳۳۶۶۵۲۷۵ ①

مقدمه

نوع پستی و بلندی و مواد مادری یکسان، شناخته می‌شوند [۲۱]. بنابراین، با توجه به ارتباط متقابل بین لندفرم و سطوح ژئومورفیک، نقش توپوگرافی و مواد مادری در تشکیل لندفرم‌های یک منطقه، بسیار حائز اهمیت است که در مطالعه حاضر، مورد بررسی قرار گرفته است. در واقع، در این مطالعه به این موضوع پرداخته می‌شود که هر یک از عوامل شناخته شده در تشکیل لندفرم، تا چه اندازه در تشکیل آن مؤثر بوده است و این تأثیر، در شرایط توپوگرافی متفاوت تا چه اندازه متغیر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بخشی از اراضی منطقه کوهین، واقع در مجاورت محور قزوین-رشت در استان قزوین را شامل می‌شود که بین طول‌های جغرافیایی $49^{\circ}34'58''$ تا $49^{\circ}37'13''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ}22'51''$ تا $36^{\circ}22'51''$ شمالی، قرار دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه، حدود پانصد هکتار است، کاربری غالب آن مرتع و دیم می‌باشد و دارای بارندگی سالیانه $351/26$ میلی‌متر و متوسط دمای $12/20$ درجه سانتی‌گراد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه مطالعاتی، به ترتیب، زیریک و مزیک هستند. منطقه مورد مطالعه، در غرب استان قزوین قرار گرفته و از نظر ژئومورفولوژی به دو بخش فلات و دره، تقسیم می‌شود. منطقه قزوین به دلیل توسعه سریع شهری، در حال تغییرات کاربری سریع است [۲۲] و همین موضوع، شناخت لندفرم‌های این منطقه را اهمیتی فزون‌تر بخشیده است. شکل ۱، منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تفکیک لندفرم با استفاده از مدل رقومی ارتفاع

اولین مرحله به منظور دستیابی به هدف مورد مطالعه، شناسایی و تفکیک لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه است. بدین منظور، از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۱۰ متر برگرفته از مطالعات میدانی پیشین و نرم‌افزار SAGA به منظور تفکیک اتوماتیک لندفرم، استفاده شد. این نرم‌افزار، تفکیک لندفرم را بر اساس TPI (Topographic Position Index) یا شاخص موقعیت توپوگرافی، انجام داد. شاخص موقعیت توپوگرافی، ارتفاع هر سلول در مدل رقومی ارتفاع را با سلول‌های مشخص اطراف آن سلول، مقایسه می‌کند. مقادیر مثبت TPI، نشان دهنده مناطقی هستند که بالاتر از نقاط اطراف قرار گرفته‌اند (تپه‌ها) و مقادیر منفی TPI نشان دهنده مناطقی پایین‌تر از نقاط اطرافشان می‌باشد (دره‌ها). مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز، نشان دهنده مناطق مسطح (جایی که شیب نزدیک صفر است) یا مناطقی با شیب ثابت هستند (شکل ۲) [۲۳]. شایان ذکر است که این شاخص، بسیار وابسته به مقیاس است و لندفرم‌های تفکیک شده در منطقه، می‌تواند در مقیاس‌های مختلف، متفاوت باشد.

لندفرم‌ها، سطوح پیوسته‌ای هستند که زمین را می‌پوشانند و در نتیجه، فعل و انفعالات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی انجام شده روی سطح زمین، به وجود می‌آیند و مانند فصل مشترکی در زمینه‌های ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، هواشناسی و سایر زمینه‌ها عمل می‌کنند [۳-۱]. در طی دوره‌های زمین‌شناسی گذشته، فرایندهای متفاوتی از قبیل حرکات تکتونیکی و توالی فرسایش و رسوب، بر طبیعت تکاملی زمین‌ها اثر قابل ملاحظه‌ای گذاشته است. تغییرات اقلیمی، با تأثیر بر فرایندهای ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی، نقش مهمی در تشکیل و تکامل لندفرم‌ها [۴، ۵] و همچنین، در تفکیک واحدهای لندفرم در هر زمین‌ما دارد [۶]. فاکتورهای اقلیمی و زمین‌شناسی، همراه با اثر فعالیت انسانی و خصوصیات مواد مادری، نقش آشکاری را در میزان و شدت فرسایش ایفا می‌کنند که به نوبه خود در تشکیل و توسعه لندفرم‌های شیب‌دار، نقش مهمی دارد [۷، ۸]. بررسی لندفرم‌ها و شناخت تنوع آن‌ها، بینش خاکشناس را در رابطه با شناخت تنوع خاک‌ها و شناسایی دقیق آن‌ها، بهبود می‌بخشد [۹]. مدل‌های رقومی ارتفاع، یک روش متداول برای استخراج اطلاعات پایه‌ای توپوگرافی به منظور مدل‌سازی لندفرم در امتداد منظر اراضی و یا زمین‌ما، در اختیار نقشه‌برداران قرار می‌دهد، اما امروزه به دلیل افزایش تعداد تحقیقات صورت گرفته در زمینه مدل رقومی ارتفاع، تفاوت‌های زیادی در بین دیدگاه‌های مختلف در تعریف و کاربرد لندفرم، ساختار و اجزاء آن، وجود دارد. از این رو، توضیحات و مدل‌سازی لندفرم و همچنین، واژه‌های مورد استفاده، متناسب با رشته‌های مختلف و نیازهای آن‌ها می‌باشد [۱۰-۱۲].

سالانه در نقاط مختلف دنیا، مطالعات پیوسته‌ای در زمینه شناخت ارتباط بین اجزاء لندفرم و مؤلفه‌های توپوگرافی، از جمله شیب، صورت می‌گیرد. شاری و همکاران، دوازده نوع انحنای شیب را که به طور بالقوه در طبقه‌بندی لندفرم استفاده می‌شود، تعریف کرده‌اند [۱۳]. آندا و همکاران، طبقه‌بندی لندفرم را بر اساس پارامترهای شیب و ارتفاع انجام دادند [۱۴]. همچنین، مطالعات بسیاری در زمینه ارتباط لندفرم با خصوصیات پدوژنیک و مورفولوژیک آن‌ها صورت گرفته است [۱۵-۱۷]. طبقه‌بندی انواع لندفرم، استخراج اجزاء و مدل‌سازی متعلقات لندفرم از مؤلفه‌های اصلی تحقیقات ژئومورفولوژی است. از دیرباز، ژئومورفولوژی به عنوان علم مطالعه لندفرم‌های سطح زمین، شناخته می‌شود [۱۸-۲۰]. در مطالعات خاک‌شناسی و فرایندهای تهیه نقشه خاک، فرایندهای ژئومورفولوژی نقش مهمی را در تعیین و کنترل فرایندهای خاک‌سازی در سراسر زمین نما، بر عهده دارند. ژئومورفولوژی، زیر مجموعه‌ای است از جغرافیای فیزیکی که در مورد ساختار و نحوه به وجود آمدن عوارض سطح زمین، بحث می‌کند. منشأ، ریخت‌شناسی، پیدایش، توزیع، نقشه‌برداری و رده‌بندی خاک‌ها، ارتباط نزدیکی با ژئومورفولوژی دارد و سهم ژئومورفولوژی در تفکیک واحدهای نقشه و افزایش خلوص آن‌ها بسیار زیاد است. واحدهای ژئومورفیک، به عنوان واحدهایی با زمین‌ما،



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

Fig. 1: The study area

نتایج و بحث

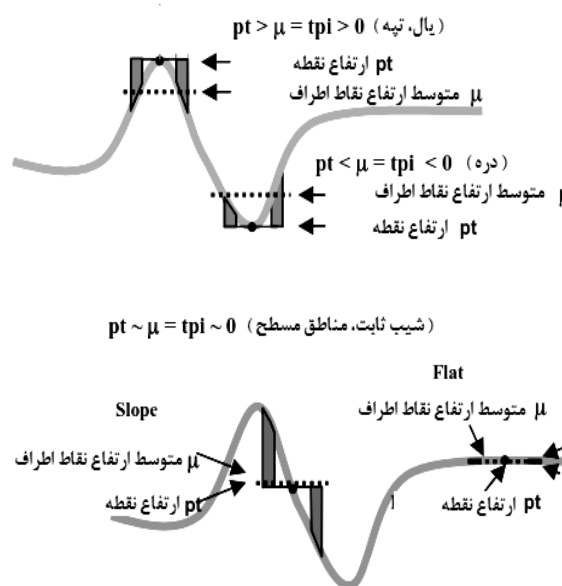
جدول ۱، طبقه‌بندی لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه را بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی، نشان می‌دهد. اساس تفکیک و طبقه‌بندی در این شاخص، ارتفاع سلول‌ها و شیب منطقه می‌باشد. مقادیر TPI لندفرم‌های مختلف به منظور درک بهتر طبقه‌بندی، ذکر شده است. نرم‌افزار به خوبی منطقه مورد مطالعه را بر اساس این پارامتر به لندفرم‌های مختلف، تفکیک می‌کند. البته همانطور که ذکر شد، این شاخص کاملاً وابسته به مقیاس است و لذا در تفکیک لندفرم‌های یک منطقه باید به این نکته توجه گردد.

جدول ۱: طبقه‌بندی لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس TPI

Table 1: Classification of the study area's landforms based on TPI

محدوده TPI limit		لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه Landforms of the studied area
مقیاس کوچک Small scale	مقیاس بزرگ Large scale	
$TPI \geq 1$	$TPI \geq 1$	یال مرتفع High ridge
$TPI \geq 1$	$-1 < TPI < 1$	یال شیب میانی Ridge of the middle slope
$-1 < TPI < 1$	$TPI \geq 1$	شیب بالایی High slope
$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$	دامنه باز (شیب $< 50^\circ$) .Open domain (slope < 50)
$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$	دشت (شیب $\geq 50^\circ$) .Plain (slope ≥ 50)
$TPI \leq -1$	$-1 < TPI < 1$	زهکش شیب میانی Middle slope drain
$-1 < TPI < 1$	$TPI \leq -1$	پنجه شیب Tilt claw
$TPI \leq -1$	$TPI \leq -1$	آبراهه Waterway

نقشه لندفرم منطقه مورد مطالعه در شکل ۳، مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تعداد هشت نوع لندفرم بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی در منطقه تفکیک شده است که مساحت هر کدام در شکل ۴، نمایش داده شده است.

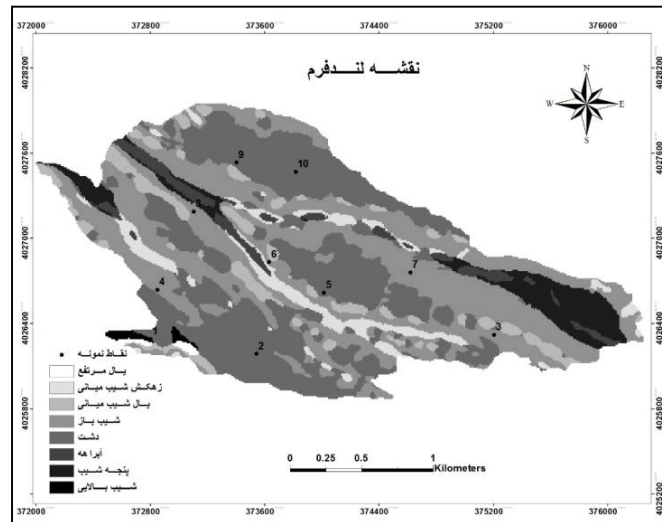


شکل ۲: نمایش شاخص موقعیت توپوگرافی [۲۳]

Fig. 2: The topographic position index [23]

نمونه‌برداری و مطالعات صحرائی

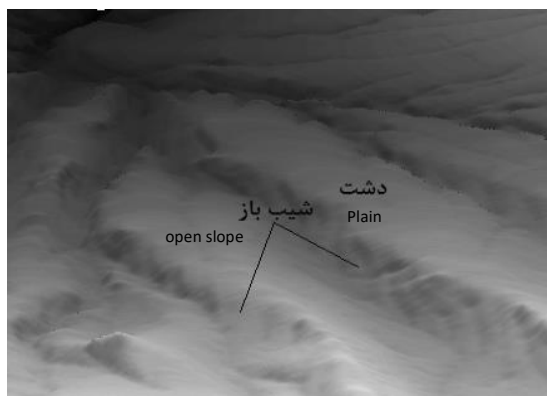
پس از شناسایی لندفرم‌های منطقه، در تعدادی از لندفرم‌ها که دارای بیشترین تکرارپذیری در منطقه بودند، اقدام به تولید نیمرخ از طریق حفر زمین گردید. سپس، از تمام افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری به عمل آمد. پس از هوا خشک نمودن نمونه‌های برداشت شده، تعدادی از پارامترهای مورد نیاز جهت مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لندفرم‌ها از قبیل بافت خاک‌ها به روش هیدرومتری، درصد کربن آلی به روش والکی-بلاک و درصد آهک به روش کلسیمتری اندازه‌گیری شدند. مواد مادری هر یک از نیمرخ‌ها، مورد مطالعه قرار گرفت و گزارش شد. سایر پارامترهای مورد نیاز، از قبیل مختصات نقاط، ارتفاع، جهت شیب و موقعیت نیمرخ‌ها روی شیب نیز، ثبت گردید.



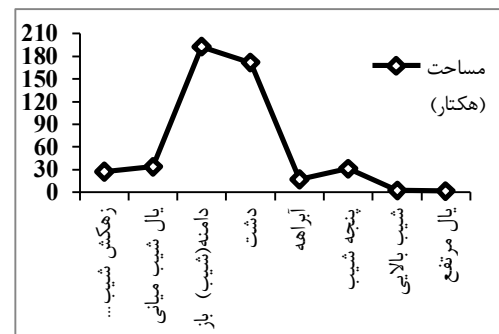
شکل ۳: نقشه لندفرم منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری
Fig. 3: Landforms of the study area and the location of the sampling points

اگر عناصر لندفرم، مستقیماً بین یک قله و یک دره واقع شده باشند، در آن صورت به آن لندفرم شیب یا دامنه باز می‌گویند (شایان ذکر است که در انگلیسی از اصطلاح Open slope برای بیان این مفهوم استفاده شده و در فارسی به فراخور حال دو معادل شیب و دامنه برای آن به کار می‌رود). لذا، در این مقاله شیب و دامنه به یک مفهوم، به کار رفته‌اند. همان‌طور که در شکل ۴، مشخص گردیده است، دو لندفرم دشت و دامنه باز، دارای بیشترین فراوانی در منطقه مورد مطالعه بودند که در قسمت‌های مختلفی نیز، توزیع شده‌اند. به منظور درک بهتر موقعیت لندفرم‌های مورد مطالعه، نمایش سه بعدی و برجسته آن‌ها در شکل ۶، نشان داده شده است.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی و سه پارامتر اصلی موقعیت دامنه، مواد مادری و ارتفاع که می‌تواند بالاترین نقش را در تشکیل لندفرم‌های منطقه ایفا کنند [۱۹]، در نیمرخ‌های حفر شده در هر لندفرم، مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج، به صورت جدول ۲، گزارش شد.

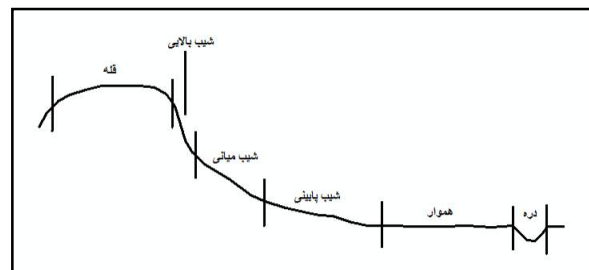


شکل ۶: نمایش سه بعدی لندفرم‌های مورد مطالعه
Fig. 6: 3D illustration of study area's landforms



شکل ۴: مساحت لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه
Fig. 4: The areas of study area's landforms

در نقشه منظور از یال مرتفع، لندفرم‌هایی با قله‌های باریک هستند که طول قله بزرگتر از پهنای لندفرم، می‌باشد. به منظور فهم بهتر لندفرم‌های منطقه، یک توالی از عناصر لندفرم را به صورت توالی شیب (Topo sequence) در نظر گرفته و آن را به واحدهای مشخصی تقسیم می‌کنند (شکل ۵).



شکل ۵: موقعیت عناصر لندفرم بر روی یک توالی شیب [۲۴]
Fig. 5: Location of landform features on a topo sequence [24]

جدول ۲: نتایج مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی نیمرخ‌های مورد مطالعه در هر لندفرم
Table 2: The results of field and laboratory investigations of the studied section for each landform

Table 2. The results of field and laboratory investigations of the studied section for each landform											
بافت	شن	سیلت	رس	آهک	کربن آلی	افق	عمق (cm)	ماده مادری	شیب	ارتفاع	نیمرخ
Texture	Sand	Silt	Clay (%)	lime	Organic carbon	the horizon	Depth (cm)	Maternal material	Slope (%)	Height	profile
لندفرم دشت Plain landform											
C	37	22	41	15.0	0.43	Ap	0-25	آلوویوم Alluvium	0-2	1370	1
C	31	28	41	15.3	0.774	Bw	25-60				
C	27	28	45	15.8	0.516	Bk1	60-105				
C	29	24	47	22.9	0.344	Bk2	105-140				
C	11	30	59	31.4	0.516	Ap	0-20	آلوویوم Alluvium	0-2	1402	2
C	11	30	59	32.9	0.258	Bk1	20-50				
C	7	18	75	49.3	0.258	Bk2	50-105				
C	2	22	69	57.0	0.172	Bk3	105-150				
C	26	30	44	15.3	0.83	Ap	0-20	کنگلومرا و ماسه سنگ Conglomerate and sandstone	2-3	1411	5
C	26	30	44	18.1	0.747	BW	20-50				
CL	38	24	38	28.7	0.498	BK	50-85				
CL	38	26	36	29.1	0.34	BCK	85-130				
C	16	34	50	15.6	0.43	Ap	0-20	آلوویوم Alluvium	0-2	1353	9
C	14	32	54	18.2	0.51	Bw	20-45				
C	10	28	62	29.7	0.25	Bk	45-140				
C	32	24	44	11.0	0.51	Ap	0-25	آلوویوم Alluvium	0-2	1369	10
C	28	24	48	29.3	0.25	Bk1	25-80				
C	15	32	53	28.6	0.17	Bk2	80-150				
لندفرم شیب باز Open slope landform											
SCL	48	20	32	20.9	0.49	Ap	0-27	مارن و ماسه سنگ	8-12	1467	3
SL	70	16	14	31.0	0.34	BCK	27-70	Marl and sandstone			
C	25	32	43	23.7	0.43	Ap	0-25	مارن	10-15	1366	4

بافت	شن	سیلت	رس	آهک	کربن آلی	افق	عمق (cm)	ماده مادری	شیب	ارتفاع	نیمرخ
Texture	Sand	Silt	Clay (%)	lime	Organic carbon	the horizon	Depth (cm)	Maternal material	Slope (%)	Height	profile
Maren											
CL	31	30	39	23.0	0.25	Bw	25-40	مارن Maren	10-15	1378	6
L	39	36	25	25.1	0.25	BCK	40-90				
CL	30	42	28	16.4	0.42	Ap	0-15				
CL	24	48	28	17.7	0.33	BCK1	15-60				
SIL	30	52	18	12.4	0.24	BCK2	60-90				
مارن Maren											
CL	34	28	38	20.6	0.34	Ap	0-20	مارن Maren	5-10	1441	7
CL	40	24	36	18.8	0.34	Bk	20-65				
SL	58	24	18	22.8	0.17	C	65-120				
CL	29	34	37	14.4	0.25	Ap	0-20	مارن Maren	10-15	1339	8
C	23	36	41	13.92	0.17	Bw	20-50				

که مواد مادری انتقال یافته از سطوح ژئومرفیک بالا در اثر هوازدگی و فرایندهای فرسایش و انباشت و تجمع در سطوح پایین تر، منجر به ایجاد لندفرم پایدار و نسبتاً هموار دشت گردیده که اراضی مناسبی را برای کشاورزی، به وجود آورده است. افزایش مقدار کربن آلی در افق B نسبت به افق A، در تعدادی از نیمرخ‌های این لندفرم نیز حاکی از انجام فعالیت‌های کشت و زرع و شخم می‌باشد. در لندفرم دامنه باز نیز، همانند لندفرم دشت، همان تغییرات مشاهده می‌گردد. دامنه شیب این لندفرم، در محدوده ۵-۱۵٪ می‌باشد. می‌توان گفت لندفرم دامنه باز در موقعیت‌های پشته و یا شانه شیب قرار گرفته است، جایی که دستخوش آبشویی بالای مواد و انتقال آن‌ها به سطوح پایین تر و فرسایش زیادتری نسبت به سایر سطوح است. تغییرات بافتی خاک روند منظمی را نشان نمی‌دهد. میزان درصد رس به جز در برخی از نیمرخ‌ها که روند نامنظمی را نشان می‌دهند، با عمق کاهش یافته است. به دلیل شیب نسبتاً بالا، خاک‌های این لندفرم، عمیق نیستند چرا که شیب، بیشترین تأثیر را بر ضخامت خاک دارد و در بالای دامنه با خاک‌های کم‌عمق‌تری نسبت به پایین دامنه مواجه هستیم. این نتایج، تطابق نزدیکی با نتایج حاصل از تحقیقات وب و دولینگ (۲۰۰۵) [۲۵] و آوونور و داگی (۲۰۲۱) [۲۶] نشان داد. ماده مادری در تمام نیمرخ‌ها به جز نیمرخ شماره ۳، مارن می‌باشد که بسیار حساس به فرسایش است. می‌توان نتیجه گرفت که حساسیت مواد مادری به فرسایش و هوازدگی آن‌ها در طول زمان منجر

در لندفرم دشت به جز نیمرخ پنجم، سایر نیمرخ‌ها روند مشابهی را در درصد مقادیر رس، شن و سیلت و بافت خاک نشان می‌دهند. بافت خاک، در تمام افق‌ها، رسی بوده و به ترتیب افزایش و کاهش تدریجی رس و شن، از افق‌های بالایی به پایینی، مشاهده می‌شود. روند افزایشی در میزان آهک، از افق‌های بالایی به پایینی نیز، مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده حضور فرایندهای آبشویی آهک است. نیمرخ ۵، دارای میزان سنگریزه بیشتری در دو افق پایینی است (افق‌های سطحی حدود ۵٪ و افق‌های پایینی حدود ۲۰٪-) که خصوصیات خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند و سبب کاهش مقدار رس و تغییر بافت از رسی به لوم رسی شده است. البته، تغییرات بین نیمرخ ۵ و سایر نیمرخ‌ها را می‌توان ناشی از تفاوت در ماده مادری دانست. در لندفرم دشت، مواد مادری تمام نیمرخ‌ها به جز نیمرخ ۵ (که کنگلومرا و ماسه سنگ است) از نوع آلوویوم می‌باشد. در نیمرخ ۵، افزایش اندکی در درصد شیب صورت گرفته است ولی عامل اصلی تفاوت در ماده مادری آن، ارتفاع می‌باشد. این نیمرخ، در نقطه‌ای واقع شده است که نمی‌تواند دستخوش هیچ‌گونه رسوبات انتقال یافته از بالادست قرار گیرد، زیرا نسبت به سطوح ژئومرفیک اطرافش، دارای ارتفاع بیشتری است. در لندفرم دشت، تغییرات شیب کم و حداکثر آن، سه درصد می‌باشد؛ این نشان می‌دهد که در این لندفرم، مواد مادری تحت تأثیر رسوباتی است که از بالادست حمل شده و به مرور در اعماق، ته‌نشین شده‌اند. براین اساس، می‌توان نتیجه گرفت

می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات گسترده‌تر در تشکیل لندفرم‌ها ایجاد کند. با توجه به این نتایج، توصیه می‌شود که بررسی‌های آینده در تشکیل لندفرم‌ها علاوه بر مواد مادری، به نقش موقعیت دامنه نیز توجه کنند، به ویژه، در مناطقی که فرایندهای فعال و هوادهی بالایی وجود دارد. این تحقیقات می‌توانند به درک بهتر فرایندهای ژئومورفیک و تشکیل لندفرم‌ها در شرایط مختلف زمینی، کمک کنند.

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 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: Haeberli 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, Haeberli 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.

به ایجاد تغییرات توپوگرافی در منطقه شده است که به نوبه خود سبب تشکیل و تمایز لندفرم‌ها می‌گردد. از آن‌جا که طبق مطالعات پیشین، تفاوت در مواد مادری می‌تواند ناشی از تفاوت در الگوی زهکشی یا پستی و بلندی باشد [۲۷]، پستی و بلندی و مواد مادری در تشکیل لندفرم می‌توانند، دارای اثر همزمان باشند. مواد مادری غنی از Dispersive clay (رس قابل پراکنده‌سازی، یعنی رسی که به سرعت فرسایش می‌یابد و توسط آب منتقل می‌شود) و توزیع آن در طول نیمرخ خاک با اثر بر فرسایش و تشدید آن سبب تشکیل لندفرم‌های اراضی بدخیم می‌گردند [۷]. همچنین، نقش مواد مادری در تشکیل سطوح ژئومورفیک امری روشن است [۲۸، ۲۹]. از زمانی که ینی (۱۹۴۱) فاکتورهای تشکیل-دهنده خاک را معرفی کرد، توپوگرافی به عنوان یک فاکتور اصلی در توسعه و تکامل خاک‌ها شناخته شده است [۳۰]. نتایج این مطالعه همانند نتایج هوارد (۲۰۱۷) نشان داد نه تنها توپوگرافی به طور مستقیم در فرایندهای پدوژنیک نقش دارد، بلکه مواد مادری نیز در تغییر این فرایندها و تشکیل لندفرم بسیار حائز اهمیت هستند [۳۱].

نتیجه‌گیری

واحدهای لندفرم به واسطه فرایندهای مختلف ژئومورفیک، هیدرولوژیک و پدولوژیک تحت تأثیر فرایندهای اقلیمی در هر زمین‌نما به وجود می‌آیند. تفکیک و طبقه‌بندی لندفرم می‌تواند بر اساس مؤلفه‌های مشتق شده از مدل رقومی ارتفاع صورت پذیرد. مدل رقومی ارتفاع، یک مدل دقیق از ارتفاع زمین است که از داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از فناوری‌های نقشه‌برداری مانند رادار و لیزر به دست می‌آید. با تحلیل این مدل، می‌توان مؤلفه‌های مرتبط با لندفرم را مشخص و با استفاده از آن‌ها واحدهای لندفرم را طبقه‌بندی کرد. واحدهای لندفرم که مشابه ساختارهای زمینی هستند، نتیجه تأثیرات فرایندهای مختلفی هستند که در زمین‌نما اتفاق می‌افتند. این فرایندها می‌توانند شامل ژئومورفولوژی (شکل‌دهی زمینی)، هیدرولوژی (آب و رودخانه‌ها) و پدولوژی (خاک) باشند. برای مثال، فرایندهای اقلیمی مانند بارش، خشکسالی، رگبار و یخبندان می‌توانند بر روی زمین‌نما اثرگذار باشند و واحدهای لندفرم را تشکیل دهند.

در این مطالعه، لندفرم‌های منطقه بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی تفکیک شدند. در شاخص موقعیت توپوگرافی، ارتفاع و موقعیت دامنه به عنوان پارامترهای اصلی برای تحلیل و طبقه‌بندی لندفرم‌ها استفاده می‌شوند. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین بررسی مواد مادری، ارتفاع و درصد شیب در نیمرخ‌های حفر شده در لندفرم‌هایی که دارای بیشترین فراوانی در منطقه بودند نشان داد که مواد مادری و شیب دارای نقش مؤثری در تشکیل لندفرم هستند. با این حال، در منطقه مورد مطالعه، به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک و کاهش میزان هوادهی و آبشویی، نقش موقعیت دامنه بیشتر از مواد مادری در تشکیل لندفرم‌ها بود. بنابراین، بررسی همزمان نقش مواد مادری و شیب در مناطقی با هوادهی بالا و فرایندهای فعال در تغییر سطوح ژئومورفیک

- [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.
- [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 Kandiodult 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.
- [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.
- [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 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.
- [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.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



زهره علیجانی در سال ۱۳۸۸ مدرک کارشناسی رشته علوم و مهندسی خاک را از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و در سال ۱۳۹۲ مدرک کارشناسی ارشد همان رشته را از دانشگاه تهران کسب نمود. وی در سال ۱۴۰۲ موفق به اخذ مدرک دکتری از دانشگاه گوتلف کانادا شد و در حال حاضر نیز محقق پسادکتری در همان دانشگاه می‌باشد. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، علوم خاک و فتوگرامتری.

سنجش از دور اخذ کرده است. مدرک کارشناسی ارشد او در همین رشته در سال ۱۳۸۵ و مدرک کارشناسی در سال ۱۳۸۲ در رشته مهندسی عمران-نقشه برداری از همان دانشگاه اخذ شده است. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: استخراج اطلاعات از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، تحلیل بافت، و تصحیح هندسی تصاویر. وی همچنین در زمینه مطالعه، طراحی، پیاده‌سازی و پشتیبانی سامانه‌های اطلاعات مکانی سازمانی فعالیت پیوسته دارد.

Ashoori, H. Assistant Professor at the Department of Civil Engineering, Qazvin branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

✉ ashoori@qiau.ac.ir

Alijani, Z. Post-doctoral researcher at the Department of Geography, Environment & Geomatics, College of Social and Applied Human Sciences, University of Guelph, Ontario, Canada

✉ zaliyani@uoguelph.ca



حامد عاشوری در حال حاضر در دانشگاه آزاد واحد قزوین به عنوان عضو هیأت علمی و در شرکت مهندسی فرنگاشت نوآور به عنوان مدیر پروژه مشغول به فعالیت است. ایشان در سال ۱۳۹۸ مدرک دکتری خود را از دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در گرایش مهندسی

Citation (Vancouver): Alijani Z, Ashoori H. [Exploring the Influence of Slope Position and Parent Material on the Formation and Transformation of Landforms]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 73-82

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1973>



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

Assessment of Vegetation Mapping Methods Using GIS and Remote Sensing

M. Dastanian, J. Saberian*

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

ABSTRACT

Received: 02 February 2023

Reviewed: 4 April 2023

Revised: 01 May 2023

Accepted: 26 May 2023

KEYWORDS:

Geo-spatial Information System

Kapa Coefficient

NDVI

Plant Coating

Random Forest

* Corresponding author

✉ j_saberian@azad.ac.ir

☎ (+9821) 33722831

Background and Objectives: Today, it is very important to know the quantitative and qualitative characteristics of changes in environmental planning, land use and sustainable development. Currently, the use of vegetation maps is one of the important elements in generating information for macro and micro planning. In general, there are various methods for collecting data, including astronomical observations, photogrammetry, mapping and remote sensing. Remote sensing is one of the data collection methods in which it has the least amount of direct contact with the objects and features being measured and unlike other methods in which human factors play a role in collecting and interpreting terrestrial data, in remote sensing method the task of collecting information will be the responsibility of the sensors. Due to the over-exploitation of natural resources, the landscape is constantly changing and monitoring these changes as well as updating maps is costly and time consuming, so many developed countries now have to prepare maps in Different levels use satellite data.

Methods: In this research, we will how remote sensing satellite images can be used to prepare maps of vegetations. The use of plant coating maps is one of the important pillars in the production of information for macro planning. The aim of this research is to produce a map of natural and cultivated vegetation as well as irrigated lands and gardens using remote sensing technology and geographic information system. For this purpose, satellite images and ground surveys were used as input data and these data were analyzed using different methods of classification. As a case study the south of Zanjan city was selected for preparing of land use map. The Sentinel-2 satellite images of 2018 were used. Several software such as Envi, ArcGIS, and SAGAGIS were used. The best classification method was selected using ArcGIS software. To check the functionality and efficiency of the data, normalized vegetation index (NDVI) images were calculated with a spatial accuracy of 15 meters and one NDVI image was considered for each month. In total, 12 images are selected and converted into a triple band by layer stacking.

Findings: Data validation is based on Google Earth and the precision of the vegetation of the study area was studied using classification methods such as Maximum Likelihood, Minimum Distance, Support Vector Machine, Neural Network and Random Forest. In each classification method, the Kapa coefficient has been examined by using the commission and omission error matrix and the overall accuracy of the map. It was determined by comparing all the methods and evaluating the obtained results, Random Forest Algorithm method with overall accuracy of 96.51% and kappa coefficient of 0.8181 was chosen as the best method of vegetation classification in the study area.

Conclusion: The results of this research indicated that in the random forest algorithm, the probability of each pixel belonging to each class is determined with high accuracy. The ability to determine the importance of features in the classification that can be used to select the optimal feature space is one of the most important advantages of this method. Also, the ability to classify noisy data, which can be used to increase and refine training samples, no need to select or reduce bands when using multispectral images, are other advantages of the random forest algorithm. In this way, the simplicity and comprehensible structure of this algorithm, along with its technical advantages, has made it highly flexible and made it very easy to combine with other methods.



NUMBER OF REFERENCES

30



NUMBER OF FIGURES

4



NUMBER OF TABLES

0

مقاله پژوهشی

ارزیابی روش‌های تولید نقشه پوشش گیاهی با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و سنجش از دور

معصومه دستانیان، جواد صابریان*

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

چکیده

پیشینه و اهداف: امروزه، اطلاع از خصوصیات کمی و کیفی تغییرات در برنامه‌ریزی‌های محیطی، آمایش سرزمین و توسعه پایدار، بسیار حائز اهمیت است. در حال حاضر، استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی، یکی از ارکان مهم در تولید اطلاعات جهت برنامه‌ریزی‌های کلان و خرد است. هدف این پژوهش، تولید نقشه پوشش‌های گیاهی طبیعی و زراعی و همچنین، زمین‌های کشت آبی و باغات، با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی است. به طور کلی، از زمان‌های قدیم تا به امروز، روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری داده‌های مبتنی بر مکان وجود دارد، از جمله مشاهدات نجومی، فتوگرامتری، نقشه‌برداری و سنجش از دور. سنجش از دور، یکی از روش‌های جمع‌آوری داده‌هاست که کمترین تماس مستقیم با اشیاء و داده‌های مورد اندازه‌گیری را دارد و بر خلاف روش‌های دیگر، که عوامل انسانی در جمع‌آوری و تفسیر داده‌های زمینی نقش دارند، در روش سنجش از دور، مسئولیت جمع‌آوری اطلاعات بر عهده سنسورها خواهد بود.

روش‌ها: در این تحقیق، نشان دادیم که چگونه می‌توان از تصاویر ماهواره‌های سنجش از دور، جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی و باغات، استفاده کرد. برای این منظور، از تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های زمینی، به عنوان داده‌های ورودی استفاده می‌شود و این داده‌ها، با روش‌های مختلف طبقه‌بندی، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. برای تهیه نقشه کاربری، اراضی جنوب شهر زنجان انتخاب و از تصاویر ماهواره سنتینل ۲- مربوط به سال ۲۰۱۸، استفاده شد. در مراحل مختلف انجام این تحقیق، از نرم‌افزارهای *SAGGIS*، *ArcGIS*، *ENVI* استفاده شده است. بهترین روش طبقه‌بندی به کمک نرم‌افزار *ArcGIS* انتخاب گردید. برای بررسی قابلیت و کارایی داده‌ها، تصاویر شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (*NDVI*) با دقت مکانی ۱۵ متر، محاسبه و برای هر ماه، یک تصویر *NDVI*، در نظر گرفته شد. در مجموع ۱۲ تصویر انتخاب گردید که در قالب یک داده با عملیات ترکیب‌کردن لایه یک باند سه تایی تبدیل شدند.

یافته‌ها: در این تحقیق اعتبار سنجی داده‌ها براساس نرم‌افزار گوگل ارث انجام شد و دقت تفکیک پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی مختلف از قبیل حداکثر احتمال، کوتاه‌ترین فاصله، ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی و جنگل تصادفی، مورد بررسی قرار گرفت. در هر روش طبقه‌بندی، با استفاده از ماتریس خطای اومیشن و کومیشن در هر کلاس و شاخص‌های دقت کلی نقشه، ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفته است. با مقایسه تمامی روش‌ها و ارزیابی نتایج به‌دست آمده، مشخص شد که روش الگوریتم جنگل تصادفی با دقت کلی ۹۶.۵۱٪ و ضریب کاپا ۰.۸۱۸۱ به عنوان بهترین روش طبقه‌بندی، نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه را تولید خواهد کرد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که در الگوریتم جنگل تصادفی احتمال تعلق هر پیکسل به هر کلاس با دقت بالایی تعیین می‌شود. قابلیت تعیین اهمیت ویژگی‌ها در طبقه‌بندی که می‌تواند به منظور انتخاب فضای ویژگی بهینه استفاده شود از مهمترین مزایای این روش است. همچنین، توانایی طبقه‌بندی داده‌های نویزی، که می‌توان جهت افزایش و تصفیه نمونه‌های آموزشی استفاده کرد، عدم نیاز به انتخاب یا کاهش باند در هنگام استفاده از تصاویر چند طیفی، از دیگر مزایای الگوریتم جنگل تصادفی است. بدین ترتیب، سادگی و ساختار قابل‌درک این الگوریتم در کنار مزایای فنی آن، باعث انعطاف‌پذیری بالای آن شده و ترکیب آن با روش‌های دیگر را، بسیار آسان کرده است.

تاریخ دریافت: ۱۳ بهمن ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۱۵ فروردین ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۰۵ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

پوشش گیاهی
روش جنگل تصادفی
سامانه اطلاعات مکانی
شاخص *NDVI*
ضریب کاپا

*نویسنده مسئول

j_saberian@azad.ac.ir

۰۲۱-۳۳۷۲۲۸۳۱ (۲)

مقدمه

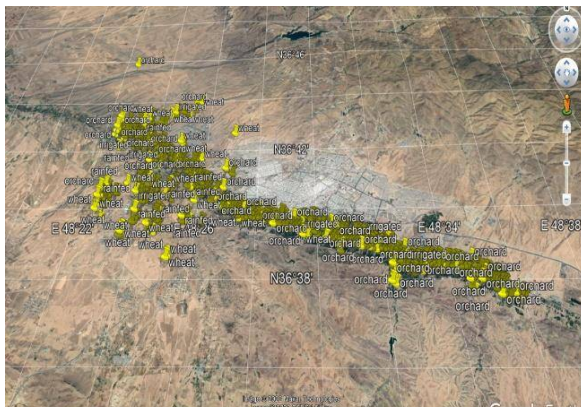
سنجش از دور، علم، هنر و فن‌آوری اخذ مشاهدات از منابع طبیعی و انسانی سطح زمین از فاصله دور، بدون تماس فیزیکی با آن‌ها است که به وسیله انواع سنجنده‌ها توسط ماشین و انسان در راستای اهداف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنجنده‌ها، بر اساس منبع انرژی به سنجنده غیرفعال (منبع انرژی طبیعی مانند خورشید) و فعال (منبع انرژی مصنوعی مانند رادار) تقسیم می‌شوند [۱]. تصاویر به‌دست آمده از ماهواره‌ها، در بررسی تغییرات محیطی و مدیریت منابع، استفاده می‌شود. از مزایای این فناوری، فراهم نمودن اطلاعات به هنگام، فراهم آوردن دید همه جانبه، سرعت بالای انتقال داده و تنوع اشکال داده و کاهش هزینه‌ها در این زمینه است. با توجه به گستردگی و اهمیت کاربرد این تصاویر در رشته‌های مختلف، در کشاورزی نیز، از آن برای تولید نقشه اراضی کشاورزی، اعم از باغی و آبی و تفکیک آن‌ها برای پایش و کنترل، ارزیابی سطح زیر کشت و همچنین، خسارت در اثر حمله آفات و بیماری‌ها، سرمازدگی، سیل و آتش‌سوزی استفاده می‌شود [۲]. روش‌ها و مدل‌های تولید نقشه‌های کشاورزی از پارامترهای مختلف، دما، رطوبت، داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و دیگر اطلاعات لازم مرتبط با فیزیولوژی و فنولوژی گیاه به‌دست می‌آید. مهم‌ترین نتیجه حاصل از این مدل‌ها، پیش‌بینی و تفکیک هر کدام از محصولات کشاورزی در مناطق تولید، در طی سال است. نتایج حاصل از این مدل‌ها، در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های کلان از جمله قیمت‌گذاری، صادرات، واردات، انبارداری، کنترل و جلوگیری از تغییر کاربری اراضی استفاده می‌شود. از مشکلات مهمی که بخش کشاورزی کشور با آن درگیر است، نبود اطلاعات درست در زمینه تولید و تفکیک نقشه‌های پوشش‌های مختلف کشاورزی، از جمله زمین‌های زراعی باغی و کشتزارهای آبی در کشور است. تحولات رو به رشد ماهواره‌های، منابع زمینی و افزایش توان تفکیک مکانی داده‌های آن‌ها، و نیز تکامل نرم‌افزارهای پردازش و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات مکانی، بر سرعت پردازش داده‌ها افزوده است. در کشورهای پیشرفته، از سامانه‌های پایش در سطح کلان استفاده شده که یکی از زیربخش‌های آن، تولید نقشه‌های تفکیکی محصولات کشاورزی است. در این سامانه‌ها، با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور، داده‌های محیطی و خصوصیات گیاهی در قالب مدل‌های مختلف می‌توانند برآورد درستی از تولید نقشه‌های کشاورزی داشته باشند. همچنین، این اطلاعات، می‌تواند در بهبود مدیریت تولید نقشه‌ها و همچنین، محصولات کشاورزی، نقش داشته باشند.

محمودی و همکاران، به نقل از صانعی نژاد، بیان نموده‌اند که استفاده از سنجش از دور و استفاده از پارامترهای گیاهی از قبیل شاخص سطح برگ و زیست توده، در تحقیقات برآورد نقشه کشت آبی و باغی، امری الزامی و اجتناب‌ناپذیر است [۳]. مومن زاده، در زمینه کاربرد سنجش از دور در کشاورزی، بیان کرده که سنجش از دور، می‌تواند به عنوان یک منبع مفید اطلاعاتی در بسیاری از فعالیت‌ها و تحقیقات

کشاورزی، مطرح باشد [۴]. علی‌خواه اصل و ناصری، کاربرد سنجش از دور و GIS در زمینه آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در حوزه آبخیز گفتار را مطرح کردند. در تحقیق آن‌ها، از تصاویر لندست ۵ و ۸ و شاخص پوشش گیاهی *NDVI* استفاده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده آن‌ها، استفاده از اطلاعات تکمیلی از جمله اطلاعات شیب و شاخص *NDVI* در کنار پردازش تصاویر ماهواره‌ای به روش نظارت شده برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی، موجب افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر می‌شود [۵]. پروژه پایش تولید گندم، با نام "کشاورزی و بررسی منابع از طریق سنجش از دور" در سال ۱۹۸۰ در آمریکا شروع شد که تا سال ۱۹۸۵ ادامه داشت. پروژه مارس در اروپا، از سال ۱۹۸۸ آغاز و به منظور نظارت بر محصولات زراعی در سرتاسر جهان، گسترش یافت. اولین هدف پروژه مارس، پیش‌بینی عملکرد محصولات عمده در اروپا، کشورهای همسایه و مناطق استراتژیک جهان بود. در بسیاری مقالات دیگر نیز، به انواع کاربردهای سنجش از دور در کشاورزی و پوشش گیاهی، پرداخته شده است [۶-۱۱].

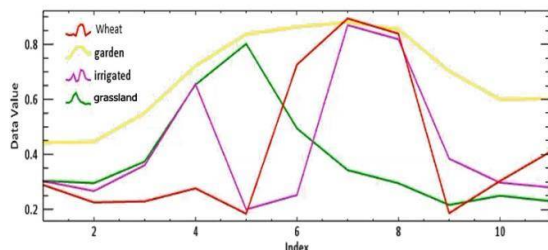
یکی از روش‌های پرکاربرد برای آشکارسازی و مطالعه اراضی کشاورزی، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است که شامل جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی طبقاتی آن‌ها از لحاظ رفتار طیفی یکسان است. به عبارت بهتر، در طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای، الگوریتم طبقه‌بندی با توجه به ارزش عددی یک پیکسل، در مورد تعلق آن به کلاس یا پدیده‌های خاص تصمیم می‌گیرد [۱۲]. روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به سه دسته طبقه‌بندی نظارت شده، طبقه‌بندی نظارت نشده و طبقه‌بندی شی گرا، تقسیم می‌شوند. در طبقه‌بندی نظارت نشده، کاربر به‌جز تعیین تعداد کلاس دخالتی در فرآیند طبقه‌بندی ندارد. از طبقه‌بندی نظارت شده، بیشتر برای شناخت منطقه و شناسایی کلاس‌های ممکن، استفاده می‌شود. در این روش، بر اساس میزان و مقادیر پیکسل‌ها و روابط ریاضیاتی بین آن‌ها، ابتدا خوشه‌بندی صورت گرفته و سپس، هر خوشه به کلاس‌هایی تعمیم داده می‌شود. روش‌های *kmeans* و *ISODATA* از جمله روش‌های نظارت نشده می‌باشند. در طبقه‌بندی نظارت شده، برای هر کلاس باید نمونه‌های مجزا برداشت شود. سپس، نمونه‌ها به نرم‌افزار معرفی و بر اساس رفتار طیفی یا امضاء طیفی این نمونه‌ها طبقه‌بندی صورت می‌گیرد. روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی نظارت شده، ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به حداکثر احتمال، حداکثر فاصله و ماشین بردار پشتیبان اشاره کرد.

در ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های طبقه‌بندی جدید در تهیه نقشه‌های صحیح کاربری/پوشش اراضی، به طور معمول کارایی این الگوریتم‌ها با روش‌های متداول نظیر حداکثر احتمال مورد مقایسه قرار می‌گیرد. هرچند، الگوریتم غیرپارامتریک جنگل تصادفی در تهیه نقشه کاربری/پوشش اراضی در کشور کمتر مورد توجه قرار گرفته است که در این پژوهش، با مرور اطلاعات و منابع در دسترس در زمینه امکان تولید نقشه محصولات زراعی و باغی در کشورهای دیگر، به کارایی این الگوریتم در سنجش از دور کشاورزی پرداخته می‌شود.



شکل ۲: موقعیت داده‌های زمینی بر روی گوگل ارث
Fig. 2: Location of the ground truth on Google Earth

به منظور مقایسه الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر، مراحل زیر تعیین شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت: (۱) انجام تصحیحات هندسی، رادیومتریک و اتمسفری بر روی تصویر چند طیفی سنتینل-۲؛ (۲) پیاده‌سازی شاخص NDVI برای تمامی تصاویر سری زمانی سنتینل-۲ در طول سال ۱۳۹۷ در هر ماه؛ (۳) خلاصه‌سازی اطلاعات هندسی و مختصاتی تمامی ۱۲ تصویر به ۳ تصویر؛ (۴) محاسبه و بررسی چرخه فنولوژیکی هر کدام از کلاس‌های پوشش گیاهی با استفاده از نمودار شاخص NDVI؛ (۵) محاسبه تفکیک‌پذیری چهار کلاس هدف پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نسبت به یکدیگر؛ (۶) بررسی کیفی و بصری مکان‌های این نوع پوشش‌های گیاهی با مقایسه تصاویر گوگل ارث از طریق چرخه فنولوژیکی ۴ پوشش گیاهی مورد نظر در منطقه مورد مطالعه؛ (۷) انجام طبقه‌بندی نظارت شده با روش حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و محاسبه ضریب کاپا، دقت کلی نقشه و دقت و خطای تمامی کلاس‌های هدف به صورت مجزا و به‌دست آوردن نقشه نوع کشت منطقه مورد مطالعه؛ (۸) انجام طبقه‌بندی با روش جنگل تصادفی و محاسبه ضریب کاپا و همچنین، دقت کلی نقشه و دقت و تمامی کلاس‌های هدف به صورت مجزا و به‌دست آوردن نقشه نوع کشت منطقه مورد مطالعه؛ (۹) در نهایت، مقایسه بین روش‌های انجام شده در طبقه‌بندی و به‌دست آوردن بهترین و دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی در پیش‌بینی نقشه نوع کشت. براساس نقاط زمینی برداشت شده (شکل ۲) و همچنین، مقایسه نمودار پروفیل طیفی شاخص NDVI می‌توان نمودار طیفی مربوط به باغات، کشت آبی، مرتع و کشت گندم را شناسایی کرد (شکل ۳).

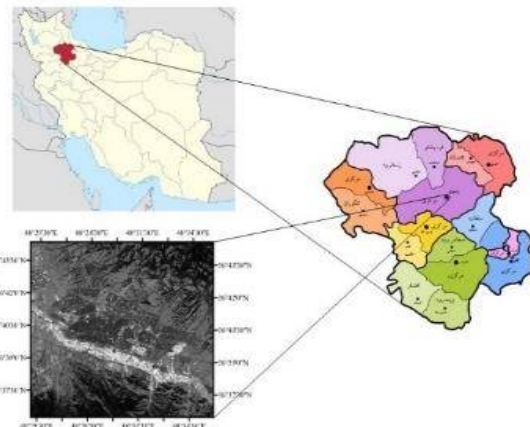


شکل ۳: نمودار طیفی چهار نوع پوشش گیاهی در منطقه
Fig. 3: Location of the ground truth on Google Earth

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بخش وسیعی از اطراف شهر زنجان است. در این پژوهش، به منظور تهیه نقشه پوشش گیاهی جنوب شهر زنجان، از تصاویر ماهواره سنتینل ۲- از سال ۲۰۱۸ استفاده شده است (شکل ۱).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه
Fig. 1: Location of the study area

مجموعه داده

برای پیاده‌سازی و ارزیابی روش پیشنهادی از یک تصویر چندطیفی با ۱۳ باند، استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده، از ماهواره سنتینل ۲ با قدرت تفکیک ۱۰ متر و میدان دید ۲۹۰ کیلومتر است. در تصویر به کار رفته از باندهای ۲-۳-۴ در محدوده مرئی و باند ۸ در محدوده مادون قرمز، نزدیک در ناحیه طیف مرئی ۴۹۰ نانومتر تا ۸۴۲ نانومتر استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق، مربوط به سنجنده سنتینل-۲ است که در بازه ۱ ساله و به صورت سری زمانی از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۰۵ اخذ شده است. علت انتخاب این تصویر از بین چندین تصویر این منطقه، ابر کم و نزدیکی زمانی از نظر فصلی با زمان نمونه‌برداری از منطقه است. تصاویر جدید از این منطقه، یا وجود ندارد و یا اگر در دسترس است، حاوی ابر فراوان بوده که مشکلات فراوانی در تحقیق به‌وجود می‌آورد و عملاً قابل استفاده ناست. هدف نهایی، تفکیک چهار نوع پوشش گیاهی موجود در این منطقه است، بنابراین چهار کلاس در این تحقیق استفاده شده است که شامل کلاس گندم، کشت آبی، کشت باغی و مرتع است. این کلاس‌ها، در یک فایل در محیط نرم‌افزار ENVI به عنوان نمونه‌های آموزشی تعیین و ذخیره شده‌اند. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی و نیز ارزیابی دقت مدل طبقه‌بندی انجام شده، از داده‌های زمینی استفاده شد. تعداد کل داده‌های زمینی استفاده شده ۶۰۴۱ نقطه است که ۱۶۶۸ نقطه مربوط به مرتع، ۲۸۶۸ نقطه زمینی مربوط به پوشش گیاهی باغات، ۸۲۴ نقطه مربوط به پوشش گندم و ۶۸۱ نقطه نیز مربوط به کشت آبیاری است (شکل ۲).

روش‌شناسی

جنگل تصادفی (Random Forest) یک الگوریتم یادگیری ماشین با قابلیت استفاده آسان است که اغلب اوقات نتایج بسیار خوبی را حتی بدون تنظیم فرایارامترهای آن، فراهم می‌کند. این الگوریتم به دلیل سادگی و قابلیت استفاده، هم برای طبقه‌بندی و هم رگرسیون یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین محسوب می‌شود. بنابراین، برای رسیدن به تخمین مناسب، از یک مجموعه پرسش استفاده می‌شود و هر پرسش دامنه مقادیر پاسخ ممکن را محدودتر می‌کند تا اطمینان لازم برای انجام پیش‌بینی فراهم شود. جنگل تصادفی، به عنوان یک مدل یادگیری ماشین نظارت شده، یاد می‌گیرد که در مرحله آموزش یا برازش مدل، داده‌ها را به خروجی‌ها نگاشت کند. در طول آموزش، داده‌های تاریخی به مدل داده می‌شوند که مرتبط با دامنه مساله هستند و مقدار صحیحی که مدل باید بیاموزد تا بتواند پیش‌بینی کند [۱۳]. مدل، روابط میان داده‌ها را و مقادیری که کاربر می‌خواهد آن‌ها را پیش‌بینی کند می‌آموزد.

یک الگوریتم جنگل تصادفی از چندین درخت به نام درخت تصمیم (Decision Tree)، تشکیل شده است. درختان تصمیم در واقع بلوک‌های اصلی سازنده‌ی یک الگوریتم جنگل تصادفی هستند. درخت تصمیم نوعی درخت پشتیبانی است که ساختاری مانند درخت را تشکیل می‌دهد. درخت تصمیم از سه جزء تشکیل شده است؛ این سه قسمت عبارت‌اند از گره تصمیم، گره برگ و گره ریشه. الگوریتم درخت تصمیم، یک مجموعه درخت آموزشی را به شاخه‌هایی تقسیم می‌کند و این شاخه‌ها هم خود به شاخه‌های دیگری تفکیک می‌شوند. این دنباله تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که در نهایت، یک گره‌ی برگ حاصل شود. پس از تشکیل این گره، نمی‌توان آن را به شاخه‌های بیشتری تبدیل کرد. گره‌های درخت تصمیم نشان می‌دهد که از برخی ویژگی‌های موجود، می‌توان برای پیش‌بینی نتیجه استفاده کرد. در نهایت، گره‌های تصمیم نیز یک پیوند به برگ‌ها ارائه می‌دهند. تفاوت اصلی بین الگوریتم درخت تصمیم و الگوریتم جنگل تصادفی این است که ایجاد گره‌های ریشه و جداسازی گره‌ها به صورت تصادفی، در الگوریتم جنگل تصادفی انجام می‌شود. همچنین جنگل تصادفی از روش بسته‌بندی، برای ایجاد پیش‌بینی مورد نیاز استفاده می‌کند. بسته‌بندی شامل استفاده از نمونه‌های مختلف داده (داده‌های آموزشی)، به جای یک نمونه است. مجموعه آموزشی نیز شامل مشاهدات و ویژگی‌هایی است که برای پیش‌بینی استفاده می‌شود. درختان تصمیم، بسته به داده‌های آموزشی تغذیه شده با الگوریتم جنگل تصادفی، خروجی‌های مختلفی تولید می‌کنند. این خروجی‌ها رتبه‌بندی می‌شوند و در نهایت بالاترین خروجی، به عنوان خروجی نهایی انتخاب می‌شود [۱۴].

نتایج و بحث

به منظور بررسی عملکرد الگوریتم جنگل تصادفی در این تحقیق، از چند روش رایج برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است.

طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال

یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های نظارت شده است. در این روش، فرض بر این است که تمام مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. شرط توزیع نرمال و تصادفی بودن نمونه‌های آموزشی در روش بیشترین احتمال اهمیت خاصی دارد [۱۷-۱۵]. در مرحله پیاده‌سازی، ضریب کاپا و دقت کلی این روش به ترتیب ۰.۶۳ و ۶۱.۴٪ بدست آمد.

طبقه‌بندی به روش حداکثر فاصله از میانگین

در این روش، از داده‌های آموزشی فقط برای تعیین کلاس‌های متوسط استفاده می‌شود. ابتدا، مقادیر میانگین طیفی در هر باند و برای هر کلاس، تعیین می‌شود و پس از مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های انتخابی هر طبقه را به خود اختصاص داده است، فاصله اقلیدسی هر پیکسل طبقه‌بندی نشده با پیکسل‌های میانگین، مقایسه می‌شود و پیکسل مورد نظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کم‌ترین فاصله این نوع طبقه‌بندی از نظر ریاضی ساده است و مبنای نظری آن را با میانگین آن دارد [۱۸، ۱۹]. در مرحله پیاده‌سازی، ضریب کاپا و دقت کلی این روش به ترتیب ۰.۶۱ و ۵۴.۱٪ بدست آمد.

طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان

این روش، یک روش آماری غیر پارامتریک نظارت شده است و بر این فرض عمل می‌کند که هیچ‌گونه اطلاعی از چگونگی توزیع مجموعه داده‌ها وجود نداشته باشد. در این روش، با استفاده از تمامی باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند به دست می‌آید و با استفاده از آن‌ها، یک مرز تصمیم‌گیری خطی بهینه برای جدا کردن کلاس‌ها محاسبه می‌شود [۱۹-۲۳]. در مرحله پیاده‌سازی، ضریب کاپا و دقت کلی این روش به ترتیب ۰.۷۲ و ۸۰.۸٪ بدست آمد.

طبقه‌بندی به روش الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی، اولین بار در سال ۱۹۸۵ طراحی شده‌اند. در این روش، برای آموزش شبکه، نمونه‌های آموزشی از طریق لایه ورودی، وارد شبکه شده و بعد از ضرب شدن در وزن‌های ارتباط‌دهنده عصب‌ها، وارد لایه میانی می‌شوند. در هر عصب از لایه میانی، یک تابع فعالیت، بر روی ورودی‌ها اعمال شده و مقادیر محاسبه شده به لایه خروجی فرستاده می‌شوند. در این مرحله، خروجی شبکه، با مقدار مطلوبی که از شبکه انتظار می‌رود، مقایسه شده و مقدار خطای موجود، از روش‌های مختلف، با تغییر در وزن‌های ارتباط‌دهنده عصب‌ها در شبکه تعدیل می‌شود [۲۴-۲۶]. در مرحله پیاده‌سازی، ضریب کاپا و دقت کلی این روش به ترتیب ۰.۷۵ و ۸۶.۷٪ بدست آمد.

روش‌های دیگر را، بسیار آسان می‌کند. بر اساس تحقیقات قبلی و این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که با تلفیق الگوریتم جنگل تصادفی با روش‌های دیگر می‌توانیم بسیاری از مسائل آنالیز داده‌های سنجش از دور را حل کرد. همچنین، جنگل تصادفی با حد آستانه‌گذاری‌های ساده و متنوع، می‌تواند در طبقه‌بندی بسیاری از داده‌های سنجش از دور مورد استفاده قرار گیرد. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد که الگوریتم جنگل تصادفی از طبقه‌بندی‌کننده‌های درختی در داخل خود استفاده می‌کند و هر یک از این درخت‌ها، از فن آستانه‌گذاری به منظور تفکیک کلاس‌ها استفاده می‌کنند، توصیه می‌شود در تحقیقات آتی به منظور تشخیص بهتر مرزهای بین کلاس‌ها، آستانه‌گذاری قطعی درختان تصمیم با آستانه‌گذاری فازی، جایگزین شده و نتایج طبقه‌بندی، ارزیابی شوند.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته‌اند

تشکر و قدردانی

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

تعارض منافع

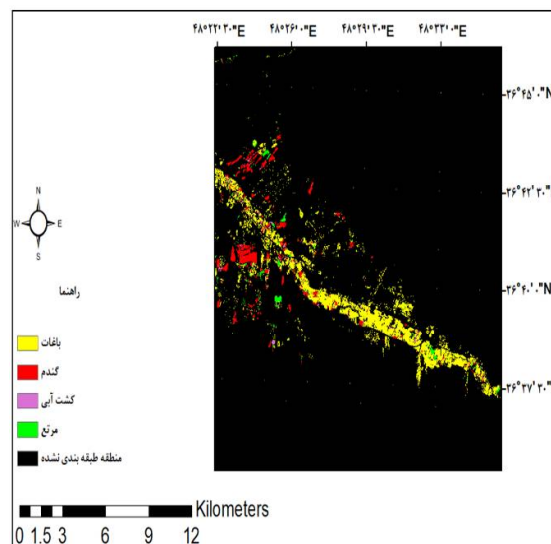
هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع و مآخذ

- [1] Alizadeh R. Remote Sensing (principles and application). Iran. Samt publication. 2013; In Persian.
- [2] Honar T, Sabet Sarvestani A, Sepaskhah A, Kamkar A, Shams Sh. Simulation of soil water and canola plant performance by CRPSM. *jwss* 2012;16 (59): 45-57.
- [3] Sanaeinejad H, Nasiri Mahalati M, Zarea H, Salehnia N, Ghaemi M. Wheat yield estimation using landsat images and field observation: A case study in Mashhad. *Journal of plant production research*. 2014;20(4): 45-64. In Persian.
- [4] Kamali Gh, Momenzadeh H, Vazimehdoost M. Study of wheat yield production over Esfahan province during periods of dry and wet years using MODIS satellite data. *Agricultural Ecology Journal*. 2019;3(2): 181-190. In Persian.
- [5] Alikhah Asl M, Naseri D. Evaluation of land cover changes in Kaftareh watershed using remote sensing technique. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2017;19(3): 83-112. In Persian.
- [6] Weiss M, Jacob F, Duveiller G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*. 2020;236: 111402.

طبقه‌بندی به روش الگوریتم جنگل تصادفی

همانطور که در بخش قبل شرح داده شد، این روش یکی از جدیدترین الگوریتم‌ها در زمینه طبقه‌بندی تصاویر است که دقت بسیار بالاتری نسبت به روش‌های طبقه‌بندی قبلی دارد [۲۷-۲۹]. در این تحقیق، از نرم‌افزار SagaGIS برای انجام این الگوریتم و طبقه‌بندی تصویر ماهواره در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. شکل ۴، طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش جنگل تصادفی را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نقشه طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی
Fig. 4: Classification map of the study area using random forest algorithm

کارایی این الگوریتم در مورد مجموعه‌های بسیار بزرگ به اثبات رسیده است. از این رو، می‌تواند در تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گیرد [۳۰]. در مرحله پیاده‌سازی، ضریب کاپا و دقت کلی این روش به ترتیب ۰.۸۲ و ۹۶.۵٪ بدست آمد. با نگاهی به نتایج حاصل از روش‌های مختلف طبقه‌بندی به‌کاررفته در این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که طبقه‌بندی به روش الگوریتم جنگل تصادفی، نتایج بهتری نسبت به انواع طبقه‌بندی نظارت شده دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در روش جنگل تصادفی احتمال تعلق هر پیکسل به هر کلاس تعیین می‌شود که می‌تواند به منظور طبقه‌بندی نرم نیز، استفاده شود. قابلیت تعیین اهمیت ویژگی‌ها در طبقه‌بندی که می‌تواند به منظور انتخاب فضای ویژگی بهینه استفاده شود. توانایی طبقه‌بندی داده‌های نويزدار، که می‌توان جهت افزایش و تصفیه نمونه‌های آموزشی استفاده کرد. عدم نیاز به انتخاب یا کاهش باند در هنگام استفاده از تصاویر چند طیفی، مزیت دیگر طبقه‌بندی‌کننده جنگل تصادفی است. سادگی و ساختار قابل‌درک این الگوریتم، باعث انعطاف‌پذیری بالای آن می‌شود و ترکیب آن با

- [20] Pal M, Mather P.M. Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 2005; 26(5): 1007-1011.
- [21] Auria L and Moro R.A. Support Vector Machines (SVM) as a Technique for Solvency Analysis. *DIW Berlin Discussion Paper*. 2008;811: 1-16.
- [22] Roli F, Fumera G. Support vector machines for remote sensing image classification. *Proc. SPIE 4170, Image and Signal Processing for Remote Sensing VI*. 2001; 4170.
- [23] Hamidi O, Poorolajal J, Sadeghifar M, Abbasi A, Maryanaji Z, Faridi H.R, Tapak L. A comparative study of support vector machines and artificial neural networks for predicting precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 2015; 119: 723-731.
- [24] Macpherson T, Churchland A, Sejnowski T, DiCarlo J, Kamitani Y, Takahashi H, Hikida T. Natural and Artificial Intelligence: A brief introduction to the interplay between AI and neuroscience research. *Neural Networks*. 2021;144: 603-613.
- [25] Atkinson P.M and Tattnall A.R.L. Introduction neural networks in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 1997;18 (4): 699-709.
- [26] Miller D.M, Kaminsky E.J, Rana S. Neural network classification of remote-sensing data. *Computers & Geosciences*. 1995;21(3): 377-386.
- [27] Breiman L. Random Forests. *Machine Learning*. 2001; 45:5-32.
- [28] Cutler DR, Edwards TC, Beard KH, Cutler A, Hess KT, Gibson J, Lawler JJ. Random forests for classification in ecology. *Ecology*. 2007;88(11):2783-2792.
- [29] Amaratunga D, Cabrera J, Lee Y.S. Enriched random forests. *Bioinformatics*. 2008;24 (18): 2010-2014.
- [30] Biau G, Devroye L, Lugosi G. Consistency of Random Forests and Other Averaging Classifiers. *Journal of Machine Learning Research*. 2008;9: 2039-2057.
- [7] Rebouh N.Y, Elsayed Said Mohamed, Polityko P.M, Dokukin P.A, Kucher D.E, Latati M, Okeke S.E, Ali M.A. Towards improving the precision agriculture management of the wheat crop using remote sensing: A case study in Central Non-Black Earth region of Russia. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2023;26(3): 505-517.
- [8] Khanal S, Fulton J, Shearer S. An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017;139: 22-32.
- [9] Lopez-Sanchez J, Vicente-Guijalba F, Erten E, Campos-Taberner M, Garcia-Haro F. Retrieval of vegetation height in rice fields using polarimetric SAR interferometry with TanDEM-X data. *Remote Sensing of Environment*. 2017;192: 30-44.
- [10] Allred B, Eash N, Freeland R, Martinez L, Wishart D.B. Effective and efficient agricultural drainage pipe mapping with UAS thermal infrared imagery: A case study. *Agricultural Water Management*. 2018;197: 132-137.
- [11] Babaeian E, Sadeghi M, Franz T.E, Jones S, Tuller M. Mapping soil moisture with the Optical TRapezoid Model (OPTRAM) based on long-term MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*. 2018;211: 425-440.
- [12] Ebrahim P, Eslah M, Salimi Kochi J. Investigation of markov chain model efficiency for estimating land use and land cover changes using Landsat satellite images. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 2016;10(34): 85-92. In Persian.
- [13] Cutler DR, Edwards TC, Beard KH, Cutler A, Hess KT, Gibson J, Lawler JJ. Random forests for classification in ecology. *Ecology*. 2007;88(11):2783-2792.
- [14] Amaratunga D, Cabrera J, Lee Y.S. Enriched random forests. *Bioinformatics*. 2008;24 (18): 2010-2014.
- [15] Sisodia P.S, Tiwari V, Kumar A. Analysis of Supervised Maximum Likelihood Classification for remote sensing image. *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014)*. Jaipur. India. 2014;1-4.
- [16] Ahmad A. Analysis of Maximum Likelihood Classification on Multispectral Data. *Applied Mathematical Sciences*. 2012;6(129): 6425 - 6436.
- [17] Hogland J, Billor N, Anderson N. Comparison of standard maximum likelihood classification and polytomous logistic regression used in remote sensing. *European Journal of Remote Sensing*. 2013; 46(1): 623-640.
- [18] Wacker A.G, Landgrebe D.A. Minimum Distance Classification in Remote Sensing. *Lars technical report*. 1972; paper 25.
- [19] Hodgson M.E. Reducing the computational requirements of the minimum-distance classifier. *Remote Sensing of Environment*. 1988;25(1): 117-128.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



جواد صابریان دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه برداری (گرایش سامانه اطلاعات مکانی) از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی است. از سال ۱۳۹۰ تا کنون در دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب به عنوان استادیار گروه مهندسی نقشه برداری مشغول فعالیت است. ایشان تا کنون موفق

به چاپ بیش از ۳۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر داخلی و بین‌المللی شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: شبکه‌های



تهران جنوب است که در سال ۱۴۰۱ فارغ التحصیل شده‌اند. ایشان از سال ۱۳۹۲ تا کنون در ادارات زیرمجموعه سازمان شهرداری تهران مشغول به کار است.

Dastanian. M, Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University-South Tehran Branch, Tehran, Iran

✉ ms.dastanian@gmail.com

حمل و نقل، الگوریتم‌های مسیریابی، مسایل بهینه سازی در GIS و پایگاه داده. از سال ۱۳۸۵ در بسیاری از پروژه‌های اجرایی مرتبط با نقشه برداری و GIS به‌ویژه در پروژه‌های وزارت نیرو، شرکت نفت و سازمان ثبت اسناد و املاک کشور نقش موثر داشته‌اند.

Saberian, J. Assistant Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University-South Tehran Branch, Tehran, Iran

✉ j_saberian@azad.ac.ir

معصومه دستانیان دارای مدرک کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نقشه برداری گرایش سنجش از دور از دانشگاه آزاد اسلامی واحد

Citation (Vancouver): Dastanian M, Saberian J. [Assessment of Vegetation Mapping Methods Using GIS and Remote Sensing]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 83-90

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1979>



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

Comparison of Spatially Guided Tabu Search and Nested Genetic Algorithms for Solving the Capacitated Location-Allocation Problem in Emergency Situations

H. Aghamohammadi

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

ABSTRACT

Received: 03 February 2023
 Reviewed: 19 March 2023
 Revised: 05 May 2023
 Accepted: 13 June 2023

KEYWORDS:

Allocation
 Earthquake-Related Injured
 Genetic Algorithm
 Geospatial Information System
 Spatially Guided Tabu Search

* Corresponding author

✉ aghamohammadi@srbiau.ac.ir
 ☎ (+9821) 44867171

Background and Objectives: Severe earthquakes cause a lot of human and financial damage, which was prevented from occurring after the accident with quick and timely relief. One of the important problems in this field is the optimal allocation of injured to medical centers, and these problems have a dynamic and complex nature and cannot be solved by simple methods. The use of geographic information systems (GIS) along with optimization and simulation methods makes it possible to find a method for optimally allocating injured to medical centers. The problem of allocation of earthquake-related injured to medical centers is in the category of capacity allocation problems, and in this type of problems, with the increase in the number of demand points and service centers, the complexity and volume of the problem calculations increases exponentially, so in many cases, it is not possible to use direct and definite search methods in solving this type of problems, and appropriate innovative methods should be used to solve them optimally. On the other hand, because data plays an important role in allocating injured to medical centers, it is possible to move towards a better and simpler solution by integrating and combining the spatial information system with optimization methods.

Methods: In this study, it is assumed that in the event of an earthquake in a number of building blocks, a number of people living in them will be injured and need help, and the locations of this injured population are the demand points. In this way, these injured should be sent to medical centers, each of which has the ability to provide services to a certain number of these injured. The next parameter is the number of medical centers and their capacity to provide medical services. In this research, the capacity of medical centers is assumed to be less than the number of injured people. Finally, by optimizing the objective function, a ratio of injured people at different points that should be accepted by existing or new treatment centers is calculated using a nested genetic algorithm. The output of the genetic algorithm that determines the location of the new centers is combined with the existing information, which is the location of the existing centers, and then it is used as the input parameters of the spatially guided tabu search (SGTS) algorithm to determine the best allocation.

Findings: In order to assess the accuracy of the genetic algorithm and SGTS method, the standard deviation, accuracy, and processing time have been evaluated, which SGTS method has performed better in all three assessment. The results show that the standard deviation ratio of the proposed method compared to the genetic algorithm is 0.12, and the average accuracy of SGTS method has improved by 18% on average compared to the genetic algorithm. Also, the SGTS method performed calculations 7% faster.

Conclusion: By comparing the processing time to optimally solve the problem of earthquake-related injured allocation to medical centers, it can be concluded that SGTS method can reach convergence in a shorter period of time. Therefore, creating a selection list using the structure provided based on spatial analysis can be effective in this field. The SGTS method is more accurate than the genetic algorithm, and the results obtained from this method are robust. For solving the capacitated location-allocation problem, if the objective of optimization is locating and allocating, then combined algorithms are recommended for optimally solving both. Although this study has succeeded to propose a combination method for the optimal solution of the capacitated location-allocation

problem, it is recommended to conduct the combination of meta-heuristic methods and compare the results with the proposed method.



NUMBER OF REFERENCES

30



NUMBER OF FIGURES

6



NUMBER OF TABLES

5

مقاله پژوهشی

مقایسه الگوریتم‌های جستجوی ممنوع هدایت شونده و ژنتیک تو در تو، جهت حل مسئله مکانیابی-تخصیص ظرفیت دار در شرایط اضطراری

حسین آقامحمدی

گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی-واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

زلزله‌های شدید، موجب بروز صدمات جانی و مالی زیادی می‌شود که با امدادرسانی سریع و به موقع، می‌توان از بروز بسیاری حوادث پس از سانحه، جلوگیری کرد. یکی از مسائل مهم در این زمینه، تخصیص بهینه مصدومان به مراکز درمانی است و این مسئله، دارای ماهیتی پویا و پیچیده بوده و با روش‌های ساده، قابل حل نمی‌باشد. به کارگیری سامانه اطلاعات مکانی (GIS) در کنار روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی، این امکان را فراهم می‌کند که بتوان یک روش مناسب برای تخصیص بهینه مصدومان زلزله، به مراکز درمانی یافت. مسئله تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی، در دسته مسائل تخصیص ظرفیت‌دار قرار دارد، که در این نوع مسئله با افزایش تعداد نقاط تقاضا و مراکز خدماتی، پیچیدگی و حجم محاسبات مسئله، به صورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین، در بسیاری از مواقع، استفاده از روش‌های جستجوی مستقیم و قطعی در حل این نوع مسائل، کارایی ندارد و باید از روش‌های ابتکاری مناسب برای حل بهینه آن‌ها، بهره برد. از سویی دیگر، به دلیل آن که داده‌های مکانی، در مسئله تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی، نقش مهمی دارند، بنابراین، می‌توان با یکپارچه نمودن و ترکیب سامانه اطلاعات مکانی با روش‌های بهینه‌سازی موجود در جهت حل بهتر و ساده‌تر آن، حرکت کرد.

روش‌ها: در این تحقیق، فرض بر این است که در صورت وقوع زلزله، تعدادی از جمعیت ساکن در برخی از بلوک‌های ساختمانی، مصدوم شده و نیازمند کمک خواهند بود که محل‌های قرارگیری این جمعیت مصدوم، همان نقاط تقاضا است. بدین ترتیب، باید این مصدومان به مراکز درمانی فرستاده شوند که هر یک از آن‌ها، توانایی ارائه خدمات به تعداد مشخصی از این مصدومان را، دارا هستند. پارامتر بعدی، تعداد مراکز درمانی و ظرفیت آن‌ها برای ارائه خدمات درمانی می‌باشد که در این تحقیق، ظرفیت مراکز درمانی کمتر از تعداد مصدومان، فرض شده است. در نهایت، با بهینه سازی تابع هدف، نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف که باید توسط مراکز درمانی موجود و یا جدید، مورد پذیرش قرار گیرند، با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک تو در تو، محاسبه می‌شود. خروجی الگوریتم ژنتیک که مکان مراکز جدید را مشخص می‌کند، با اطلاعات موجود که همان مکان مراکز موجود است، ترکیب شده و سپس به عنوان پارامترهای ورودی الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده (SGTS)، برای تعیین بهترین تخصیص به کار می‌رود.

یافته‌ها: جهت ارزیابی دقت الگوریتم ژنتیک و روش جستجوی ممنوع هدایت شونده، انحراف معیار، دقت و زمان پردازش، مورد ارزیابی قرار گرفته است که الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده در هر سه ارزیابی، عملکرد بهتری داشته است. نتایج، نشان می‌دهد که نسبت انحراف معیار روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم ژنتیک ۰/۱۲ است و میانگین دقت روش جستجوی ممنوع هدایت شونده نسبت به الگوریتم ژنتیک، به طور میانگین ۱۸٪ بهبود داشته است. همچنین، روش SGTS ۷٪، سریع‌تر محاسبات را انجام داده است.

تاریخ دریافت: ۱۴ بهمن ۱۴۰۱

تاریخ داوری: ۲۸ اسفند ۱۴۰۱

تاریخ اصلاح: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۲۳ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

الگوریتم ژنتیک

تخصیص

جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی

سامانه اطلاعات مکانی

مصدومان زلزله

* نویسنده مسئول

aghamohammadi@srbiau.ac.ir

۰۲۱- ۴۴۸۶۷۱۷۱

نتیجه‌گیری: با مقایسه مدت زمان حل بهینه مسئله تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی، می‌توان نتیجه گرفت که روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی، در مدت زمان کمتری می‌تواند به همگرایی برسد. بنابراین، ایجاد لیست انتخابی با استفاده از ساختار ارائه شده بر اساس تحلیل‌های مکانی می‌تواند در این زمینه، موثر باشد. روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی، دارای دقت بالاتری نسبت به روش ژنتیک و همچنین، نتایج به‌دست آمده از روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی دارای استحکام بیشتری می‌باشد. در حل مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع، اگر هدف بهینه‌سازی توامان هر دو مورد مکان‌یابی و تخصیص باشد، الگوریتم‌های ترکیبی برای حل بهینه توامان، توصیه می‌شود. اگرچه این مطالعه، موفق به ارائه روش ترکیبی برای حل بهینه مسائل تخصیص ظرفیت‌دار شده است، اما مطالعه در زمینه ترکیب روش‌های فرا ابتکاری و مقایسه نتایج آن با روش پیشنهادی، توصیه می‌گردد.

مقدمه

انسان، در طول تاریخ همواره با زلزله به عنوان یک بلای طبیعی روبرو بوده است و همواره، زیان‌های اجتماعی و اقتصادی فراوانی را از آن، متحمل شده است. اهمیت توجه به معضل بلایای طبیعی، تا حدی است که مجمع عمومی سازمان ملل متحد در دسامبر ۱۹۸۷ میلادی، سال -های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ را به عنوان دهه بین‌المللی کاهش اثرات بلایای طبیعی، اعلام نمود [۱-۳]. در دهه‌های اخیر، هزاران نفر به دلیل بروز زلزله‌های شدید، دچار صدمات جانی و مالی شده‌اند، پس می‌توان به جرأت گفت که با امدادرسانی سریع و به موقع به بخش‌های آسیب دیده، می‌توان مانع بروز بسیاری از حوادث پس از شد و از تلفات انسانی، جلوگیری کرد. بنابراین، تخصیص بهینه‌ی مصدومان به مراکز درمانی، تاثیر زیادی در کاهش زمان کم‌کمرسانی و در نتیجه، کاهش تلفات انسانی خواهد داشت. از آنجائی که این مسئله دارای ماهیتی پویا و پیچیده می‌باشد و از روش‌های معمول، نمی‌توان در حل آن استفاده کرد، استفاده از قابلیت‌های علم و فناوری سامانه اطلاعات مکانی، در کنار روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی موجود، می‌تواند یک روش انتخابی برای تخصیص بهینه مصدومان زلزله به مراکز درمانی باشد [۴-۶].

در واقع، در حل بهینه این مسئله، دنبال این هستیم که مشخص گردد چه تعدادی از مصدومان در هر نقطه، به کدام مرکز درمانی فرستاده شوند تا هزینه که همان زمان تخصیص این مصدومان به مراکز درمانی موجود می‌باشد، به حداقل برسد [۷]. بنابراین، متقاضیان خدمات، مصدومان زلزله هستند که با توجه به سطح مصدومیت، نوعی خاصی از درمان را لازم دارند. پس، می‌توان گفت با تعداد زیادی متقاضی روبرو هستیم که چندین کلاس مختلف از خدمات را نیاز دارند. مشکل اساسی که در این‌جا وجود دارد، این است که نیاز به مدلی می‌باشد که بتواند برآورد مناسبی از تعداد مصدومان را ارائه کند، ولی به علت ماهیت پیچیده این مسئله که وابسته به المان‌هایی مختلفی مانند تعریف سناریوهای مختلف زلزله و طراحی و ساخت سازه می‌باشد و در اکثر موارد هم، داده‌های مناسبی وجود ندارد، ارائه مدل مناسب جهت برآورد تعداد مصدومان زلزله، امری ضروری ولی مشکل می‌باشد. روش‌هایی که در این زمینه وجود دارند، بیشتر آماری و بر اساس داده‌های زلزله‌های جهانی می‌باشد و در مناطق مختلف، نمی‌توانند دقت مناسبی در زمینه برآورد تعداد مصدومان، ارائه کنند [۸، ۹].

پارامتر مهم دیگر، تعداد مراکز درمانی و ظرفیت آن‌ها برای ارائه انواع خاصی از درمان‌ها می‌باشد. جمع‌آوری اطلاعات نحوه کارکرد این مراکز می‌تواند، امکان پذیر باشد ولی برای برنامه‌ریزی قبل از وقوع زلزله، نیاز به مدلی است که میزان تخریب سازه‌های آن‌ها را برآورد کند. در این مورد در مناطق مختلف دنیا، مدل‌های نسبتاً مناسبی توسعه داده شده است [۹]. پارامتر تاثیرگذار دیگر، مربوط به راه‌ها می‌باشد که در این زمینه هم، ارائه مدلی مناسب جهت تعیین سطوح مختلف انسداد لازم می‌باشد، تا بتوان بر اساس آن، سطوح دسترسی راه‌های موجود را مشخص کرد. در مرحله مقابله، از آنجائی که شرایط مسئله به احتمال زیاد در طول زمان زلزله و بعد از آن تغییر خواهند کرد، با یک مسئله پویا، روبرو خواهیم بود. با توجه به مطالب بحث شده، می‌توان گفت که با یک مسئله پیچیده تخصیص روبرو هستیم، که حل مناسب این مسئله، نیازمند توسعه راهکار و روشی مناسب و کارا می‌باشد [۱۰].

مطالعات مربوط به مسائل مکان‌یابی و تخصیص، به صورت رسمی با مطالعه وبر (در صورت صلاحدید نویسنده محترم، لطفاً نام انگلیسی هم درج شود) بر روی تعیین مکان یک منبع با هدف کمینه‌سازی فاصله بین آن و تعدادی مشتری، شروع شد [۱۱]. از زمان پیدایش مسائل مکان‌یابی و تخصیص، تاکنون روش‌های متعددی از جمله دقیق-ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل آن‌ها، ارائه شده است. الگوریتم‌های مختلفی مثل جستجوی ممنوع، الگوریتم ژنتیک و جستجوی همسایگی متغیر برای حل این مسئله، توسط محققان استفاده شده است، به عنوان نمونه بریمبرگ (Brimberg) [۱۲] از روش جستجوی ممنوع، هانسن (Hansen) [۱۳] از الگوریتم ژنتیک و ویتاکر (Whittaker) [۱۴] از روش جستجوی همسایگی متغیر برای حل این مسئله، استفاده کردند. با توجه به تنوع و گستردگی مسائل مکان‌یابی-تخصیص، طبقه‌بندی‌های مختلفی بر اساس ویژگی‌های این مسائل، صورت گرفته است. یکی از رایج‌ترین تقسیم‌بندی‌ها، بر اساس تابع هدف می‌باشد که بر این اساس، مسائل به سه دسته کلی میانه، پوششی و مسئله مرکز، تقسیم‌بندی می‌شوند [۱۵].

تا به امروز، از روش‌های زیادی مانند روش بازپخت، جستجوی ممنوع، ژنتیک، انواع مختلف جستجوی همسایگی، به تنهایی یا در کنار هم برای حل مسائل چند مرکزی وبر، استفاده شده است [۱۶]. مورای (Murray) و چرچ (Church) [۱۷] از روش بازپخت برای حل این مسئله، استفاده

که $Z(x)$ کل زمان لازم برای رساندن مصدومان به مراکز درمانی، P_i تعداد مصدومان موجود در نقطه i ، α_{ij} نسبتی از مصدومان موجود در نقطه i که توسط مرکز درمانی موجود j پذیرش می‌گردد، α_{ik} نسبتی از مصدومان موجود در نقطه i که توسط مرکز درمانی k که باید ایجاد شود پذیرش می‌گردد، t_{ij} زمان رسیدن از نقطه i به مرکز درمانی j ، t_{ik} زمان رسیدن از نقطه i به مرکز درمانی k که باید ایجاد شود، C_j ظرفیت سرویس‌دهی مرکز درمانی j ، C_k ظرفیت سرویس‌دهی مرکز درمانی k که باید ایجاد شود، P_{ij} تعدادی از مصدومان نقطه i که توسط مرکز درمانی j پذیرش می‌شوند، P_{ik} تعدادی از مصدومان نقطه i که توسط مرکز درمانی k (که باید ایجاد شود) پذیرش می‌شوند و N ، تعداد مراکز درمانی است که باید ایجاد شوند.

روابط (۲) و (۳) بیانگر قیود لازم در حل این مسئله می‌باشد. رابطه (۲)، بیان‌گر این است که هر بیمارستان، بیش از ظرفیت خود پذیرش نکند و رابطه (۳)، بیان‌گر این است که مجموع مصدومان نقطه i که توسط مراکز درمانی مختلف پذیرش می‌شوند، برابر با کل مصدومان موجود در آن نقطه باشد و تمامی آن‌ها باید مورد پذیرش قرار بگیرند.

ارائه روش‌های ابتکاری ترکیبی برای حل بهینه مسئله تخصیص مصدومان زلزله با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

اساسی‌ترین مسئله‌ای که باید حل شود، به‌دست آوردن نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف است که توسط مراکز درمانی موجود و یا جدید مورد پذیرش قرار می‌گیرند، به نحوی که تابع هدف طراحی شده، بهینه شود و قیود مطرح شده در روابط (۲) و (۳) رعایت شود. پس در این مسئله، ماتریسی با ابعاد $i \times (i+N)$ داریم که لازم است درایه‌های آن طوری پر شوند که هر بیمارستان بیش از ظرفیت خود پذیرش نکند، و مجموع مصدومان نقطه i که توسط مراکز درمانی مختلف پذیرش می‌شوند، برابر با کل مصدومان موجود در آن نقطه‌ها باشد و تمامی آن‌ها، باید مورد پذیرش قرار بگیرند. برای این مشابه‌سازی، یک ساختار ریاضی مناسب به شکل یکسری معادله و نامعادله برای طرح این مسئله ارائه گردید، برای تشکیل و حل همزمان این معادلات و نامعادلات، روشی به شرح ذیل مطرح شد. اگر i تعداد نقاط قرارگیری مصدومان، P_1 تا P_i تعداد مصدومان در نقطه i باشد، N تعداد مراکز درمانی موجود و جدید باشد، C_1 تا C_{i+N} میزان ظرفیت پذیرش مصدومان مراکز درمانی 1 تا $i+N$ باشد، می‌توان یک ماتریس با ابعاد $i \times (i+N)$ را فرض کرد که آرایه‌های آن، باید به نحوی پر شود که جمع هر یک از ستون‌های آن به ترتیب، برابر تعداد مصدومان در هر یک از نقاط 1 تا i باشد و جمع سطرها آن به ترتیب کوچکتر و مساوی ظرفیت مراکز درمانی باشد. در شکل ۱، ساختار موصوف، نشان داده شده است.

پس می‌توان گفت با مسئله‌ای روبرو هستیم که نیازمند حل معادله و $N+i$ نامعادله به طور همزمان می‌باشد، که در مجموع، باید به تعداد $(i+N) \times$ مجهول محاسبه شود. برای حل همزمان این معادلات، نامعادلات و بهینه‌سازی تابع هدف، از دو روش ابتکاری ترکیبی مبتنی بر روش‌های

کردند و در زمینه استفاده از روش جستجوی ممنوع، می‌توان به [۱۸] اشاره کرد. صالحی و گامال (Gamal) [۱۹]، برای حل این مسئله، روشی بر مبنای الگوریتم ژنتیک، ارائه کردند. از مطالعات انجام شده در زمینه تخصیص منابع، می‌توان به [۲۰] اشاره کرد که در آن برای عملیات جستجو و نجات انسان‌هایی که زیر آوار مانده بودند، از روش‌های بازپخت و جستجوی ممنوع استفاده شد. گانگ (Gong) و بتا (Batta) [۲۱]، مدل‌های تخصیص و تخصیص مجدد برای عملیات امداد در موقع بحران راه، بررسی کرده‌اند و هدف اصلی آن‌ها، تخصیص صحیح تعداد آمبولانس‌های مورد نیاز به هر کدام از نقاط قرارگیری مصدومان در شروع عملیات نجات، می‌باشد. در این تحقیق، سعی شده است با بررسی فرایند تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی و مطالعه مسائل مختلف مکان‌یابی و تخصیص و روش‌های بهینه‌سازی، راهکاری جدید برای تخصیص بهینه مصدومان زلزله به مراکز درمانی با استفاده از راه‌حل‌های ترکیبی به کمک الگوریتم‌های فرا ابتکاری و تجزیه و تحلیل‌های مکانی، ارائه گردد.

روش تحقیق

تخصیص بهینه مصدومان به مراکز درمانی با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

در مسئله مکان‌یابی و تخصیص مطرح شده در این تحقیق، فرض می‌شود که در صورت وقوع زلزله، تعدادی از ساکنین برخی از بلوک‌های ساختمانی مصدوم شده و نیازمند کمک خواهند بود که محل‌های قرارگیری این جمعیت مصدوم، همان نقاط تقاضا می‌باشد. حال، باید این مصدومان به مراکز درمانی فرستاده شوند، که هر یک از آن‌ها توانایی ارائه خدمات به تعداد مشخصی از این مصدومان را، دارا می‌باشند. پارامتر مهم دیگر، تعداد مراکز درمانی و ظرفیت آن‌ها برای ارائه خدمات درمانی می‌باشد که در این تحقیق، فرض می‌شود ظرفیت مراکز درمانی، کمتر از تعداد مصدومان می‌باشد [۲۲].

تعریف تابع هدف با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

در این مسئله، فرض می‌شود که j مرکز درمانی موجود، ظرفیت لازم برای پذیرش تمامی مصدومان را ندارد و لازم است که N مرکز درمانی جدید، ایجاد شود و برای ایجاد این مراکز درمانی جدید، K مکان مستعد موجود می‌باشد. با توجه به مطالب اشاره شده، تابع هدف بهینه‌سازی را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد:

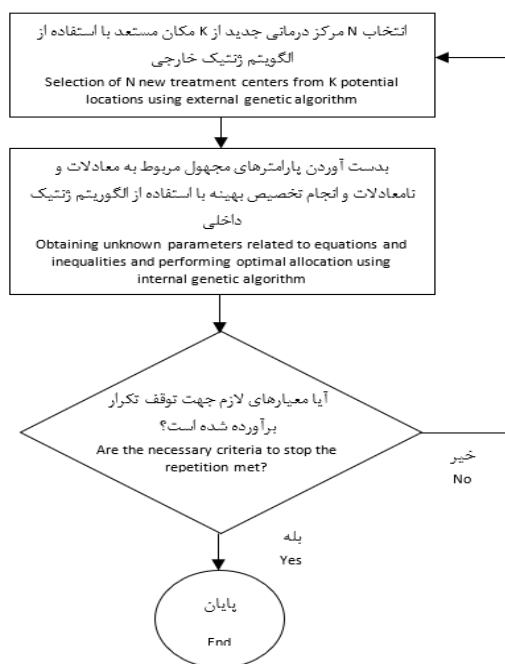
$$x_k = \begin{cases} 1 & \text{اگر مرکز درمانی در مکان مستعد وجود داشته باشد} \\ 0 & \text{اگر مرکز درمانی در مکان مستعد وجود نداشته باشد} \end{cases} \quad (1)$$

$$\min \sum_i \left(\sum_j \alpha_{ij} P_i t_{ij} + \sum_k \alpha_{ik} x_k P_i t_{ik} \right) \quad (2)$$

$$C_j + C_k \geq \left(\sum_j P_{ij} + \sum_k P_{ik} \right) \quad \forall j, k, \quad P_{ij} = \alpha_{ij} P_i, \quad P_{ik} = \alpha_{ik} P_i \quad (3)$$

$$P_i = \sum_j P_{ij} + \sum_k P_{ik} \quad (4)$$

طراحی می‌شود که برای انتخاب بهترین مکان N مرکز خدماتی از بین K مکان مستعد مراکز درمانی به کار می‌رود، که مقدار بهینه به دست آمده برای الگوریتم داخلی، به عنوان تابع هدف برای الگوریتم خارجی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲: ساختار الگوریتم ژنتیک تو در تو
Fig. 2: The structure of the nested genetic algorithm

در هر تکرار الگوریتم، خروجی الگوریتم ژنتیک که مکان مراکز جدید است، با اطلاعات موجود که همان مکان مراکز موجود است، ترکیب شده و سپس به عنوان پارامترهای ورودی الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده (spatially guided tabu search) یا SGTS برای تعیین بهترین تخصیص به کار می‌رود [۲۶، ۲۷]. همچنین، خروجی تابع هدف الگوریتم SGTS برای ارزیابی میزان مناسب بودن مکان‌یابی انجام گرفته توسط الگوریتم ژنتیک، به کار می‌رود. این فرآیند مکان‌یابی و تخصیص همزمان تا رسیدن به بهترین مکان‌یابی با بهترین تخصیص متناسب با تابع هدف معرفی شده، ادامه می‌یابد [۲۸، ۲۹].

توسعه روش فرا ابتکاری بر پایه الگوریتم جستجوی ممنوع به اسم جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی

برای بهینه‌سازی تابع هدف و به دست آوردن مجهولات، از روش SGTS استفاده می‌شود [۳۰]. در شکل ۴، ساختار کلی الگوریتم توسعه یافته نشان داده شده است. مشخصات پارامترهای مورد استفاده در این روش شامل:

الف) ماتریس تخصیص: ماتریس Z با ابعاد $i \times j$ ، با درایه های صفر و یک، که به ترتیب نشان دهنده عدم تخصیص و یا تخصیص مشتری i به مرکز خدماتی j می‌باشد. ماتریس BZ بیانگر بهترین تخصیص به دست آمده تا مرحله جاری الگوریتم می‌باشد.

جستجوی ممنوع و ژنتیک در کنار تحلیل‌های مکانی توسعه داده شده، استفاده گردید [۲۳].

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{11} + \alpha_{12} + \dots + \alpha_{1(j+N)} = \text{number of injured people in point1 (P1)} \\ \alpha_{21} + \alpha_{22} + \dots + \alpha_{2(j+N)} = \text{number of injured people in point2 (P2)} \\ \alpha_{i1} + \alpha_{i2} + \dots + \alpha_{i(j+N)} = \text{number of injured people in pointi (Pi)} \\ \alpha_{11} + \alpha_{21} + \dots + \alpha_{j1} \leq \text{the capacity of hospital number 1 (C1)} \\ \alpha_{12} + \alpha_{22} + \dots + \alpha_{j2} \leq \text{the capacity of hospital number 2 (C2)} \\ \alpha_{1(j+N)} + \alpha_{2(j+N)} + \dots + \alpha_{j(j+N)} \leq \text{the capacity of hospital number (j+N) (C}_{j+N}) \end{array} \right.$$

شکل ۱: ساختار ریاضی معادلات و نامعادلات

Fig. 1: The structure of mathematics and inequalities

توسعه روش‌های ابتکاری برای حل مسئله تخصیص و مکان‌یابی
توسعه روش ابتکاری ژنتیک تو در تو

در صورت نیاز به احداث مراکز درمانی جدید، برای بهینه‌سازی تابع هدف و به دست آوردن مجهولات یکی از روش‌های انتخابی، توسعه روش ابتکاری بر اساس یک الگوریتم ژنتیک تو در تو است. وظیفه الگوریتم ژنتیک داخلی، تخصیص بهینه می‌باشد که همان به دست آوردن نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف است که توسط مراکز درمانی موجود و جدید، مورد پذیرش قرار می‌گیرند و الگوریتم ژنتیک خارجی برای انتخاب بهترین مکان N مرکز خدماتی از بین K مکان مستعد مراکز درمانی به کار می‌رود، که مقدار بهینه به دست آمده برای الگوریتم ژنتیک داخلی، به عنوان تابع هدف برای الگوریتم خارجی، در نظر گرفته می‌شود.

در هر تکرار الگوریتم، خروجی الگوریتم خارجی که مکان مراکز جدید است، با اطلاعات موجود که همان مکان مراکز موجود است، ترکیب شده و سپس به عنوان پارامترهای ورودی الگوریتم داخلی برای تعیین بهترین تخصیص به کار می‌رود. شکل ۲، ساختار کلی الگوریتم ژنتیک تو در تو را، نشان می‌دهد. هر سری از مختصات N مرکز انتخابی در هر مرحله به صورت یک کروموزوم تعریف می‌شود. هر کروموزوم از $2N$ ژن تشکیل شده است که هر ژن، در برگزیده مختصات x و y نقاط انتخاب شده از بین K مکان مستعد برای احداث مراکز درمانی می‌باشد.

توسعه روش ابتکاری ترکیبی ژنتیک و جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی
برای بهینه‌سازی تابع هدف و به دست آوردن مجهولات روش انتخابی دیگر، توسعه روش ابتکاری ترکیبی بر اساس الگوریتم ژنتیک و جستجوی ممنوع است که ساختار کلی آن در شکل ۳، نشان داده شده است. وظیفه الگوریتم داخلی، تخصیص بهینه می‌باشد که همان به دست آوردن نسبتی از مصدومان در نقاط مختلف است که توسط مراکز درمانی موجود و جدید، مورد پذیرش قرار می‌گیرند [۲۴، ۲۵]. این قسمت، با استفاده از روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی انجام می‌گیرد. در بخش بیرونی، الگوریتم ژنتیک مطابق الگوریتم ژنتیک تو در تو،

mm بزرگتر از صفر، ممکن است موجب خروج از دام بهینه محلی و حرکت به سمت بهینه محلی دیگری در نزدیکی بهینه محلی شود. استفاده از گوناگونی، منجر به جستجوی فضای همسایگی دیگری می شود که لزوماً در نزدیکی بهینه فعلی نمی باشد.

ث) شرط توقف: در این مطالعه، دو معیار توأم برای توقف الگوریتم در نظر گرفته شده است و تکرار این الگوریتم تا موقعی ادامه می یابد که دو شرط زیر برآورده شده باشد:

- مجهولات ماتریس معادلات و نامعادلات محاسبه گردد، یعنی حل همزمان دستگاه معادلات و نامعادلات انجام پذیرد (همراه با رعایت قیود روابط (۲) و (۳) مطرح شده در تابع هدف).

- تعداد بهینه های محلی متوالی یا تعداد دفعات گوناگونی انجام شده که در بهترین مقدار تابع هدف بهبود ایجاد نکرده اند (که در روش مورد استفاده با N_{div} نشان داده می شود) اگر برابر با مقدار مشخص Num باشد، به عنوان شرط دوم توقف در نظر گرفت. مراحل انجام الگوریتم به صورت زیر می باشد:

○ مقادیر معلوم و پارامترهای اولیه ($L_{max}, L_{min}, Num, P_i, C_j, t_{ij}, mm$) را وارد کنید و شمارنده های N_{div} و K را برابر صفر و همچنین مقادیر T_{Cost} و BT_{Cost} را برابر بی نهایت قرار داده و ماتریس کنترل، ماتریس Z و BZ را با درایه های صفر ایجاد کنید.

○ مقادیر اولیه مربوط به تخصیص و مقدار تابع هدف متناظر آن را با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی (GIS) محاسبه و مقادیر آن را به عنوان BT_{Cost} و BZ جایگذاری کنید.

○ تعیین مرکز ثقل هر یک از دسته های مربوط به تخصیص و تقسیم بندی منطقه با استفاده از تحلیل $Thesien$.

○ نقاط تقاضایی که به یک مرکز مشخصی تخصیص داده شده بودند ولی بعد از انجام تحلیل $Thesien$ در محدوده فعالیت نواحی دیگر قرار گرفته اند، به عنوان لیست انتخابی برای تعیین نقاط همسایگی در نظر بگیرید.

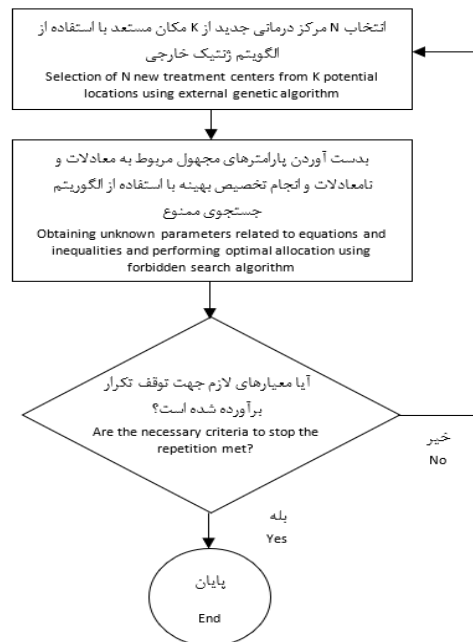
○ با توجه به بهترین همسایگی مقدار T_{Cost} محاسبه و در صورت کوچکتر بودن آن از BT_{Cost} ، Z و BT_{Cost} جدید را جایگزین BZ و BT_{Cost} کنید، در غیر این صورت، به مرحله ۸ بروید.

○ یک واحد به طول لیست ممنوع، اضافه کنید.

○ اگر L از L_{max} بیشتر بود، L را مساوی $L_{max}-1$ قرار دهید، به شرطی که از L_{min} کمتر نباشد و حرکت اول را از لیست ممنوع، خارج و یک واحد به شمارنده K اضافه کنید.

○ اگر K کوچکتر از mm بود، با توجه به بهترین حالت مشخص شده، به مرحله ۳ بروید و در غیر این صورت، گوناگونی را در درصد مشخصی از مشتری ها (Div) اعمال کنید و درایه های ماتریس ممنوع (کنترل) و K را مساوی صفر قرار دهید و به N_{Div} یک واحد اضافه کنید.

○ مجهولات ماتریس معادلات و نامعادلات محاسبه گردد، یعنی حل همزمان دستگاه معادلات و نامعادلات انجام پذیرد (همراه با رعایت و ارضای قیود روابط (۲) و (۳) در تابع هدف). اگر تعداد N_{Div} برابر Num شد، الگوریتم متوقف گردد.

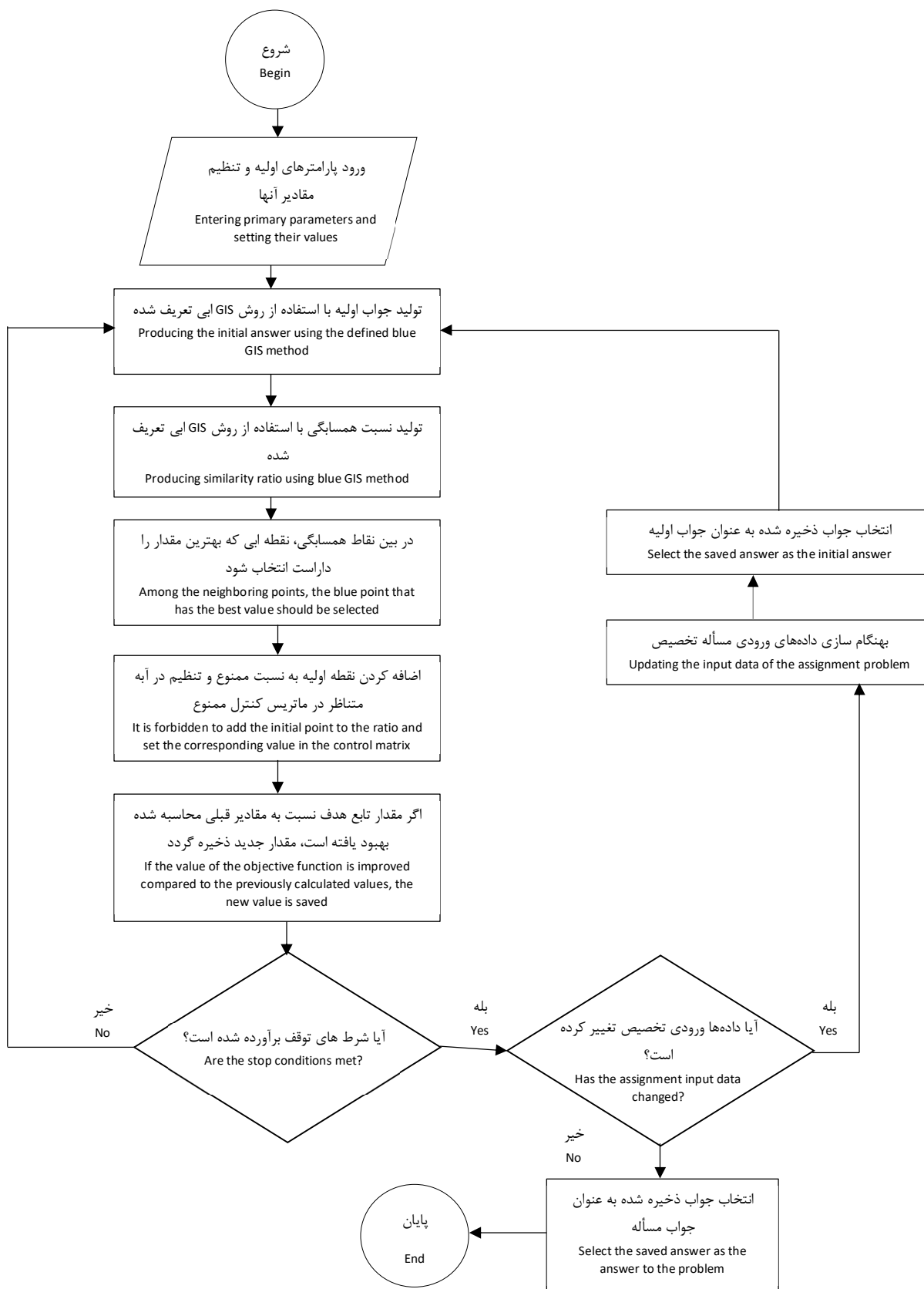


شکل ۳: ساختار الگوریتم ژنتیک و جستجو ممنوع
Fig. 3: The general structure of the genetic algorithm and tabu search

ب) مقدار تابع هدف (T_{Cost}) معرف مقدار تابع هدف برای تخصیص جاری (Z) بوده و BT_{Cost} بیانگر مقدار تابع هدف برای BZ می باشد.

پ) ماتریس کنترل: درایه های این ماتریس، متناظر با درایه های ماتریس تخصیص می باشد. در ابتدا، تمام درایه های این ماتریس صفر بوده و در هر تکرار، به درایه های متناظر با حرکت های (تخصیص های) ممنوع، یک واحد اضافه می گردد. این بدین معنی است که در ازای هر درایه ای که در ماتریس تخصیص از یک به صفر تبدیل می شود، درایه های متناظر آن در ماتریس ممنوع که صفر می باشد، به یک تبدیل و یک واحد به درایه های بزرگتر از صفر، اضافه می شود. هر درایه ای که مقدار آن از L بیشتر شود، با صفر جایگزین می گردد. بنابراین، هر درایه مثبت این ماتریس، نشان دهنده ممنوع بودن درایه تخصیص متناظر می باشد. طول لیست ممنوع، می تواند بین L_{min} و L_{max} متغیر در نظر گرفته شود. به این ترتیب که هنگام رسیدن به بهینه محلی، یک واحد به لیست ممنوع، اضافه می گردد و هرگاه این طول به L_{max} رسید، مقدار آن به L_{min} تبدیل گردد.

ت) گوناگونی: هنگام رسیدن به بهینه محلی، تخصیص درصد مشخصی از مشتری ها (Div)، به طور تصادفی تغییر می کند. پارامتر mm زمان اعمال گوناگونی را در این روش مشخص می کند. به عبارتی، پارامتر mm بیانگر تعداد مجاز برای برگرداندن ماتریس ممنوع به حالت اولیه می باشد. هرگاه هر مشتری به نزدیک ترین مرکز خدماتی اختصاص یافت، به تعداد mm مرحله، بهترین تعویض یگانه ای که ممنوع نباشد، انجام می شود. علت استفاده از این پارامتر را می توان به این صورت عنوان نمود: اول این که بهینه محلی در نظر گرفته شده در این روش، ممکن است ناشی از محدودیت جستجو باشد، یعنی تعویض زوجی وجود داشته باشد که با انجام آن تعویض، تابع هدف در همان مرحله بهبود یابد. دوم این که،



شکل ۴: ساختار روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی
Fig. 4: The structure of the proposed method is based on the spatially guided tabu search

نتایج و بحث

بررسی استحکام جواب‌ها و زمان حل دو روش پیشنهادی

در الگوریتم‌های ابتکاری، به منظور ارزیابی استحکام جواب‌ها لازم است که از تست تکرارپذیری استفاده کرد. بدین صورت که جواب‌های به‌دست آمده از تعداد مشخصی از اجراهای متوالی را که با پارامترهای یکسان صورت گرفته، از نظر همگرایی مقایسه می‌کنیم، در صورتی که جواب‌های به‌دست آمده، تفاوت چندانی با هم نداشته باشند، می‌توان گفت الگوریتم مورد نظر از استحکام لازم برخوردار است. برای بررسی استحکام روش‌های پیشنهادی و میانگین زمان حل هر یک از روش‌ها، آزمایش‌هایی با توجه به تعداد متفاوت مراکز درمانی و تعداد نقاط مصدومان طراحی شد، که برای مراکز درمانی تعداد ۳، ۵، ۱۰ و برای نقاط مصدومان تعداد ۲۵، ۱۰۰ و ۴۰۰، در نظر گرفته شد. هر یک از این حالات، ۱۰ بار توسط دو روش پیاده‌سازی شدند. سپس، انحراف معیار نرمال شده جواب‌های به‌دست آمده برای میزان تابع هدف، برای هر دو روش محاسبه شد، که در جدول ۱ نشان داده شده است. معیار دوم که برای بررسی استحکام جواب‌ها بررسی شد، تفاوت تخصیص‌ها در تکرارهای مختلف است. نسبت تعداد مصدومانی که در هر ۱۰ تکرار آزمایش، مشابه هم تخصیص داده شده بودند به کل مصدومان، به عنوان معیار ارزیابی در نظر گرفته شد. جدول ۲، مقدار به‌دست آمده برای حالات مختلف برای دو روش را نشان می‌دهد.

پارامتر سوم مورد بررسی، زمان حل مسئله بود که در حین انجام آزمایش‌ها، اندازه‌گیری شد. در جدول ۳، میانگین زمان حل در هر یک از حالات پیاده‌سازی شده برای دو روش مورد بررسی، نشان داده شده است. با توجه به پارامترهای ارزیابی می‌توان گفت، روش SGTS دارای ثبات و استحکام بیشتری نسبت به الگوریتم ژنتیک می‌باشد. از نظر زمان حل، روش توسعه یافته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک در ابعاد کوچک‌تر تعداد مصدومان و مراکز درمانی، وضعیت بهتری دارد ولی با افزایش ابعاد مسئله روش SGTS شرایط بهتری پیدا می‌کند.

بهینه‌سازی تابع هدف با استفاده از الگوریتم ژنتیک تو در توی ژنتیک، با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

برای حل مسئله، که همان بهینه‌سازی کل تابع هدف و انتخاب مکان ۲ مرکز درمانی از بین ۹ محل مستعد بود، یک الگوریتم ژنتیک تو در تو مطابق با پارامترهای شرح داده شده، طراحی و پیاده‌سازی شد. جمعیت اولیه، برابر ۵۰۰ و تعداد نسل برابر ۳۰۰ در نظر گرفته شد. شرط توقف برای الگوریتم داخلی، عدم تغییر در تابع هدف در تعداد ۲۰ نسل پشت سر هم و برای الگوریتم خارجی، عدم بهبود در ۱۰ نسل متوالی تعریف شد. بعد از ۱۰ دقیقه و ۵۵ ثانیه، در حالی که تعداد نسل الگوریتم خارجی ۶۴ بود، برنامه متوقف شد. نتیجه به‌دست آمده برای مقدار بهینه تابع هدف، در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱: مقایسه انحراف معیار نتایج به‌دست آمده برای تابع هدف

Table1: Comparison of the standard deviation for the results of the goal function

انحراف معیار تابع هدف برای روش SGTS (Standard deviation of the goal function for SGTS method)	انحراف معیار تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک (Standard deviation of the goal function for genetic algorithm)	تعداد مراکز درمانی (Number of medical centers)	تعداد نقاط قرارگیری مصدومان (The number of placement points)
0.005	0.075	3	25
0.022	0.142	5	100
0.024	0.215	10	400

جدول ۲: مقایسه دقت در نتایج بدست آمده برای تابع هدف

Table2: Comparison of the accuracy for the results of the goal function

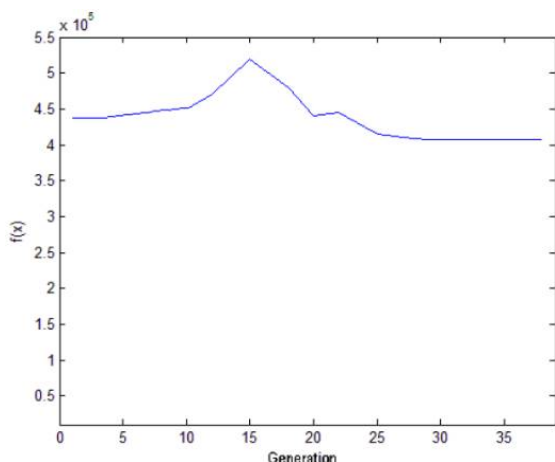
دقت تخصیص تابع هدف برای روش SGTS (Allocation accuracy of the goal function for SGTS method)	دقت تخصیص تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک (Allocation accuracy of the goal function for genetic algorithm)	تعداد مراکز درمانی (Number of medical centers)	تعداد نقاط قرارگیری مصدومان (The number of placement points)
99%	89%	3	25
97%	80%	5	100
95%	69%	10	400

جدول ۳: مقایسه زمان در نتایج بدست آمده برای تابع هدف

Table3: Comparison of the time for the results of the goal function

مدت زمان حل مساله برای روش SGTS (Duration of the problem solving for SGTS method)	مدت زمان حل مساله برای الگوریتم ژنتیک (Duration of the problem solving for genetic algorithm)	تعداد مراکز درمانی (Number of medical centers)	تعداد نقاط قرارگیری مصدومان (The number of placement points)
219 s	225 s	3	25
669 s	594 s	5	100
1441 s	1671 s	10	400

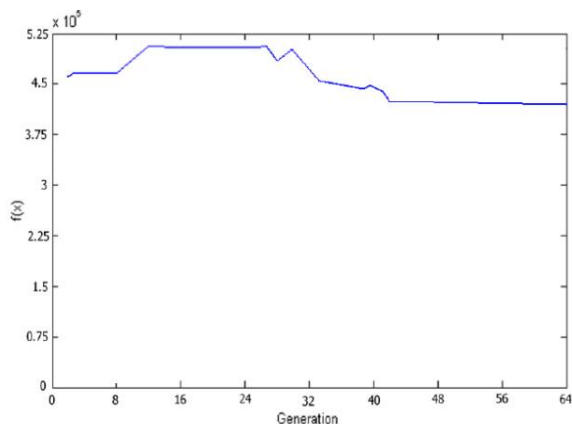
برنامه بعد از ۱۰ دقیقه و ۵۵ ثانیه در حالی که تعداد نسل الگوریتم خارجی ۶۴ بود، متوقف شد. نتیجه به دست آمده برای مقدار بهینه تابع هدف، در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: مقادیر بهینه تابع هدف در نسل های مختلف برای روش ترکیبی ژنتیک و SGTS

Fig. 5: The optimal values of the goal function in different generations for the combined method of genetic and SGTS

یکی از خروجی‌های این روش، انتخاب مکان ۲ مرکز درمانی از بین ۹ محل مستعد است، که نتیجه به دست آمده بر اساس الگوریتم ژنتیک است. خروجی مرحله دوم، شمار مصدومان هر نقطه است که توسط مراکز درمانی موجود و مراکز انتخاب شده، باید مورد پذیرش قرار بگیرند. جدول ۵، تعداد مصدومان بعضی از نقاط تقاضا را که توسط مراکز درمانی موجود و جدید مورد پذیرش قرار می‌گیرند، نشان می‌دهد.



شکل ۵: مقادیر بهینه تابع هدف در نسل‌های مختلف با استفاده از الگوریتم ژنتیک تو در تو

Fig. 5: The optimal values of the goal function in different generations for the nested genetic algorithm

خروجی دیگر، شمار از مصدومان در هر نقطه است که باید توسط مراکز درمانی موجود و مراکز انتخاب شده، مورد پذیرش قرار گیرند. جدول ۴، تعداد مصدومان برخی از نقاط تقاضا را که توسط مراکز درمانی موجود و جدید مورد پذیرش قرار می‌گیرند، نشان می‌دهد.

بهینه‌سازی تابع هدف با استفاده از روش ترکیبی ژنتیک و SGTS با توجه به انتخاب و یا احداث مراکز درمانی جدید

برای حل مسئله که همان بهینه‌سازی کل تابع هدف و انتخاب مکان ۲ مرکز درمانی از بین ۹ محل مستعد بود، یک الگوریتم ترکیبی تو در توی ژنتیک و جستجوی ممنوع مطابق با پارامترهای توضیح داده شده، طراحی و پیاده‌سازی شد. شرط توقف برای الگوریتم داخلی $NDiv$ برابر ۳۰ و برای الگوریتم خارجی، عدم بهبود در ۱۰ نسل متوالی تعریف شد.

جدول ۴: مقایسه دقت تابع هدف در تعداد مصدومان تخصیص یافته به مراکز درمانی مختلف در شماری از نقاط بر پایه الگوریتم ژنتیک تو در تو

Table4: Comparison of the accuracy of the goal function for the number of earthquake-related injured assigned to different medical centers in a number of points based on the nested genetic algorithm

شماره نقاط مصدومان (The number of injured points)	مرکز درمانی جدید ۲ (New medical center 2)	مرکز درمانی جدید ۱ (New medical center 1)	مرکز درمانی موجود ۳ (Existing medical center 3)	مرکز درمانی موجود ۲ (Existing medical center 2)	مرکز درمانی موجود ۱ (Existing medical center 1)
1	0	1	0	0	0
4	2	0	0	0	0
14	0	0	0	4	2
20	2	0	10	0	4
23	0	4	2	0	12

جدول ۵: تعداد مصدومان تخصیص یافته به مراکز درمانی مختلف در شماری از نقاط بر پایه روش ترکیبی ژنتیک و SGTS

Table5: The number of earthquake-related injured assigned to different medical centers in a number of places based on the combined method of genetic and SGTS

شماره نقاط مصدومان (The number of injured points)	مرکز درمانی جدید ۲ (New medical center 2)	مرکز درمانی جدید ۱ (New medical center 1)	مرکز درمانی موجود ۳ (Existing medical center 3)	مرکز درمانی موجود ۲ (Existing medical center 2)	مرکز درمانی موجود ۱ (Existing medical center 1)
1	0	1	0	0	0
4	2	0	0	0	0
14	0	0	0	6	0
20	0	0	14	0	2
23	0	4	0	0	14

نتیجه‌گیری

در مسائل مکان‌یابی و تخصیص، معمولاً داده‌های مکانی نقش مهمی دارند، بنابراین، یکپارچه نمودن و ترکیب GIS با روش‌های حل این نوع مسائل، می‌تواند مفید باشد و در کمترین حالت، می‌توان از GIS در ذخیره‌سازی، بازیابی داده‌های ورودی و نمایش نتایج استفاده کرد. در بهینه‌سازی مسائل تخصیص و مکان‌یابی، نمی‌توان هر روشی را برای هر نوع مسئله‌ای به کار برد و لازم است نحوه به‌کارگیری پارامترهای موجود در این روش‌ها با توجه به ساختار آن مسئله، تعریف گردد و همچنین، تاثیر هر یک از پارامترها به تنهایی و در کنار هم بررسی گردد. در این مطالعه، برای تخصیص بهینه مصدومان در روش جستجوی ممنوع، افزایش طول لیست ممنوع باعث افزایش زمان اجرا می‌شود و تغییر طول آن، تاثیر مثبت در زمان حل مسئله دارد. همچنین، راجع به تاثیر درجه گوناگونی در زمان اجرا، می‌توان به این مورد اشاره کرد که مقدار زیاد آن، باعث افزایش زمان اجرا می‌شود و مقدار کم آن، احتمال بازگشت به بهینه محلی را زیاد می‌کند. بررسی آزمایش‌های انجام شده در مورد تعداد تکرار، بیانگر این است که با افزایش تعداد مراکز سرویس‌دهی، باید تعداد تکرار هم افزایش یابد، ولی افزایش تعداد مشتریان، تاثیر کمی بر افزایش تعداد تکرارها، به منظور حل مناسب مسئله دارد. در الگوریتم ژنتیک هم، می‌توان گفت که با افزایش پیچیدگی‌های مسئله، نیاز است تا اندازه جمعیت اولیه برای حل بهینه مسئله، افزایش یابد که این افزایش از سوی دیگر باعث افزایش زمان حل مسئله می‌گردد. با مقایسه مدت زمان حل بهینه مسئله تخصیص مصدومان زلزله به مراکز درمانی در دو روش پیاده‌سازی شده، می‌توان نتیجه گرفت که روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی در مدت زمان کمتری می‌تواند به همگرایی برسد. بنابراین، ایجاد لیست انتخابی با استفاده از ساختار ارائه شده بر اساس تحلیل‌های مکانی، می‌تواند در این زمینه موثر باشد. الگوریتم جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی، دارای دقت بالاتری نسبت به الگوریتم ژنتیک می‌باشد و همچنین، نتایج به‌دست آمده از روش جستجوی ممنوع هدایت شونده مکانی، دارای ثبات و استحکام بیشتری نسبت به روش ارائه شده مبتنی بر الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در حل مسائل مکان‌یابی و تخصیص منابع، اگر هدف بهینه‌سازی توأمان هر دو مورد مکان‌یابی و تخصیص باشد، الگوریتم‌های ترکیبی برای حل بهینه توأمان، توصیه می‌شود. با این‌که این مطالعه موفق به ارائه دو روش ترکیبی برای حل بهینه مسائل تخصیص ظرفیت‌دار شده است، اما مطالعه در زمینه ارائه روش‌های ترکیبی دیگر مبتنی بر روش‌های فرا ابتکاری و مقایسه نتایج آن با روش‌های ارائه شده در این مطالعه، پیشنهاد می‌گردد.

مشارکت نویسندگان

مقاله دارای یک نویسنده می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از کلیه عزیزانی که من را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنم.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسنده بیان نشده است.

منابع و مأخذ

- [1] Fan WH, Wang WK, Liang CK, Yang ML, Hsu WL, Shiau YC. Smart earthquake disaster prevention system. *Sensors Mater.* 2021; 33(42): 1231–1244.
- [2] Ibrion M, Mokhtari M, Nadim F. Earthquake disaster risk reduction in Iran: Lessons and “Lessons Learned” from three large earthquake disasters-tabas 1978, Rudbar 1990, and Bam 2003. *Int J Disaster Risk Sci.* 2015; 6(4): 415–27.
- [3] Zhuang J, Peng J, Zhu X, Huang W. Scenario-based risk assessment of earthquake disaster using slope displacement, PGA, and population density in the Guyuan region, China. *ISPRS Int J Geo-Information.* 2019; 8(2): 85.
- [4] Zhang S, Yang K, Cao Y. GIS-Based Rapid Disaster Loss Assessment for Earthquakes. *IEEE Access.* 2019; 7: 6129–6139.
- [5] Tanaka H, Shiiba N, Huang MC. Tsunami Impact Assessment and Vulnerability Index Development using Computable General Equilibrium (CGE) Model and Geographic Information System (GIS) - A Study on Mie Prefecture, Japan. *J Integr Disaster Risk Manag.* 2021; 11(1): 46–63.
- [6] Yavuz Kumlu KB, Tüdeş Ş. Determination of earthquake-risky areas in Yalova City Center (Marmara region, Turkey) using GIS-based multicriteria decision-making techniques (analytical hierarchy process and technique for order preference by similarity to ideal solution). *Nat Hazards.* 2019; 96(3): 999–1018.
- [7] Al-Sabbagh TA. GIS location-allocation models in improving accessibility to primary schools in Mansura city-Egypt. *GeoJournal.* 2022; 87(2): 1009–1026.
- [8] Ryan SJ, Getz WM. A spatial location-allocation GIS framework for managing water sources in a savanna nature reserve. *African J Wildl Res.* 2005; 35(2): 163–178.
- [9] Robin TA, Khan MA, Kabir N, Rahaman ST, Karim A, Mannan II, et al. Using spatial analysis and GIS to improve planning and resource allocation in a rural district of Bangladesh. *BMJ Glob Heal.* 2019; 4: e000832.
- [10] El Karim AA, Awawdeh MM. Integrating GIS accessibility and location-allocation models with multicriteria decision analysis for evaluating quality of life in Buraidah city, KSA. *Sustain.* 2020; 12(4): 1412.
- [11] Cooper L. Location-Allocation Problems. *Oper Res.* 1963; 11(3): 331–343.
- [12] Brimberg J, Hansen P, Mladenović N, Taillard ED. Improvements and comparison of heuristics for solving the uncapacitated multisource Weber problem. *Oper Res.* 2000; 48(3): 444–460.

- [26] Ciarleglio M, Barnes JW, Sarkar S. Consnet-a tabu search approach to the spatially coherent conservation area network design problem. *J Heuristics*. 2010; 16(4): 537–557.
- [27] Illoldi-Rangel P, Ciarleglio M, Sheinvar L, Linaje M, Sánchez-Cordero V, Sarkar S. Opuntia in México: Identifying priority areas for conserving biodiversity in a multi-use landscape. *PLoS One*. 2012; 7(5).
- [28] Nassif AB, Capretz LF, Ho D, Azzeh M. A treeboost model for software effort estimation based on use case points. 11th International Conference on Machine Learning and Applications: 2012 December 12-15: Boca Raton, FL, USA.
- [29] Saeidian B, Mesgari MS, Pradhan B, Ghodousi M. Optimized location-allocation of earthquake relief centers using PSO and ACO, complemented by GIS, clustering, and TOPSIS. *ISPRS Int J Geo-Information*. 2018; 7(8): 292.
- [30] Krichen S, Faiz S, Tlili T, Tej K. Tabu-based GIS for solving the vehicle routing problem. *Expert Syst Appl*. 2014; 41(14): 6483–6493.
- [13] Hansen TE. The evolution of genetic architecture. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2006; 37: 123–57.
- [14] Whittaker KA, Rynearson TA. Evidence for environmental and ecological selection in a microbe with no geographic limits to gene flow. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2017; 114(10): 2651–2656.
- [15] Tani K, Yamamoto K. Search Methods for Evacuation Routes during Torrential Rain Disasters Using Genetic Algorithms and GIS. *J Geogr Inf Syst*. 2020; 12(03): 256–274.
- [16] Keling N, Mohamad Yusoff I, Lateh H, Ujang U. Highly efficient computer oriented octree data structure and neighbours search in 3D GIS. *Lect Notes Geoinf Cartogr*. 2017; 0(9783319256894): 285–303.
- [17] Murray AT, Church RL. Applying simulated annealing to location-planning models. *J Heuristics*. 1996; 2(1): 31–53.
- [18] Sangaiah AK, Khanduzi R. Tabu search with simulated annealing for solving a location-protection-disruption in hub network. *Appl Soft Comput*. 2022; 114: 108056.
- [19] Salhi S, Gamal MDH. A Genetic Algorithm Based Approach for the Uncapacitated Continuous Location-Allocation Problem. *Ann Oper Res*. 2003; 123(1–4): 203–222.
- [20] Fiedrich F, Gehbauer F, Rickers U. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety Science*. 2000; 35(1-3): 41–57.
- [21] Gong Q, Batta R. Allocation and reallocation of ambulances to casualty clusters in a disaster relief operation. *IIE Trans*. 2007; 39(1): 27–39.
- [22] Abdelkarim A. Integration of Location-Allocation and Accessibility Models in GIS to Improve Urban Planning for Health Services in Al-Madinah Al-Munawwarah, Saudi Arabia. *J Geogr Inf Syst*. 2019; 11(06): 633–62.
- [23] Vafaeinejad A, Bolouri S, Alesheikh AA, Panahi M, Lee CW. The capacitated location-allocation problem using the vaomp (Vector assignment ordered median problem) unified approach in gis (geospatial information system). *Appl Sci*. 2020; 10(23): 1–22.
- [24] Holzkämper A, Seppelt R. A generic tool for optimising land-use patterns and landscape structures. *Environ Model Softw*. 2007; 22(12): 1801-1804.
- [25] Kaveh M, Kaveh M, Mesgari MS, Paland RS. Multiple criteria decision-making for hospital location-allocation based on improved genetic algorithm. *Appl Geomatics*. 2020; 12: 291–306.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



حسین آقامحمدی استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران است. وی تحصیلات مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی خود را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۲ در رشته مهندسی عمران-

نقشه‌برداری در دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی تهران به پایان رساند. گرایش تخصصی وی در دوران تحصیلات تکمیلی، سامانه اطلاعات مکانی (GIS) بوده است و هم‌اکنون نیز در همین زمینه در دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران به تدریس و پژوهش مشغول می‌باشد. حاصل کار تحقیقاتی ایشان، مقالات زیادی است که در نشریات معتبر فارسی و انگلیسی به چاپ رسیده است. موضوعات مورد علاقه ایشان در تحقیقات عبارتند از: مکانابی و تخصیص، تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، بهینه‌سازی و مدل‌سازی مکانی.

Aghamohammadi, H. Assistant Professor at the Department of GIS and Remote Sensing, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University-Science and Research Branch, Tehran, Iran

✉ aghamohammadi@srbiau.ac.ir

Citation (Vancouver): Aghamohammadi H.[Comparison of Spatially Guided Tabu Search and Nested Genetic Algorithms for Solving the Capacitated Location-Allocation Problem in Emergency Situations]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 91-102



<https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1980>



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 Artificial Neural Networks and Geospatial Information Systems in Mine Exploration for Producing Mineral Potential Map

T. Silavi¹, M. Kheirkhahzadeh^{*2}¹ Department of Geospatial Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran² Department of Computer Science, Faculty of Mathematics and Computer Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

ABSTRACT

Received: 06 March 2023
 Reviewed: 9 April 2023
 Revised: 07 May 2023
 Accepted: 18 June 2023

KEYWORDS:

Mine Exploration
 Copper Deposit
 Geospatial Information System
 Artificial Neural Network
 Data Combination

* Corresponding author

✉ m.kheirkhahzadeh@scu.ac.ir

☎ (+98611) 33226600

Background and Objectives: Geospatial Information Systems provide required science and tools for various transactions related to spatial data. Such an ability caused use of Geospatial Information Systems in several fields. One of these fields is mine exploration which can be known as highly dependent field to the geology. On the other hand, the traditional methods are not suitable for requirements of mine exploration. Thus, the new methods are utilized more and more for mining as well as mine exploration. Artificial intelligence is one of the new sciences transforming human life. Artificial Neural Networks as a long-standing method of artificial intelligence have found many applications in mine exploration. The goal of this research is producing mineral potential map using artificial neural networks.

Methods: Artificial neural network is a classifier method in essence. This method acts like a black box which is trained at first, then it is capable of classifying the new data. In this research the data captured from exploration studies of porphyry copper deposit located in Yazd, Iran is used for producing mineral potential map. The mineral potential map is essential and very important for mining activities. The data is entered to a feedforward back propagation artificial neural network. The artificial neural network is used in two manners. The first manner is the usual one: The artificial neural network is trained by the aid of boreholes data and then it is used to forecast the potential of copper at every cell of the study area. In the second manner after training the network, its inner weights are extracted. These weights show the amount of importance that the neurons of the network have been considered for the input criteria. These weights are entered into the index overlay method. Afterwards, the criteria maps are combined by index overlay method and the mineral potential map is produced.

Findings: In this research more than testing the power of artificial neural networks in producing mineral potential map, testing the accuracy of its inner weights to be used in another method is aimed. At the training phase the values of criteria maps (essentially produced by exploration studies) at the positions of boreholes are entered into the artificial neural network and the network should forecast the potential of copper at that position qualitatively, while the true values are known from the data of boreholes. Then, the trained network forecast the potential of copper at every position of the deposit. The results revealed that the accuracy of artificial neural network when ignoring one of the non-efficient criteria can be reached up to 100 percent. However, the accuracy of index overlay method using the weights extracted from the artificial neural network is about 70 percent at maximum.

Conclusion: The results of this study revealed again the power of artificial neural networks in classification and combination of spatial data. Despite, the unique result of this research is that the inner weights of artificial neural network have the maximum performance in their network and using them for weighting and combining data by another method would not be useful. However, these weights can illustrate the order of importance of data.



NUMBER OF REFERENCES

32



NUMBER OF FIGURES

4



NUMBER OF TABLES

2

مقاله پژوهشی

استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه‌های اطلاعات مکانی در معدن کاوی جهت تولید نقشه پتانسیل معدنی

طلوع سیلاوی^۱، معصومه خیرخواه زاده^{۲*}

^۱ گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

^۲ گروه علوم کامپیوتر، دانشکده علوم ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: سامانه‌های اطلاعات مکانی، علم و ابزار لازم برای انواع فعل و انفعالات مرتبط با اطلاعات مکانی را فراهم می‌آورند. چنین قابلیت، سبب شده است که این سامانه‌ها در حوزه‌های متعدد و بسیار متنوعی به کار گرفته شوند. یکی از این حوزه‌ها، معدن کاوی است که می‌توان آن را یکی از حوزه‌های به شدت وابسته به زمین‌شناسی به حساب آورد. از سوی دیگر، روش‌های سنتی معدن کاوی و زمین‌شناسی جوابگوی نیازهای روزافزون این حوزه نمی‌باشند و به همین دلیل، فنون و علوم جدید، نقشی بی‌بدیل در کاوش‌های معدنی امروزی یافته‌اند. هوش مصنوعی، یکی از مهم‌ترین علوم جدید است که در حال تحول بخشی به زندگی انسان‌ها می‌باشد. شبکه‌های عصبی مصنوعی، به عنوان یکی از روش‌های دیرپای هوش مصنوعی، جای پای خود را در زمین‌شناسی و معدن کاوی نیز باز و در این مسیر، روش‌های سنتی را با چالش اساسی مواجه نموده‌اند. بر این اساس، هدف این تحقیق بر تهیه نقشه پتانسیل معدنی با کمک شبکه عصبی مصنوعی بنا نهاده شده است.

روش‌ها: شبکه عصبی مصنوعی، در واقع یک روش طبقه‌بندی به شمار می‌رود. این روش، به صورت یک جعبه سیاه عمل می‌کند که ابتدا آموزش می‌بیند و پس از یادگیری، قادر به طبقه‌بندی داده‌هایی است که در مرحله آموزش با آن‌ها مواجه نبوده است. در این پژوهش، با استفاده از اطلاعات مطالعات اکتشافی یک کانسار مس پرفیری واقع در استان یزد ایران و به کمک شبکه عصبی مصنوعی در صدد تولید نقشه پتانسیل معدنی مس در این منطقه هستیم. نقشه پتانسیل معدنی برای استخراج معدن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور، به دو صورت از شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌شود. روش اول به صورت معمول است یعنی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از اطلاعات چاه‌های اکتشافی آموزش می‌بیند و سپس میزان پتانسیل مس را در جای‌جای منطقه پیش‌بینی می‌نماید. روش دوم، به این صورت است که پس از آموزش دیدن شبکه عصبی مصنوعی، وزن‌های داخلی شبکه استخراج می‌شوند. این وزن‌ها در واقع، نشان‌دهنده میزان اهمیتی است که نرون‌های شبکه برای هر یک از معیارهای ورودی در نظر گرفته‌اند. این وزن‌ها، وارد رابطه روش همپوشانی شاخص می‌شوند و نقشه‌های معیار، با استفاده از روش همپوشانی شاخص، ترکیب و نقشه پتانسیل معدنی حاصل می‌شود.

یافته‌ها: در این تحقیق، غیر از آزمایش قدرت شبکه عصبی مصنوعی در تهیه نقشه پتانسیل معدنی، میزان دقت وزن‌های مستخرج از شبکه برای استفاده در یک روش تلفیق دیگر، مد نظر بوده است. در مرحله آموزش شبکه، مقادیر نقشه‌های معیار که اساساً همان نقشه‌های حاصل از مطالعات اکتشافی هستند در نقاط چاه‌های اکتشافی، به عنوان ورودی وارد شبکه می‌شوند و باید عیار مس را به صورت کیفی در آن نقطه، پیش‌بینی نمایند در حالی که خروجی صحیح حاصل از چاه‌های اکتشافی در دست است. پس از آموزش، شبکه مقادیر پتانسیل معدنی را در جای‌جای کانسار به دست می‌آورد. نتایج، نشان داد که دقت طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی پس از کنار گذاشتن یکی از معیارها که غیر مؤثر تشخیص داده شد، می‌تواند تا ۱۰۰ درصد برسد و این، در حالی است که دقت حاصل شده از روش همپوشانی شاخص و با استفاده از وزن‌های مستخرج از شبکه، تا حدود ۷۰ درصد است.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق، یک بار دیگر قدرت شبکه‌های عصبی مصنوعی را در طبقه‌بندی و تلفیق اطلاعات مکانی، نشان داد. اما نتیجه متحصّر به فرد این تحقیق آن بود که وزن‌های داخلی شبکه عصبی مصنوعی بیشترین

تاریخ دریافت: ۱۵ اسفند ۱۴۰۱
تاریخ داوری: ۲۰ فروردین ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۸ خرداد ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

اکتشاف معدن
کانسار مس
سامانه اطلاعات مکانی
شبکه عصبی مصنوعی
تلفیق اطلاعات

* نویسنده مسئول

m.kheirkhazadeh@scu.ac.ir

① ۰۶۱۱-۳۳۲۲۶۶۰۰

کارایی را در داخل خود شبکه دارند و استفاده از آن‌ها، برای وزن‌دهی و تلفیق اطلاعات در یک روش دیگر، چندان مفید نخواهد بود. با این وجود، این وزن‌ها در هر صورت، می‌توانند نمایش‌گر ترتیب صحیح اهمیت داده‌های ورودی باشند.

مقدمه

معدن‌کاوی و یافتن ذخیره‌های معدنی، متکی بر مطالعات و کاوش‌های فراوان و دامنه‌داری است که در مناطق مستعد وجود ذخیره معدنی، انجام می‌پذیرد. معمولاً در بدو امر، لایه‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی، کوچک مقیاس هستند که تخمین وجود یک کانسار را در مناطق مختلف، میسر می‌سازند. در پی آن، مطالعات زمین‌شناسی دقیق‌تر انجام پذیرفته و در صورت تأیید شواهد، مطالعات ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی و در نهایت حفر چاه‌های اکتشافی، از دیگر اقداماتی است که برآورد کامل‌تری را از ویژگی‌های آن کانسار، ارائه می‌دهند.

تلفیق و ترکیب انواع داده‌ها و اطلاعات مکانی و استخراج نتایج و اطلاعات جدید از آنها، از ویژگی‌های سامانه‌های اطلاعات مکانی است. اطلاعات تلفیق‌شده، دارای اعتبار و اهمیت یکسانی نیستند و به نسبت تأثیری که می‌توانند در نتایج نهایی داشته باشند، با اهمیت‌های نسبی متفاوت در تلفیق شرکت داده می‌شوند [۱].

معیاری که نشان‌دهنده اهمیت نسبی اطلاعات است، اصطلاحاً وزن و تعیین این وزن‌ها، عملیات وزن‌دهی خوانده می‌شود [۲، ۳]. روش‌های تعیین وزن، بسیار متنوع و گوناگونند ولی در دو دسته کلی داده-مبنا و دانش-مبنا، تقسیم‌بندی می‌شوند [۴].

در روش‌های دانش-مبنا یک کارشناس و یا گروهی از کارشناسان از طریق روال‌ها و روش‌های معین مبادرت به تعیین وزن‌ها می‌کنند و سپس داده‌ها با وزن‌های اختصاص یافته، توسط روش‌های تلفیق، مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های *Analytical Hierarchy Process* (AHP)، *Delphi* و تخمین نسبت را می‌توان نمونه‌هایی از این روش‌ها دانست [۴، ۵].

روش‌های دانش-مبنا، وابستگی اساسی به نظرات کارشناسی دارند و به همین دلیل، شدیداً از اشتباهات و نواقص نظرات کارشناس، متأثر می‌شوند. از این روست که در پاره‌ای موارد، از روش‌های داده-مبنا استفاده می‌شود. در این روش‌ها، از شواهدی که در خود داده‌ها موجود است برای وزن‌دهی آن‌ها استفاده می‌شود. شواهدی که روش‌های داده-مبنا احتیاج دارند، نمونه‌هایی از جواب است [۶، ۷]. به عنوان مثال، نمونه‌هایی از رویداد رانش زمین، می‌توانند جهت وزن‌دهی اطلاعات مؤثر در پیش‌بینی رانش زمین، مورد استفاده قرار گیرند [۸]. روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، در زمره روش‌های داده-مبنای طبقه‌بندی به شمار می‌رود که قابلیت تلفیق اطلاعات را نیز، دارا هستند [۹، ۱۰]. پیشینه تحقیق در حیطه استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی و شبکه‌های عصبی در مورد اکتشافات و ذخیره‌سنجی معادن، نشان می‌دهد که این موضوع همچنان جزء موضوعات روز و پژوهش‌های جاری در زمینه کاربردهای تحلیل اطلاعات مکانی می‌باشد. تائو سان (پیشنهاد می‌شود که نام انگلیسی اندیشمند

درج گردد) و همکاران، مدل‌سازی پیش‌بینی آینده‌نگرانه مواد معدنی را برای منطقه سنگ معدن تانگلینگ در شرق چین با استفاده از GIS و به کمک روش‌های یادگیری ماشین، از جمله ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی (RF) انجام دادند [۱۱]. چویی (نام انگلیسی) و همکاران، اقدام به بررسی جامع و طبقه‌بندی مطالعات معدنی مبتنی بر GIS پرداختند و GIS و سه دسته مطالعات بر روی برنامه‌ریزی معدن، بهره‌برداری و مدیریت زیست محیطی و توصیف نقش GIS به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری در توسعه معدن را، معرفی کردند. این بررسی، با طبقه‌بندی مطالعات قبلی مبتنی بر GIS در چندین موضوع فرعی که به فعالیت‌های توسعه معدن و محدوده محیط‌هایی که باید مدیریت شوند، انجام شد. نتیجه قطعی بررسی ایشان، این بود که از آنجایی که استفاده از GIS برای مدیریت داده‌های مکانی مرتبط با ذخایر معدنی و شرایط محیطی معدن در مقیاس‌های مختلف مناسب است، کاربرد روش‌های مبتنی بر GIS در توسعه معادن، باید بیشتر گسترش یابد [۱۲]. کوهر (نام انگلیسی) و همکاران نیز، با توجه به اهمیت و تقاضای فزاینده لیتیم (Li) برای کاربردهای صنعتی، به ویژه باتری‌های لیتیم یون قابل شارژ، از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای شناسایی اهداف اکتشافی، استفاده کردند. در این تحقیق، با یک رویکرد یکپارچه، از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تفسیر داده‌های مرتبط با اکتشاف معادن لیتیم، استفاده می‌شود [۱۳]. در نهایت، می‌بینیم که به دلیل تخصص GIS در کار با انواع اطلاعات مکانی [۱۴، ۱۵] و از سوی دیگر قابلیت‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی در طبقه‌بندی که منجر به یافتن ارتباط پنهان بین عوامل می‌شود، استفاده از این دو، در پتانسیل‌یابی معدنی می‌تواند بسیار مؤثر واقع شود.

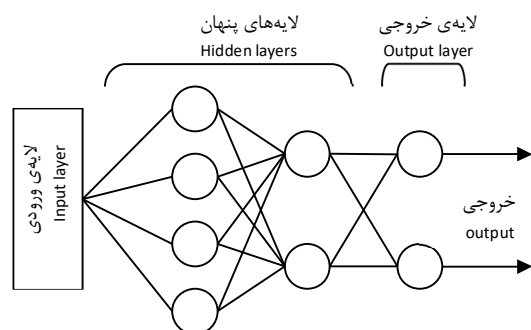
در این تحقیق، از نرم‌افزار ArcGIS جهت آنالیز و نمایش داده‌ها و از نرم‌افزار MATLAB برای برنامه‌نویسی شبکه‌های عصبی، استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

در این بخش، مبانی مورد استفاده در روش پژوهش انجام گرفته، تشریح می‌شود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

سامانه‌های هوشمند، به دلیل ویژگی‌های جدید و منحصر به فرد خود در شاخه‌های مختلف علوم، به کار گرفته شده‌اند. امروزه، شبکه‌های عصبی مصنوعی که یکی از انواع سامانه‌های هوشمند به شمار می‌روند در علوم زمین با موفقیت به کار گرفته و در کاربردهایی نظیر سنجش از دور و طبقه‌بندی تصاویر، کاملاً نهادینه شده‌اند [۱۶].



شکل ۱: نمایی از یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، دایره‌ها نشان دهنده نرون‌ها هستند

Fig. 1: A multi-layer Perceptron network. The circles show the neurons

لایه ابتدایی، لایه ورودی، لایه انتهایی، لایه خروجی و لایه‌های مابین، لایه‌های پنهان نامیده می‌شوند [۲۶]. تعداد نرون‌های لایه‌های ورودی به اندازه ورودی‌ها و به همین شکل، تعداد نرون‌های لایه خروجی به تعداد خروجی‌های مورد انتظار است ولی تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌های موجود در هریک، به طراحی شبکه بستگی دارد و معمولاً توسط روش سعی و خطا، تعیین می‌گردد [۲۷].

اکتشاف معدن و نقشه پتانسیل معدنی

اکتشاف معدن، در مراحل متعددی انجام می‌گیرد که این مراحل، از مرحله پی جویی اولیه آغاز گشته، تا مرحله تفصیلی ادامه می‌یابد. در خلال این روند، متناسب با پیشرفت مراحل، از نقشه‌ها و عکس‌های هوایی بزرگ مقیاس‌تر و داده‌های دقیق‌تر، استفاده می‌شود به طوری که در مرحله تفصیلی، کار تماماً روی داده‌ها و نقشه‌هایی با مقیاس بزرگتر از ۱:۵۰۰۰، صورت می‌پذیرد.

مطالعات اکتشافی معدن، شامل جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها و همچنین، تهیه نقشه‌هایی می‌شود که نشانه‌هایی برای وجود ماده معدنی مورد نظر، به شمار می‌روند. در این راستا، در مرحله تفصیلی سه دسته عمده از مطالعات صورت می‌پذیرد که عبارتند از: مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی. در مطالعات زمین‌شناسی، لایه‌های سنگی تشکیل‌دهنده منطقه، انواع دگرسانی‌ها و عمر و دوران زمین‌شناسی تشکیل ساختارهای زمین‌شناسی موجود، تعیین و در قالب نقشه‌ها و گزارش‌های متنوع، تدوین می‌گردد [۲۷]. در مطالعات ژئوشیمیایی، جنس خاک منطقه از نظر عناصر شیمیایی، مورد آزمایش‌های دقیق قرار می‌گیرد و نقشه آنومالی ژئوشیمیایی که وضعیت منطقه را از نظر دارا بودن مواد معدنی مورد نظر نشان می‌دهد، تهیه می‌شود. در نهایت، مطالعات ژئوفیزیکی انجام می‌گیرد که در آن، منطقه از نظر ویژگی‌هایی نظیر قابلیت گذردهی الکتریسیته، مقاومت الکتریکی و شدت میدان مغناطیسی، با وسایل اندازه‌گیری مخصوصی مورد سنجش قرار می‌گیرد و نقشه‌های متنوعی نظیر نقشه‌های مقاومت ظاهری، شارژ بیلته و شدت کل میدان مغناطیسی، تهیه می‌گردد [۲۸].

شبکه عصبی، را می‌توان به شکل یک جعبه سیاه دانست که از یک سو ورودی‌هایی به آن وارد و از سوی دیگر جواب گرفته می‌شود. اتفاقاتی که درون این جعبه منجر به تولید جواب می‌شود، توسط خود شبکه، ساماندهی و کنترل می‌گردد [۸].

ایده اصلی شبکه‌های عصبی مصنوعی، از مغز انسان گرفته شده است. مغز، از واحدهای پردازشی کوچکی به نام نرون تشکیل شده است. بر خلاف کامپیوترها که پردازش را به صورت متوالی و با سرعت بسیار بالا انجام می‌دهند، مغز اطلاعات را در بین واحدهای پردازشگر کوچک، اما بسیار زیاد خود پخش می‌کند و پردازش را به صورت موازی ترتیب می‌دهد [۱۷]. در ایده شبکه‌های عصبی مصنوعی، سرعت چشمگیر کامپیوترها با ساختار موازی و کارآمد مغز، در هم آمیخته و سامانه‌ای با ویژگی‌های مفیدی نظیر قابلیت یادگیری و مقاومت در برابر خطا را، تشکیل داده است [۱۸].

یادگیری در شبکه‌های عصبی مصنوعی

آموزش‌پذیری، از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های عصبی، به شمار می‌رود [۱۹، ۲۰]. میزان ارتباط بین نرون‌ها و اطلاعات ورودی به آن‌ها، توسط اعدادی که وزن نامیده می‌شوند، تعیین می‌شود. از آرایش مختلف نرون‌ها، شبکه‌های عصبی متنوع تولید می‌شوند و روند آموزش، روندی است که منجر به تنظیم وزن‌های درونی شبکه می‌گردد [۱۷، ۲۰، ۲۱]. پیش از استفاده از شبکه، باید آن را توسط داده‌های آموزشی، آموزش داد. با تکمیل روند آموزش، وزن‌های درونی شبکه تنظیم می‌شوند و می‌توان از این شبکه، جهت تحلیل داده‌های ورودی دیگر و ارائه خروجی، استفاده نمود [۱۹].

بر اساس نوع آموزش، شبکه‌های عصبی به دو دسته کلی با سرپرست و بدون سرپرست، تقسیم‌بندی می‌شوند [۲۲]. شبکه‌های عصبی با سرپرست، به انواعی اطلاق می‌گردد که در مرحله آموزش با جواب‌های صحیح، آموزش داده می‌شوند. به این معنی که، به ازای هر ورودی، پاسخ شبکه با پاسخ صحیح مقایسه می‌شود و با روندی که به پس‌انتشار خطا معروف است، وزن‌های درونی در جهت رسیدن به پاسخ‌های صحیح، تصحیح می‌گردند. در مقابل، در شبکه‌های بدون سرپرست، آرایش نرون‌ها به صورتی است که به جوابی همگرا گردد و پاسخ‌های صحیح، در دسترس نمی‌باشند [۲۳، ۲۴].

شبکه پرسپترون چند لایه

شبکه پرسپترون چند لایه، یکی از انواع پرکاربرد شبکه‌های با سرپرست است. این شبکه، از چند لایه نرون تشکیل یافته است که اطلاعات را لایه به لایه پردازش می‌کنند و خروجی هر لایه در اختیار لایه بعدی قرار می‌گیرد [۲۵]. نمای کلی این شبکه، در شکل ۱، نشان داده شده است.

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

کانسار مورد مطالعه در این تحقیق، کانسار مس پرفیری علی‌آباد واقع در ۷۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان یزد است. داده‌ها و اطلاعات این کانسار، از شرکت ملی صنایع مس ایران اخذ گشته‌اند. از ویژگی‌های بارز و مهم این کانسار، انجام هر سه دسته مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی در منطقه و علاوه بر آن، وجود ۵۱ حلقه چاه اکتشافی است که تنها ۲۶ چاه از مجموعه مورد نظر در محدوده مشترک تمامی مطالعات، قرار می‌گیرد. این اشکال، به دلیل عدم استفاده از سیستم مختصات یکسان در مطالعات گوناگون و عدم لحاظ مراتب زمین- مرجع سازی، ایجاد شده است.

روش پژوهش

در این تحقیق، حاصل هر سه دسته مطالعات اکتشافی به عنوان داده‌های ورودی شبکه عصبی، مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر آن، چاه‌های اکتشافی به عنوان شواهدی از جواب مسئله برای آموزش شبکه و وزن‌دهی داده‌ها، به کار گرفته شده‌اند. از میان ۲۶ چاه اکتشافی موجود در منطقه مشترک، ۱۶ چاه برای آموزش شبکه و ۱۰ چاه باقیمانده نیز برای آزمون نتایج، در نظر گرفته شده‌اند.

گرچه داده‌های متنوع زیادی می‌توانند به عنوان شواهدی بر وجود مس در این کانسار استفاده شوند، ولی چنانچه هیچ یک از چاه‌های اکتشافی در محدوده یکی از داده‌ها قرار نگیرد، شبکه عصبی و به طور کلی یک روش داده- مبنا، قادر نخواهد بود اهمیتی برای آن قائل شود و لذا، این داده به صورت خودکار از زمره داده‌های ورودی، حذف خواهد گردید [۴]. با توجه به این مورد، داده‌هایی که امکان استفاده در این روش را دارند، عبارتند از: نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی، ژئومغناطیس و ژئوالکتریک، نقشه سنگ میزبان و آلتراسیون فیلک. پیش از ورود داده‌ها به شبکه، با تست‌های همبستگی صورت گرفته مشخص گردید که دو لایه آلتراسیون فیلک و سنگ میزبان دارای همبستگی مکانی غیر قابل صرف نظر کردن هستند و لذا، این دو داده با استفاده از اپراتور منطقی *and*، با یکدیگر تلفیق شدند و لایه‌ای به نام فیلک- میزبان شکل گرفت.

مقادیر موجود در لایه‌های مورد نظر، ابتدا نرمالیزه شدند به صورتی که تمام مقادیر موجود در هر لایه، در محدوده بین صفر و یک، قرار گرفت. این نقشه‌ها، که همگی در قالب مدل داده‌ای رستر و به اندازه سلول 1×1 متر هستند، از نقشه‌های اولیه‌ای با مقیاس‌های $1:2000$ تا $1:5000$ به دست آمده‌اند و به همراه نقشه چاه‌های اکتشافی در شکل ۲، قابل ملاحظه هستند. شایان ذکر است که، آنومالی‌ها به سه دسته حد زمینه، حد واسط و آنومالی طبقه‌بندی شدند.

آموزش شبکه عصبی

در مختصات هر یک از ۱۶ چاه اکتشافی آموزشی، چهار داده از چهار لایه اخذ می‌گردد. بدین ترتیب، تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر چهار

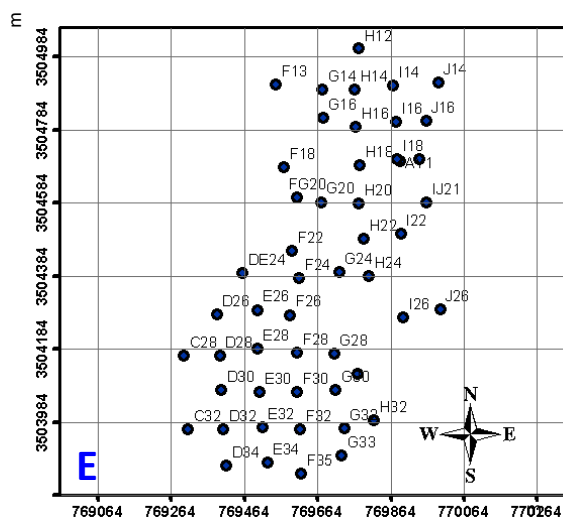
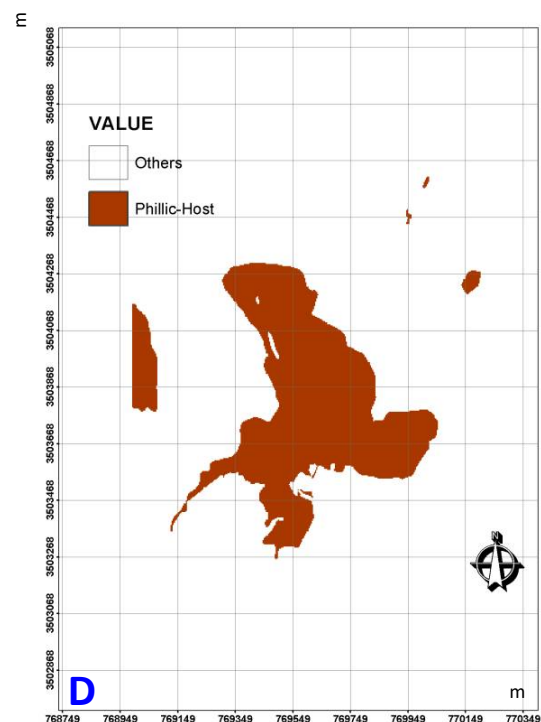
شایان ذکر است که، تمامی مطالعات فوق الذکر بر روی سطح زمین انجام می‌شوند و تنها، مطالعات ژئوفیزیکی می‌توانند اطلاعات اندکی راجع به درون زمین کسب نمایند، حال آن‌که معدن احتمالی در درون زمین واقع شده است.

محدوده‌ای که احتمال وجود ذخایر معدنی در آن داده می‌شود و مطالعات در آن صورت می‌پذیرد، کانسار نامیده می‌شود [۲۹]. مطالعات انجام گرفته، توسط کارشناسان به دقت تحلیل می‌شود و با تلفیق آنها، متخصصان حدس‌هایی در مورد کم و کیف مواد موجود در درون زمین می‌زنند. با این حال، این نظرات به هیچ وجه قطعی نیستند و وابستگی بسیار بالایی نیز به میزان تخصص و مهارت کارشناسان دارند. چنانچه این گمانه‌زنی‌ها مبنی بر وجود ذخایر معدنی قابل توجه و دارای صرفه اقتصادی باشد، لازم است که برای تعیین صحت و سقم این نظرات به اعماق زمین دسترسی یافت. این کار، از طریق چاه‌هایی که در محدوده کانسار حفر می‌شوند و چاه‌های اکتشافی نام دارند، انجام می‌گیرد [۳۰]. حفر چاه‌های اکتشافی، عملیاتی بسیار پرهزینه است و عدم دقت در گمانه‌زنی‌های اولیه، اتلاف زمان و هزینه‌ای هنگفت را به دنبال خواهد داشت. از این رو است که روش‌هایی که به بهترین شکل، محل وجود ماده معدنی را در عمق زمین پیش‌بینی نمایند، از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردارند.

حاصل گمانه‌زنی‌های کارشناسان و یا روش‌های جایگزین، نقشه‌ای است که نشان‌گر مناطق دارای پتانسیل معدنی مختلف از پتانسیل پایین تا بالاست و نقشه پتانسیل معدنی، نام دارد [۳۱، ۳۲]. با حفر چاه‌های اکتشافی، صحت پیش‌بینی انجام شده برای محدوده‌های دارای پتانسیل معدنی بالا، سنجیده می‌شود. روش شبکه عصبی در این مقاله، جهت تعیین این نقشه به کار گرفته شده است.

کانسار مس پرفیری

اطلاق واژه پرفیری برگرفته از منشأ تشکیل کانسار است. در این تیپ کانسار، یک توده پرحرارت که به توده پرفیریتیک موسوم است، از اعماق زمین به لایه‌های بالایی، نفوذ می‌کند. این توده، سبب بروز دگرسانی- هایی در سنگ‌های اطراف خود می‌شود که این دگرسانی‌ها بر حسب نوع، به اسامی مختلفی همچون پتاسیک، فیلک، آرژیلیک و پروپیلیتیک، نامیده می‌شوند [۱۹]. آب‌های زیرزمینی که در طبقات مختلف زمین نفوذ می‌کنند به توده پرحرارت پرفیریتیک برخورد نموده، گرم شده، مجدداً به سمت بالا حرکت می‌کنند. در جریان برخورد آب‌ها با توده پرفیریتیک، مس با آب پرحرارت واکنش نشان داده، در آن حل می‌شود و این آب‌ها در لایه‌های بالاتر، همزمان با روند سرمایش، مس را در سنگ‌های عبوری به جای می‌گذارند و به تدریج کانی‌های اطراف را دارای مس می‌کنند [۱۹]. غلظت مس در یک کانسار پرفیری معمولاً حداکثر تا یک درصد و عمق معدن نیز، حداکثر دو کیلومتر است [۱۷]. سنگ پایه‌ای که کانی‌های مس‌دار در آن رسوب کرده است، سنگ میزبان و سنگ‌های اطراف آن، سنگ‌های دیواره نامیده می‌شوند [۱۸].



شکل ۲: نقشه‌های به ترتیب A: آنومالی ژئومغناطیس، B: آنومالی ژئوالکتریک، C:

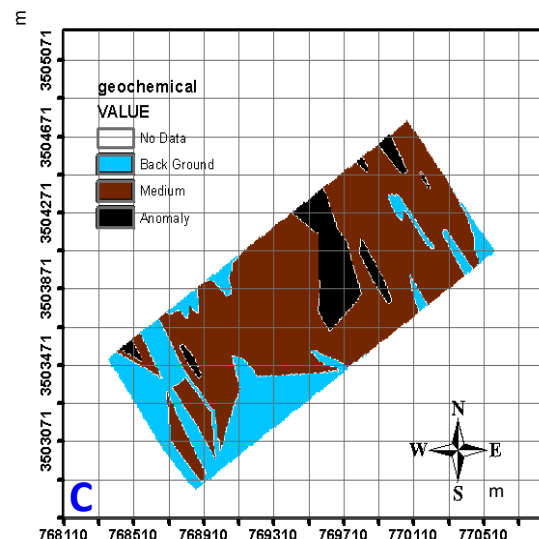
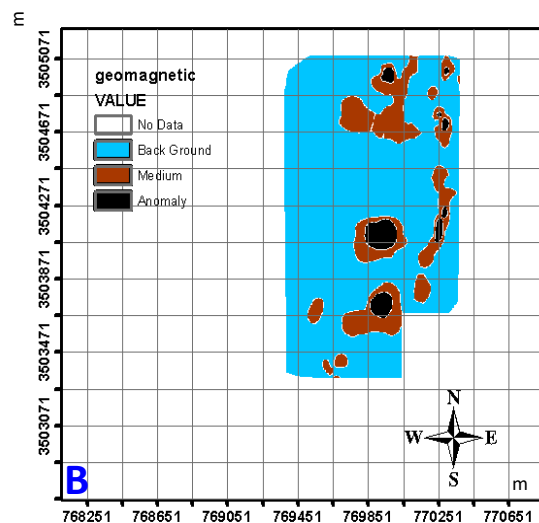
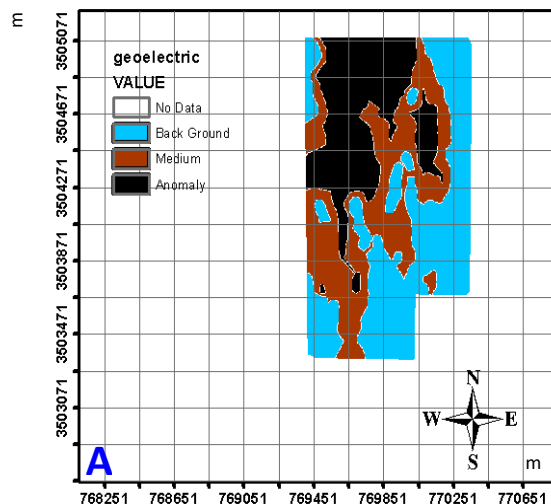
آنومالی ژئوشیمیایی، D: فلیک میزبان و E: چاههای اکتشافی.

Fig. 2: The maps of A: Geomagnetic Anomaly, B: Geochemical Anomaly, C: Geochemical Anomaly, D: Phillic-host, E: Boreholes

مطلوب و یا ضعیف بودن چاه‌ها با توجه به نتایج نمونه‌برداری آن‌ها در اعماق مختلف و توسط کارشناس مجرب، تعیین گردیده است. در نتیجه، جواب اولیه شبکه با جواب واقعی، مقایسه می‌شود و جهت آموزش شبکه، مورد استفاده قرار می‌گیرد. با تکرار روند آموزش، شبکه به جواب‌های مورد نظر، همگرا می‌گردد.

آنچه در این میان اهمیت زیادی دارد، تعیین مناسب‌ترین ساختار شبکه است که شامل تعیین تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌های موجود در هر یک است. برای این منظور، از روش سعی و خطا استفاده

خواهد بود. خروجی شبکه به ازای این داده‌های ورودی باید مقدار یک، در مورد چاه‌های مطلوب و مقدار صفر، در مورد چاه‌های ضعیف باشد.



شد. بدین ترتیب که پس از آموزش و همگرا شدن شبکه، داده‌های موجود برای ۱۰ چاه باقی‌مانده به شبکه آموزش یافته، ارائه گردید و جواب شبکه با پاسخ‌های واقعی، مقایسه شد. معیار مقایسه، ریشه مجموع مربعات خطا ($RMSE$) بود و شبکه‌ای به عنوان بهترین شبکه، انتخاب گردید که دارای کمترین $RMSE$ بود. گفتنی است که شبکه تشکیل یافته، یک شبکه پرسپترون چند لایه با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا (از نوع $Levenberg-Marquart$) و یک لایه پنهان می‌باشد. تابع محرک در دو لایه اول به صورت خطی و در لایه خروجی از نوع تانژانت هیپربولیک است.

استخراج وزن از شبکه عصبی

وزن‌های درونی شبکه، نشانگر میزان اهمیتی است که نرون‌ها برای داده‌های ورودی قائل شده‌اند. بنابراین با دست بردن در این جعبه سیاه می‌توان به وزن‌ها دست یافت و از آن‌ها در مقاصد مفیدی از جمله روش‌های دیگر تلفیق داده، استفاده نمود [۱۹]. چنانچه شبکه پرسپترون به صورت یک لایه و در واقع فاقد لایه پنهان باشد، وزن‌ها مستقیماً قابل استفاده هستند اما چنانچه لایه پنهان وجود داشته باشد، چندین لایه دارای وزن، وجود دارد. در این حالت، وزن‌های نهایی مورد نظر با ضرب کردن ماتریس‌های وزن هر لایه از نرون‌ها، به دست می‌آید [۲۵].

در این تحقیق، شبکه‌ای با دو لایه پنهان، هشت نرون در لایه پنهان اول و سه نرون در لایه پنهان دوم، کوچک‌ترین $RMSE$ را تولید نمود و به عنوان بهترین آرایش شبکه، مورد استفاده قرار گرفت. با ضرب نمودن ماتریس‌های وزن لایه‌ها، وزن‌های نهایی به دست آمد که در جدول ۱، قابل ملاحظه‌اند

جدول ۱: وزن‌های استخراج شده از شبکه عصبی در دو شرایط استفاده و عدم استفاده از لایه آنومالی ژئومغناطیس

وزن به دست آمده	آنومالی ژئومغناطیس	آنومالی ژئوشیمیایی	آنومالی ژئوالکتریک	فیلیک-میزبان
Gained weight	Geomagnetic anomaly	Geochemical anomaly	Geoelectric anomaly	Filik-Host
با آنومالی ژئومغناطیس	-8.5420	0.1417	0.0909	0.0754
With geomagnetic anomaly				
بدون آنومالی ژئومغناطیس	-----	220.8821	45.7031	37.1522
No geomagnetic anomaly				

با مقایسه چاه‌های اکتشافی و لایه آنومالی ژئومغناطیس، این نکته مشهود است که این لایه، همگونی مطلوبی با شرایط چاه‌ها ندارد و حتی می‌تواند به صورت عکس به عنوان شاهدی مبنی بر عدم وجود ماده معدنی، تلقی گردد. این نکته در وزن‌های به‌دست آمده نیز، آشکار است

و وزن به دست آمده برای این لایه علاوه بر مقدار منفی، از نظر عددی بسیار بزرگ‌تر از سایر وزن‌هاست. از آن‌جا که دلایل قطعی مبنی بر وجود کانسار مطلوب، تنها از طریق مشاهده مستقیم و حفاری منطقه به دست می‌آید، وجود شواهدی نظیر آنومالی ژئومغناطیس، دلایلی قطعی به شمار نمی‌روند و کارشناسان، همگونی وجود این شواهد را با وجود مواد معدنی در موارد مختلف بررسی کرده، مدل‌هایی استخراج می‌کنند. در مطالعه موردی موضوع این مقاله، آنومالی ژئومغناطیس شاهد مناسبی برای وجود مس دیده نشد.

برای رفع این کاستی، تمام عملیات انجام گرفته، با حذف لایه آنومالی ژئومغناطیس، مجدداً انجام پذیرفت. نتایج این عمل، نشان‌گر بهبود چشمگیر $RMSE$ در صورت حذف این لایه است. به صورتی که کم‌ترین $RMSE$ در صورت حذف لایه آنومالی ژئومغناطیس به شکل محسوسی تقلیل یافته، با یک شبکه متشکل از دو لایه پنهان، شش نرون در لایه پنهان اول و چهار نرون در لایه پنهان دوم، به مقدار ۰/۱۲۵۹ می‌رسد که این مقدار در حالت استفاده از آنومالی ژئومغناطیس، ۰/۲۷۸۰ به دست آمده بود. وزن‌های به‌دست آمده از این شبکه نیز، به همان ترتیب استخراج گردید و در جدول ۱، قابل ملاحظه است.

تلفیق داده‌ها و تهیه نقشه پتانسیل معدنی

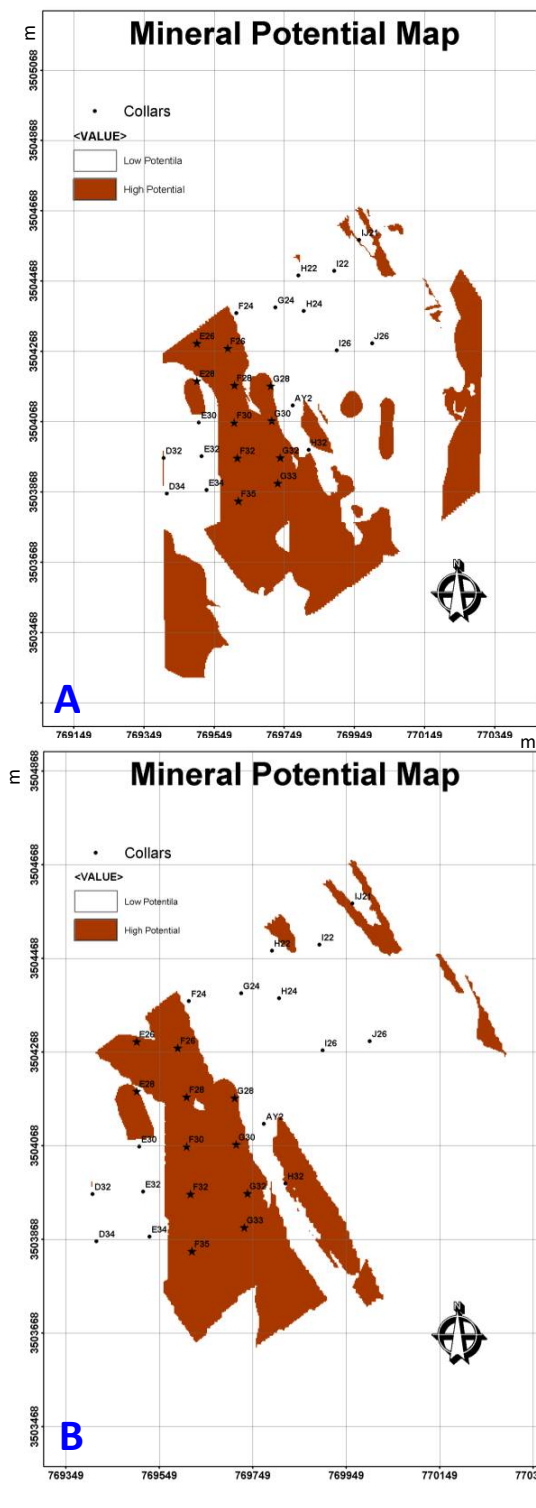
تلفیق داده‌های موجود، به دو صورت امکان‌پذیر می‌باشد. حالت اول، استفاده از شبکه عصبی طراحی شده و حالت دوم، استفاده از یک روش تلفیق جداگانه و به‌کارگیری وزن‌های به‌دست آمده از شبکه است. این دو حالت، هر دو در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روش تلفیق مورد استفاده، همپوشانی شاخص نام دارد [۲۵]. روش همپوشانی شاخص با یک رویکرد خطی، مطابق رابطه (۱) به تلفیق داده‌ها می‌پردازد [۴]:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij} W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

که در آن، $\bar{S}$ مقدار تلفیقی به‌دست آمده برای عارضه (پلیگن یا پیکسل)، W_i وزن i امین نقشه ورودی، S_{ij} امتیاز i امین کلاس از i امین نقشه و n تعداد نقشه‌های تلفیقی است. با به‌کارگیری این رابطه، نقشه پتانسیل معدنی در هر دو حالت استفاده و عدم استفاده از نقشه آنومالی ژئومغناطیس، تهیه گردید که در شکل ۳، به نمایش در آمده‌اند.

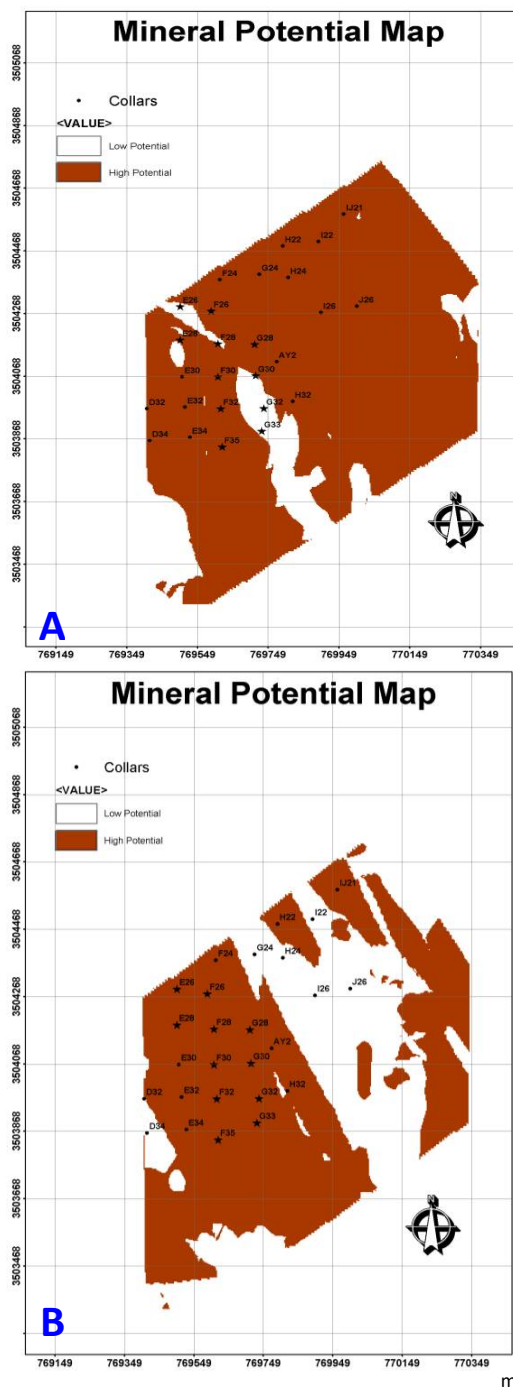
از سوی دیگر، نقشه‌های اولیه را می‌توان با استفاده از شبکه آموزش یافته نیز تلفیق کرده، مبادرت به تهیه نقشه پتانسیل معدنی نمود. بدین منظور، مقادیر متناظر با هر سلول در هر یک از سه یا چهار نقشه اولیه وارد شبکه شده و جواب، استخراج می‌گردد. این جواب، نشان‌گر میزان پتانسیل معدنی است که شبکه برای سلول مزبور، پیش‌بینی نموده است.

از کنار هم قرار گرفتن این جواب‌ها در مختصات خود، نقشه پتانسیل معدنی به‌دست خواهد آمد. این نقشه نیز، در دو حالت استفاده و عدم استفاده از نقشه آنومالی ژئومگناطیس، تهیه گردیده و در شکل ۴ قابل ملاحظه است.



شکل ۴: نقشه‌های پتانسیل معدنی به دست آمده با استفاده از روش تلفیق شبکه عصبی. A: با در نظر گرفتن لایه آنومالی ژئومگناطیس و B: بدون در نظر گرفتن لایه آنومالی ژئومگناطیس. جاهای ضعیف با علامت نقطه و جاهای مطلوب با علامت ستاره مشخص شده‌اند.

Fig. 4: The mineral potential map produced by artificial neural network in two cases of A: Considering geomagnetic anomaly and B: Ignoring geomagnetic anomaly. The low potential boreholes are signed by point and the high potential boreholes are signed by star



شکل ۳: نقشه‌های پتانسیل معدنی به دست آمده با استفاده از روش تلفیق همپوشانی شاخص در دو حالت A: با در نظر گرفتن لایه آنومالی ژئومگناطیس و B: بدون در نظر گرفتن لایه آنومالی ژئومگناطیس. جاهای ضعیف با علامت نقطه و جاهای مطلوب، با علامت ستاره مشخص شده‌اند.

Fig. 3: The mineral potential maps produced by Index Overlay method in two cases of A: Considering geomagnetic layer and B: Ignoring geomagnetic layer

جدول ۲: طبقه‌بندی چاه‌های اکتشافی با استفاده از روش‌های پیاده‌سازی شده. a مبین دقت تولید و k دقت کل می‌باشد

Table 2: The classification of boreholes based on the implemented methods. a shows the producer accuracy and k is the overall accuracy

روش همپوشانی شاخص و وزن‌های به دست آمده از شبکه عصبی با احتساب آنومالی ژئومغناطیس The index overlap method and the weights obtained from the neural network, including the geomagnetic anomaly							
	ارزیابی مطلوب Favorable evaluation	ارزیابی ضعیف Poor evaluation	دقت Precision		ارزیابی مطلوب Favorable evaluation	ارزیابی ضعیف Poor evaluation	دقت Precision
چاه مطلوب Desirable well	2	2	$a = 50\%$		چاه مطلوب Desirable well	7	$a = 63.64\%$
چاه ضعیف Weak well	6	0	$a = 00\%$		چاه ضعیف Weak well	15	$a = 00\%$
مجموع Total	8	2	$k = 20\%$		مجموع Total	22	$k = 26.92\%$
روش همپوشانی شاخص و وزن‌های به دست آمده از شبکه عصبی بدون احتساب آنومالی ژئومغناطیس The index overlap method and the weights obtained from the neural network without considering the geomagnetic anomaly							
	ارزیابی مطلوب Favorable evaluation	ارزیابی ضعیف Poor evaluation	دقت Precision		ارزیابی مطلوب Favorable evaluation	ارزیابی ضعیف Poor evaluation	دقت Precision
چاه مطلوب Desirable well	4	0	$a = 100\%$		چاه مطلوب Desirable well	11	$a = 100\%$
چاه ضعیف Weak well	3	3	$a = 50\%$		چاه ضعیف Weak well	8	$a = 46.67\%$
مجموع Total	7	3	$k = 70\%$		مجموع Total	19	$k = 69.23\%$
شبکه عصبی با احتساب آنومالی ژئومغناطیس Neural network including geomagnetic anomaly							
	ارزیابی مطلوب Favorable evaluation	ارزیابی ضعیف Poor evaluation	دقت Precision		ارزیابی مطلوب Favorable evaluation	ارزیابی ضعیف Poor evaluation	دقت Precision
چاه مطلوب Desirable well	3	1	$a = 75\%$		چاه مطلوب Desirable well	10	$a = 90.91\%$
چاه ضعیف Weak well	0	6	$a = 100\%$		چاه ضعیف Weak well	0	$a = 100\%$
مجموع Total	3	7	$a = 90\%$		مجموع Total	10	$k = 96.15\%$
شبکه عصبی بدون احتساب آنومالی ژئومغناطیس Neural network excluding geomagnetic anomaly							
	ارزیابی مطلوب Favorable evaluation	ارزیابی ضعیف Poor evaluation	دقت Precision		ارزیابی مطلوب Favorable evaluation	ارزیابی ضعیف Poor evaluation	دقت Precision
چاه مطلوب Desirable well	4	0	$a = 100\%$		چاه مطلوب Desirable well	11	$a = 100\%$
چاه ضعیف Weak well	0	6	$a = 100\%$		چاه ضعیف Weak well	0	$a = 100\%$
مجموع Total	4	6	$k = 100\%$		مجموع Total	11	$k = 100\%$

با توجه به این که پاسخ‌ها در مرحله آموزش، صفر یا یک هستند، پس از اعمال داده‌های غیر آموزشی نیز، پاسخ‌های شبکه، پیرامون این دو مقدار قرار می‌گیرند و لذا، تمایز آن‌ها آشکار است. با توجه به این مطلب، می‌توان از شکست طبیعی برای طبقه‌بندی استفاده نمود. در این نوع طبقه‌بندی با رسم نمودار توزیع تجمعی داده‌ها، شکست‌های موجود در بین آن‌ها مشخص می‌گردد و این شکست‌ها به عنوان حدود تمایز در نظر گرفته می‌شوند [۸]. با بهره‌گیری از روش‌های فوق‌الذکر، نقشه‌های به دست آمده در دو کلاس، طبقه‌بندی شده‌اند.

از آن جا که چاه‌های اکتشافی به دو دسته چاه‌های مطلوب و چاه‌های ضعیف تقسیم‌بندی می‌شوند، لازم است که نقشه پتانسیل معدنی نیز برای ارزیابی جواب، در دو کلاس دارای پتانسیل معدنی بالا و پایین، طبقه‌بندی گردد. در حالت استفاده از روش همپوشانی شاخص، یک کارشناس با در نظر گرفتن معیارهای مورد نظر در طبقه‌بندی چاه‌ها، جواب‌ها را که در بازه بین صفر و یک، قرار می‌گیرند به دو دسته تقسیم‌بندی نمود و حد تمایز این دو طبقه، مقدار 0.45 تعیین گردید. در حالت استفاده از شبکه عصبی برای تلفیق داده‌ها، از روش تماماً داده- مبنا استفاده گردید که در آن نظر کارشناسی حذف شده است.

بحث و تحلیل نتایج

وزن‌های به دست آمده از شبکه عصبی، همگونی مناسبی با روش تلفیقی همپوشانی شاخص ندارند و تنها می‌توانند برای رتبه‌بندی داده‌ها از نظر میزان اعتبار و اهمیت، مورد استفاده واقع شوند. در این حالت، وزن منفی به دست آمده برای لایه آنومالی ژئومغناطیس، نشان می‌دهد که شبکه نیز، وضع ظاهری موجود، مبنی بر عدم تأثیر مثبت آنومالی ژئومغناطیس در وجود پتانسیل معدنی مس را، کشف و تأیید می‌نماید. شبکه‌های عصبی، با نشان دادن این قابلیت‌ها، توانایی استفاده گسترده‌تر خود را در امر معدن کاوی و اکتشافات معدنی، متصور می‌سازند.

مشارکت نویسندگان

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

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله، از شرکت ملی صنایع مس ایران به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های لازم، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع و مآخذ

- [1] Alesheikh AA, Soltani MJ, Nouri N, Khalilzadeh M. Land assessment for flood spreading site selection using geospatial information system. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 2008;5(4):455-462.
- [2] Malczewski J. GIS and Multicriteria Decision Analysis: John Wiley & Sons; 1999.
- [3] Thorson JT, Monnahan CC, Hulson P-JF. Data weighting: An iterative process linking surveys, data synthesis, and population models to evaluate mis-specification. *Fisheries Research*. 2023;266:106762.
- [4] Bonham-Carter GF. Geographic Information systems for Geoscientists: Modelling with GIS: Elsevier Ltd; 1994.
- [5] Linston HA, Turoff M. The Delphi Method: Techniques and Applications: Addison Wesley Publishing Company; 1975.
- [6] Alesheikh AA, Sadeghi Naeeni Fard F. Design and implementation of a knowledge-based system to improve maximum likelihood classification accuracy. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 2007;33(6):459-467.
- [7] Ahmed F, Kim K-Y. Recursive approach to combine expert knowledge and data-driven RSW weldability certification decision making process. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2023;79:102428.
- [8] Kanungo DP, Arora MK, Sarkar S, Gupta RP. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide

با استفاده از نتایج به دست آمده و مقایسه روش‌ها، چاه‌های اکتشافی که در دو دسته مطلوب و ضعیف طبقه‌بندی شده‌اند، به خوبی نشانگر دقت روش‌ها در تعیین حدود مناطق دارای پتانسیل معدنی بالا هستند. چنان‌چه، یک چاه مطلوب در منطقه مطلوب و یک چاه ضعیف در منطقه ضعیف واقع شود، ارزیابی درست و در غیر این صورت ارزیابی نادرست، صورت پذیرفته است. نتایج ارزیابی چاه‌ها در دو حالت، یکی با استفاده از ۱۰ چاه و دیگری با استفاده از تمامی چاه‌ها در جدول ۲، آورده شده است. در این جدول، دقت کل محصل جمع اعداد قطر اصلی به جمع اعداد کل جدول است. دقت تولید هم در هر سطر، حاصل تقسیم عدد واقع در قطر اصلی به جمع اعداد آن سطر می‌باشد.

با مرور نقشه‌ها، به آسانی مشخص می‌شود که وزن‌های به دست آمده از شبکه عصبی، همگونی مناسبی با روش همپوشانی شاخص ندارند. با این وجود، این وزن‌ها می‌توانند به عنوان یک راهنما در روش‌های دانش - مبنا برای هدایت کارشناسان، مورد استفاده قرار بگیرند، چراکه صرف نظر از مقادیر عددی به دست آمده برای آن‌ها، رتبه‌بندی داده‌ها از نظر میزان اهمیت، می‌تواند راهنمای خوبی برای کارشناسان قلمداد گردد. از سوی دیگر، نقشه آنومالی ژئومغناطیس در این کانسار، شاهد مناسبی برای پتانسیل معدنی مس به شمار نمی‌رود که این مهم، با توجه به وزن به‌دست آمده برای این لایه و نقشه‌های به‌دست آمده با در نظر گرفتن این لایه، کاملاً مشهود است.

نتیجه‌گیری

حجم اطلاعات در دنیای امروز، به شکل گسترده‌ای رو به فزونی و نیاز به سیستم‌هایی که قابلیت پردازش اطلاعات در حجم بالا را دارند، به شدت رو به افزایش است. در این میان، GIS به عنوان سامانه و علم تخصصی استفاده و پردازش اطلاعات مکانی، جایگاه مناسبی پیدا کرده است. لزوم تعیین اهمیت نسبی اطلاعات، سبب گشته است روش‌های تخصیص وزن در GIS نیز مطرح شده، به طور گسترده‌ای مورد توجه واقع شوند. در این پژوهش از GIS همراه با شبکه عصبی مصنوعی برای تولید نقشه پتانسیل معدنی یک کانسار مس پرفیری استفاده شد. نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده، توسط روش تلفیق شبکه عصبی و بدون در نظر گرفتن لایه آنومالی ژئومغناطیس، تمامی ۲۶ چاه، اهم از ۱۶ چاه آموزشی و ۱۰ چاه باقی‌مانده را به صورت صحیح، طبقه‌بندی نموده است. این موفقیت، قابلیت استفاده و کاربرد شبکه‌های عصبی و به ویژه، شبکه پرسپترون چند لایه را در کاربردهای معدنی، رخنمون می‌سازد. علاوه بر آن، با وجود این‌که نقشه آنومالی ژئومغناطیس در این کانسار، شاهد مناسبی در پتانسیل معدنی مس دیده نمی‌شود، استفاده از آن، موجب انحراف کامل شبکه عصبی نمی‌گردد و تنها، یک افت نسبی را در نتایج به دنبال دارد. این امر، نشان‌دهنده قابلیت انعطاف بالا و تحمل خطا، در شبکه‌های عصبی است. از سوی دیگر، دیده شد که

- [22] Basheer IA, Hajmeer M. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of Microbiological Methods*. 2000;43(1):3-31.
- [23] Elminir HK, Abdel-Galil H. Estimation OF Air Pollutant Concentrations from Meteorological Parameters Using Artificial Neural Network. *Journal of Electricla Engineering*. 2006;57(2):105-110.
- [24] Fernando H, Surgenor B. An unsupervised artificial neural network versus a rule-based approach for fault detection and identification in an automated assembly machine. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2017;43:79-88.
- [25] Lee S, Evangelista DG. Earthquake-induced landslide-susceptibility mapping using an artificial neural network. *Nat Hazards Earth Syst Sci*. 2006;6(5):687-695.
- [26] Mehrotra K, Mohan CK, Ranka S. Elements of Artificial Neural Networks: MIT Press; 1997.
- [27] Lee S, Ryu J-H, Won J-S, Park H-J. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology*. 2004;71(3):289-302.
- [28] Ford A, Hart CJR. Mineral potential mapping in frontier regions: A Mongolian case study. *Ore Geology Reviews*. 2013;51:15-26.
- [29] Wang F, Tian Y, Zhou K, Yang R, Tan T, Wang Y, et al. Using a triblock copolymer as a single additive in high aspect ratio through silicon via (TSV) copper filling. *Microelectronic Engineering*. 2021;244-246:111554.
- [30] Bièvre G, Crouzet C. Multi-proxy analysis of boreholes in remolded Quaternary paraglacial deposits (Avignonet landslide, French Western Alps). *Engineering Geology*. 2021;286:106073.
- [31] Ford A, Peters KJ, Partington GA, Blevin PL, Downes PM, Fitzherbert JA, et al. Translating expressions of intrusion-related mineral systems into mappable spatial proxies for mineral potential mapping: Case studies from the Southern New England Orogen, Australia. *Ore Geology Reviews*. 2019;111:102943.
- [32] Davies RS, Groves DI, Trench A, Dentith M. Towards producing mineral resource-potential maps within a mineral systems framework, with emphasis on Australian orogenic gold systems. *Ore Geology Reviews*. 2020;119:103369.
- [9] Świetlicka A, Kolanowski K. Homogeneous ensemble model built from artificial neural networks for fault detection in navigation systems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2023;432:115279.
- [10] Koocheki K, Pietruszczak S. Numerical analysis of large masonry structures: bridging meso and macro scales via artificial neural networks. *Computers & Structures*. 2023;283:107042.
- [11] Sun T, Chen F, Zhong L, Liu W, Wang Y. GIS-based mineral prospectivity mapping using machine learning methods: A case study from Tongling ore district, eastern China. *Ore Geology Reviews*. 2019;109:26-49.
- [12] Choi Y, Baek J, Park S. Review of GIS-Based Applications for Mining: Planning, Operation, and Environmental Management. *Applied Sciences [Internet]*. 2020; 10(7):2266.
- [13] Köhler M, Hanelli D, Schaefer S, Barth A, Knobloch A, Hielscher P, et al. Lithium Potential Mapping Using Artificial Neural Networks: A Case Study from Central Portugal. *Minerals [Internet]*. 2021; 11(10):1046 p.
- [14] Hosseinali F, Alesheikh AA, Weighting Spatial Information in GIS for Copper Mining Exploration. *American Journal of Applied Sciences*. 2008; 5(9):1187-1198.
- [15] Mohammadi M, Hosseinali F. Assessment and Comparison the Location of Six Universities in Tehran City Using GIS and Multi Criteria Decision Making Methods. *International Journal of Environment and Geoinformatics*. 2019;6(1):143-147.
- [16] Feng L, Liao W, Pang J, Hu R, Feng L. Artificial Neural Network in Classification of Multisource Remote Sensing Images. *International Transactions on Electrical Energy Systems*. 2022;2022:5439941.
- [17] Menhaj MB. The Fundamentals of Artificial Neural Networks: Polytechnic University of Tehran; 2016. Persian.
- [18] Alanis AY, Arana-Daniel N, Lopez-Franco C. Artificial Neural Networks for Engineering Applications: Elsevier Science; 2019.
- [19] Beale R, Jackson T. Neural Computing - An Introduction: CRC Press; 1990.
- [20] Guo Y, Peng W, Chen Y, Zhang L, Liu X, Huang X, et al. Joint A-SNN: Joint training of artificial and spiking neural networks via self-Distillation and weight factorization. *Pattern Recognition*. 2023;142:109639.
- [21] Korbar J, Ocepek D, Čepcon G, Boltežar M. Training artificial neural networks using substructuring techniques: Application to joint identification. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023;198:110426.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



طلوع سیلاوی 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 سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ از دانشگاه تهران

گرایش شد و این دوره را نیز در سال ۱۳۸۶ پشت سر گذاشت. سرانجام وی موفق به اخذ مدرک دکتری تخصصی در رشته کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی از دانشگاه علم و صنعت ایران شد. ایشان هم‌اینک استادیار دانشکده علوم ریاضی و کامپیوتر دانشگاه شهید چمران اهواز می‌باشد و علاوه بر تدریس به تحقیق در زمینه‌های متنوعی شامل هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و شبکه‌های اجتماعی مشغول است.

Kheirkhahzadeh, M. Assistant Professor at the Department of Computer Science, Faculty of Mathematics and Computer Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

✉ m.kheirkhahzadeh@scu.ac.ir

شد. وی هم‌اینک به عنوان کارشناس پژوهشی گروه مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی در دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی تهران مشغول به فعالیت می‌باشد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان کیفیت‌سنجی اطلاعات مکانی، GIS تحت وب و برنامه‌نویسی پیشرفته است.

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

✉ silavi@alborz.kntu.ac.ir



معصومه خیرخواهزاده در سال ۱۳۷۹ دوره کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار در دانشگاه شهید چمران اهواز آغاز و در سال ۱۳۸۳ به پایان رساند و در همین سال وارد دوره کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران در همین رشته و

Citation (Vancouver): Silavi T, Kheirkhahzadeh M. [Using Artificial Neural Networks and Geospatial Information Systems in Mine Exploration for Producing Mineral Potential Map]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 103-114

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2022.1981>



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

Rapid sizing the Structure Subsystem of a Very High Resolution Satellite Based on the Design for System Performance Strategy

A. Kosari^{*1}, M. Saghamanesh², A. Ahmadi¹¹ Department of Aerospace Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran² School of Aerospace Engineering, Tsinghua University, Beijing, China

ABSTRACT

Received: 10 February 2023
 Reviewed: 4 April 2023
 Revised: 25 April 2023
 Accepted: 29 May 2023

KEYWORDS:

VHR PS-AEOS
 Remote Sensing
 Earth Observation Missions
 System Engineering
 Space Technology

✉ kosari_a@ut.ac.ir

☎ (+9821) 88497235

Background and Objectives: At the present time, the industry of space systems design, manufacture and launch has fallen out of favor with governments and numerous private sector representatives around the world are competing with each other for a greater share of this thriving business. The tendency from large single-satellites, high life-cycles in high-altitude orbits to high numbered constellations consisting of small satellites with low life-cycles and in low-altitude orbits is one consequence of this change. Space industries are increasingly keen to deploy small and low-cost satellites which demand for low-cost design. Technological advances in the design and manufacture of each satellite subsystem have accelerated this process and it has made the new generation of satellites superior not only in size but also in terms of performance. Minimizing multiple cycles in the design process and replacing cyclic optimization methods with straightforward ones can help improve this process.

Methods: Rapid sizing techniques are well-known in aircraft industries as they allow designers to quickly prepare a ball-park design for their intended aircraft. In this research, we propose a similar approach, for Very High Resolution Passive Scan Agile Earth Observation Satellites that allows designers to become aware of the design different boundaries. The key is to prepare a 2/D space which describes any specific mission-leg with respect to the key configuration parameters. Such a design tool exhibits critical mission phases and their relationship to the key technological factors. In this approach, a designer can quickly decide upon technological barriers that might influence the Research, Development, Test and Evaluation (RDT&E) phases of the design and/or negotiate with stakeholders on any changes to the satellite mission. As total life-cycle cost is normally influenced by decisions made during RDT&E phase, it is expected that this method play an essential role to keep the overall cost down. Such rapid-sizing technique allows designers to do more trade-studies. This research has been concentrated on three main issues: (1) Existence of a design space for RS-satellites (2) The parametric characteristics and influential parameters that form such space. One suitable case-study have been discussed to support the proposed methodology. The maximum mass of VHR-PS-AEOS is largely influenced by its overall configuration, and its minimum mass is also influenced by the altitude reduction rate during the satellite's operational lifetime. The dimensions of the payload and its placement inside the structure to provide the required agility are critical requirements for determining the overall dimensions of the satellite and as a result its surface and volume.

Findings: This research has been concentrated on three main issues: (1) Existence of a design space for RS-satellites (2) The parametric characteristics and influential parameters that form such space. One suitable case-study have been discussed to support the proposed methodology.

Conclusion: The maximum mass of VHR-PS-AEOS is largely influenced by its overall configuration, and its minimum mass is also influenced by the altitude reduction rate during the satellite's operational lifetime. The dimensions of the payload and its placement inside the structure to provide the required agility are critical requirements for determining the overall dimensions of the satellite and as a result its surface and volume.



NUMBER OF REFERENCES

9



NUMBER OF FIGURES

2



NUMBER OF TABLES

13

مقاله پژوهشی

سایزینگ سریع سازه یک ماهواره با توان تفکیک مکانی خیلی بالا مبتنی بر استراتژی طراحی برای عملکرد سامانه

امیرضا کوثری^{۱*}، محمدرضا سقامانش^۲، علیرضا احمدی^۱^۱ گروه مهندسی هوافضا، دانشکده‌ی علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران^۲ دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه چینخوا، پکن، چین

چکیده

پیشینه و اهداف: در زمان حاضر صنعت طراحی و ساخت و پرتاب ماهواره از انحصار دولت‌ها خارج شده و نمایندگان متعدد بخش خصوصی در سراسر دنیا در حال رقابت با یکدیگر برای تصاحب سهم بیشتر در این فضای کسب و کار پر رونق می‌باشند. گرایش از تک-ماهواره‌های بزرگ، با دوره عمر عملکردی زیاد در مدارهای با ارتفاع بالا به سمت منظومه‌های پر تعداد متشکل از ماهواره‌های کوچک با دوره عمر عملکردی کم و در مدارهای با ارتفاع پایین یکی از پیامدهای این تغییر است. امروزه صنایع فضایی به صورت فزاینده‌ای تمایل به ساخت ماهواره در کلاس وزنی کوچک و هزینه‌های دوره عمر پایین دارند و پیشرفت فناوری در طراحی و ساخت هر یک از زیرسیستم‌های ماهواره این روند را سرعت بخشیده و باعث شده ماهواره‌های نسل جدید نه تنها از لحاظ سایز بلکه از لحاظ کارکرد نیز نسبت به ماهواره‌های نسل قبل برتر باشند. یکی از نیازمندی‌های طراحی، ساخت و پرتاب ماهواره‌های ارزان قیمت به فضا، کاهش هزینه‌های دوره طراحی ماهواره می‌باشد. کاهش یا حذف سیکل‌های متعدد در فرآیند طراحی و جایگزین کردن روش‌های بهینه‌سازی سیکلیک با روش‌های مستقیم می‌تواند در بهبود این روند مؤثر باشد.

روش‌ها: تکنیک‌های سایزینگ سریع که تا حد زیادی در صنایع هوایی شناخته شده هستند به طراحان کمک می‌کنند که بتوانند در مدت زمانی کوتاه طرحی نزدیک به محصول نهایی ارائه نمایند. در این تحقیق ما روشی مشابه را برای یک ماهواره تصویربرداری با توان تفکیک خیلی بالا (VHR PS-AEOS) پیشنهاد می‌کنیم که به طراحان کمک می‌کند از تمامی انواع مرزبندی‌های داخل فضای طراحی آگاهی یابند. مشابه آنچه که در طراحی هواپیما وجود دارد، در اینجا هدف نهایی، ایجاد یک فضای دو بعدی است که بتواند توصیفی از تمامی مراحل مأموریت را با استفاده از پارامترهای کلیدی پیکربندی ماهواره ارائه نماید. این ابزار طراحی فازهای بحرانی مأموریت به همراه فاکتورهای مربوط به فناوری‌های کلیدی در هر یک را نمایش می‌دهد. در این روش، طراح قادر خواهد بود به سرعت در خصوص موانع فناوری‌های کلیدی که ممکن است در فازهای تحقیق، توسعه، تست و ارزیابی (RDT&E) طرح تأثیرگذار باشد تصمیم‌گیری نماید و/یا حتی نسبت به اعمال تغییراتی در مأموریت ماهواره با ذینفعان وارد مذاکره شود. از آنجا که معمولاً هزینه‌های دوره عمر ماهواره تحت تأثیر تصمیماتی هستند که در فازهای RDT&E گرفته می‌شوند بنابراین انتظار می‌رود این ابزار طراحی نقشی اساسی در پایین نگاه داشتن کل هزینه‌های دوره عمر ایفا نماید. اینگونه تکنیک‌های سایزینگ سریع امکان بررسی‌های مصالحه‌ای بیشتری را در اختیار طراحان قرار می‌دهند.

یافته‌ها: این تحقیق بر دو محور اصلی متمرکز بوده است: (۱) امکان ایجاد یک فضای طراحی با ویژگی‌های بالا برای سایزینگ سریع ماهواره، (۲) مشخصات پارامتریک این فضای طراحی و شناسایی پارامترهای تأثیرگذار که این فضای طراحی را تشکیل می‌دهند. به عنوان مطالعه موردی نیز یک VHR PS-AEOS عملیاتی مورد بحث و بررسی قرار گرفته و با استفاده از ابزار ایجاد شده، سایز گردیده است.

نتیجه‌گیری: حداکثر جرم VHR-PS-AEOS تا حد زیادی تحت تأثیر پیکربندی کلی آن می‌باشد و حداقل جرم آن نیز تحت تأثیر نرخ افت ارتفاع مداری در طی دوره عمر عملکردی ماهواره است. ابعاد محموله و جانیایی محموله در داخل سازه به منظور تأمین چابکی مورد نیاز، الزامات بحرانی برای تعیین ابعاد کلی ماهواره و در نتیجه سطح و حجم آن می‌باشند.

واژگان کلیدی:

ماهواره

سنجش از دور

مأموریت مشاهده زمین

مهندسی سامانه

فناوری فضایی

kosari_a@ut.ac.ir

۰۲۱-۸۸۴۹۷۲۳۵

گام ۷. بازتعریف پارامترهای عملکردی بر اساس پارامترهای اصلی طراحی، تعیین درایورهای طراحی و کاهش بعد فضای طراحی؛
گام ۸. تشکیل انواع صفحه‌های طراحی و انتخاب بهترین (مناسب‌ترین)؛
گام ۹. چک کردن جامعه آماری سایر کلاس‌های ماهواره با صفحه طراحی نهایی؛

VHR PS-AEOSs به عنوان مسئله طراحی

VHR PS-AEOSs آن دسته از ماهواره‌های سنجش از دور با مأموریت مشاهده زمین هستند که قادرند حول دو محور رول و پیچ مانور انجام دهند و تصاویر آنها دارای توان تفکیک بسیار بالا [۴] می‌باشد. اسکن غیرفعال در این ماهواره‌ها به این معنی است که وضعیت ماهواره در زمان تصویربرداری ثابت است و جهت تصویربرداری همیشه با مسیر حرکت تصویر ماهواره بر روی زمین یکسان می‌باشد. تعداد ماهواره‌هایی که اطلاعات آنها در جامعه آماری مورد استفاده جمع‌آوری گردیده در مجموع ۵۰ ماهواره است که ۳۶ ماهواره متعلق به دسته VHR و ۱۴ ماهواره دیگر متعلق به دسته HR است. علت تعداد نسبتاً کم ماهواره‌های جامعه آماری، لزوم به روز بودن تکنولوژی ساخت آنها و همچنین قرار داشتن آنها در یک سطح تکنولوژی می‌باشد. از آنجا که به طور معمول در مقاطعی از زمان جهش‌هایی در سطح تکنولوژی ساخت ماهواره‌ها اتفاق می‌افتد بنابراین ضرورت دارد که ماهواره‌هایی که در یک جامعه آماری قرار می‌گیرند همگی در یک سطح از تکنولوژی قرار داشته باشند.

زیرسیستم سازه و مکانیزم

بررسی جامعه آماری نشان می‌دهد که ۶۵٪ ماهواره‌ها در کلاس بزرگ و ۳۵٪ در کلاس وزنی کوچک قرار دارند. همچنین ۶۵٪ از ماهواره‌های جامعه آماری مورد بررسی دارای بدنه‌ای به شکل ۶-ضلعی، ۲۶٪ دارای شکل مکعبی، ۶٪ دارای شکل استوانه‌ای و ۳٪ دارای شکل ۸-ضلعی می‌باشند. مطابق داده‌های آماری درصد به کارگیری پیکربندی‌های معرفی شده در VHR PS-AEOSs به صورتی است که در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: درصد به کارگیری پیکربندی‌های مختلف در VHR PS-AEOSs

Table 1: Application percentage of different configurations in VHR PS-AEOSs

	Small PS-AEOS		Large PS-AEOS		Total
	Micro (10-100Kg)	Mini (100-500Kg)	Mid (500-1000Kg)	Large (>1000Kg)	
Cylindrical	-	12.5	-	10	6
Cubic	100	25	-	50	26
Hexagonal	-	50	100	40	65
Octagonal	-	12.5	-	-	3

در ۴۱٪ ماهواره‌ها تنها محموله تصویربرداری در صفحه ندر ماهواره قرار دارد و بنابراین صفحه ندر تنها بر اساس سایز محموله تصویربرداری

طراحی ماهواره مبتنی بر استراتژی طراحی برای عملکرد

در رویکرد کلاسیک، استراتژی طراحی به یک چارچوب کلی اطلاق می‌شود که ویژگی‌های محوری را در تمام مراحل طراحی سیستم مجسم می‌کند. ویژگی محوری خود به عنوان درایور کلیدی برای همه تصمیمات و انتخاب‌ها عمل می‌کند [۱]. بنابراین، هدف استراتژی «طراحی برای عملکرد» رسیدن به یک پیکربندی خاص در ضمن دانستن اهداف عملکردی سیستم می‌باشد. به عبارت دیگر، این فرآیندی است که در آن الزامات عملکردی سیستم (PRS) باید به تعیین مقادیر مرزی برای پارامترهای طراحی اصلی (MDP) منجر شود که بیشترین تأثیر را بر رفتار سیستم دارند [۲]. در این رویکرد، تمام قیدها و الزامات طراحی در یک فضای دوبعدی مشخص به گونه‌ای ترسیم می‌شود که در نهایت به انتخاب طرح پایه بینجامد. طرح پایه باید نقطه مصالحه مطلوبیت، مقرون به صرفه بودن و در دسترس بودن باشد. این تکنیک پیش از این برای ساینزینگ عملکردی محموله اپتیکی [۳]، زیرسیستم، تعیین و کنترل وضعیت [۴] (ADCS) و زیرسیستم پیش‌ران [۵] (PRPS) ماهواره‌های تصویربرداری با توان تفکیک مکانی خیلی بالا (VHR-PS-AEOS) به کار گرفته شده است. برای این منظور، با در نظر گرفتن اصول زیر، باید به نحوی پارامترهای عملکردی با پارامترهای طراحی فیزیکی (DPS) مرتبط شوند:

- الزامات عملکردی که آنها را می‌توان مستقیماً از قوانین علمی موجود و رویه‌های استاندارد در زمینه‌های مرتبط یا به طور غیرمستقیم از مأموریت و الزامات سیستم استخراج کرد.
- درایورهای طراحی (DD) که مشخصه‌های پارامتری صفحه طراحی را تعیین می‌کنند، دو ترکیب دلخواه از MDP ها هستند که از سه ویژگی کلیدی پیروی می‌کنند:
- مستقل از DP های دیگر هستند.
- تأثیر مستقیم بر عملکرد سیستم دارند.
- در صورت نیاز توسط طراح قابل کنترل هستند.

دیگرام تطبیق (صفحه طراحی)

روند کلی ساینزینگ عملکردی زیرسیستم سازه VHR PS-AEOSs ، با پیاده‌سازی روش گام به گام زیر با ایجاد صفحه طراحی آغاز و با صحت‌سنجی ساینزینگ عملکردی سازه یک نمونه VHR PS-AEOS عملیاتی با استفاده از تکنیک صفحه طراحی پایان می‌پذیرد:

گام ۱. تعیین جامعه آماری بر اساس دسته‌بندی انواع ماهواره‌ها و جمع‌آوری نمونه‌های آماری مورد نیاز؛

گام ۲. تعیین فازها و مدهای عملکردی ماهواره؛

گام ۳. تعیین الزامات بحرانی و معیارهای کمی؛

گام ۴. تعیین قیدها و معیارهای کمی؛

گام ۵. تعیین پارامترهای طراحی سیستم؛

گام ۶. شناسایی پارامترهای اصلی طراحی سیستم؛

می‌بایست در بیشترین فاصله ممکن از یکدیگر قرار گیرند و مازول‌های گیرنده و فرستنده نیز می‌بایست در کمترین فاصله از آنتن‌ها نصب شوند ولی تأمین هیچ یک از این الزامات نمی‌تواند افزایش سایز صفحه ندر را به زیرسیستم سازه تحمیل کند. اصولاً برای کاهش اثر تداخل آنتن‌ها بر یکدیگر راه‌حل‌های سازه‌ای راهکارهای کم‌اثری هستند. از آنجا که آنتن‌های هم‌مأموریت ارسال و دریافت همزمان ندارند بنابراین در خصوص آنتن‌های باندهای فرکانسی UHF/VHF و S چالش وجود ندارد. چالش تداخل در خصوص آنتن‌های باندهای S و X قابل طرح است. با توجه به اینکه هارمونیک چهارم ارسال باند S تا حد زیادی به باند X نزدیک است بنابراین احتمال این تداخل بسیار بالا خواهد بود. بهبود حاصل از افزایش فاصله آنتن‌های باندهای S و X در کاهش اثرات تداخل بسیار کم و قابل اغماض است بنابراین باید برای حذف این اثر از راهکارهای مخابراتی استفاده کرد. مؤثرترین راهکار مخابراتی انجام ایزولاسیون و استفاده از فیلتر و تمیز کردن فضای فرکانسی ارسال تله‌متری می‌باشد.

سایز آنتن‌های باند X و باند S برای VHR PS-AEOSS در لایه LEO تا حد زیادی نزدیک به یکدیگر می‌باشد و در نتیجه می‌توان فاکتور سایز آنتن‌ها در سایز صفحه ندر ماهره را ثابت در نظر گرفت. مطابق رابطه (۲) قطر فضاپیما تابعی از قطر محموله تصویربرداری و المان‌های صفحه ندر آن خواهد بود.

$$d_{SC} = f_2(d_{PL}, \text{elements on Nadir plate}) \quad (2)$$

یکی از الزامات بحرانی عملکرد برای تعیین ارتفاع سازه ماهره چابکی آن می‌باشد. هرچه چابکی ماهره بالاتر باشد می‌بایست ساختار آن فشرده‌تر و مقدار نسبت h_{SC}/h_{PL} کمتر باشد یا در واقع برای رسیدن به سطوح بالاتر چابکی لازم است مقدار نسبت h_{SC}/h_{PL} تا حد ممکن کاهش یابد.

چابکی بر اساس تعداد محورهای گردش ماهره و همچنین سرعت زاویه‌ای گردش آنها تعریف می‌شود که در این تحقیق تنها سرعت زاویه‌ای گردش ماهره در نظر گرفته شده است. با رده‌بندی VHR PS-AEOSS بر اساس معیار چابکی، می‌توان به مقدار مناسبی از نسبت h_{SC}/h_{PL} برای ماهره‌های مختلف در سطوح مختلف چابکی دست یافت. بنابراین مطابق رابطه (۳) ارتفاع ماهره تابعی از چابکی و همچنین ارتفاع محموله آن می‌باشد.

$$h_{SC} = f_3(h_{PL}, \text{Agility}) \quad (3)$$

قیدهای عملکردی زیرسیستم سازه و معیارهای کمی

قید جرم بیشینه

این قید یک قید عملکردی محسوب نمی‌شود ولی در انتهای فاز سایزینگ می‌تواند برای تصدیق و صحت‌گزاری نتایج سایزینگ عملکردی مورد توجه قرار گیرد. مطابق نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌های جامعه آماری این تحقیق، بیشترین مقدار جرم قابل تخصیص به زیرسیستم سازه و مکانیزم یک VHR PS-AEOS می‌تواند ۲۷٪ جرم کل آن باشد.

سایز می‌شود. در ۳۸٪ ماهره‌ها علاوه بر محموله تصویربرداری، آنتن‌های باندهای S و X نیز در صفحه ندر قرار دارند و در ۲۱٪ نیز علاوه بر محموله تصویربرداری و آنتن‌های باند S و X، تجهیزات ADCS شامل RWs نیز در صفحه ندر ماهره قرار می‌گیرد.

الزامات عملکردی زیرسیستم سازه و معیارهای کمی

الزامات بحرانی عملکرد برای سایزینگ عملکردی زیرسیستم سازه به صورت زیر قابل دسته‌بندی هستند:

- جرم کلی و کلاس جرمی ماهره
- قطر محموله اپتیکی
- المان‌های قابل نصب بر روی صفحه ندر ماهره
- ارتفاع محموله اپتیکی
- چابکی ماهره
- پیکربندی کلی سازه ماهره تابعی از جرم و بالطبع کلاس جرمی VHR PS-AEOS است. با وجود برتری‌هایی که برای پیکربندی منشور شش وجهی در مقایسه با دیگر انواع پیکربندی بر شمرده شده است ولی مطابق جدول ۱ در کلاس میکرو ۱۰٪ ماهره‌های موجود در جامعه آماری دارای پیکربندی مکعب مستطیل می‌باشند. بنابراین مطابق رابطه (۱) می‌توان پیکربندی کلی VHR PS-AEOSS را تابعی از جرم و کلاس جرمی آن در نظر گرفت:

$$\text{Spacecraft overall Configuration} = f_1(S/C \text{ weight}, S/C \text{ weight class}) \quad (1)$$

از آنجا که قاعده حجم ماهره، صفحه ندر آن است بنابراین برای تعیین قطر ماهره یا طول اضلاع قاعده آن می‌بایست صفحه ندر آن سایز شود. تخمین ابعاد صفحه ندر بر اساس ابعاد المان‌هایی صورت می‌گیرد که می‌بایست در این صفحه قرار گیرند. المان‌هایی که در VHR PS-AEOSS روی صفحه ندر نصب می‌شوند عبارتند از:

- محموله(ها)ی اپتیکی
 - آنتن باند X با بیم باریک و بهره بالا
 - آنتن باند S
 - سنسورها و عملگرهای ADCS
- بر اساس نوع و تعداد المان‌هایی که بر روی صفحه ندر نصب می‌شوند می‌توان ماهره‌های موجود در دیتابیس این تحقیق را به سه دسته تقسیم نمود:
- تنها محموله اپتیکی بر روی صفحه ندر نصب شده باشد
 - محموله اپتیکی به همراه آنتن‌های باند X و باند S بر روی صفحه ندر نصب شده است
 - محموله اپتیکی به همراه آنتن‌های باند X و باند S و المان‌های ADCS روی صفحه ندر نصب شده باشد

اینترفیس زیرسیستم مخابرات با زیرسیستم سازه در فاز سایزینگ عملکردی برای استقرار آنتن‌ها بر روی سطح خارجی و مازول‌های گیرنده و فرستنده بر روی سطح داخلی صفحه ندر می‌باشد. به طور کلی آنتن‌ها

قید توان مصرفی بیشینه

این قید نیز یک قید عملکردی محسوب نمی‌شود ولی در انتهای فاز ساینینگ می‌تواند برای تصدیق و صحت‌گذاری نتایج ساینینگ عملکردی مورد توجه قرار گیرد. مطابق داده‌های آماری، مکانیزم‌های زیرسیستم سازه یک VHR PS-AEOS حداکثر می‌توانند ۱٪ توان کل مصرفی ماهواره را به خود اختصاص دهند.

قطر محموله

فارغ از شکل کلی سازه ماهواره، قطر بدنه آن مساوی قطر صفحه ندریر ماهواره خواهد بود. از آنجا که یکی از وظایف سازه ماهواره در-VHR PS AEOSs محافظت از محموله تصویربرداری می‌باشد و محموله تصویربرداری در داخل بدنه ماهواره قرار می‌گیرد و از طرف دیگر سایر المان‌های قابل نصب بر روی صفحه ندریر بر روی سطح خارجی و داخلی این صفحه نصب می‌گردند بنابراین قطر صفحه ندریر ماهواره تابعی از قطر محموله اپتیکی آن می‌باشد و قطر محموله برای قطر صفحه ندریر یک قید عملکردی محسوب می‌گردد.

سطح آرایه‌های خورشیدی

سطح آرایه‌های خورشیدی متناسب با نوع سلول‌های انتخابی به اندازه‌ای بزرگ خواهد بود که توان مورد نیاز ماهواره را تولید نماید. با توجه به برتری‌های پیکربندی ثابت به سایر پیکربندی‌های آرایه‌های خورشیدی، این نوع پیکربندی اولین انتخاب طراح خواهد بود. از آنجا که پانل‌های محل نصب سلول‌های خورشیدی بخشی از زیرسیستم سازه محسوب می‌گردند بنابراین سطح مورد نیاز برای نصب سلول‌های خورشیدی یکی از قیدهای زیر سیستم سازه محسوب می‌گردد. ابعاد بدنه ماهواره می‌بایست به اندازه‌ای باشد که امکان نصب پانل‌ها بر روی آن وجود داشته باشد بنابراین سطح مورد نیاز برای نصب سلول‌های خورشیدی نیز قید دیگری برای ابعاد ماهواره می‌باشد.

پارامترهای طراحی زیرسیستم سازه و مکانیزم

هدف از "ساینینگ عملکردی سریع" زیرسیستم سازه، تعیین پیکربندی (شکل) کلی و محاسبه ابعاد کلی، حجم داخلی و سطح خارجی و جرم کلی می‌باشد.

پیکربندی کلی

پیکربندی‌های مرسوم در PS-AEOS عبارتند از مکعبی، استوانه‌ای، منشورهای شش، هشت و دوازده ضلعی و چند وجهی‌های غیرمنتظم [۶] و در دیتابیس این تحقیق تنها ماهواره‌هایی با پیکربندی‌های مکعبی، استوانه‌ای و منشورهای شش و هشت ضلعی قرار دارد. معیارهای مؤثر در انتخاب پیکربندی مناسب عبارتند از:

- حجم و سطح قابل دستیابی
- پیچیدگی پیکربندی و هزینه و زمان ساخت سازه
- خواص استحکامی پیکربندی
- در جدول ۲، چهار پیکربندی مکعبی، استوانه‌ای و منشورهای شش و هشت ضلعی به صورت کمی بر اساس معیارهای حجم داخلی، سطح خارجی، تعداد پنل‌های بدنه و تعداد نبشی‌های اتصالات با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. در این مقایسه فرض بر این است که تمامی این پیکربندی‌ها داخل کره‌ای به قطر ۱ متر محاط شده باشند. در جدول ۳، پیکربندی‌های جدول ۱ به صورت کیفی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج زیر بر اساس مقایسه‌های مندرج در جدول‌های ۲ و ۳ قابل برداشت می‌باشد:
- حجم و سطح پیکربندی شش ضلعی با پیکربندی مکعبی اختلاف قابل توجهی دارد (به ترتیب ۳۰٪ و ۱۲٪) در حالی که بین حجم و سطح پیکربندی هشت ضلعی و شش ضلعی اختلاف چندانی وجود ندارد.
- پیکربندی شش ضلعی از لحاظ هزینه و پیچیدگی ساخت تفاوت کمی با پیکربندی مکعبی دارد، در حالی که استفاده از پیکربندی هشت ضلعی باعث بالا رفتن پیچیدگی و افزایش هزینه، تقریباً به میزان ۲ برابر، نسبت به پیکربندی مکعبی می‌گردد.
- پیکربندی شش ضلعی دارای استحکام بیشتری نسبت به پیکربندی مکعبی می‌باشد در حالی که اختلاف چندانی بین استحکام این پیکربندی و پیکربندی هشت ضلعی وجود ندارد.
- چندوجهی‌هایی با بیش از شش سطح جانبی تنها در شرایطی که پارامترهای عملکردی (برآمده از الزامات عملکردی)، استفاده از آنها را تحمیل نمایند به کار گرفته خواهند شد.
- چندوجهی‌های غیرمنتظم معمولاً در صورت بکارگیری صفحات خورشیدی ثابت مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع از پلتفرم‌ها معمولاً در مقایسه با دیگر چندوجهی‌ها دارای حجم کمتری می‌باشند و از همین رو استفاده از آنها تنها به موارد خاص محدود شده است. پیچیدگی‌های قابل توجه طراحی و ساخت چندوجهی‌های غیرمنتظم از دیگر معایب این هندسه‌ها به شمار می‌رود.
- بر اساس نتایج بالا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به صورت عمومی پیکربندی به شکل منشور شش وجهی مناسب‌ترین نوع پیکربندی برای VHR PS-AEOS است مگر آنکه به صورت موردی محدودیت خاصی وجود داشته باشد که در این صورت طراح می‌بایست بر اساس قیدها و الزامات موجود نسبت به انتخاب نوع خاصی از پیکربندی اقدام نماید. بر اساس داده‌های آماری، در کلاس ماهواره‌های میکرو و ماهواره‌های بزرگ که ۳۰ درصد VHR PS-AEOS موجود در جامعه آماری این پژوهش را تشکیل می‌دهند تنها از پیکربندی نوع مکعبی استفاده شده است.

جدول ۲: مقایسه کمی میان پیکربندی‌های مختلف

Table 2: Quantitative comparison between different configurations

تعداد نبشی‌ها The number of angles	تعداد پنل‌های سازه‌ای The number of structural panels	مساحت خارجی (m ²) external area (m2)	حجم داخلی (m ³) Internal volume (m3)	h (m)	d (m)	a (m)	پیکربندی Configuration
-	-	2.52	0.30	0.58	0.82	-	استوانه‌ای Cylindrical
12	6	2.0	0.19	0.58	-	0.58	مکعبی Cubic
18	8	2.23	0.25	0.58	-	0.41	شش وجهی Hexagon
24	10	2.38	0.27	0.58	-	0.31	هشت وجهی Octagon

جدول ۳: مقایسه کیفی میان پیکربندی‌های مختلف

Table 3: Qualitative comparison between different configurations

معایب Disadvantages	مزایا Advantages	پیکربندی Configuration
کمترین سطح خارجی The least external surface The smallest internal volume	سادگی ساخت و مونتاژ کمترین هزینه زمانی و اقتصادی استفاده راحت از فضای داخل Ease of construction and assembly The least time and economic cost Easy use of interior space	مکعبی Cubic
بیشترین پیچیدگی در ساخت و مونتاژ مشکل بودن نصب پنل‌ها، پکیج‌ها و آرایه‌های خورشیدی بیشترین هزینه زمانی و اقتصادی The most complicated in construction and assembly It is difficult to install solar panels, packages and arrays The most time and economic cost	ماکزیمم حجم داخلی ماکزیمم مساحت خارجی ماکزیمم استحکام Maximum internal volume Maximum external area Maximum strength	استوانه‌ای Cylindrical
پیچیدگی در ساخت افزایش اتصالات افزایش هزینه‌های زمانی و اقتصادی Complexity in construction Increasing connections Increasing time and economic costs	مساحت خارجی بیشتر (نسبت به مکعبی) افزایش حجم داخلی (نسبت به مکعبی) استحکام بالاتر (نسبت به مکعبی) More external area (compared to cubic) Increasing the internal volume (compared to cubic) Higher strength (compared to cubic)	منشور شش‌ضلعی Hexagon prism
پیچیدگی بیشتر در ساخت افزایش بیشتر اتصالات افزایش بیشتر هزینه‌های زمانی و اقتصادی مشکل در نصب پکیج‌های نسبتاً بزرگ بر روی صفحات جانبی پیکربندی More complexity in construction More connections Further increase in time and economic costs Problem in installing relatively large packages on configuration side pages	مساحت خارجی بیشتر (نسبت به شش‌ضلعی) افزایش حجم داخلی (نسبت به شش‌ضلعی) استحکام بالاتر (نسبت به شش‌ضلعی) More external area (compared to hexagon) Increasing the internal volume (compared to the hexagon) Higher strength (compared to hexagonal)	منشور هشت‌ضلعی Octagonal prism

ابعاد کلی

مقصود از تعیین ابعاد کلی، تعیین پارامترهای ابعادی شامل قطر و ارتفاع ماهواره می‌باشد.

قطر ماهواره (d_{sc})

از آنجا که قاعده حجم ماهواره، صفحه Nadir آن است بنابراین برای تعیین قطر ماهواره یا طول اضلاع قاعده آن می‌بایست ابعاد صفحه Nadir بر اساس ابعاد المان‌هایی صورت تخمین زده شود که می‌بایست در این صفحه قرار گیرند. به طور کلی المان‌هایی که در VHR PS-AEOSs بر روی صفحه Nadir نصب می‌شوند عبارتند از محموله(ها)ی اپتیکی، آنتن باند X با پرتو باریک و بهره بالا، آنتن باند S و سنسورها و عملگرهای ADCS.

بر اساس نوع و تعداد المان‌هایی که بر روی صفحه نذیر نصب می‌شوند می‌توان ماهواره‌های موجود در دیتابیس این تحقیق را به سه دسته تقسیم نمود:

- تنها محموله اپتیکی بر روی صفحه نذیر نصب شده است: ۴۱ درصد از ماهواره‌های موجود در دیتابیس این تحقیق در این دسته قرار می‌گیرند و از این نمونه می‌توان به ماهواره‌های worldView-3 و WorldView-4 اشاره کرد. در سازه این ماهواره‌ها صفحه نذیر تنها بر اساس قطر محموله سایز می‌شود و المان‌های دیگر شامل آنتن‌ها به بدنه محموله متصل می‌شوند.
- محموله اپتیکی به همراه آنتن‌های X-band و S-band بر روی صفحه Nadir نصب شده است: ۳۸ درصد از ماهواره‌های موجود در دیتابیس این تحقیق نظیر Pleiades-HR و PeruSat-1 در این دسته قرار می‌گیرند.

ندیر نصب می‌شوند دارای مقداری ثابت و منطقی می‌باشد. مقدار میانگین درایور طراحی d_{sc}/d_{pl} برای هر یک از انواع چیدمان‌ها بر اساس داده‌های آماری استخراج و در جدول ۴ آورده شده است. در ساینزینگ عملکردی سریع محموله اپتیکی می‌توان با استفاده از داده‌های آماری، نسبت d_{pl}/D را محاسبه نمود.

ارتفاع ماهواره (h_{sc})

دراپورهای اصلی تعیین پیکربندی فضاپیما عبارتند از "چابکی ماهواره در نشانه‌روی" و "دقت تعیین موقعیت تصویر". دستیابی به چابکی در VHR PS-AEOSs مستلزم یک طرح فشرده برای فضاپیما است؛ بنابراین محموله تصویربرداری در داخل پلتفرم قرار داده می‌شود. دقت‌های بالا در تعیین موقعیت تصویر نیز از طریق حذف یا به حداقل رساندن واسط میان محموله تصویربرداری و محموله قابل دستیابی خواهد بود [۷].

هر چه چابکی ماهواره بالاتر باشد ساختار آن فشرده‌تر و نسبت h_{sc}/h_{pl} کمتر خواهد بود. برای رسیدن به سطوح بالاتر چابکی لازم است مقدار نسبت h_{sc}/h_{pl} تا حد ممکن کاهش یابد. چابکی بر اساس تعداد محورهای گردش ماهواره و همچنین سرعت زاویه‌ای گردش آن حول این محورها تعریف می‌شود. با رده‌بندی VHR PS-AEOSs بر اساس معیار چابکی، می‌توان به مقدار مناسبی از نسبت h_{sc}/h_{pl} برای ماهواره‌های مختلف در موجود در دیتابیس تحقیق را بر اساس معیار چابکی در سه سطح رده‌بندی کرد [۹].

جدول ۵: سطح‌بندی چابکی در VHR PS-AEOSs

Table 5: The levels of agility in VHR PS-AEOSs

Level	ω_s (deg/sec)	Number
1	$\omega_s < 1$	28%
2	$1 \leq \omega_s \leq 2.5$	58%
3	$\omega_s > 2.5$	14%

بر اساس داده‌های آماری مقدار نسبت h_{sc}/h_{pl} در سطوح ۱ و ۲ از چابکی بر اساس معادله (۴) قابل محاسبه است:

$$\frac{h_{sc}}{h_{pl}} = \frac{1.323\omega_s + 0.2953}{\omega_s + 0.02148} \quad (4)$$

چگالی ماهواره و جرم ماهواره

فشرده‌گی ساختار ماهواره به معنای بالا بودن دانسیته آن است بنابراین انتظار می‌رود هر چه چابکی ماهواره بالاتر باشد مقدار دانسیته آن نیز بیشتر باشد و دو معیار چابکی و فشرده‌گی با یکدیگر دارای نسبت مستقیم باشند و در نتیجه هرچه چابکی یک ماهواره بیشتر باشد چگالی آن نیز بالاتر است [۱۰].

عموماً محفظهٔ پساگیر پرتابگر به صورت یک استوانه در نظر گرفته می‌شود که بر سازهٔ بدنهٔ ماهواره محیط است. از طرف دیگر ابعاد ماهواره‌های موجود در دیتابیس این تحقیق با پیکربندی مکعبی، استوانه‌ای، شش یا هشت وجهی منتظم غالباً به صورت d و h داده شده

○ محموله اپتیکی به همراه آنتن‌های X-band و S-band و المان‌های ADCS بر روی صفحهٔ Nadir نصب شده است: ۲۱٪ از ماهواره‌های موجود در دیتابیس این تحقیق مانند CartoSat-2 در این دسته قرار می‌گیرند.

اینترفیس زیرسیستم مخابرات با زیرسیستم سازه در فاز ساینزینگ عملکردی استقرار آنتن‌ها بر روی سطح خارجی و ماژول‌های گیرنده و فرستنده بر روی سطح داخلی صفحه ندیر می‌باشد. به طور کلی آنتن‌ها می‌بایست در بیشترین فاصلهٔ ممکن از یکدیگر قرار گیرند و ماژول‌های گیرنده و فرستنده نیز می‌بایست در کمترین فاصله از آنتن‌ها نصب شوند ولی تأمین هیچ یک از این الزامات نمی‌تواند افزایش ساینز صفحهٔ ندیر را به زیرسیستم سازه تحمیل کند. اصولاً برای کاهش اثر تداخل آنتن‌ها بر یکدیگر راه‌حل‌های سازه‌ای راهکارهای کم‌اثری هستند. از آنجا که آنتن‌های هم‌مأموریت ارسال و دریافت همزمان ندارند بنابراین در خصوص آنتن‌های باندهای فرکانسی UHF/VHF و S چالش وجود ندارد. چالش تداخل در خصوص آنتن‌های باندهای S و X قابل طرح است. با توجه به اینکه هارمونیک چهارم ارسال باند S تا حد زیادی به باند X نزدیک است بنابراین احتمال این تداخل بسیار بالا خواهد بود. بهبود حاصل از افزایش فاصلهٔ آنتن‌های باندهای S و X در کاهش اثرات تداخل بسیار کم و قابل اغماض است بنابراین باید برای حذف این اثر از راهکارهای مخابراتی استفاده کرد. مؤثرترین راهکار مخابراتی انجام ایزولاسیون و استفاده از فیلتر و تمیز کردن فضای فرکانسی ارسال تله‌متری می‌باشد.

جدول ۴: نسبت قطر ماهواره به قطر محموله بر اساس المان‌های روی صفحهٔ ندیر

Table 4: Satellite to the payload diameter ratio based on the nadir plane elements

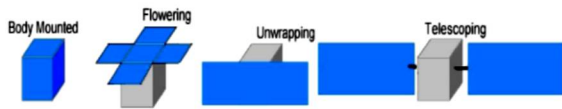
d_{sc}/d_{pl}	ماهواره‌های نمونه Sample satellites	المان‌های روی صفحهٔ ندیر Elements on the page are not visible
1.75	WorldView-3 و WorldView-4	محموله اپتیکی Optical cargo
2.7	PeruSat-1 و Pleiades-HR	محموله اپتیکی و آنتن‌های باند X و S Optical payload and X and S band antennas
3.3	سری ماهواره‌های CartoSat-2 CartoSat-2 series of satellites	محموله اپتیکی، آنتن‌های باند X و S و عملگرهای کنترل وضعیت Optical payload, X and S band antennas and position control actuators

ساینز آنتن‌های باند X و S برای VHR PS-AEOSs در لایهٔ LEO تا حد زیادی نزدیک به یکدیگر می‌باشد و در نتیجه می‌توان فاکتور ساینز آنتن‌ها در ساینز صفحهٔ ندیر ماهواره را ثابت در نظر گرفت. در نتیجه قطر محموله اپتیکی می‌تواند به عنوان درایور طراحی برای محاسبهٔ ساینز صفحهٔ ندیر در نظر گرفته شود. با توجه به داده‌های آماری موجود در دیتابیس این تحقیق، نسبت d_{sc}/d_{pl} در سازه‌های با پیکربندی شش وجهی منتظم و در دسته‌ای که علاوه بر محموله اپتیکی آنتن‌های باند X و S روی صفحهٔ

پیکربندی آرایه‌های خورشیدی

آرایه‌های خورشیدی به چهار صورت ثابت، گل شکل، بازشونده و تلسکوپی می‌تواند روی بدنه ماهواره نصب و به سازه آن متصل گردد. که در شکل ۱ هر یک از این پیکربندی‌ها به صورت شماتیک نشان داده شده‌اند [۱۳].

جرم آرایه‌های خورشیدی وابسته به سطح مورد نیاز این آرایه‌ها برای تأمین انرژی ماهواره و مستقل از پیکربندی آنها است. این به آن معناست که چنانچه سطح مورد نیاز در هر یک از پیکربندی‌های بالا تأمین شود جرم آرایه‌ها در هر حالت یکسان خواهد بود. عموماً جرم پانل‌های خورشیدی در بودجه جرمی زیرسیستم تأمین توان الکتریکی در نظر گرفته می‌شود [۱۴].



شکل ۱: انواع پیکربندی آرایه‌های خورشیدی در اتصال به بدنه VHR PS-AEOSs
Fig. 1: Types of solar arrays configuration in connection to the body of the VHR PS-AEOSs

ممان اینرسی

ممان اینرسی چندوجهی‌های رایج در طراحی پیکربندی سازه VHR PS-AEOS در جدول ۸ آورده شده است [۱۵].

جدول ۸: مقایسه ممان اینرسی جرمی پیکربندی‌های رایج حول محور طولی (راستای نذیر)
Table 8: Comparison of common configurations mass moment of inertia around the longitudinal axis (Nadir direction)

پیکربندی Configuration	ممان اینرسی حول محور Z Moment of inertia around the Z axis
چهار وجهی Tetrahedron	$I_{4Z} = (1/12) \times m \times (a^2 + b^2)$
شش وجهی Hexagon	$1.62 \times I_{4Z}$
هشت وجهی Octagon	$1.91 \times I_{4Z}$

ممان اینرسی در واقع معرف قابلیت مانور ماهواره است. مطابق جدول ۸، از لحاظ ممان اینرسی پیکربندی شش‌وجهی در مقایسه با چهاروجهی دارای برتری محسوسی می‌باشند [۱۶].
برای سایزینگ عملکردی سریع زیرسیستم سازه پارامترهای طراحی عبارتند از [۱۷]:

- پیکربندی کلی ماهواره
- قطر ماهواره (با این فرض که ماهواره با هر نوع پیکربندی در داخل استوانه‌ای به ابعاد پساگیر پرتاب‌گر محیط شده باشد می‌توان ابعاد مقطع عرضی سازه ماهواره را با پارامتر قطر بیان کرد)

است بنابراین برای محاسبه حجم آنها فرض می‌شود سازه ماهواره در داخل استوانه‌ای به شعاع قاعده r و ارتفاع h محاط می‌باشد. حجم هر یک از انواع پیکربندی نسبت به حجم استوانه محیط مطابق روابط مندرج در جدول ۶ قابل محاسبه خواهد بود. بر اساس نتایج به دست آمده از داده‌های آماری بیشترین مقدار دانسیته و بالاترین سطح فشردگی مربوط به ماهواره‌های دارای پیکربندی مکعبی می‌باشد [۱۱].

جدول ۶: مقایسه مشخصات هندسی پیکربندی‌های رایج در VHR PS-AEOSs
Table 6: Comparison of geometric characteristics of common configurations in VHR PS-AEOSs

پیکربندی Configuration	سطح خارجی External surface	حجم داخلی Internal volume
استوانه‌ای Cylindrical	$S_C = 2\pi rh$	$V_C = \pi r^2 h$
مکعبی Cubic	$S_4 = 5.7rh$	$V_4 = 2r^2 h$
شش ضلعی Hexagon	$S_6 = 6rh$	$V_6 = 2.6r^2 h$
هشت ضلعی Octagonal	$S_8 = 6.12rh$	$V_8 = 2.83r^2 h$

مقادیر دانسیته VHR PS-AEOSs با پیکربندی‌های مختلف و در کلاس‌های وزنی متفاوت با استفاده از داده‌های آماری استخراج گردیده و در جدول ۷ آورده شده است [۱۲].

جدول ۷: مقایسه چگالی VHR PS-AEOSs بر اساس نوع پیکربندی و کلاس وزنی
Table 7: Comparison of density in VHR PS-AEOSs based on the configuration type and the mass class

کلاس جرمی Jeremy's class	زیر-کلاس‌های جرمی Mass subclasses	پیکربندی Configuration	چگالی (Kg/m3) Density
ماهوره‌های کوچک Small class satellites	ماهوره‌های کلاس میکرو Micro satellites	مکعبی Cubic	304.92
	ماهوره‌های کلاس متوسط Medium class satellites	استوانه‌ای Cylindrical	N/A
		شش وجهی Hexagon	N/A
ماهوره‌های کلاس بزرگ Large class satellites	ماهوره‌های کلاس مینی Mini class satellites	هشت وجهی Octagon	N/A
	ماهوره‌های کلاس بزرگ Large class satellites	مکعبی Cubic	1103.19
		استوانه‌ای Cylindrical	167.53
ماهوره‌های کلاس بزرگ Large class satellites	ماهوره‌های کلاس متوسط Medium class satellites	شش وجهی Hexagon	103.85
		هشت وجهی Octagon	149.37
	ماهوره‌های کلاس بزرگ Large class satellites	مکعبی Cubic	N/A
		استوانه‌ای Cylindrical	N/A
ماهوره‌های کلاس بزرگ Large class satellites	ماهوره‌های کلاس متوسط Medium class satellites	شش وجهی Hexagon	86.04
		هشت وجهی Octagon	N/A
	ماهوره‌های کلاس بزرگ Large class satellites	مکعبی Cubic	742.81
		استوانه‌ای Cylindrical	155.07
ماهوره‌های کلاس بزرگ Large class satellites	ماهوره‌های کلاس بزرگ Large class satellites	شش وجهی Hexagon	108.52
		هشت وجهی Octagon	N/A

مشخصات فنی VHR PS-AEOS مورد نظر به عنوان اطلاعات ورودی در جدول ۹ ارائه شده است [۲۲].

جدول ۹: مشخصات فنی VHR PS-AEOS مورد نظر [۷]

Table 8: Technical specifications of the desired VHR PS-AEOS

مشاهده زمین Earth observation	سنجش از دور Remote Sensing	مأموریت Mission
پنکروماتیک Panchromatic	2	تعداد سنجندها The number of gauges
چندطیفی Multispectral	1m ≥	قدرت تفکیک مکانی Spatial resolution
4m ≥	پنکروماتیک Panchromatic	
پنکروماتیک Panchromatic	450 – 900nm	
قرمز Red	630 – 690nm	5
سبز Green	520 – 600nm	باند طیفی Spectral band
آبی Blue	440 – 510nm	5
مادون قرمز نزدیک Near infrared	770 – 900nm	قدرت تفکیک طیفی Spectral resolution
500±50	Km	H
55±1	deg	i
3	سال Year	دوره عمر Life cycle

سایزینگ عملکردی سازه فضاپیما برای الزامات جابجایی و حفاظت فیزیکی محموله

با استفاده از داده‌های آماری مقدار میانگین نسبت‌های $f/h_{pl}=4.76$ و $D/d_{pl}=0.61$ بین ابعاد ماهواره و مشخصات بخش اپتیک زیرسیستم محموله اپتیکی برقرار است بنابراین ابعاد محموله اپتیکی به صورت جدول ۱۰ خواهد بود [۲۳]:

جدول ۱۰: ابعاد محموله اپتیکی VHR PS-AEOS عملیاتی نمونه

Table 10: Dimensions of the desired operational VHR PS-AEOS optical payload

h_{pl}	0.53m
d_{pl}	0.31m

سایزینگ عملکردی صفحه نذیر برای الزامات پیکربندی

در این گام فرض‌های زیر در سایزینگ عملکردی VHR PS-AEOS در نظر گرفته می‌شود:

- پیکربندی کلی ماهواره به صورت مکعب مستطیل با قاعده مربع در نظر گرفته می‌شود بنابراین صفحه نذیر ماهواره به شکل مربع خواهد بود.
- المان‌های قابل نصب بر روی صفحه نذیر ماهواره عبارتند از محموله اپتیکی و آنتن‌های باند X و S.

- ارتفاع ماهواره
- چگالی ماهواره
- پیکربندی آرایه‌های خورشیدی ماهواره
- ممان اینرسی ماهواره

پارامترهای اصلی طراحی زیرسیستم سازه

پارامترهای اصلی طراحی زیرسیستم سازه d_{sc} و h_{sc} می‌باشند. این دو پارامتر از یکدیگر مستقل هستند [۱۸].

دراپورهای طراحی زیرسیستم سازه

مطابق داده‌های آماری گراف‌هایی که با استفاده از نسبت‌های d_{sc}/d_{pl} و h_{sc}/h_{pl} رسم می‌شود دارای روند منطقی‌تری برای برازش منحنی و ایجاد معادلات متناظر هستند در نتیجه معادلات مرجع برای ایجاد صفحه طراحی به صورت دسته معادلات (۵) نوشته می‌شوند [۱۹].

$$\begin{aligned} d_{sc}/d_{pl} &= f_2(\text{elements on Nadir plate, overall configuration}) \quad (5) \\ h_{sc}/h_{pl} &= f_3(\text{Agility}) \end{aligned}$$

صفحه‌های طراحی زیرسیستم سازه

هدف از سایزینگ عملکردی زیرسیستم سازه تعیین پیکربندی (شکل) کلی و محاسبه ابعاد کلی، حجم داخلی و سطح خارجی ماهواره می‌باشد. دراپورهای طراحی که مشخصات پارامتریک صفحه طراحی بر اساس آنها تعیین می‌شود عبارتند از d_{sc}/d_{pl} و h_{sc}/h_{pl} و صفحه و صفحه طراحی می‌تولند بر اساس معادلات (۶) و (۷) ایجاد گردد. در معادله (۶) نسبت d_{sc}/d_{pl} بر اساس المان‌های نصب شده بر روی صفحه نذیر و پیکربندی کلی VHR PS-AEOS مساوی عددی خواهد شد که مقدار آن از جدول ۴ قابل تعیین خواهد بود [۲۰].

- سایزینگ عملکردی سازه VHR PS-AEOS برای الزامات عملکردی – المان‌های صفحه نذیر

$$\begin{aligned} d_{sc}/d_{pl} &= f_2(\text{elements on Nadir plate, overall configuration}) \quad (6) \end{aligned}$$

- سایزینگ عملکردی سازه VHR PS-AEOS برای الزامات عملکردی – چابکی

$$h_{sc}/h_{pl} = \frac{1.323\omega_s + 0.2953}{\omega_s + 0.02148} \quad (7)$$

اعتبارسنجی-سایزینگ عملکردی VHR PS-AEOS عملیاتی نمونه

برای صحت‌سنجی روش ارائه شده برای سایزینگ عملکردی VHR PS-AEOS، یک نمونه عملیاتی از این نوع ماهواره با استفاده از صفحه طراحی و مبتنی بر استراتژی طراحی برای عملکرد سایز می‌گردد [۲۱].

می‌شوند که امکان انتخاب بهترین طرح نقطه‌ای ایجاد گردد. با استفاده از صفحه طراحی تعداد سیکل‌های طراحی به چهار نقطه کاهش پیدا می‌کند. از آنجا که نقطه طرح مبنا غالباً روی مرزها و در محل تقاطع خطوط مرزی قرار می‌گیرند بنابراین با مقایسه مشخصات پارامتریک نقاط چهار گوشه ناحیه مجاز طراحی می‌توان طرح مبنا را مشخص نمود. مطابق جدول ۱۱، برای ماهواره مورد نظر $\omega_{s-max}=0.9 \text{ deg/s}$ می‌باشد و از آنجا که در فاز ساینینگ عملکردی مطلوب آن است که ماهواره کمترین حجم ممکن را اختیار نماید بنابراین نقطه نشان داده شده در شکل ۲ به عنوان طرح مبنا انتخاب می‌گردد. نقطه طراحی مشخص شده در صفحه طراحی زیرسیستم سازه، دارای مختصات زیر خواهد بود:

$$\text{design point} = \begin{bmatrix} h_{sc}/h_{PL}=1.75 \\ d_{sc}/d_{PL}=2.7 \end{bmatrix}$$

بنابراین ابعاد ماهواره به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{cases} h_{sc} = 0.93m \\ d_{sc} = 0.84m \end{cases}$$

بر اساس ابعاد بالا حجم ماهواره $V_{sc}=0.33m^3$ (حجم مکعب مستطیل معادل) می‌باشد. در این کلاس حجمی، چگالی ماهواره مطابق داده‌های آماری جدول ذیل، می‌بایست مقداری بین 288.19 Kg/m^3 تا 321.64 Kg/m^3 داشته باشد. حجم متناظر با هر یک از این دو مقدار به ترتیب $0.29m^3$ و $0.34m^3$ می‌باشد. مطابق جدول ۱۲ با میانابی می‌توان حجم VHR PS-AEOS مورد نظر را محاسبه کرد:

جدول ۱۲: حجم فضای داخلی و چگالی VHR PS-AEOS نمونه		
Table 12: The interior volume and density of the sample VHR PS-AEOS		
چگالی (Kg/m^3)	حجم (m^3)	
Density (Kg/m^3)	Volume (m^3)	
288.19	0.29	بیشینه
		The Maximum
321.64	0.34	کمینه
		Minimal
314.95	0.33	VHR PS-AEOS

بنابراین ابعاد، جرم و چگالی ماهواره مورد نظر به صورت جدول ۱۳ تعیین خواهد گردید:

جدول ۱۳: مشخصات ابعادی سازه ماهواره مورد نظر		
Table 13: Dimensional specifications of the desired satellite structure		
h_{sc}	0.93	m
d_{sc}	0.84	m
l_{sc}	0.6	m
w_{sc}	0.6	m
A_{sc}	0.56	m^2
h_{sc}	0.93	m
V_{sc}	0.33	m^3
ρ_{sc}	314.95	Kg/m^3
M_{sc}	105	Kg

نتیجه‌گیری

بر اساس دیاگرام تطبیق زیرسیستم تشکیل شده حداکثر جرم VHR PS-AEOS تا حد زیادی تحت تأثیر پیکربندی کلی آن می‌باشد و حداقل جرم آن نیز

مطابق جدول ۴ نسبت قطر ماهواره به قطر محموله اپتیکی آن $d_{sc}/d_{PL}=2.7$ خواهد بود. مرز ناشی از این الزام به صورت یک خط افقی در صفحه طراحی ساینینگ عملکردی زیرسیستم سازه ماهواره در شکل ۲ قابل نمایش است [۲۴].

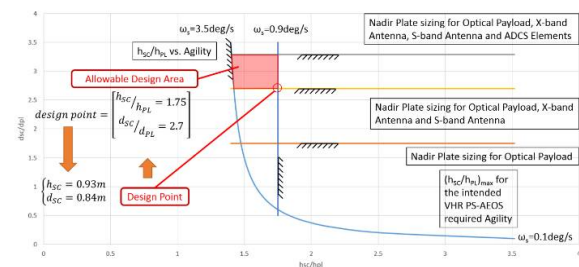
ساینینگ عملکردی سازه فضاپیما برای الزامات چابکی

مطابق دیاگرام تطبیق زیرسیستم ADCS [۴]، برای VHR PS-AEOSs رزولوشن مکانی $GSD=1m$ در نقطه طرح مبنا، $\theta_s/t_s^2=0.0228 \text{ deg/s}^2$ می‌باشد. بنابراین با فرض $B/H=0.6$ که مقدار ایده‌آل این نسبت می‌باشد مقدار t_s مساوی زمان مورد نیاز برای اخذ زوج تصویر، در راستای گذر، در مد تصویربرداری استریو خواهد بود [۴]. با محاسبه مقدار نرخ چرخش و مطابق جدول ۵ ماهواره از لحاظ چابکی در سطح ۱ قرار می‌گیرد و برای محاسبه نسبت h_{sc}/h_{PL} می‌توان از رابطه (۷) استفاده کرد. نتایج محاسبات در جدول ۱۱ آورده شده است [۲۵].

جدول ۱۱: نتایج ساینینگ عملکردی زیرسیستم سازه برای الزام چابکی

Table 11: Performance sizing results of structure subsystem for agility requirement		
θ_s/t_s^2	deg/s^2	0.0228
B/H	Km/Km	0.6
B	Km	300
t_s	s	20
ω_{s-max}	deg/s	0.9
h_{sc}/h_{PL}	m/m	1.75

با رسم خط قائم $h_{sc}/h_{PL}=1.75m/m$ مرز دیگری به دیاگرام تطبیق ساینینگ سازه VHR PS-AEOS مورد نظر اضافه می‌گردد. دیاگرام تطبیق ساینینگ سازه ماهواره مورد نظر به صورت نشان داده شده در شکل ۲ ترسیم می‌شود [۲۶]، [۲۷] و [۲۸].



شکل ۲: دیاگرام تطبیق زیرسیستم سازه در VHR PS-AEOS نمونه

Fig. 2: Matching diagram of the structure subsystem in the sample VHR PS-AEOS

نتایج و بحث

ناحیه مجاز طراحی به شکل دوزنقه و به رنگ قرمز مشخص شده است. از آنجا که تمام نقاط داخل این ناحیه الزامات حاکم بر ساینینگ عملکردی زیرسیستم سازه را پاس می‌کنند به همین دلیل هر نقطه در داخل ناحیه مجاز طراحی یک طرح نقطه‌ای محسوب می‌شود. برای انتخاب طرح مبنا، به صورت معمول سیکل‌های طراحی تا اندازه‌های تکرار

[8] N. Rioux, "ANSI/AIAA Guide for Estimating Spacecraft Systems Contingencies Applied to the NASA GLAST Mission," IEEEAC, vol. paper #1527, no. Version 3, 2005.

[9] C. D. Brown, Elements of Spacecraft Design, Reston. Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics. Inc., 2002.

[10] Mirshams M, Ebrahimi A, Ahmadi A. DESIGN METHODOLOGY OF SPACE SYSTEMS CONTROL COMPLEX OPTIMIZED STRUCTURE.

[11] Mirshams M, Ebrahimi A, Ahmadi A. DESIGN METHODOLOGY OF SPACE SYSTEMS GROUND COMPLEX OPTIMIZED STRUCTURE.

[12] E. C. f. S. Standardization, Space Project Management - Project Planning and Implementation (EcSS-M-St-10C Rev. 1), Noordwijk, The Netherlands: ESA Requirements and Standards Division, 2009.

[13] K. W. W. H. Wilfried Ley, Handbook of Space Technology, Singapore: John Wiley & Sons, Ltd., 2009.

[14] M. H. Sadraey, AIRCRAFT DESIGN - A Systems Engineering Approach, Chennai, India: John Wiley & Sons, Ltd, 2013.

[15] J. Roskam, Airplane Design - Part I: Preliminary Sizing of Airplanes, Ottawa, Kansas: Roskam Aviation and Engineering Corporation, 1985.

[16] D. P. Raymer, Aircraft Design: A Conceptual Approach, United States of America: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1992.

[17] J. Laurence K. Loftin, Subsonic Aircraft: Evolution and The Matching of Size to Performance, Hampton, Virginia: NASA, 1980.

[18] J. R. Wertz, D. F. Everett و J. J. Puschell, Space Mission Engineering: TheNewSMAD, Hawthorne, CA, USA: Microcosm Press, 2011.

[19] M. S. Qalehnou, "AN EFFICIENT BIONIC-BASED STRATEGY FOR SPACE STATIONS MANUFACTURING & ASSEMBLY PROCESS," International Astronautical Congress 2013, Beijing, China, 2013.

[20] N. A. a. S. A. (NASA), NASA Cost Estimating Handbook, Version 4.0, USA: National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2015.

[21] W. J. L. James R. Wertz, Space Mission Analysis and Design, Third Edition, United States of America: Microcosm Press and Kluwer Academic Publishers, 2005.

[22] F.-T. Hwang, "CURRENT DEVELOPMENT STATUS AND FUTURE TRENDS FOR HIGH RESOLUTION OPTICAL EARTH OBSERVATION SATELLITES," Asian Association on Remote Sensing, Bali, Indonesia, 2013.

[23] H. F. M. M. A. Jafarsalehi, "Conceptual Remote Sensing Satellite Design Optimization under uncertainty," Aerospace Science and Technology, No. 55, p. 377-391, 2016.

[24] E. P. A. M. M. Ali Jafarsalehi, "Satellite imaging payload design optimization," Aerospace Science and Technology, No. 39, p. 145-152, 2014.

[25] D. A.-M. Mojtaba Abolghasemi, "Design and performance evaluation of the imaging payload for a remote sensing

تحت تأثیر نرخ افت ارتفاع مداری در طی دوره عمر عملکردی ماهواره است. با توجه به افزایش نرخ افت ارتفاع مدار در اثر کاهش جرم و افزایش نسبت سطح به جرم، به ازای سطح مشخصی از ماهواره جرم آن نمی‌بایست از مقدار متناظر با آن سطح کمتر باشد.

همچنین ابعاد محموله و جانیایی محموله در داخل سازه به منظور تأمین چابکی مورد نیاز الزامات بحرانی برای تعیین ابعاد کلی ماهواره و در نتیجه سطح و حجم آن می‌باشند. بر این اساس سطح ماهواره از مقدار مشخصی نمی‌تواند افزایش پیدا کند تا از این طریق نسبت h_{sc}/h_{PL} و h_{sc}/h_{PL} محدود و مقید به بیشترین مقدار آن که بر اساس چابکی تعیین می‌شود باقی بماند.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری 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] C. S. Wasson, System Analysis, Design, and Development Concepts, Principles, and Practices, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

[2] E. Torenbeek, Synthesis of subsonic - An introduction to the preliminary design of subsonic general aviation and transport aircraft , with emphasis on layout, aerodynamic design, propulsion and performance, Netherlands: Delft University Press, 1976.

[3] A. Ahmadi, A. Kosari and S. M. B. Malaek, "A Generic Method for Remote Sensing Satellites Conceptual Design and Rapid Sizing Based on "Design for Performance" Strategy," IEEE A&E SYSTEMS MAGAZINE, vol. 33, no. 2, pp. 34 - 51, 2018.

[4] A. kosari, A. Sharifi, A. Ahmadi and M. Khoshshima, "Remote sensing satellite's attitude control system: rapid performance sizing for passive scan imaging mode," Aircraft Engineering and Aerospace Technology, vol. 92, no. 7, p. 1073-1083, 2020.

[5] A. Ahmadi, A. Kosari, S. M. B. Malaek and M. Khoshshima, "RS-Satellites Propulsion Subsystem Performance Sizing Via Design Plane Technique, a Generic Method," IEEE A&E SYSTEMS MAGAZINE, vol. 36, no. 2, pp. 56-70, 2021.

[6] M. M. Micci and A. D. Ketsdever, Micropropulsion for Small Spacecraft, Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautic (AIAA), 2000.

[7] H. J. Kramer, Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag , 2002.

✉ kosari_a@ut.ac.ir



محمد رضا سقامنش دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی فضایی از دانشگاه چینخوا چین-پکن می باشد. وی از سال ۱۴۰۰ تا کنون به عنوان استادیار در مرکز فضایی دانشگاه جامع امام حسین (ع) مشغول به فعالیت می باشد. زمینه های تخصصی ایشان عبارتند از: طراحی بهینه ماموریت های فضایی، طراحی و ساخت سامانه های فضایی و ماهواره، هدایت و کنترل بهینه مسیر فضاپیما، طراحی و بهینه سازی مسیر فضاپیما و مسیرهای بین سیاره ای.

Saghmanesh, M. School of Aerospace Engineering, Tsinghua University, Beijing, China

✉ msaghmanesh@ihu.ac.ir



علیرضا احمدی مدرک کارشناسی خود در رشته مهندسی مکانیک-طراحی جامدات را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه صنعتی مالک اشتر؛ مدرک کارشناسی ارشد را در سال ۱۳۸۸ در رشته مهندسی هوافضا-مهندسی فضایی از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و مدرک دکترا را در سال ۱۳۹۶ در رشته مهندسی هوافضا-دینامیک پرواز و کنترل از دانشگاه تهران دریافت کرد. زمینه های تحقیقاتی او در حوزه طراحی؛ ساخت؛ یکپارچه سازی و آزمون سامانه های فضایی می باشد و نویسنده مقالات متعددی در این زمینه است.

Ahmadi, A. R. Department of Aerospace Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

✉ ali.r.ahmadi@ut.ac.ir

satellite," Optics & Laser Technology, No 44, p. 2418–2426, 2012.

[26] S. R. Jörg Schaefer, "Satellite design by design grammars," Aerospace Science and Technology, No. 9, p. 81–91, 2005.

[27] S. R. Johannes Gross, "Modeling graph-based satellite design languages," Aerospace Science and Technology, No 49, p. 63–72, 2016.

[28] S. R. Johannes Gross, "Rule-based spacecraft design space exploration and sensitivity analysis," Aerospace Science and Technology, No 59, p. 162–171, 2016.

[29] S. R. Johannes Gross, "Geometry and simulation modeling in design languages," Aerospace Science and Technology, No. 54, p. 183–191, 2016.

[30] G. G. S. A. K. W. S J Gardner, "The design of a small satellite for earth observation," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering, Volume 210, No. 4, pp. 323–332, 1996.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



امیررضا کوثری مدارک خود در رشته مهندسی هوافضا را در مقطع لیسانس در سال ۱۳۷۷ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر-تهران-ایران و در مقطع کارشناسی ارشد و دکترا در سال های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۷ از دانشگاه صنعتی شریف تهران دریافت کرد. وی از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۵ استادیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران بود و از سال ۱۳۹۶ با رتبه دانشیاری در این دانشکده مشغول به فعالیت می باشد. زمینه های تحقیقاتی وی شامل بهینه سازی مسیر، کنترل بهینه، پروازهای مشارکتی و کنترل وضعیت فضاپیما می باشد. او نویسنده مقالات متعددی در زمینه های فوق الذکر است.

Kosari, A. Associate Professor at the Department of Aerospace Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

Citation (Vancouver): Kosari A, Saghmanesh M, Ahmadi A. [Rapid sizing the Structure Subsystem of a VHR PS-AEOS Based on the Design for System Performance Strategy]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2023; 1(1): 115-126

<https://doi.org/10.22061/jrsg.2022.1982>



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 Remote Sensing and Geoinformation Research

Volume 1, Issue 1, - Serial Number 1, Winter & Spring 2023

Based Analysis of Land Use/Land Cover Changes Caused by Construction: A Case Study in the Mehr Pardis Housing Area <i>S. Bayat, F. Tabib Mahmoudi</i>	1-10
Approach to Solve the Shortest Route in Urban Networks Based on Evolutionary Algorithms <i>S. Behzadi, M. Adresi, M. Shirazian</i>	11-20
Optimum Identifications of Urban Deteriorated Texture Using GIS and Fuzzy Logic (Case study: Iran Gas neighborhood, Qazvin city) <i>M. Ebrahimi, A. Vafaeinejad</i>	21-30
Performance Evaluation of CubeSats for Remote Sensing Missions: A Review <i>M. Nasiri Sarvi, H. Mahdipour</i>	31-40
Monitoring and detection of methane gas in Tehran in Google Earth Engine <i>M. Mohammadi, M. Akhoondzadeh</i>	41-52
Assessing the Use of Public Transportation System in Qazvin City Using a Simulator Model <i>M. Kazemi, F. Hosseinali</i>	53-62
Analysis of Land Use Changes by Using Satellite Images in Kerman City <i>D. Abbasi-Moghadam, A. Mohammadi</i>	63-72
Exploring the Influence of Slope Position and Parent Material on the Formation and Transformation of Landforms <i>Z. Alijani, H. Ashoori</i>	73-82
Assessment of Vegetation Mapping Methods Using GIS and Remote Sensing <i>M. Dastanian, J. Saberian</i>	83-90
Comparison of Spatially Guided Tabu Search and Nested Genetic Algorithms for Solving the Capacitated Location-Allocation Problem in Emergency Situations <i>H. Aghamohammadi</i>	91-102
Using Artificial Neural Networks and Geospatial Information Systems in Mine Exploration for Producing Mineral Potential Map <i>T. Silavi¹, M. Kheirkhazadeh</i>	103-114
Rapid sizing the Structure Subsystem of a Very High Resolution Satellite Based on the Design for System Performance Strategy <i>A. Kosari, M. Saghmanesh, A. Ahmadi</i>	115-126