



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



دوره ۲، شماره ۱، زمستان و بهار ۱۴۰۳



Journal of Remote Sensing and Geoinformation Research



Volume 2, Issue 1, Winter & Spring 2024

نشریه پژوهش های سنجش از دور و اطلاعات مکانی

دوره ۲، شماره ۱، زمستان و بهار ۱۴۰۳



نشریه علمی پژوهش‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی

دوره ۲، شماره ۱، زمستان و بهار ۱۴۰۳

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:	انسپه 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

لایتنوگرافی 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@ sru.ac.ir

نشریه پژوهش‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی با صاحب امتیازی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی بر اساس آیین‌نامه نشریات علمی مصوب ۱۳۹۸/۰۲/۰۹ در ارزیابی سال ۱۴۰۲، موفق به کسب رتبه (ب) شده است.

نشریه علمی پژوهش‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی

دوره ۲، شماره ۱، زمستان و بهار ۱۴۰۳

۱-۱۰	نقشه‌برداری مناطق زاغه‌نشین با استفاده از فتوگرامتری پهپاد هدی صالح مهدی، عبادت قنبری پرمهر، سید احمد انوری
۱۱-۲۴	تعیین پارامترهای زبری و رطوبت خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنتینل ۱ از طریق مدل OH: مطالعه موردی زمین کشاورزی در شهر نظرآباد حمیدرضا بابایی‌فرد، سعید صادقیان
۲۵-۴۴	ارزیابی الگوریتم‌های فراابتکاری در انتخاب پوشش بهینه ساختمان‌ها بر اساس اثر جزایر حرارتی شهری امیررضا قندیان، نیکروز مستوفی، عباس مجیدی‌زاده، حمید مطیعیان
۴۵-۶۴	تحلیل دینامیک جزایر حرارتی شهری در تهران (۲۰۱۳-۲۰۲۳) براساس تصاویر MODIS و موتور Google Earth سید تاج‌الدین منصوری، اسماعیل ضرغامی
۶۵-۷۸	بررسی عوامل موثر بر حجم بالای درخواست‌های مردمی به مراکز امداد و نجات با استفاده از رویکرد رگرسیون جغرافیایی وزن‌دار مژده مینایی، محمد حسن وحیدنیا، زهرا رضائی
۷۹-۹۶	بررسی الگوهای مکانی-زمانی تصادفات ترافیکی برون شهری استان اصفهان در محیط GIS مهدیس رحمتی، حسین آقا محمدی زنجیرآباد، سعید بهزادی، علی اصغر آل شیخ
۹۷-۱۱۲	پایش فرونشست خط راه آهن تهران با استفاده از تکنیک اینسار و مشاهدات زمینی جلیل پیری، اسلام جوادنیا
۱۱۳-۱۲۶	استفاده از روش‌های یادگیری ماشین برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ به‌منظور ارزیابی مساحت کاربری‌های زمین شهری (غرب تهران) حسین جولایی، علیرضا وفایی‌نژاد
۱۲۷-۱۴۰	پیش‌بینی تغییرات نیتروژن کل خاک با استفاده از سه رویکرد متفاوت یادگیری ماشین و داده‌های سنجش از دور شیلان فعله‌گری، کامران مروج، علیرضا شریفی، احمد گلچین، پرویز کرمی

۱۴۱-۱۵۴	آشکارسازی ساخت‌وسازهای غیرمجاز بر اراضی جنگلی در چارچوب کاداستر محیط‌زیست: مطالعه موردی روستای لالون حمیدرضا بابایی فرد، سعید صادقیان، علیرضا قراگوزلو
۱۵۵-۱۶۸	انتخاب ترکیب بهینه ویژگی‌های بافتی به‌روش ژنتیک، به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا حامد عاشوری
۱۶۹-۱۷۸	تشخیص مدل رفتاری خشکسالی و پیش‌بینی آن با استفاده از سیستم خبره تحت بستر وب مهدی ناگهی، سعید بهزادی



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Slum Area Mapping Using UAV Photogrammetry

H. Salih Mahdi, E. Ghanbari Parmehr*, S. A. Anvari

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

ABSTRACT

Received: 12 January 2024
 Reviewed: 6 April 2024
 Revised: 17 April 2024
 Accepted: 9 May 2024

KEYWORDS:

3D Mapping
 Oblique Images
 Photogrammetry
 Slum
 UAV
 Vertical Images

* Corresponding author

✉ parmehr@nit.ac.ir

☎ (+9811) 35501580

Background and Objectives: The urbanization occurs everywhere, especially in developing countries and is the process of changing the social order and transforming the landscape of a city. However, urbanization always leads to the growth of slums or informal settlements. The development of urban areas with dense and complex slum areas requires extensive planning and very accurate and reliable information. The process of collecting data using traditional methods is time-consuming and expensive.

Methods: Remote sensing is used to identify, identify and monitor slum settlements in space and time and better understand the physical effects of slums. But due to the complexities of the slum areas and the spatial resolution of satellite images, it is not possible to use satellite images to prepare accurate maps with high details. With the emergence of unmanned aerial vehicle (UAV) as an imaging platform and the use of these images for aerial photogrammetric mapping of UAVs, its applications in various fields have increased day by day. Due to their portability, accuracy, low cost, and high imaging speed, UAVs have attracted attention in many research fields to obtain the latest information about target areas. Due to the use of non-metric cameras in UAV photogrammetry, camera calibration is necessary is carried out in the UAV image processing software using the bundle adjustment technique. However, the conventional aerial photogrammetry imaging structure, i.e. obtaining vertical images with overlaps, due to the dependence between the camera calibration parameters and the external orientation parameters of the camera, cannot achieve high accuracy in the 3D maps. In addition, due to the low height of UAV images, more hidden areas are created in the 3D photogrammetric model. In this research, vertical and oblique UAV images with angles of 30 and 45 degrees were used to prepare a three-dimensional map of the slum area with high density and complexity, and the accuracy of the vertical and oblique images was evaluated using control points in the study area.

Findings: The high resolution of UAV images and the generated orthomosaic makes it possible to recognize details and provides a better understanding of the earth's features. For example, walls with a thickness of ten centimeters and power lines with a thickness of two centimeters can be seen. As a result, urban planners can determine the boundaries of buildings with high accuracy and produce cadastral maps with high accuracy. Oblique images are distinguished by a wider field of view than vertical images. It is also possible to see areas hidden under obstacles such as plants, buildings and narrow alleys. This feature provides high accuracy that can be used in projects that require detailed descriptions, such as cultural heritage protection projects and urban projects that require details such as building facades and height estimates.

Conclusion: In this research, vertical and oblique UAV images were used to prepare a 3D map of the slum area, and based on the results, the total error of oblique images is 6.2 and 8.3 cm for oblique images with angles of 30 and 45 degrees, respectively. While the total error of vertical images is equal to 16.1 cm. This comparison shows the superiority of the accuracy of oblique images compared to vertical images.



NUMBER OF REFERENCES

30



NUMBER OF FIGURES

9



NUMBER OF TABLES

8

مقاله پژوهشی

نقشه‌برداری مناطق زاغه‌نشین با استفاده از فتوگرامتری پهپاد

هدی صالح مهدی، عبادت قنبری پرمهر^{*}، سید احمد انوری

گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: پدیده شهرنشینی به‌عنوان فرآیند تغییر نظم اجتماعی و دگرگونی منظر یک شهر در همه جا به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه رخ می‌دهد، اما شهرنشینی، رشد زاغه‌نشینی یا سکونت‌گاه‌های غیررسمی را به‌دنبال داشته و توسعه مناطق شهری با مناطق زاغه‌نشین متراکم و پیچیده، نیازمند برنامه‌ریزی گسترده و اطلاعات دقیق و قابل اعتماد است. جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از روش‌های سنتی زمان‌بر و پرهزینه است، اما فتوگرامتری پهپاد قادر به تهیه نقشه‌های دقیق و قابل اعتماد در مدت زمان کوتاه با جزئیات مکانی بالا برای توصیف و تجسم مناطق زاغه‌نشین هستند.

روش‌ها: به‌دلیل پیچیدگی زیاد بافت مناطق زاغه‌نشین و قدرت تفکیک مکانی محدود تصاویر ماهواره‌ای، امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه‌های دقیق با جزئیات بالا وجود ندارد. پرنده‌های هدایت‌پذیر از راه دور (پهپاد) به‌عنوان سکوی تصویربرداری، امکان اخذ تصاویر با جزئیات زیاد و قدرت تفکیک بالا را فراهم می‌سازند. از این‌رو، فتوگرامتری پهپاد به‌عنوان راهکار مناسب برای تهیه نقشه مناطق زاغه‌نشین مطرح می‌گردد. هر چند که ساختار تصویربرداری به‌روش فتوگرامتری هوایی مرسوم یعنی اخذ تصاویر قائم با پوشش طولی و عرضی امکان تهیه مدل سه بعدی را فراهم می‌سازد، پیچیدگی‌های بافت مناطق زاغه‌نشین، موجب بروز نواحی پنهان زیاد در مدل سه بعدی می‌شود. علاوه بر این، ساختار تصویربرداری متداول به‌دلیل وابستگی بین پارامترهای کالیبراسیون دوربین و پارامترهای توجیه خارجی دوربین در روش مثلث بندی دسته‌اشعه مناسب برای تعیین پارامترهای کالیبراسیون دوربین نیست. از این‌رو، در این تحقیق، تصاویر قائم و مایل پهپادی با زاویه ۳۰ و ۴۵ درجه برای تهیه نقشه سه بعدی منطقه زاغه‌نشینی واقع در شهر شطره استان ذی قار عراق استفاده شده و ارزیابی دقت حاصل از تصاویر قائم و مایل با استفاده از نقاط کنترل موجود در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: استفاده از تصاویر مایل، موجب بهبود دید عوارض و کاهش نواحی پنهان گردیده و منجر به افزایش دقت کالیبراسیون شد. علاوه بر این، تصاویر مایل دید وسیع‌تر از تصاویر قائم را پوشش داده و می‌توان مناطق پنهان شده در زیر موانع مانند گیاهان، ساختمان‌ها و کوچه‌های باریک را مشاهده کرد. این ویژگی، دقت بالایی را ارائه می‌دهد که می‌توان از آن در پروژه‌هایی که نیاز به توصیف دقیق دارند، مانند پروژه‌های حفاظت از میراث فرهنگی و پروژه‌های شهری که نیاز به جزئیات مانند نمای ساختمان و برآورد ارتفاع آن‌ها دارند، استفاده کرد.

نتیجه‌گیری: در این تحقیق، از تصاویر قائم و مایل پهپاد برای تهیه نقشه سه بعدی منطقه زاغه‌نشین استفاده شد و بر اساس نتایج حاصل، خطای کل تصاویر مایل به‌ترتیب برابر ۶/۲ و ۸/۳ سانتی‌متر برای تصاویر مایل با زوایای ۳۰ و ۴۵ به‌دست آمد، در حالی که خطای کل تصاویر قائم برابر ۱۶/۱ سانتی‌متر است. این مقایسه، برتری دقت تصاویر مایل نسبت به تصاویر قائم را نشان می‌دهد. در پروژه‌هایی که نیاز به استخراج ارتفاع ساختمان با دقت بیشتری دارند، استفاده از تصاویر مایل، مناسب بوده در حالی که مدل سه بعدی ساختمان‌های دارای ارتفاع کم را می‌توان با تصاویر قائم تولید نمود.

واژگان کلیدی:

پهپاد

تصاویر قائم

تصاویر مایل

فتوگرامتری

مناطق زاغه‌نشین

نقشه برداری سه بعدی

^{*} نویسنده مسئول

parmehr@nit.ac.ir

۰۱۱-۳۵۵۰۱۵۸۰ (۱)

مقدمه

است. مشکل زندگی در مناطق فقیرنشین، یکی از رایج‌ترین مشکلات در بسیاری از کشورها است. در عراق، به‌دلیل وقوع جنگ‌های فراوان و جابه‌جایی از روستاها به شهرها در جستجوی کار، اطلاعات مکانی و زمانی از سکونت شهروندان وجود نداشته و روند ساخت‌وسازهای غیررسمی گسترش یافته است. به‌منظور تسهیل فرآیند سازماندهی، برنامه‌ریزی و تملک زمین، دسترسی به اطلاعات و داده‌های مکانی دقیق، ضروری است. به‌دست آوردن اطلاعات مکان به روز مستلزم دسترسی به داده‌های کافی در مورد وضعیت مسکن و توصیف دقیق ویژگی‌های مکانی آن‌ها است [۲]. بزرگترین چالش پیش روی

پدیده شهرنشینی، در همه جای دنیا به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه رخ می‌دهد. شهرنشینی، فرآیند تغییر نظم اجتماعی و دگرگونی منظر یک شهر است. با این حال، شهرنشینی، همواره رشد زاغه‌نشینی یا سکونت‌گاه‌های غیررسمی را به‌دنبال دارد [۱]. روند کنونی شهرنشینی، همراه با کمبود مسکن ارزان قیمت و رشد سریع جمعیت و مراکز شهری، منجر به گسترش زاعه نشینی یا سکونتگاه‌های غیررسمی در اکثر شهرهای جهان شده است. علاوه بر دشواری دستیابی به مسکن مناسب در مراکز شهرها، به گسترش مسکن حومه شهرها کمک کرده

ابرنقاط و مدل سه‌بعدی تولید می‌گردد. اساس روش ساختار ناشی از حرکت، از نحوه ادراک اجسام توسط چشم انسان الگوبرداری شده است. روش ساختار ناشی از حرکت، امکان دستیابی سریع، خودکار و کم‌هزینه به داده‌های سه بعدی را فراهم می‌سازد. این روش، به گونه‌ای است که با استفاده از تصاویر متوالی پوشش‌دار مربوط به یک شیء و پردازش تصویر، مدل سه‌بعدی دارای مختصات ایجاد می‌کند [۲۷].

با توجه به استفاده از دوربین‌های غیرمتریک در فتوگرامتری پهپاد، کالیبراسیون دوربین امری ضروری است که در نرم‌افزار پردازش تصاویر پهپاد به روش دسته اشعه انجام می‌گیرد. اما ساختار تصویربرداری به روش فتوگرامتری هوایی مرسوم یعنی اخذ تصاویر قائم با پوشش طولی و عرضی به دلیل وابستگی بین پارامترهای کالیبراسیون دوربین و پارامترهای توجیه خارجی دوربین نمی‌تواند موجب حصول دقت بالا در نقشه‌های سه بعدی حاصل از تصاویر قائم پهپادی گردد. علاوه بر این، به دلیل ارتفاع پایین تصاویر پهپاد مناطق پنهان بیشتری در مدل سه بعدی فتوگرامتری ایجاد می‌گردد [۲۸، ۲۶].

از این‌رو، تصاویر مایل پهپادی برای تولید نقشه‌های توپوگرافی دقیق‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۵، ۲۷-۲۹]. استفاده از تصاویر مایل امکان دسترسی به نواحی پنهان را افزایش داده و موجب بهبود دقت کالیبراسیون دوربین به دلیل بهبود استحکام هندسی تصویر برداری می‌شود [۳۰].

در این تحقیق، از تصاویر قائم و مایل پهپادی با زاویه ۳۰ و ۴۵ درجه برای تهیه نقشه سه بعدی منطقه زاغه‌نشینی با تراکم و پیچیدگی بالا استفاده شده و ارزیابی دقت حاصل از تصاویر قائم و مایل با استفاده از نقاط کنترل موجود در منطقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در کشور عراق، استان ذی قار، شهر شطره (۳۵° ۲۴' ۳۱" شمالی و ۱۸° ۱۰' ۴۶" شرقی)، واقع در جنوب کشور عراق، (شکل ۱)، در محدوده دشت رسوبی در محدوده‌ای به مساحت ۲۵ هکتار انجام شد. شهر شطره یکی از قدیمی‌ترین شهرهای عراق به شمار می‌رود. سابقه آن، به تمدن سومریان می‌رسد اما نام آن به دوران معاصر بر می‌گردد. رودخانه غراف آن را به دو قسمت تقسیم می‌کند. این امر، منجر به گسترش بسیاری از جوامع مسکونی غیررسمی و زاغه‌نشینی در حاشیه شهر شده است. منطقه مورد مطالعه در حومه جنوبی شهر، در کنار رودخانه، شامل تعداد زیادی ساختمان مسکونی بالغ بر ۳۰۰۰ واحد است. طبق آمار دولت محلی، خانه‌های مسکونی غیررسمی در این منطقه، شباهت ساختاری و بافتی به خانه‌های رسمی دارند، اما در مناطق مختلف و با همپوشانی تصادفی بین ساختمان‌ها ساخته شده‌اند. بیشتر ساختمان‌ها یک طبقه بوده و فاقد جاده دسترسی هستند. علاوه بر این، منطقه فاقد زیرساخت شهری، امکانات بهداشتی، زیست‌محیطی و خدماتی بوده که منجر به گسترش مکان‌های جمع‌آوری زباله شده و گیاهان و نیزار در اطراف منطقه رشد کرده که در بخش‌هایی نیز تجمع آب را کد موجب گسترش بیماری شده است.

کارشناسان، جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های مکانی است. کار میدانی بر اساس ویژگی‌های سکونت‌گاهی، کاری پرخطر است، زیرا این زمین‌ها به‌طور غیرمعمول مشکل‌ساز توصیف می‌شوند. از این‌رو، نقشه‌برداری زمینی با مشکلات زیادی همراه بوده و بسیار زمان‌بر است.

در مقابل، داده‌های سنجش از دور می‌تواند منبع ارزشمندی در نمایش ویژگی‌های فیزیکی مناطق فقیرنشین و تولید نقشه‌های پایه باشد [۳-۷]. از این‌رو، از سنجش از دور برای شناسایی و پایش سکونت‌گاه‌های زاغه‌نشین در مکان و زمان و درک بهتر جلوه‌های فیزیکی زاغه‌ها استفاده می‌شود، اما با توجه به پیچیدگی‌های بافت مناطق زاغه‌نشین و قدرت تفکیک مکانی محدود تصاویر ماهواره‌ای، امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه‌های دقیق با جزئیات بالا وجود ندارد [۸، ۹]. در سال‌های اخیر، از پرنده‌های هدایت‌پذیر از راه دور (پهپادها) به‌طور گسترده‌ای در سازماندهی فعالیت‌های زمینی در محله‌های فقیرنشین استفاده شده است. در تحقیقی در کشور برزیل، از فتوگرامتری پهپاد با هدف یافتن بهترین روش برای بهسازی مسکونی و شهری در سکونت‌گاه‌های غیررسمی و بهینه‌سازی شبکه راه‌ها و شناسایی دقیق ساختمان‌ها برای ارائه بهترین خدمات و زیرساخت‌ها استفاده شده است [۱۰]. در تحقیقات مشابه، با توجه به نیاز روزافزون به نقشه‌های به روز، دقیق و با جزئیات بالا از پهپادها برای نقشه‌برداری مناطق زاغه‌نشین استفاده شده و چالش‌های مربوط به دقت دوربین‌های رقومی، هزینه کم و سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی مورد استفاده در فتوگرامتری پهپاد مورد بحث قرار گرفته است [۱۰-۲۶].

مواد و روش

فتوگرامتری پهپاد

فتوگرامتری علم و فناوری اندازه‌گیری سه بعدی با استفاده از اندازه‌گیری از روی عکس‌های پوشش‌دار است. فتوگرامتری، کاربردهای زیادی از جمله نقشه‌برداری توپوگرافی، نقشه‌های باستان شناسی برای حفاظت از تاریخ، معماری شهری و مدل‌سازی سه بعدی برای سازه‌ها، مهندسی عمران، توسعه زیرساخت‌ها و غیره دارد. فتوگرامتری هوایی، بیشتر به عکس‌های گرفته شده توسط دوربین‌های نصب شده در هواپیماهای سرنشین‌دار شناخته می‌شود. در یک دهه گذشته، با ظهور پرنده‌های هدایت‌پذیر از راه دور (پهپاد) به عنوان سکوی تصویربرداری و استفاده از این تصاویر برای نقشه‌برداری هوایی فتوگرامتری پهپاد مطرح و کاربردهای آن در حوزه‌های مختلف روز به روز بیشتر شده است. پهپادها به دلیل قابل حمل بودن، دقت، هزینه کم و سرعت بالا در تصویربرداری، در بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی برای به‌دست آوردن آخرین اطلاعات در مورد مناطق هدف مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین، استفاده از پهپادها در نقشه‌برداری توپوگرافی از قابلیت‌های بالایی در عکس‌برداری، ثبت وقایع و نظارت بر آن‌ها در مناطق برخوردار است و این امر به مدیریت امور شهری بر اساس داده‌ها کمک می‌کند [۲]. پردازش تصاویر رقومی پهپاد با استفاده از الگوریتم ساختار ناشی از حرکت انجام شده و



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

Fig. 1: Study area



شکل ۲: پهپاد DJI Mavic II Pro

Fig. 2: DJI Mavic II Pro UAV

جدول ۱: مشخصات دوربین پهپاد

Table 1: UAV camera specifications

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 μ m

روند کار

جمع‌آوری داده‌ها

عملیات پرواز تصویربرداری در تاریخ ۲۰۲۳/۰۱/۲۸ انجام شد و قبل از انجام عملیات پرواز، مجوزها و موافقت اداره محلی شهر جهت انجام پرواز اخذ شده و تاریخ و ساعت پرواز اطلاع داده شد. قبل از تصویربرداری نقاط کنترل با توزیع مناسب بر روی زمین علامت‌گذاری و با GPS چند فرکانسه مختصات دقیق آنها اندازه‌گیری شد. برای تصویربرداری هوایی از پهپاد DJI Mavic II Pro (شکل ۲) به وزن ۹۰۷ گرم و ابعاد (۸۴×۹۱×۲۱۴) میلی‌متر و دوربین تجاری از نوع (Test Pro) با وضوح (۳۶۴۲×۵۴۷۲) پیکسل و فاصله کانونی (۲۶.۱۰ میلی‌متر) با شاتر مکانیکی با سرعت بسته شدن ۸-۸۰۰/۱ ثانیه، زاویه دید بیش از ۷۷ درجه و سنسور CMOS استفاده شد (جدول ۱).

۴۵ دقیقه انجام شده و تعداد ۴۹۳ تصویر با فاصله نمونه‌برداری از زمین ۲/۸۹ سانتی‌متر اخذ شد.

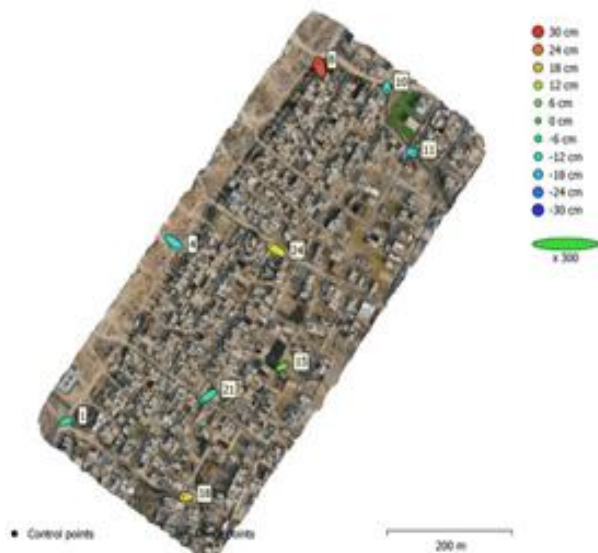


شکل ۵: نمونه تصویر مایل با زاویه ۴۵ درجه
Fig. 5: Oblique image sample (45-degree angle)

پردازش داده‌ها

پردازش تصاویر قائم

برای پردازش تصاویر از نرم‌افزار AgiSoft MetaShape نسخه (۳.۷.۱) استفاده شد. پس از انجام توجیه نسبی تصاویر معرفی، نه نقطه کنترل زمینی به مدل سه بعدی فتوگرامتری تشکیل شده، مثلث‌بندی هوایی انجام گردید. توزیع نقاط کنترل زمینی در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: توزیع و دقت نقاط کنترل زمینی
Fig. 6: Distribution and accuracy of GCPs

سپس، کالیبراسیون دوربین با استفاده پارامترهای فاصله کانونی (F) با واحد پیکسل، مختصات نقطه اصلی (CY, CX) با واحد پیکسل، پارامترهای اعوجاج شعاعی (K1, K2, K3) و پارامترهای اعوجاج مماسی (P1, P2) انجام شده و نتایج، در جدول ۲ نشان داده شده است.

تصویربرداری قائم

تصویربرداری قائم، در ساعت نه صبح با هم‌پوشانی طولی و عرضی ۸۰٪ و ۷۵٪، با ارتفاع پرواز ۷۰ متری در ۷۰ دقیقه انجام شده و تعداد ۹۱۱ تصویر با فاصله نمونه‌برداری از زمین ۱/۹ سانتی‌متر اخذ گردید. شکل ۳، یک نمونه تصویر قائم را نشان می‌دهد. ارتفاع هواپیما، یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر پرواز پهپاد، به‌طوری که دقت مکانی، تعداد تصاویر، مدت پرواز و همچنین مناطق تحت پوشش بر اساس آن تعیین می‌شود.



شکل ۳: نمونه تصاویر قائم
Fig. 3: Vertical image sample

تصویربرداری مایل

دو پرواز مایل با زوایای تصویربرداری ۳۰ و ۴۵ درجه انجام شد. اولین پرواز، در ساعت ۱۱ صبح با زاویه تصویربرداری ۳۰ درجه، با هم‌پوشانی طولی و عرضی ۸۰٪ و ۷۵٪، با ارتفاع پرواز ۱۰۲ متری در ۴۵ دقیقه انجام شده و تعداد ۴۹۳ عکس با فاصله نمونه‌برداری از زمین ۲.۲۳ سانتی‌متر اخذ گردید.



شکل ۴: نمونه تصویر مایل با زاویه ۳۰ درجه
Fig. 4: Oblique image sample (30-degree angle)

پرواز دوم، در ساعت ۴ بعد از ظهر با زاویه تصویربرداری ۴۵ درجه، با هم‌پوشانی طولی و عرضی ۸۰٪ و ۷۵٪، با ارتفاع پرواز ۱۲۵ متری در

جدول ۲: پارامترهای کالیبراسیون دوربین
Table 2: Camera calibration parameters

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2572.12	7.1	1.00	-0.76	-0.57	-0.43	-0.68	0.91	0.79	-0.64
Cx	56.409	0.1		1.00	0.44	0.32	0.53	-0.70	-0.51	0.49
Cy	-24.1578	0.074			1.00	0.25	0.39	-0.52	-0.45	0.45
K1	-0.002685	3.2e-05				1.00	-0.35	-0.05	-0.34	0.27
K2	-0.003354	5.6e-05					1.00	-0.92	-0.54	0.44
K3	0.002229	4.1e-05						1.00	0.72	-0.59
P1	0.001260	4.5e-06							1.00	-0.52
P2	-0.000615	2.6e-06								1.00

پس از انجام کالیبراسیون و به دست آوردن پارامترهای توجیه داخلی و خارجی دوربین میانگین خطای مراکز تصویر قائم طبق جدول ۳ به دست آمد.

جدول ۳: میانگین خطای مراکز دوربین تصاویر قائم
Table 3: Mean error of camera centers for vertical images

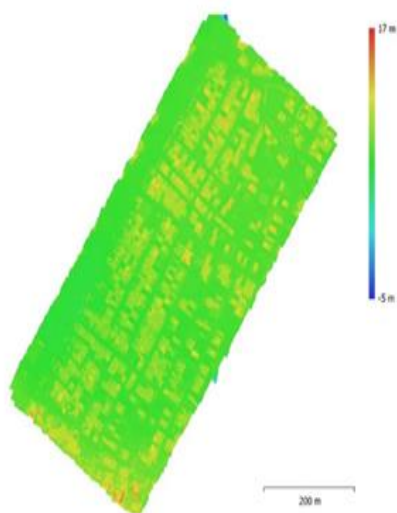
X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.4	3.4	30.2	4.2	30.4

خطای نقاط کنترل زمینی برای تصاویر قائم در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: خطا در نقاط کنترل زمینی تصاویر قائم

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)
1	4.7	1.7	-9.1	10.4
4	6.3	-4.4	-14.2	16.2
8	-1.7	4.7	27.4	27.9
10	-0.006	-2.2	-12.7	12.9
11	1.7	-0.6	-16.1	16.2
15	4.1	1.7	5.5	7.1
18	-3.2	-0.4	16.5	16.9
21	-5.9	-4.0	-10.8	12.9
24	-6.1	3.4	14.1	15.8
Total	4.3	3.0	15.2	16.1

پس از مثلث بندی هوایی و کالیبراسیون دوربین، ابر نقاط سه بعدی و مدل رویه سه بعدی ایجاد شد. شکل ۷، مدل رویه سه بعدی را نشان می دهد. با استفاده از مدل رویه زمین اورتوموزائیک یا همان عکس نقشه تولید شده که می تواند برای ترسیم مسطحاتی عرصه و عیان ساختمان های منطقه زاغه نشین مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۸).



شکل ۷: مدل رقومی زمین
Fig. 7: Digital Elevation Model



شکل ۸: اورتوموزائیک
Fig. 8: Orthomosaic

تحلیل نتایج

بحث

پس از مثلث‌بندی هوایی و کالیبراسیون دوربین، ابر نقاط سه بعدی و مدل رویه سه بعدی ایجاد شد. در نهایت، اورتوموزاییک یا همان عکس نقشه تولید شد که برای ترسیم مسطحاتی عرصه و عیان ساختمان‌های منطقه زاغه‌نشین مورد استفاده قرار گرفت. قدرت تفکیک بالای تصاویر و اورتوموزاییک تشخیص جزئیات را به راحتی ممکن نموده و درک بهتری از ویژگی‌های زمین را فراهم کرده و دید جامعی از منطقه ارائه می‌دهد. با استفاده از اورتوموزاییک با قدرت تفکیک بالا، می‌توان مصالح مورد استفاده در ساخت واحدهای مسکونی و نوع سقف‌ها را نیز تشخیص داد (شکل ۹). به عنوان مثال، دیوارها با ضخامت ده سانتی‌متر و کابل‌های برق با ضخامت دو سانتی‌متر قابل رویت هستند. نتایج مشابه کارایی فتوگرامتری پهپاد در تهیه نقشه مناطق زاغه‌نشین متراکم در تحقیق [۱۰] گزارش شده است. با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالای پهپاد و مدل سه بعدی ساخته شده، برنامه‌ریزان شهری می‌توانند مرزهای واحدهای مسکونی را با دقت بسیار بالایی تعیین نموده و نقشه‌های کاداستر را با دقت بالا تولید نمایند.



شکل ۹: جزئیات در تصاویر قائم
Fig. 9: Details in vertical images

در مقایسه تصاویر قائم و مایل، هر یک از تصاویر مزایا و معایب خود را داشته و انتخاب نوع تصویر به نوع پروژه و هدف مورد نظر بستگی دارد، اما به طور کلی تصاویر مایل با دید وسیع‌تری از تصاویر قائم متمایز می‌شود. همچنین، می‌توان مناطق پنهان شده در زیر موانع مانند گیاهان، ساختمان‌ها و کوچه‌های باریک را مشاهده کرد. این ویژگی، دقت بالایی را ارائه می‌دهد که می‌توان از آن در پروژه‌هایی که نیاز به توصیف دقیق دارند، مانند پروژه‌های حفاظت از میراث فرهنگی و پروژه‌های شهری که نیاز به جزئیات مانند نمای ساختمان و برآورد ارتفاع آن‌ها دارند، استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

با ظهور روش‌های نوین نقشه‌برداری، فتوگرامتری پهپاد به عنوان روشی کارآمد، سریع و ارزان برای تهیه نقشه سه بعدی از مناطق کوچک شناخته شده است. بایستی عواملی مانند نوع پرنده، نوع سنجنده و دوربین و همچنین نحوه تصویربرداری و استفاده از نقاط کنترل و دقت

پردازش تصاویر مایل

پردازش تصاویر مایل، مشابه پردازش تصاویر قائم انجام شده و نتایج خطا، در اندازه‌گیری مراکز تصویر برای هر دو پرواز به دست آمد که در جدول ۵ و ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵: میانگین خطای مراکز دوربین تصاویر زاویه ۳۰ درجه

Table 5: Mean error of camera centers for oblique images (30-degree angle)

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
3.1	1.9	3.5	3.7	5.1

جدول ۶: میانگین خطای مراکز دوربین تصاویر زاویه ۴۵ درجه

Table 6: Mean error of camera centers for oblique images (45-degree angle)

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.0	1.7	3.0	2.6	4.0

در تصاویر مایل ۳۰ درجه از نه نقطه کنترل زمینی استفاده شده است که به شیوه‌ای مشابه تصویر قائم توزیع شده که خطای مختصات آن‌ها در جدول ۷ نشان داده شده است. همچنین، در تصاویر مایل ۴۵ درجه، از پنج نقطه کنترل زمینی استفاده شده که خطای نقاط کنترل در جدول ۸ آمده است.

جدول ۷: خطای نقاط کنترل زمینی در تصاویر مایل ۳۰ درجه

Table 7: Errors in GCPs for oblique images (30-degree angle)

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)
1	3.1	-2.2	-4.0	5.5
4	1.1	-1.6	-2.43	3.1
8	1.5	1.6	6.2	6.7
10	0.0	-4.0	-1.7	4.4
13	3.3	1.9	-7.7	8.6
16	-0.3	2.0	2.6	3.3
18	-1.9	-1.4	4.2	4.8
22	0.2	0.1	-4.8	4.8
24	-7.0	3.6	7.6	11.0
Total	2.9	2.3	5.0	6.2

جدول ۸: خطای نقاط کنترل زمینی در تصاویر مایل ۴۵ درجه

Table 8: Errors in GCPs for oblique images (45-degree angle)

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)
1	4.5	1.6	-6.6	8.2
8	-0.7	-2.2	3.8	4.5
13	5.6	1.5	-8.9	10.7
18	-2.2	-2.8	5.2	6.3
24	-7.3	1.9	6.6	10.0
Total	4.7	2.1	6.5	8.3

[5] R .Mahabir, A. Croitoru, A. T. Crooks, P. Agouris, and A. Stefanidis, "A critical review of high and very high-resolution remote sensing approaches for detecting and mapping slums: Trends, challenges and emerging opportunities," *Urban Science*, vol. 2, no. 1, p. 8, 2018.

[6] J. C. Duque, J. E. Patino, and A. Betancourt, "Exploring the potential of machine learning for automatic slum identification from VHR imagery," *Remote Sensing*, vol. 9, no. 9, p. 895, 2017.

[7] A. Najmi, C. M. Gevaert, D. Kohli, M. Kuffer, and J. Pratomo, "Integrating remote sensing and street view imagery for mapping slums," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 11, no. 12, p. 631, 2022.

[8] A. M. Ambugadu and N. B. Hosni, "MODELLING INFORMAL SETTLEMENTS EXPANSION FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT: A SCIENTOMETRIC REVIEW," *Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, vol. 19, no. 1, pp. 1567-1592, 2022.

[9] A. M. Ambugadu and N. Hosni, "Identifying Informal Settlements in Satellite Images for Sustainable Urban Planning: a Systematic Review of Methods Available," *J Inf Syst Technol Manag*, vol. 7, no. 25, pp. 102-119, 2022.

[10] J. G. Gomes and J. C. Pedrassoli, "Survey of slum housing characteristics using drones: An experiment in the Alto das Pombas community, Salvador de Bahia/Brazil," *Quaestiones Geographicae*, vol. 40, no. 3, pp. 169-182, 2021.

[11] I. Aicardi, F. Chiabrando, N. Grasso, A. M. Lingua, F. Noardo, and A. Spanò, "UAV photogrammetry with oblique images: First analysis on data acquisition and processing," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing*, vol. 41, pp. 835-842, 2016.

[12] C. Gevaert, R. Sliuzas, C. Persello, and G. Vosselman, "Opportunities for UAV mapping to support unplanned settlement upgrading," *International Journal of Applied Earth Observation*, vol. 1, 2016.

[13] C. M. Gevaert, C. Persello, R. Sliuzas, and G. Vosselman, "Monitoring household upgrading in unplanned settlements with unmanned aerial vehicles," *International Journal of Applied Earth Observation Geo-information*, vol. 90, p. 102117, 2020.

[14] Q. P. Ashilah and R. Hernina, "Urban slum identification in bogor tengah sub-district, bogor city using unmanned aerial vehicle (uav) images and object-based image analysis," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 716, no. 1: IOP Publishing, p. 012133 .

[15] R. A. Ansari, R. Malhotra, and K. M. Buddhiraju, "Identifying informal settlements using contourlet assisted deep learning," *Sensors*, vol. 20, no. 9, p. 2733, 2020.

[16] F. Ali, "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in urban land regularization process. Opportunities and challenges," *African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 1-10, 2020.

نهایی در پروژه‌های فتوگرامتری پهباد مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق، از تصاویر قائم و مایل پهباد برای تهیه نقشه سه بعدی منطقه زاغه‌نشین استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل، خطای کل تصاویر مایل به ترتیب برابر ۶/۲ و ۸/۳ سانتی‌متر برای تصاویر مایل با زوایای ۳۰ و ۴۵ به دست آمد در حالی که خطای کل تصاویر قائم برابر ۱۶/۱ سانتی‌متر است. این مقایسه، برتری دقت تصاویر مایل نسبت به تصاویر قائم را نشان می‌دهد. در پروژه‌هایی که نیاز به استخراج ارتفاع ساختمان با دقت بیشتری دارند استفاده از تصاویر مایل مناسب است در حالی که ساختمان‌های دارای ارتفاع کم یا مسطح هستند، با تصاویر قائم می‌توان به اهداف مشابهی دست یافت. علاوه بر این، ارتفاع پرواز در تصاویر قائم کمتر از تصاویر مایل بود و در نتیجه، با توجه به دید مایل، می‌توان از تصاویر مایل برای تصویربرداری از مناطق بزرگتر با تعداد تصویر کمتر استفاده کرد که جزئیات کاملتری از نمای جانبی ساختمان‌ها و عوارض را ارائه می‌دهد.

در کل، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فتوگرامتری پهباد، رقیب خوبی برای روش‌های نقشه‌برداری نوین بوده و از طریق آن می‌توان داده‌های یکپارچه را با کمترین هزینه و کوتاه‌ترین دوره‌های زمانی، هم در مرحله جمع‌آوری و هم در مرحله پردازش داده‌ها ارائه کرد.

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] M. Barry and H. Rüther, "Data collection techniques for informal settlement upgrades in Cape Town, South Africa," *Urisa Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 43-52, 2005.

[2] C. M. Gevaert, R. Sliuzas, C. Persello, and G. Vosselman, "Evaluating the societal impact of using drones to support urban upgrading projects," *ISPRS international journal of geo-information*, vol. 7, no. 3, p. 91, 2018.

[3] M. Kuffer, K. Pfeffer, and R. Sliuzas, "Slums from space—15 years of slum mapping using remote sensing," *Remote Sensing*, vol. 8, no. 6, p. 455, 2016.

[4] T. Stark, M. Wurm, H. Taubenböck, and X. X. Zhu, "Slum mapping in imbalanced remote sensing datasets using transfer learned deep features," in *2019 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, 2019: IEEE, pp. 1-4 .

[28] I. Toschi *et al.*, "Oblique photogrammetry supporting 3D urban reconstruction of complex scenarios," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, pp. 519-526, 2017.

[29] C. Amrullah, D. Suwardhi, and I. Meilano, "Product accuracy effect of oblique and vertical non-metric digital camera utilization in UAV-photogrammetry to determine fault plane," *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*, vol. 3, pp. 41-48, 2016.

[30] E. G. Parmehr, M. Savadkouhi, and M. Nopour, "The impact of oblique images and flight-planning scenarios on the accuracy of UAV 3D mapping," *The Photogrammetric Record*, 2023. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/phor.12466>

[17] S. M. Azmi, B. Ahmad, and A. Ahmad, "Accuracy assessment of topographic mapping using UAV image integrated with satellite images," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2014, vol. 18, no. 1: IOP Publishing, p. 012015.

[18] R. El Meouche, I. Hijazi, P. A. Poncet, M. Abunemeh, and M. Rezoug, "UAV photogrammetry implementation to enhance land surveying, comparisons and possibilities," *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, vol. 42, pp. 107-114, 2016.

[19] M. Fantin, J. C. Pedrassoli, G. N. Zaratine, and I. L. F. Coelho, "The use of UAV for slums land regularization: Potentialities, hindrances, and challenges," in *XXII Congresso Internacional da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, Blucher Blucher Design Proceedings*, 2018, vol. 5, pp. 560-567.

[20] C. M. Gevaert, C. Persello, R. Sliuzas, and G. Vosselman, "Informal settlement classification using point-cloud and image-based features from UAV data," *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 125, pp. 225-236, 2017.

[21] S. G. Gupta, D. M. Ghonge, and P. M. Jawandhiya, "Review of unmanned aircraft system (UAS)," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume*, vol. 2, 2013.

[22] T. F. Olivatto, F. F. Inguaggiato, and F. N. Stanganini, "Urban mapping and impacts assessment in a Brazilian irregular settlement using UAV-based imaging," *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 29, p. 100911, 2023.

[23] N. Sahriman, M. Z. Z. Abiden, A. R. A. Rasam, and N. M. Tarmizi, "Urban poverty area identification using high resolution satellite imagery: A preliminary correlation study," in *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, 2013 2013: IEEE, pp. 430-434.

[24] G. P. Sigdel, "Informal settlement segmentation using VHR RGB and height information from UAV imagery: A case study of Nepal," Master, Universitat Jaume I, 2021.

[25] H. Yao, R. Qin, and X. Chen, "Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications—A review," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 12, p. 1443, 2019.

[26] Y. Zhou, E. Rupnik, C. Meynard, C. Thom, and M. Pierrot-Deseilligny, "Simulation and analysis of photogrammetric UAV image blocks—Influence of camera calibration error," *Remote sensing*, vol. 12, no. 1, p. 22, 2019.

[27] E. Sanz-Ablanedo, J. H. Chandler, J. R. Rodríguez-Pérez, and C. Ordóñez, "Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used," *Remote Sensing*, vol. 10, no. 10, p. 162018, 2018.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



هدی صالح مهدی در سال ۱۳۸۶ کارشناسی مهندسی نقشه برداری خود را از دانشکده فنی مهندسی بغداد (عراق) و کارشناسی ارشد را از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (ایران) در رشته فتوگرامتری در سال ۱۴۰۲ دریافت نموده است. از سال ۱۳۸۸ به عنوان مسئول بخش پروژه ها در شهرداری شطره/ذی قار (عراق)، در بخش پروژه ها در زمینه راه و شهرسازی و سازماندهی مشغول به کار است. زمینه تخصصی ایشان سنجش از دور، فتوگرامتری هوایی و پهپاد می باشد.

Salih Mahdi, H., Department of Geomatics Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
✉ hudasalam694@gmail.com



عبادت قنبری پرمهر دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه برداری (گرایش فتوگرامتری) از دانشگاه ملبورن استرالیا می باشد. پس از اخذ دکتری، ایشان به مدت دو سال به عنوان پژوهشگر پسادکتر در دانشگاه RMIT استرالیا تحقیق نموده و از سال ۱۳۹۵ تا کنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل مشغول به فعالیت هستند. ایشان تا کنون موفق به چاپ بیش از ۳۰ مقاله در مجلات و کنفرانس های معتبر بین المللی شده اند. زمینه های تخصصی ایشان عبارتند از: فتوگرامتری، سنجش از دور، پردازش تصاویر، کاربرد یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در کشاورزی و سنجش از دور.

Parmehr, E. G. Assistant Professor at the Department of Geomatics Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
✉ parmehr@nit.ac.ir

مجلات و کنفرانس‌ها می‌باشند. زمینه‌های تخصصی ایشان در زمینه‌های شهرسازی مبتنی بر نقشه‌برداری است.

Anvari, S. A. Assistant Professor at the Department of Geomatics Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

✉ s.a.anvari@nit.ac.ir



سیداحمد انوری دارای دکترای تخصصی مهندسی شهرسازی (برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای) ازدانشگاه علم وصنعت ایران می‌باشد. در حال حاضر به عنوان عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل مشغول به فعالیت هستند. ایشان دارای چندین مقاله در

Citation (Vancouver): Salih Mahdi H, Ghanbari Parmehr E, Anvari S. A. [Slum Area Mapping Using UAV Photogrammetry]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 1-10

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10593.1047>



COPYRIGHTS

© 2024 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

Determining Soil Roughness and Moisture Parameters Using Sentinel-1 Satellite Data via OH Model: A Case Study of Agricultural Land in Nazarabad City

H. Babaeifard, S. Sadeghian*

Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 08 February 2024
 Reviewed: 12 February 2024
 Revised: 20 March 2024
 Accepted: 25 March 2024

KEYWORDS:

Remote Sensing
 Sentinel-1 Satellite Data
 OH Model
 Soil Moisture and Roughness
 Agriculture

* Corresponding author

✉ sa_sadeghian@sbu.ac.ir
 ☎ (+98912) 3505745

Background and Objectives: This research aims to present a novel approach for retrieving soil parameters from the combination of Sentinel-1 satellite data and the OH model. This information can aid in improving land management and increasing agricultural productivity. Accurate determination of soil parameters such as roughness and moisture is crucial for efficient land agriculture management and decision-making. Conventional ground-based methods for obtaining these parameters are often limited in spatial coverage and are frequently found to be time-consuming and costly. On the other hand, remote sensing techniques, especially those utilizing SAR satellite data, offer the potential for a more effective and comprehensive solution for monitoring soil conditions in vast areas. This study focuses on three main questions related to soil roughness and moisture parameters, emphasizing their significance for agriculture and their impact on soil science and agricultural processes. It also underscores the potential of remote sensing techniques, particularly the acquisition of satellite data, in providing effective and comprehensive solutions for monitoring soil conditions in extensive areas. Soil roughness and moisture are highly important for agriculture and can have significant impacts on crop growth.

Methods: This research is focused on investigating and analyzing the soil moisture and roughness parameters of an agricultural land in Nazarabad County. The process includes data collection, preprocessing, radar data calibration, and validation. Radar data for this study is obtained from the Sentinel-1 satellite. The use of radar data from this satellite for monitoring agricultural lands day and night and conducting comprehensive research on the subject is highly valuable. The input data underwent preprocessing in the SNAP software, involving the use of filters to remove noise spots and geometric corrections. The necessary inputs for solving the OH model equations from polarized images, especially HH and VV, were obtained after the aforementioned settings using SNAP software. Statistical analysis involves extracting vital information such as Sigma Naught (σ) and incidence angle (θ) for each pixel, which are crucial for the OH model. Polarized images, after adjustments, were further used for analysis. Next, the equations written for each pixel were individually solved in MATLAB programming software, and the values of the root mean square height (s) for obtaining roughness and the dielectric constant (ϵ) - a key parameter for estimating soil moisture content, i.e., soil moisture (mv), for all pixels were obtained. Finally, matrices related to these values were transformed into the output image, generating a map displaying information on soil moisture and roughness.

Findings: Based on the results obtained, it has been demonstrated that the values of dielectric constant, roughness, and humidity are very sensitive to the initial solver parameters. In particular, the dielectric constant exhibits significant sensitivity, which may be reduced by improving the solution method. Roughness profile analysis shows that the rms height varies in different regions and increases the scattering with the increase of roughness. Additionally, moisture content analysis indicates that the humidity is relatively uniform throughout the area.

Conclusion: This study demonstrates that the use of Sentinel-1 satellite data in conjunction with the OH model leads to a significant improvement in access to reliable information for enhancing agricultural management. This approach has the capability to analyze spatial and temporal variations in soil roughness and moisture, providing vital information for optimizing agricultural practices. Substantial soil condition improvements lead to more precise monitoring and better productivity in agriculture, offering the potential for more accurate monitoring of soil conditions and enhanced productivity in the agricultural domain. These assessments can provide valuable insights for agricultural land management and decision-making processes, contributing to increased efficiency and environmental conservation.



NUMBER OF REFERENCES

33



NUMBER OF FIGURES

11



NUMBER OF TABLES

1

مقاله پژوهشی

تعیین پارامترهای زبری و رطوبت خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنتینل ۱ از طریق مدل OH: مطالعه موردی زمین کشاورزی در شهر نظرآباد

حمیدرضا بابایی فرد، سعید صادقیان*

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: این تحقیق، به دنبال ارائه رویکردی نوین برای بازیابی پارامترهای خاک از ترکیب داده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۱ و مدل OH است. این اطلاعات، می‌تواند به بهبود مدیریت زمین و افزایش بهره‌وری کشاورزی کمک کند. تعیین دقیق پارامترهای خاک، مانند زبری و رطوبت، برای مدیریت کارآمد زمین کشاورزی و تصمیم‌گیری اهمیت قابل توجهی دارد. روش‌های زمینی مرسوم برای دستیابی به این پارامترها از نظر پوشش مکانی، محدود و اغلب زمان‌بر و پرهزینه هستند. در مقابل، تکنیک‌های سنجش از دور، به‌ویژه آن‌هایی که از داده‌های ماهواره‌ای SAR استفاده می‌کنند، پتانسیل راه‌حل مؤثرتر و جامع‌تری را برای پایش شرایط خاک در مناطق وسیع ارائه می‌دهند. در این تحقیق، سه سؤال اصلی مورد توجه قرار گرفته است که بر تعیین پارامترهای زبری و رطوبت خاک، اهمیت آن‌ها برای کشاورزی و تأثیر آن‌ها بر خاک تمرکز دارد. همچنین، بر پتانسیل تکنیک‌های سنجش از دور، به ویژه، کسب داده‌های ماهواره‌ای، برای ارائه راهکارهای مؤثر و جامع برای نظارت بر شرایط خاک در مناطق گسترده تأکید دارد. زبری و رطوبت خاک اهمیت بسیاری برای کشاورزی دارند و می‌توانند تأثیرات زیادی بر رشد محصولات داشته باشند.

تاریخ دریافت: ۱۹ بهمن ۱۴۰۲
تاریخ داوری: ۲۲ اسفند ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۰۱ فروردین ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۰۶ فروردین ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

سنجش از دور
داده‌های ماهواره‌ای Sentinel-1 مدل OH
رطوبت و زبری خاک
کشاورزی

روش‌ها: این پژوهش، به بررسی و تحلیل پارامترهای رطوبت و زبری خاک یکی از اراضی کشاورزی شهرستان نظرآباد پرداخته است. این فرآیند شامل جمع‌آوری داده‌ها، پیش‌پردازش، کالیبراسیون و اعتبارسنجی داده‌های رادار است. داده‌های راداری این تحقیق از ماهواره Sentinel-1 به‌دست آمده است. استفاده از داده‌های راداری از این ماهواره برای نظارت شبانه‌روزی بر زمین‌های کشاورزی و تحقیق جامعی بر روی موضوع فوق بسیار ارزشمند است. داده‌های ورودی، مورد پیش‌پردازش در نرم‌افزار اسنپ قرار گرفت به‌طوری‌که پیش‌پردازش شامل استفاده از فیلترها برای حذف نویز لکه‌ها و اصلاحات هندسی بود. ورودی‌های لازم برای حل معادلات مدل OH از تصاویر پلاریزه به‌ویژه HH و VV پس از انجام تنظیمات فوق با استفاده از نرم‌افزار اسنپ به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل آماری شامل استخراج اطلاعات حیاتی مانند Sigma Naught (σ) و زاویه فرود (θ) برای هر پیکسل است که برای مدل OH بسیار مهم هستند. تصاویر پلاریزه، پس از تنظیمات، برای تجزیه و تحلیل بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند. در مرحله بعد، معادلات نوشته شده برای هر پیکسل به‌طور جداگانه در نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB حل شد و مقادیر ریشه میانگین ارتفاع مربع (s) برای به‌دست آوردن زبری و ثابت دی‌الکتریک (ϵ) پارامتر مورد علاقه برای تخمین رطوبت خاک یعنی میزان رطوبت (mv) برای تمام پیکسل‌ها به‌دست آمد. در نهایت، ماتریس‌های مربوط به این مقادیر به تصویر خروجی تبدیل شد و یک نقشه تولید شد که اطلاعات مربوط به رطوبت و زبری خاک را نمایش می‌دهد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج حاصل، نشان داده شده است که مقادیر ثابت دی‌الکتریک، زبری و رطوبت به پارامترهای اولیه حل‌کننده بسیار حساس می‌باشند. به ویژه، ثابت دی‌الکتریک دارای حساسیت قابل توجهی است که ممکن است با بهبود روش حل، این حساسیت کاهش یابد. تحلیل نمایه زبری نشان می‌دهد که ارتفاع rms در مناطق مختلف متفاوت است و با افزایش زبری، پراکندگی افزایش می‌یابد. همچنین، تحلیل محتوای رطوبت نشان می‌دهد که رطوبت در سراسر منطقه نسبتاً یکنواخت است.

نتیجه‌گیری: این مطالعه، نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1 و بهره‌گیری از مدل OH، منجر به بهبود قابل توجهی در دسترسی به اطلاعات قابل اعتماد جهت بهبود مدیریت زراعت می‌شود. این روش توانایی

* نویسنده مسئول

sa_sadeghian@sbu.ac.ir

۰۹۱۲-۳۵۰۵۷۴۵ ①

تجزیه و تحلیل نوسانات مکانی و زمانی در زبری و رطوبت خاک را داراست و اطلاعات حیاتی جهت بهینه‌سازی روش‌های کشاورزی را فراهم می‌سازد. اصلاح شرایط خاک، به‌طور قابل توجهی به نظارت دقیق‌تر بر شرایط خاک و بهره‌وری بهتر در حوزه کشاورزی منجر می‌شود و این رویکرد امکان نظارت دقیق‌تر بر شرایط خاک و بهره‌وری بهتر در زمینه کشاورزی را فراهم می‌کند. این بررسی‌ها، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت زمین کشاورزی و فرآیندهای تصمیم‌گیری فراهم کرده و به افزایش بهره‌وری و حفاظت از محیط زیست کمک کند.

مقدمه

مدیریت پارامترهای خاک، یکی از ملاحظات اساسی در زمینه کشاورزی است که تأثیر قابل توجهی بر عواملی مانند بهره‌وری محصول، راندمان آبیاری و پایداری کلی زمین دارد [۱]. پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های سنجش از دور، به‌ویژه استفاده از داده‌های راداری، راه‌های جدیدی برای کسب اطلاعات حیاتی خاک، از جمله زبری و رطوبت، در مقیاس بزرگ ایجاد کرده است. این پیشرفت‌ها پیامدهای اساسی برای بهینه‌سازی شیوه‌های کشاورزی و تسهیل فرآیندهای تصمیم‌گیری آگاهانه در جامعه کشاورز، با مزایای بالقوه برای پیش‌بینی عملکرد محصول و مدیریت منابع دارد [۲].

رطوبت خاک و زبری سطح زمین از جمله پارامترهای بسیار حیاتی در زمینه‌های هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و مدیریت ریسک محسوب می‌شوند. تصاویر SAR قابلیت تخمین این پارامترها را دارند. اکنون، دسترسی به تصاویر با کیفیت بالا SAR به‌صورت محلی و جهانی مانند Sentinel-1، امکان‌پذیر شده است [۳]. مدل‌های متعددی برای استخراج اطلاعات از تصاویر راداری، به‌خصوص دو پارامتر زبری و رطوبت، پیشنهاد شده‌اند. این مدل‌ها به‌طور کلی در سه دسته فیزیکی، نیمه تجربی و تجربی قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال، می‌توان به مدل‌های IEM، SPM، GOM و POM اشاره کرد. این مدل‌ها با استفاده از تخمین فیزیکی پارامترهای سطح، روابطی بی‌نیاز از مشاهده‌های میدانی ارائه می‌دهند. در مطالعات مختلفی که انجام شده است، این مدل‌ها در برخی موارد دقت قابل قبولی ارائه می‌دهند، اما در برخی موارد دیگر، خطای آن‌ها به اندازه‌ای بالاست که عملاً باعث می‌شود پارامترهای سطح برآورد شده، غیرقابل استفاده باشند [۴].

استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1 در ترکیب با مدل OH یک رویکرد امیدوارکننده برای ارزیابی پارامترهای خاک ارائه می‌کند [۵]. از این طریق، تخمین پارامترهای سطح خاک، به‌دست آوردن بینش‌های ارزشمند در مورد ویژگی‌های خاک مناطق کشاورزی با سطوح بالایی از دقت و صحت امکان‌پذیر می‌شود [۶]. چنین بینش‌هایی به نوبه خود می‌تواند به افزایش درک ما از پویایی خاک و بهبود کارایی شیوه‌های استفاده از زمین در منطقه کشاورزی نظراً به مناطق مشابه کمک کند. استفاده از داده‌های سنجش از دور برای استخراج پارامترهای خاک اهمیت چشمگیری در زمینه بهبود شیوه‌های مدیریت کاربری اراضی کشاورزی پیدا کرده است [۷ و ۸]. سنجش از دور رادار مبتنی بر ماهواره، به‌ویژه، با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1، اطلاعات ارزشمندی را برای ارزیابی زبری و رطوبت خاک فراهم می‌کند [۹].

درک ناهمبازی و رطوبت خاک ضروری است، زیرا این پارامترها مستقیماً بر فرآیندهای کشاورزی مانند مدیریت آبیاری، آماده‌سازی زمین و تخمین عملکرد محصول تأثیرگذارند [۱۰]. با این حال، پیشرفت‌های حاصل از فناوری سنجش از دور امیدوارکننده برای به‌دست آوردن اطلاعات حیاتی خاک است [۱۱]. اهمیت این تحقیق، در پتانسیل افزایش کارایی و دقت ارزیابی پارامترهای خاک است که می‌تواند به تصمیم‌گیری آگاهانه مدیریت زمین کشاورزی کمک کند. با استفاده از قابلیت‌های داده‌های ماهواره Sentinel-1 و مدل‌های مبتنی بر ماهواره، این مطالعه به‌دنبال پر کردن شکاف بین اندازه‌گیری‌های سنتی مبتنی بر زمین و تکنولوژی نوظهور در تخمین پارامترهای خاک است.

از طریق این تحقیق، درک عمیق‌تری از پیچیدگی‌های زبری خاک و تخمین رطوبت، به همراه توسعه یک روش ابتکاری و عملی که می‌تواند در مناظر کشاورزی، به‌ویژه در بافت شهر نظراً به مورد استفاده قرار گیرد، به‌دنبال خواهد شد.

شهر نظراً به تنوع کشاورزی و الگوهای کاربری مختلف، به‌عنوان یک محیط جذاب و چالش برانگیز برای این تحقیق مطرح می‌شود. پیچیدگی‌های ویژگی‌های خاک منطقه، به تأثیر عواملی مانند توپوگرافی، روش‌های آبیاری، و انواع پوشش زمین، بستر آزمایشی ایده‌آلی را برای ارزیابی روش‌های پیشنهادی ایجاد می‌کند [۱۲]. علاوه بر این، یافته‌های این تحقیق این پتانسیل را دارد که به مناظر کشاورزی مشابه در سطح جهانی تعمیم یابد و در نتیجه، اهمیت این مطالعه را فراتر از محدوده جغرافیایی فوری تقویت کند. همپوستگی پارامترهای خاک، داده‌های ماهواره‌ای و استفاده از زمین کشاورزی بر اهمیت و تأثیر بالقوه این تحقیق تأکید می‌کند. هدف این مطالعه با آشکارسازی پیچیدگی‌ها و چالش‌های ذاتی استخراج پارامترهای خاک از طریق سنجش از دور، کمک به پیشرفت شیوه‌های کشاورزی پایدار، مدیریت دقیق استفاده از زمین، و توسعه گسترده‌تر کاربردهای سنجش از دور در کشاورزی است.

در ادامه، مروری جامع بر مقالات علمی مربوط به ارزیابی زبری خاک و پارامترهای رطوبت با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1 از طریق مدل Oh ارائه شده است. تمرکز این مرور بر ارائه یک بررسی جامع از تحقیقات صورت گرفته و بررسی نقاط قوت و ضعف آن می‌باشد تا درک کاملی از چشم‌انداز تحقیق فعلی ارائه شود.

چندین مطالعه، استفاده از داده‌های سنجش از دور را برای تخمین پارامترهای زبری خاک مورد بررسی قرار داده‌اند. به‌عنوان مثال، بغدادی و همکاران از داده‌های Sentinel-1 برای تخمین زبری خاک در مزارع کشاورزی استفاده کردند و به نتیجه رسیدند که این رویکرد می‌تواند

مقایسه‌ای از مدل‌های مختلف برای تخمین زبری خاک در این تحقیق وجود نداشت.

در پژوهش انجام شده توسط نیکولز و همکاران، بررسی جامعی ارائه شده که تکنیک‌های پیشرفته سنجش از دور برای اندازه‌گیری رطوبت خاک را مورد بررسی قرار داده است. این تحقیق مزایا و محدودیت‌های روش‌های مختلف را به دقت مقایسه کرده است، با این حال، تاکید خاصی بر داده‌های ماهواره Sentinel-1 و استفاده از مدل Oh برای بازیابی رطوبت خاک وجود ندارد [۲۱].

مطالعه چونگ و همکاران، نشان داده است که داده‌های Sentinel-1 SAR را می‌توان برای ارزیابی زبری خاک به کار برد و ارزشمندی‌های مختلف درباره تغییرپذیری مکانی پارامترهای زبری ارائه نموده است. با این حال، این مطالعه به طور عمیق به کاربرد خاص مدل Oh برای استخراج اطلاعات زبری خاک پرداخته نبوده و ممکن است به شکافی در درک رویکرد مدل‌سازی منجر شود [۲۲].

تحقیق وانگ و همکاران، یک مرور کلی از تکنیک‌های مدل‌سازی رطوبت خاک بر پایه SAR ارائه داده است. این بررسی مزایا و محدودیت‌های رویکردهای مختلف را مورد بررسی قرار داده ولی به تمرکز خاص بر روی مدل Oh و ادغام آن با داده‌های Sentinel-1 پرداخته نشده است که ممکن است ارتباط آن‌ها را با مطالعه فعلی محدود کند [۲۳].

در تحقیق ماتیا و همکاران، پیشرفت‌های اخیر را در ترکیب داده‌های Sentinel-1 با مدل Oh برای تخمین پارامتر خاک بررسی کرده است. این بررسی بیان می‌کند که چگونه این روش در انواع مختلف پوشش زمین قابل استفاده است، با این حال، نباید فراموش شود که این تحقیق ممکن است به یک بحث عمیق‌تر درباره مفاهیم عملی و محدودیت‌های اجرای مدل Oh در محیط‌های کشاورزی دنیای واقعی نیاز داشته باشد [۲۴]. تحقیقات قبلی روش‌های موفقیت‌آمیز در حوزه سنجش از دور برای تجسم و تحلیل ویژگی‌های خاک را مورد بررسی قرار داده‌اند. این پژوهش با تمرکز بر بهره‌گیری از نتایج موفق قبلی و حل محدودیت‌های شناسایی شده، به ارتقاء تکنیک‌های سنجش از دور برای توصیف دقیق‌تر خواص خاک و کمک به توسعه فناوری‌های مرتبط می‌پردازد.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی امکان سنجی استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1 همراه با مدل Oh برای بازیابی پارامترهای خاک از جمله زبری و رطوبت در زمین کشاورزی شهرستان نظرآباد می‌باشد. بنابراین، هدف اصلی این مطالعه بررسی سوالات کلیدی تحقیق زیر است:

- چه پارامترهای زبری خاک را می‌توان از داده‌های ماهواره Sentinel-1 با استفاده از مدل OH در زمین‌های کشاورزی واقع در نظرآباد به‌دست آورد؟

- چگونه می‌توان رطوبت خاک را با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1 و مدل OH در زمین کشاورزی نظرآباد به طور دقیق تخمین زد؟

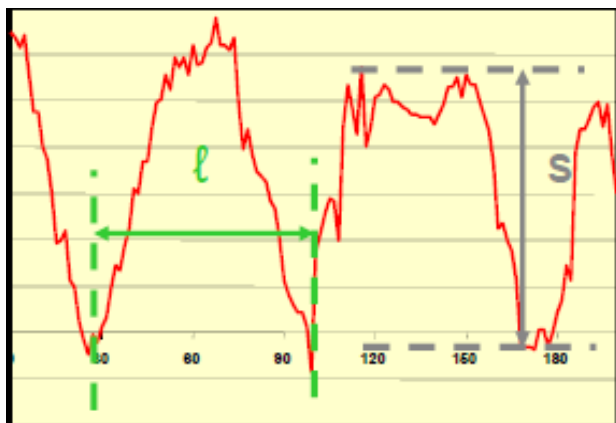
دقت قابل توجهی را ارائه دهد [۱۳]. اما، این مطالعه به یک منطقه خاص محدود بوده و تأثیر رطوبت بر تخمین زبری را در نظر نگرفته بود. از سوی دیگر، جزیریان و همکاران روشی را برای تخمین زبری خاک با استفاده از داده‌های Sentinel-1 و Sentinel-2 با در نظر گرفتن اثرات رطوبت ایجاد کرد [۱۴]. رویکرد آن‌ها نتایج امیدوارکننده‌ای را از نظر دقت نشان داد، اما به مراحل پیش‌پردازش پیچیده‌ای نیاز داشت که ممکن است کاربرد آن را در تنظیمات عملیاتی محدود کند.

بررسی تخمین رطوبت خاک با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور در تحقیقات به شدت مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه، مطالعه انجام شده توسط ضریبی و همکاران از داده‌های Sentinel-1 برای انجام تخمین رطوبت خاک در مناطق کشاورزی بهره برد و توانایی مدل OH برای این مقصود نشان دادند [۱۵]. با این حال، محدودیت این تحقیق در تمرکز بر یک نوع محصول خاص بوده است و تأثیر ویژگی‌های زبری خاک بر دقت تخمین رطوبت، در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفته است. در مقابل، روش جدیدی توسط هان و همکاران برای تخمین همزمان پارامترهای زبری و رطوبت خاک با بهره‌گیری از داده‌های Sentinel-1 پیشنهاد گردید [۱۶]. روش مورد استفاده توسط این محققان نتایجی امیدوارکننده از حیث دقت و کارایی به ارمغان داشت، اما به‌طور گسترده انواع مختلف پوشش زمین را در بر نگرفته است.

در یک تحقیق انجام شده توسط لیانگ و همکاران، ارزیابی رطوبت خاک و زبری سطح در مناطق کشاورزی با استفاده از داده‌های Sentinel-1 مورد بررسی قرار گرفت [۱۷]. این تحقیق به دلیل روش شناسایی دقیق و تحلیل جامع پارامترهای خاک، به‌عنوان یکی از نقاط قوت مطرح شده است. با این حال، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد که منطقه کوچک مورد مطالعه باعث محدود شدن تعمیم‌پذیری نتایج به مناطق بزرگتر می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر توسط چن و همکاران، ارتباط بین داده‌های Sentinel-1 و رطوبت خاک در انواع مختلف پوشش زمین بررسی شد [۱۸]. این تحقیق، نشان داد که وجود یک همبستگی قوی بین داده‌های ماهواره‌ای و پارامترهای خاک، قدرت سنجش از دور را در پایش شرایط خاک تأیید می‌کند. با این حال، باید توجه داشت که این مطالعه به اندازه کافی توجه به تأثیر زبری سطح بر دقت نتایج نداشته است.

در تحقیقی دیگر توسط عطارزاده و همکاران، استفاده هم‌افزایی از داده‌های Sentinel-1 و Sentinel-2 به‌منظور تخمین رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت [۱۹]. این تحقیق، به توجه به ترکیب منابع ماهواره‌ای متعدد برای افزایش دقت، بینش‌های ارزشمندی ارائه کرد. با این حال، تحلیل عمیق از قابلیت کاربرد مدل Oh در شرایط مختلف زبری خاک در این تحقیق انجام نشده است.

در تحقیق اخیری توسط حمزه و همکاران، استفاده از داده‌های SAR برای نقشه‌برداری سطحی از رطوبت خاک در مناطق کشاورزی بررسی شد [۲۰]. این تحقیق، به‌دلیل تمرکز بر کاربردهای عملی برای کشاورزان و سیاست‌گذاران، مورد توجه قرار گرفت. با این حال، تحلیل



شکل ۱: پارامترهای زبری
Fig. 1: Rough cities

رطوبت خاک، یکی از پارامترهای حیاتی در زمینه کشاورزی و مدیریت منابع طبیعی است. تأثیر رطوبت خاک بر ثابت دی الکتریک خاک، که به عنوان در مطالعات ارتباط سنسور تارگت در بازتاب موج الکترومغناطیسی از سطح خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، بسیار حائز اهمیت است. ضریب دی الکتریک خاک به عنوان یک تابع از محتوای رطوبت خاک و بافت خاک تعریف می‌شود. اگر محتوای رطوبت خاک افزایش یابد، ضریب دی الکتریک خاک نیز افزایش می‌یابد. یک مدل تجربی که ارتباط بین ثابت دی الکتریک و رطوبت خاک را بررسی می‌کند، به صورت زیر مدل سازی می‌شود

$$\varepsilon = (a_0 + a_1 + a_2) + (b_0 + b_1 + b_2)m_v + (c_0 + c_1 + c_2)m_p^2 \quad (1)$$

که در آن ε نشان دهنده ثابت دی الکتریک، و m_v نشان دهنده محتوای رطوبت خاک می‌باشد. علاوه بر این، می‌توان مدل بازپراکنش را برای برقراری رابطه بین ضریب بازپراکنش و پارامترهای تارگت (هدف) بر اساس مشخصات سنسور و تارگت در نظر گرفت. مدل‌های بازپراکنش متنوعی وجود دارند، که شامل مدل‌های هوش مصنوعی از قبیل شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های ژنتیک، و مدل‌های کلاسیک نظیر SPM، POM، GOM، IEM و مدل‌های تئوری و تجربی گوناگونی مانند OH، ODM، MDM، LM می‌باشند. مسأله‌ای که در این بحث وجود دارد، این است که ضریب بازپراکنش به پارامترهای سطح خاک بستگی دارد و تعداد معادلات موجود برای حل این مسأله کمتر از تعداد مجهولات است. برای حل این مشکل، امکان استفاده از روش‌های گوناگون وجود دارد. یکی از روش‌ها، افزایش تأثیر یک پارامتر است. به عنوان مثال، می‌توان از زاویه تابش نزدیک ۱۰ درجه برای اندازه‌گیری اثر رطوبت خاک و کاهش اثر زبری خاک استفاده نمود. روش دیگر، تخمین پارامترها از منابع دیگر است. به عنوان مثال، می‌توان از داده‌های واقعیت زمینی برای تخمین پارامترهای رطوبت خاک استفاده نمود. روش بعدی، استفاده از تکنیک‌های چندگانه است. این تکنیک‌ها شامل تکنیک‌های چندزاویه، چند قطبش و چند فرکانس می‌باشند. در تکنیک چند زاویه، برای به دست آوردن پارامترها از تصویر یک منطقه در دو زاویه مختلف استفاده می‌شود [۳۱].

- چالش‌ها و محدودیت‌های بالقوه مرتبط با بازیابی پارامترهای خاک، مانند زبری و رطوبت، با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1 از طریق مدل OH، به‌ویژه در زمینه استفاده از زمین‌های کشاورزی چیست؟ درک دقیق پارامترهای خاک، مانند زبری و رطوبت، نقش حیاتی در مدیریت مؤثر زمین و برنامه‌ریزی کشاورزی دارد. با این حال، اندازه‌گیری دقیق این پارامترها در مقیاس بزرگ به دلیل نبود تکنیک‌های نظارتی مقرون به صرفه و در دسترس محدود شده است. با پیشرفت در فناوری ماهواره، به‌ویژه، استفاده از داده‌های Sentinel-1 و مدل OH، اکنون فرصتی برای بازیابی مؤثر این پارامترهای خاک به شیوه‌ای کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر وجود دارد [۲۵]. این تحقیق، با انجام یک تجزیه و تحلیل جامع از زبری و رطوبت خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای Sentinel-1 به دنبال غلبه بر محدودیت‌های فعلی در پایش پارامترهای خاک و باز کردن امکانات جدید برای شیوه‌های کشاورزی پایدارتر و کارآمدتر است. انتظار می‌رود نتایج پیش‌بینی شده نه تنها به نفع شهر نظرآباد باشد، بلکه پیامدهایی برای مناطق کشاورزی مشابه در سطح جهان نیز، داشته باشد. در نهایت، از طریق این تحقیق، ما به دنبال ارائه بینش‌هایی هستیم که می‌تواند مدیریت پایدار زمین را تقویت کرده و بهره‌وری کشاورزی را افزایش دهد.

مبانی نظری

حال به طور مختصر، به بررسی مبانی نظری می‌پردازیم که زیربنای تحقیق ما در مورد بازیابی پارامترهای خاک مانند زبری و رطوبت است. زبری و رطوبت خاک، از عوامل اساسی در تعیین خواص خاک و اعمال تأثیر قابل توجه بر بهره‌وری کشاورزی هستند [۲۶]. ناهمواری خاک، به بی‌نظمی در سطح خاک اشاره دارد که پیامدهای قابل توجهی برای فرآیندهایی مانند نفوذ، فرسایش و حفظ آب دارد [۲۷]. در همین حال، میزان رطوبت خاک یک عامل تعیین کننده حیاتی برای سلامت خاک است که بر رشد محصول، در دسترس بودن مواد مغذی و پایداری کشاورزی تأثیر می‌گذارد [۲۸].

زبری سطح خاک یک مفهوم مهم در علوم خاک‌شناسی است که به تغییرات و بی‌نظمی‌های حاصل از انحرافات در سطح خاک اشاره دارد. این اختلالات عموماً به صورت کوچک و در مقیاس‌های مشخصی که معمولاً از طریق نقشه‌های توپوگرافی یا نقشه‌برداری قابل مشاهده هستند. در این باره، تامسون و همکاران چهار دسته اصلی از زبری سطح را مشخص کرده‌اند که آن‌ها وابستگی به تغییرات میکرو، ناهمواری‌های تصادفی، ناهمواری‌های ترازمند و ناهمواری‌های مرتبه بالاتر می‌باشند [۲۹]. امکان پارامتریزه کردن یک سطح اتفاقی نیز با استفاده از پارامترهایی مانند ارتفاع (s) rms که به زبری عمودی سطح اشاره دارد، طول همبستگی (l) که به زبری افقی سطح اشاره دارد و تابع همبستگی $\rho(\xi)$ که توزیع زبری سطح را نشان می‌دهد، وجود دارد. این توصیف‌ها و تفکیک‌بندی‌ها از زبری سطح، به درک بهتر از ویژگی‌های فیزیکی و هندسی سطح خاک کمک می‌کند و از اهمیت بالایی برخوردار است [۳۰].

روش تحقیق

در این تحقیق، هدف اصلی ما تعیین پارامترهای سطح خاک، یعنی زبری و رطوبت، با استفاده از داده‌های سنجنده Sentinel-1 در حوزه کشاورزی شهرستان نظرآباد بود. برای انجام این کار، از دو تصویر پلاریزه موجود در این سنجنده (VH و VV) بهره گرفته شد. همچنین، برای ارتباط این پارامترها با تصاویر پلاریزه، از معادلات مدل Oh استفاده شد. این تحقیق، به ارائه یک رویکرد روشن و سیستماتیک برای جمع‌آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌پردازد. داده‌های رادار دهانه مصنوعی Sentinel-1 (SAR) که مورد استفاده قرار گرفته است، مزیت قابلیت‌های رصد در تمام شرایط آب و هوا و همچنین، در طول شبانه روز را فراهم می‌کند و بنابراین برای نظارت بر زمین‌های کشاورزی بسیار مناسب می‌باشد [۳۲].

برای اطمینان از اعتبار و پایایی نتایج، ما یک فرآیند جامع و سیستماتیک را اتخاذ کرده‌ایم که شامل فرآیندهای اکتساب داده، پیش‌پردازش، کالیبراسیون، اعتبارسنجی و استفاده از مدل OH می‌باشد. ماهیت سیستماتیک این روش برای تسهیل در بازایی دقیق پارامترهای خاک طراحی شده و به درک جامعی از پویایی استفاده از زمین کاربری کشاورزی در منطقه مورد مطالعه کمک می‌کند. بخش‌های بعدی این مقاله، شرح مفصلی از طراحی تحقیق، منابع داده، پردازش داده‌ها، استفاده از مدل و روش‌های اعتبارسنجی را ارائه خواهند داد که بر یکپارچگی روش‌شناختی مطالعه تأکید می‌کند. برای توضیح و نمایش بهتر روند اجرای مقاله، از یک فلوچارت استفاده کرده‌ام. این فلوچارت به وضوح مراحل مختلف اجرای مقاله را نشان می‌دهد و به خواننده اجازه می‌دهد تا به راحتی فرایند را درک کند و اقدامات مورد نیاز را برای اجرای مقاله به صورت واضح و دقیق ببیند.

منطقه مورد مطالعه

منطقه تحقیقاتی این مطالعه در شهر نظرآباد، واقع در استان البرز، ایران، با مختصات جغرافیایی 35.4742° شمالی و 51.4639° شرقی، قرار دارد. شهر نظرآباد، به دلیل تنوع و زیبایی‌های مناظر کشاورزی خود شناخته شده است. این شهر، دارای بیش از ۱۰ هزار هکتار اراضی زراعی است که برای تولید محصولات هم‌چون گندم، جو، ذرت، زعفران، یونجه و سایر محصولات کشاورزی شناخته می‌شود. منطقه نظرآباد با میانگین بارندگی سالیانه ۲۳۸ میلیمتر و میانگین دمای سالیانه 21.4° درجه سانتیگراد در اقلیم خشک (قسمت جنوبی منطقه) و نیمه خشک (قسمت شمالی منطقه) واقع شده است. آب‌وهوای معتدل کوهستانی شهر نظرآباد تأثیر چشم‌گیری بر رطوبت خاک و بهره‌وری کشاورزی دارد. با خاک سبک و منابع آب فراوان در دشت نظرآباد، این منطقه برای فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری بسیار مناسب محسوب می‌شود. زراعت و دامپروری، به‌عنوان منابع اصلی درآمد روستاییان محلی شهر نظرآباد به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتخاب شهر نظرآباد به‌عنوان

منطقه تحقیقاتی، به دلیل اهمیت استراتژیک آن از نظر بهره‌وری کشاورزی و نیازمندی به بررسی دقیق رطوبت خاک برای مدیریت کارآمد اراضی، به انجام رسیده است [۳۳].

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، داده‌های سنجنده Sentinel-1 به‌عنوان منبع اصلی مورد استفاده قرار گرفتند. این داده‌ها شامل مشخصات سنجنده و تصاویر منطقه مورد مطالعه بودند.

جدول ۱: مشخصات سنسور
Table 1: Sensor specifications

Sensor	Sentinel-1A
Product_Type	GRD
Acquisition Mode	IW
Polarization	VV, VH
Antenna_Pointing	Right
Incidence angle_minimum	30.5310
Incidence angle_maximum	46.3809
Incidence angle_mean	38.9256
Pass	Descending
Radar_frequency(GHz)	5.405
State_Vector_Time	2018/03/09

مکان مرتبط با تصویر در نزدیکی جنوب دریای خزر و استان‌های مازندران، تهران و البرز واقع شده است.

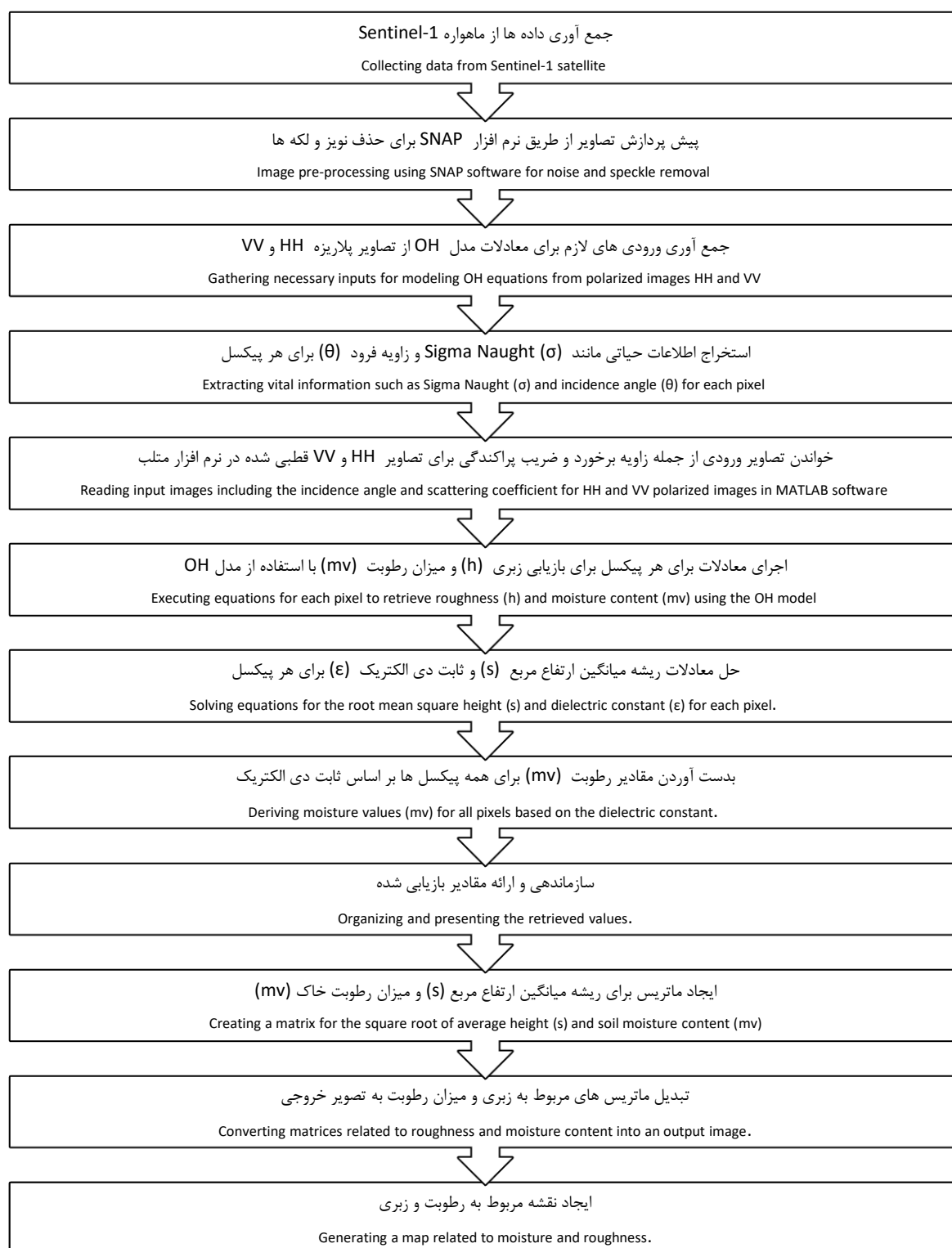
در این منطقه، موقعیت جغرافیایی به شرح زیر است:

عرض جغرافیایی (درجه): 35.6775245666039° تا $36.77494049722656^{\circ}$

طول جغرافیایی (درجه): $52.98349423028038^{\circ}$ تا $49.81568415923446^{\circ}$

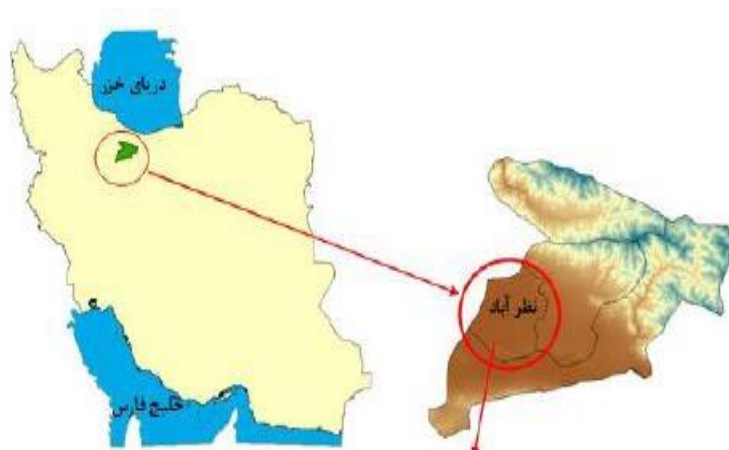
با توجه به شناخت ما، مدل Oh به‌عنوان یک مدل مناسب برای تخمین پارامترهای خاک شناخته شده است و این مدل باید بر روی یک منطقه مورد مطالعه قرار گیرد که دارای پوشش زمینی خاصی نظیر زمین‌های کشاورزی یا خاک‌های بایر باشد. به علاوه، پردازش کامل تصویر نیازمند منابع سخت‌افزاری مناسب برای مدیریت حجم زیاد داده استفاده شده است. بنابراین، یک منطقه زیرمجموعه از تصویر انتخاب می‌شود و تمام عملیات پس از آن بر روی این منطقه انجام می‌شود. با تأمل در نقشه‌های مربوط به این منطقه، به‌وضوح مشخص است که منطقه مورد نظر، که توسط پلیگون تعریف شده است، یک منطقه کشاورزی است. لذا زیرمجموعه مورد نظر باید به‌گونه‌ای تعریف شود که این منطقه را در بر بگیرد، تا مطمئن شویم که شامل منطقه کشاورزی است.

در شکل ۵، پلیگونی که قابل مشاهده است، منطقه‌ای از زمین کشاورزی را نمایان می‌کند. همان‌طور که اشاره شد، زیرمجموعه‌ای که پروژه بر روی آن انجام می‌شود، شامل این پلیگون می‌باشد.

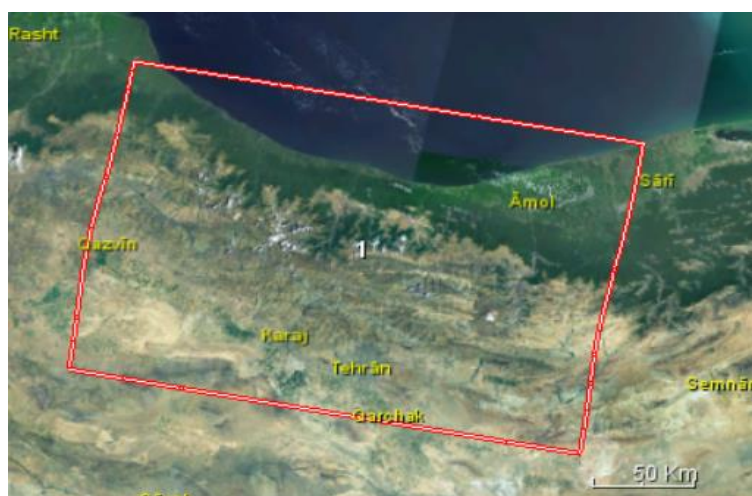


شکل ۲: فلوچارت مراحل کار

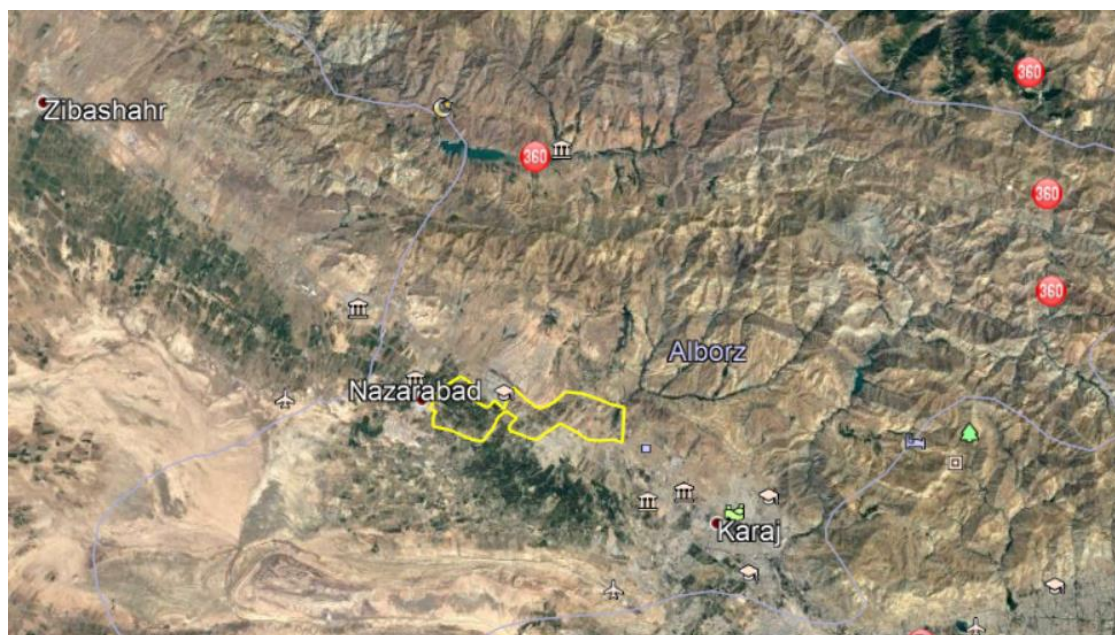
Fig. 2: Flowchart of work steps



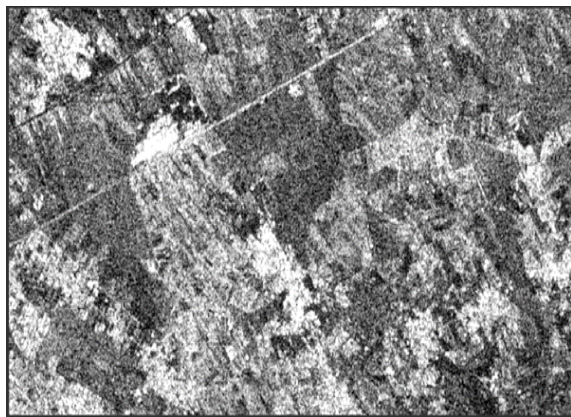
شکل ۳: نقشه منطقه مورد مطالعه
Fig. 3: Map of the studied area



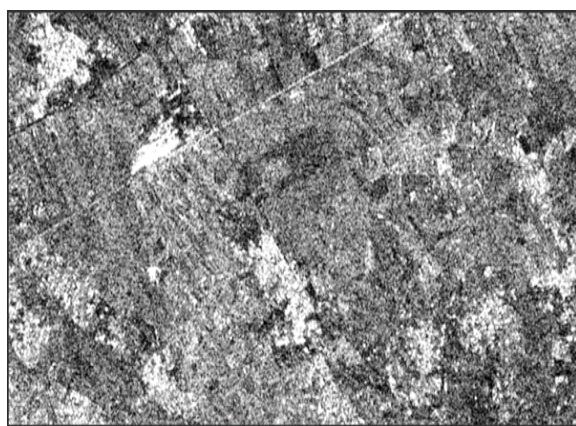
شکل ۴: محدوده جغرافیایی تصویر اولیه
Fig. 4: Geographical scope of the primary image



شکل ۵: محدوده کشاورزی مشخص شده با پلی گون
Fig. 5: Agricultural area marked with a polygon



شکل ۸: تصویر ضریب بازپراکنش پلاریزه VV پس از اعمال تصحیحات با واحد دسی بل
Fig. 8: Image of VV polarized redistribution coefficient after applying corrections in dB unit



شکل ۹: تصویر ضریب بازپراکنش پلاریزه VH پس از اعمال تصحیحات با واحد دسی بل
Fig. 9: Image of VH polarized redistribution coefficient after applying corrections with dB unit

معادلات مورد استفاده در این مطالعه، بر اساس مدل تجربی Oh است که از Incidence angle و Backscattering Coefficient برای تخمین زبری سطح (s) و میزان رطوبت (mv) استفاده می‌کند. از آنجایی که داده‌های موجود برای این پروژه فاقد تصویر HH قطبی شده است، معادلات مدل Oh برای برآورد پارامترهای مورد نظر تنها با استفاده از تصاویر VV و VH قطبی شده سازگار شده‌اند.

از معادلات مورد مطالعه داریم:

$$\sigma_{vv}^0(\theta, \epsilon_r, ks) = \frac{g \cos^3 \theta}{\sqrt{p}} \cdot [\Gamma_v(\theta) + \Gamma_h(\theta)] \quad (2)$$

که در این رابطه $\sqrt{p}$ از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\sqrt{p} \triangleq \sqrt{\frac{\sigma_{hh}^0}{\sigma_{vv}^0}} = 1 - \left(\frac{2\theta}{\pi}\right)^{\left(\frac{1}{3r_0}\right)} \cdot \exp(-ks) \quad (3)$$

$$\sigma_{vv}^0 = \frac{0.7[1 - \exp(-0.65(ks)^{1.8})] \cos^3 \theta}{1 - \left(\frac{2\theta}{\pi}\right)^{\left(\frac{1}{3r_0}\right)} \cdot \exp(-ks)} \cdot [\Gamma_v(\theta) + \Gamma_h(\theta)] \quad (4)$$

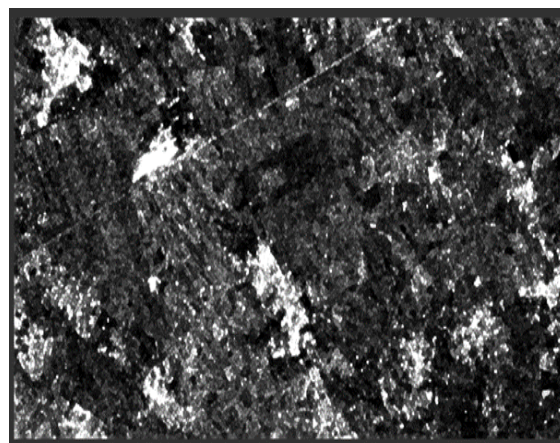
که رابطه بالا ضریب بازپراکنش تصویر پلاریزه VV را بر حسب پارامترهای ϵ_r و s بیان می‌کند.

آماده سازی تصاویر در نرم افزار Snap

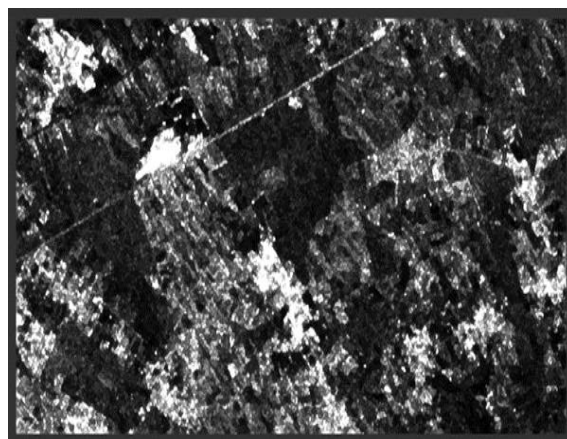
پس از استخراج زیر مجموعه‌ها از تصویر و به دست آوردن نمونه‌های مورد نظر، پیش پردازش تصاویر آغاز می‌شود. برای این منظور می‌توان از نرم افزار اسنپ یا نست استفاده کرد و برای این پروژه از نرم افزار اسنپ استفاده می‌شود. پیش پردازش، شامل اعمال فیلترها بر روی تصویر برای حذف نویز Speckle و به دنبال آن، اعمال اصلاحات هندسی است. پس از آن می‌توان از تصویر تصحیح شده برای تجزیه و تحلیل بیشتر استفاده کرد.

همان طور که قبلاً ذکر شد، اطلاعات حیاتی برای این پروژه شامل مقادیر Sigma Naught (σ) و Incidence Angle (θ) برای هر پیکسل است. تصویر مربوط به زاویه تابش برای هر دو قطبش موجود است و نیازی به عملیات خاصی ندارد. با این حال، برای تصویر حاوی Sigma Naught برای هر تصویر قطبی شده، باید از تصویر Intensity تصحیح شده برای استخراج این مقادیر استفاده شود.

با به دست آوردن تصاویر برای هر قطبی سازی، ورودی‌های لازم برای حل معادلات ایجاد می‌شود. تصاویر ۶ تا ۹، تصاویر پلاریزه HH و VV را پس از انجام اصلاحات فوق در محیط نرم افزار اسنپ نشان می‌دهند.



شکل ۶: تصویر ضریب بازپراکنش پلاریزه VV پس از اعمال تصحیحات
Fig. 6: VV polarized redistribution coefficient image after applying corrections



شکل ۷: تصویر ضریب بازپراکنش پلاریزه VH پس از اعمال تصحیحات
Fig. 7: Image of VH polarized redistribution coefficient after applying corrections

شده نسبت داده شود. این پروژه از معادلات oh ای استفاده کرد که به روشی فرموله شده بودند که منجر به دو معادله بر اساس زبری و ثابت دی الکتریک شد که به طور بالقوه به حساسیت مقادیر نهایی به پارامترهای اولیه کمک می‌کند. علاوه بر این، دستور "fsolve" در محیط MATLAB، همراه با مقادیر اولیه و یک فرآیند حل تکراری، به حساسیت مشاهده شده نتایج کمک کرد. به طور کلی، این یافته‌ها بر اهمیت حیاتی انتخاب و ارزیابی دقیق مقادیر اولیه برای تابع حل‌کننده برای اطمینان از پایداری و قابلیت اطمینان نتایج تأکید می‌کنند. کاوش بیشتر و اصلاح روش حل ممکن است برای کاهش حساسیت مشاهده شده به پارامترهای اولیه ضروری باشد.

همان‌طور که از تصویر ۱۰ مشخص است، سطح زبری منطقه مورد مطالعه در مناطق مختلف کشاورزی و مناطق مختلف متغیر است. در مناطقی که تصویر روشن‌تر است، مقادیر ارتفاع rms بالاتر را نشان می‌دهد، در حالی که در مناطقی که تصویر کم‌رنگ‌تر است، مقادیر کمتری از ارتفاع rms وجود دارد. این مطالعه، نشان می‌دهد که بافت تصویر صاف به نظر می‌رسد و نشان می‌دهد که توزیع نسبتاً همگن ارتفاع سطح در منطقه مورد مطالعه است. حداکثر سطح زبری ثبت شده ۳ سانتی‌متر و حداقل سطح زبری ثبت شده ۲ میلی‌متر است. با افزایش زبری خاک، پراکندگی نیز افزایش می‌یابد. با مقایسه ضرایب صفر سیگما برای دو تصویر پلاریزه و تصویر زبری، مشاهده می‌شود که در مناطقی با پراکندگی بالاتر، که با تصاویر روشن‌تر نشان داده شده است، تصویر زبری نیز روشن‌تر با مقادیر ارتفاع rms بالاتر به نظر می‌رسد. علاوه بر این، میزان رطوبت خاک نیز در تصویر مشاهده می‌شود.

با توجه به نمای قابل مشاهده در تصویر ۱۱، تشخیص داده شده است که میزان رطوبت خاک نسبت به میزان زبری در این منطقه کمتر تغییر می‌کند. به طور دقیق، مشاهدات نشان می‌دهند که میزان محتوای رطوبت خاک در سرتاسر منطقه به نزدیکی یکدیگر است و به همین دلیل، درجات خاکستری تصویر به طور عمده از اندازه‌های مشابه برخوردار هستند. این، نشان می‌دهد که رنگ روشن دیده شده در تصویر به صورت مستقیم با مقادیر رطوبت خاک در ارتباط نیست و می‌توان این تحلیل را به صورت نسبی انجام داد. به طور میانگین، مقادیر محاسبه شده برای رطوبت به مقدار حدود ۰/۳ می‌رسد. همان‌طور که مشخص است، ما می‌توانیم نقاطی را با درجات خاکستری کمتر در تصویر تشخیص دهیم که نشان‌دهنده میزان کمتری از رطوبت است. این نقاط، بیانگر محدوده‌هایی هستند که در آن‌ها میزان محتوای رطوبت کمتری تشخیص داده شده است. از آن‌جا که منطقه مورد نظر مربوط به زمین‌های کشاورزی است، این مشاهدات نشان می‌دهند که میزان رطوبت به طور یکنواخت در سرتاسر نواحی منطقه است.

همچنین می‌دانیم که رابطه زیر برای ضرایب بازپراکنش VV و VH برقرار است:

$$\sigma_{hv}^0(\theta, \varepsilon_r, ks) = q \cdot \sigma_{vv}^0(\theta, \varepsilon_r, ks) \quad (5)$$

و از طرفی q از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q \triangleq \frac{\sigma_{hv}^0}{\sigma_{vv}^0} = 0.23\sqrt{\Gamma_0} [1 - \exp(-ks)] \quad (6)$$

پس با جایگذاری معادلات داریم:

$$\sigma_{hv}^0 = 0.23\sqrt{\Gamma_0} [1 - \exp(-ks)] \frac{0.7[1 - \exp(-0.65(ks)^{1.8})] \cos^3 \theta}{1 - (\frac{2\theta}{\pi})^{(\frac{1}{3\Gamma_0})} \cdot \exp(-ks)} \cdot [\Gamma_v(\theta) + \Gamma_h(\theta)] \quad (7)$$

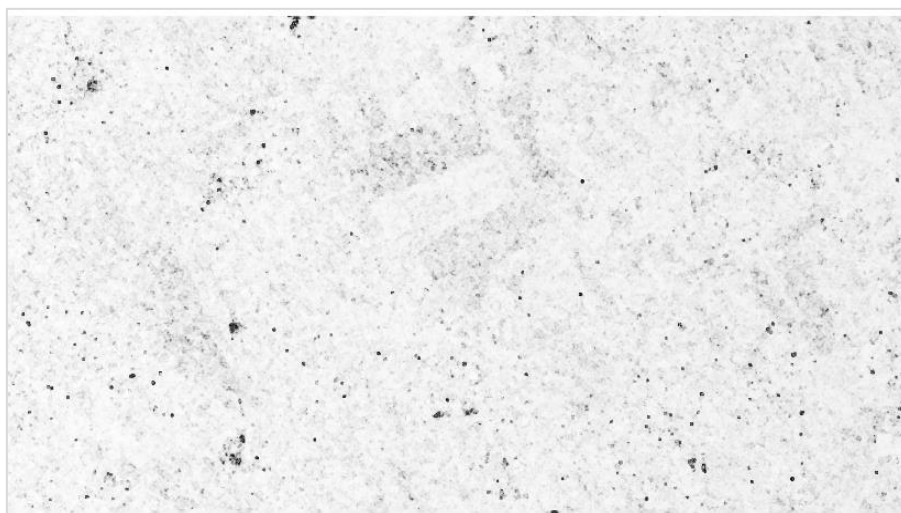
پس با حل دستگاه معادلات غیرخطی معادلات می‌توانیم به مقادیر ε_r و s برای هر پیکسل دست یابیم. همان‌طور که مشخص است تنها بخش حقیقی ثابت دی الکتریک به دست می‌آید که برای سطحی مثل خاک تقریب قابل قبولی از ضریب دی الکتریک می‌باشد و در انتها، برای به دست آوردن پارامتر m_v می‌توانیم از معادله استفاده کنیم.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به دست آمده از پروژه، آشکار است که مقادیر ثابت دی الکتریک، زبری و رطوبت به پارامترهای اولیه ارائه شده به تابع حل کننده بسیار حساس هستند. به ویژه، حساسیت ثابت دی الکتریک به مقادیر اولیه قابل توجه است، زیرا در بسیاری از موارد، اعداد مختلط برای مقادیر نهایی زبری و ثابت دی الکتریک (و متعاقباً، رطوبت) هنگام استفاده از معادلات به دست آمده است. هنگامی که توان مربع پارامترهای $g_v(\theta)$ و $g_h(\theta)$ به معادلات اضافه می‌شود، مقادیر به دست آمده پیچیده نیستند، اما همچنان حساسیت بالایی به مقادیر اولیه نشان می‌دهند. به عنوان مثال، با مقادیر اولیه تنظیم شده در ۰.۵، مقادیر به دست آمده برای زبری (s) (ارتفاع rms) از ۲ میلی‌متر تا ۳ سانتی‌متر متغیر بود. علاوه بر این، با تغییر مقادیر اولیه، مقادیر زبری تا ۵ سانتی‌متر به دست آمد. ثابت دی الکتریک (ε_r) به طور مشابه وابستگی قابل توجهی به مقادیر اولیه نشان داد و تغییرات شدیدی را با تغییرات تجربه کرد. پارامتر رطوبت (m_v)، مشتق شده از مقادیر ثابت دی الکتریک، نیز به نظر می‌رسد که به طور قابل توجهی تحت تأثیر مقادیر اولیه باشد. این حساسیت، ممکن است به فرمول معادلات و روش حل به کار گرفته



شکل ۱۰: تصویر زبری محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه
Fig. 10. Rough image calculated for the study area



شکل ۱۱: تصویر رطوبت محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه
Fig. 11: Calculated humidity image for the study area

نتیجه‌گیری

دقیق زبری و رطوبت خاک فراهم می‌کند و اطلاعات قابل اعتمادی برای مدیریت بهتر زراعت در این منطقه ارائه می‌دهد. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که چگونه این رویکرد یکپارچه می‌تواند به‌طور سیستماتیک شرایط خاک را در مناطق مختلف بررسی و تحلیل کرده و نظارت بر شرایط خاک را بهبود بخشیده و فرصت‌هایی را برای اقدامات کارآمدتر و پایدارتر در زمینه کشاورزی در این منطقه ایجاد کند. به این ترتیب، این بررسی‌ها اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت زمین کشاورزی و فرآیندهای تصمیم‌گیری فراهم می‌آورند و با درک بهتر از ماهیت پویای شرایط خاک، می‌تواند کمک کند تا تصمیمات کشاورزی آگاهانه‌تری، به‌منظور افزایش بهره‌وری و حفاظت از محیط زیست، اتخاذ شود.

در حالی که مطالعه ما پتانسیل استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1 و مدل OH را برای تخمین زبری و پارامترهای رطوبت خاک در منطقه کشاورزی شهرستان نظرآباد با موفقیت نشان داد، مهم است که برخی از چالش‌ها و محدودیت‌ها را بپذیریم. یکی از چالش‌های عمده‌ای که با آن مواجه شدیم، نیاز به داده‌های حقیقت زمینی برای اعتبارسنجی و

این مطالعه، به پتانسیل استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-1 در ترکیب با مدل OH برای بازیابی پارامترهای خاک، به‌ویژه زبری و رطوبت، در محیط کشاورزی نظرآباد پرداخت. روش انجام کار ما در این مقاله، نه تنها بهبود قابل توجهی در دقت و پایداری نتایج نسبت به روش‌های قبلی ارائه کرده است، بلکه همچنین توانست نقاط ضعف موجود در روش‌های پیشین را بهبود بخشیده و به عملکرد بهتر در تعیین پارامترهای زبری و رطوبت خاک در منطقه کشاورزی شهرستان نظرآباد دست یابد. استفاده از مدل OH به همراه داده‌های Sentinel-1، موفق به تحلیل و تفسیر نوسانات مکانی و زمانی در زبری و رطوبت خاک شده و اطلاعات حیاتی جهت بهینه‌سازی روش‌های کشاورزی در منطقه به‌دست آورده است. نتایج، نشان می‌دهند که این رویکرد پتانسیل زیادی برای نظارت دقیق‌تر بر شرایط خاک دارد و می‌تواند به بهره‌وری بهتر و پایدارتر از منابع زمینی در زمینه کشاورزی کمک کند. نتایج حاصل از این بررسی، نشان می‌دهد که این ادغام امکانات بسیاری برای برآورد

[7] Nellis D, Price K, Rundquist DC. Remote Sensing of Cropland Agriculture. In: Air Data Solutions, University of Nebraska at Lincoln, editors. Papers in Natural Resources, School of Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln; 2009. DOI:10.4135/9780857021052.n26.

[8] Richer-de-Forges AC, Chen Q, Baghdadi N, Chen S, Gomez C, Jacquemoud S, et al. Remote Sensing Data for Digital Soil Mapping in French Research-A Review. Remote Sensing. 2023;15(12):3070. DOI: 10.3390/rs15123070.

[9] Mohseni F, Mirmazloumi SM, Mokhtarzade M, Jamali S, Homayouni S. Global Evaluation of SMAP/Sentinel-1 Soil Moisture Products. Remote Sensing. 2022;14(18):4624. <https://doi.org/10.3390/rs14184624>

[10] Rasheed MW, Tang J, Sarwar A, Shah S, Saddique N, Khan MU, et al. Soil Moisture Measuring Techniques and Factors Affecting the Moisture Dynamics: A Comprehensive Review. Sustainability. 2022;14(18):11538. <https://doi.org/10.3390/su141811538>

[11] Wulf H, Mulder VL, Schaepman M, Keller A, Joerg PC. Remote Sensing of Soils. University of Zurich, Switzerland; 2014. DOI: 10.13140/2.1.1098.0649.

[12] Raza A, Ahrends H, Habib-Ur-Rahman M, Gaiser T. Modeling Approaches to Assess Soil Erosion by Water at the Field Scale with Special Emphasis on Heterogeneity of Soils and Crops. Land. 2021;10(4):422. DOI: 10.3390/land10040422.

[13] Baghdadi N, El Hajj M, Choker M, Zribi M, Bazzi H, Vaudour E, et al. Potential of Sentinel-1 Images for Estimating the Soil Roughness over Bare Agricultural Soils. Water. 2018;10(2):131. <https://doi.org/10.3390/w10020131>

[14] Jazireeyan I. Estimation of soil moisture using Sentinel-1 and Sentinel-2 images. ISPRS Annals. 2023; X(4):137-202. DOI:10.5194/isprs-annals-X-4-2022-137-2023.

[15] Ettalbi M, Baghdadi N, Garambois PA, Bazzi H, Ferreira E, Zribi M. Soil moisture retrieval in bare agricultural areas using Sentinel-1 images. Remote Sensing. 2023;15(14):3502. <https://doi.org/10.3390/rs15143502>

[16] Han Y, Bai X, Shao W, Wang J. Retrieval of Soil Moisture by Integrating Sentinel-1A and MODIS Data over Agricultural Fields. Water. 2020;12(6):1726. <https://doi.org/10.3390/w12061726>

[17] Liang J, Liang G, Zhao Y, Zhang Y. A synergic method of Sentinel-1 and Sentinel-2 images for retrieving soil moisture content in agricultural regions. Comput Electron Agric. 2021;192:106485. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106485>

[18] Chung J, Lee Y, Kim J, Jung C, Kim S. Soil Moisture Content Estimation Based on Sentinel-1 SAR Imagery Using an Artificial Neural Network and Hydrological Components. Remote Sensing. 2022;14(3):465. <https://doi.org/10.3390/rs14030465>

[19] Attarzadeh R, Amini J, Notarnicola C, Greifeneder F. Synergetic Use of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data for Soil

کالیبره کردن پارامترهای مشتق شده از ماهواره بود. این فرآیند، می‌تواند کاری فشرده باشد و ممکن است عدم قطعیت ایجاد کند. علاوه بر این، وضوح فضایی داده‌های Sentinel-1 تجزیه و تحلیل دقیق تغییرات در مقیاس بزرگ در زبری و رطوبت خاک را محدود کرد. علاوه بر این، ماهیت پویای اعمال کشاورزی و کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه چالش‌هایی را در ثبت دقیق شرایط خاک در مقاطع زمانی خاص ایجاد کرد. پرداختن به این محدودیت‌ها و بررسی ادغام داده‌های چند سنجنده برای بهبود استحکام و کاربرد تخمین پارامترهای خاک در پایش کشاورزی برای تحقیقات آینده بسیار مهم است.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از تمامی عزیزی که در این تحقیق همکاری داشته‌اند، کمال قدردانی و سپاس خود را اعلام می‌نمایند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است»

منابع و مآخذ

[1] Yang P, Wu L, Cheng M, Fan J, Li S, Wang H, et al. Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. Water. 2023;15(9):1733. <https://doi.org/10.3390/w15091733>.

[2] Abdulraheem MI, Zhang W, Li S, Moshayedi AJ, Farooque AA, Hu J. Advancement of Remote Sensing for Soil Measurements and Applications: A Comprehensive Review. Sustainability. 2023;15(21):15444. <https://doi.org/10.3390/su152115444>

[3] Baghdadi N, Gaultier S, Cock King. Retrieving Surface Roughness and Soil Moisture from Synthetic Aperture Radar (SAR) Data Using Neural Networks. French National Institute for Agriculture, Food, and Environment (INRAE); Singapore Management University; 2002. doi:10.5589/m02-066.

[4] Barrett BW, Dwyer E, Whelan P. Soil Moisture Retrieval from Active Spaceborne Microwave Observations: An Evaluation of Current Techniques. Remote Sensing. 2009;1(3):210-42. <https://doi.org/10.3390/rs1030210>

[5] Huang S, Ding J, Zou J, Liu B, Zhang J, Chen W. Soil Moisture Retrieval Based on Sentinel-1 Imagery under Sparse Vegetation Coverage. Sensors. 2019;19(3):589. <https://doi.org/10.3390/s19030589>

[6] Chung J, Lee Y, Kim J, Jung C, Kim S. Soil Moisture Content Estimation Based on Sentinel-1 SAR Imagery Using an Artificial Neural Network and Hydrological Components. Remote Sensing. 2022;14(3):465. <https://doi.org/10.3390/rs14030465>

[31] Curtis JO. Moisture effects on the dielectric properties of soils. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* 2001;39(1):125-128. <https://doi.org/10.1109/36.898673>

[32] Holtgrave A-K, Röder N, Ackermann A, Erasmi S. Comparing Sentinel-1 and -2 Data and Indices for Agricultural Land Use Monitoring. *Remote Sensing.* 2020;12(18):2919. <https://doi.org/10.3390/rs12182919>

[33] Mirkhani R, Vaezi A, Rezaei H. Using Soil Properties to Estimate the Irrigated Wheat Yield in Agricultural Lands of Nazarabad Region in Alborz Province. *Iran J Soil Water Res.* 2020;51(5):1237. DOI: 10.22059/ijswr.2020.292897.668404

Moisture Mapping at Plot Scale. *Remote Sensing.* 2018;10(8):1285. <https://doi.org/10.3390/rs10081285>

[20] Hamze M, Cheviron B, Baghdadi N, Courault D, Zribi M. Plot-Scale Irrigation Dates and Amount Detection Using Surface Soil Moisture Derived from Sentinel-1 SAR Data in the Optirrig Crop Model. *Remote Sensing.* 2023;15(16):4081. <https://doi.org/10.3390/rs15164081>

[21] Nichols S. Review and evaluation of remote sensing methods for soil-moisture estimation. *J Photonics for Energy.* 2011;2(1):028001. DOI: 10.1117/1.3534910.

[22] Chung J, Lee Y, Kim J, Jung C, Kim S. Soil Moisture Content Estimation Based on Sentinel-1 SAR Imagery Using an Artificial Neural Network and Hydrological Components. *Remote Sensing.* 2022;14(3):465. <https://doi.org/10.3390/rs14030465>.

[23] Wang Y, Zhao H, Fan J, Wang C, Ji X, Jin D, et al. A Review of Earth's Surface Soil Moisture Retrieval Models via Remote Sensing. *Water.* 2023;15(21):3757. <https://doi.org/10.3390/w15213757>

[24] Mattia F, Balenzano A, Satalino G, Lovergine F, Loew A, Peng J, et al. Sentinel-1 high resolution soil moisture. In: 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS); 2017. DOI: 10.1109/IGARSS.2017.8128257

[25] Parida BR, Pandey AC, Kumar R, Kumar S. Surface Soil Moisture Retrieval Using Sentinel-1 SAR Data for Crop Planning in Kosi River Basin of North Bihar. *Agronomy.* 2022;12(5):1045. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051045>

[26] Xu L, Du H, Zhang X. Spatial Distribution Characteristics of Soil Salinity and Moisture and Its Influence on Agricultural Irrigation in the Ili River Valley, China. *Sustainability.* 2019;11(24):7142. <https://doi.org/10.3390/su11247142>

[27] Rodríguez-Caballero E, Cantón Y, Chamizo S, Afana A, Solé-Benet A. Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion. *Geomorphology.* 2012;145-146:81-89. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.042>

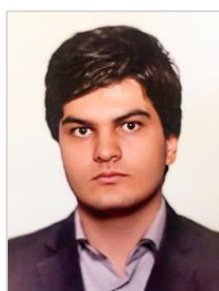
[28] Tahat MM, Alananbeh KM, Othman YA, Leskovar DI. Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability.* 2020;12(12):4859. <https://doi.org/10.3390/su12124859>

[29] Thomsen LM, Baartman JEM, Barnevelde RJ, Starkloff T, Stolte J. Soil surface roughness: comparing old and new measuring methods and application in a soil erosion model. *SOIL.* 2015; 1:399-410. doi:10.5194/soil-1-399-2015.

[30] Verhoest NEC, Lievens H, Wagner W, Álvarez-Mozos J, Moran MS, Mattia F. On the Soil Roughness Parameterization Problem in Soil Moisture Retrieval of Bare Surfaces from Synthetic Aperture Radar. *Sensors.* 2008;8(7):4213-4248. <https://doi.org/10.3390/s8074213>

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



حمیدرضا بابایی فرد کارشناس ارشد سیستم‌های اداره زمین از دانشگاه شهید بهشتی است. وی همچنین دارای رتبه ۲۰ کنکور کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری سال ۱۳۹۸ می‌باشد. او سابقه تدریس ریاضیات و نقشه برداری از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲ را دارد. علایق پژوهشی او

در زمینه‌های پردازش تصاویر، تحلیل‌های مکانی، یادگیری ماشین و هوش مصنوعی است.

Babaeifard, H. Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ h.babaeifard@mail.sbu.ac.ir



سعید صادقیان دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، دارای مدرک دکتری از دانشگاه تهران در رشته مهندسی نقشه برداری- فتوگرامتری است. وی علاوه بر تدریس در دانشگاه، دارای سوابق علمی و اجرایی بسیاری نیز می‌باشد. او به عنوان عضو هیات تحریریه

نشریه علمی پژوهش‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی فعالیت دارد و تجربه ریاست آموزشکده نقشه برداری سازمان نقشه برداری کشور در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ را نیز دارا می‌باشد.

Sadeghian, S. Associate Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ sa_sadeghian@sbu.ac.ir

Citation (Vancouver): Babaeifard h, Sadeghian S. [Determining Soil Roughness and Moisture Parameters Using Sentinel-1 Satellite Data via OH Model: A Case Study of Agricultural Land in Nazarabad City]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 11-24



<https://doi.org/10.22061/jrsg.2024.10654.1051>



COPYRIGHTS



© 2024 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Evaluation of Metaheuristic Algorithms in Selecting the Building Optimal Cover Based on the Effect of Urban Heat Islands

A. Ghandian¹, N. Mostofi^{*1}, A. Majidizadeh², H. Motieyan³¹ Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University- South Tehran Branch, Tehran, Iran² Department of Geodesy and Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran³ Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

ABSTRACT

Received: 28 February 2024

Reviewed: 30 April 2024

Revised: 8 May 2024

Accepted: 24 May 2024

KEYWORDS:

Genetic Optimization Algorithm
Landsat 8 Satellite Images
Particle Swarm Optimization
Algorithm
Remote Sensing
Urban heat Islands

* Corresponding author

✉ n_mostofi@azad.ac.ir

☎ (+9821) 26744520

Background and Objectives: Nowadays, the development of urbanization and the increase of urban population have caused the air to heat up more than in the past and create urban heat islands. Urban heat islands are a phenomenon caused by the urbanization effects, due to which the temperature in the urban environment rises higher than in the suburbs. This phenomenon can cause irreparable damage due to the increasing atmospheric and environmental temperature, such as biological pollution, greenhouse gas emissions, diseases caused by heat, and impact on water quality brought to communities and the environment. This research proposes an effective and efficient approach with the help of remote sensing and optimization algorithms based on replacing the roof covering of an area with less heat-absorbing coverings to reduce the temperature and try to eliminate the heat island phenomenon. In this research, we are trying to reduce the urban heat island effect based on algorithms and statistical parameters affecting the ambient temperature, which has had few studies in past research. Also, using the intelligent optimization method in this field can cause innovation and create better and more accurate results. The new way that this study examines is to change the roof covering of an area with other functional coverings that reduce the air temperature in that area. The coverings that we considered to replace the covering of the roofs to moderate and cool the temperature of the studied area are two types of coverings: soil and vegetation.

Methods: The proposed approach of this research is to use two optimization algorithms of genetic and particle swarm, and the parameters that form the objective function of these two algorithms are the temperature standard deviation and the average financial cost of the coverage changing of each building parcel. The research dataset is Landsat 8 satellite images of Andisheh neighborhood in Tehran. This research uses satellite images for purposes such as preparing color images, mapping the vegetation and non-vegetation indices of the study area, and calculating the earth's surface temperature and urban heat islands.

Findings: The results indicate that both optimization algorithms have provided good performance and improved the problem parameters, but the genetic optimization algorithm obtained a better result in less time and iteration. In comparing the two algorithms, the genetic optimization algorithm reduced the standard deviation by 19%, bringing its value to 0.42. On the other hand, the particle swarm optimization algorithm for a longer time, reduced the standard deviation by 14%, bringing its value to 0.44.

Conclusion: The genetic algorithm in optimizing the building roofs obtained excellent results with a total cost of 4678 and a standard deviation of 0.4177. It converged quickly with the 12100 number of objective function evaluations and significantly reduced both the cost function parameters (The genetic algorithm has reached the best possible answer). The particle swarm optimization algorithm also failed to achieve an answer as good as the genetic algorithm with a total cost of 4965, a standard deviation of 0.4430, and a 20100 number of objective function evaluations. About the comparison between these two algorithms, the genetic, with less than 3000 objective function evaluations, was able to experience the most optimal solution that particle swarm algorithm reached with the 20100 number of function evaluations. The use of metaheuristic algorithms in practical problem optimizations, which

we frequently encounter in various industries today, can be very efficient. The results of these algorithms are very suitable despite the differences in the outputs, and it will be impossible to reach such answers to different problems without using such algorithms. In future work, based on what we obtained in this research, we suggest using other optimization algorithms or even powerful modeling algorithms such as artificial neural networks. Also, it is possible to study the change in building roof covers and the use of newer coverings in moderating the temperature by adopting new parameters from the cost function in optimization and deep learning algorithms.



NUMBER OF REFERENCES

31



NUMBER OF FIGURES

17



NUMBER OF TABLES

12

مقاله پژوهشی

ارزیابی الگوریتم‌های فراابتکاری در انتخاب پوشش بهینه ساختمان‌ها بر اساس اثر جزایر حرارتی شهری

امیررضا قندیان^۱، نیکروز مستوفی^{۱*}، عباس مجیدی زاده^۲، حمید مطیعان^۳

^۱ گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب، تهران، ایران

^۲ گروه ژئودزی و مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران

^۳ گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: امروزه، توسعه شهرنشینی و افزایش جمعیت شهری، بیش از گذشته باعث گرم شدن هوا و ایجاد جزایر حرارتی شهری شده است. جزایر حرارتی شهری، پدیده‌ای ناشی از آثار شهرنشینی است که به واسطه آن، درجه حرارت در محیط شهری از مناطق حومه‌ای بالاتر می‌رود. این پدیده، به سبب افزایش دما جوی و محیطی می‌تواند صدمات جبران ناپذیری از قبیل آلودگی‌های زیستی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، بیماری‌های ناشی از گرما و تأثیر در کیفیت آب را برای جوامع و محیط زیست به بار آورد. این پژوهش، به منظور کاهش دما و تلاش برای از بین بردن پدیده جزیره حرارتی، رویکرد مؤثر و کارآمدی را به کمک علم سنجش از دور و الگوریتم‌های بهینه‌سازی براساس جایگزینی پوشش بام‌های یک منطقه با پوشش‌های با جذب گرمای کمتر پیشنهاد می‌کند. در این پژوهش، سعی بر آن است تا اثر جزیره حرارتی شهری را بر مبنای الگوریتم‌ها و پارامترهای آماری تأثیرگذار بر دمای محیط که در تحقیقات گذشته کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، کاهش دهیم. همچنین، استفاده از روش بهینه‌سازی هوشمند در این زمینه می‌تواند باعث نوآوری و ایجاد نتایج بهتر و دقیق‌تری شود. مسیر جدیدی که این مطالعه بررسی می‌کند، تغییر پوشش سقف یک منطقه با پوشش‌های کاربردی دیگر است که باعث کاهش دمای هوا در آن منطقه می‌شود. پوشش‌هایی که جهت جایگزینی پوشش بام‌ها برای تعدیل و خنک‌سازی دمای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شدند، دو نوع پوشش خاک و گیاهی می‌باشند.

روش‌ها: رویکرد پیشنهادی این پژوهش، استفاده از دو الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات است و پارامترهایی که تابع هدف این دو الگوریتم را تشکیل می‌دهند، دو پارامتر انحراف معیار دما و میانگین هزینه مالی تغییر پوشش سقف هر قطعه ساختمانی است. مجموعه داده تحقیق، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ از محله اندیشه شهر تهران است. در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای برای اهدافی همچون تهیه تصاویر رنگی، نگاشت شاخص‌های گیاهی و غیرگیاهی منطقه مورد مطالعه، محاسبه دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج به دست آمده بیانگر این موضوع می‌باشد که هر دو الگوریتم بهینه‌سازی عملکرد خوبی را ارائه داده و پارامترهای مسأله را بهبود بخشیده‌اند، اما الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، نتیجه بهتری را در زمان و تکرار کم‌تری کسب کرده است. در مقایسه این دو الگوریتم، الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک انحراف معیار را ۱۹ درصد کاهش داد و مقدار آن را به ۰/۴۲ رساند. از سوی دیگر، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در مدت زمانی طولانی‌تر، انحراف معیار را ۱۴ درصد کاهش داد و مقدار آن را به ۰/۴۴ رساند.

نتیجه‌گیری: الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی پوشش بام ساختمان‌ها، نتایج بسیار خوبی را با هزینه کل ۴۶۷۸ و انحراف معیار ۰/۴۱۷۷ کسب کرد. با تعداد ۱۲۱۰۰ بار ارزیابی تابع هدف به سرعت همگرا شد و هر دو پارامتر تابع هزینه را به

تاریخ دریافت: ۰۹ اسفند ۱۴۰۲
تاریخ داوری: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۴ خرداد ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک
تصاویر ماهواره لندست ۸
جزایر حرارتی شهری
سنجش از دور

* نویسنده مسئول

n_mostofi@azad.ac.ir

۰۲۱-۲۶۷۴۴۵۲۰

میزان قابل توجهی کاهش داد (الگوریتم ژنتیک تا حد ممکن به بهترین جواب رسیده است). الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نیز با کسب هزینه کل ۴۹۶۵، انحراف معیار ۰/۴۴۳۰ و با تعداد ۲۰۱۰۰ بار ارزیابی تابع هدف نتوانست جوابی به‌خوبی الگوریتم ژنتیک برسد. در خصوص مقایسه بین این دو الگوریتم، ژنتیک با کم‌تر از ۳۰۰۰ بار ارزیابی تابع هدف، توانست بهینه‌ترین جوابی را که الگوریتم ازدحام ذرات در ۲۰۱۰۰ بار ارزیابی به آن رسیده، تجربه کند. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی مسائل عملی، که امروزه در صنایع متنوع به دفعات با آن‌ها مواجه می‌شویم، می‌تواند بسیار کارآمد باشد. نتایج این الگوریتم‌ها، با وجود اختلافات در خروجی‌ها بسیار مناسب و رسیدن به چنین جواب‌هایی برای مسائل مختلف بدون استفاده از این‌گونه الگوریتم‌ها غیرممکن خواهد بود. به عنوان کارهای آتی براساس آنچه که در این پژوهش حاصل شده، پیشنهاد می‌شود از سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی و یا حتی الگوریتم‌های قدرتمند مدل‌سازی همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شود. همچنین، می‌توان تغییر پوشش بام ساختمان‌ها و استفاده از پوشش‌های جدیدتر را در تعدیل دما با اتخاذ پارامترهای جدید از تابع هزینه در الگوریتم‌های بهینه‌سازی و یادگیری عمیق مورد بررسی قرار داد.

مقدمه

را در خود نگه می‌دارند، در به‌وجود آمدن و شدت جزایر حرارتی مؤثر هستند. در کل، جزایر حرارتی را می‌توان به سه عامل اثرات تبدیل انرژی در شهرها، کاهش تبخیر و تعرق و تولید انرژی انسانی نسبت داد [۱۳]. یکی از عمده‌ترین دلایل آثار نامطلوب زیست محیطی، حذف و جایگزینی پوشش گیاهی با ساختمان‌هاست که این امر، منجر به فروپاشی چرخه زیست محیطی شده و نقش به‌سزایی در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری خواهد داشت [۱۴، ۱۵]. مقدار زیاد آجر، بتن، آسفالت، سنگ و سایر سطوح مشابه در مناطق شهری، که معمولاً بازتاب کم و ظرفیت گرمایی بالایی دارند، دارای جذب تابش موج کوتاه خورشیدی بیشتری نسبت به سطوح با چگالی کم در مناطق روستایی و حومه‌ای در طول روز هستند. علاوه بر این‌ها، تغییرات مصنوعی سطح زمین ناشی از خیابان‌های باریک‌تر و ساختمان‌های بلندتر، جریان هوای سطحی را کاهش می‌دهد و پدیده‌ای به نام اثر دره شهری (Canyon Effect) را ایجاد می‌کند [۱۶، ۱۷].

جزایر حرارتی شهری به‌صورت فصلی، سالانه و چند دهه‌ای تغییر می‌کنند. اثر جزایر حرارتی شهری مشکلات خاصی را در تابستان نیز ایجاد می‌کند زیرا دمای بالای منطقه را افزایش می‌دهد، که منجر به افزایش مصرف انرژی برای خنک‌سازی، تشدید آلودگی هوا و بیماری یا حتی مرگ ناشی از فشار گرما می‌شود [۱۸]. پیش‌بینی قابل اطمینان دمای شهری برای توسعه سیاست‌های کاهش تغییرات آب و هوایی خاص شهر ضروری است؛ اما ماهیت متغیر جزایر حرارتی شهری در طول زمان، چنین مطالعاتی را پیچیده می‌کند [۱۹].

جزیره حرارتی شهری به‌طور کلی به دو صورت سنتی و سنسورهای حرارتی از راه دور ارزیابی می‌شود. با توسعه سنسورهای حرارتی از راه دور، فناوری تصویربرداری مبتنی بر ماهواره به‌طور گسترده برای شناسایی از راه دور جزایر حرارتی استفاده می‌شود زیرا می‌تواند یک روش مستقیم و سازگار برای تعیین توزیع مکانی- زمانی دمای سطح زمین (Land Surface Temperature (LST)) ارائه دهد [۲۰، ۲۱]. تصاویر حرارتی با وضوح بالا ماهواره‌ای، این مزیت را دارند که یک شبکه متراکم تکرارشونده از داده‌های دما را در کل منطقه شهری، و حتی دمای هر ساختمان فراهم کنند. این داده‌های حرارتی می‌توانند برای توصیف

طی نیم قرن اخیر، افزایش جمعیت و به سبب آن رشد شهرنشینی، زندگی انسان‌ها و پدیده‌های طبیعی کره زمین را تحت تأثیر قرار داده است [۱، ۲]. یکی از اثرات توسعه شهرنشینی، تغییرات کاربری اراضی کشاورزی، جنگلی و روستاهای حومه شهر به مناطق شهری، صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها است. از دیگر مشکلاتی که شهرنشینی ایجاد کرده است، می‌توان به کاهش پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی، تغییرات اساسی در فرآیندهای تابشی، ترمودینامیکی و خصوصیات فیزیکی زمین، آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد. این تغییرات بر روی دمای سطح زمین اثر گذاشته و موجب گرم شدن و نمود جزایر حرارتی شهری شده است [۳، ۴، ۵]. جزایر حرارتی شهری، پدیده‌ای ناشی از آثار توسعه شهرنشینی است که درجه حرارت منطقه شهری از محیط اطراف آن بالاتر است [۶]. از طرفی دیگر، رشد جمعیت در مناطق شهری منجر به استفاده از زمین‌های غیر قابل نفوذ بیشتر در فعالیت‌های ساختمانی شده و فرآیندهای تعادل انرژی و آب را تغییر داده و بر پویایی حرکت هوا تأثیر گذاشته‌اند [۷، ۸]. بنابراین توسعه و رشد شهری و افزایش جمعیت ناشی از آن، چنانچه بدون برنامه‌ریزی صورت گیرد، موجب از بین رفتن پوشش طبیعی زمین که خود به‌مثابه یکی از مهم‌ترین عوامل خنک‌کنندگی دمای سطح زمین است، و به‌دنبال آن سبب پیدایش جزایر حرارتی شهری می‌شود [۹]. جزیره حرارتی شهری زمانی ایجاد می‌شود که بخش بزرگی از پوشش طبیعی زمین در یک منطقه با سطوح ساختمانی جایگزین شود که تشعشعات خورشیدی ورودی را در طول روز به دام می‌اندازد، و سپس در شب، آن را بازتاب می‌کند [۱۰]. جزیره حرارتی با دمای هوای بالاتر در مناطق شهری، در مقایسه با مناطق روستایی اطراف مشخص می‌شود و شدت آن به ویژگی‌هایی همچون تراکم شهری، عوامل جغرافیایی و شرایط جوی غالب بستگی دارد [۱۱]. پدیده جزیره حرارتی یکی از مسائل مهم در شهرها، به‌خصوص در شهرهای گرمسیری استوایی و در برخی مطالعات، به‌عنوان یکی از واضح‌ترین نمونه‌های تغییر ناخواسته اقلیم، توصیف شده است [۱۲]. در این حوزه عواملی همچون آب و هوا، موقعیت جغرافیایی، زمان روز و فصل، شکل شهر و استفاده از موادی که به‌طور مؤثری گرما

بیشترین دما در کاربری‌های نواحی مسکونی و بایر رخ می‌دهد [۹]. کریمی زارچی و همکاران در سال ۱۳۹۸، استفاده از رابطه خطی بین دمای سطح زمین و شاخص‌های تفاضلی نرمال‌شده ساختمانی و تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی، را برای محاسبه شدت جزایر حرارتی از طریق تصاویر سنجنده‌های ETM+ و TIR/OLI ماهواره لندست پیشنهاد کردند [۲۷]. برای تخمین شدت جزیره حرارتی شهری، از شیب خط برازش داده شده به نمودار دمای سطح زمین بر حسب درصد پوشش زمینی شهری، استفاده کردند. هدف از این مطالعه، ارائه یک روش با دقت مناسب برای محاسبه شدت جزایر حرارتی شهری می‌باشد. نمودار دمای سطح زمین (Land Surface Temperature) برحسب شاخص پوشش شهری و نقشه درصد شهری، از یک تابع تقریباً خطی با یک حائل پیروی می‌کند. شیب نمودار برازش داده شده به این نمودارها، به‌عنوان شدت جزایر حرارتی شهری معرفی شده است. در نهایت، روش طبقه‌بندی ماشین‌بردارپشتیبان با دقت ۹۳٪ بهتر از روش حداکثر احتمال با دقت ۸۸٪ عملیات طبقه‌بندی را انجام داد [۲۷]. طاهری و همکاران سال ۲۰۱۹، در مطالعه‌ای برای شناسایی تأثیر ویژگی‌های سطح شهری بر دمای سطح زمین، به محاسبه پارامترهای مورفولوژی شهری مانند حجم ساختمان و ضریب دید آسمان (Sky View Factor) حاصل از داده‌های LIDAR، شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی و شاخص ساختمانی شاخص- مبنا (Index-based Built-up Index) با استفاده از مجموعه داده‌های لندست ۸ پرداختند [۲۸]. برای ارزیابی همبستگی و اهمیت آماری متغیرها بر روی دمای سطح زمین و مدل‌سازی دمای سطح زمین در شب، از رگرسیون کمترین مربعات جزئی (Partial Least Square) استفاده کردند. هدف این مطالعه، مدل‌سازی جزیره حرارتی شهری در شب با استفاده از پارامترهای مورفولوژیکی، داده‌های سنجش از دور و رگرسیون کمترین مربعات جزئی است. در این مطالعه برای تخمین دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه، از الگوریتم تک کاناله بر اساس باند ۱۰ استفاده شد. پارامترهای شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی، ضریب دید آسمان، شاخص ساختمانی شاخص- مبنا و حجم ساختمان به‌عنوان متغیر مستقل و دمای سطح زمین به‌عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته شد. نتایج، نشان داد که دمای سطح زمین رابطه مثبتی با حجم ساختمان و شاخص ساختمانی شاخص- مبنا دارد که هر دو پارمتر، نواحی ساختمانی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. بخش شهری دمای سطح زمینی بالاتری نسبت به بخش‌های حومه شهری دارند. همچنین، دمای سطح زمین با ضریب دید آسمان و شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی رابطه منفی داشت که نشان دهنده این است که هر جا ضریب دید آسمان بالا بود (محیط بدون مانع مناطق حومه‌ای)، دمای سطح زمین پایین بود. علاوه بر این، هر جا شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی بالا بود، دمای سطح زمین نیز پایین بود [۲۸]. ژائو و همکاران سال ۲۰۲۰، در مطالعه‌ای از آنالیزهای تجربی متنوعی برای کمی‌سازی پاسخ دمای سطح زمین به ترکیب/پیکربندی مناظر طبیعی استفاده کردند [۲۹]. هدف این تحقیق، ارزیابی

بزرگی و وسعت فضایی یک جزیره حرارتی شهری و کاربری/ پوشش زمینی مورد استفاده قرار گیرند [۲۲، ۲۳]. امروزه، تأثیر مورفولوژی شهری بر عملکرد انرژی ساختمان توجه بیشتری را به خود جلب کرده است زیرا مصرف انرژی ساختمان بیش از یک چهارم کل مصرف انرژی شهرها را تشکیل می‌دهد. با رشد سریع شهرنشینی، مورفولوژی بلوک‌های شهری از نوع تک و کم‌تراکم به نوع متنوع و پرتراکم تبدیل می‌شود که تأثیر زیادی بر شرایط تهویه سطح زمین، عملکرد تهویه و افزایش گرما در مقیاس منطقه‌ای دارد. بنابراین، اثر جزیره حرارتی شهری را افزایش داده و مصرف انرژی ساختمان را افزایش می‌دهد [۲۴، ۲۵، ۲۶]. مستوفی و حسنلو سال ۲۰۱۷، در مطالعه‌ای با هدف پایش جزایر حرارتی شهری به توسعه یک مدل تحلیلی غیرخطی و مبتنی بر کرنل پرداختند [۲۲]. آن‌ها از تصاویر لندست ۸ برای نظارت بر جزیره حرارتی سطحی (Surface Heat Island) و بازتابی دمای روشنایی و انواع کاربری/ پوشش زمین استفاده کردند. این مطالعه، از یک رویکرد کمی برای ارزیابی رابطه بین جزیره حرارتی سطحی و شاخص‌های گیاهی و غیر گیاهی مناسب، استفاده می‌کند. این پژوهش، بر مبنای سه سناریو پیاده‌سازی شده است، ترکیب مدل رگرسیون خطی (Linear Regression Model) با کل مجموعه ویژگی‌ها بدون انتخاب هیچ‌کدام از آن‌ها، ترکیب رگرسیون بردار پشتیبان (Support Vector Regression) با کل مجموعه ویژگی‌ها بدون انتخاب هیچ‌کدام از آن‌ها، و ترکیب ویژگی‌های انتخاب‌شده مناسب به‌صورت ژنتیکی در روش رگرسیون بردار پشتیبان. نتایج، نشان داد که سناریوی سوم، عملکرد قابل اعتمادتری با استفاده از معیار خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده (Normalized Root Mean Square Error) در مقایسه با سناریوهای دیگر دارد. همچنین، روش انتخاب ویژگی‌های ژنتیکی برای تخمین داده‌های جزیره حرارتی سطحی، نشان داد که بهتر است از شاخص‌های مؤثرتر و بهینه‌تر مانند شاخص تفاضلی نرمال‌شده ساختمانی (Normalized Difference Built-up Index)، شاخص تفاضلی نرمال شده زمین بایر (Normalized Difference Bareness Index)، شاخص خاک بایر (Bare soil Index)، سبزی و روشنایی استفاده شود [۲۲]. شعبانی و همکاران در سال ۱۳۹۸، برای پایش زمانی- مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی، از شاخص‌های تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index)، شاخص شدت جزیره حرارتی شهری (Urban Heat Island Intensity Index) و مقادیر دمای سطح زمین استفاده کردند [۹]. آن‌ها تأثیر تغییرات کاربری زمینی بر دمای سطح زمین را مورد بررسی قرار دادند. در زمینه پایش تغییرات کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه، روند کاهشی پوشش گیاهی و افزایشی کاربری‌های مسکونی و نواحی بایر را اثبات کردند. آن‌ها نشان دادند تغییرات کاهشی و افزایشی کاربری‌های استراحت‌شده، موجب افزایش دمای سطح زمین طی بازه مورد نظر شده است؛ به‌طوری که با بررسی بیشترین دمای مربوط به هر کاربری، مشخص شد که

به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری، امری ضروری است. مسیر جدیدی که در این مطالعه در نظر گرفته شده است، تغییر پوشش بام‌های یک منطقه با پوشش‌های تأثیرگذار دیگری است که باعث کاهش دمای هوا در آن ناحیه شود. این امر، به کمک دو الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات صورت خواهد گرفت و نتایج آن‌ها بررسی و سپس مقایسه خواهد شد. در این تحقیق، تأثیرات استفاده از دو نوع پوشش برای سقف شامل خاک و پوشش گیاهی، بر روی مقدار درجه حرارت سطح بررسی شده است. همچنین، استفاده از پوشش آب در روش اجرایی در نظر گرفته شده بود، به دلیل کمبود و هزینه بالایی که داشت، در ادامه روند اجرای الگوریتم‌ها حذف گردید و صرفاً برای دیدن نتایج اولیه و میزان تأثیرگذاری آن وارد این پروسه شد. لازم به ذکر است که رویکرد برنامه‌ریزی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی با امکان بررسی پوشش‌های متفاوت سقف‌ها و کمینه‌سازی پارامترهای آماری درجه حرارت منطقه، سهم کمی از تحقیقات را در مطالعات گذشته به خود اختصاص داده است و لذا ایجاب می‌کند تا مطالعات و به‌دنبال آن، اقدامات بیشتری در زمینه‌ی کاهش دما در نواحی شهری صورت گیرد.

منطقه و مجموعه داده مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه برای انجام این تحقیق، محله اندیشه شهر تهران و در محدوده مرکزی شهر، واقع در منطقه ۷ شهرداری است (شکل ۱). به دلیل موقعیت آن در مرکز شهر که محل عبور و مرور بسیاری از مردم در سطح شهر می‌باشد، دمای این منطقه نسبت به مناطق اطراف خود کمی بالاتر است و پدیده جزیره حرارتی شهری در این منطقه شکل می‌گیرد.

تصاویر استفاده‌شده برای این منظور، تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به تاریخ ۲۲ شهریور ۱۴۰۰ (۱۳ سپتامبر ۲۰۲۱) می‌باشد که از سایت USGS اخذ شده است. سپس تصحیحات هندسی و رادیومتریکی بر روی این داده‌ها اعمال گردید. مرحله برش‌دادن تصاویر برای رسیدن به تصاویر مربوط به محدوده تهران و منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار ENVI v4.5 انجام شد.

سهم حرارتی هر یک از انواع پوشش زمینی شهری، از منظر ترکیب و پیکربندی می‌باشد. در این تحقیق، از رگرسیون شبکه الاستیک منظم شده برای ارزیابی سهم حرارتی ۶ نوع پوشش زمینی شهری استفاده شد. رگرسیون شبکه الاستیک در مقایسه با رگرسیون کمترین مربعات معمولی (Ordinary Least Squares Regression) برای مدل‌سازی دمای سطح زمین، با محاسبه هم‌خطی کامل بین پوشش‌های زمینی متعدد، مناسب‌تر عمل کرد. در منطقه مورد مطالعه، ساختمان‌ها بیشترین سهم را در به‌وجود آوردن جزایر حرارتی دارند. اثر گرمایش ساختمان، بسیار بیشتر از سطح غیر قابل نفوذ بود. افزایش پهنه‌های آبی، بیشترین تأثیر را بر کاهش دمای سطح زمین محلی دارد. بعد از پهنه‌ها نیز، افزایش علفزارها و درختان شهری به ترتیب بیشترین تأثیر را برای این منظور دارند. در این مطالعه، خنک‌سازی تراکمی پوشش گیاهی تنها زمانی مؤثر است که پوشش گیاهی محلی کمتر از ۴۰٪ باشد. تراکم ساختمانی نیز تنها زمانی که پوشش ساختمانی بیش از ۱۵٪ باشد، در گرمایش محلی نقش دارد [۲۹]. نصیری و همکاران سال ۲۰۲۲، در مطالعه‌ای از داده‌های چندزمانی لندست ۷ برای تخمین جزایر حرارتی و شاخص بحران محیطی (Environmental Crisis Index) حاصل از دمای سطح زمین و شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی استفاده کردند [۳۰]. دلیل استفاده آن‌ها از داده‌های این سنسور، طول دوره تکرار و پیوستگی آن بود. نتایج، نمایانگر تشدید اثرات جزیره حرارتی سطوح شهری، به‌ویژه در دوره‌های شهرنشینی می‌باشد. همبستگی مثبت و معناداری بین دمای سطح زمین و مناطق شهری مشاهده شد. این نتایج، تأثیر زیاد شهرنشینی بر شکل‌گیری جزایر حرارتی سطوح شهری در منطقه مورد مطالعه را تأیید می‌کند [۳۰].

در مطالعات گذشته از روش‌های متعددی برای بررسی جزایر حرارتی شهری و کاهش آن در مناطق شهری استفاده شد؛ ولی در این تحقیقات به برنامه‌ریزی‌های اجرایی در محیط شهری مانند تغییر پوشش بام ساختمان‌ها و استفاده از مواد مختلف برای بررسی میزان تغییر در دمای آن ناحیه، توجه کافی نشده است. همچنین، استفاده از راهکارهای امروزی و مؤثر برای کاهش پدیده جزایر حرارتی شهری، همچون



شکل ۱: محله اندیشه تهران (محدوده مورد مطالعه)
Fig. 1: Andisheh neighborhood of Tehran (study area)

برای باندهای لندست ۸ جمع‌آوری شده و از آن، برای تغییر پوشش بام‌ها استفاده خواهد شد. هدف در این مطالعه، تغییر و جایگزینی پوشش بام‌های منطقه مورد مطالعه (محله اندیشه تهران) با دو پوشش (کتابخانه طیفی) ذکر شده است، به‌طوری که دو شرط زیر به‌صورت هم‌زمان اعمال شوند:

○ میزان انحراف معیار (STD) دمای کل منطقه کاهش یابد (کاهش دما)،

○ این امر به‌صورتی تحقق پذیرد که کم‌ترین هزینه مالی در نظر گرفته شود (کاهش هزینه).

هدف اصلی این تحقیق، کنترل جزایر حرارتی در منطقه مورد مطالعه با کمترین هزینه می‌باشد. از آن‌جا که پدید جزایر حرارتی مرتبط است با تفاوت دمای یک منطقه با محیط اطراف خود، لذا در این مقاله سعی شده است با کاهش انحراف معیار دمای منطقه، این اختلافات دمایی کاهش داده شود. همچنین از آنجا که پوشش‌های به کار برده شده اثر کاهشی در متوسط دمای منطقه دارند، لذا در نظر گیری تابع هزینه انحراف دما در الگوریتم‌ها، نقاط کانونی دما را جهت تغییر پوشش انتخاب می‌کند. از طرفی دیگر اگر تابع هزینه الگوریتم بر اساس کاهش متوسط دما منطقه باشد، تغییر پوشش هر ساختمان تقریباً به یک اندازه در این کاهش تاثیر داشته و الگوریتم‌ها همگرا نخواهد شد. همچنین برای کنترل و محدود کردن الگوریتم در انتخاب پوشش‌های گران‌تر مانند پوشش‌های گیاهی، معیار هزینه نیز در نظر گرفته شده است.

همچنین، از همان ابتدا ساختمان‌هایی برای ورود به الگوریتم انتخاب شدند که در نیمه بالای میانگین دما قرار داشتند و ساختمان‌های زیر دمای میانگین وارد الگوریتم نشدند؛ زیرا دلیلی برای تغییر پوشش این ساختمان‌ها وجود ندارد. این امر باعث شد تا الگوریتم در تصمیم‌گیری و عدم ایجاد خطا بهتر عمل کند.

به‌دلیل وجود تعداد زیادی ساختمان در این منطقه و عدم توانایی در تغییر کل پوشش بام ساختمان‌ها، باید تعداد (درصد) مشخصی از بام‌هایی که قرار است دستخوش تغییر شوند را، از قبل تعیین نمود. در چنین مقیاسی، انتخاب و تصمیم‌گیری در مورد استفاده از پوشش بام و قطعه ساختمانی، دارای فضای جستجوی بسیار گسترده‌ای است که حل آن با الگوریتم‌های ریاضی موجود در زمانی کوتاه سخت یا غیرممکن خواهد بود. در نتیجه، در این مطالعه سعی شده است که تا به‌کارگیری الگوریتم‌های هوشمند بهینه‌سازی، این امر را ممکن نمود. لذا از دو الگوریتم بهینه‌سازی مطرح در این زمینه، یعنی الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، طی سناریوهای مختلفی استفاده، و نتایج آن‌ها بررسی و مقایسه خواهد شد.

لازم به ذکر است که برای محاسبه هزینه مالی برای هر ملک، مساحت آن در قیمت نسبی پوشش مورد نظر ضرب گردید که این قیمت‌ها، با توجه به نرخ تقریبی در زمان نگارش و منطقه مورد مطالعه تعیین شد. قیمت‌های نسبی طبق جدول ۲ به‌دست آمد.

در این تحقیق، برای تجزیه و تحلیل جزیره حرارتی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده که مشخصات باندهای آن (وضوح طیفی، مکانی، زمانی و رادیومتریکی) در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱: مشخصات باندهای ماهواره لندست ۸

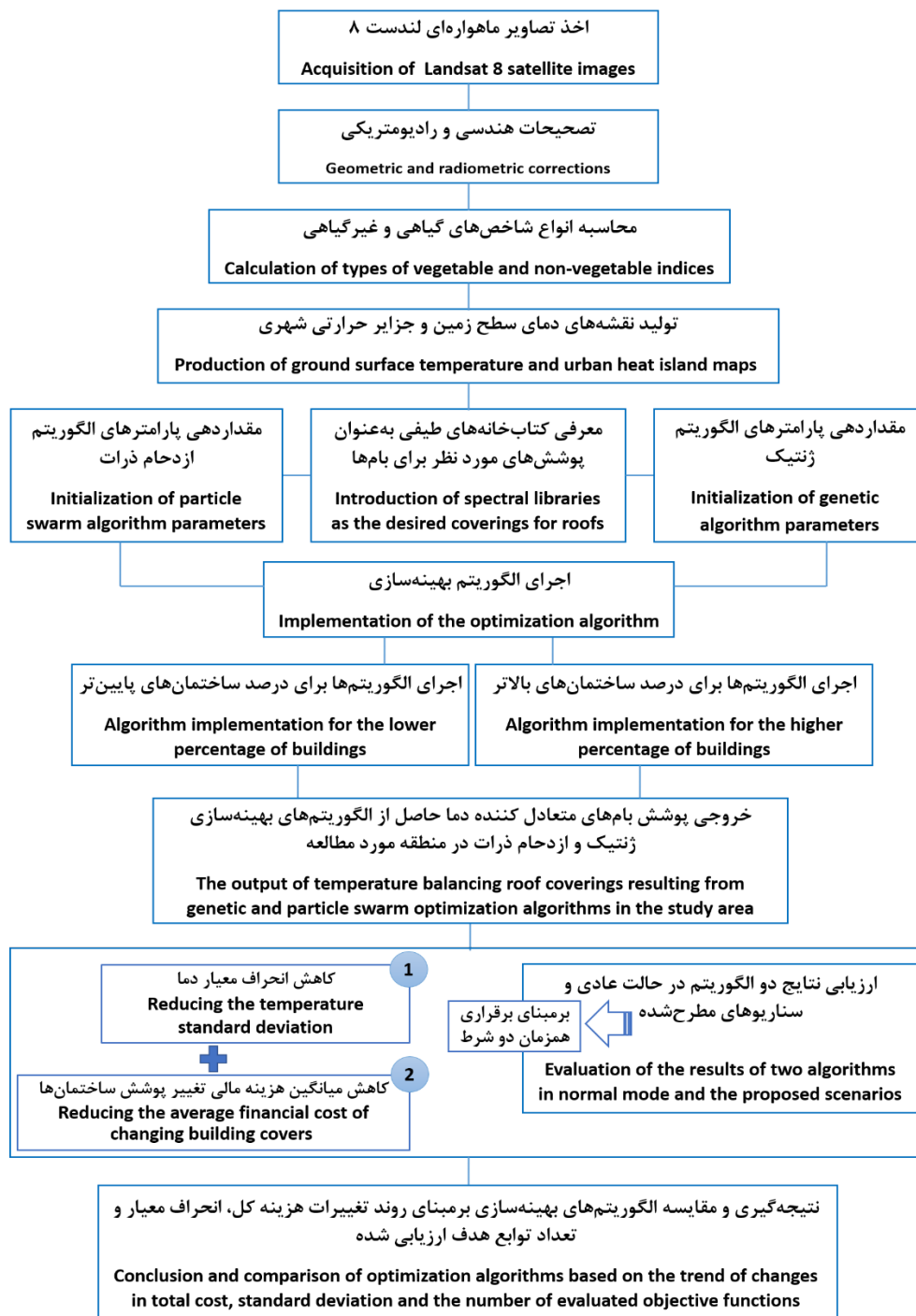
Table 1: Band specifications of Landsat 8

	Spectral Resolution (μm)	Spatial Resolution (m)	Temporal Resolution (days)	Radiometric Resolution (bits)
Coastal	0.43 – 0.45	30	16	12
Blue	0.45 – 0.51	30		
Green	0.53 – 0.59	30		
Red	0.63 – 0.67	30		
NIR	0.85 – 0.88	30		
SWIR-1	1.57 – 1.65	30		
SWIR-2	2.11 – 2.29	30		
Pan	0.50 – 0.68	15		
Cirrus	1.36 – 1.38	30		
TIR-1	10.60 – 11.19	100		
TIR-2	11.50 – 12.51	100		

روش تحقیق

در این پژوهش، به‌منظور تعدیل دمای منطقه مورد مطالعه، سعی شده است تا با جایگزینی پوشش بام ساختمان‌های این منطقه با پوشش‌های به اصطلاح خنک‌تر، این امر را تسهیل نمود. اکثر پوشش‌های حال حاضر این ساختمان‌ها، ایزوگام و موادی است که گرمای روز را در خود نگه می‌دارند و تا ساعت‌ها بعد این گرما را از خود ساطع می‌کنند. در این راستا، روندنمای شکل ۲ نمای کلی از آن‌چه قرار است در این تحقیق اجرا و پیاده‌سازی شود را نشان می‌دهد. به جزئیات بیشتری راجع به موارد و مراحل ذکر شده، پرداخته خواهد شد.

دو نوع پوشش برای بررسی جزیره حرارتی در این مطالعه در نظر گرفته شده است: خاک و پوشش گیاهی. پوشش خاک، دما را تا حد نسبتاً خوبی پایین می‌آورد ولی مزیت اصلی آن نسبت به پوشش‌های دیگر، صرفه‌جویی در زمینه مالی است. پوشش گیاه نیز، چندین سال است که در سطح دنیا، برای کاهش دمای منطقه و زیباسازی شهری بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد و آن را بیشتر با عنوان بام سبز (Green Roof) می‌شناسند. پوشش آب نیز از دیگر پوشش‌هایی است که بسیار در بحث خنک کردن هوا و همچنین استفاده از آن به‌عنوان استخر، و البته منظره زیبایی که در نمای ساختمان ایجاد می‌کند. مشکل قابل توجهی که هنگام استفاده از آب در تهران به‌عنوان پوشش بام به‌وجود می‌آید، مسئله کم‌آبی و هزینه نسبتاً بالای آن است. امضای طیفی هر دو پوشش



شکل ۲: روندنمای روش پیشنهادی تحقیق
Fig. 2: Flowchart of the proposed research method

در این پژوهش، از رایج‌ترین شاخص‌های گیاهی و غیرگیاهی استفاده شده است. این شاخص‌ها را می‌توان به دو نوع عمده تقسیم کرد: شاخص‌های شهری و شاخص‌های گیاهی. بیشتر شاخص‌های شهری و گیاهی همان‌طور که در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است، پارامترهای شهرنشینی و گیاهی مربوط به اختلاف طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک، موج کوتاه، حرارتی و مرئی تصاویر لندست ۸ را استخراج می‌کنند. تمامی شاخص‌ها بر اساس اعداد دیجیتالی با استفاده از مقادیر تابش/ بازتابش باندهای ماهواره محاسبه می‌شوند [۱۳].

جدول ۲: قیمت نسبی هر پوشش در منطقه مورد مطالعه

Table 2: The relative price of each cover in the study area

قیمت نسبی Relative price	نوع پوشش Cover type
1	خاک / Soil
3	گیاه / Vegetation

جدول ۳: شاخص‌های شهری مورد استفاده در این پژوهش

Table 3: Urban indices used in this research

فرمول Formula	نام شاخص Index name
$NDBaI = \frac{SWIR1 - TIRS1}{SWIR1 + TIRS1}$	شاخص تفاضلی نرمال‌شده زمین بایر (Normalized Difference Bareness Index)
$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}$	شاخص تفاضلی نرمال‌شده ساختمانی (Normalized Difference Build-up Index)
$BI = \frac{(SWIR1 + RED) - (NIR + BLUE)}{(SWIR1 + RED) + (NIR + BLUE)}$	شاخص خاک بایر (Bare Soil Index)
$UI = \frac{SWIR2 - NIR}{SWIR2 + NIR}$	شاخص شهری (Urban Index)
$IBI = \frac{2 \times SWIR1}{SWIR1 + NIR} - \left(\frac{NIR}{NIR + RED} - \frac{GREEN}{GREEN + SWIR1} \right)$ $+ \frac{2 \times SWIR1}{SWIR1 + NIR} + \left(\frac{NIR}{NIR + RED} - \frac{GREEN}{GREEN + SWIR1} \right)$	شاخص ساختمانی شاخص‌مبنا (Index-based Built-Up Index)
$EBBI = \frac{SWIR1 - NIR}{10 \sqrt{SWIR1 + TIRS1}}$	شاخص بهبودیافته ساختمانی و زمین بایر (Enhanced Built-Up and Bareness Index)
SWIR1 = Short-wave Infrared Imagery	تصاویر مادون قرمز موج کوتاه در باند ۶
SWIR2 = Short-wave Infrared Imagery	تصاویر مادون قرمز موج کوتاه در باند ۷
TIRS1 = Thermal Infrared Imagery	تصاویر مادون قرمز حرارتی در باند ۱۰
NIR = Near Infrared Imagery	تصاویر مادون قرمز نزدیک در باند ۵
RED = 'Red' Visible Band Imagery	تصاویر مرئی قرمز در باند ۴
GREEN = 'Green' Visible Band Imagery	تصاویر مرئی سبز در باند ۳
BLUE = 'Blue' Visible Band Imagery	تصاویر مرئی آبی در باند ۲

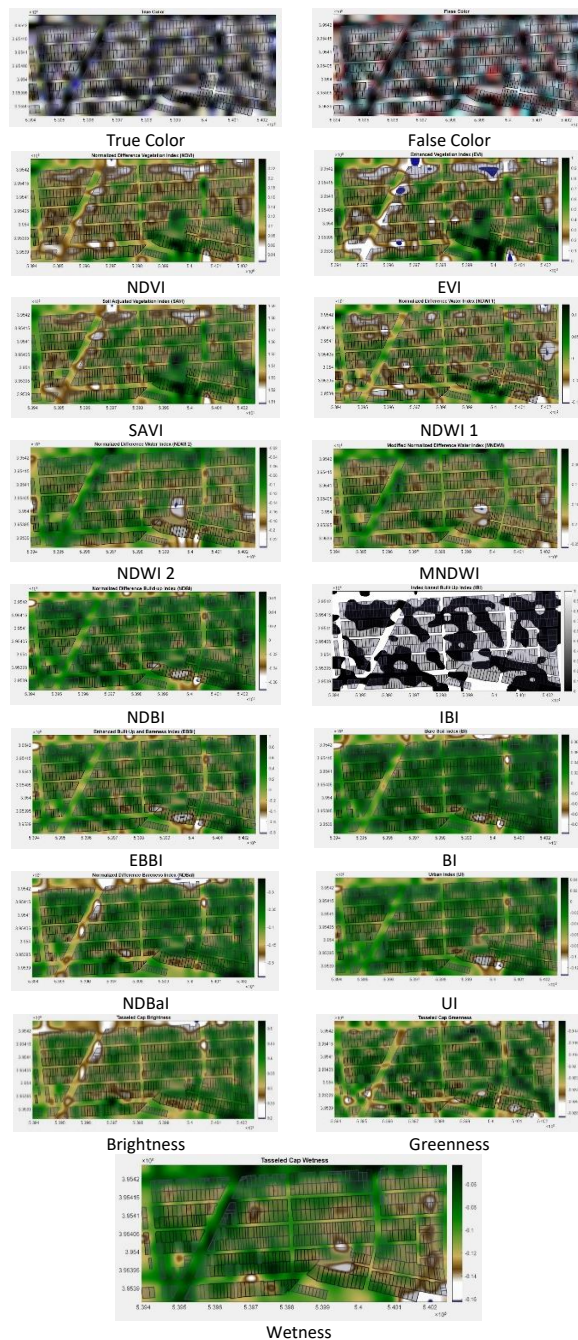
جدول ۴: شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در این پژوهش

Table 4: Vegetation indices used in this research

فرمول Formula	نام شاخص Index name
$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index)
$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 RED - C_2 BLUE + L}$ $L = 1, C_1 = 6, C_2 = 7.5, G = 2.5$	شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی (Enhanced Vegetation Index)
$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (L + 1) \quad L = 0.5$	شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی (Soil Adjusted Vegetation Index)
$NDWI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	شاخص تفاضلی نرمال‌شده آب (Normalized Difference Water Index)
$MNDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	شاخص تفاضلی نرمال‌شده و اصلاح‌شده آب (Modified Normalized Difference Water Index)
<i>Brightness, Greenness, Wetness</i>	تبدیل تسلدکپ (Tasseled Cap Transformation)

نتایج

در این مطالعه، برای پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی، از نرم‌افزار متلب (MATLAB 2020b) و محیط App Designer استفاده شده است. در این برنامه سعی شده تا با اخذ تصاویر و داده‌های مربوطه از کاربر، تصویر مربوط به منطقه مورد مطالعه در قسمت مرکزی به نمایش درآید. همچنین امکان رؤیت تصاویر مربوط به نقشه شاخص‌های گیاهی و غیرگیاهی وجود دارد. تصویری از محیط برنامه بعد از وارد کردن داده‌های ورودی و انتخاب گزینه محاسبه جزایر حرارتی شهری، در شکل ۳ قابل مشاهده است.



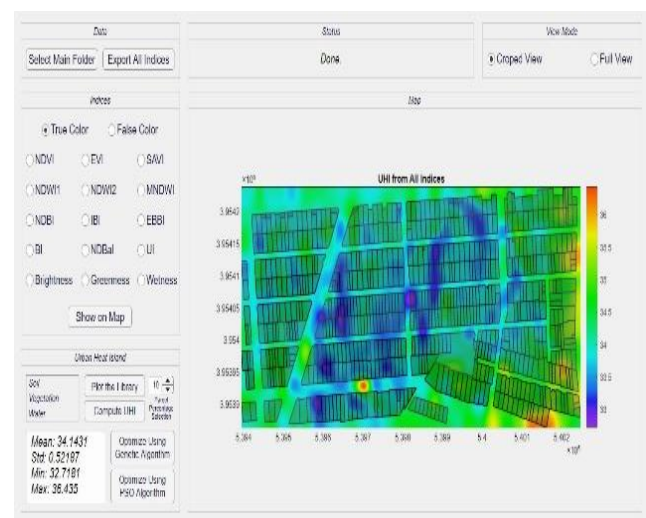
شکل ۴: نقشه‌های مربوط به تصاویر رنگی، شاخص‌های گیاهی، شاخص‌های غیرگیاهی و تبدیل تسلدکپ

Fig. 4: Mappings related to color images, vegetation indices, non-vegetation indices and Tasseled transformation

جدول ۵: مقادیر مربوط به پارامترها اولیه و عملگرهای الگوریتم ژنتیک

Table 5: Values related to initial parameters and genetic algorithm operators

مقادیر Values	پارامترها Parameters
100	دور تکرار Repeat round
100	اندازه جمعیت Population size
80	درصد ترکیب Crossover percentage
40	درصد جهش Mutation percentage



شکل ۳: رابط کاربری گرافیکی مربوط به محاسبه جزیره حرارتی شهری داده‌های ورودی (تصاویر ماهواره ای محله اندیشه تهران)

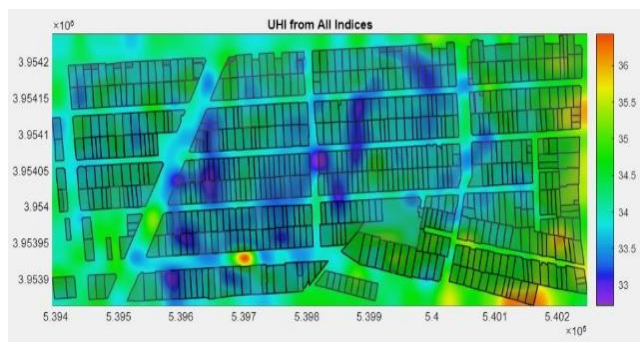
Fig. 3: Graphical user interface related to urban heat island calculation of input data (satellite images of Tehran's Andisheh neighborhood)

در محیط گرافیکی طراحی شده (شکل ۳) با انتخاب گزینه محاسبه جزیره حرارتی، می‌توان روابط مربوط به محاسبه دمای سطح زمین را با استفاده از هر یک از ۱۴ شاخص گیاهی و غیرگیاهی ذکر شده در بخش روش تحقیق محاسبه کرد و بواسطه روش رگرسیون خطی، نقشه جزایر حرارتی شهری را به نمایش درآورد. شکل ۴ تصاویر رنگی و نقشه شاخص‌های گیاهی و شهری منطقه مورد مطالعه، را نشان می‌دهد. این شاخص‌ها با استفاده از باندهای سنسور OLI لندست ۸ به‌دست آمده است.

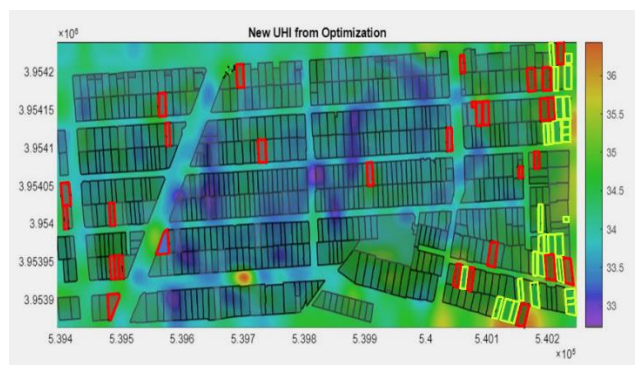
اجرای الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک

الگوریتم ژنتیک همچون بسیاری از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، نیازمند تنظیم دو بخش مهم "پارامترهای اولیه و تابع هزینه (Cost Function)" است. در بخشی از فرآیند بهینه‌سازی، پارامترهای اولیه الگوریتم، پارامترهای تعیین‌کننده مقدار و میزان تأثیرگذاری عملگرهای الگوریتم تنظیم می‌گردد که جزئیات آن در جدول ۵ ارائه شده است. در این پژوهش، سیستم مورد استفاده برای اجرای الگوریتم، یک سیستم با OS Windows 10، CPU Intel Core i5 و RAM 12G می‌باشد.

این که اکثر این ساختمان‌ها در همان نواحی با مقدار جزیره حرارتی شهری بالا قرار دارند، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد الگوریتم ژنتیک برای حل این مسئله، بسیار خوب بوده است. در این پروسه، الگوریتم ژنتیک، ۳۲ پوشش خاک (۴۸٪) و ۳۵ پوشش گیاه (۵۲٪) برای ۶۷ ساختمان انتخابی در نظر گرفت. نتایج آماری الگوریتم ژنتیک و تغییراتی که بعد از اعمال آن ایجاد شده در جدول ۶ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۵: تصویر جزایر حرارتی و توزیع گرما در منطقه مورد مطالعه
Fig. 5: Heat islands and heat distribution Image in the study area



شکل ۶: نتیجه بصری الگوریتم ژنتیک در تعیین پوشش‌های مناسب برای بام‌های منطقه
Fig. 6: The visual result of the genetic algorithm in determining the suitable coverings for the region roofs

جدول ۶: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ژنتیک بر روی پارامترهای مسئله
Table 6: Statistical results of the genetic algorithm implementation effect on the problem parameters

پارامترها Parameters	قبل از اجرای الگوریتم Before implementing the algorithm	بعد از اجرای الگوریتم After implementing the algorithm	میزان بهبود (کاهش) Rate of improvement (decrease)
هزینه کل Total cost	-	4678	-
هزینه مالی Financial cost	-	501	-
انحراف معیار دما Standard deviation of temperature	0.5147	0.4177	19%

روند کاهش هزینه در تابع هدف حاصل از الگوریتم ژنتیک در جدول ۶ به نمایش درآمده است. کاهش محسوس آن در طی صد دور تکرار، قابل

در بخش تابع هزینه، برای محاسبه انحراف معیار از همان مقدار جزیره حرارتی که از قبل محاسبه شده و در هر دور تکرار و با تغییر پوشش‌ها دوباره وارد پروسه محاسبه می‌شود، استفاده شد. برای محاسبه قیمت نیز هر یک از ساختمان‌ها در قیمت نسبی پوشش تعیین شده‌شان ضرب شدند و از قیمت کل ساختمان‌ها میانگین گرفته شد. سپس برای محاسبه هزینه خروجی از ترکیب وزن‌دار انحراف معیار و هزینه مالی و تبدیل این دو تابع به یک تابع نهایی استفاده شده است. رابطه ۱ نحوه این ترکیب خطی را نشان می‌دهد که وزن هزینه مالی ۱ و وزن تابع انحراف معیار β در نظر گرفته شده است.

$$Total\ Cost = Financial\ Cost + \beta \times STD \quad (1)$$

که در این رابطه، Total Cost هزینه کل، Financial Cost هزینه مالی، β ضریب ایجاد تعادل و STD میزان انحراف معیار دما می‌باشد. به کمک آزمون و خطا، دانش کارشناسان و همچنین نسبتی که دو پارامتر هزینه و انحراف معیار با یکدیگر داشتند، مقدار $\beta = 10.000$ انتخاب شد. این مقدار برای اجرای الگوریتم برای ۱۰ درصد کل ساختمان‌ها تعیین، و با ایجاد تعادل مناسبی بین هزینه مالی و انحراف معیار، به نتایج خوبی ختم شد. انتخاب ضریب β مناسب جهت ایجاد تعادل بین این دو پارامتر، امری کاملاً ضروری است؛ چرا که مقدار کم آن باعث شد ارزش انحراف معیار پایین بیاید و الگوریتم بهینه‌سازی کاهش هزینه کل را از طریق کاهش هزینه مالی جبران نماید. همچنین، مقدار زیاد آن باعث بالا رفتن ارزش انحراف معیار شد و در نتیجه، الگوریتم برای کاهش هزینه کل، متمایل به کاهش انحراف معیار شد. ولی تعیین یک مقدار β مناسب، باعث شد تا الگوریتم به صورت تقریباً هم‌زمان، هر دو پارامتر و در نتیجه هزینه کل را کاهش دهد.

برای عملگر انتخاب، از روش Tournament Selection استفاده شد. جهت استفاده از عملگرهای ترکیب و جهش، باید گفت که در این برنامه هر سه مدل ترکیب (تک‌نقطه‌ای، دونقطه‌ای و جامع) به صورت تصادفی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین در عملگر جهش نیز، مقدار μ که میزان تأثیرگذاری جهش بر روی ژن‌های یک کروموزوم می‌باشد، برابر ۰/۱ قرار داده شد. در ادامه این بخش، نتایج مربوط به پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله جزایر حرارتی نشان داده می‌شود. ولی قبل از آن، لازم است که تصویر جزیره حرارتی از منطقه مورد مطالعه به نمایش درآید تا توزیع گرما و ساختمان‌هایی که بیش‌ترین تأثیر را در بالا بردن دما در منطقه را دارند، مشخص شود. همان‌طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، در این منطقه مقادیر پایین جزایر حرارتی در میانه و مقادیر متوسط و بالای آن به ترتیب در سمت چپ و راست منطقه قرار دارد.

بعد از تنظیم میزان مقادیر تأثیرگذاری عملگرها و تعریف تابع هزینه، نتیجه مربوط به اجرای الگوریتم برای این مسئله در شکل ۶ ارائه شده است. در این شکل، بام‌هایی که باید پوشش آن‌ها به خاک تغییر کند، با نوار قرمز و بام‌هایی که باید پوشش آن‌ها به گیاه تغییر کند، با نوار سبز به نمایش درآمده‌اند. با توجه به ساختمان‌های انتخاب شده و نظر به

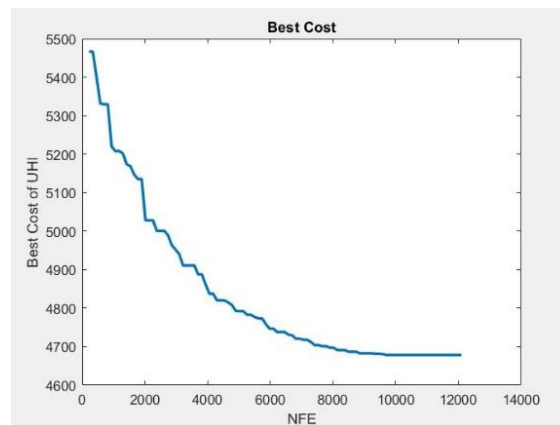
اجرای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم ازدحام ذرات نیز همانند الگوریتم ژنتیک از بخش اصلی و تابع هزینه تشکیل شده است. به دلیل این که صورت مسئله تغییر نکرده است، تابع هزینه ثابت می‌ماند. سه پارامتر اصلی W (وزن اینرسی) C_1 (ضریب یادگیری شخصی) C_2 (ضریب یادگیری اجتماعی) (Social Learning Factor) (Weight Factor)، تعیین‌کننده نحوه حرکات ذرات در این الگوریتم می‌باشند. لذا انتخاب درست آن‌ها در روند اجرا برنامه و خروجی بسیار تأثیرگذار خواهد بود. این امر، کاملاً به مسئله و تابع هزینه‌ای که الگوریتم بر روی آن اجرا می‌شود، بستگی دارد و تاکنون هیچ مقدار ثابتی برای این پارامترها پیدا نشده است. با این حال، روش‌های زیادی در این خصوص به کار گرفته شده است که این روش‌ها، باعث انتخاب هرچه بهتر و بهینه‌تر این پارامترها شده‌اند. در این مطالعه از روش‌هایی همچون بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهبودیافته (Enhanced Particle Swarm Optimization (EPSO)) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات حلقوی (Vortex Particle Swarm Optimization (VPSO)) استفاده شده است که با ایجاد جهش تصادفی در ذرات و تغییر ماکزیم سرعت آن‌ها، باعث می‌شود ذرات در بهینه‌های محلی گیر نکنند و الگوریتم به جواب‌های بهتری برسد. جدول ۷ مقادیر تعیین‌شده برای پارامترها و عملگرهای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات را نشان می‌دهند.

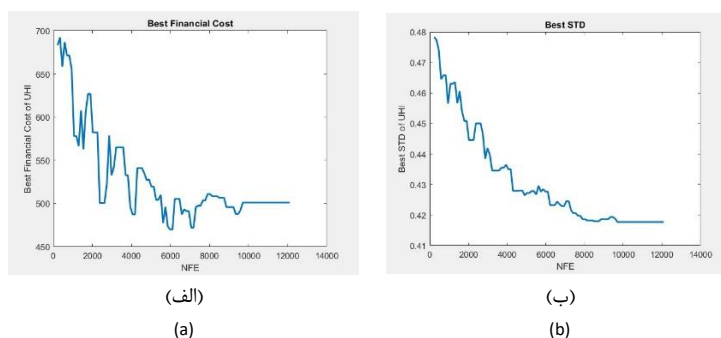
جدول ۷: مقادیر مربوط به پارامترها و عملگرهای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
Table 7: Values related to parameters and particle swarm optimization algorithm operators

مقادیر / Values	پارامترها / Parameters
100	دور تکرار / Repeat round
100	اندازه جمعیت / Population size
0.2 0.8 ←	وزن اینرسی (W) / Inertia weight
1 2 ←	ضریب یادگیری شخصی (C_1) / Personal learning factor
2 1 ←	ضریب یادگیری اجتماعی (C_2) / Social learning factor
0.1 0.1×e ←	حداکثر سرعت (V_{max}) / Maximum velocity

مشاهده است. البته از آنجایی که تعداد دور تکرار عامل تعیین‌کننده‌ای نمی‌تواند باشد، استفاده از آن در قسمت نتایج، مخصوصاً هنگام مقایسه الگوریتم‌های مختلف برای حل یک مسئله مشخص خیلی مناسب نیست. به عنوان مثال، اگر دو الگوریتم دارای تعداد دور یکسانی باشند ولی الگوریتم اول دارای جمعیت بیشتری نسبت به الگوریتم دوم باشد، می‌توان انتظار داشت که در شرایط عادی الگوریتم اول نتایج بهتری تولید کند ولی این تفاوت جمعیت ممکن است در قسمت نتایج نشان داده نشود. به همین خاطر، بهتر است از همان دیگری به نام تعداد توابع هدف ارزیابی‌شده (Number of Function Evaluation) در طول فرآیند بهینه‌سازی استفاده شود. تعداد توابع هدف ارزیابی‌شده برای الگوریتم ژنتیک برابر با اندازه جمعیت به علاوه اندازه کروموزوم‌های تولیدی مربوط به عملگرهای جهش و ترکیب در هر دور تکرار می‌باشد. یعنی در این برنامه، به اندازه کل جمعیت و همچنین جمعیت به وجود آمده از عملگرهای ترکیب و جهش در هر دور تکرار، اندازه تعداد توابع هدف ارزیابی‌شده در پایان برنامه و بعد از صد دور تکرار، به عدد ۱۲۱۰۰ رسید. نمودار تغییرات هزینه کل برحسب تعداد توابع هدف ارزیابی‌شده الگوریتم ژنتیک در شکل ۷ نشان داده شده است. همچنین نمودارهای مربوط به تغییرات هزینه مالی و انحراف معیار در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷: نمودار تغییرات هزینه کل الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک
Fig. 7: Diagram of total cost changes in genetic optimization algorithm



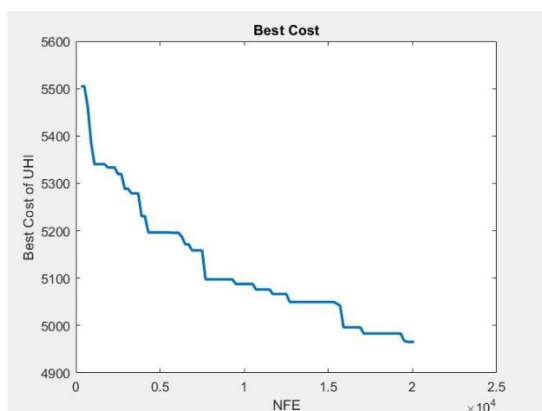
شکل ۸: نمودار تغییرات (الف) هزینه مالی و (ب) انحراف معیار حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک.

Fig. 8: Diagram of changes (a) financial cost and (b) standard deviation resulting from genetic optimization algorithm.

توابع هدف ارزیابی شده تأثیر می‌گذارد. در ابتدای برنامه برای ارزیابی ذرات، هر یک از آن‌ها وارد این تابع می‌شوند و در طول فرآیند تکرار نیز این عمل بارها تکرار می‌شود. در نتیجه، در این برنامه ۱۰۰ تا ذره در ابتدا ارزیابی شده، و در هر دور تکرار دوباره ۱۰۰ ذره وارد این مرحله می‌شوند. البته در این برنامه به دلیل استفاده از جهش برای بالابردن خاصیت اکتشاف ذرات، ۱۰۰ ذره جهش‌یافته نیز ارزیابی می‌شوند، لذا در پایان صد دور تکرار، تعداد توابع هدف ارزیابی شده بر مبنای الگوریتم ازدحام ذرات به مقدار ۲۰۱۰۰ رسید. نمودار مربوط به روند تغییرات هزینه کل در شکل ۱۰، و نمودارهای مربوط به هزینه مالی و انحراف معیار بر اساس تعداد توابع هدف ارزیابی شده در شکل ۱۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۸: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ازدحام ذرات بر روی پارامترهای مسئله
Table 8: Statistical results of the particle swarm algorithm implementation effect on the problem parameters

پارامترها Parameters	قبل از اجرای الگوریتم Before implementing the algorithm	بعد از اجرای الگوریتم After implementing the algorithm	میزان بهبود (کاهش) Rate of improvement (decrease)
هزینه کل Total cost	-	4965	-
هزینه مالی Financial cost	-	535	-
انحراف معیار دما Standard deviation of temperature	0.5147	0.4430	13.9%

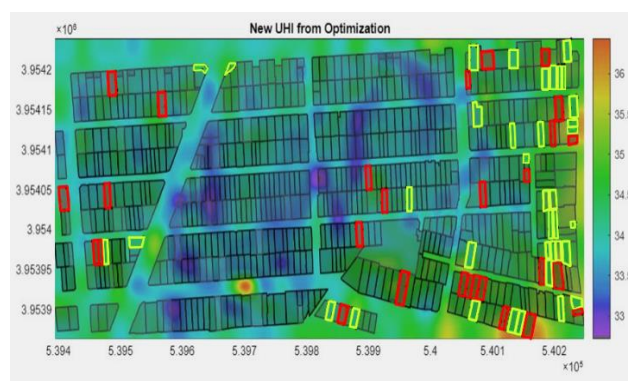


شکل ۱۰: نمودار تغییرات هزینه کل الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
Fig. 10: Diagram of total cost changes in particle swarm optimization algorithm

اجرای الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای درصدهای مختلف

در اجرای الگوریتم‌ها جهت بهینه‌سازی پوشش سقف ساختمان‌ها، برنامه بر روی ۱۰٪ از کل ساختمان‌ها اعمال می‌شد. در این بخش هدف بر آن است که تغییرات را برای درصدهای بالاتر و پایین‌تر ساختمان‌های منطقه بررسی کنیم. لذا تمام پارامترها و شرایط ثابت نگه داشته شده‌اند و تنها درصد انتخاب ساختمان‌ها تغییر می‌کنند.

تمام تغییرات نشان داده شده با فلش، شامل کاهش وزن اینرسی، کاهش ضریب یادگیری شخصی و کاهش حداکثر سرعت و در مقابل افزایش ضریب یادگیری اجتماعی، به معنای آن هستند که الگوریتم در ابتدا بیشتر تمرکز خود را بر روی اکتشاف (Exploration) خواهد گذاشت و اجازه می‌دهد ذرات آزادانه به جستجوی وسیع خود در محیط جواب‌ها ادامه دهند. همین‌طور که الگوریتم وارد تکرارهای بعدی می‌شود، پارامترهای ذکر شده با نرخ ثابتی شروع به تغییر می‌کنند تا ذرات از اکتشاف خود بکاهند و به استخراج (Exploitation) روی بیاورند. این امر باعث می‌شود تا در ابتدا اکثر جواب‌ها در نظر گرفته شوند و در انتها، ذرات به سمت هم‌گرا شدن روی آورند. بعد از انتخاب مقادیر تأثیرگذاری عملگرها و تعریف تابع هزینه، نتیجه مربوط به اجرای الگوریتم برای این مسئله در شکل ۹ ارائه شده است.

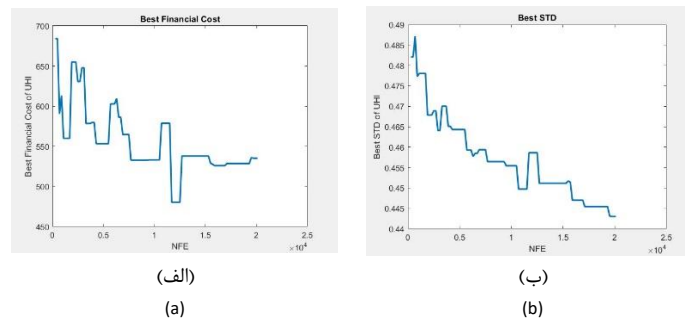


شکل ۹: نتیجه بصری الگوریتم ازدحام ذرات در تعیین پوشش‌های مناسب برای بام‌های منطقه

Fig. 9: The visual result of the particle swarm algorithm in determining the suitable coatings for the region roofs

در این شکل، بام‌هایی که باید پوشش آن‌ها به خاک تغییر کند، با نوار قرمز و بام‌هایی که باید پوشش آن‌ها به گیاه تغییر کند، با نوار سبز به نمایش درآمده‌اند. با توجه به ساختمان‌های انتخاب شده و نظر به این‌که اکثر این ساختمان‌ها در همان نواحی با مقادیر بالای جزیره حرارتی قرار دارند، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات برای حل این مسئله، خوب بوده است. در این فرآیند، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، ۳۱ پوشش خاک (۴۶٪) و ۳۶ پوشش گیاه (۵۴٪) برای ۶۷ قطعه ساختمان انتخابی در نظر گرفت. نتایج آماری الگوریتم و تغییراتی که در پارامترهای موردنظر ایجاد کرده است در جدول ۸ قابل مشاهده می‌باشد.

در این‌جا نیز در تجزیه و تحلیل نتایج به‌جای تعداد دور تکرار، از تعداد توابع هدف ارزیابی شده در طول فرآیند بهینه‌سازی استفاده شده است، منتها این مقدار برای هر الگوریتم متفاوت است. عملگرهای الگوریتم ازدحام ذرات، برخلاف عملگرهای ترکیب و جهش در الگوریتم ژنتیک، وارد تابع هزینه نمی‌شوند و در این‌جا تنها تعداد ذرات است که بر تعداد



شکل ۱۱: نمودار تغییرات (الف) هزینه‌ی مالی و (ب) انحراف معیار حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

Fig. 11: Diagram of changes (a) financial cost and (b) standard deviation resulting from particle swarm optimization algorithm

هزینه مالی، کمی تمایل بیشتری به انحراف معیار از خود نشان دهند؛ ولیکن مقدار این وزن باید طوری کنترل می‌شد که الگوریتم کلاً از کاهش هزینه مالی صرف‌نظر نکند.

جدول ۹: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ژنتیک بر روی پارامترهای مسئله برای ۱۵٪ بام‌های منطقه

میزان بهبود (کاهش)	بعد از اجرای الگوریتم	قبل از اجرای الگوریتم	پارامترها
Rate of improvement (decrease)	After implementing the algorithm	Before implementing the algorithm	Parameters
-	4646	-	هزینه کل Total cost
-	573	-	هزینه مالی Financial cost
20.9%	0.4073	0.5147	انحراف معیار دما Standard deviation of temperature

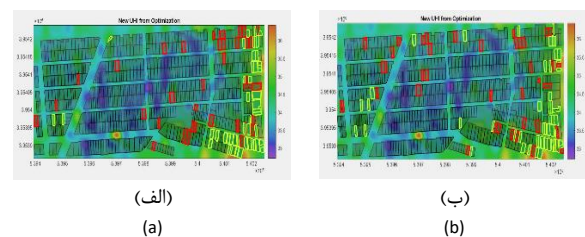
جدول ۱۰: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ازدحام ذرات بر روی پارامترهای مسئله برای ۱۵٪ بام‌های منطقه

میزان بهبود (کاهش)	بعد از اجرای الگوریتم	قبل از اجرای الگوریتم	پارامترها
Rate of improvement (decrease)	After implementing the algorithm	Before implementing the algorithm	Parameters
-	4703	-	هزینه کل Total cost
-	564	-	هزینه مالی Financial cost
19.6%	0.4139	0.5147	انحراف معیار دما Standard deviation of temperature

با افزایش تعداد ساختمان‌های انتخابی برای تغییر پوشش سقف‌ها، این تمایل به انحراف معیار، کمی بیشتر خودش را نشان داده است. مطابق شکل ۱۲- (الف)، الگوریتم ژنتیک در انتخاب پوشش گیاهی به‌عنوان پوشش بهینه بام‌ها نسبت به حالتی که برنامه روی ۱۰٪ ساختمان‌ها تنظیم بود، ۲٪ بیشتر انتخاب کرده است و همین امر، باعث شده تا

عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات برای درصدهای بالاتر ساختمان‌ها

در این بخش، بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات بر روی ۱۵٪ از کل سقف ساختمان‌ها اعمال می‌شود. نتیجه حاصل از جزیره حرارتی دو الگوریتم در شکل ۱۲ قابل مشاهده است.



شکل ۱۲: نتایج جزیره حرارتی الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات جهت تعیین پوشش‌های مناسب برای ۱۵٪ بام‌های منطقه

Fig. 12: Heat island results of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms to determine suitable coatings for 15% the region roofs

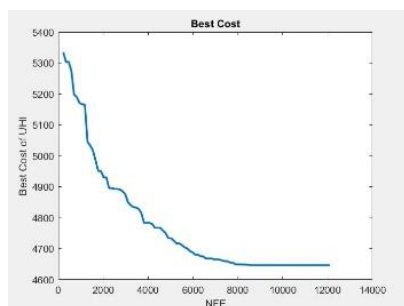
در این فرآیند، الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک؛ ۴۶ پوشش خاک (۴۶٪) و ۵۵ پوشش گیاه (۵۴٪) برای ۱۰۱ قطعه ساختمانی پیش‌بینی کرد در حالی که الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات؛ ۴۳ پوشش خاک (۴۳٪) و ۵۸ پوشش گیاه (۵۷٪) برای ۱۰۱ قطعه ساختمانی پیش‌بینی کرد. نتایج آماری و تغییراتی که در پارامترهای مورد نظر توسط الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات ایجاد شده‌اند، به‌ترتیب در جداول ۹ و ۱۰ قابل مشاهده می‌باشد.

براساس نتایج به‌دست آمده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات برای تعیین بهینه پوشش ۱۵ درصد از بام‌های منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت معیار β که در محاسبه هزینه کل به‌عنوان یک ضریب برای انحراف معیار و همچنین ایجاد تعادل بین هزینه مالی و انحراف معیار است، وزن هزینه کل را در هر دو الگوریتم بهینه‌سازی به‌سمت انحراف معیار سوق داده است. دلیل این امر را می‌توان هدف کلی مطالعه از انجام این پروژه، یعنی کاهش انحراف معیار دما در منطقه دانست و بحث کاهش هزینه مالی به نوعی هدف ثانویه در این مطالعه بود، لذا اختصاص دادن وزن نسبتاً بالاتری به انحراف معیار، باعث شد تا الگوریتم‌ها در انتخاب‌های تقریباً مساوی بین دو پارامتر انحراف معیار و

این، در حالی است که هزینه کل به خاطر بهبود بالای انحراف معیار، نتیجه خوبی داشته است.

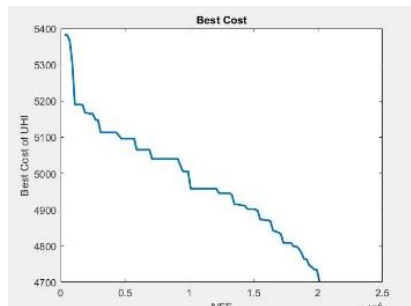
نمودار مربوط به روند تغییرات هزینه کل الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات در شکل ۱۳ به نمایش درآمده است. همچنین در شکل ۱۴ نمودارهای مربوط به هزینه مالی و انحراف معیار دو الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات بر اساس تعداد توابع هدف ارزیابی شده در طول فرآیند بهینه‌سازی نشان داده شده‌اند.

میزان بهبود انحراف معیار خیلی بیشتر از بهبود هزینه مالی گردد. البته این موضوع یکی از دلایل بالا رفتن هزینه مالی نسبت به حالت قبل است. دلیل دیگر آن، این است که تعداد ساختمان‌هایی که باید انتخاب شوند بیشتر شده، و در نتیجه ساختمان‌هایی که با مساحت کم می‌توانستند تغییر خوبی در بهبود انحراف معیار ایجاد کنند، درگیر شده‌اند و الگوریتم باید به‌ناچار سراغ ساختمان‌هایی با مساحت‌های بزرگ‌تر برود. این امر باعث شد تا میانگین هزینه مالی نتواند کاهش محسوسی داشته باشد.



(الف)

(a)

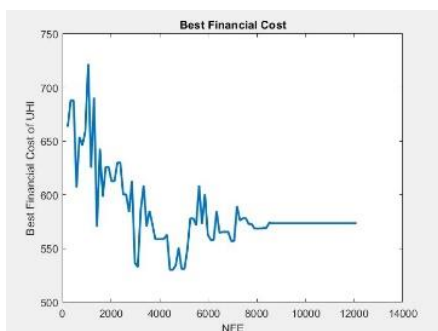


(ب)

(b)

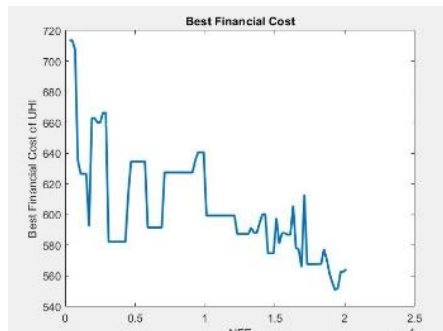
شکل ۱۳: نمودار تغییرات هزینه کل الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات برای ۱۵٪ بام‌های منطقه

Fig. 13: Total cost changes diagram of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms for 15% of the region roofs



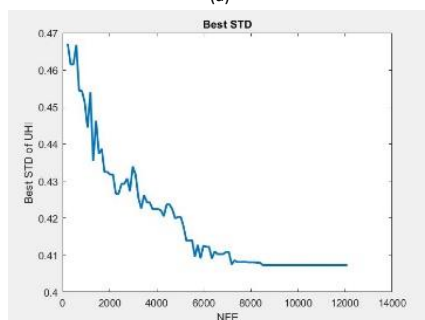
(الف)

(a)



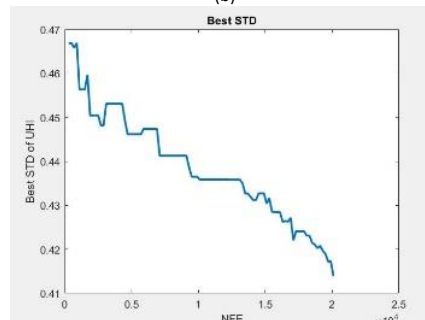
(ب)

(b)



(ج)

(c)



(د)

(d)

شکل ۱۴: نمودار تغییرات هزینه مالی الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات برای ۱۵٪ بام‌های منطقه. نمودار انحراف

معیار الگوریتم‌های (ج) ژنتیک و (د) ازدحام ذرات برای ۱۵٪ بام‌های منطقه

Fig. 14: Financial cost changes diagram of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms for 15% of the region roofs.

Standard deviation diagram of (c) genetic and (d) particle swarm algorithms for 15% of the region roofs

حالت ۵٪ کاملاً برعکس شد که در اشکال و جداول نیز قابل مشاهده می‌باشد. اتفاقی که رخ داده، این است که الگوریتم با توجه به تعداد ساختمان‌های که در اختیار داشته، به این نتیجه رسیده است که با تمرکز بر کاهش انحراف معیار، نمی‌تواند مقدار هزینه کل را بهبود ببخشد و بهتر است تا بیشتر ساختمان‌ها را بر اساس کاهش هزینه تعیین نماید. این امر باعث شده تا بر خلاف انحراف معیار، هزینه مالی بهبود زیادی داشته باشد.

جدول ۱۲: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ازدحام ذرات بر روی پارامترهای مسئله برای ۵٪ بام‌های منطقه

Table 12: Statistical results of the particle swarm algorithm implementation effect on the problem parameters for 5% of the region roofs

پارامترها Parameters	قبل از اجرای الگوریتم Before implementing the algorithm	بعد از اجرای الگوریتم After implementing the algorithm	میزان بهبود (کاهش) Rate of improvement (decrease)
هزینه کل Total cost	-	5167	-
هزینه مالی Financial cost	-	372	-
انحراف معیار Standard deviation of temperature	0.5147	0.4795	6.8%

نمودار مربوط به روند تغییرات هزینه کل الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات در شکل ۱۶ به نمایش درآمده است. همچنین نمودارهای مربوط به هزینه مالی و انحراف معیار دو الگوریتم بهینه‌سازی بر اساس تعداد توابع هدف ارزیابی شده در طول فرآیند بهینه‌سازی در شکل ۱۷ نشان داده شده‌اند.

عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات برای درصدهای پایین‌تر ساختمان‌ها

در این بخش، بهینه‌سازی پوشش بام‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات بر روی ۵٪ از کل ساختمان‌ها اعمال می‌شود. نتیجه حاصل از جزیره حرارتی دو الگوریتم بهینه‌سازی در شکل ۱۵ قابل مشاهده است.

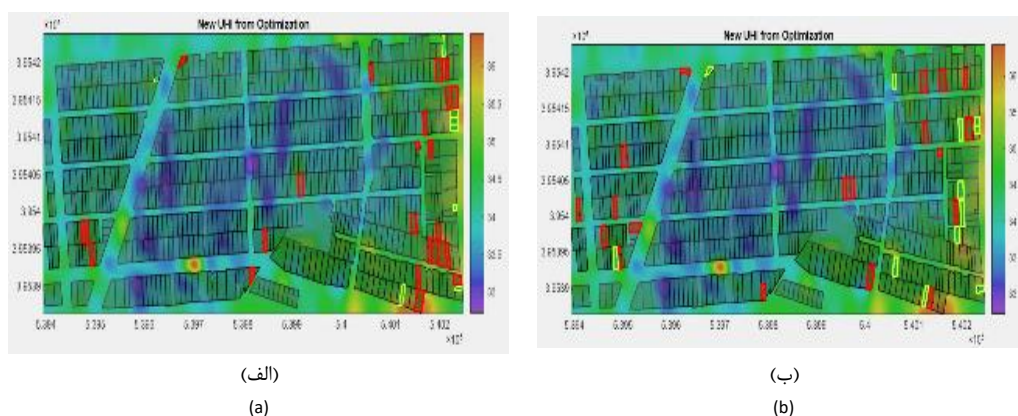
در این فرآیند، الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک؛ ۲۶ پوشش خاک (۷۶٪) و ۸ پوشش گیاه (۲۴٪) برای ۳۴ ساختمان انتخابی، و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات؛ ۲۱ پوشش خاک (۶۲٪) و ۱۳ پوشش گیاه (۳۸٪) برای ۳۴ ساختمان انتخابی پیش‌بینی کرد. نتایج آماری و تغییراتی که در پارامترهای مورد نظر توسط الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات ایجاد شده‌اند، به‌ترتیب در جداول ۱۱ و ۱۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱۱: نتایج آماری تأثیر اجرای الگوریتم ژنتیک بر روی پارامترهای مسئله برای ۵٪ بام‌های منطقه

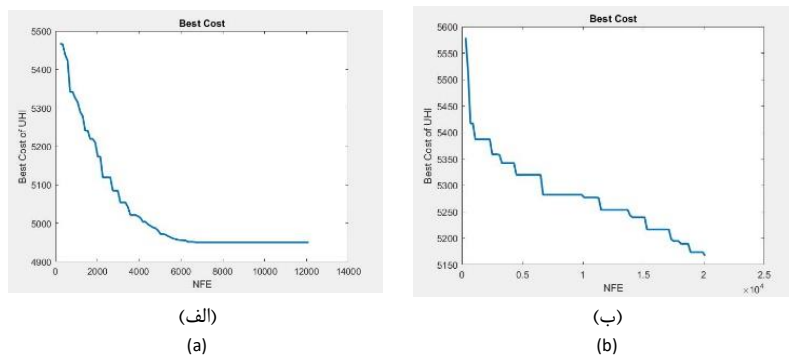
Table 11: Statistical results of the genetic algorithm implementation effect on the problem parameters for 5% of the region roofs

پارامترها Parameters	قبل از اجرای الگوریتم Before implementing the algorithm	بعد از اجرای الگوریتم After implementing the algorithm	میزان بهبود (کاهش) Rate of improvement (decrease)
هزینه کل Total cost	-	4950	-
هزینه مالی Financial cost	-	269	-
انحراف معیار Standard deviation of temperature	0.5147	0.4682	9%

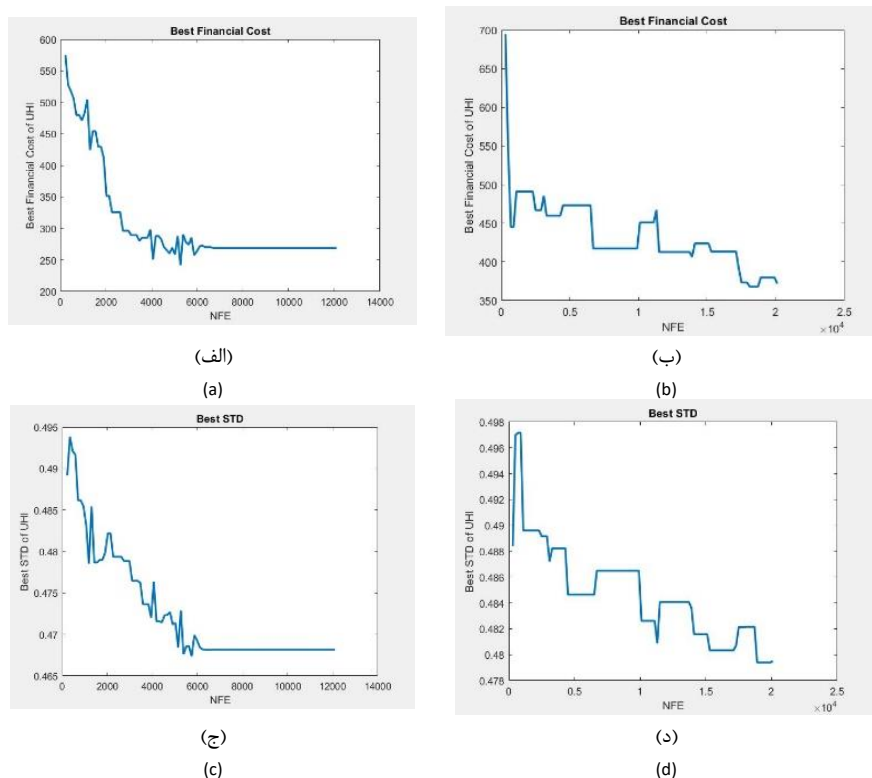
همان‌طور که در حالت ۱۵٪ از بام‌ها و با افزایش تعداد ساختمان‌ها الگوریتم‌ها به سمت پوشش گیاهی متمایل شدند، این موضوع در مورد



شکل ۱۵: نتایج جزیره حرارتی الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات جهت تعیین پوشش‌های مناسب برای ۵٪ بام‌های منطقه
Fig. 15: Heat island results of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms to determine suitable coatings for 5% of the region roofs



شکل ۱۶: نمودار تغییرات هزینه کل الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات برای ۵٪ بام‌های منطقه
Fig. 16: Total cost changes diagram of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms for 5% of the region roofs



شکل ۱۷: نمودار تغییرات هزینه مالی الگوریتم‌های (الف) ژنتیک و (ب) ازدحام ذرات برای ۵٪ بام‌های منطقه. نمودار انحراف معیار الگوریتم‌های (ج) ژنتیک و (د) ازدحام ذرات برای ۵٪ بام‌های منطقه
Fig. 17: Financial cost changes diagram of (a) genetic and (b) particle swarm algorithms for 5% of the region roofs. Standard deviation diagram of (c) genetics and (d) particle swarm algorithms for 5% of the region roofs

بحث و نتیجه‌گیری

خنک‌سازی دمای منطقه شهری مورد مطالعه، روش جایگزینی پوشش بام‌های منطقه با دو پوشش خاک و گیاه اتخاذ گردید. مجموعه داده پژوهش، تصاویر ماهواره لندست ۸ از منطقه اندیشه شهر تهران بود، که از آن برای اهدافی همچون تهیه تصاویر رنگی (True/False Color)، استخراج شاخص‌های غیرگیاهی (UI، NDBal، BI، EBBI، IBI، NDBI)، استخراج شاخص‌های گیاهی (SAVI، EVI، NDVI، NDWI 1، NDWI 2 و MNDWI) و تبدیل تسلدکپ (Greenness، Brightness و Wetness) استفاده شد. تولید نقشه دمای سطح زمین (LST) و جزایر حرارتی شهری (UHI) با استفاده از شاخص‌های گیاهی و غیرگیاهی و همچنین روش رگرسیون خطی، امکان‌پذیر شد.

در زمینه تأثیر جزایر حرارتی در محیط شهری می‌توان بیان کرد که استفاده از راه‌کارهای امروزی و مؤثر برای کاهش این پدیده امری ضروری است. هدف از این پژوهش، خنک‌سازی فضای شهری با استفاده از علم سنجش از دور و الگوریتم‌های فراابتکاری بهینه‌سازی بود. این امر با استفاده از جایگزینی و تغییر پوشش بام‌های منطقه مورد مطالعه، و همچنین با کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و ازدحام ذرات انجام پذیرفت. پارامترهای تابع هدف این دو الگوریتم ترکیبی از دو پارامتر مهم، یعنی انحراف معیار دما و هزینه مالی (میانگین هزینه هر قطعه ساختمانی) حاصل از تغییر پوشش استفاده گردید. برای تعدیل و

این مدل‌سازی می‌توان در محیط‌های شهری دارای تراکم بالا، آثار پدیده جزایر حرارتی را کاهش داد. همچنین برخی دیگر از محققان گزارش دادند که کاهش اثر این پدیده در شعاع ۱۰۰ الی ۱۵۰ متر از ساختمان‌ها با پوشش گیاهی سبز محسوس‌تر می‌باشد که با توجه به نقشه‌های ارائه شده و مقیاس آن‌ها، این تأثیر مشخص است [۲۰].

در پایان می‌توان نتیجه گرفت که در حل مسائل بهینه‌سازی که امروزه به دفعات با آن‌ها برخورد می‌شود، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری همچون الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات، می‌تواند بسیار کاربردی باشند. نتیجه این الگوریتم‌ها با وجود اختلافاتی که در خروجی‌هایشان دیده می‌شود، بسیار خوب بوده و رسیدن به چنین جواب‌هایی بدون استفاده از این گونه الگوریتم‌ها، غیرممکن خواهد بود.

به عنوان کارهای آتی، پیشنهاداتی مطرح می‌شوند به‌طور مثال استفاده از پوشش‌های دیگر مانند آب. در واقع، با ایجاد استخر در بام ساختمان‌ها می‌توان تأثیر بسزایی روی جزایر حرارتی شهری داشت. همچنین مقدار دقیق تأثیر هر یک از پوشش‌ها روی جزایر حرارتی را می‌توان با مدل‌های یادگیری دیگری همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی بررسی و برآورد نمود. البته می‌توان به منظور دستیابی به نتایج بهتر، از تصاویر سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالاتری استفاده نمود.

مشارکت نویسندگان

سهام مشارکت نویسندگان در این مقاله به نسبت برابر بوده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی افرادی که در جمع‌آوری داده و تحلیل اطلاعات یاری رساندند، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

- [1] Huang B, Ni GH, Grimmond CS. Impacts of urban expansion on relatively smaller surrounding cities during heat waves. *Atmosphere*. 2019 Jul 1;10(7):364. <https://doi.org/10.3390/atmos10070364>
- [2] Ren Y, Laforteza R, Giannico V, Sanesi G, Zhang X, Xu C. The unrelenting global expansion of the urban heat island over the last century. *Science of The Total Environment*. 2023 Jul 1; 880:163276. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163276>
- [3] Mostofi N, Motieyan H. Determining the Optimal Roof Covering of Buildings in Order to Control Urban Heat Islands Using Genetic Algorithm and Spatial Analysis. *Journal of Environmental Studies*. 2022 Jul 21;46(4):645-62. [In Persian] DOI: 10.22059/jes.2021.323922.1008177

الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی پوشش سقف ساختمان‌ها، نتایج بسیار خوبی را به همراه داشت (هزینه کل ۴۶۷۸ و انحراف معیار ۰/۴۱۷۷ در تعداد ۱۲۱۰۰ ارزیابی تابع هدف) و توانست هر دو پارامتر تابع هزینه را تا مقدار زیادی کاهش دهد (الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک تا حد ممکن به بهترین جواب رسید). الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نیز با کسب هزینه کل ۴۹۶۵ و انحراف معیار ۰/۴۴۳۰ در تعداد ۲۰۱۰۰ ارزیابی تابع هدف نتوانست جوابی به‌خوبی الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک پیدا کند. در خصوص مقایسه بین این دو الگوریتم، ژنتیک به جواب بهینه‌تر در تعداد پایین‌تری از ارزیابی تابع هدف رسید؛ این در حالی است که کم‌تر از ۳۰۰۰ بار ارزیابی تابع هدف طول کشید تا ژنتیک بهینه‌ترین جوابی که ازدحام ذرات در ۲۰۱۰۰ بار ارزیابی به آن رسیده بود، تجربه کند. این امر خاصیت هم‌گرایی سریع‌تر و بهتر ژنتیک را در این مسئله نشان داد. عملکرد ضعیف‌تر ازدحام ذرات دو دلیل می‌تواند داشته باشد: یکی این که شرایط و جواب‌های مسئله به‌گونه‌ای بوده که این الگوریتم سخت‌تر توانسته به جواب بهینه برسد، و دومی این که پیچ‌های تنظیم الگوریتم (C_1 , C_2 , W) بهترین مقادیری که باید دارا می‌بودند را نداشتند.

در بخشی از تحقیق به‌منظور ایجاد چالش جدید، الگوریتم‌ها را با حفظ تمامی شرایط و پارامترهای پیشین، با درصد انتخاب‌های پوشش بام مختلف اجرا کردیم. برای درصد بالاتر، به‌دلیل این که تابع هزینه طوری طراحی شده بود که تمایل بیشتری به کاهش انحراف معیار (نسبت به کاهش هزینه مالی) داشته باشد، این تأثیر کمی بیشتر خود را نشان داد و باعث شد که الگوریتم‌ها، پوشش‌های گیاهی بیشتری را برای منطقه انتخاب کنند. این امر همچنین سبب کاهش کم‌تر هزینه مالی گردید. البته دلیل دیگر آن، این است که هرچه تعداد ساختمان‌های انتخابی بیشتر شود، پیدا کردن ساختمانی که هم‌زمان مساحت کوچکی داشته باشد و در عین حال تأثیر خوبی بر انحراف معیار داشته باشد، سخت‌تر می‌شود. برای درصد پایین‌تر انتخاب پوشش بام‌ها، تأثیر تابع هزینه برعکس شد و الگوریتم‌ها بیشتر تمایل به کاهش هزینه مالی شدند. در این حالت الگوریتم‌های بهینه‌سازی توانستند با کاهش بیشتر هزینه مالی، هزینه کل را بیشتر بهبود ببخشند. لذا بیشتر تمرکز خود را روی همین زمینه گذاشتند؛ ولی از کاهش انحراف معیار به‌طور کل چشم‌پوشی نکردند. با این حال، تأثیر تمایل تابع هزینه به کاهش انحراف معیار، بسیار کم بود و الگوریتم‌های بهینه‌سازی عملکردی مشابه با همان حالت عادی مسئله از خود نشان دادند و جواب‌هایی که در این دو چالش ایجاد کردند، هنوز هم قابل قبول بود. با بررسی نتایج حاصل از این تحقیق، مشخص می‌گردد که نتایج حاصل، با نتایج مطالعات قبلی مرتبط در راستای کاهش جزایر حرارت سطح با استفاده از بام سبز مطابقت دارد. برخی از محققان گزارش نموده‌اند که وجود بام‌های سبز درجه حرارت محیط را به‌طور متوسط در محدوده ۰/۳ تا ۳ درجه در مقیاس شهر کاهش می‌دهد [۱۳، ۳۱]. که نتایج حاصل حاصل از مدل ارائه شده، درجه حرارت سطح منطقه مورد مطالعه را با استفاده از پوشش بام سبز حدود ۱ درجه سانتیگراد کاهش داد. بنابراین به کمک

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101052>

[14] Ahmadi M, Dadashi A. *The Identification of Urban Thermal Islands based on an Environmental Approach, Case Study: Isfahan Province. Geography and Environmental Planning*. 2017 Nov 22;28(3):1-20. [In Persian]
doi: 10.22108/gep.2017.98318.0

[15] Kolokotsa D, Lilli K, Gobakis K, Mavrigiannaki A, Haddad S, Garshasbi S, Mohajer HR, Paolini R, Vasilakopoulou K, Bartesaghi C, Prasad D. Analyzing the impact of urban planning and building typologies in urban heat island mitigation. *Buildings*. 2022 Apr 23;12(5):537.
<https://doi.org/10.3390/buildings12050537>

[16] Rahman MN, Rony MR, Jannat FA, Chandra Pal S, Islam MS, Alam E, Islam AR. Impact of urbanization on urban heat island intensity in major districts of Bangladesh using remote sensing and geo-spatial tools. *Climate*. 2022 Jan 4;10(1):3.
<https://doi.org/10.3390/cli10010003>

[17] Moazzam MF, Doh YH, Lee BG. Impact of urbanization on land surface temperature and surface urban heat Island using optical remote sensing data: A case study of Jeju Island, Republic of Korea. *Building and Environment*. 2022 Aug 15; 222:109368. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109368>

[18] Piracha A, Chaudhary MT. Urban air pollution, urban heat island and human health: a review of the literature. *Sustainability*. 2022 Jul 28;14(15):9234.
<https://doi.org/10.3390/su14159234>

[19] van der Schriek T, Varotsos KV, Giannakopoulos C, Founda D. Projected future temporal trends of two different urban heat islands in Athens (Greece) under three climate change scenarios: a statistical approach. *Atmosphere*. 2020 Jun 16;11(6):637. <https://doi.org/10.3390/atmos11060637>

[20] Dong J, Lin M, Zuo J, Lin T, Liu J, Sun C, Luo J. Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a high-density urban Area—A case study of Xiamen, China. *Journal of cleaner production*. 2020 May 10; 255:120152.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120152>

[21] Shi H, Xian G, Auch R, Gallo K, Zhou Q. Urban heat island and its regional impacts using remotely sensed thermal data—a review of recent developments and methodology. *Land*. 2021 Aug 18;10(8):867. <https://doi.org/10.3390/land10080867>

[22] Mostofi N, Hasanlou M. Feature selection of various land cover indices for monitoring surface heat island in Tehran city using Landsat 8 imagery. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2017 Jul 3;25(3):241-50.
<https://doi.org/10.3846/16486897.2016.1223084>

[23] Henn KA, Peduzzi A. Surface Heat Monitoring with High-Resolution UAV Thermal Imaging: Assessing Accuracy and Applications in Urban Environments. *Remote Sensing*. 2024 Mar 6;16(5):930. <https://doi.org/10.3390/rs16050930>

[4] Almeida CR, Teodoro AC, Gonçalves A. Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing data/techniques: A systematic review. *Environments*. 2021 Oct 9;8(10):105.
<https://doi.org/10.3390/environments8100105>

[5] Chatterjee U, Majumdar S. Impact of land use change and rapid urbanization on urban heat island in Kolkata city: A remote sensing-based perspective. *Journal of urban Management*. 2022 Mar 1;11(1):59-71.
<https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.09.002>

[6] El-Hattab M, Amany SM, Lamia GE. Monitoring and assessment of urban heat islands over the Southern region of Cairo Governorate, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2018 Dec 1;21(3):311-23.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.08.008>

[7] Atasoy M. Assessing the impacts of land-use/land-cover change on the development of urban heat island effects. *Environment, Development and Sustainability*. 2020 Dec;22(8):7547-57.
<https://doi.org/10.1007/s10668-019-00535-w>

[8] Sarif MO, Rimal B, Stork NE. Assessment of changes in land use/land cover and land surface temperatures and their impact on surface urban heat island phenomena in the Kathmandu Valley (1988–2018). *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020 Dec 6;9(12):726.
<https://doi.org/10.3390/ijgi9120726>

[9] Shabani M, Darvishan S, Solaimani K. Investigating the effects of land use change on spatiotemporal patterns of land surface temperature and thermal islands (Case study: Saqqez County). *Geography and Environmental Planning*. 2019 May 22;30(1):37-54. [In Persian]
doi: 10.22108/gep.2019.115781.1127

[10] Ahmed S. Assessment of urban heat islands and impact of climate change on socioeconomic over Suez Governorate using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2018 Apr 1;21(1):15-25.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.08.001>

[11] Gardes T, Schoetter R, Hidalgo J, Long N, Marquès E, Masson V. Statistical prediction of the nocturnal urban heat island intensity based on urban morphology and geographical factors—An investigation based on numerical model results for a large ensemble of French cities. *Science of The Total Environment*. 2020 Oct 1; 737:139253.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139253>

[12] Jin H, Cui P, Wong NH, Ignatius M. Assessing the effects of urban morphology parameters on microclimate in Singapore to control the urban heat island effect. *Sustainability*. 2018 Jan 16;10(1):206. <https://doi.org/10.3390/su10010206>

[13] Naikoo MW, Islam AR, Mallick J, Rahman A. Land use/land cover change and its impact on surface urban heat island and urban thermal comfort in a metropolitan city. *Urban Climate*. 2022 Jan 1; 41:101052.

پژوهشی اخیر و زمینه‌های تخصصی وی در حوزه سنجش از دور، الگوریتم‌های فراابتکاری و مدلسازی جزایر حرارتی شهری می‌باشد.

Ghandian, AR. Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University- South Tehran Branch, Tehran, Iran

✉ amirrezaghandian@yahoo.com



نیکروز مستوفی دارای مدرک دکتری تخصصی سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات می‌باشد. وی هم‌اکنون به عنوان استادیار گروه مهندسی نقشه برداری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب فعالیت دارد. فعالیت‌های پژوهشی اخیر و

زمینه‌های تخصصی وی در حوزه سنجش از دور، سیستم اطلاعات مکانی، فتوگرامتری برد کوتاه، مدلسازی جزایر حرارتی شهری و هوش محاسباتی می‌باشد.

Mostofi, N. Assistant Professor at the Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University- South Tehran Branch, Tehran, Iran

✉ n_mostofi@azad.ac.ir



عباس مجیدی‌زاده دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش فتوگرامتری از دانشگاه سراسری تفرش (۱۴۰۱-۱۳۹۸) می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی اخیر و زمینه‌های تخصصی وی در حوزه هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، تحلیل و بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی،

قطعه‌بندی معنایی و ویدئویی پهنای هوش مصنوعی و کاربردهای یادگیری عمیق در پردازش داده‌های ویدئویی پهنای و سنجش از دور می‌باشد.

Majidzadeh, A. Master of Photogrammetry, Department of Geodesy and Surveying Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran

✉ a.majidzadeh@tafreshu.ac.ir



حمید مطیعیان دانش آموخته مقطع دکتری تخصصی رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش سیستم اطلاعات مکانی از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد. وی هم‌اکنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی نوشیروانی

[24] Hou H, Su H, Yao C, Wang ZH. Spatiotemporal patterns of the impact of surface roughness and morphology on urban heat island. *Sustainable Cities and Society*. 2023 May 1; 92:104513. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104513>

[25] Zhou Y, Zhuang Z, Yang F, Yu Y, Xie X. Urban morphology on heat island and building energy consumption. *Procedia Engineering*. 2017 Jan 1; 205:2401-6. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.862>

[26] Li YY, Liu Y, Ranagalage M, Zhang H, Zhou R. Examining land use/land cover change and the summertime surface urban heat island effect in fast-growing Greater Hefei, China: Implications for sustainable land development. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020 Sep 29;9(10):568. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100568>

[27] Karimi Zarchi A, Shahhoseini R. Measuring the Intensity of the Surface Urban Heat Islands Using Vegetation and Urban Indices (Case Study: The Cities of Rasht and Langroud). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 2019 Aug 23;28(110):91-106. [In Persian] <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36614>

[28] Taheri Otaghsara MP, Arefi H. Modelling urban heat island using remote sensing and city morphological parameters. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019 Oct 19; 42:1035-40. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-1035-2019>

[29] Zhao J, Zhao X, Liang S, Zhou T, Du X, Xu P, Wu D. Assessing the thermal contributions of urban land cover types. *Landscape and Urban Planning*. 2020 Dec 1; 204:103927. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103927>

[30] Nasiri A, Zandi R, Khosravian M. Evaluating urban heat islands using the urban viability index (Case study: Karaj Metropolis). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2022 May;50(5):833-47. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01489-1>

[31] Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



امیررضا قندیان دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش سنجش از دور از دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب می‌باشد. وی هم‌اکنون در شرکت دانش بنیان افق به عنوان کارشناس فعالیت دارد. فعالیت‌های

Motieyan, H. Assistant Professor at the Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

✉ h.motieyan@nit.ac.ir

بابل مشغول به خدمت می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی اخیر و زمینه‌های تخصصی وی در حوزه هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، تحلیل‌های مکانس، برنامه ریزی شهری و حمل و نقل می‌باشد.

Citation (Vancouver): Ghandian A, Mostofi N, Majidizadeh A, Motieyan H. [Evaluation of Metaheuristic Algorithms in Selecting the Building Optimal Cover Based on the Effect of Urban Heat Islands]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 25-44

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10709.1056>



COPYRIGHTS

© 2024 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

Dynamic Analysis of Urban Heat Islands in Tehran (2013-2023) Based on MODIS Images and Google Earth Engine

S. T. Mansouri, E. Zarghami*

Department of Architecture, Faculty of Architectural Engineering and Urban Planning, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 15 January 2024

Reviewed: 6 April 2024

Revised: 18 April 2025

Accepted: 20 May 2024

KEYWORDS:

Land Surface Temperature
(LST)

Land Use

Remote Sensing

Tehran

Urban Heat Islands

* Corresponding author

✉ ezarghami@sru.ac.ir

☎ (+98912) 1064467

Background and Objectives: Today, urbanization is expanding and it is predicted that by 2030, more than two-thirds of the world's population will live in cities. This population needs spaces such as residential, business, leisure, etc. to live. This has led to changes in the natural environment to create the said uses. These changes have various consequences on the environment and human life, which can be mentioned as the increase of impervious levels in the city and the reduction of green space. Based on this, the city environment acts as a heat collector and creates heat islands due to the production of more heat due to the consumption of fossil fuels as well as the presence of impermeable surfaces and tall buildings. The main reason for the formation and intensification of urban heat islands is the change of the land surface due to the uneven development of the city. Today, detailed and comprehensive investigation of urban thermal islands, which is related to the growth of the city, has been noticed by city managers. Remote sensing is one of the best tools to detect this phenomenon. This article examines the influence of urban environment structure on thermal changes in Tehran.

Methods: To achieve this goal of the research, to determine the trend of temperature changes in 22 regions of Tehran in the period from January 1, 2013 to January 1, 2023, coding was done in Google Earth Engine. For this purpose, the shape file of Tehran city was prepared and after calling the shape file in Google Earth Engine, remote sensing images of MODIS 11A2 006 Terra satellite were extracted. These images were 460, which were converted into much smaller and higher resolution images by the reducer of the Google Earth Engine system. Then, according to the required data received from the MODIS 11A2 006 Terra satellite, the average ground surface temperature trend at night, the ground surface temperature change trend, the ground surface temperature transect trend and the average ground surface temperature change trend at night for the 22 regions of Tehran in the interval The period from January 1, 2013 to January 1, 2023 was examined.

Findings: After measuring the data, areas 10, 11, and 12 in the center of Tehran had the least, and areas 1, 3, and 4 in the northeast of Tehran and areas 21 and 22 in the northwest of Tehran had the most thermal changes in time. The temperature of the ground surface in areas 1, 3, 4, 21 and 22 with an average of 288.6 K, were the hottest areas in Tehran.

Conclusion: The results showed that the urban heat islands created in Tehran are different based on the factors that cause temperature changes. This difference is primarily due to land use and land cover in the disproportionate and unbalanced development of the city and indicates the close relationship between land cover and surface temperature. Also, the correlation study between land cover and land surface temperature showed that there is an inverse relationship between these two parameters and there is no direct relationship between population density and land surface temperature in some areas. Considering the nature of the research, this research can be effective in reducing the intensity and expansion of urban heat islands with proper planning for better and more use of water and green space.



NUMBER OF REFERENCES

60



NUMBER OF FIGURES

14



NUMBER OF TABLES

1

مقاله پژوهشی

تحلیل دینامیک جزایر حرارتی شهری در تهران (۲۰۱۳-۲۰۲۳) براساس تصاویر MODIS و موتور Google Earth

سید تاج‌الدین منصوری، اسماعیل ضرغامی*

گروه معماری دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: امروزه شهرنشینی در حال گسترش است و پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۳۰ بیش از دو سوم جمعیت جهان در شهرها زندگی خواهند کرد. این جمعیت، برای زندگی کردن نیازمند فضاهایی مانند مسکونی، کسب‌وکار، گذران اوقات فراغت و غیره هستند. این امر، منجر به تغییرات محیط طبیعی برای ایجاد کاربری‌های گفته شده است. این تغییرات، پیامدهای گوناگونی بر محیط زیست و زندگی انسان‌ها دارند که می‌توان به افزایش سطوح نفوذناپذیر در سطح شهر و کاهش فضای سبز اشاره نمود. بر این اساس، محیط شهر به‌علت تولید حرارت بیشتر ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین، وجود سطوح نفوذناپذیر و ساختمان‌های بلند، به‌عنوان جمع‌کننده حرارت عمل کرده و جزایر حرارتی را به‌وجود می‌آورد. علت اصلی تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری، تغییر سطح زمین در اثر توسعه ناموزون شهر است. امروزه، بررسی دقیق و جامع جزایر حرارتی شهری که با رشد شهر در ارتباط است، مورد توجه مدیران شهری قرار گرفته است. علم سنجش از دور یکی از بهترین ابزارهای تشخیص این پدیده است. این مقاله، به بررسی تأثیر ساختار محیط شهری بر تغییرات حرارتی در شهر تهران می‌پردازد.

روش‌ها: برای رسیدن به این هدف پژوهش برای مشخص کردن روند تغییرات دمایی در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳، ابتدا کد نویسی در Google Earth Engine انجام شد. برای این کار، شیب فایل شهر تهران تهیه گردید و پس از فراخوانی شیب فایل در Google Earth Engine، تصاویر سنجش از دور ماهواره MODIS 11A2 006 Terra استخراج گردید. این تصاویر، ۴۶۰ عدد بودند که به‌وسیله کاهنده سامانه Google Earth Engine به تصاویری بسیار کمتر و با وضوح بیشتر، تبدیل گردیدند. سپس، با توجه به داده‌های مورد نیاز و دریافتی از ماهواره MODIS 11A2 006 Terra میانگین روند دمای سطح زمین در شب، روند تغییرات دمای سطح زمین، روند برش عرضی دمای سطح زمین و میانگین روند تغییرات دمای سطح زمین در شب برای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: پس از اندازه‌گیری داده‌ها، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در مرکز تهران، کمترین و مناطق ۱، ۳ و ۴ در شمال شرق تهران و مناطق ۲۱ و ۲۲ در شمال غرب تهران بیشترین تغییرات حرارتی را در زمان، در نظر داشتند. دمای سطح زمین در مناطق ۱، ۳، ۴، ۲۱ و ۲۲ با میانگین ۲۸۸/۶ کلوین، گرم‌ترین مناطق در شهر تهران بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج، نشان داد که جزایر حرارتی شهری ایجاد شده در شهر تهران بر اساس عواملی که باعث تغییرات دمایی می‌شوند، متفاوت هستند. این تفاوت در درجه اول به دلیل کاربری و پوشش اراضی در توسعه نامتناسب و نامتوازن شهر است و نشان‌دهنده رابطه نزدیک بین پوشش زمین و دمای سطح زمین می‌باشد. همچنین، مطالعه همبستگی بین پوشش زمین و دمای سطح زمین نشان داد که بین این دو پارامتر رابطه‌ای معکوس وجود دارد و بین تراکم جمعیت و دمای سطح زمین در برخی مناطق رابطه مستقیمی وجود ندارد. با توجه به ماهیت تحقیق، این پژوهش می‌تواند با برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده بهتر و بیشتر از آب و فضای سبز در کاهش شدت و گسترش جزایر حرارتی شهری مؤثر باشد.

تاریخ دریافت: ۲۵ دی ۱۴۰۲

تاریخ داوری: ۱۸ فروردین ۱۴۰۲

تاریخ اصلاح: ۳۰ فروردین ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

دمای سطح زمین

کاربری اراضی

سنجش از راه دور

تهران

جزایر حرارتی شهری

* نویسنده مسئول

ezarghami@sru.ac.ir

۰۹۱۲-۱۰۶۴۴۶۷

مقدمه

[۲ و ۳]. این رشد بیش از حد به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه باعث کاهش آلودگی سطوح شهری، افزایش جرم پوشش‌های سطحی در واحد سطح و افزایش گرمای مصنوعی ناشی از فعالیت کارخانه‌ها، حمل‌ونقل، دستگاه‌های تهویه مطبوع و کاهش سطوح تبخیر و تغییر معادلات تعادلی رطوبت و انرژی شهری می‌شود [۴ و ۵ و ۶]. در دهه‌های اخیر، جزایر حرارتی شهری که به‌عنوان مناطقی با گرادیان دمایی منفی در

اکنون، توانایی یک شهر برای تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری، یک واقعیت پذیرفته شده است. در واقع، این یکی از مستندترین اثرات آب و هوایی ناشی از تغییر محیط جوی توسط انسان است [۱]؛ بنابراین، رشد سریع شهرنشینی و توسعه بی‌برنامه مناطق شهری در برابر سطح پایین پوشش طبیعی یکی از علل اصلی تغییرات آب‌وهوایی جهانی است

در مقابل، اگرچه داده‌های سری Landsat دارای وضوح مکانی بالایی هستند، اما برای پایش LST در چرخه‌های زمانی طولانی مناسب نیستند. از سویی دیگر، چرخه بررسی MSG کوتاه است، با این حال، وضوح فضایی پایینی دارد که برای توصیف اطلاعات دقیق تغییرات LST مناسب نیست. همچنین NOAA/AVHRR دارای مشکلات رانش مداری هستند؛ بنابراین، محصولات MODIS Terra و Aqua پرکاربردترین مجموعه داده‌ها برای نظارت بر محیط حرارتی در مقیاس‌های فضایی مختلف می‌باشند [۳۰ و ۳۱]. MODIS/ Aqua مدارهای متفاوتی با زمان‌های روگذر متفاوت دارد. زمان گذار Terra حدود ۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ به وقت محلی خورشیدی است، در حالی که زمان گذار Aqua حدود ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ به وقت محلی خورشیدی است [۳۲]. اگرچه مطالعات زیادی در مورد تأثیر قابل توجه گسترش شهرها برافزایش LST مناطق گرم و خشک انجام شده است، اما مطالعات کمی در مورد تأثیر پیچیدگی شکل و آرایش پوشش زمین بر پدیده جزایر حرارتی شهری به‌ویژه در شهر تهران انجام شده است. علاوه بر این، بررسی تغییرات پدیده جزایر حرارتی شهری در شهرهایی مانند تهران که دارای بافت شهری مربوط به دوره‌های مختلف تاریخی هستند و هر دوره معیارهای خاص خود را در تفکیک زمین شهری برای ساخت‌وساز داشته است، بسیار حائز اهمیت است.

علاوه بر این، از آنجایی که فرم شهر و فضاهای باز شهری و ابعاد و اندازه ساختمان‌ها نقش اساسی در میزان جذب و دفع انرژی و در نتیجه، میزان مصرف انرژی فسیلی و دمای محیط دارند، اما تاکنون تحقیقات کمی در دنیا و به‌ویژه در ایران در مورد شرایط مورفولوژی شهری و تأثیر پوشش زمین با استفاده از حسگر MODIS در موتور (Google Earth engine) بر جزایر حرارتی شهری انجام شده است. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌ها، این است که سیستم GEE مزیت‌های بسیاری بر سایر سیستم‌های مشابه خود دارد؛ از جمله دسترسی آسان و دقیق به تصاویر ماهواره‌ای پردازش‌شده، عدم نیاز به پردازش تصاویر، سرعت پردازش بسیار بالا، رایگان بودن و پشتیبانی از داده‌های ماهواره‌ای عمومی، پشتیبانی از پردازش سری‌های زمانی سنجش از دور، عدم وابستگی به سیستم‌های دسکتاپ، عدم نیاز به سخت‌افزار قدرتمند، کاربرد برای تحقیقات دانشگاهی و کاربرد در پروژه‌های تجاری، برای اندازه‌گیری LST. بر این اساس در این پژوهش استفاده شده است.

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر ساختار محیط شهری بر تغییرات گرما در شهر تهران است. برای دستیابی به این هدف، ابتدا میانگین روند LST در شب، روند تغییرات LST، روند برش عرضی LST و روند میانگین تغییرات LST در شب در ۲۲ منطقه تهران در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳ با استفاده از روش حرارتی ارزیابی می‌شود؛ بنابراین، در این پژوهش بر اساس داده‌های دریافتی از باندهای ماهواره MODIS Terra 006 MODIS11A2 در موتور GEE، توزیع فضایی LST و رابطه آن با کاربری زمین و پوشش زمین، به‌ویژه سطح پوشش فضای سبز در مناطق شهر، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین، تحلیل تأثیر رابطه بین LST و تراکم جمعیت بر مصرف انرژی و سلامت ساکنان منطقه

مقایسه با محیط اطرافشان شناخته می‌شوند، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت زندگی انسان‌ها هستند [۷ و ۸ و ۹]. پدیده جزایر حرارتی شهری یک خطر ناشی از رشد کنترل نشده مناطق در شهرها است [۱۰ و ۱۱]. حتی اگر دما بالا نرود، شهرها اکنون با این مشکل مواجه هستند [۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶]. شهرها به دلیل داشتن سطوح فیزیکی متفاوت از محیط اطراف خود (مناطق روستایی) بر اقلیم مناطق خود تأثیر می‌گذارند [۱۷ و ۱۸]. علاوه بر این، دگرگونی و طراحی سریع ساختمان‌ها و افزایش و گسترش آسمان‌خراش‌ها و همچنین افزایش فعالیت‌های صنعتی، منجر به توسعه جزایر حرارتی شهری شده است [۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲].

دمای سطح برای مطالعه اقلیم‌شناسی شهری بسیار مهم است. با ظهور فناوری سنجش از دور، پایش از راه دور جزایر حرارتی شهری با استفاده از سکوها ماهواره‌ای امکان‌پذیر شده است و راه‌های جدیدی را برای مشاهده جزایر حرارتی شهری و بررسی علل آن‌ها از طریق ترکیب سنجش از دور حرارتی و اقلیم‌شناسی شهری، فراهم کرده است. بر این اساس، تعریف صحیح متغیرهای سنجش از دور به منظور درک دقیق محتوای اطلاعات کمیت‌های سنجش از دور و چگونگی ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های سطح واقعی مهم است. سنجش از دور حرارتی دمای سطح شهری، یک مورد خاص از مشاهده دمای سطح زمین است که در پاسخ به تعادل انرژی سطح متفاوت است. دمای سطح حاصل، اثرات تابش سطحی و خواص ترمودینامیکی، از جمله رطوبت سطح، میزان انتشار دمای سطح، میزان تابش سطح، اثرات جو نزدیک به سطح و ارتباط آن با انتقال حرارت از سطح را در برمی‌گیرد [۲۳].

محاسبه مقدار LST (Land Surface Temperature برابر دمای سطح زمین) به عنوان نقطه شروع برای تجزیه و تحلیل جزایر حرارتی شهری در نظر گرفته می‌شود [۲۳ و ۲۴ و ۲۵]. در مطالعات تغییر اقلیم شهری، LST به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر پدیده جزایر حرارتی شهری شناخته می‌شود [۱۹ و ۲۶]. به عنوان یک روش رایج برای پایش LST، روند گرمایش را می‌توان با کمک مکان‌یابی تغییرات دما به طور دقیق شناسایی کرد [۲۷ و ۲۸]. سنجش از دور ماهواره‌ای می‌تواند به عنوان مبنایی مناسب برای پایش تغییرات اقلیمی در نظر گرفته شود زیرا مشاهدات فوری و بسیار دقیقی را ارائه می‌دهد. مطالعات اخیر بر روی اعتبارسنجی این روش نشان داده است که LST در انواع مختلف پوشش زمین دارای دقت نسبتاً بالایی با خطاهای مطلق در محدوده ۱/۰ تا ۳/۰ کلوین هستند. در حال حاضر، داده‌های LST از طیف گسترده‌ای از منابع ماهواره‌ای مانند MODIS Terra/Aqua، NOAA/AVHRR، Landsat TM5، ETM+6 و OLI7، MSG به دست می‌آیند. این حسگرها محصول LST را در وضوح زمانی (زیر ۸ تا ۱۶ روز) و مکانی (زیر ۱۰۰ متر تا ۳ کیلومتر) با دوره‌های مختلف ارائه می‌دهند. MODIS Terra/Aqua که به سرعت راه‌اندازی می‌شود، محصولات LST جهانی را با دقت مکانی خوب، زمان‌بندی و دقت بالا ارائه می‌دهد [۲۹].

دریافتند که بخش‌هایی از شهر تهران مستعد تشدید جزایر حرارتی شهری در آینده هستند. صلاح‌الدین و همکاران (۱۳۹۹) پایین‌ترین و بالاترین مقادیر LST را در طول روز و شب برای شهر تهران مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS تأثیرات پوشش زمین، ساختمان‌ها و تراکم جمعیت را بر روند تغییرات LST تعیین کردند. ثناگر دربانی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهش خود برای شهر مشهد که با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS صورت گرفت، راهکارهای طراحی معماری و شهری را برای کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری ارائه دادند. آن‌ها با بررسی میزان تأثیر پوشش زمین، پوشش گیاهی، تراکم ساختمان‌ها و پوشش معابر میزان سرعت باد و همچنین درصد دریافت انرژی خورشیدی را توسط سطوح شهری معین کردند. مقدم و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی که برای شهر یزد انجام دادند، با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat، میزان تأثیر پوشش زمین و پوشش گیاهی را بر تغییرات LST بررسی کردند. آن‌ها، دریافتند که مدل‌سازی تغییرات LST با محاسبه پارامترهای مختلف مربوط به توسعه کاربری‌ها در سطح زمین رابطه‌ای مستقیم دارد.

وانگ و لو (۲۰۰۴) حرارت چندین شهر را با استفاده از تصاویر حرارتی مادون قرمز و قدرت تفکیک مکانی بالا با استفاده از روش تک پنجره ارزیابی نمودند که در نتیجه آن‌ها دریافتند به هنگام روز، بخش‌های تجاری و سپس مناطق حمل‌ونقل، بالاترین دما را دارند و پایین‌ترین دما به ترتیب مربوط به محل‌های دارای آب، پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی است. در شب، مناطق تجاری، خدماتی، صنعتی و حمل‌ونقل سریع‌تر خنک می‌شوند و در اصل، دمای آن‌ها در ساعات اولیه بامداد، قدری بیشتر از پوشش گیاهی و کشتزارها است. تاردی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat، میزان تأثیر پوشش گیاهی، پوشش زمین و ساختمان‌ها را بر میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط آن‌ها مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در پژوهش خود دریافتند که کارایی روش استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat برای تخمین LST مورد تأیید است. یانگ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود به بررسی تأثیرات پوشش زمین و پوشش گیاهی بر میزان درجه حرارت LST با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS پرداختند. آن‌ها، دریافتند که محصولات مختلف MODIS به عنوان مرجع مهمی در پایش روند LST می‌تواند به کار رود.

شکاف هدف و تحقیق

مطالعات زیادی در مورد تأثیر توسعه ساختار فیزیکی شهرها بر افزایش دمای سطح زمین در مناطق گرم‌وخشک انجام شده است، اما مطالعات کمی در مورد تأثیر پیچیدگی شکل و آرایش پوشش اراضی بر پدیده جزایر حرارتی شهری به‌ویژه برای شهر تهران، انجام شده است. از طرفی، تحقیقات کمی در دنیا به‌خصوص در ایران در مورد شرایط مورفولوژی شهری و تأثیر پوشش زمین بر جزایر حرارتی شهری با استفاده از حسگر MODIS در موتور GEE انجام شده است.

مورد بررسی قرار گرفته است. به عبارتی می‌توان بیان کرد که برای محاسبه LST، یکی از روش‌های پرکاربرد سنجنش از دور مبتنی بر باند MODIS11A2 006 Terra استفاده شد [۳۳ و ۳۲]. لازم به ذکر است که این پژوهش به بررسی یک موضوع چند رشته‌ای مرتبط با پایداری می‌پردازد که نحوه تعامل انسان و محیط بر اساس تغییرات حرارتی را توضیح می‌دهد.

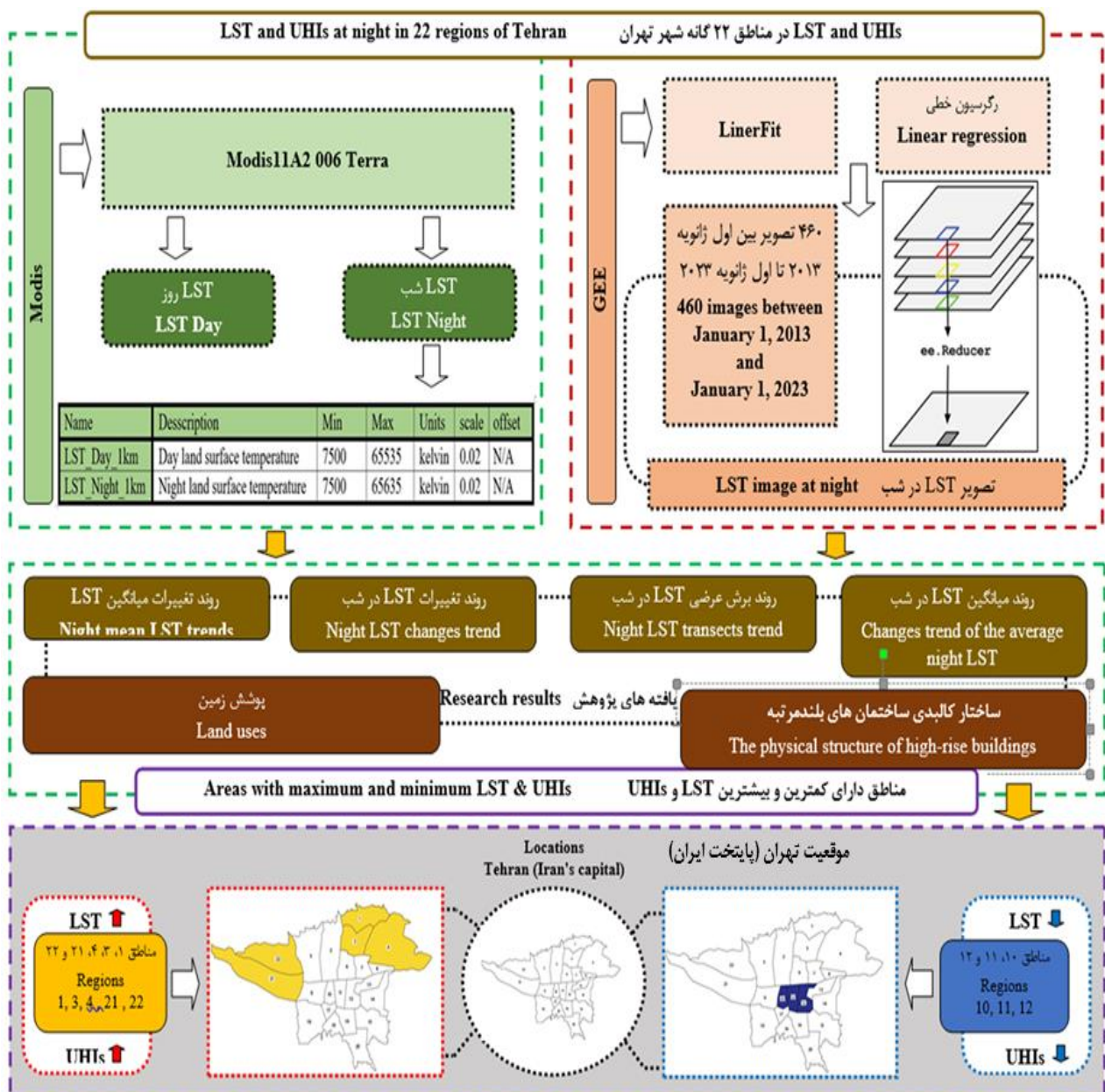
پیشینه تحقیق

با توجه به آن‌چه در مقدمه بیان شد، داده‌های سنجنش از دور LST پشتیبانی خوبی برای پایش بر دمای سطح محیط فراهم می‌کنند و در نتیجه ارتباط آن را با تغییرات آب و هوایی در مکان‌های زمانی-فضایی مختلف فراهم می‌نمایند. در این پژوهش، برای بررسی دقیق‌تر پیشینه تحقیق، مقالات و مطالعات موجود در پایگاه علمی اسکوپوس به عنوان یکی از جامع‌ترین پایگاه‌های علمی مورد بررسی قرار گرفت و کلید واژه‌های جزایر حرارتی شهری و LST جستجو شدند. نتایج این بررسی، نشان می‌دهد که مطالعات دانشگاهی در این زمینه از دهه ۱۹۶۰ اهمیت بیشتری یافته و تا سال ۲۰۰۰ به تدریج افزایش یافته و در هزاره سوم شتاب بیشتری گرفته است. افزایش تحقیقات در سال‌های اخیر می‌تواند تحت تأثیر گزارش‌های سالانه کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل متحد و همچنین ارزیابی‌های ملی محیط زیست ایالات متحده در مورد تأثیر گرمایش جهانی باشد.

ملک پور و همکاران (۱۳۸۵) پژوهشی در رابطه با تخمین درجه LST با استفاده از داده‌های سنجنده ETM و الگوریتم سبال در شهر تهران انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش به‌کاررفته جهت تخمین مقادیر بازتابش و درجه حرارت سطح، بر روی مناطق شهری یکنواخت با دقت قابل قبولی عملی بوده و می‌تواند به منظور برآورد میزان توسعه شهری در یک دوره زمانی مورد استفاده قرار گیرد. صادقی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود، روند تغییرات حرارتی شهر تهران را به صورت فضایی - زمانی در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ با استفاده از روش تک پنجره مورد بررسی قرار دادند که در طی آن با توجه به نتایج خود همبستگی فضایی عمومی، دو نتیجه مهم به دست آورد؛ اول در طول دوره مطالعه خوشه‌های حرارتی جدیدی در شهر تهران شکل گرفته است و دوم، وسعت فضایی خوشه‌های حرارتی قبلی رو به افزایش است. حمزه لو (۱۳۹۵) نقاط حرارتی تهران را با استفاده از تصاویر با توان تفکیک بالای Geoeye و داده برداری میدانی محاسبه نمود و مناطقی از شهر تهران را که در آن‌ها LST رو به افزایش است، مشخص نمود. بذرگر و آخوندزاده (۱۳۹۷) با استفاده از ESTARFM، اطلاعات پرتکرار زمانی سنجنده Modis را با اطلاعات با توان تفکیک مکانی بالای سنجنده ESTER ترکیب کردند. این الگوریتم، برای بهبود دقت پیش‌بینی LST با قدرت تفکیک ۹۰ متر برای قسمتی از شهر تهران که با یک تصویر ESTER پوشش داده شده بود، به کار گرفته شد و نتایج قابل قبولی را به‌ویژه در مناطق غیرهمگن و حفظ جزئیات مکانی نشان داد. آن‌ها،

در این پژوهش، مطابق شکل ۱ ابتدا با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS، LST شب و روز مناطق ۲۲ گانه شهر تهران در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳ اندازه‌گیری شده است، سپس با استفاده از رگرسیون خطی در GEE و تصاویر دریافتی، میزان پیشرفت LST در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران اندازه‌گیری شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در مرکز شهر تهران کمترین تغییرات حرارتی و مناطق ۱، ۳ و ۴ در شمال شرق تهران و مناطق ۲۱ و ۲۲ در شمال غرب تهران دارای بیشترین تغییرات دما در دوره زمانی مورد نظر بوده‌اند.

در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای MODIS11A2 006 Terra در موتور GEE برای ارزیابی و اندازه‌گیری LST و جزیره حرارتی شهری استفاده شده است. مزیت اصلی این روش نسبت به سایر روش‌ها، دسترسی آسان و دقیق به تصاویر پردازش شده سنجنده MODIS و موتور GEE و عدم نیاز به پردازش تصاویر می‌باشد. از دیگر نوآوری‌های این پژوهش، بررسی دوره ده‌ساله شرایط آب‌وهوایی شهر تهران برای ارزیابی جزایر حرارتی شهری است. بر اساس آمار هواشناسی کشور، بررسی ده‌ساله داده‌های هواشناسی می‌تواند به مدیران شهری در اتخاذ تصمیمات مناسب برای توسعه اراضی شهر تهران کمک کند [۳۴]. در شکل ۱ مدل مفهومی تحقیق ارائه شده است.



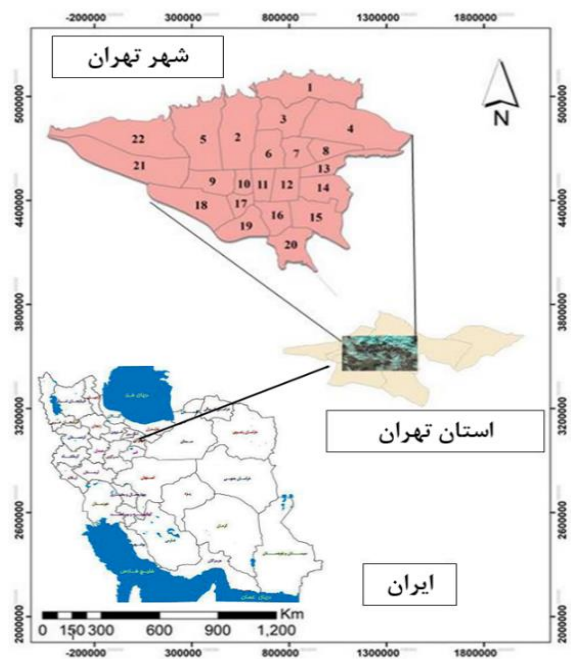
شکل ۱: مدل مفهومی پژوهش

Fig 1: Conceptual model of research

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تهران، به‌عنوان پایتخت ایران در شمال کشور و در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز واقع شده است. این شهر، بیش از ۶۰۰ کیلومترمربع وسعت دارد و بین ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این شهرستان از شمال به رشته کوه البرز، از شرق به لواسانات، از غرب به شهرستان کرج و از جنوب با شهرستان ورامین همسایه است. شهر تهران از نظر تقسیمات اداری به ۲۲ منطقه، ۱۲۵ ناحیه و ۳۵۵ محله تقسیم شده است. این شهر، پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران است. شهر تهران در برآورد سال ۱۴۰۱ بالغ بر ۹۰۳۹۰۰۰ نفر جمعیت داشته است و طبق برآورد سال ۲۰۱۸ سازمان ملل، سی و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و پرجمعیت‌ترین شهر غرب آسیا می‌باشد. همچنین کلان‌شهر تهران، دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است. تهران، از نظر ناهمواری‌های طبیعی به دو دشت و کوهپایه البرز تقسیم می‌شود و دامنه فعلی آن از ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر بالاتر از سطح دریا است. تهران، دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک می‌باشد که در فصل زمستان نیمی از کل بارندگی سالانه آن را تأمین می‌کند و تابستان، کم‌بارش‌ترین فصل تهران است. ارتفاع شهر تهران از سطح دریا ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر می‌باشد. این ارتفاع از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال، ارتفاع در میدان تجریش در شمال شهر حدود ۱۳۰۰ متر و در میدان راه‌آهن که ۱۵ کیلومتر پایین‌تر است، ۱۱۰۰ متر می‌باشد. تهران، از نظر ناهمواری‌های طبیعی به دو ناحیه کوهپایه‌ای و دشتی تقسیم می‌شود. از دامنه‌های البرز تا جنوب شهر ری، تپه‌های کوچک و بزرگ متعددی وجود دارد. تهران، دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک است. شمال شهر به دلیل ارتفاع زیاد نسبت به سایر نقاط شهر خنک‌تر است. همچنین کم‌بافت، وجود باغ‌های قدیمی، باغ‌ها، فضای سبز در حاشیه بزرگراه‌ها و نبود فعالیت‌های صنعتی در شمال شهر باعث شده تا هوای مناطق شمالی به‌طور میانگین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر از مناطق جنوبی شهر باشد. جهت اصلی باد غالب در تهران، شمال غربی به جنوب شرقی است [۳۵]. این شهر، پیچیدگی بیشتری در کاربری اراضی، شکل شهر و پیچیدگی دمای سطح زمین دارد. شکل ۲ موقعیت جغرافیایی تهران را نشان می‌دهد.



شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig 2: Location of the studied area

همچنین Google Earth Engine یک پلتفرم مبتنی بر ابر برای تجزیه و تحلیل جغرافیایی در مقیاس سیاره‌ای است که توانایی‌های محاسباتی عظیم Google را بر روی انواع مسائل اجتماعی پرتأثیر از جمله جنگل‌زدایی، خشک‌سالی، فاجعه، بیماری، امنیت غذایی، مدیریت آب، نظارت بر آب‌وهوا به ارمغان می‌آورد. در این زمینه، GEE به‌عنوان یک پلتفرم یکپارچه طراحی شده برای توانمندسازی حفاظت از محیط زیست، نه تنها برای دانشمندان سنجش از دور، بلکه مخاطبان بسیار گسترده‌تری که فاقد ظرفیت فنی لازم برای استفاده از ابررایانه‌ها یا منابع محاسبات ابری در مقیاس بزرگ هستند، طراحی شده است [۳۶]. بر این اساس و برای ارزیابی عوامل مؤثر برافزایش یا کاهش پدیده جزایر حرارتی شهری در بازه زمانی مورد نظر، میانگین روند LST در شب، روند تغییرات LST، روند برش عرضی LST و روند میانگین تغییرات LST در شب برای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران تهیه گردید. با استفاده از GEE، یک برنامه وب رایگان Climate Engine (CE) است که با استفاده از آن می‌توان LST و تغییرات کاربری زمین را نظارت کرد. با کمک این روش پیشرفته، کاربران می‌توانند داده‌ها و محصولات مختلف آب‌وهوای جهانی و منطقه‌ای را پردازش و تجسم نمایند که دسترسی به آن‌ها بسیار سریع است [۳۷]. سنجنده MODIS، LST را با وضوح فضایی یک کیلومتر در یک دوره ۸ روزه ارائه می‌دهد. هر مقدار پیکسل در MOD11A2 میانگین ساده‌ای از تمام پیکسل‌های MOD11A1 است که در آن دوره ۸ روزه جمع‌آوری شده است. دوره مرکب ۸ روزه به این دلیل است که دو برابر این مدت زمان دقیقی است که برای تکرار مسیر زمینی سکوها Terra و Aqua است. همچنین همراه با این باندها، دمای سطح روز و شب، ارزیابی‌های کنترل کیفیت، زمان‌های مشاهده، زاویه دید اوج و پوشش آسمان صاف در باندهای ۳۱ و ۳۲ ارائه شده است

باندهای حرارتی MODIS11A2 006 Terra و اعتبارسنجی داده‌های دریافتی

پایش LST و مناطق تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری در دوره ده‌ساله (اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳)، با کمک تصاویر ماهواره‌ای MODIS 11 و Terra در موتور Google Earth (GEE) انجام شد. اساس این کار مدل LinerFit و رابطه رگرسیون خطی است. مدل LinerFit برای یافتن بهترین برازش یا معادله رگرسیون با استفاده از رابطه بین متغیرهایی است که می‌توانند برای پیش‌بینی استفاده شوند.

باند‌های ۳۱ و ۳۳ است. اعتبارسنجی برای محصول دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های حسگر MODIS MOD11 (Terra) از طریق یک سری کارزارهای میدانی انجام شده، در مکان‌ها و دوره‌های زمانی مختلف از طریق اعتبارسنجی مبتنی بر تشعشع تأیید شده است [۴۳]. دقت داده‌های دریافتی از سنجنده MODIS با فاصله یک کیلومتری خطای کمتری نسبت به سایر سنجنده‌ها و در نتیجه در فواصل نزدیک‌تر و بیشتر نشان داد. برای ماسک ابری MODIS، تشخیص تمام پیکسل‌های تحت تأثیر ابرها و ذرات معلق در هوا از پیکسل‌های آسمان صاف بسیار دشوار است، اما در MOD11، با استفاده از محدودیت‌های تجربی در تغییرات زمانی LST، این ذرات حذف می‌شوند و در نتیجه، آسمان صاف در نظر گرفته شده است.

تصاویر GEE

GEE یک سیستم محاسباتی مبتنی بر وب و ابری است که توسط گوگل برای ذخیره و تجزیه و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها در مقیاس پتابایت (شامل تصاویر ماهواره‌ای مختلف، مدل‌های دیجیتال ارتفاع، داده‌های آب‌وهوا، داده‌های برداری) توسعه یافته و راه‌اندازی شد [۲۵ و ۳۳ و ۴۴]. یکی از ویژگی‌های بسیار خوب این موتور، رایگان بودن، عدم نیاز به سخت‌افزار پیشرفته و گران‌قیمت و دسترسی رایگان و آنلاین به پایگاه‌های اطلاعاتی سازمان فضایی اروپا و آمریکا و بسیاری از پایگاه‌های داده دیگر است [۴۵ و ۴۶ و ۴۷].

سرعت در پردازش و در نتیجه دسترسی به داده‌های متنوع یکی از مسائل و مشکلات مطالعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است. این مشکلات توسط GEE حل شده است. این امر، امکان دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای مختلف از جمله تصاویر راداری را بدون صرف هزینه و با زمان اندک ممکن می‌سازد [۴۸].

اگر بخواهیم روند افزایش یا کاهش LST مناطق ۲۲ گانه تهران و مناطق اطراف آن را در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ بررسی کنیم، باید نقشه‌ای از تغییرات LST در این مناطق تهیه کنیم [۴۱]. برای این منظور، تصویر دمای شب را انتخاب می‌کنیم که خالص‌تر و دارای دقت بالاتری است. با در نظر گرفتن این دو پارامتر، ناهنجاری‌های حرارتی را می‌توان با دقت بیشتری بررسی کرد. نقشه تغییر دما، یک تصویر مقیاس شده از تغییرات LST در شب است که یک تصویر Gain است. این سیستم مختصات، سیستم اصلی GEE برای تعیین ابعاد و مختصات نقاط است که به دلیل سازگاری با مختصات منطقه مورد مطالعه، داده‌های قابل اعتمادی را در اختیار ما قرار می‌دهد. شکل ۳ تغییرات دمای LST در شب را برای شهر تهران و مناطق اطراف آن نشان می‌دهد. در شکل سمت راست محدوده شهر تهران با دایره مشخص شده است. در این شکل با توجه به درجه حرارت‌های مشخص شده، میزان تغییرات دمای LST در شب را برای شهر تهران و مناطق اطراف آن دارای درجه حرارت خیلی بالا در اکثر مناطق آن است که با رنگ قرمز مشخص شده است. در شکل چپ، نمودار این تغییرات که در نرم‌افزار Snap استخراج شده است، ارائه گردیده است.

[۳۸]. در این پژوهش، از باند حرارتی MOD11A2.006 Terra باند دمای سطح Land-Day Global 1km که یک داده ترکیبی است، استفاده شده است. مزیت داده‌های ترکیبی (داده‌های ترکیبی در یک دوره زمانی) نسبت به داده‌های روزانه این است که داده‌های ترکیبی معمولاً ابرهای زیادی در خود ندارند و بنابراین، اطلاعات بسیار کمی را از دست می‌دهند. در نتیجه، می‌توانیم سری زمانی تغییرات LST را به خوبی به دست آوریم و آنالیز کنیم [۳۹]. جدول ۱ ویژگی‌های باند‌های ماهواره‌ای MODIS را برای LST روز و شب نشان می‌دهد [۴۰].

جدول ۱: باند‌های ماهواره MODIS برای LST روز و شب

Table 1: MODIS satellite bands for day and night LST

Name	Description	Min	Max	Units	scale	offset
LST_Day_1km	Day land surface temperature	7500	65535	Kelvin	0.02	N/A
LST_Night_1km	Night land surface temperature	7500	65635	Kelvin	0.02	N/A

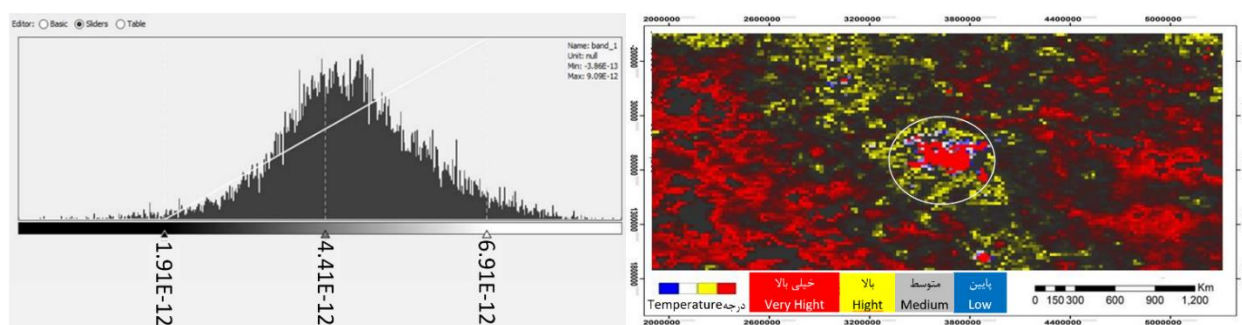
یکی از مهم‌ترین روش‌های قابل اعتماد در این زمینه استفاده از تصاویر GEE است [۴۱]. در پژوهش حاضر، به منظور اعتبارسنجی داده‌های دریافتی از ماهواره MODIS11A2 006 Terra، از روش تصویر موجود در GEE استفاده شد. تصاویر دریافتی از این موتور، دارای وضوح مکانی بسیار بالایی هستند. با توجه به این‌که این تصاویر دارای وضوح فضایی بسیار بالایی هستند، نتایج اعتبارسنجی بسیار قابل اعتماد خواهد بود [۴۱]. بر این اساس، نمونه‌گیری با استفاده از تفسیر بصری تصاویر GEE انجام شد. در موتور GEE تعداد فریم‌های عکس دریافتی بر اساس دوره زمانی و شرایط مکان مورد مطالعه متفاوت است. به منظور تحلیل و بررسی مناسب بر روی این تصاویر، این تصاویر باید توسط کاهنده‌ها به یک تصویر تبدیل شوند [۲۵ و ۳۳].

گروه خاصی از توابع به نام کاهنده بر مجموعه تصاویر تأثیر می‌گذارد به طوری که نتیجه یک کاهنده یک تصویر واحد است [۴۲]. روشی که دستور کاهش می‌دهد این است که بسیاری از تصاویر را بر اساس اطلاعات مورد نیاز به یک تصویر جامع تبدیل می‌کند. در نتیجه، خروجی از نظر پیکسلی محاسبه می‌شود، به طوری که هر پیکسل در خروجی از مقدار متوسط تمام تصاویر موجود در مجموعه در آن مکان تشکیل شده است [۴۲]. در این تحقیق ۴۶۰ تصویر دریافت شد که برای کاهش آن‌ها با استفاده از کاهنده موتور GEE از مدل linerFit بر اساس رگرسیون خطی استفاده شد که با کد دستوری زیر اجرا گردید:

reduce (ee.Reducer.linerFit))
برای به دست آوردن تصاویر ماهواره‌ای در GEE کدگذاری بر اساس آنچه گفته شد، انجام می‌شود. این کدنویسی در ۱۳۴ خط نوشته شد و اطلاعات مورد نیاز استخراج گردید.

دمای سطح زمین و انتشار (MOD11)

سنجنده MODIS در ماهواره Terra قرار دارد و داده‌ها را در ۳۶ باند طیفی در ناحیه ۰/۴-۱۴/۴ میکرون طیف الکترومغناطیسی از سطح زمین جمع‌آوری می‌کند. MODIS 11 شامل دمای سطح و انتشار در



شکل ۳: تغییر دمای LST در شب برای شهر تهران و مناطق اطراف آن (راست) و نمودار تغییر دمای LST در شب برای شهر تهران (سمت چپ)
Fig. 3: Change of LST temperature at night for Tehran city and its surrounding areas (right) and chart of LST temperature change at night for Tehran city (left)

با استفاده از رگرسیون خطی و مدل linearFit می‌توان تغییرات جزایر حرارتی شهری را در یک دوره ۱۰ ساله برای تهران مشاهده کرد. خروجی رگرسیون خطی یا مدل linerFit دارای یک تصویر مقیاس و یک تصویر افست است. لازم به ذکر است که شدت تغییرات در بازه زمانی مورد نظر از طریق پارامتر مقیاس قابل بررسی است و افست عرض از مبدأ است. مشخصات این پارامترها به همراه کد EPSG به شرح زیر است:

0: "scale", double, EPSG: 4326, 3x2 px
1: "offset", double, EPSG: 4326, 3x2 px
بنابراین نقشه تغییر دما در واقع همان نقشه مقیاس است. تصویر مقیاس، تصویر Gain است که شدت تغییرات را به ما نشان می‌دهد. هرچه مقادیر عددی تصویر شیب خط به دست آمده بیشتر باشد، نشان‌دهنده این است که شدت تغییرات بیشتر بوده و روند افزایشی داشته است. مقادیر مثبت، یک روند افزایشی است، مقادیر منفی نشان‌دهنده روند کاهشی است.

یافته‌ها

تغییرات LST در شب

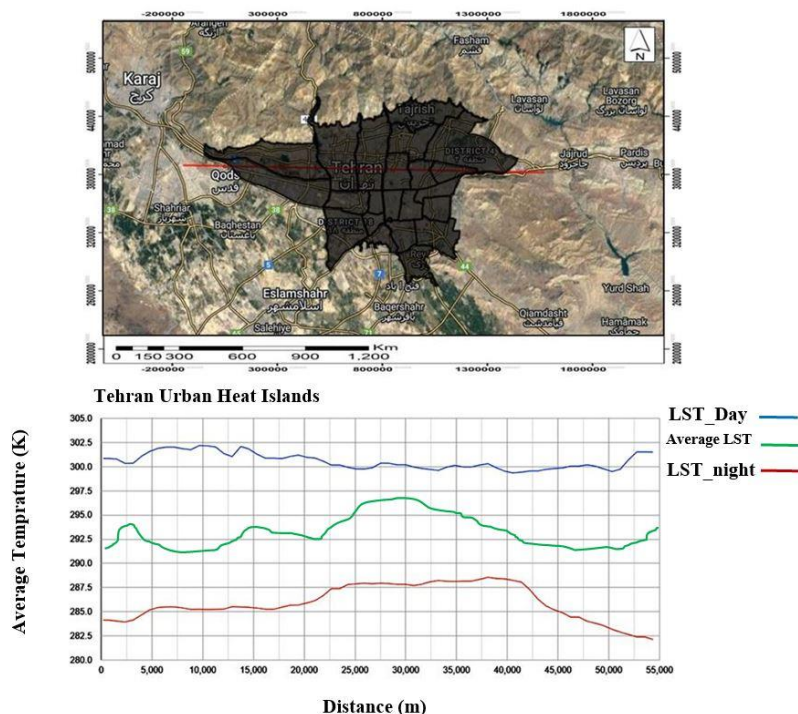
در شکل ۳، نمودار پایین شدت تغییرات را برای نقاط مختلف بر اساس باندهای حرارتی نشان می‌دهد. هر چه مقدار عددی شیب خط بیشتر باشد، نشان‌دهنده آن است که شدت تغییرات بیشتر بوده و روند افزایشی داشته است. در این نمودار، مقادیر مثبت نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی نشان‌دهنده روند کاهشی است. بر اساس آنچه در نمودار مشاهده می‌شود، کمترین مقادیر شیب خط در غرب و شرق تهران (در محدوده اطراف شهر) مشاهده می‌شود و مقادیر عددی برای شهر تهران بیشترین مقدار و مثبت‌ترین ارزش‌ها در مقایسه با محیط اطرافش را نشان می‌دهند؛ بنابراین اختلاف دمای شهر تهران با اطراف آن کاملاً مشخص است. این اختلاف دما باعث تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری در تهران می‌شوند.

برش عرضی LST در شب

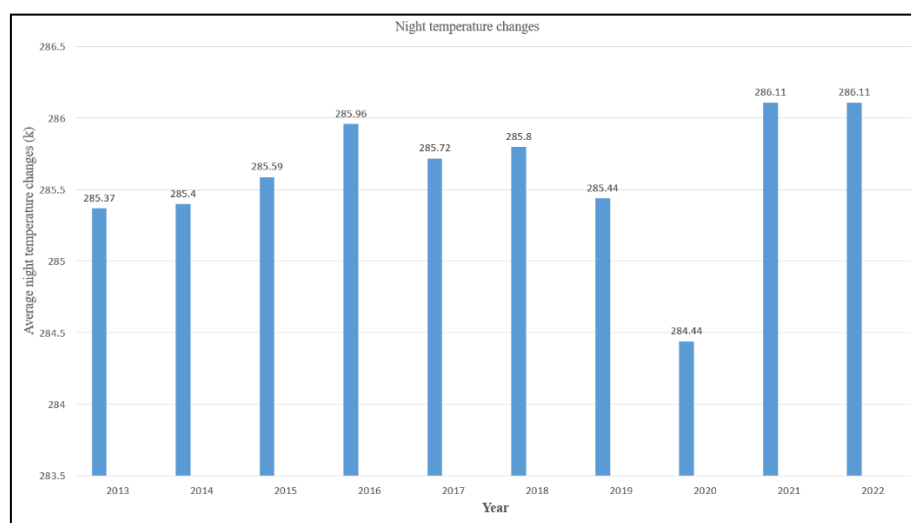
هدف از ایجاد برش عرضی LST نشان دادن روند تغییرات LST در شهر و مناطق اطراف آن است. در نتیجه برش عرضی از غرب به شرق شهر تهران با مختصات مشخص ترسیم شد. مختصات نقطه شروع در غرب تهران [51.043398, 35.736422] و مختصات نقطه پایان در شرق تهران

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، خط آبی مربوط به LST روز و خط قرمز مربوط به LST شب است. در خط برش عرضی روز اعداد بیشتر از خط برش عرضی شب می‌باشد، زیرا در طول روز تابش خورشید وجود دارد و انعکاس آن از سطوح مختلف، LST را بیش از واقعیت نشان می‌دهد، بنابراین جزایر حرارتی شهری در طول روز به خوبی دیده نمی‌شوند؛ اما در شب ما شاهد یک LST واقعی‌تری هستیم زیرا تابش خورشیدی وجود ندارد و انعکاس تابش خورشید از سطوح مختلف بسیار کم است. در نتیجه، در اینجا تغییرات برش عرضی LST در شب را نیز در نظر می‌گیریم. در این راستا، شکل ۵ میانگین تغییرات LST شبانه را نشان می‌دهد. اگر تغییرات را بررسی کنیم، تغییرات LST در سال ۲۰۲۰ کمترین مقدار (284/44 K) و بیشترین مقدار در سال ۲۰۲۲ (286/12 K) را دارند.

با توجه به هزینه‌های بسیار بالای خرید زمین در شهر تهران و همچنین مهاجرت بسیاری از ساکنان شمال تهران به مناطق جنوبی شهر و حتی شهرک‌های حاشیه‌ای تهران، روند توسعه زمین استفاده طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ رشد چشمگیری نداشته است [۳۴]. اختلاف دمای ۱/۶۸ درجه کلوین LST را می‌توان در گسترش هوای گرم و خشک در بسیاری از نقاط تهران به دلیل میانگین بالای مصرف انرژی، استفاده از سوخت‌های فسیلی ارزان، کاهش بارندگی سالانه و در نتیجه افزایش مشاهده کرد. در انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، میانگین روند تغییر LST شبانه تقریباً برابر بود. این در حالی است که این مقدار بالاتر از مقادیر بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ است. اگر از سال ۲۰۲۰ چشم‌پوشی کنیم، افزایش میانگین تغییرات LST شبانه از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ روندی افزایشی داشته است و بر این اساس می‌توان انتظار داشت که این میزان در سال‌های آینده بیشتر افزایش یابد. در نتیجه پدیده جزایر حرارتی شهری در تهران در سال‌های آینده افزایش خواهد یافت.



شکل ۴: میانگین برش عرضی LST در روز و شب برای شهر تهران
Fig. 4: Average cross-section of LST in day and night for Tehran city



شکل ۵: نمودار میانگین LST شبانه برای شهر تهران
Fig. 5: Average night LST diagram for Tehran city

تهران ضروری است. در شب، هیچ تأثیری از تابش خورشیدی اضافی روی داده‌ها وجود ندارد. در شکل ۶ شدت تغییرات دما با طیف رنگ‌های آبی، سفید، زرد و قرمز نشان داده شده است که طیف رنگ آبی کمترین دما و طیف رنگ قرمز بالاترین دما را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است بخش قابل توجهی از محدوده شهری تهران دارای طیف رنگی قرمز و مناطق اطراف و پوشش‌های آن دارای طیف رنگی زرد و آبی می‌باشد. این نشان‌دهنده تفاوت حرارتی شهر تهران با اطراف آن است که باعث شکل‌گیری و تشدید پدیده جزایر حرارتی شهری می‌شود.

میانگین LST در شب و پوشش زمین

در طول روز تفاوت دمایی زیادی بین دمای سطح شهر تهران و مناطق اطراف آن وجود ندارد. این مشکلی است که در بخش جزایر حرارتی شهری مناطق خشک وجود دارد. جزایر حرارتی شهری را نمی‌توان با استفاده از دمای سطح روز شناسایی کرد؛ زیرا در طول روز اثر تشعشعات خورشیدی اضافی وجود دارد و این باعث می‌شود که نتوانیم جزایر حرارتی شهری را دقیقاً بر اساس دما و شرایط حرارتی آن‌ها تشخیص دهیم [۳۳]. بر این اساس، استفاده از داده‌های دمای شبانه به تبع داده‌های دمای روز برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند

به یکی از قدیمی‌ترین مناطق آسیب‌دیده از این پدیده تبدیل شده است. ترافیک سنگین جاده‌ای و هوایی، حجم زیاد وسایل نقلیه عمومی و شخصی و همچنین انواع آلاینده‌های ناشی از آن‌ها از مهم‌ترین جنبه‌های منفی گسترش جزایر حرارتی شهری در این مناطق است. علاوه بر این مناطق می‌توان به منطقه ۱۲ (بازار مرکزی و هسته قدیم تهران)، منطقه ۱۳ (زمین‌های بایر اطراف فرودگاه دوشان تپه سابق و محوطه‌های سنگفرش اطراف آن) و مناطق جنوبی که در آن کارگاه‌ها و فعالیت‌هایی وجود دارد اشاره کرد. در برخی حوزه‌ها مانند منطقه ۱۲ اعمال قوانین و مقررات جدید مانند اصلاح قوانین راهنمایی و رانندگی و توسعه معابر پیاده از جمله اقداماتی است که در سال‌های اخیر برای کاهش تأثیر و پیشرفت انجام شده است. برخلاف مناطق مذکور، برخی از نقاط و مناطق شهر تهران به دلیل استفاده از پوشش گیاهی و افزایش این روند در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ دارای LST کمتری هستند که راه‌حل مناسبی برای کاهش اثرات نامطلوب جزایر حرارتی شهری می‌باشد.

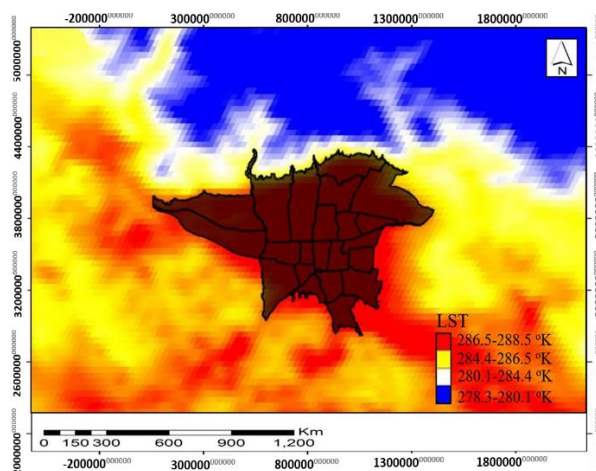
میانگین LST شبانه

پارامتر شبانه LST یکی از مهم‌ترین پارامترها برای شناسایی شرایط آب و هوایی و محیطی هر منطقه محسوب می‌شود. امروزه با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی می‌توان نقشه‌های LST را بدون تماس فیزیکی با اشیاء یا سطوح تهیه کرد [۴۹ و ۲۵ و ۳۳]. دانستن توزیع مکانی-زمانی LST برای تعیین تعادل انرژی زمین، مطالعات هواشناسی و تبخیر و تعرق ضروری است. LST به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، انتشار سطح، رطوبت و جریان اتمسفر بستگی دارد زیرا تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است. در این مرحله با استفاده از نقشه فایل Shape مناطق ۲۲ گانه تهران، روند تغییرات دمایی هر منطقه در سال‌های موردنظر بر اساس LST شبانه تعیین شد.

همان‌طور که در نقشه شکل ۷ نشان داده شده است، منطقه ۱ دارای بیشترین میانگین تغییرات دمایی LST شبانه و مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ کمترین میانگین دما را دارند. این تغییرات دما به صورت گرافیکی در شکل‌های ۸ و ۹ برای مناطق مشخص شده بیان شده است.

بر اساس آنچه که در شکل ۸ ارائه شده است و همچنین نقشه و نمودارهای تغییرات میانگین LST شبانه، می‌توان گفت که شمال، شمال شرق، شمال غرب و بخش‌هایی از جنوب در معرض افزایش شکل‌گیری و تشدید جزایر حرارتی شهری و نواحی مرکزی شهرها کمتر تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری قرار می‌گیرند. افزایش پدیده جزایر حرارتی شهری در مناطق اطراف مرکز تهران در حال گسترش است و این امر می‌تواند در آینده تغییرات زیادی را در مناطق مرکزی تهران ایجاد کند.

در شکل ۹، در نمودارهای مربوط به منطقه ۱، نقطه پرت بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ رخ داده است. همچنین نقاط پرت در مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ ایجاد شده است. در این مکان‌ها، کمترین دمایی شبانه مربوط به LST رخ داده است. بر اساس اطلاعات اعلام شده از سوی اداره کل



شکل ۶: شدت تغییرات LST شبانه برای ارزیابی UHI ها
Fig. 6: Intensity of nighttime LST changes to evaluate UHIs

با توجه به نقشه LST تهیه شده و همچنین نمودار برش عرضی نشان داده شده در شکل ۴، دمای شهر تهران در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ روند افزایشی را طی کرده است، به طوری که تمامی مناطق شهری در معرض اثرات نامطلوب جزایر حرارتی شهری قرار دارند. بر اساس این نقشه، LST بین ۲۸۶.۵ تا ۲۸۸.۵ درجه کلوین متغیر بود. این اختلاف ۲ درجه میانگین دمایی است که در بازه زمانی در نظر گرفته شده برای شهر تهران رخ داده است. برای روشن شدن رابطه بین LST و پوشش زمین، می‌توان گفت که کمترین دما مربوط به بدنه‌های آبی و مناطق سرپوشیده طبیعی مانند فضاهای سبز، پارک‌های جنگلی و پارک‌های شهری است، در حالی که حداکثر دما در زمین‌های بایر، سطوح غیرقابل نفوذ مانند مناطق سنگفرش، پوشش‌های ساخته شده و همچنین کاربری‌های صنعتی، تجاری، مسکونی و حمل‌ونقل به ثبت رسیده است.

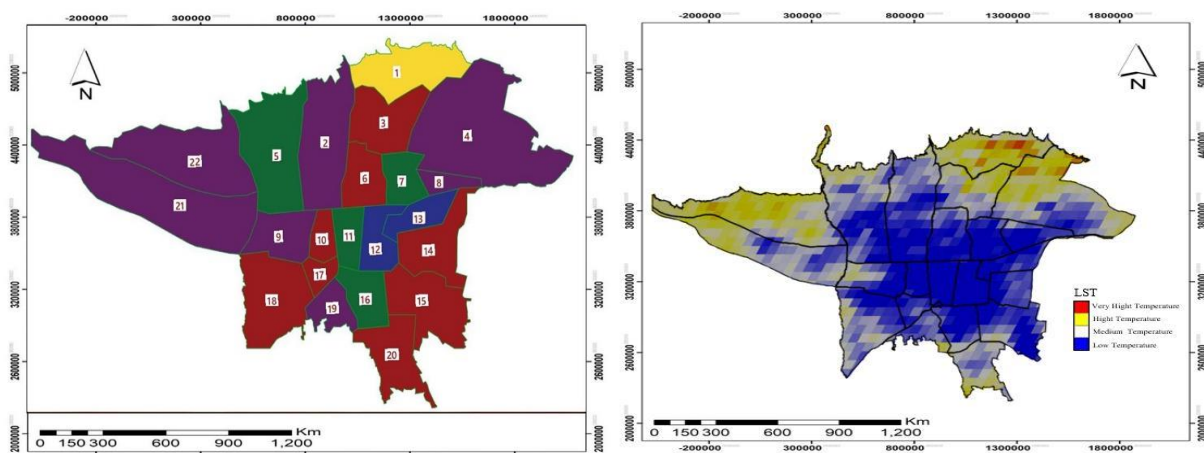
به طور کلی، مناطق عمدتاً تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری عمدتاً در چهار مکان مختلف در منطقه مورد مطالعه از جمله کاربری‌های مختلف قرار دارند. یکی از مناطق آسیب‌دیده منطقه ۲۱ تهران است که اکثریت قریب به اتفاق کارخانه‌ها، کارگاه‌های صنعتی، انبارها و سایر کاربری‌های مرتبط را به عنوان زنجیره‌ای از فعالیت‌های صنعتی در خود جای داده است. به عبارت دیگر بیشتر منطقه را مصارف صنعتی و پوشش‌های دست‌ساز اشغال کرده‌اند. دومین منطقه‌ای که بیشتر تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری قرار گرفته است، منطقه ۱ است. این عمدتاً به دلیل وجود بافته‌ای قدیمی و جدید در کنار یکدیگر با اختلاف ارتفاع ناهموار و همچنین استفاده بیش از حد از مواد غیرقابل نفوذ بدنه ساختمان‌ها و کف جاده‌ها است. سومین منطقه مهم متأثر از جزایر حرارتی شهری در شمال و شمال غرب منطقه ۲۲ و شمال منطقه ۱۹ به دلیل گسترش زمین‌های بایر در منطقه است. قسمت چهارم شهر که دستخوش تغییرات حرارتی شده و طبق روند ده ساله مورد مطالعه در آینده رو به افزایش است، مناطق ۹، ۱۸ و ۲۰ هستند. به دلیل نزدیکی این مناطق به فرودگاه بین‌المللی مهرآباد، پایانه‌های حمل‌ونقل مسافر و دروازه تهران از غرب،

از ترافیک و در نتیجه انتشار آلاینده‌های خطرناک زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین عواملی است که سلامت ساکنان شهری را تهدید می‌کند و خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی - عروقی را افزایش می‌دهد. به دلیل گسترش سطوح غیرقابل نفوذ و مصنوعی بر اثر از بین رفتن پوشش طبیعی زمین، به‌ویژه پوشش گیاهی، مشکلات عمده‌ای در فرآیند تصفیه آلاینده‌ها در مناطق شهری ایجاد شده است [۵۰ و ۵۱]؛ بنابراین یکی از دلایل مهم افزایش LST در مناطق شهری در سال‌های اخیر استفاده بی‌رویه از سازه‌های مختلف، گسترش مواد غیرطبیعی و نفوذناپذیر برای توسعه ساختمان‌ها بوده است. این افزایش منجر به جذب بیشتر انرژی خورشیدی و در نتیجه افزایش دمای مناطق شهری شده است [۵۲ و ۴۱].

هواشناسی شهر تهران، طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ در شهر تهران در ماه‌های بهار نسبت به سایر ماه‌های سال روند افزایشی وزش باد وجود داشته است. بر این اساس افزایش باد باعث کاهش دمای شبانه LST شده است

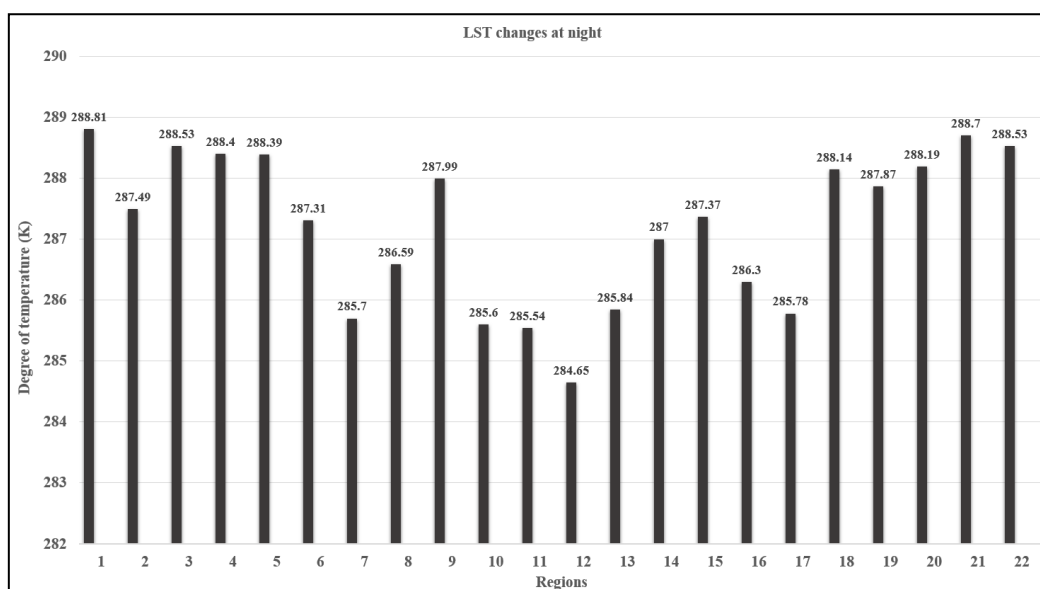
LST شب و تراکم جمعیت

بر اساس نقشه‌های شبانه LST در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، الگوی دمایی در این مناطق، ماهیت متفاوتی را برای شکل‌گیری و تشدید جزایر حرارتی شهری نشان می‌دهند [۴۱ و ۵۰]. شکل‌گیری این پدیده در مجاورت مناطق متراکم مسکونی و تجاری همراه با آلودگی هوا ناشی



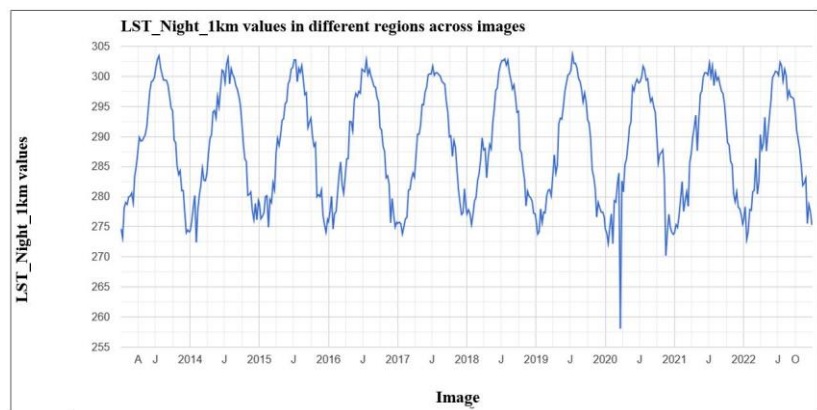
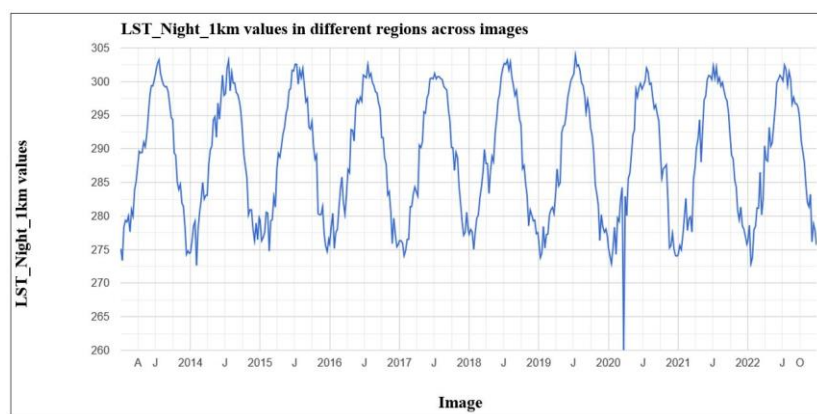
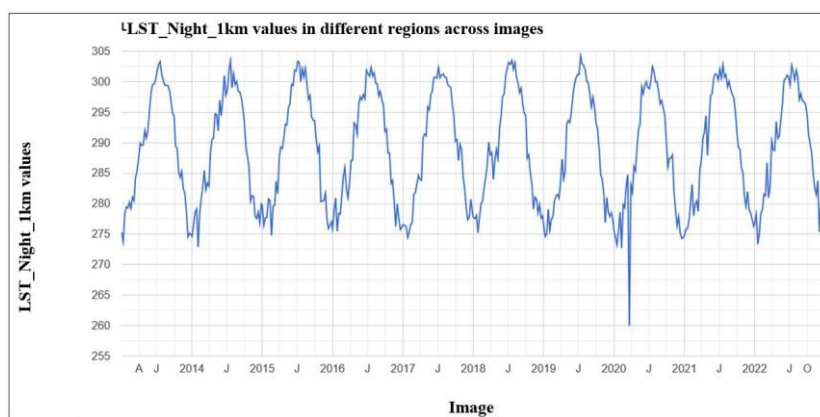
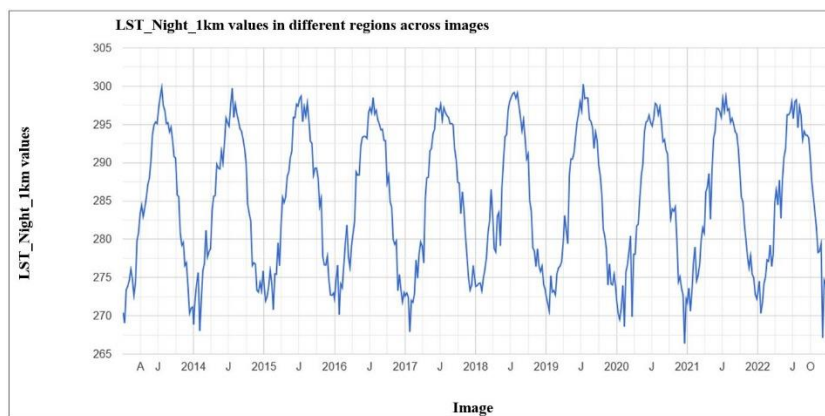
شکل ۷: موقعیت جغرافیایی مناطق ۲۲ گانه شهر تهران (چپ) و میانگین LST شبانه (راست) در آن‌ها

Fig. 7: Geographical location of 22 districts of Tehran (left) and average night LST (right) in them



شکل ۸: نمودار تغییرات میانگین LST شبانه در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

Fig. 8: Chart of changes in the average night LST in 22 regions of Tehran

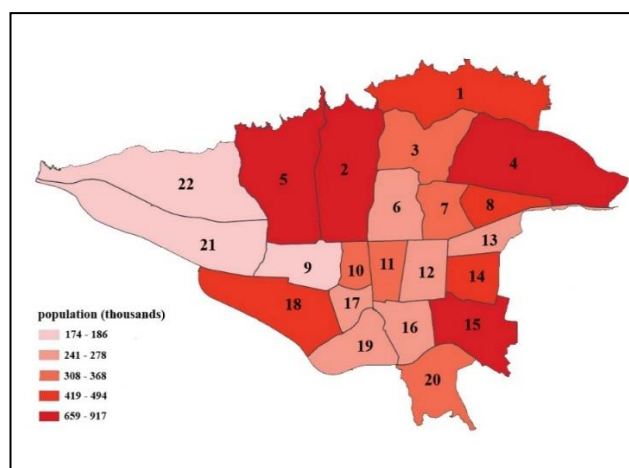


شکل ۹: میانگین تغییرات LST شبانه در مناطق ۱، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ تهران
 Fig. 9: Average changes of night LST in areas 1, 10, 11 and 12 of Tehran

[۵۳ و ۵۴]. پوشش گیاهی می‌تواند دمای سطح زمین را از طریق فرآیند تبخیر و تعرق کاهش داده و تنظیم کند [۵۵ و ۵۶]. فرآیند تبخیر و تعرق می‌تواند دمای هوا را بین ۱ تا ۵ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد [۵۷ و ۵۸]. به‌طور کلی مناطق با پوشش گیاهی مناسب و پوشش گیاهی بالا باید دمای سطحی بسیار پایین‌تری نسبت به مناطق با پوشش گیاهی کمتر داشته باشند.

برعکس، LST در مناطقی با پوشش گیاهی کم افزایش می‌یابد. باین‌حال، همبستگی منفی بین سطح پوشش گیاهی و LST ممکن است تحت تأثیر عواملی مانند رطوبت خاک و وضعیت تبخیر و تعرق باشد. باین‌حال نقش پوشش گیاهی و تأثیر آن بر کاهش دمای هوا و سطح اغلب غیرقابل انکار است [۵۹ و ۶۰]. نقشه‌های LST به‌دست‌آمده با استفاده از فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند علاوه بر نمایش دما در کلاس‌های مختلف، توزیع فضایی جزایر حرارتی شهری را در مناطق مختلف نشان دهند. در شکل ۱۲، منطقه تحت پوشش فضای سبز در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران به‌صورت آماری نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۳ مساحت و تعداد فضاهای سبز شهر تهران نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشخص است، مناطق ۲ و ۵ دارای مساحت درختان و جنگل کاری معیار بیشتر نسبت به سایر مناطق شهر تهران هستند. همچنین مناطق ۴، ۱ و ۲۲ دارای تعداد و مساحت پارک‌ها و فضای سبز بیشتری نسبت به مناطق دیگر شهر تهران هستند. بر اساس یافته‌های پژوهش، وجود فضای سبز و پوشش گیاهی در کاهش تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری نقش بسزایی دارند که نتیجه آن کاهش LST در این مناطق است. از سویی دیگر بر اساس یافته‌های پژوهش در برخی از مناطق ۲، ۵، ۴، ۱ و ۲۲ که دارای بیشترین پوشش گیاهی و فضای سبز بین مناطق ۲۲ گانه شهر تهران هستند، بالاتری نسبت به سایر مناطق گزارش شده است و در نتیجه پدیده جزایر حرارتی شهری در این مناطق بیشتر رخ می‌دهد. علت این امر را باید در عواملی به‌غیر از پوشش گیاهی و فضای سبز دانست. به‌طور کلی بر اساس یافته‌های پژوهش و همچنین شکل ۱۳، مناطق با کمترین پوشش گیاهی عمدتاً در قسمت مرکزی و مناطق ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ و مناطق با پوشش گیاهی فراوان در مناطق ۱، ۴، ۵، ۱۳، ۱۵، ۲۱ و ۲۲ قرار گرفته‌اند.

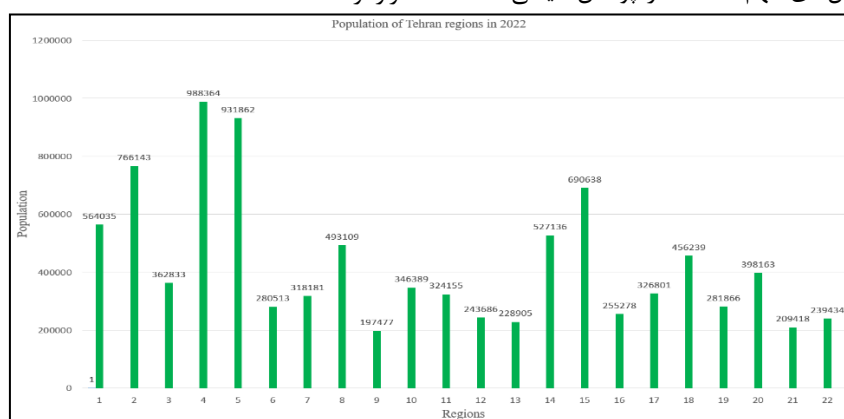
بر اساس سرشماری نفوس مناطق مختلف تهران در سال ۱۳۹۱، همان‌طور که در نمودارهای ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ که کمترین تغییرات LST در آن‌ها رخ داده است، کمترین تراکم جمعیت را در بین مناطق ۲۲ گانه تهران دارند. با توجه به شرایط طبقات مختلف پوشش زمین و تراکم پایین جمعیت در این مناطق طبیعی، به نظر می‌رسد شکل‌گیری پدیده جزایر حرارتی شهری در این مناطق عمدتاً ناشی از کاربری‌های صنعتی، حمل‌ونقلی، تجاری و همچنین وجود زمین‌های بایر است. نقشه LST شبانه و پراکندگی تراکم جمعیت در مناطق مختلف تهران، مناطقی با دمای بالا در مناطق ۱، ۳، ۴، ۲۱ و ۲۲ را نشان می‌دهد که با تراکم جمعیتی بالایی مواجه هستند. مناطق ۲، ۵، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ تهران به دلیل تراکم نسبتاً بالای تراکم جمعیت و ساختمان‌ها، حجم بالای ترافیک، آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل و نزدیکی به فرودگاه‌ها، این مناطق را در معرض خطر ظهور و گسترش جزایر حرارتی شهری قرار داده است.



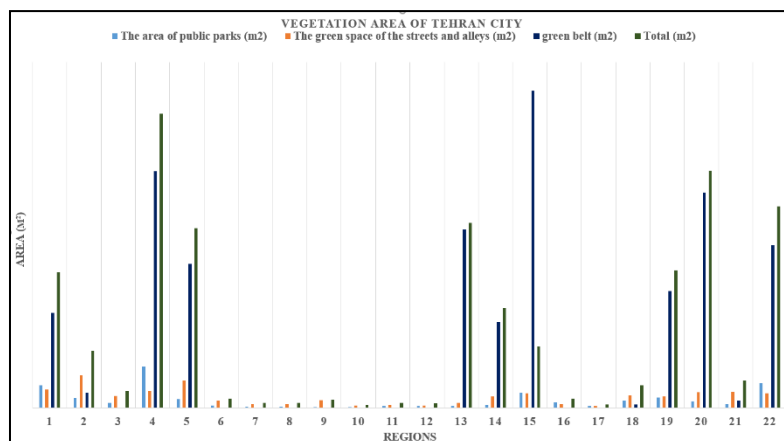
شکل ۱۰: توزیع فضایی تراکم جمعیت در شهر تهران منبع: [۳۵]
Fig. 10: Spatial distribution of population density in Tehran. Source: [35]

LST شب و سطح پوشش گیاهی

در بسیاری از مطالعات انجام‌شده بر روی پدیده جزایر حرارتی شهری، راهکارهایی برای کاهش اثرات نامطلوب این پدیده بیان شده است. به‌عنوان مثال، یکی از راه‌حل‌های مهم استفاده از پوشش گیاهی است

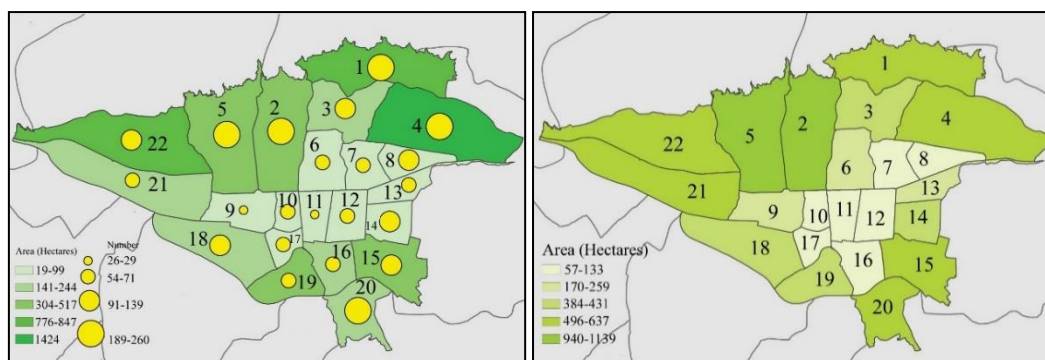


شکل ۱۱: تراکم جمعیت مناطق ۲۲ گانه تهران منبع: [۳۵]
Fig. 11: Population density of 22 districts of Tehran Source: [35]



شکل ۱۲: سطح پوشش گیاهی در مناطق ۲۲ گانه تهران منبع: [۳۵]

Fig. 12: Vegetation level in 22 districts of Tehran Source: [35]



شکل ۱۳: مساحت درختان و جنگل کاری معابر به تفکیک مناطق تهران (سمت راست) و تعداد و مساحت پارک‌ها و فضای سبز به تفکیک مناطق تهران (سمت چپ) منبع: [۳۵]
Fig. 13: The area of trees and afforestation of roads by the regions of Tehran (right) and the number and area of parks and green spaces by the regions of Tehran (left)
Source: [35]

وسعت شهر تهران و شدت جزایر حرارتی شهری رابطه معقولی وجود دارد، همچنین آن‌ها نشان دادند که پایداری مناطق تهران به دلیل توزیع نامناسب کاربری‌ها و در نتیجه افزایش LST به شدت کاهش می‌یابد. بر اساس یافته‌های پژوهش، کاربردهایی که در افزایش LST و در نتیجه تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری شهر تهران بسیار مؤثر هستند به چهار دسته تقسیم می‌شوند. این کاربری‌ها شامل اراضی صنعتی، مسکونی، فرودگاهی و بایر هستند. بوکای و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهش خود دریافتند که افزایش کاربری‌ها و توزیع نامتناسب آن‌ها در شهر، دمای هوا را به طور متوسط ۹/۴ درجه سانتی‌گراد در هر منطقه شهری افزایش می‌دهد. آن‌ها دریافتند که فضاهای مسکونی متراکم بیشترین تأثیر را در بین کاربری‌های ذکر شده دارند، به طوری که فشردگی فضاهای مسکونی باعث کاهش حرکت باد در فضای شهری و در نتیجه افزایش LST و جزایر حرارتی شهری می‌شود.

طبق آمار شهر تهران در سال ۱۴۰۱، کاربری‌های مناطق ۲۲ گانه شهر تهران شامل فضاهای مسکونی، آموزشی، صنعتی، فرهنگی و خدماتی است. همان‌طور که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، هر منطقه با بیشترین درصد کاربری صنعتی، مسکونی، فرودگاهی و زمین بایر شناسایی شده است.

این آمار نشان می‌دهد که جزایر حرارتی شهری باید در مناطق ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲، بیشتر از مناطق ۱، ۳، ۵، ۱۳، ۲۱ و ۲۲ رخ دهند، اما طبق نقشه‌های LST در دست این نیست. برای حل چنین تناقضی، دلایل تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری را باید در شاخصی غیر از سطح پوشش گیاهی جستجو کرد. اگر بخواهیم یک رابطه متناسب با LST بر اساس سطح پوشش گیاهی برقرار کنیم، می‌توانیم مناطق ۱، ۴، ۵، ۱۳، ۱۵، ۲۱ و ۲۲ را با یکدیگر اندازه‌گیری کنیم زیرا سطح پوشش گیاهی تقریباً برابری دارند. در این پژوهش منطقه ۱ به دلیل اینکه پوشش گیاهی کمتری نسبت به سایر مناطق دارد، دارای LST بالاتری بوده و پدیده جزایر حرارتی شهری در آن بیشتر رخ می‌دهد. در بین مناطق ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ دارای LST کمتر با پوشش تقریباً برابر و کمتر نسبت به اکثر مناطق دیگر هستند و پدیده جزایر حرارتی شهری در آن‌ها کمتر اتفاق می‌افتد.

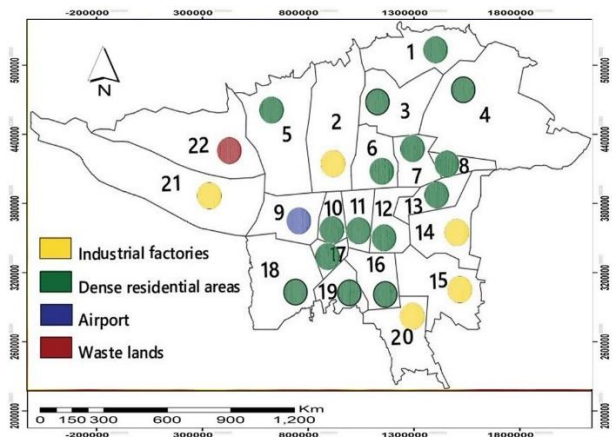
LST شب و کاربری زمین

مرتضوی عسل و همکاران (۲۰۲۲)، در تحقیقات خود دریافتند که تنوع کاربری‌ها و توسعه صحیح و بدون برنامه‌ریزی شهر تهران، در شکل‌گیری و تشدید جزایر حرارتی شهری مؤثر است. آن‌ها بیان کردند که تراکم فضایی مرکز شهر با افزایش وسعت شهر افزایش یافته است؛ بنابراین بین

و غرب منطقه مورد مطالعه است. بر اساس جزایر حرارتی شهری شهر تهران در سال ۱۴۰۱، این شهر با جمعیتی بالغ بر ۹ میلیون و ۴۳۰ هزار و ۶۲۵ نفر، با اختلاف جمعیتی جدی نسبت به سایر شهرها، رتبه اول پرجمعیت‌ترین شهر ایران را به خود اختصاص داده است. این شهر مانند دهه‌های گذشته به دلیل گسترش و تمرکز امکانات، نرخ درآمد چشمگیر و همچنین تمرکز فرصت‌های شغلی و سایر خدمات شهری همچنان انتخاب اول بسیاری از مهاجران است. این نتایج با نتایج پژوهش‌های شمس الدینی و مددی ورزخانی (۱۳۹۸)، نادری زاده شورابه و همکاران (۱۳۹۸)، ثناگر درباری و همکاران (۱۴۰۰) و افشارمنش و همکاران (۱۴۰۰) مطابقت دارند.

منطقه ۲۲ در شمال غرب تهران که میزبان یکی از مهم‌ترین پارک‌های گیاه‌شناسی و پارک‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه است به همراه منطقه ۲۱ همواره مورد توجه مدیران شهری به‌عنوان مناطق خوش آب‌وهوای تهران بوده است به‌طوری‌که در به دنبال رشد سریع جمعیت شهر به دلیل مهاجرت‌های بی‌رویه، این مناطق به‌عنوان یکی از گزینه‌های ممکن برای ساخت‌وسازهای جدید در شهر به‌منظور تأمین و گسترش مسکن برای ساکنین جدید مطرح شدند. بر این اساس شهرک‌های مسکونی بسیاری ایجاد شده و یا در شرف تکمیل است. با توجه به نقشه‌های روند برش عرضی LST و میانگین روند تغییرات LST و همچنین تحلیل وضعیت جمعیت این مناطق و گستردگی آن‌ها نسبت به سایر مناطق تهران، حاکی از آن است که مناطق تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری عمدتاً زمین‌های بایر هستند. برخلاف هسته‌های حرارتی مورد بحث در مجاورت مناطق صنعتی، پایانه‌های حمل‌ونقل و مناطق مسکونی و تجاری متراکم، ظهور و توسعه جزایر حرارتی شهری شهر تهران در مناطق ۲۱ و به‌ویژه ۲۲ تحت تأثیر تغییرات متفاوت دمای خاک زمین‌های بایر نسبت به محیط اطراف است. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های نصرالله و همکاران (۱۳۹۷) و هاوکیز و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت اما با پژوهش وانگ و یو (۲۰۰۵) مطابقت نداشت. این پژوهشگران بیشترین عامل تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری را در کلان شهرها افزایش تراکم جمعیت و حمل و نقل می‌دانند.

این امر می‌تواند نشان‌دهنده این واقعیت باشد که عدم وجود پوشش‌های طبیعی یا حتی خاص در یک منطقه می‌تواند به پیدایش و توسعه جزایر حرارتی شهری کمک کند. توسعه روزافزون فرآیندهای ساخت‌وساز در مناطق ۲۱ و ۲۲ شمال غرب تهران و استفاده از مصالح ساختمانی مختلف از جمله سیمان، بتن و آجر سفالی بر شدت و گستردگی مناطق آسیب‌دیده از پدیده جزایر حرارتی شهری افزوده است. همچنین در مناطق ۱ و ۴ شمال شرق تهران با توجه به قدمت تاریخی و وجود سازه‌های قدیمی و جدید در کنار هم و همچنین امکانات اجتماعی و فرهنگی این مناطق از نظر توسعه اراضی مسکونی، روند جزایر حرارتی شهری در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است. علاوه بر دلایل بیان شده برای مناطق ۲۱ و ۲۲، تراکم ساختمانی و جمعیت را نیز می‌توان به عوامل تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری در این مناطق می‌توان اضافه کرد.



شکل ۱۴: بیشترین توزیع کاربری‌ها در مناطق ۲۲ گانه تهران منبع: [۳۵]

Fig. 14: The most distribution of uses in the 22 districts of Tehran Source: [35]

البته باید گفت مناطقی مانند ۲۲ و ۴ نیز دارای کارگاه‌های صنعتی و زمین‌های بایر زیادی هستند. همچنین مناطق ۹، ۱۴ و ۱۵ نیز دارای تراکم ساختمان‌های مسکونی هستند [۳۵].

بحث

یکی از مهم‌ترین عوامل در شکل‌گیری و تشدید جزایر حرارتی شهر تهران، چگونگی نحوه توسعه زمین است. اگر این توسعه با الگوهای برنامه‌ریزی مناسب انجام نشود، منجر به شکل‌گیری اشکال مختلف جزایر حرارتی شهری تهران می‌شود. با توجه به اینکه مناطق متراکم ساخته‌شده معمولاً گرم‌تر از محیط اطراف هستند، مراکز جمعیتی چندهسته‌ای در شهرها می‌توانند منجر به جزایر حرارتی شهری متعدد در تهران شوند یا می‌توانند جزایر حرارتی شهری تهران را به‌عنوان جزایر چندهسته‌ای نشان دهند. همان‌طور که در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است، منطقه مورد مطالعه از نظر عوامل ایجادکننده با انواع جزایر حرارتی شهری شهر تهران مواجه است. تنها علت مشترک همه آن‌ها دمای بسیار بالای این زمین‌ها نسبت به محیط اطرافشان می‌باشد. بررسی و مقایسه نقشه‌های LST در شب و روز برای بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ در شکل ۴ تفاوت معنی‌داری را در ماهیت مناطق تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری شهر تهران نشان داد. این نتیجه با نتایج تحقیق ژانگ و هی (۲۰۱۹)، المرکابی و همکاران (۲۰۲۰)، اسدی و همکاران (۲۰۲۱)، روشن و همکاران (۲۰۲۱)، عابدینی و همکاران (۲۰۲۲) و عربی علی آباد (۲۰۲۲) مطابقت دارند.

مهم‌ترین مناطق شهر تهران که به‌عنوان هسته‌های حرارتی و مناطق متأثر از جزایر حرارتی شهری شهر تهران شناخته می‌شوند، مناطق مجاور شهرک‌ها و کارخانه‌های صنعتی (منطقه ۲۱ و ۲۲)، سازه‌های مسکونی و تجاری متراکم با بافت پیچیده قدیمی و جدید (منطقه ۱ و ۴) یا مناطق اطراف فرودگاه و پایانه‌های اصلی حمل‌ونقل (منطقه‌های ۹، ۱۸ و ۱۹) هستند. نقشه‌های میانگین تغییرات LST در شب در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران حاکی از استقرار هسته‌های جزایر حرارتی شهری شهر تهران در مناطق با طبقه کاربری اراضی بایر به‌ویژه در شمال شرق

پژوهش، بین میانگین LST و میانگین سطح گیاهی رابطه معکوس وجود دارد. به عنوان مثال در پژوهشی که طیبی و جنرت (۲۰۱۶) برای شهر لس آنجلس کالیفرنیا انجام دادند، این رابطه را ثابت کردند. آن‌ها این مطالعه را همراه با در نظر گرفتن بیابان اطراف شهر لس آنجلس، کالیفرنیا انجام دادند. ما در این پژوهش منطقه خارج از شهر را در نظر نگرفتیم. چنین تحلیلی نشان می‌دهد که سطح گیاهی در کلان شهر تهران در کاهش میانگین LST در فضا مؤثرتر از منطقه شهری لس آنجلس، کالیفرنیا است؛ بنابراین الگوی LST از نظر مکانی و زمانی با توزیع پوشش زمین همبستگی دارد. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های طیبی و همکاران (۱۳۹۷) و شفیع زاده مقدم و همکاران (۱۳۹۹) همسو بود.

نتیجه‌گیری

شکل‌گیری و گسترش جزایر حرارتی شهری تحت تأثیر عوامل مختلف رخ می‌دهد. بسته به شرایط و عواملی که جزایر حرارتی شهری در آن شکل گرفته و گسترش می‌یابند، می‌توان راهکارهایی برای کاهش ابعاد آن‌ها و در نهایت حذف آن‌ها ارائه نمود. بر اساس نتایج، عوامل متعددی در توسعه جزایر حرارتی شهری در منطقه مورد مطالعه نقش دارند. کارخانه‌های صنعتی، فرودگاه‌ها، زمین‌های بایر و مناطق مسکونی متراکم بیشترین کاربری‌هایی هستند که تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری قرار می‌گیرند. علاوه بر این، تراکم جمعیت در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه بیانگر تأثیر فعالیت‌های انسانی بر مصرف انرژی و تشدید جزایر حرارتی شهری است. LST شبانه در بازه زمانی مورد نظر برای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران نشان داد که رابطه کاربری اراضی و توسعه آن با گسترش جزایر حرارتی شهری مطابقت کامل دارد، به‌گونه‌ای که در مناطقی که LST رو به افزایش بوده است، پدیده جزایر حرارتی شهری ناشی از وجود زمین‌های بایر و تراکم جمعیت و تراکم ساختمانی بالا با کاربری‌های متنوع، شدت بیشتری یافته است. این مناطق با میانگین LST، $14/5$ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین مکان‌ها هستند. این امر نشان‌دهنده تأثیر پوشش مصنوعی و عدم برنامه‌ریزی صحیح در توسعه کاربری اراضی است.

بر اساس یافته‌های تحقیق، بین میانگین LST و میانگین سطح گیاهی رابطه معکوس وجود دارد؛ بنابراین الگوی LST از نظر مکانی و زمانی با توزیع پوشش زمین همبستگی دارد. مهاجرت جمعیت از سایر شهرها به مناطق شهری تهران که به سرعت در حال رشد است، افزایش تراکم جمعیت شهر را در پی داشته است. همچنین تغییرات موادی که سطح زمین را می‌پوشاند بر جذب انرژی خورشیدی تأثیر می‌گذارد. همچنین اختلاف ارتفاع عمده‌ای بین قسمت‌های شمالی و جنوبی تهران وجود دارد که تأثیر بسزایی در ویژگی‌های فضاهای شهری تهران دارد. سرعت باد نیز نقش مهمی در کنترل تشکیل LST ایفا می‌کند. در تهران، بادهای محلی اغلب به‌اندازه کافی قوی نیستند که هوا را در مناطق بزرگ ساخته‌شده به گردش درآورند، اما مشکل اینجاست که بادهای اصلی از

در نقشه تغییرات میانگین شبانه LST، منطقه ۵ در شمال تهران نیز در سال‌های اخیر تغییرات حرارتی عمده‌ای را تجربه کرده است به‌طوری‌که پس از مناطق ۱، ۲، ۳، ۲۱ و ۲۲ شاهد جزایر حرارتی شهری بوده است. اگرچه این منطقه سردسیر و کوهستانی قرار گرفته است و به دلیل وجود رشته‌کوه البرز دارای پوشش گیاهی متنوع است، اما افزایش پدیده جزایر حرارتی شهری در این منطقه را می‌توان به توسعه بی‌رویه کاربری‌های زمین و همچنین تفاوت ارتفاع بین ساختارهای فیزیکی معماری ساختمان‌ها برای جلوگیری از گردش باد در این منطقه نسبت داد. از سویی دیگر با توجه به نقشه‌های میانگین تغییرات LST در شب در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در مرکز تهران نسبت به سایر مناطق در بازه زمانی در نظر گرفته‌شده تغییرات حرارتی کمتری داشته‌اند. اگرچه ساخت‌وساز و تراکم جمعیت به همراه آلودگی در شهر باعث افزایش شکل‌گیری و تشدید پدیده جزایر حرارتی شهری در این مناطق می‌شود، اما به دلیل ساختار تقریباً ثابت کاربری اراضی در این مناطق، تغییرات حرارتی کمتری را شاهد هستیم.

رابطه منفی بین وضعیت پوشش گیاهی و تغییرات LST در منطقه مورد مطالعه نیز بر گسترش پوشش گیاهی به‌عنوان راهی برای مقابله با ظهور و تشدید جزایر حرارتی شهری می‌باشد. با مقایسه مساحت پوشش گیاهی، تراکم جمعیت و میانگین تغییرات LST در شب می‌توان ادعا کرد که برخی از مناطق مانند مناطق ۱۳، ۱۰، ۱۱، ۷ و ۸ به دلیل تراکم بالای مناطق مسکونی، تجاری و کمبود پوشش گیاهی کافی در آن‌ها در خطر تبدیل شدن به هسته‌های جدید جزایر حرارتی شهری در آینده هستند.

تأثیر تغییر کاربری اراضی بر تغییرات LST در منطقه ۲۰ جنوب تهران نیز مشهود است اما عوامل مؤثر بر پیدایش و توسعه جزایر حرارتی شهری در این منطقه صنعتی با دیگر هسته‌های حرارتی شهر متفاوت است. برخلاف مناطق ۱۹ و ۲۱ که پیدایش جزایر حرارتی شهری به دلیل وجود زمین‌های بایر یا برخی از نقاط مرکزی شهر تهران است، پیدایش جزایر حرارتی شهری در منطقه ۲۰ را به تراکم بالا و سطوح غیرقابل نفوذ مصالح ساختمانی مصنوعی، وجود زنجیره طولانی کاربری‌های صنعتی، کارگاهی و انبار، وضعیت نامناسب کاربری اراضی و پوشش گیاهی نسبت داد. به‌عبارت دیگر، احداث شهرک‌های صنعتی، کارخانه‌ها و کارگاه‌های کوچک و همچنین تبدیل بخش زیادی از پوشش گیاهی طبیعی، زمینه پیدایش و گسترش جزایر حرارتی شهری را در این منطقه فراهم کرده است. امروزه انتشار گازهای گلخانه‌ای از این مصارف صنعتی یکی از عوامل مؤثر بر اختلاف دمای زنجیره صنعتی و محیط اطراف و همچنین دوام جزایر حرارتی شهری می‌باشد.

این مطالعه، با مقایسه تغییرات دما طی یک دوره ده ساله در مقیاس کل شهر و تحلیل عوامل مؤثر بر آن تحقیق جامعی را ارائه می‌کند. تحلیل مکانی و زمانی بلندمدت گرمای شهری در کلان شهرها می‌تواند به عنوان مرجعی برای اطلاع تصمیم‌گیرندگان برای برنامه‌ریزی بهتر برای کاهش و کنترل تغییرات گرمای شهری باشد. بر اساس یافته‌های

[4] Oke T.R. Boundary Layer Climates; Routledge: London, UK; (1987).

[5] Rose A, Devadas M. D. Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery-a case in Chennai city, India. In The seventh international conference on urban climate. 2009 July 11-14: Dehli, India.

[6] Pour Amin K, Khatami M, Shamsaldini A . [Factors affecting the formation of urban heat islands; Emphasizing the characteristics and challenges of urban design]. Urban Design Discourse. 2008; 1(1). 1-25. [In Persian]

[7] Wong M. S, Nichol J. E. Spatial variability of frontal area index and its relationship with urban heat island intensity. *International journal of remote sensing*. 2013; 34(3). 885-896. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.714509>

[8] Mirzaei P. A. Recent Challenges in Modelling of Urban Heat Island. *Sustainable Cities and Society*. 2015. 19, 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>

[9] Zaynar A, Alizadeh H, Mohammadi S, Sabouri S. Analysis of urban form typology using urban heat island indicators: Case study of Ferdous neighborhood of Tabriz. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2023; Volume 10. 2022. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1065538>

[10] Mirzaei P. A., Haghighat F, Nakhaie A. A., Yagouti A, Giguère M, Keusseyan R, Coman A. Indoor thermal condition in urban heat Island-Development of a predictive tool. *Building and environment*. 2012; 57. 7-17. DOI:10.1016/j.buildenv.2012.03.018

[11] Bakhshi A, Rasouli H, Rahimi N. [Investigating the role of urban growth pattern in creating thermal islands in cities (case example: Sari city)]. *Urban Environment Planning and Development*. 2022; 2(6). 77-94. [In Persian] DOI: 10.30495/juepd.2022.689336

[12] Hoverter S. P. Adapting to urban heat: a tool kit for local governments. *Georgetown Climate Center*. 2012; 2(8).

[13] Zinzi M, Agnoli S. Cool and green roofs: An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy and Buildings*. 2012; 55 66-76. DOI:10.1016/j.enbuild.2011.09.024

[14] Giannopoulou K, Livada I, Santamouris M, Saliari M, Assimakopoulos M, Caouris Y. G. On the characteristics of the summer urban heat island in Athens, Greece. *Sustainable Cities and Society*. 2011; 1(1). 16-28. DOI:10.1016/j.scs.2010.08.003

[15] Dimoudi A, Zoras S, Kantzioura A, Stogiannou X, Kosmopoulos P, Pallas C. Use of cool materials and other bioclimatic interventions in outdoor places in order to mitigate the urban heat island in a medium size city in Greece. *Sustainable Cities and Society*. 2014; 13. 89-96. DOI:10.1016/j.scs.2014.04.003

[16] Taha, H. Meteorological, air-quality, and emission-equivalence impacts of urban heat island control in California.

سمت غرب، جنوب و جنوب شرقی که بیشتر صنایع در آن قرار دارند می‌وزند. آن‌ها به جای تمیز کردن هوا، هوا را بیشتر آلوده می‌کنند. تنها باد مساعد از سمت کوه‌های شمالی می‌وزد؛ اما به دلیل وجود کوه البرز واقع در شمال تهران که مانند دیوارهای پیوسته عمل می‌کنند از نفوذ باد به سطح شهر جلوگیری می‌کنند. تغییرات LST همچنین به تغییرات رطوبت نسبی و فشار بخار مربوط می‌شود. تهران در آب‌وهوای نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد واقع شده است. بررسی ما نشان داد که اگرچه مناطق شمالی شهر تهران به دلیل سیاست پوشش گیاهی شهری دارای فضای سبز بیشتری نسبت به سایر مناطق است، اما توزیع نامناسب کاربری‌ها و طرح نادرست توسعه شهر، این مناطق را در معرض افزایش شدید دما قرار داده است. از سوی دیگر دلیل گرمای هوا در مناطق مرکزی، غربی و جنوبی تهران به علت وجود مناطق تجاری، مناطق صنعتی و فرودگاهی است. همچنین نقاط داغ بر روی سطوح سخت در بافته‌ای شهری مشاهده می‌شود زیرا سطوح سخت تابش خورشیدی زیادی را جذب می‌کنند و باعث دمای بالای سطح می‌شوند که به افزایش LST کمک می‌کند. این مطالعه، با مقایسه تغییرات دما طی یک دوره ده‌ساله در مقیاس کل شهر و تحلیل عوامل مؤثر بر آن تحقیق جامعی را ارائه کرد. تحلیل مکانی و زمانی بلندمدت گرمای شهری در کلان‌شهرها می‌تواند به عنوان مرجعی برای اطلاع تصمیم‌گیرندگان برای برنامه‌ریزی بهتر برای کاهش و کنترل تغییرات گرمای شهری باشد.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کلیه عزیزیانی که در این پژوهش همکاری لازم را داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

تعارض منافع

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

منابع و مآخذ

- [1] Oke T.R. City size and the urban heat island. *Atmos. Environ*. 1973; 7, 769-779. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- [2] Streutker, D. R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *Sensing*. 2002; 23(13). 2595-2608. <https://doi.org/10.1080/01431160110115023>
- [3] Li X, Stringer Lindsay C, Dallimer M. The Impacts of Urbanisation and Climate Change on the Urban Thermal Environment in Africa. *Climate* 2022. 10(11). 164. <https://doi.org/10.3390/cli10110164>

- [28] Li Z, Duan S, Tang B, Wu H, Ren H, Yan G. Review of methods for land surface temperature derived from thermal infrared remotely sensed data [Research progress on thermal infrared surface temperature remote sensing inversion methods]. *Remote Sensing*. 2016; 20(5), 899–920. <https://doi.org/10.3390/rs13142838>
- [29] Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, Li Z. L. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*. 2004; 25(1). 261–274. <https://doi.org/10.1080/0143116031000116417>
- [30] El Masri B, Rahman A. F, Dragoni D. Evaluating a new algorithm for satellite-based evapotranspiration for North American ecosystems: Model development and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019; 268. 234–248. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.025>
- [31] Liu T, Yu L, Zhang S. Land surface temperature response to irrigated paddy field expansion: A case study of semi-arid western Jilin Province, China. *Scientific Reports*. 2019; 9(1). 5278. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41745-6>
- [32] Yang M, Zhao W, Cai J, Yang Y, Fu H. Evaluation of consistency among MODIS land surface temperature products for monitoring surface warming trend over the Tibetan Plateau. *Earth and Space Science*. 2023; 10. e2022EA002611. <https://doi.org/10.1029/2022EA002611>.
- [33] Sharifi P. *Investigating the phenomenon of urban heat island and its relation with temporal changes of land cover in the last twenty years using Google Earth Engine system (case study: cities of Tehran, Isfahan, Mashhad, Kermanshah and Rasht)*. [dissertation]. Thesis of master's degree in mapping engineering, remote sensing. The University of Kordestan. 2021.
- [34] *Meteorological Department of Tehran*. [In Persian]
- [35] *[Statistics of Tehran city]. 1401; Municipality of Tehran* [In Persian]
- [36] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D, Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017; Volume 202, Pages 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- [37] Huntington J. L, Hegewisch K. C, Daudert B, Morton C. G, Abatzoglou J. T, McEvoy D. J, Erickson T. Climate engine: Cloud computing and visualization of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2017; 98(11). 2397–2410. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00324.1>
- [38] Ravanelli R, Nascetti A, Cirigliano R. V, Di Rico C, Monti P, Crespi M. MONITORING URBAN HEAT ISLAND THROUGH GOOGLE EARTH ENGINE: POTENTIALITIES AND DIFFICULTIES IN DIFFERENT CITIES OF THE UNITED STATES. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2018. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1467-2018>
- Sustainable Cities and Society*. 2015; 19, 207–221. DOI:10.1016/j.scs.2015.03.009
- [17] Cai G, Du M, Xue Y. Monitoring of urban heat island effect in Beijing combining ASTER and TM data. *International journal of remote sensing*. 2011; 32(5). 1213–1232. <https://doi.org/10.1080/01431160903469079>
- [18] Karmirad S, Aliabadi M, Habibi A, Vakilinejad R. *[Measuring the effect of vegetation on the external thermal comfort conditions of pedestrians (case study: Goldasht residential complex, Shiraz)]*. *Architecture and Urban Planning of Iran (JIAU)*. 2018; 8(2), 185–196. doi: 10.30475/isau.2018.62074 [In Persian]
- [19] Liu L, Zhang, Y. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*. 2011; 3(7), 1535–1552. <https://doi.org/10.3390/rs3071535>
- [20] Boehme P, Berger M, Massier T. Estimating the building based energy consumption as an anthropogenic contribution to Urban Heat Islands. *Sustainable Cities and Society*. 2015; 373–384. DOI:10.1016/j.scs.2015.05.006
- [21] Radhi H, Sharples S, Assem E. Impact of urban heat islands on the thermal comfort and cooling energy demand of artificial islands: A case study of AMWAJ Islands in Bahrain. *Sustainable Cities and Society*. 2015; 19. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.017>
- [22] Voogt J.A, Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sens. Environ*. 2003; 86, 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- [23] Mather A. S. Land use. London; New York: Longman. 1986; 286.
- [24] Malekpour P, Taleai M, ASSIST P. Modeling of Relationship between Land use/Cover and land Surface Temperature Using ASTER datasets. *Environmental Studies*. 2011; 18 (5). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009>
- [25] Pahlavanzadeh N, Janalipour M, Abbaszadeh T, Farhanj F. *[Improving the accuracy of land surface temperature extraction from Landsat satellite thermal bands using linear regression and ground observations]*. *Geography and Environmental Planning*. 2018; 30(3). 59–78. doi: 10.22108/gep.2019.118336.1179. [In Persian]
- [26] Soltani N, Mohammadnejad V. [Effectiveness of Google Earth Engine (GEE) system in evaluating land use changes and predicting it with Markov model (case study of Urmia Plain)]. *Remote sensing and geographic information system in natural resources*. 2021; 12(3). 114–101. [In Persian] <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.3.6.1>.
- [27] Dash P, Gottsche F. M, Olesen F. S, Fischer H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. *International Journal of Remote Sensing*. 2002; 23(13). 2563–2594. <https://doi.org/10.1080/01431160110115041>

Implications. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2023. 69(9). DOI: 1053-1063. DOI:10.14358/PERS.69.9.1053

[52] Priyadarsini R. Urban Heat Island and its impact on building energy consumption. *Advances in building energy research*. 2009. 3(1) 261-270. <https://doi.org/10.3763/aber.2009.0310>

[53] Rizwan A. M, Dennis L. Y, Chunho L. I. U. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Environmental Sciences*. 2008; 20(1), 120-128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4) Get rights and content

[54] Corburn J. Cities, climate change and urban heat island mitigation: Localising global environmental science. *Urban Studies*. 2009; 46(2), 413-427. DOI:10.1177/0042098008099361

[55] Yuan F, Bauer M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2007; 106(3). 375-386. DOI:10.1016/j.rse.2006.09.003

[56] Pourdihimi Sh, Tahsildoost M, Ameri P. The effect of vegetation on reducing the intensity of urban heat islands: a case study of Tehran metropolis. *Energy Planning and Policy Research*. 2018; 5 (3). 97-122.

[57] Farina A. *Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain*. [dissertation]. LUMA-GIS Thesis. 2011

[58] Shabahang S. Comparative Study of Urban Residential Neighbourhoods for Assessing Urban Heat Island Effects Using ENVI-met Simulation. [dissertation]. PhD dissertation in architecture. Victoria University of Wellington. 2022.

[59] Su W, Gu C, Yang G. Assessing the impact of land use/land cover on urban heat island pattern in Nanjing City, China. *Urban Planning and Development*. 2010; Volume 136, Issue 4. DOI:10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000033

[60] Nilieh Borojni M, Ahmadi Nadushan M. [Investigating the relationship between urban vegetation and land surface temperature using Landsat TM and OLI satellite images and LST measurement in Isfahan city]. *Environmental Science Quarterly*. 2018; 17(4). 163-178. [In Persian] DOI: 10.29252/envs.17.4.163

معرفی نویسندگان

AUTHORS BIOSKETCHES



اسماعیل زرغامی دکتری تخصصی معماری و استاد تمام گروه معماری دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی هستند. فعالیت‌های پژوهش‌های اخیر ایشان در حوزه پایداری و ساختمان‌های مسکونی، سیستم‌های ارزیابی ساختمان‌های پایدار،

[39] Khalidi Sh, Ki Khosravi Q, Ahmadi Barati F. [Investigating the effect of land cover changes on the surface temperature of the earth using MODIS satellite images - case study: Northeast Iran]. *Sepehr Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*. 2023; 31(123). 179-197. [In Persian] DOI: 10.22131/sepehr.2022.699921

[40] Madis Land website .

[41] Farhadi H, Manaqbi T, Ebadi H. [Extraction of buildings in urban areas based on radar and optical time series data using Google Earth Engine system]. *Sepehr Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*. 2022; 30(120). 43-63. [In Persian] DOI: 10.22131/sepehr.2022.251053

[42] Gianluca F, Mehresh A. Introductory course to Google Earth Engine. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2022; 35.

[43] Madis Land website.

[44] Seto KC, Fragkias M, Güneralp B, Reilly MK. A meta-analysis of global urban land expansion. *PloS one*. 2011; 6(8). e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>.

[45] Patel NN, Angiuli E, Gamba P, Gaughan A, Lisini G, Stevens FR, Tatem AJ, Trianni G. Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2015; 35. 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.005>.

[46] Goldblatt R, You W, Hanson G, Khandelwal AK. Detecting the boundaries of urban areas in india: A dataset for pixel-based image classification in google earth engine. *Remote Sensing*. 2016; 8(8). 634. <https://doi.org/10.3390/rs8080634>.

[47] Shelestov A, Lavreniuk M, Kussul N, Novikov A, Skakun S. Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science*. 2017; 5(7): 1-17. <https://doi.org/10.3389/feart.2017.00017>

[48] Soltani N, Mohammadnejad V. Effectiveness of Google Earth Engine (GEE) system in evaluating land use changes and predicting it with Markov model (case study of Urmia plain). *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*. 2022. 12(3). 101-114. DOI: 10.22069/jwsc.2022.20196.3551

[49] Alavipanah K. *The Principles of Remote Sensing and Interpretation of Satellite Imagery and Aerial Photographs*. Tehran University Press, Tehran, Iran. 2011 [In Persian]

[50] Servati Z, Latifi Gh, Soltani A, Sanyeyan H. [Spatial distribution pattern of thermal islands in the context of social and economic characteristics (the case of mining in Tehran)]. *Urban and Regional Development Planning Quarterly*. 2022; 6(16). 1-23. [In Persian] DOI: 10.22054/urdp.2021.62607.1367

[51] Lo C. P, Lo C. P, Quattrochi D. A. Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health



که سه کتاب تألیفی از منابع دروس مقطع کارشناسی ارشد مهندسی معماری و دکتری ارتباط تصویری است. کتاب ترجمه‌شده ایشان نیز از کتاب‌های مرجع در حوزه مبانی نظری طراحی معماری، منظر و شهری می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی اخیر ایشان در حوزه

انرژی و طراحی ساختمان‌های بلندمرتبه است. در حال حاضر، ایشان بیش از ۱۰۰ مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های علمی ارائه نموده‌اند و همچنین در کمیته علمی و داوری بیش از ۶۰ مجله و کنفرانس علمی ملی و بین‌المللی فعالیت دارند. وی به‌عنوان پژوهشگر برتر مقطع دکتری در سال ۱۴۰۲ انتخاب گردیدند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارت‌اند از: معماری پایدار، انرژی و توسعه کاربردهای سنجش‌ازدور.

Mansouri, S. T. Ph.D. student at the Department of Architecture, Faculty of Architectural Engineering and Urban Planning, Shahid Rajaei Teacher Training University of Tehran, Iran.

✉ t.mansoori@gmail.com

فناوری معماری و انرژی می‌باشد. در حال حاضر ایشان بیش از ۱۰۰ مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های علمی ارائه نموده‌اند و همچنین در کمیته علمی و داوری مجلات و اجلاس علمی ملی و بین‌المللی متعددی فعالیت دارند. وی به‌عنوان پژوهشگر برتر در سال‌های متعددی انتخاب گردیده‌اند و کتاب *نظریه پایداری اجتماعی و مجتمع‌های مسکونی* به‌عنوان کتاب برتر سال ۱۳۹۷ معرفی گردیده است. ایشان به‌عنوان استاد راهنما و مشاور در پایان‌نامه‌ها و رساله‌های متعددی فعالیت داشته‌اند که باعث گردیده است که محصولات علمی و پژوهشی بی‌شمار و بسیار مفیدی در حوزه مهندسی معماری و شهرسازی تألیف گردد.

Zarghami, E. Full Professor at the Department of Architecture, Faculty of Architectural Engineering and Urban Planning, Shahid Rajaei Teacher Training University of Tehran, Iran.

✉ zarghami@sru.ac.ir

سید تاج‌الدین منصوری دانشجوی دکتری معماری دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می‌باشند. ایشان دارای چهار جلد کتاب (شامل سه جلد تألیف و یک جلد ترجمه) در حوزه معماری و طراحی شهری است

Citation (Vancouver): Mansouri S. T, Zarghami E. [Dynamic Analysis of Urban Heat Islands in Tehran (2013-2023) Based on MODIS Images and Google Earth Engine]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 45-64

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10762.1057>



COPYRIGHTS

© 2024 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 Factors Influencing High Volume of Requests to Rescue Centers: A Geographically Weighted Regression Analysis

M. Minaei¹, M.H. Vahidnia^{*2}, Z. Rezaei¹¹ Center for Remote Sensing and GIS Research, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran² Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 26 January 2024
Reviewed: 15 April 2024
Revised: 24 April 2024
Accepted: 21 May 2024

KEYWORDS:

Emergency and Rescue Centers
Geographically Weighted
Regression
Geospatial Information
Ordinary Least Square

* Corresponding author

✉ mh_vahidnia@sru.ac.ir

☎ (+9821) 29902281

Background and Objectives: Spatial data mining techniques offer optimal efficiency in scenarios demanding thorough examination and extraction of results from extensive data sources. Emergency calls, due to their gravity and the involvement of rescue and emergency forces, present a scenario well-suited for geographical data mining. Typically, environmental science and geography researchers employ models such as ordinary least squares (OLS) regression to understand spatial relationships between variables. However, OLS has limitations, particularly at the local scale, prompting the utilization of Geographically Weighted Regression (GWR) in this study to address these shortcomings.

Methods: This study employs OLS and GWR methods to analyze the relationship between the high volume of emergency calls in Dallas, USA, and the influencing factors. Various statistical tests were employed for evaluation. Dependent variables include the number and dispersion of emergency calls, while independent variables encompass population, education levels, peak call hours, and distance from the city center. Spatial-statistical analysis and mapping were conducted using ArcGIS Pro software.

Findings: Results indicate that population, education levels, distance from the city center, and peak call time respectively exert the greatest influence on the occurrence of emergency calls. In the OLS method, Koenker and Jarque-Bera indices, assessing model stationarity and residual normality respectively, did not yield satisfactory results. Evaluation of both OLS and GWR models revealed an R^2 value of approximately 0.61 for GWR and 0.41 for OLS, suggesting greater proximity to reality in the GWR model. Spatially, the weight of population parameter is higher in central city areas, while the weight of peak call time parameter is more pronounced in northern, southern, and western regions. Additionally, the weight of education level parameter is higher in southern parts of the city.

Conclusion: Collectively, the identified factors exhibit a cumulative effect on the occurrence of emergency calls, enabling prediction of future occurrences. Leveraging these insights, appropriate tools can be devised for optimal management and control of regional issues.



NUMBER OF REFERENCES

30



NUMBER OF FIGURES

9



NUMBER OF TABLES

4

مقاله پژوهشی

بررسی عوامل موثر بر حجم بالای درخواست‌های مردمی به مراکز امداد و نجات با استفاده از رویکرد رگرسیون جغرافیایی وزن دار

مژده مینایی^۱، محمد حسن وحیدنیا^{۲*}، زهرا رضائی^۱

^۱ مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: از تکنیک‌های داده کاوی مکانی می‌توان در شرایطی که بررسی و استخراج نتایج از منابع داده‌ای با حجم زیاد و گستردگی ابعاد پایگاه اطلاعاتی مورد نظر باشد، با بالاترین کارایی استفاده نمود. مسئله تماس‌های اضطراری به علت خطیر بودن موضوع و درگیر نمودن نیروهای امداد و اورژانس مسئله‌ای است که بر اساس داده کاوی مکانی می‌توان به الگوهای نهفته در آن پی برد. بطور متداول، برای درک ارتباطات فضایی بین متغیرها، محققان علوم محیط زیست و جغرافیا از الگوهایی چون رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) بهره می‌گیرند که اساس کار این تحلیل، ارتباط بین متغیرهای مستقل برای متغیر پیش‌بینی شونده است. اما این روش دارای کاستی‌های بسیاری در ارائه‌ی نتایج فضایی بویژه در مقیاس محلی است. رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) در این مطالعه به منظور درک روابط بین متغیرهای فضایی در سطح محلی استفاده می‌شود تا پوششی در رفع نواقص روش تحلیلی OLS باشد.

روش‌ها: در این تحقیق از روش‌های OLS و GWR در تحلیل ارتباط بین موضوع حجم بالای تماس‌های اضطراری در منطقه مورد مطالعه (ایالات دالاس آمریکا) و عوامل موثر بر رخداد این مساله استفاده می‌گردد. همچنین آزمون‌های آماری متعدد برای ارزیابی بکارگرفته شد. برای این مقصود، تعداد و پراکندگی تماس‌های اضطراری را به عنوان متغیر وابسته و پارامترهایی همچون جمعیت، تعداد افراد تحصیل کرده، بیشترین ساعت تماس و فاصله از مرکز شهر را متغیرهای مستقل مساله در نظر گرفته و چگونگی تاثیر این عوامل در بروز این موضوع بررسی می‌گردد. در این مطالعه، نرم افزار ArcGIS Pro برای انجام تحلیل‌های مکانی-آماري و ارائه نقشه‌ها بکارگرفته شد.

یافته‌ها: نتایج نشان دهنده این مساله است که پارامترهای جمعیت، تعداد افراد تحصیل کرده، فاصله از مرکز شهر و بیشترین زمان تماس به ترتیب در بروز این مساله بالاترین اثر را داشته‌اند. در روش OLS شاخص‌های Koenker و Jarque-Bera که به ترتیب نشان دهنده ثبات مدل و نرمال بودن باقیمانده‌ها می‌باشند رضایتبخش نبودند. نتایج ارزیابی دو مدل OLS و GWR نشان داد که مقدار R² در مدل GWR حدود ۰/۶۱ و در مدل OLS حدود ۰/۴۱ بوده که نشان دهنده این امر است که نتایج حاصل از مدل GWR به واقعیت نزدیک‌تر است. در مدل جغرافیایی، وزن پارامتر جمعیت در قسمت‌های مرکزی شهر بیشتر از اطراف آن بوده، در حالیکه وزن پارامتر بیشترین زمان تماس در قسمت‌های شمالی، جنوبی و غربی شهر بیشتر از سایر نقاط می‌باشد. همچنین وزن پارامتر تعداد افراد تحصیل کرده در قسمت‌های جنوبی شهر بیشتر می‌باشند.

نتیجه‌گیری: جمع عوامل مطرح شده در کنار هم بر روی بروز متغیر وابسته اثر افزایشی داشته و در کنار این تحلیل‌ها، پیش‌بینی وقوع این مساله در چند ساله آینده نیز امکان پذیر می‌باشد. با تکیه بر این نتایج می‌توان ابزار مناسبی جهت مدیریت و کنترل بهینه مشکلات منطقه در اختیار مسئولین امر قرار داد.

تاریخ دریافت: ۶ بهمن ۱۴۰۲

تاریخ داوری: ۲۷ فروردین ۱۴۰۳

تاریخ اصلاح: ۵ اردیبهشت ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱ خرداد ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

اطلاعات مکانی

حداقل مربعات معمولی

رگرسیون جغرافیایی وزن دار

مراکز امداد و نجات

* نویسنده مسئول

✉ mh_vahidnia@sbu.ac.ir

③ ۰۲۱-۲۹۹۰۲۲۸۱

مقدمه

آنها می‌شد تجزیه و تحلیل و اکتشاف دانش از آنها را در قالب یک فرآیند تکرارپذیر و کارا با مشکلاتی مواجه کرد [۱]. امروزه حجم داده‌های گردآوری شده در سامانه اطلاعات مکانی به میزان فزاینده‌ای افزایش یافته است، به گونه‌ای که پردازش، تجزیه و تحلیل و درک روندهای موجود در آنها به روش‌های معمول امکان پذیر نمی‌باشد. جهت حل این مشکل رهیافت داده کاوی مکانی ارائه شده است که مبتنی بر تعمیم تکنیک‌های آماری، فن آوری پایگاه داده و نیز نمایش توصیفی اطلاعات می‌باشد. دسترسی به حجم بالایی از داده‌ها با ماهیت مکانی-زمانی و نیاز به استخراج دانش و اطلاعات مفید، سبب ایجاد داده

تکنیک‌های داده کاوی در شرایطی که بررسی و استخراج نتایج از منابع داده‌ای با حجم زیاد و گستردگی ابعاد پایگاه اطلاعاتی مورد نظر باشد نمود بیشتری می‌یابد. با توسعه سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و استفاده بیش از پیش داده‌های مکانی در مدل‌های برنامه ریزی و تصمیم گیری، بکارگیری روش‌های داده کاوی مکانی در این سامانه‌ها مورد توجه قرار گرفت. دو عامل، یکی افزایش پیچیدگی در ساختارهای اطلاعات مکانی که منتج از گسترش سطوح تحلیلی بود و دیگری ساخت نیافته بودن مسائل مکانی که منجر به تعمیم ناپذیری در حل

کاوی گردید. داده کاوی فرآیندی است برای استخراج الگوهایی که به طور ضمنی در پایگاه داده ای عظیم، انبار داده و دیگر مخازن بزرگ اطلاعات، ذخیره شده است. هدف از داده کاوی کشف و استخراج الگوهای جدید، مفید و قابل درک از داده های موجود در یک پایگاه داده بزرگ بوده و هدفی که در داده کاوی مکانی-زمانی دنبال می شود، آشکار کردن رابطه های مکانی-زمانی می باشد [۲ و ۳]. برخلاف تکنیک‌های آمار کلاسیک، تکنیک های آمار مکانی از فضا و محیط، فاصله، مجاورت، جهت گیری و روابط فضایی به طور مستقیم در محاسبات خود استفاده می کنند [۴]. تکنیک های آمار مکانی، یکی از مهمترین بخش‌های تحلیل فضایی به شمار می روند و در بیانی ساده، شامل مجموعه ای از تکنیک ها برای توصیف و مدل‌سازی داده های مکانی هستند. این ابزارها به روش های مختلف، آنچه چشم و ذهن برای ارزیابی الگوها، روندها، پراکنش ها، فرایندها و روابط مکانی انجام می دهند را توسعه می دهند.

مسئله تماس های اضطراری به علت خطیر بودن موضوع و درگیر نمودن نیروهای امداد و اورژانس مسئله ای است که بر اساس داده کاوی مکانی می توان به الگوهای نهفته در آن پی برد [۵، ۶ و ۷]. تماس های اضطراری، از جمله زمینه های حیاتی در سیستم بهداشت و درمان هستند که مستقیماً به ایمنی و سلامت افراد ارتباط دارند. این تماس ها، بستری برای ارتباط بین جامعه و سیستم بهداشت و درمان فراهم می کنند و در شرایط اورژانسی به ارزش زندگی افراد اهمیت ویژه ای می بخشند. از این رو، تحلیل دقیق و جامع این تماس ها از لحاظ کمی و کیفی، ابزاری حیاتی در بهبود عملکرد و ارتقای خدمات اورژانس می باشد. در سال های اخیر، با پیشرفت فناوری و روند دیجیتالی شدن، حجم تماس های اضطراری افزایش یافته است. از طرفی، این افزایش حجمی می تواند نشان دهنده افزایش خطرات و ریسک ها در جامعه باشد. از سوی دیگر، تحلیل دقیق و کمی این تماس ها اطلاعات قابل توجهی در خصوص الگوها و میزان فراوانی وقوع حوادث و بیماری های مختلف فراهم می آورد که به سازمان های بهداشتی و اورژانسی کمک می کند تا منابع و خدمات خود را بهینه سازی کنند [۸]. علاوه بر تحلیل کمی، تحلیل کیفی تماس های اضطراری نیز اطلاعات ارزشمندی ارائه می دهد. این تحلیل می تواند الگوهای رفتاری، نیازها و انتظارات جامعه را در مواجهه با بحران ها و اورژانس ها روشن کند [۹]. همچنین، این تحلیل قادر است بر روی مسائل مانند کیفیت خدمات، زمان پاسخگویی، و موانع موجود در دسترسی به خدمات اورژانسی تأکید کند.

در چنین مطالعاتی تکنیک های غیر مکانی، روش کارایی برای ارائه واقعیات مکانی نیستند، لذا در سال های اخیر روش هایی نوین، ساده، مؤثر و کارا برای بررسی ارتباطات مختلف مکانی توسعه یافته اند. به عنوان نمونه روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی برای مدل سازی روابط مکانی بین متغیرهای مختلف، و بر اساس روش حداقل مربعات معمولی بسط داده شده و بسیار کاربردی می باشد [۱۰]. ضریب همبستگی فضایی (نظیر موران و جری) نمونه هایی دیگر از این روش محسوب

می شوند که درجه وابستگی میان متغیرهای فضایی را نشان می دهند [۱۱]. مسأله مهمی که در داده های مکانی وجود دارد این است که الگوهای رگرسیونی معمولی برای دو متغیر مستقل و وابسته مکانی تنها متوسطی از داده های غیر مکانی را ارائه می دهد. بنابراین قادر نخواهند بود خود همبستگی های مکانی بین متغیرها را بیان کنند. آن ها اغلب در نشان دادن واقعیات ارتباطات مختلف مکانی ناتوان هستند و تنها برازشی از یک خط رگرسیونی گلوبال برای کل داده ها ارائه می دهد. از این رو برخی از واقعیات محلی در این زمینه پنهان می ماند و در نهایت نتیجه معقول و منطقی برای داده های مکانی ارائه نمی دهد. الگوی رگرسیون وزن دار جغرافیایی از روش های هموارسازی و رگرسیون محلی نشأت گرفته که بر پایه قانون اول جغرافیا بنا شده است. طبق این قانون هر چیزی مرتبط با چیزهای دیگری است، اما در نزدیکی مشخصه های مکانی ارتباطات بیشتر و قوی تر است و با فاصله گرفتن از آن ها کمتر می شود. این قانون موسوم به اصل جغرافیایی توبلر شناخته می شود. تحلیل رگرسیون GWR امکان مدل سازی، بررسی و اکتشاف روابط مکانی بین داده ها را برای درک بهتر الگوهای مکانی عوامل مشاهده شده (متغیرهای مستقل) و قابلیت پیش بینی صحیح برپایه این عوامل را فراهم می آورد [۱۲ و ۱۳].

در این تحقیق نیز، بمنظور بررسی دقیق عوامل مرتبط با حجم بالای درخواستهای مردمی به مراکز امداد و نجات، داده های تماس ضروری ۹۱۱ در ایالت دالاس آمریکا مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی عوامل مؤثر در بروز چنین مسائلی بزرگترین قسمت تحلیل این مشکلات بوده و محوریت تحلیل رگرسیون بر همین مبنا می باشد. بهره گیری از تحلیل رگرسیون جغرافیایی وزندار (GWR) روشی نوآورانه در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده های فضایی است که به طور فزاینده ای در حوزه های مختلف از جمله علوم اجتماعی، بهداشت عمومی و جرم شناسی به کار گرفته می شود. GWR با گستردگی حوزه اثر مختلف و کاربردهای گوناگون برای مدل سازی روابط مکانی بین متغیرها طراحی شده است. فرضیه این است که این روش در مقایسه با روش های سنتی رگرسیون خطی، مزایای قابل توجهی برای تحلیل تعداد تماس ها با مرکز فوریت های ۹۱۱ ارائه می دهد، به خصوص زمانی که متغیرهای مستقل در سراسر منطقه مورد مطالعه از نظر فضایی ناهمگن باشند. ماهیت متغیر بودن تأثیر معیارها در GWR می تواند برای تحلیل تماس های اورژانس مفید باشد، زیرا الگوهای تماس ها و دلایل آن ممکن است در محله های مختلف یا مناطق یک شهر یا منطقه متفاوت باشد.

از این رو در این مطالعه، تعداد تماس های اضطراری با مرکز ۹۱۱ به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل و توضیحی پارامترهایی همچون جمعیت، تعداد افراد تحصیل کرده، فاصله از مرکز شهر و بیشترین زمان تماس در نظر گرفته می شوند. نتایج بدست آمده از این بررسی ها می تواند عوامل بوجود آورنده حجم بالای تماس های اضطراری را شناسایی و تحلیل نموده و در برنامه ریزی های جامعه به منظور کاهش مشکلات جوامع و کاهش نرخ تماس های غیر ضروری مردمی به مراکز امداد و نجات، و یا تجهیز هرچه بهتر مراکز پر تماس نقش شاخصی داشته باشد.

مطالعات مرتبط

در ادامه برخی از نمونه های علمی و کاربردی تحلیل های GWR و OLS در ارتباط با متغیرهای مختلف محیطی مرور می شود. بلیانی در سال ۲۰۱۷، با استفاده از روش های رگرسیون مکانی GWR و OLS به تحلیل مکانی بارش سالانه استان خوزستان پرداخت که نتایج دو مدل OLS و GWQ برای پیش بینی بارش سالانه حاکی از برآورد مقادیر پیش-بینی بهتر در مدل GWR بود. به گونه ای که میزان برآورد حاصل از روش GWR در استان خوزستان، نشان از مقادیر پایین باقیمانده های خطا، مقادیر بالای R^2 ، عدم وجود خودهمبستگی مکانی و نرمال بودن مقادیر باقیمانده مدل داشت [۱۴]. در تحقیق دیگری، بحری و همکاران در سال ۱۳۹۸، در مدل سازی روابط فضایی دمای سطح دریای عمان، به مقایسه روش های رگرسیون وزن دار جغرافیایی و روش حداقل مربعات پرداختند و از SST به عنوان متغیر وابسته و از متغیرهایی نظیر سرعت باد سطحی، غلظت کلروفیل طول و عرض جغرافیایی نیز به عنوان متغیر مستقل استفاده نمودند. نتایج حاصل از ارزیابی دو مدل، نشان دهنده نزدیکتر بودن نتایج حاصل از مدل GWR به واقعیت بود به طوریکه مقدار R^2 در مدل GWR حدود ۰/۸۵ و در مدل OLS این مقدار برابر ۰/۵۵ بدست آمد [۱۵]. در تحقیقی، میرباقری و همکاران در سال ۱۳۹۷، به منظور بهبود پیش بینی رشد اراضی شهری از رگرسیون وزنی جغرافیایی و روش سلول های خودکار استفاده کردند. در این مطالعه، بررسی رشد شهری مبتنی بر رگرسیون لجستیک مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج این مطالعه در به کارگیری مدل GWLR و با تعریف قوانین تبدیل CA حاکی از افزایش قابل توجه دقت پیش بینی رشد شهری در مقایسه با مدل Logistic-CA می باشد [۱۶].

راخوری و همکاران (۲۰۲۰) بمنظور درک الگوی مکانی-زمانی شیوع کووید ۱۹ در هند با استفاده از GIS و رفتار هند در مدیریت این پاندمی با استفاده از رگرسیون چندجمله ای، رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) و با داده های رسمی وزارت بهداشت هند، به بررسی پارامترهای داده های سری زمانی مربوط به موارد مبتلا، بهبودیافته و مرگ، داده های جمعیت برای تحلیل GWR پرداخته و خوشه بندی مکانی توسط ANN و تحلیل روند زمانی توسط رگرسیون چندجمله ای از نتایج این تحقیق می باشد [۱۷]. اوپس و همکاران در تحقیقی (۲۰۱۹) برای محاسبه ناهمگنی مکانی با استفاده از مدل GWR، مدل های محلی را با توجه به پردازشهای مکانی در محاسبات تغییرات محلی متغیرهای متفاوتی در حوزه کاربرد GWR و مقایسه آن با OLS را با استفاده از داده های بررسی جمعیتی و سلامت (DHS) از تانزانیا بررسی نمودند. در این تکنیک از وزن های جغرافیایی در تعیین ارتباط بین متغیر خروجی تحقیق و عوامل مرتبط با آن استفاده شده و تحلیلها نشان دهنده این است که این وزن های جغرافیایی برای مشاهداتی که در نزدیکی نقطه رگرسیون قرار دارند نسبتاً بزرگ هستند (یعنی نزدیک به ۱) تا برای مشاهداتی که دورتر از نقطه رگرسیون قرار دارند. در تحقیق مذکور، برای تعیین ارتباط بین درصد عفونت حاد تنفسی (ARI) در کودکان با عوامل مرتبط

با آن تمرکز گردید و محققین با استفاده از مدل OLS دریافتند که درصد زنان با تحصیلات عالی بیشترین ارتباط معنی داری را با ARI داشته و از سوی دیگر، نتیجه حاصل از ضرایب بازگشتی GWR در منطقه مورد مطالعه در مقایسه با ضریب جهانی از مدل OLS متغیر است [۱۸].

لی و همکاران در تحقیقی (۲۰۲۰)، از مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی مبتنی بر مجاورت مکانی (S-GWR) با در نظر گرفتن غیرایستایی مکانی داده های زمین لغزش برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش استفاده کردند. مجاورت مکانی شرط ورودی اولیه برای مدل S-GWR پیشنهادی بوده و چالش این تحقیق در تعریف مناسب مجاورت مکانی بوده که ویژگی های جغرافیایی زمین لغزش ها را نشان داده و بنابراین بر توانایی مدل S-GWR تأثیرگذار است. محققین در این تحقیق به جای واحد شبکه در DTM، واحد شیب را به عنوان مجاورت مکانی انتخاب کرده و چند خطی بین عوامل مؤثر بر زمین لغزش از طریق روش فاکتور تورم واریانس (VIF) و تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) حذف گردید. نتایج اعتبارسنجی با استفاده از سطح زیر منحنی ROC (ویژگی عملکرد گیرنده) و منحنی نرخ موفقیت نشان می دهد که مدل GWR مبتنی بر مجاورت فضایی با واحد شیب دارای بالاترین دقت پیش بینی است [۱۹].

تیو (۲۰۱۱) ارتباط بین کاربری اراضی و کیفیت منابع آب را در بوستن آمریکا با استفاده از GWR بررسی و تحلیل کرد. نتایج تحقیقات وی نشان داد که ارتباطات مختلف فضایی بین کیفیت منابع آب زیرزمینی و تغییرات کاربری با در نظر گرفتن فاصله از شهر بوستون در ایالات متحده وجود دارد، همچنین بر کارایی این الگو در نشان دادن همبستگی های فضایی تأکید کرد [۲۰]. لی و همکاران (۲۰۱۰) از مدل GWR به منظور بررسی مقیاس های مختلف در اثرگذاری دما و فاکتورهای محیط زیستی بر محیط شهری، بهره گرفتند و بررسی آنها نشان داد که این مدل در تحلیل مذکور کارایی بالایی دارد [۲۱].

رابینسون و همکاران (۲۰۱۳) به منظور نقشه سازی دی اکسید نیتروژن در هوا از الگوی GWR بهره گرفتند و از روش های آماری متداول نیز استفاده کردند. نتایج نقشه سازی ها و پیش بینی های آن ها بر این نکته تأکید داشت که الگوی GWR کارایی مطلوبی نسبت به الگوهای آماری معمولی در ارائه خروجی های فضایی دارد [۲۲]. سو و همکاران (۲۰۱۲) تحلیل های چند مقیاسی ارتباطات مختلف فضایی بین الگوهای اراضی کشاورزی و شهرسازی را با استفاده از الگوی GWR نشان دادند. آنها دریافتند که این الگو ظرفیت بالایی در رفتارهای مختلف توسعه بخش کشاورزی و مناطق مختلف شهری دارا است [۲۳].

برون و همکاران (۲۰۱۲) با ارزیابی ارتباطات مختلف فضایی مرتبط بین تغییرات کاربری اراضی و منابع آب سطحی نشان دادند که روش های آماری اغلب در داده های مختلف فضایی سنتی همانند OLS قادر به بیان ارتباط های فضایی مختلف نیستند و در مقابل با معیارهایی همانند GWR مشخص شد که کارایی الگوهای ضریب تبیین محلی و ضریب اطلاعات اکائیک بهبود در بیان داده های فضایی را نشان می دهند [۲۴]. در مطالعات جدیدتر در حوزه علوم اطلاعات مکانی نیز

شامل تکنیک‌های زیادی برای مدل‌سازی و تحلیل متغیرهای خاص و منحصر بفرد، با تمرکز بر رابطه بین متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل، می‌باشد. تحلیل رگرسیون خصوصاً کمک می‌کند در فهم اینکه چگونه مقدار متغیر وابسته با تغییر هر کدام از متغیرهای مستقل و با ثابت بودن دیگر متغیرهای مستقل تغییر می‌کند. به منظور مقایسه الگوهای رگرسیونی ذکر شده، ارتباطات مختلف فضایی بین آمار تماس‌های اضطراری در منطقه دالاس در آمریکا با متغیرهای مستقلی همچون جمعیت، تعداد افراد تحصیل کرده در هر منطقه، بیشترین ساعت تماس و فاصله هر منطقه از مرکز شهر بررسی شده است. هدف اصلی تحقیق مقایسه کارایی دو الگوی OLS و GWR در نشان دادن ارتباطات مختلف مکانی-زمانی است.

الگوی رگرسیون حداقل مربعات معمولی در واقع یک الگوی رگرسیون معمولی همانند الگوی جهانی است که با فرض ارتباطات ثابت در فضا استوار است و متغیرها را بطور مشابه، همانند دیگر مناطق مورد مطالعه تخمین می‌زند. رابطه عمومی این الگو در معادله ۱ نشان داده شده است که در آن y متغیر وابسته، β_0 عرض از مبدأ، β_i ضرایب تخمینی برای متغیر مستقل x ، p تعداد متغیرهای مستقل و ε جزء خطا است.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \varepsilon \quad (1)$$

در رگرسیون وزندار جغرافیایی (GWR)، تابع هسته یا کرنل (تابع وزن) نقشی اساسی در تعیین نحوه محاسبه ضرایب رگرسیون در نقاط مختلف یک منطقه جغرافیایی ایفا می‌کند. این تابع به نقاط داده‌ای که در نزدیکی نقطه مورد نظر قرار دارند، وزن بیشتری اختصاص می‌دهد و وزن نقاط دور دست کمتر است. سه نوع تابع هسته در این حوزه قابل استفاده است؛ هسته گاوسی، که رایج‌ترین نوع بوده و وزنی را به نقاط داده‌ای اختصاص می‌دهد که به طور پیوسته با فاصله از نقطه مورد نظر کاهش می‌یابد. هسته مثلثی به نقاط داده‌ای که در یک فاصله مشخص از نقطه مورد نظر قرار دارند، وزن ثابتی اختصاص می‌دهد و به نقاط خارج از این فاصله وزن صفر اختصاص می‌دهد. هسته اپتیمال با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی انتخاب می‌شود تا بهترین تناسب را با داده‌ها داشته باشد.

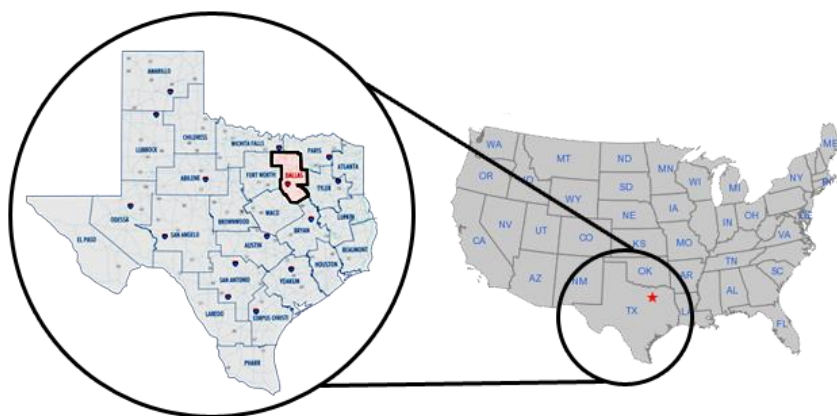
کرنل‌های مکانی همانند آنچه در GWR استفاده می‌شود، برای اهدافی چون توصیه‌گری در شبکه‌های اجتماعی مکان-مبنا به عنوان یک عامل تعیین‌کننده اولویت‌های بازید محلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۵]. بطور کلی رگرسیون وزن دار جغرافیایی، یک روش رگرسیون محلی و فضایی است که برای مدل‌سازی روابط متغیرهای فضایی استفاده می‌شود. تحلیل رگرسیون این امکان را می‌دهد که به مدل‌سازی، بررسی و اکتشاف روابط مکانی بین داده‌ها پرداخته و الگوهای مکانی عوامل مشاهده شده (متغیرهای مستقل) را بهتر درک نموده، و پیش‌بینی صحیحی را برپایه این عوامل ارائه نماییم. بنابراین شیوه GWR در مقایسه با OLS مبنای این پژوهش برای مطالعه رابطه عوامل مختلف با میزان تماس با مراکز امداد و نجات قرار می‌آگیرد.

داده‌ها و روش‌ها

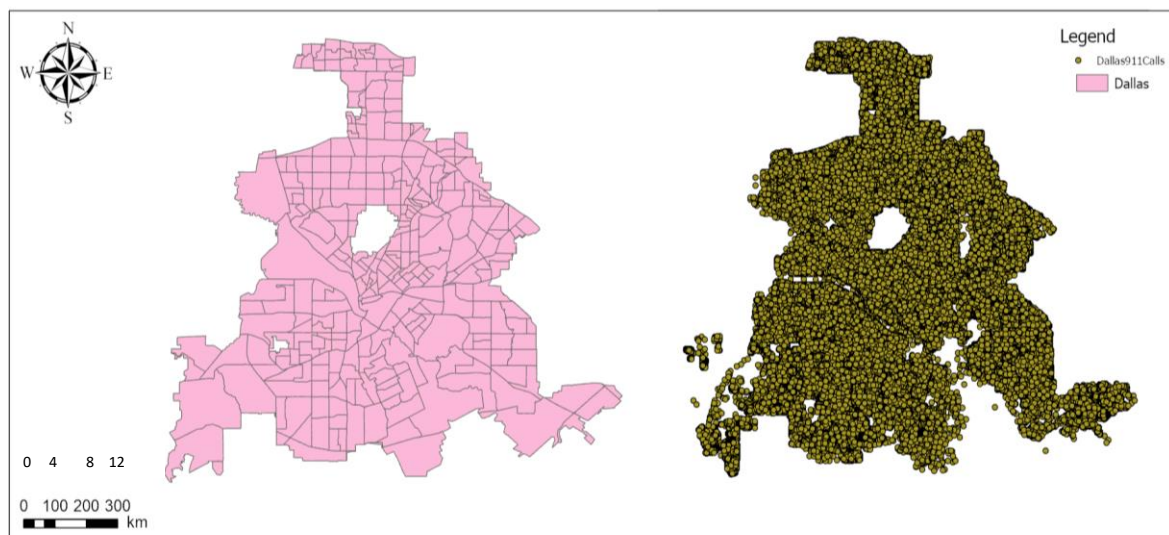
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شهر دالاس (Dallas)، چهارمین کلانشهر آمریکا و سومین شهر بزرگ در ایالت تگزاس است. مساحت دالاس حدود ۹۹۹/۳ کیلومتر مربع است و این شهر از نظر قومی تنوع زیادی دارد. جمعیت دالاس در آخرین تخمین اداره سرشماری آمریکا در سال ۲۰۲۱ برابر با ۷۶۳۷۳۸۷ نفر تخمین زده شده است. شکل ۱ موقعیت شهر دالاس را نمایش می‌دهد.

داده‌های این پژوهش شامل لایه پارسل‌های شهر دالاس و لایه تماس‌ها با شماره تلفن اضطراری ۹۱۱ می‌باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است. مناطق شهری که حاوی اطلاعات جمعیتی و تعداد افراد تحصیل کرده هر منطقه از این شهر نیز می‌باشد از سایت اینترنتی «Koordinates» تهیه شده است. لایه تماس‌های شهری که حاوی موقعیت نقاط و مشخصات فرد تماس‌گیرنده و بیشترین ساعت تماس می‌باشد نیز از سایت اینترنتی «TNRIS» تهیه شده است.

در این مطالعه از روش‌های حداقل مربعات معمولی (OLS) و رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) برای تخمین متغیرها و بررسی ضرایب استفاده و با هم مقایسه شده‌اند. در مدل‌های آماری، تحلیل رگرسیون، یک فرایند آماری برای تخمین روابط بین متغیرها می‌باشد. این روش



شکل ۱: موقعیت شهر دالاس
Fig. 1: Location of Dallas



شکل ۲: توزیع داده های تماس با مراکز اضطراری مورد استفاده در پژوهش
Fig. 2: Distribution of data related to the position of calls to emergency centers

$$w_{ik} = \left[1 - \left(\frac{d_{ik}}{h_i}\right)^2\right]^2 \text{ when } d_{ik} \leq h_i \quad (3)$$

$$w_{ik} = 0 \text{ when } d_{ik} \geq h_i$$

در انتخاب پهنای باند در الگوها از تکنیک معیار اطلاعات اکائیک تصحیح شده برای برازش نقاط رگرسیون استفاده شده است. معیار اطلاعاتی اکائیکه یا AIC معیاری برای سنجش نیکویی برازش است. این معیار بر اساس مفهوم انتروپی بنا شده است و نشان می دهد که استفاده از یک مدل آماری به چه میزان باعث از دست رفتن اطلاعات می شود. به عبارت دیگر، این معیار تعادلی میان دقت مدل و پیچیدگی آن برقرار می کند. رابطه AIC بصورت معادله ۴ می باشد که در آن n اندازه نمونه، σ انحراف معیار تخمین زده شده در مورد خطا و $tr(s)$ اندازه ماتریس برازشی (ماتریس وزنی بر مبنای فاصله نقاط نمونه و رگرسیون) است. با توجه به روش های مختلفی که در محاسبه پهنای باند وجود دارد، حداقل معیار اطلاعات اکائیک تصحیح شده، بیشترین پهنای باند را ارائه می دهد [۲۶].

$$AIC_c = 2n \log_e(\hat{\sigma}) + n \log_e(2\pi) + \frac{n}{n-2-tr(s)} \quad (4)$$

به منظور مقایسه کارایی دو الگوی OLS و GWR از چهار شاخص مهم آماری شامل، انحراف معیار باقیمانده استاندارد شده، معیار اطلاعات اکائیک تصحیح شده، خودهمبستگی فضایی باقیمانده ها و ضریب تبیین محلی بهره گرفته شد. این شاخص ها بطور کلی نشان دهنده تناسب الگوی مورد استفاده با داده ها بوده و دقت برازش الگو بر روی هر کدام از نمونه داده ها و همبستگی فضایی آن ها در تعیین تشابه های مکانی و مقداری بین واحدها است.

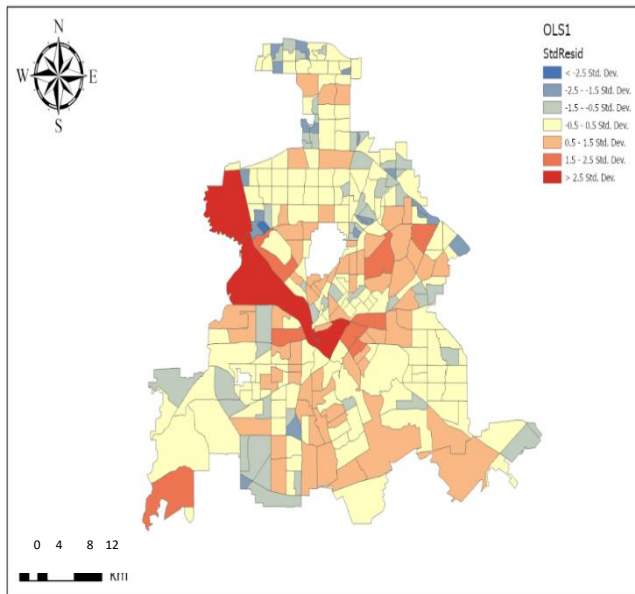
به طور کلی باقیمانده در الگوهای آماری در واقع تفاضل بین ارزش واقعی داده مشاهده شده با مقدار حاصل پیش بینی شده متغیر مستقل می باشد و صحت الگوی رگرسیونی محلی را تعیین می کند. همچنین

علاوه بر نوع تابع هسته، پهنای باند نیز نقش مهمی در GWR ایفا می کند. پهنای باند عرض ناحیه ای را که در اطراف نقطه مورد نظر برای محاسبه ضرایب رگرسیون استفاده می شود، تعیین می کند. پهنای باند بزرگتر منجر به صاف تر شدن سطح رگرسیون و کاهش جزئیات محلی می شود، در حالی که پهنای باند کوچکتر منجر به ناهموارتر شدن سطح رگرسیون و افزایش جزئیات محلی می شود. انتخاب پهنای باند مناسب برای GWR نیز به عوامل مختلفی از جمله اندازه نمونه، توزیع فضایی داده ها و سوالی که می خواهید به آن پاسخ دهید، بستگی دارد. به طور کلی، پهنای باند بزرگتر برای مجموعه داده های بزرگ و توزیع های فضایی صاف مناسب است، در حالی که پهنای باند کوچکتر برای مجموعه داده های کوچکتر و توزیع های فضایی ناهموار مناسب تر است.

الگوی GWR نسبت به الگوی جهانی به ضرایب محلی اجازه می دهد که تخمین در هر موقعیت نمونه انجام شود و بدین ترتیب به صورت معادله ۲ نوشته می شود که در آن u و v مختصات هر موقعیت برای j ، $\beta_0(u_j, v_j)$ محل تقاطع برای موقعیت j ، $\beta_i(u_j, v_j)$ ضریب محلی که متغیر مستقل x را در موقعیت j تخمین می زند و ε_j نیز خطای تصادفی با فرض نرمال بودن می باشد.

$$y_i = \beta_0(u_j, v_j) + \sum_{i=1}^p \beta_i(u_j, v_j)x_{ij} + \varepsilon_j \quad (2)$$

براساس مطالعات، نتایج GWR نسبت به انتخاب عملکرد وزنی حساس می باشد و به انتخاب عملکرد وزنی پهنای باند حساس است. چنانچه تعیین ارزش بهینه ای از پهنای باند در الگوی GWR لازم باشد، می توان در الگوی GWR پهنای باند، هموارسازی داده ها را ایجاد نمود. در الگوی هسته تطابقی که نقاط رگرسیونی محدود به مکان است، وقتی نقاط رگرسیونی زیاد باشد پهنای باند کمتر به کار گرفته می شوند. وزن k امین نقطه رگرسیونی توسط i داده نقطه ای در زیر محاسبه می گردد:



شکل ۳: تحلیل رگرسیون کمترین مربعات معمولی با یک متغیر مستقل
Fig. 3: Regression with ordinary least square method and one independent variable

آنگونه که در شکل ۳ مشاهده می شود توزیع خطاها نرمال نبوده و به صورت بصری ملاحظه می شود که تجمعی از رنگ های قرمز که بصورت پیش بینی نادرست هستند وجود داشته و پراکندگی آن ها به طور تصادفی به خوبی رعایت نشده است. با نگاهی به جدول ۱ در می یابیم مقدار p-value برای این تحلیل کمتر از حد آستانه ۰/۰۵ بوده و این نشان دهنده معنی دار بودن آزمون می باشد.

جدول ۱: متغیرهای بدست آمده از مدل کمترین مربعات

Table 1: Results of ordinary least square method taking one independent variable

متغیرها Variables	ضریب Coefficient	خطای استاندارد Standard error	مقدار p-value p-value value
Intercept	395/390706	90/344745	0/000020
Population	0/224094	0/020526	0/000000

جدول ۲: شاخص های آماری بدست آمده از تست های مختلف روی مدل رگرسیون کمترین مربعات

Table 2: Obtained statistics based on different tests on the ordinary least square model

شاخص های آماری Statistical indicators	مقادیر قابل قبول Acceptable values	مقادیر Amounts
Multiple R-Squared [d]	>0/5	0/284337
Adjusted R-Squared [d]	>0/5	0/281952
Joint F-Statistic [e]	<=0/05	0/000000
Joint Wald Statistic [e]	<=0/05	0/000000
Koenker (BP) Statistic [f]	>0/05	0/000010
Jarque-Bera Statistic [g]	>0/05	0/000000
Akaike's Information Criterion (AICc) [d]	تا حد امکان پایین As low as possible	4793/668585

این مقدار توسط تقسیم خطای استاندارد روی باقیمانده ها محاسبه می گردد. ارزش های ضریب تغییرات باقیمانده استاندارد شده فراتر از $\pm 2/5$ ، غیرمعمول بودن مشاهدات را نشان می دهد. بنابراین داده هایی که از دامنه مذکور خارج هستند نشان از عدم مطلوبیت الگو در ارائه ارتباطات در آن نقطه یا نقاط است [۲۷].

تشابه مقداری یا مکانی را وابستگی فضایی می گویند و وقتی مشاهدات یک ترتیب دنباله ای طبیعی داشته باشند این همبستگی را تعبیر به خودهمبستگی می کنند. خودهمبستگی می تواند به این دلیل پیش آید که باقیمانده های مجاور هم ممکن است در ابعاد فضایی و زمانی مشابه هم باشند و یا مشاهدات نمونه گیری شده از نقاط نمونه ای نزدیک به هم یا در نواحی مجاور بوده که ارتباط همبسته ای داشته باشند، زیرا آن ها ممکن است تحت تأثیر شرایط خارجی مشابه قرار گرفته باشند [۲۸]. از این رو عده ای از محققان به منظور رفع عیوب الگوی رگرسیون حداقل مربعات متداول، بحث جدیدی به نام خودهمبستگی فضایی یا وابستگی فضایی را برای داده های مکانی بسط دادند [۲۹]. همبستگی فضایی ممکن است مثبت یا منفی باشد. همبستگی مثبت هنگامی اتفاق می افتد که مقادیر کم و یا زیاد دو یا چند متغیر تصادفی مشابه، تمایل به دسته بندی و جمع شدن در کنار هم در یک دسته را داشته باشند. در حالی که همبستگی منفی هنگامی است که نواحی جغرافیایی مجاور یا هم مرز، شامل همسایگانی با مقادیر و ویژگی های متفاوت و غیرمشابه باشند [۳۰].

نتایج و بحث

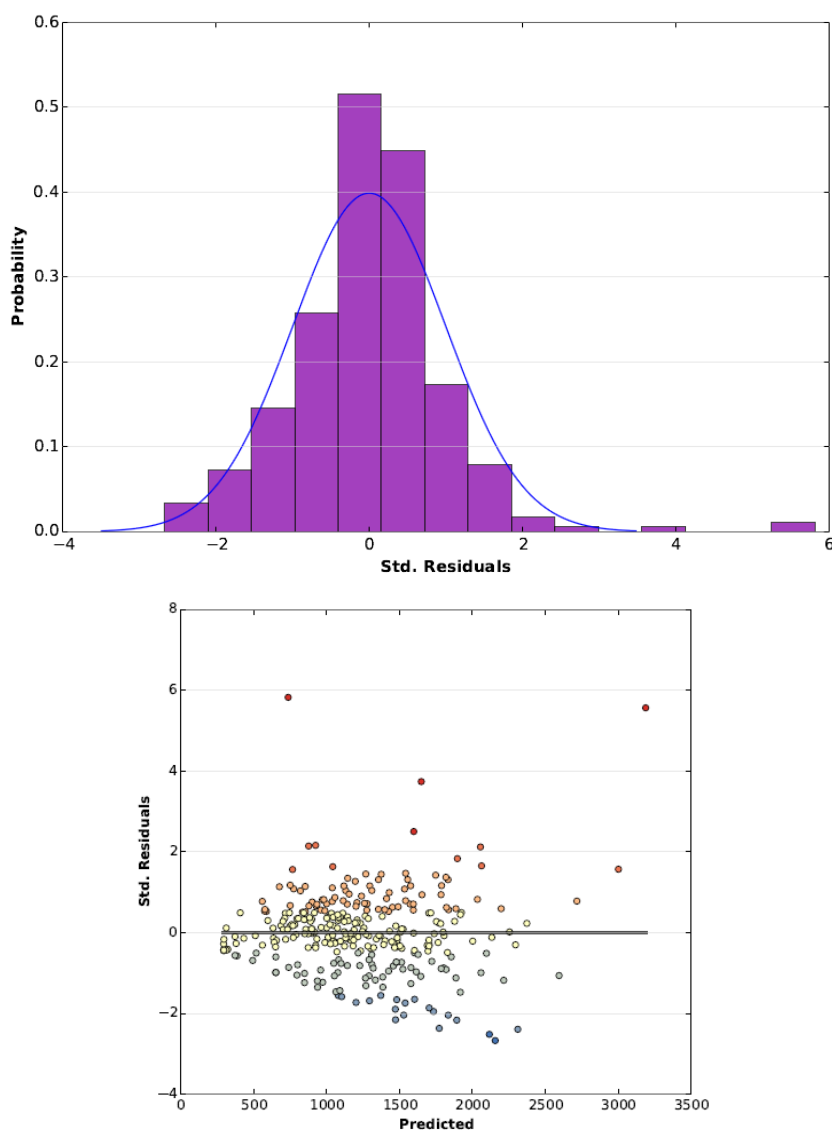
در این مطالعه برای انجام تحلیل های مکانی از محیط نرم افزار ArcGIS Pro استفاده شده است. این نرم افزار یکی دیگر از محصولات شرکت ESRI می باشد که نسبت به نرم افزار ArcMap دارای ابزارها و امکانات پیشرفته تر می باشد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، برای هر منطقه از محدوده مورد مطالعه تعداد بسیار زیادی از تماس های اضطراری با مشخصات متفاوت هر تماس وجود دارد. یکی از این مشخصات تاریخ و ساعت تماس برای هر موقعیت بوده که ساعت تماس از آن استخراج شده است. برای بدست آوردن بیشترین ساعت تماس در هر منطقه با استفاده همزمان از تحلیل های مکانی و آماری بیشترین ساعت تماس های اضطراری هر منطقه محاسبه و به منطقه مورد نظر اختصاص داده شده است. بعد از این مرحله با استفاده از تحلیل های مکانی، فاصله هر منطقه از مرکز شهر محاسبه و به هر کدام از مناطق اختصاص داده شده است.

در مرحله بعد بر اساس تحلیل الحاق مکانی در محیط نرم افزار ArcGIS Pro، برای مشخص شدن تعداد تماس های هر منطقه، موقعیت تماس ها به پلیگون مربوط به هر بخش اختصاص داده شد. سپس از تحلیل رگرسیون کمترین مربعات استفاده نمودیم که از پارامتر جمعیت به عنوان متغیر مستقل و از پارامترهای تعداد تماس های هر منطقه به عنوان متغیر وابسته استفاده شده است. شکل ۳ نشان دهنده توزیع خطاها یا انحراف معیار استاندارد باقیمانده ها می باشد.

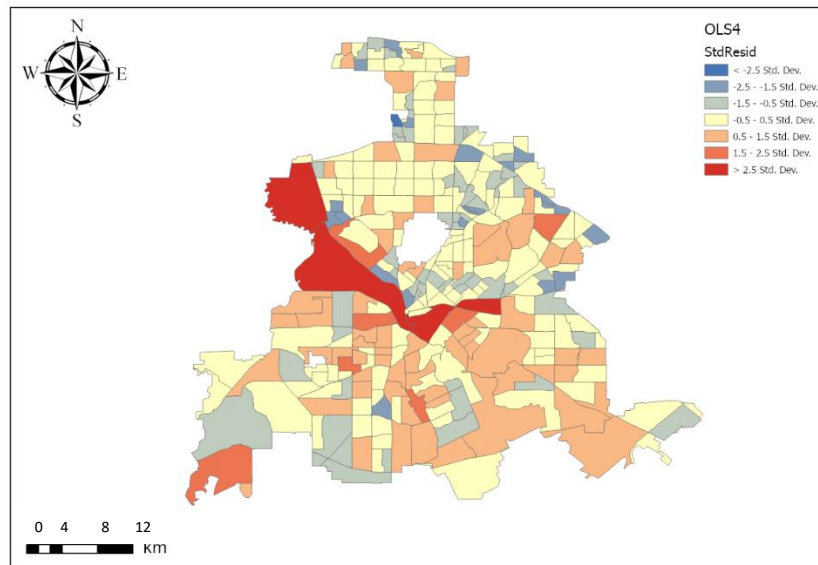
عدم نرمال بودن توزیع متغیرها را نمایش می دهد. طبق شکل که در تعداد تماس های کم پیش بینی قابل قبول بوده ولی در تعداد تماس های بیشتر خطا بیشتر بوده و پیش بینی خوبی از مدل حاصل نشده است. در مرحله بعد با استفاده از مدل کمترین مربعات معمولی، تعداد متغیرهای مستقل را بالاتر برده و علاوه بر پارامتر جمعیت از متغیرهای تعداد افراد تحصیل کرده، بیشترین زمان تماس و فاصله هر منطقه از مرکز شهر استفاده می کنیم. شکل ۵ خروجی مدل را نمایش می دهد.

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود توزیع خطاها نسبت به شکل ۳ دارای پراکندگی بهتری هستند. با نگاهی به جدول ۳ در می یابیم مقدار p-value در این تحلیل برای تمامی متغیرها از حد آستانه ۰/۰۵ کمتر بوده و این نشان دهنده معنی دار بودن آن متغیر است. همچنین در این جدول نشان داده می شود که رابطه جمعیت و فاصله از مرکز با تعداد تماس ها منفی می باشد.

علاوه بر موارد ذکر شده انجام سایر تست های آماری روی این مدل میزان قابل قبول بودن یا نبودن آن را نشان می دهد که در جدول ۲ بیان شده است. طبق نتایج، شاخص های R^2 و R^2 تعدیل شده برای مقادیر کمتر از حد آستانه ۰/۵ به عنوان رگرسیون ضعیف در نظر گرفته می شود که همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود هر دوی این مقادیر کمتر از حد آستانه استاندارد می باشد. علاوه بر آن در صورتی که مقدار Joint F-Statistic و Joint Wald Statistic کمتر از ۰/۰۵ باشد به لحاظ آماری کل مدل معنا دار خواهد بود که در مدل کمترین مربعات اجرا شده این مقادیر کمتر از حد آستانه بوده که نشان دهنده معنی دار بودن مدل است. در خصوص شاخص های Koenker و Jarque-Bera که به ترتیب نشان دهنده ثبات مدل و نرمال بودن باقیمانده ها می باشد، مقادیر بیش از حد آستانه ۰/۰۵ مطلوب می باشند. اما طبق نتایج، هر دوی این مقادیر کمتر از ۰/۰۵ بوده و نشان می دهد مدل دارای ثبات خوبی نبوده، و باقیمانده ها نرمال نمی باشند. شکل ۴ نیز بصورت بصری



شکل ۴: بررسی نرمال بودن در مدل کمترین مربعات با یک متغیر: هیستوگرام باقیمانده های استاندارد (راست)؛ نمودار پیش بینی (چپ)
Fig. 4: Test of normalization in OLS model using one independent variables: Histogram of standard deviations (Right); Prediction graph (Left)



شکل ۵: تحلیل رگرسیون کمترین مربعات معمولی با چهار متغیر مستقل

Fig 5: Regression analysis using ordinary least square method with four independent variables

Statistic و Joint Wald Statistic کمتر از ۰/۰۵ بوده که نشان می‌دهد به لحاظ آماری، کل مدل معنادار است. شاخص‌های Koenker و Jarque-Bera که به ترتیب نشان‌دهنده ثبات مدل و نرمال بودن باقیمانده‌ها می‌باشد کمتر از حد آستانه ۰/۰۵ بوده و بیانگر این است مدل دارای ثبات خوبی نبوده و باقیمانده‌ها نرمال نمی‌باشند. از نمودارهای موجود در شکل ۶ نیز به این نتیجه می‌رسیم که توزیع باقیمانده‌ها در این مدل پراکندگی بهتری دارند، اما همچنان مدل دارای ثبات خوبی نیست و این نشان می‌دهد احتمالاً داده‌ها دارای الگوی مکانی بوده و نیاز به استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی می‌باشد.

با استفاده از تحلیل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی روی داده‌ها خروجی لایه باقیمانده‌ها بصورت شکل ۷ بدست آمده و نمایش داده می‌شود. تفسیر بصری نشان دهنده پراکندگی و نامشخص تر بودن الگوی باقیمانده‌ها در مدل GWR نسبت به OLS می‌باشد.

در روش GWR، ضرایب رگرسیون و مقدار R^2 را در هر منطقه بطور مجزا بدست آمد. همچنین برای هر کدام از متغیرها ضرایب Coefficient بطور مجزا محاسبه شده است. نمودارهای شکل ۸ نشان‌دهنده توزیع نرمال، ثبات مدل و صحیح بودن پیش بینی برای تماس‌های اضطراری می‌باشد. یکی دیگر از ویژگی‌های رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی این است ضرایب در موقعیت‌های مختلف باهم تفاوت دارند. در این مرحله اقدام به تهیه نقشه‌های رستری از وزن پارامترها از روش GWR نمودیم. این نقشه‌های رستر می‌توانست بینش بهتری نسبت به رابطه قوی یا ضعیف هر متغیر وابسته با میزان تماس‌ها به صورت محلی به دست دهد. شکل ۹ وزن پارامترهای بکار برده شده در مدل را در موقعیت‌های متفاوت نمایش می‌دهد. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، وزن پارامتر جمعیت در قسمت‌های مرکزی شهر بیشتر از اطراف آن بوده، در حالیکه وزن پارامتر بیشترین زمان تماس در قسمت‌های شمالی، جنوبی و غربی

جدول ۳: متغیرهای بدست آمده از مدل کمترین مربعات با چهار متغیر

Table 3: Results of obtained values for four variables using ordinary least square method

متغیرها Variables	ضریب Coefficient	خطای استاندارد Standard error	مقدار p-value p-value value
Intercept	-2946/297808	855/729122	0/000671
Population	0/315667	0/026573	0/000000
Max Call Time(s)	216/324785	51/612667	0/000041
Education	-0/130698	0/030054	0/000022
Distance(m)	-0/008470	0/001980	0/000030

جدول ۴: شاخص‌های آماری بدست آمده از تست‌های مختلف روی مدل رگرسیون

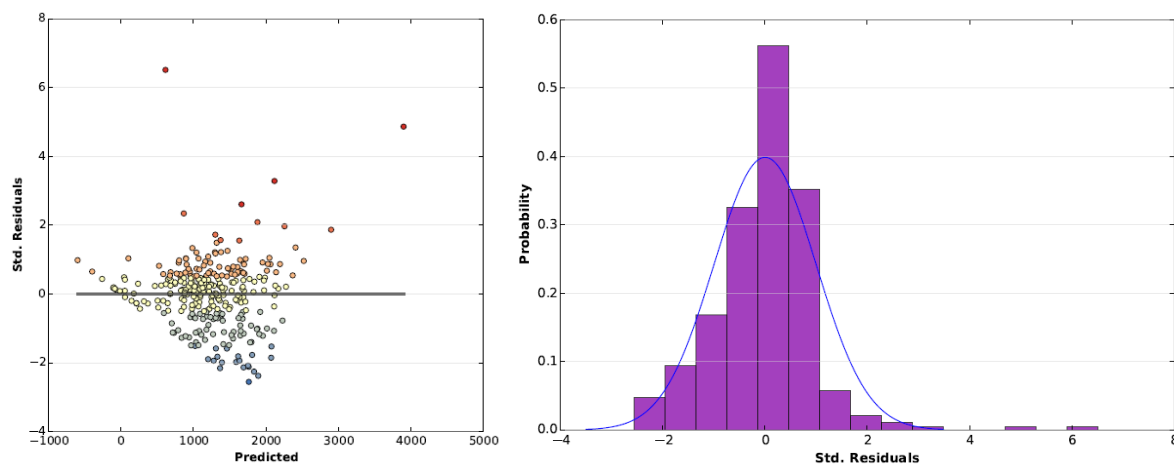
کمترین مربعات با چهار متغیر

Table 4: Statistics obtained from various tests on the ordinary least square method with four independent variables

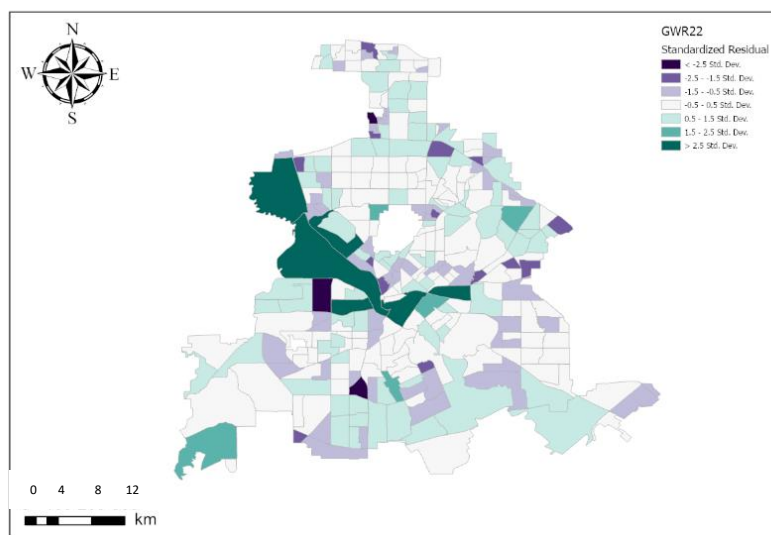
شاخص‌های آماری Statistical indicators	مقادیر قابل قبول Acceptable values	مقادیر Amounts
Multiple R-Squared [d]	>0/5	0/408744
Adjusted R-Squared [d]	>0/5	0/400781
Joint F-Statistic [e]	<=0/05	0/000000
Joint Wald Statistic [e]	<=0/05	0/000000
Koenker (BP) Statistic [f]	>0/05	0/000011
Jarque-Bera Statistic [g]	>0/05	0/000000
Akaike's Information Criterion (AICc) [d]	تا حد امکان پایین As low as possible	4742/203199

علاوه بر این، انجام سایر تست‌های آماری روی این مدل میزان قابل قبول بودن یا نبودن آن را نشان می‌دهد که در جدول ۴ بیان شده است. با توجه به یافته‌ها، شاخص‌های R^2 و R^2 تعدیل شده کمتر از حد آستانه استاندارد ۰/۰۵ می‌باشد. علاوه بر آن مقدار شاخص‌های Joint F-

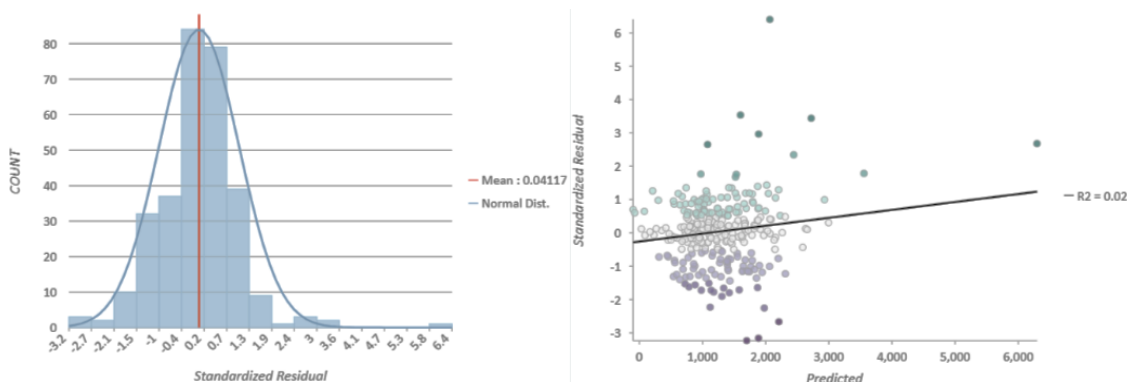
از مرکز شهر در مناطق مرکزی به سمت غرب بیشتر از سایر نقاط
تحصیل کرده در قسمت‌های جنوبی شهر بیشتر بوده و وزن پارامتر فاصله



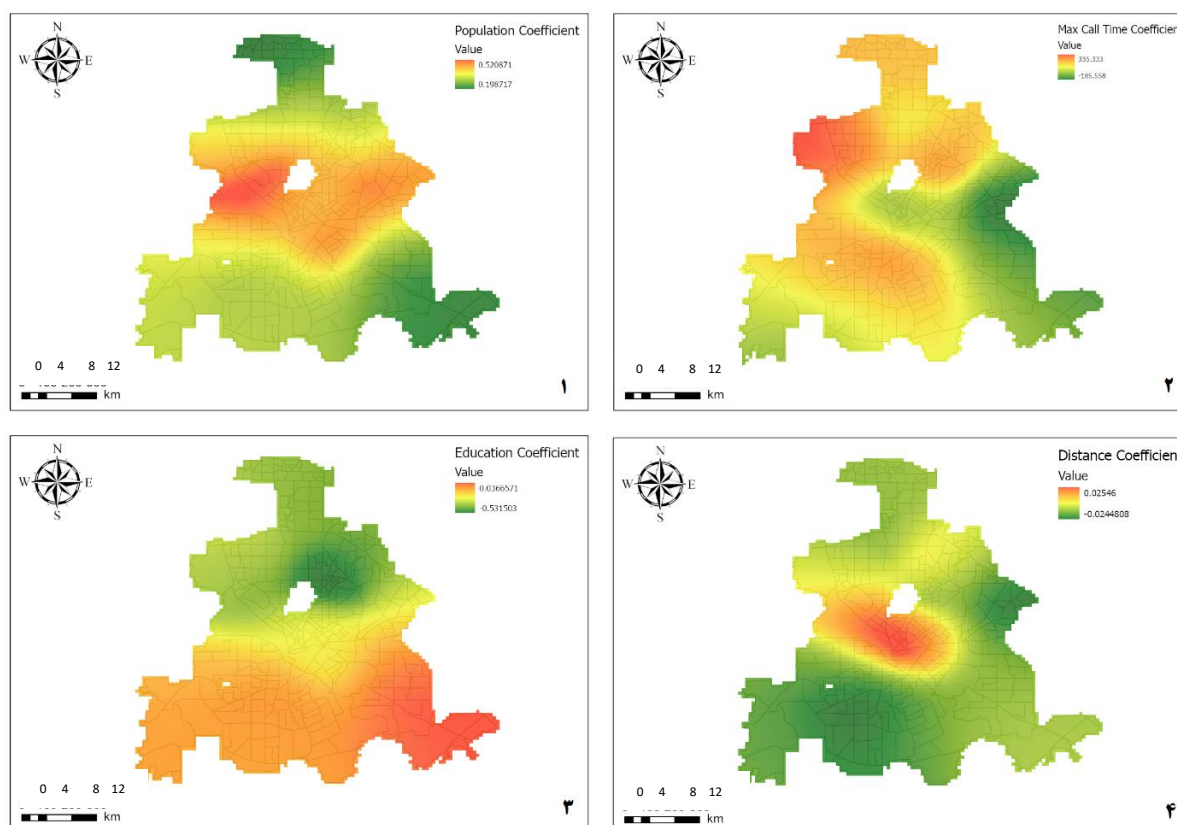
شکل ۶: بررسی نرمال بودن در مدل کمترین مربعات با چهار متغیر: هیستوگرام باقیمانده‌های استاندارد (راست); نمودار پیش‌بینی (چپ)
Fig. 6: Test of normalization in OLS model using four independent variables: Histogram of standard deviations (Right); Prediction graph (Left)



شکل ۷: تحلیل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با چهار متغیر مستقل
Fig. 7: Results of geographically weighted regression with four independent variables



شکل ۸: بررسی نرمال بودن در مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی با چهار متغیر: هیستوگرام باقیمانده‌ها (چپ) نمودار پیش‌بینی (راست)
Fig. 8: Test of normalization in GWR model using four independent variables: Histogram of standard deviations (Right); Prediction graph (Left)



شکل ۹: توزیع مکانی وزن پارامترهای (۱) جمعیت (۲) بیشترین زمان تماس (۳) تعداد افراد تحصیل کرده (۴) فاصله از مرکز
Fig. 9: Spatial distribution map of coefficient weight: Population (1); Max call time (2); Education (3); Distance from the city center

نتیجه‌گیری

می‌باشد. ضرایب به دست آمده در مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی حاکی از آن است که تأثیر پارامترهای جمعیت، تعداد افراد تحصیل کرده، فاصله از مرکز شهر و بیشترین زمان تماس به ترتیب مؤثرترین پارامترها بوده و دارای وزن بیشتری می‌باشند. همچنین تصاویر توزیع پراکندگی وزن پارامترها در مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی نشان‌دهنده آن است که پارامترهای جمعیت، تعداد افراد تحصیل کرده، فاصله از مرکز و بیشترین زمان تماس به ترتیب تأثیر بیشتری در این مدل برای پیش‌بینی تماس‌های اضطراری داشته‌اند. همچنین نتایج ارزیابی دو مدل OLS و GWR نشان داد که مقدار R^2 در مدل GWR حدود ۰/۶۱ و در مدل OLS حدود ۰/۴۱ بوده که نشان‌دهنده این امر است که نتایج حاصل از مدل GWR به واقعیت نزدیک‌تر است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در مسئله تماس‌های اضطراری یک رابطه خطی گلوبال حاکم نمی‌باشد و نمی‌توان ضرایب ثابتی برای متغیرها در نظر گرفت. بنابراین، با داشتن تعداد قابل توجه تقسیم بندی‌های شهری به سطح بخش‌ها یا بلوک‌ها و اختصاص آمار مربوط به متغیرها به آن سطوح، می‌توان برای تعمیم مدلسازی به مناطق دیگر نیز از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی استفاده نمود.

این تحلیل می‌تواند برای متغیرهای مستقل که در آینده می‌تواند هرگونه تغییراتی داشته باشند نیز بررسی شده و تعیین گردد که در کدام یکی از این پلی‌گون‌ها بر اساس کدام متغیر، متغیر مستقل چه وضعیتی

در این تحقیق، داده‌های تماس ضروری ۹۱۱ در ایالت دالاس آمریکا مورد بررسی قرار گرفت که تعداد تماس‌های اضطراری با مرکز ۹۱۱ به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل و توضیحی پارامترهایی همچون جمعیت، تعداد افراد تحصیل‌کرده، فاصله از مرکز شهر و بیشترین زمان تماس در نظر گرفته شدند. در ابتدا با استفاده از تحلیل حداقل مربعات معمولی OLS، عوامل تأثیرگذار (متغیرهای مستقل) بر بالا بودن میزان تماس‌های دریافتی (متغیر وابسته) به همراه نتایج بررسی گردید. در ادامه با استفاده از تحلیل GWR متغیر وابسته نسبت به متغیرهای مستقل پیش‌بینی گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل‌های انجام شده، به علت به وجود توزیع مکانی در پارامترهای استفاده شده در این مطالعه، مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی نسبت به مدل‌های رگرسیون خطی دارای توزیع نرمال‌تر و ثبات بیشتر مدل می‌باشد. تحلیل GWR نسبت به OLS امکان مدل‌سازی و بررسی و اکتشاف روابط مکانی بین داده‌ها را فراهم آورده و درک بهتری از الگوهای مکانی عوامل مشاهده شده یعنی متغیرهای مستقل و پیش‌بینی بر پایه این عوامل را ایجاد می‌کند. خروجی تحلیل GWR، پیش‌بینی متغیر وابسته به تفکیک هر محدوده مکانی به همراه محاسبه مقادیر باقیمانده‌ها می‌باشد. نتایج این تحلیل نشان‌دهنده سطح رابطه هر متغیر پیش‌بینی‌کننده با متغیر وابسته در هر کدام از این مناطق و پلی‌گون‌ها

[7] Dagaeva M, Garaeva A, Anikin I, Makhmutova A, Minnikhanov R. Big spatio-temporal data mining for emergency management information systems. *IET Intelligent Transport Systems*. 2019 Nov;13(11):1649-57. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0171>

[8] Photis YN, Grekousis G. Locational planning for emergency management and response: An artificial intelligence approach. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2012 Sep 3;7(3):372-84. doi: 10.2495/SDP-V7-N3-372-384

[9] Chipendo PI, Shawar YR, Shiffman J, Razzak JA. Understanding factors impacting global priority of emergency care: a qualitative policy analysis. *BMJ Global Health*. 2021 Dec 1;6(12):e006681. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-006681>

[10] Fischer MM, Getis A, editors. *Handbook of applied spatial analysis: software tools, methods and applications*. Berlin: Springer; 2010.

[11] Karasová V, Krisp JM, Virrantaus K. Application of spatial association rules for improvement of a risk model for fire and rescue services. *Proceedings of ScanGIS2005*. 2005 Jun 13.

[12] Fotheringham AS, Charlton ME, Brunsdon C. Geographically weighted regression: a natural evolution of the expansion method for spatial data analysis. *Environment and planning A*. 1998 Nov;30(11):1905-27.

[13] Brunsdon C, Fotheringham AS, Charlton ME. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. *Geographical analysis*. 1996 Oct;28(4):281-98.

[14] BALYANI S. Spatial analysis of annual precipitation of Khuzestan province; an approach of spatial regressions analysis. *Journal of Geographical Science*. 2017;16(43):125-147.

[15] Bahri A, Khosravi Y, Tavakoli A. Comparison of the Performance of Geographically Weighted Regression and Ordinary Least Squares for modeling of Sea surface temperature in Oman Sea. *Engineering Journal of Geospatial Information Technology*. 2019 Dec 10;7(3):159-72.

[16] Mirbagheri B, Alimohammadi A. Evaluating the Capability of Geographically Weighted Regression in Improvement of Urban Growth Simulation Performance Using Cellular Automata.

[17] Bag R, Ghosh M, Biswas B, Chatterjee M. Understanding the spatio-temporal pattern of COVID-19 outbreak in India using GIS and India's response in managing the pandemic. *Regional Science Policy & Practice*. 2020 Dec 1;12(6):1063-104. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12359>

[18] Raza O, Mansournia MA, Foroushani AR, Holakouie-Naieni K. Geographically weighted regression analysis: A statistical method to account for spatial heterogeneity. *Archives of Iranian medicine*. 2019 Mar 1;22(3):155-60.

[19] Li Y, Liu X, Han Z, Dou J. Spatial proximity-based geographically weighted regression model for landslide susceptibility assessment: a case study of Qingchuan area,

خواهد داشت. نکته حائز اهمیت در خصوص به کارگیری روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی حاکی از قدرت تحلیل دقیق و بالای این روش در محاسبه نرخ اثرگذاری متغیرهای مختلف در بروز پدیده‌هایی با توجه به روابط مکانی و مجاورت‌های منتج از آن می‌باشد. مسائل اجتماعی همچون شناسایی پهنه‌های جرم خیز، معضلات محیط زیستی همچون خشک‌سالی، آلودگی آب، هوا، منابع آبی و غیره از جمله مواردی هستند که با استفاده از روش‌های مبتنی بر مدل‌های رگرسیون وزن دار جغرافیایی می‌توان عوامل مؤثر بر آن‌ها را بررسی و نتایج کاهشی و یا افزایشی آن‌ها را در بروز این پدیده‌ها به صورت مدل‌های قابل مطالعه استخراج نمود و از این نتایج در مدل‌های پیش‌بینی کننده نیز به منظور یاری به مسئولین در تصمیم سازی‌ها بهره‌برداری نمود.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله نویسندگان سهم نسبتاً برابری در ایده پردازی، مدل سازی، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل، و نگارش داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

از سردبیر نشریه و داوران به خاطر کمک به افزایش کیفیت این مقاله سپاسگزاریم.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است

منابع و مآخذ

[1] Mennis J, Guo D. Spatial data mining and geographic knowledge discovery—An introduction. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2009 Nov 1;33(6):403-8. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.11.001>

[2] Montgomery DC, Peck EA, Vining GG. *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons; 2021 Feb 24.

[3] Alijani B. Spatial analysis in geography studies. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. 2015 Oct 10;2(3):1-4. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.1>

[4] Shamshiri S, Shahbazi H, Taghipour Javi S. Analyzing the Relations Between Spatial Variables in Khanmirza Plain: Comparison of Geological Weighted Regression and Ordinary Least Square Models. *Geography and Development*. 2017 Sep 23;15(48):95-112. <https://doi.org/10.22111/gdij.2017.3350>

[5] Liu Z, Wang C. Design of traffic emergency response system based on internet of things and data mining in emergencies. *IEEE Access*. 2019 Aug 13; 7:113950-62. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934979>

[6] Fan B. Hybrid spatial data mining methods for site selection of emergency response centers. *Natural hazards*. 2014 Jan; 70:643-56. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0833-5>

[30] Wheeler DC. Geographically weighted regression. In Handbook of regional science 2021 Jan 14 (pp. 1895-1921). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

China. Applied Sciences. 2020 Feb 7;10(3):1107. <https://doi.org/10.3390/app10031107>

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



مژده مینایی دانشجوی دکترای سنجش از دور و GIS دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران می‌باشد. ایشان مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی نقشه‌برداری و سنجش از دور و GIS به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۴ از

دانشگاه علم و صنعت ایران- واحد اراک و دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران دریافت نمودند. فعالیت‌های پژوهشی اخیر وی در حوزه کاربرد GIS و سنجش از دور در مطالعات آب و فاضلاب و همچنین خدمات شهری می‌باشد. در حال حاضر ایشان بیش از ۲۰ مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های علمی ارائه نموده‌اند و همچنین در داوری دو کنفرانس علمی ملی فعالیت داشته‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: تحلیل‌های مکانی در حوزه‌های آب و فاضلاب، کاربردهای GIS در مطالعات آب‌های زیرزمینی، و سیستم اطلاعات مکانی تحت وب.

Minaei, M. Ph.D. student at the Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

✉ mojde.minaei@gmail.com



محمد حسن وحیدنیا استادیار مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی ارشد و دکتری خود را در رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش GIS به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۳ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دریافت نمودند. فعالیت‌های پژوهشی اخیر وی در حوزه جمع‌سپاری در پورتال‌های مکانی و سیستم‌های توصیه‌گر در شبکه‌های اجتماعی مکان-مبنا می‌باشد. تاکنون بیش از ۳۰ مقاله علمی در مجلات علمی و کنفرانس‌های خارجی و بیش از ۳۰ مقاله در نشریات و کنفرانس‌های داخلی از ایشان منتشر شده است. زمینه‌های تخصصی وی عبارتند از: هوش مصنوعی در اطلاعات مکانی، منطق و هستی‌شناسی مکانی، محاسبات هندسی، سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی، خدمات مکان-مبنا، و اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه.

Vahidnia, M.H. Assistant Professor at the Center for Remote Sensing and GIS Research, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ mh_vahidnia@sbu.ac.ir

[20] Tu J. Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression. Applied Geography. 2011 Jan 1;31(1):376-92. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.08.001>

[21] Shamshiri S, Shahbazi H, Taghipour Javi S. Analyzing the Relations Between Spatial Variables in Khanmirza Plain: Comparison of Geological Weighted Regression and Ordinary Least Square Models. Geography and Development. 2017 Sep 23;15(48):95-112. <https://doi.org/10.22111/gdij.2017.3350>

[22] Robinson DP, Lloyd CD, McKinley JM. Increasing the accuracy of nitrogen dioxide (NO₂) pollution mapping using geographically weighted regression (GWR) and geostatistics. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2013 Apr 1;21:374-83. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.11.001>

[23] Su S, Xiao R, Zhang Y. Multi-scale analysis of spatially varying relationships between agricultural landscape patterns and urbanization using geographically weighted regression. Applied Geography. 2012 Mar 1;32(2):360-75. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.005>

[24] Brown S, Versace VL, Laurenson L, Ierodiaconou D, Fawcett J, Salzman S. Assessment of spatiotemporal varying relationships between rainfall, land cover and surface water area using geographically weighted regression. Environmental Modeling & Assessment. 2012 Jun;17:241-54. <https://doi.org/10.1007/s10666-011-9289-8>

[25] Vahidnia MH. Point-of-interest recommendation in location-based social networks based on collaborative filtering and spatial kernel weighting. Geocarto international. 2022 Dec 13;37(26):13949-72. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2086626>

[26] Tu J, Xia ZG. Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression I: Model design and evaluation. Science of the total environment. 2008 Dec 15;407(1):358-78. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.031>

[27] Sisman S, Aydinoglu AC. A modelling approach with geographically weighted regression methods for determining geographic variation and influencing factors in housing price: A case in Istanbul. Land use policy. 2022 Aug 1;119:106183. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106183>

[28] Billor N, Chatterjee S, Hadi AS. A re-weighted least squares method for robust regression estimation. American journal of mathematical and management sciences. 2006 Feb 1;26(3-4):229-52. <https://doi.org/10.1080/01966324.2006.10737673>

[29] Zhang Z, Sun L, Zhao X, Sun J. Regression analysis of interval-censored failure time data with linear transformation models. Canadian Journal of Statistics. 2005 Mar;33(1):61-70. <https://doi.org/10.1002/cjs.5540330105>

همچنین همسان رقومی در مدیریت ترافیک می باشد. تاکنون بیش از ۳۰ مقاله علمی در مجلات و کنفرانس های علمی از ایشان منتشر شده است. زمینه های تخصصی ایشان عبارتند از: GIS و توابع تحلیل مکانی، SDI، آنتولوژی، VGI و دیجیتال توئین.

Rezaei, Z. Ph.D. student at the Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

✉ rezaee.ncc@gmail.com



زهرا رضائی دانشجوی دکترای سنجش از دور و GIS دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران می باشد. ایشان مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی نقشه برداری از دانشگاه علم و صنعت ایران در سال ۱۳۸۴ و کارشناسی ارشد را در رشته سنجش از دور و GIS از دانشگاه واحد علوم و تحقیقات، تهران در سال ۱۳۹۳ دریافت نمودند. فعالیت های پژوهشی اخیر وی در حوزه SDI، آنتولوژی، SDSS، VGI در حوزه های مختلف تولید اطلاعات مکانی، و

Citation (Vancouver): Minaei M, Vahidnia M.H, Rezaei Z. [Exploring Factors Influencing High Volume of Requests to Rescue Centers: A geographically weighted regression analysis]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 65-78

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10780.1061>



COPYRIGHTS

© 2024 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

Investigation of Spatio-Temporal Patterns of suburban Traffic Accidents in Isfahan Province in GIS Environment

M. Rahmati¹, H. AghaMohammadi Zanjirabad^{*1}, S. Behzadi², AA. AleSheikh³¹ Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University -Science and Research Branch, Tehran, Iran² Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran³ Department of Geospatial Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 17 January 2024
 Reviewed: 02 April 2024
 Revised: 04 May 2024
 Accepted: 06 June 2024

KEYWORDS:

Traffic Accidents
 Spatio-Temporal Patterns
 Spatial Statistics
 Spatial Autocorrelation
 Getis-Ord Gi*

* Corresponding author

✉ aghamohammadi@srbiu.ac.ir

☎ (+9821) 44867171

Background and Objectives: Traffic accidents are a major public health concern worldwide, causing significant loss of life and property damage. To reduce the number of traffic accidents, it is crucial to identify where and when recurrent accidents occur. These accidents often follow specific spatial and temporal patterns and may form clusters, representing areas of concentrated accidents within a geographical space. Therefore, analyzing traffic accidents in both spatial and temporal dimensions is essential for determining the most effective and sustainable solutions. Isfahan province is among the provinces in the country with high accident rates in Suburban areas. Previous research conducted in Isfahan province has predominantly relied on statistical methods and has not adequately addressed the spatial and temporal aspects of accidents.

This study aims to address the gaps in previous research by determining the spatial and temporal patterns of urban traffic accidents in Isfahan province and visualizing these patterns using spatial statistical methods in a GIS environment. The novel aspect of this research lies in utilizing spatial statistical techniques to identify and analyze the spatiotemporal patterns of urban accidents in Isfahan province at different time intervals and intensity levels.

Methods: The spatial and temporal patterns of traffic accidents in Isfahan Province were investigated using suburban traffic accident data from March 2017 to March 2019. After collecting the relevant data, performing necessary preprocessing, and preparing the data, the spatial and temporal patterns of traffic accidents occurring on the main roads, highways, and freeways of the study area were analyzed and identified using spatial statistical methods such as the Average Nearest Neighbor test, Spatial Autocorrelation (Global Moran's I), and Optimized Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi* technique) at different levels in a GIS environment.

Findings: Since the aim of this study is to identify the spatial-temporal patterns of suburban traffic accidents in Isfahan Province, the spatial distribution pattern of accident events was first examined using the Average Nearest Neighbor and Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) methods. The results indicated the presence of a strong clustering pattern in the traffic accident data during the study years in Isfahan Province. Then, an optimized Hot Spot Analysis was performed on the entire dataset of accidents using the Getis-Ord Gi* method. Subsequently, the analysis was conducted on the dataset of each level separately, considering different levels such as time of day, day of week, month, year, and accident severity level. The results of the Getis-Ord Gi* analysis at different levels showed that the majority of hot spots with a 99% confidence level are located on the routes leading to the provincial center, namely Isfahan City, as well as the neighboring populous cities. These areas experience the highest volume of traffic and congestion, and the accident density decreases significantly with increasing distance from the provincial center.

Conclusion: Based on the results of the Spatial Autocorrelation analysis of accidents and the hot spot maps at the studied levels, the results showed that accidents are clustered in some areas of Isfahan Province. Proximity to the provincial center and major populated cities has a significant impact on the concentration of traffic accidents in this region. The frequency of

accidents decreases with distance from major urban centers. The results of this study and the insights gained about the spatial and temporal patterns of traffic accidents can be used to develop new strategies, guide transportation managers and stakeholders, make decisions, and take suitable proceedings to effectively improve the safety of accident-prone areas.



NUMBER OF REFERENCES

45



NUMBER OF FIGURES

10



NUMBER OF TABLES

1

مقاله پژوهشی

بررسی الگوهای مکانی-زمانی تصادفات ترافیکی برون شهری استان اصفهان در محیط GIS

مهدیس رحمتی^۱، حسین آقا محمدی زنجیرآباد^{۱*}، سعید بهزادی^۲، علی اصغر آل شیخ^۳

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

^۲ گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

^۳ گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: تصادفات یکی از حوادث تهدید کننده زندگی در جهان است که موجب خسارات جانی و مالی می‌شود. برای کاهش تعداد تصادفات رانندگی می‌بایست تعیین نمود که تصادفات مکرر کجا و در چه زمانی رخ می‌دهند. اغلب تصادفات با الگوهای مکانی و زمانی خاصی اتفاق می‌افتند و ممکن است خوشه‌هایی را تشکیل دهند که همان محل تمرکز تصادفات در فضای جغرافیایی می‌باشد. بنابراین، بررسی تصادفات رانندگی در ابعاد مکانی و یا زمانی ضروری است تا بهترین و پایدارترین راه‌حل‌ها برای این مسائل در نظر گرفته شود. استان اصفهان از جمله استان‌های کشور با نرخ بالای تصادفات در حوزه برون شهری است. تحقیقات پیشین صورت گرفته در سطح استان اصفهان بیشتر بر پایه روش‌های آماری بوده و به جنبه‌های مکانی و زمانی تصادفات توجهی نشده است. هدف از انجام این تحقیق پر کردن خلا موجود در تحقیقات گذشته در راستای تعیین الگوهای مکانی و زمانی تصادفات ترافیکی برون شهری استان اصفهان و به تصویر کشیدن آن با استفاده از روش‌های آمار مکانی در محیط GIS است. نوآوری این تحقیق در استفاده از روش‌های آمار مکانی برای شناسایی و تحلیل الگوهای مکانی-زمانی تصادفات برون شهری استان اصفهان در سطوح مختلف زمانی و شدت می‌باشد.

روش‌ها: در این مطالعه الگوی مکانی-زمانی تصادفات ترافیکی در استان اصفهان در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ با استفاده از داده‌های تصادفات ترافیکی برون شهری بررسی شده است. پس از جمع‌آوری داده‌های مربوطه و انجام پیش‌پردازش‌های لازم و آماده‌سازی داده‌ها، الگوی مکانی و زمانی تصادفات ترافیکی رخ داده در شبکه راه‌های اصلی، بزرگراه‌ها و آزادراه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش‌های آمار مکانی مانند آزمون میانگین نزدیک‌ترین همسایه، خودهمبستگی مکانی موران I جهانی و تحلیل نقاط داغ بهینه شده (تکنیک گتیس-ارد Gi*) در سطوح مختلف در محیط GIS بررسی و شناسایی شدند.

یافته‌ها: باتوجه به این‌که هدف از این تحقیق تعیین الگوهای مکانی-زمانی تصادفات ترافیکی برون شهری استان اصفهان است ابتدا الگوی نحوه پراکنش فضایی رویدادهای تصادف با روش‌های میانگین نزدیک‌ترین همسایه و خودهمبستگی مکانی موران I جهانی بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده وجود الگوی خوشه‌ای قوی در داده‌های تصادفات ترافیکی در سال‌های مورد مطالعه در استان اصفهان بود. سپس با استفاده از روش گتیس-ارد جی استار یک تحلیل نقاط داغ بهینه شده به صورت کلی بر روی کل مجموعه داده تصادفات انجام شد و پس از آن باتوجه به تقسیم مجموعه داده به سطوح مختلف از جمله بازه زمانی شبانه‌روز، روز هفته، ماه، سال و سطح شدت تصادف این تحلیل بر روی مجموعه داده هر سطح به صورت جداگانه صورت گرفت. نتایج حاصل از اجرای تحلیل گتیس ارد جی استار بر روی سطوح مختلف حاکی از آن بود که بخش اعظمی از تمرکز نقاط داغ با سطح اطمینان ۹۹ درصد در مسیرهای منتهی به مرکز استان یعنی شهر اصفهان و همچنین شهرهای پرجمعیت همجوار آن واقع است که

تاریخ دریافت: ۲۷ اسفند ۱۴۰۲

تاریخ داوری: ۱۴ فروردین ۱۴۰۳

تاریخ اصلاح: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۷ خرداد ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

تصادفات ترافیکی
الگوهای مکانی-زمانی
آمار مکانی
خودهمبستگی مکانی
گتیس ارد جی استار

* نویسنده مسئول

aghamohammadi@srbiau.ac.ir

③ ۲۱-۴۴۸۶۷۱۷۱

بیشترین حجم تردد و ترافیک در آن وجود دارد و با فاصله از مرکز استان تراکم تصادفات به طرز چشم‌گیری کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: باتوجه به نتایج تحلیل خودهمبستگی مکانی تصادفات و نقشه‌های نقاط داغ در سطوح مورد بررسی نتایج حاکی از آن بود که تصادفات در برخی از مناطق استان اصفهان به‌صورت خوشه‌ای تجمع یافته‌اند. هم‌جواری با مرکز استان و شهرهای پرجمعیت و اصلی بر تمرکز تصادفات ترافیکی در این منطقه تأثیر بسیاری دارد و با فاصله از مراکز شهری پرجمعیت فراوانی تصادفات کاهش می‌یابد. از نتایج این مطالعه و درکی که از الگوهای مکانی و زمانی تصادفات ترافیکی به‌دست آمده است، می‌توان برای توسعه استراتژی‌های جدید، راهنمایی مدیران و دست اندرکاران حوزه حمل و نقل و ترافیک، اخذ تصمیمات و انجام اقدامات مناسب برای بهبود وضعیت ایمنی نقاط حادثه‌خیز استفاده نمود.

مقدمه

مسئله تصادفات ترافیکی از دیدگاه‌های مختلف آماری توسط محققان مختلف داخلی و خارجی بررسی شده است. در بیشتر تحلیل‌های قبلی صورت گرفته در حیطه تصادفات ترافیکی، از روش‌های آماری ریاضی استفاده شده است [۱۰ و ۱۱]. این روش‌ها اغلب از فراوانی تصادفات برای شناسایی محل نقاط داغ تصادف (نقاط حادثه‌خیز) استفاده می‌نمایند [۱۲]. با این‌که عملکرد و بیان آن‌ها نسبتاً ساده است، اما محدودیت‌های زیادی همچون عدم امکان بصری‌سازی و ناتوانی در برقراری ارتباط بین زمان و مکان در این روش‌ها وجود دارد [۱۳ و ۱۴]. در حال حاضر، عمدتاً دو روش برای مطالعه ویژگی‌های توزیع مکانی تصادفات جاده‌ای وجود دارد: یکی تعیین مناطق پرتصادف ترافیکی توسط تحلیل‌های آماری و دیگری نمایش بصری تصادفات ترافیکی با استفاده از فناوری GIS و سپس تحلیل مکانی ویژگی‌های توزیع با استفاده از روش‌های تحلیل مکانی است. در مقایسه با اولی مزایای استفاده از GIS برای تحلیل این است که ویژگی‌های بصری GIS توانسته است درک بصری و شهودی بیشتری از توزیع حوادث ترافیکی فراهم کند و این امر سریعاً موجب ارائه یک درک کلی از وضعیت ایمنی ترافیک در آن منطقه می‌شود. همچنین انواع ابزارهای تحلیل مکانی توسط سیستم فعلی فناوری GIS توسعه داده شده است و از آن‌ها می‌توان برای کاوش ویژگی‌های توزیع مکانی حوادث ترافیکی و رابطه مکانی بین تصادفات ترافیکی مختلف از زوایای گوناگون استفاده کرد که به‌سختی می‌توان از طریق تحلیل‌های آماری ساده به آن دست یافت [۱۵]. در واقع در سال‌های اخیر تحولات انکارناپذیری توسط سیستم اطلاعات مکانی در زمینه سازمان‌دهی و مدیریت داده‌های مکانی ایجاد و علاوه بر اطلاعات دقیق مکانی، امکاناتی همچون تحلیل‌های مکانی، شبیه‌سازی و مدل‌سازی در اختیار برنامه‌ریزان و مدیران حمل و نقل قرار داده شده است. از آنجایی که تصادف یک پدیده مکانمند است تحلیل تصادفات در جاده‌های برون شهری با استفاده از GIS کمک بزرگی به شناسایی مناطق حادثه‌خیز کرده است [۹]. یک فرض اساسی استفاده از GIS در رابطه با حوادث ترافیکی این است که تصادفات رویدادهای گسسته‌ای هستند که به‌صورت مکانی و زمانی رخ می‌دهند و هر پدیده دارای دو بعد مکان و زمان است [۱۶]. از سوی دیگر، شدت تصادفات جاده‌ای به‌صورت شانس و اتفاقی رخ نمی‌دهد بلکه دارای الگوهای قابل پیش‌بینی و پیش‌گیری می‌باشد. در واقع تصادفات رویدادهایی قابل بررسی، تحلیل

تصادفات یکی از حوادث تهدیدکننده زندگی در جهان است که موجب خسارات جانی و مالی می‌شود [۱]. تقریباً ۱.۱۹ میلیون نفر هر سال به‌دلیل تصادفات رانندگی جان خود را از دست می‌دهند. صدمات ناشی از تصادفات رانندگی عامل اصلی مرگ برای کودکان و جوانان ۵ تا ۲۹ ساله هستند [۲]. گزارش شده است که بیشترین تصادفات ترافیکی در کشورهای با درآمد کم و متوسط رخ می‌دهد و بیش از ۹۰ درصد مرگ و میرهای ناشی از تصادفات ترافیکی را در بر دارد [۳ و ۴]. ایران نیز از نظر سوانح ترافیکی به‌عنوان یکی از کشورهای دارای بیشترین موارد تصادف و مرگ و میر معرفی شده است [۵]. تصادفات ترافیکی جاده‌ای (RTA) در ایران به‌دلایل مختلفی از جمله جمعیت جوان کشور (بیشتر قرار گرفتن در معرض RTAها)، قیمت پایین بنزین، کاهش نسبت استفاده از حمل و نقل عمومی نسبت به وسایل نقلیه شخصی و طراحی - های ایمنی غیر استاندارد، یک مسئله سلامت عمومی جدی محسوب می‌شود [۶]. تصادفات ترافیکی جاده‌ای و آسیب‌های مرتبط با آن نقش قابل توجهی در بار امراض و بیماری‌ها در ایران دارد. همچنین تأثیر بسزایی بر رفاه اجتماعی و اقتصادی مردم می‌گذارد. برای مثال تصادفات ترافیکی جاده‌ای سومین عامل مرگ و میر در ایران محسوب می‌شود [۷]. استان اصفهان نیز جزو ۵ استان نخست کشور با نرخ بالای تصادفات منجر به جرح و فوت در جاده‌ها می‌باشد. این استان در کریدور شمال به جنوب و شرق به غربی کشور قرار دارد و دلایلی از جمله وجود صنایع مادر و ویژگی‌های گردشگری موجب حجم بالای سفر و تردد وسایل نقلیه در این استان شده است. همچنین استان اصفهان دارای ۱۱ هزار و ۵۰۰ کیلومتر راه است و رتبه اول حمل بار و رتبه سوم حمل مسافر در کشور را به خود اختصاص داده است [۸]. علاوه بر این با توجه به اهمیت و مزایای غیر قابل انکار حمل و نقل راه‌های برون شهری در جوامع، سازمان‌دهی و تحلیل اطلاعات مرتبط با تصادف از جمله نوع تصادف، محل تصادف و دیگر حالت‌های حمل و نقلی درگیر در تصادفات برای تحلیل‌های ایمنی حمل و نقل بسیار حائز اهمیت است [۹]. از این‌رو شناسایی مکان‌های پر حادثه در استان اصفهان که احتمال وقوع تصادفات در آن بیشتر است، در مقابله با روند نگران‌کننده حوادث ترافیکی جاده‌ای بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد.

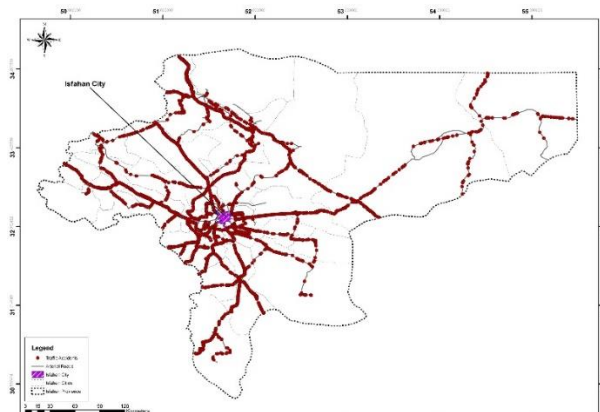
تا ۲۰۱۸ در هاربین چین پرداختند. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن تراکم شبکه جاده‌ای، تصادفات عمدتاً در مراکز شهری توزیع می‌شوند. درحالی‌که وقتی تراکم شبکه راه در نظر گرفته نشود تصادفات پراکنده‌ترند. همچنین انجام یک تحلیل خوشه‌ای با در نظر گرفتن شدت تصادف نشان داد که خوشه‌های تصادف با شدت کم بیش‌تر در مراکز شهری رخ می‌دهد و خوشه‌های تصادف با شدت بالا بیشتر در مناطق برون شهری وجود دارد [۱۸]. در تحقیقات انجام شده توسط [۲۹-۳۳] نیز عنوان شده که تراکم جمعیت، به نوعی با فراوانی تصادفات مرتبط هستند.

با وجود این پیشرفت‌ها، همچنان در خصوص تحلیل تصادفات ترافیکی به‌خصوص در استان اصفهان شکاف‌های تحقیقاتی وجود دارد چراکه در اغلب مطالعات صورت گرفته در استان اصفهان تصادفات توسط روش‌های آماری تحلیل شده و در برخی نیز عوامل موثر بر تصادفات مورد بررسی قرار گرفته شده است. به عنوان مثال مطالعه‌ای [۳۴] در خصوص روند میزان بروز سالیانه آسیب‌ها و مرگ و میرهای ناشی از سوانح ترافیکی در مناطق شهری و برون شهری استان اصفهان طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۹ انجام شد و نتایج حاکی از آن بود که طی سال‌های مورد بررسی روند رخداد سوانح ترافیکی، مرگ و میرها و آسیب‌ها صعودی می‌باشد و مناطق درون شهری نسبت بیشتری از تصادفات و آسیب‌ها و مناطق برون شهری نسبت بیشتری از مرگ و میرها را در برمی‌گیرند. همچنین در تحقیقی دیگر [۳۵] به بررسی مرگ و میر و آسیب‌های ناشی از تصادفات ترافیکی در شهر اصفهان با استفاده از ۱۵۰۹۴۰ تصادف در یک دوره سه ساله پرداخته شد. در مطالعه دیگری عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادف در شهر اصفهان بر روی ۴۸۶ مورد فوت ناشی از تصادفات ترافیکی در معابر شهر اصفهان در دوره زمانی فروردین ماه ۸۹ تا فرودین ماه ۹۱ با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک بررسی شده است [۳۶]. عوامل مؤثر بر اندازه تصادفات عابر پیاده با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری و ۳۷۱۸ داده تصادف عابر پیاده در استان اصفهان توسط [۳۷] مطالعه شده است. همچنین تحقیقاتی در خصوص تعیین عوامل اجتماعی مرگ و میر ناشی از تصادفات ترافیکی [۳۸] و بررسی و شناسایی ویژگی‌های اپیدمیولوژیک حوادث ترافیکی مرگبار [۳۹] نیز در شهر اصفهان صورت گرفته است. در واقع در تحقیقات گذشته که بیشتر بر پایه روش‌های آماری بوده، جنبه‌های مکانی و زمانی تصادفات نادیده گرفته شده و از روش‌های آمار مکانی در تحلیل تصادفات و شناسایی مکان‌های حادثه‌خیز در سطح استان اصفهان استفاده نشده است. این مسئله موجب محدودیت‌هایی در بصری‌سازی داده‌های حوادث و ناتوانی در مرتبط نمودن زمان و مکان می‌شود. لذا کمبود انجام مطالعات جامعی در خصوص تصادفات ترافیکی در سطح کلی استان اصفهان، وجود خلاء تحقیقاتی در تاکید بر جنبه مکانی- زمانی تصادفات و از طرفی اهمیت GIS و استفاده از روش‌های تحلیل مکانی و خوشه‌بندی در تشخیص نقاط حادثه‌خیز و شناسایی الگوهای تصادفات موجب شد که در این تحقیق با استفاده از نوآوری

و جلوگیری هستند [۱]. به عبارت دیگر رویدادهای تصادف در دامنه مکان و زمان کمتر به صورت تصادفی رخ می‌دهند بلکه ممکن است خوشه‌هایی توسط آن‌ها تشکیل شود که همان محل‌هایی است که تمرکز تصادفات در فضای جغرافیایی اتفاق می‌افتد [۱۷]. برای کاهش تعداد تصادفات رانندگی، ضروری است تعیین کنیم که تصادفات مکرر کجا و در چه زمانی رخ می‌دهند. برخی از مطالعات مرتبط قبلی حاکی از آن است که حوادث با الگوهای مکانی و زمانی خاصی اتفاق می‌افتند [۱۸]. بنابراین بررسی تصادفات ترافیکی که به عنوان رویدادهای مکانی-زمانی شناخته می‌شوند در ابعاد مکانی و یا زمانی ضروری است تا بهترین و پایدارترین راه‌حل‌ها برای این مسائل تعیین شود [۱۹ و ۲۰].

روش‌های مرسوم تشخیص نقاط کانونی به اندازه کافی برای شکل قابل توجهی از الگوهای نقطه‌ای تصادف قوی نیست. زیرا در این روش‌ها اثرات مکانی در داده‌های تصادف مانند خودهمبستگی مکانی نادیده گرفته می‌شود. هنگام کار با داده‌های جغرافیایی همچون تصادفات جاده‌ای برون شهری باید اثرات مکانی بین همسایگان در مکان در نظر گرفته شود [۹]. شناسایی مکان‌های پرخطر از نظر روش‌شناسی، اصولاً از رویکردهای پیوند-ویژگی (link-attribute) و رویداد مبنا (event-based) پیروی می‌کند [۲۱]. رویکرد پیوند-ویژگی برای شناسایی محل‌های خطرناک جاده‌ای (HRL) ابتدا با تقسیم کل شبکه جاده به واحدهای فضایی پایه آغاز می‌شود. ولی در رویکرد رویداد مبنا، تصادفات به عنوان نقاط ارائه می‌شوند. این رویکرد می‌تواند به عنوان روش مبتنی بر فاصله که فواصل بین رویدادها را بررسی می‌کند و مبتنی بر تراکم که شدت کلی نقاط را بررسی می‌کند، دوباره دسته‌بندی شود. به طور خلاصه، بسته به هدف مطالعه و ماهیت داده‌ها، روش‌های KDE مسطح، NetKDE و شاخص‌های محلی همبستگی فضایی (LISA؛ موران I محلی و گتیس ارد جی استار) برای شناسایی نقاط داغ قابل استفاده هستند [۲۲]. در این راستا، محققان مختلفی از جمله [۲۰، ۲۴-۲۳] از نگاشت مکانی و زمانی حوادث ترافیکی استفاده نموده و مدل‌های خود را برای اقدامات ایمنی جاده‌ای ایجاد کرده‌اند. در این خصوص، چندین رویکرد برای تعیین توزیع‌های زمانی و همچنین توزیع فضایی حوادث ترافیکی در طول جاده‌ها توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است که روش‌های نگاشت مبتنی بر آمار مانند تخمین تراکم کرنل (KDE)، K-means، موران I و گتیس ارد از محبوب‌ترین روش‌های استفاده شده در این حوزه هستند. زیرا نشان می‌دهند که حوادث داغ ترافیکی از نظر آماری چقدر معنی‌دار می‌باشند [۲۶ و ۲۷]. علاوه بر این موارد در مطالعه‌ای [۲۸] کارایی استفاده از تحلیل‌های مکانی و روش‌های الگویی نقطه‌ای برای شناسایی مکان‌های دارای تمرکز تصادفات بررسی شد. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که در راه‌های با الگوی ترافیکی پراکنده، مکان‌های تمرکز تصادفات توسط پارامتر نزدیکی به مناطق شهری به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار گرفته است. همچنین در پژوهش دیگری محققان به بررسی الگوهای مکانی و زمانی تصادفات جاده‌ای با هر دو دیدگاه فراوانی تصادف و شدت آن در سال‌های ۲۰۱۶

جمع‌آوری داده‌ها: در این پژوهش از داده‌های تصادفات ترافیکی رخ داده در شبکه راه‌های اصلی برون شهری استان اصفهان در سال‌های ۹۶ و ۹۷ استفاده شده است. این داده‌ها دارای مختصات مکانی موقعیت هر تصادف به همراه اطلاعات توصیفی مربوطه اعم از تاریخ تصادف، روز تصادف، ساعت تصادف و غیره می‌باشند و به دلیل داشتن مختصات مکانی قابلیت تحلیل به صورت مکانی و زمانی و همچنین نمایش بر روی نقشه را دارند. نوع تصادفات بر اساس شدت در این مجموعه داده به سه دسته خسارتی، جرحی و فوتی تقسیم شده‌اند که در این مطالعه داده‌های تصادفات شدید یعنی تصادفات منجر به جراحت و فوت که در راه‌های اصلی، بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها رخ داده‌اند برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. چراکه این نوع تصادفات نسبت به انواع دیگر تصادفات موجب تبعات شدیدتر جانی و مالی می‌شوند. لذا دارای اهمیت بیشتری در تحلیل‌های مکانی-زمانی هستند. حجم داده مورد استفاده در این تحقیق ۷۷۰۳ مورد تصادف به صورت نقطه‌ای و شامل ۷۵۳ مورد تصادف از نوع فوتی و فوتی-جرحی و ۶۹۵۰ مورد تصادف جرحی در شبکه راه‌های اصلی، بزرگراه‌ها و آزادراه‌های استان است. شکل شماره ۲ نحوه توزیع مکانی تصادفات را بر روی نقشه نشان می‌دهد.



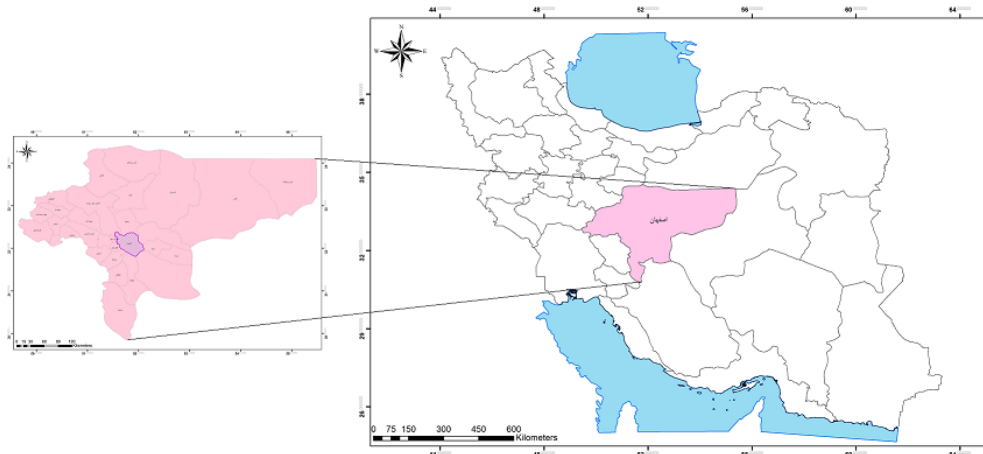
شکل ۲: توزیع مکانی تصادفات ترافیکی در محدوده مورد مطالعه. دایره قرمز رنگ نمایانگر رویدادهای تصادف می‌باشد.

Fig. 2: Spatial distribution of traffic accidents within the study area. The red circle indicates the accident events.

نسبت به تحقیقات قبلی به بررسی توزیع مکانی-زمانی الگوهای تصادفات برون شهری این استان با استفاده از روش‌های خودهمبستگی مکانی پرداخته شود. چراکه این روش‌ها دارای ویژگی‌های مناسبی برای تشخیص الگوها و شناسایی نقاط داغ حوادث ترافیکی به صورت سریع و همچنین بصری می‌باشند. از سوی دیگر، به منظور تحلیل جامع‌تر تصادفات ترافیکی، در این تحقیق، تحلیل مکانی و زمانی تصادفات در سطوح مختلف زمانی (شبانه‌روز، روز هفته، ماه و سال) و همچنین شدت تصادف (فوتی و جرحی) انجام شده است. در این راستا، توزیع مکانی-زمانی حوادث ترافیکی استان اصفهان بررسی و خوشه‌های مهم از لحاظ آماری شناسایی شده‌اند. از نتایج این مطالعه و درکی که از الگوهای مکانی و زمانی تصادفات ترافیکی به دست می‌آید، می‌توان برای توسعه استراتژی‌های جدید، راهنمایی مدیران و دست‌اندرکاران حوزه حمل و نقل و ترافیک، اتخاذ تصمیمات و انجام اقدامات مناسب برای بهبود وضعیت ایمنی نقاط حادثه‌خیز استفاده کرد.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه: استان اصفهان از استان‌های مرکزی ایران محسوب می‌شود و شهر اصفهان مرکز آن است. این استان ششمین استان پهناور و سومین استان پرجمعیت ایران شناخته می‌شود و همچنین رتبه اول شهرنشینی در کشور را به خود اختصاص داده است. این استان با مساحتی حدود ۱۰۶،۷۸۶ کیلومترمربع بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است. طبق آخرین تقسیمات کشوری، این استان از ۲۸ شهرستان، ۵۱ بخش، ۱۰۶ شهر و ۱۳۱ دهستان تشکیل شده است. در جوار استان اصفهان بیشترین استان‌های همسایه دیده می‌شود. که از شرق به استان‌های یزد و خراسان جنوبی، از شمال به استان‌های سمنان، قم و مرکزی، از غرب به استان‌های لرستان و چهارمحال و بختیاری، از جنوب به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و فارس محدود است. در شکل شماره ۱ موقعیت جغرافیایی این استان نمایش داده شده است.



شکل ۱: موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه. ناحیه بنفش رنگ مرکز استان اصفهان را نشان می‌دهد.

Fig. 1: The geographical location of the study area. The purple area indicates the center of Isfahan Province

نمایانگر فاصله بین پدیده مورد بررسی و نزدیک‌ترین همسایه اش و n تعداد کل پدیده‌ها می‌باشد.

$$\bar{D}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (2)$$

$$\bar{D}_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/N}} \quad (3)$$

همچنین برای ارزیابی الگوی مکانی از آزمون امتیاز استاندارد Z_{ANN} که طبق فرمول شماره ۴ و ۵ محاسبه می‌شود استفاده می‌گردد که n تعداد کل پدیده‌ها و A مساحت منطقه مورد مطالعه است.

$$Z_{ANN} = \frac{\bar{D}_0 - \bar{D}_E}{SE} \quad (4)$$

$$SE = \frac{0.26136}{\sqrt{n^2/A}} \quad (5)$$

تحلیل خود همبستگی مکانی موران جهانی: یکی دیگر از شاخص‌های آماری مورد استفاده برای تحلیل الگوهای مکانی تصادفات، آزمون خودهمبستگی مکانی موران جهانی است که در این تحقیق برای تعیین نحوه توزیع مکانی تصادفات ترافیکی استفاده شده است.

در خصوص رده‌بندی الگوهای مکانی که به‌صورت خوشه‌ای، پراکنده یا تصادفی هستند می‌توان بر چگونگی نظم و ترتیب واحدهای ناحیه‌ای توجه داشت. در واقع مشابهت یا عدم مشابهت‌ها می‌تواند برای الگوهای فضایی خلاصه‌سازی شود. خودهمبستگی فضایی به‌معنای این است که ارزش صفات مورد بررسی با هم مرتبط است و این همبستگی می‌تواند به نظم جغرافیایی پدیده‌ها مربوط باشد [۴۲]. الگوی توزیع رویدادها توسط مقادیر موران به‌تصویر کشیده می‌شود و با توجه به عوارض مشخص شده و صفات‌های مربوطه، الگوی خوشه‌ای، پراکنده و یا تصادفی تعیین خواهد شد. در واقع موران نشان می‌دهد که مکان و مقادیر عوارض از نظر فضایی به‌صورت خوشه‌ای، پراکنده یا تصادفی توزیع شده است. موران جهانی با استفاده از خودهمبستگی مکانی با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j W_{i,j} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{(\sum_i \sum_j W_{i,j}) \sum_i (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})} \quad (6)$$

که در رابطه فوق N تعداد پدیده‌ها، X_i مقدار متغیر در یک موقعیت مشخص، X_j مقدار متغیر در یک موقعیت دیگر، $\bar{X}$ میانگین متغیر و W وزنی است که به اختلاف بین موقعیت i و موقعیت j اعمال می‌شود.

پیش پردازش داده‌ها: ابتدا به‌منظور استفاده از داده‌های مورد استفاده در این تحقیق که از منابع مختلف اخذ و جمع‌آوری شده‌اند، مراحل مختلفی از جمله پاک‌سازی و حذف داده‌های پرت و ناقص، حذف نقاط تصادف خارج از محدوده مورد مطالعه، حذف نقاط کاملاً تکراری، تبدیل سیستم مختصات، یکپارچه‌سازی و تجمیع تصادفات و ذخیره در یک پایگاه داده مکانی واحد صورت گرفته است. برای افزایش کیفیت داده‌های مورد استفاده نیز می‌توان به مراحل متعددی مانند یکسان‌سازی دامنه‌ها در فیلدهای جدول اطلاعات توصیفی، تطابق روزهای ثبت شده در فیلد روز تصادف با تقویم رسمی هر سال برای افزایش دقت و صحت داده‌های مورد استفاده، حذف نقاط با موقعیت نادرست، تعیین بازه‌های زمانی بر اساس ساعت وقوع تصادف، تعیین ماه‌ها و غیره اشاره نمود.

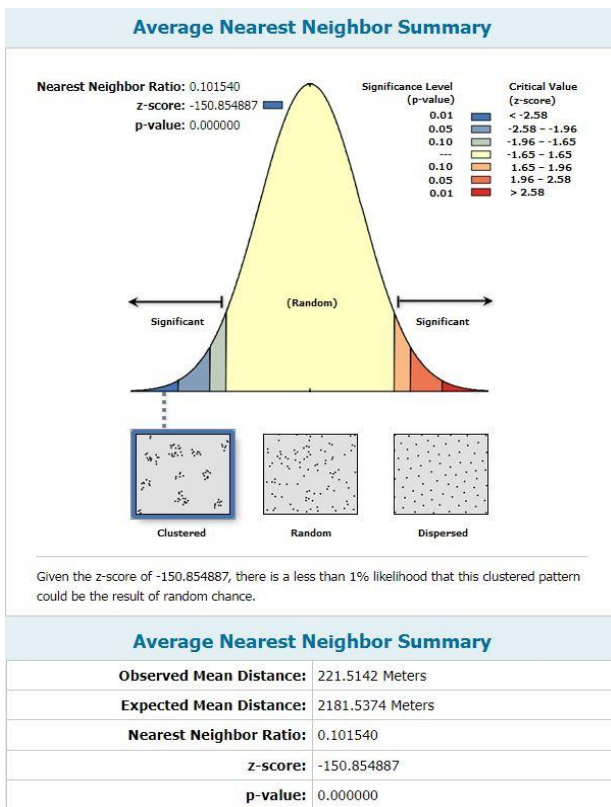
روش‌های تحلیل مکانی مورد استفاده در این تحقیق: به‌منظور تحلیل رویدادهای تصادف که دارای مختصات مکانی می‌باشند و همچنین سنجش همبستگی مکانی میان تصادفات می‌توان از آماره‌های خاصی استفاده کرد که برای بررسی و شناسایی الگوهای مکانی توزیع پدیده‌ها (تصادفات ترافیکی در این مطالعه) کاربرد دارند. از جمله این آمارها می‌توان به میانگین نزدیک‌ترین همسایه و موران جهانی و همچنین برای تحلیل نقاط داغ به روش گتیس-ارد جی استار اشاره نمود که در این پژوهش به‌کار گرفته شده است.

میانگین نزدیک‌ترین همسایه (Average Nearest Neighbor): آزمون شاخص میانگین نزدیک‌ترین همسایه یکی از شاخص‌های آماری مورد استفاده برای تحلیل الگوهای مکانی تصادفات است [۴۰]. فاصله بین مرکز هر ویژگی و مرکز مکان همسایه آن توسط ابزار میانگین نزدیک‌ترین همسایه اندازه‌گیری می‌شود. سپس میانگین این فواصل همسایه نزدیک محاسبه می‌گردد. اگر میانگین فاصله کمتر از میانگین یک توزیع تصادفی فرضی باشد، توزیع ویژگی‌های تحلیل شده به عنوان الگوی خوشه‌ای و اگر میانگین فاصله بیشتر از یک توزیع تصادفی فرضی باشد، ویژگی‌ها به عنوان پراکنده در نظر گرفته می‌شوند [۴۱]. پنج مقدار شامل میانگین فاصله مشاهده شده، میانگین فاصله مورد انتظار، شاخص نزدیک‌ترین همسایه، Z-score و P-value توسط این تحلیل برگردانده می‌شود. نسبت میانگین نزدیک‌ترین همسایه از طریق رابطه شماره ۱ محاسبه می‌گردد.

$$ANN = \frac{\bar{D}_0}{\bar{D}_E} \quad (1)$$

$\bar{D}_0$ میانگین فاصله مشاهداتی بین هر پدیده و نزدیک‌ترین همسایه‌هایش و $\bar{D}_E$ میانگین فاصله بین پدیده و نزدیک‌ترین همسایه‌هایش در حالتی که توزیع مکانی پدیده‌ها به صورت تصادفی باشد. نحوه محاسبه $\bar{D}_0$ و $\bar{D}_E$ طبق رابطه ۲ و ۳ به شرح ذیل است. که d

ولی میانگین فاصله مشاهداتی ۲۲۱ متر می‌باشد به‌طوری‌که ضریب نزدیک‌ترین همسایه که از نسبت میانگین فاصله مشاهداتی به میانگین فاصله مورد انتظار به‌دست می‌آید برابر با ۰.۱۰ شده است. همچنین مقدار Z-Score برابر با ۱۵۰/۸۵- و P-value برابر با صفر می‌باشد که حاکی از وجود یک الگوی خوشه‌ای قوی در میان داده‌ها است. با توجه به مقادیر حاصل از این تحلیل، کمتر از یک درصد احتمال دارد که این الگوی خوشه‌ای نتیجه یک شانس تصادفی باشد.



شکل ۳: نتایج آماری آزمون میانگین نزدیک‌ترین همسایه
Fig. 3: Statistical results of the average nearest neighbor test

نتایج تحلیل خودهمبستگی مکانی موران جهانی: در این تحقیق برای بررسی نحوه توزیع مکانی تصادفات از خودهمبستگی مکانی موران جهانی استفاده شده است. نمودار خودهمبستگی مکانی، Z-score و P-value کل تصادفات سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در استان اصفهان با استفاده از آمار موران در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. مقادیر شاخص موران، Z-score و P-value به‌ترتیب برابر با ۰/۸۵۸، ۱۳۸/۹۵۹ و ۰ است. که این مقادیر نشان‌دهنده وضعیت آماری معنی‌داری در تصادفات ترافیکی می‌باشد. چراکه موران مثبت، Z-score بالا و P-value صفر نمایانگر این است که تصادفات ترافیکی در محدوده مورد مطالعه حالت خوشه‌بندی شده دارند و کمتر از یک درصد احتمال دارد که این الگوی خوشه‌ای نتیجه یک شانس تصادفی باشد. لذا با توجه به نتایج حاصل از خودهمبستگی مکانی موران و میانگین نزدیک‌ترین همسایه مشخص شد که الگوی مکانی تصادفات ترافیکی در استان اصفهان طی سال‌های مورد بررسی به صورت خوشه‌ای قوی است.

تحلیل خود همبستگی مکانی گتیس ارد جی/استار: آماره گتیس ارد جی استار برای تحلیل نقاط کانونی (نقاط داغ) به کار می‌رود. یکی از قوی‌ترین روش‌های زمین‌آمار برای نگاشت خوشه‌ها و شناسایی مکان‌هایی است که از نظر آماری نقاط گرم یا سرد قابل توجهی هستند. تحلیل نقطه داغ به‌ویژه برای تعیین اقدامات مورد نیاز برای مکان‌هایی که دارای یک یا چند الگوی خوشه‌بندی مانند تصادفات ترافیکی هستند، درک علل بالقوه آن خوشه‌بندی و بصری‌سازی مکان‌های خوشه‌بندی و گستره جغرافیایی آن‌ها امری مفید است. G_i^* برای هر عارضه در یک مجموعه داده توسط این تحلیل محاسبه می‌شود و مشخص می‌گردد که کجا عوارض دارای Z-Score بالا یا پایین و P-value به‌صورت مکانی خوشه‌بندی شده‌اند. در این روش هر عارضه در چارچوب عوارض همسایه خود در نظر گرفته می‌شود و اگر دارای ارزش بالایی باشد و توسط عوارض دیگر با مقادیر بالا نیز احاطه شده باشد، به‌عنوان یک نقطه داغ آماری معنی‌دار شناسایی می‌گردد. در واقع زمانی یک Z-Score معنی‌دار آماری محاسبه می‌شود که مجموع محلی برای یک عارضه و همسایگان آن به نسبت از مجموع محلی مورد انتظار بسیار متفاوت باشد و زمانی که این تفاوت بیش از حد بزرگ باشد نمی‌تواند به‌دلیل یک شانس تصادفی باشد [۴۳-۴۵]. آمار G_i^* یک Z-Score است. در Z-Score بزرگ‌تر (Z-Score مثبت) خوشه‌بندی مقادیر بالا شدیدتر است، درحالی‌که هرچه Z-Score کوچک‌تر (Z-Score منفی) باشد، خوشه‌بندی مقادیر پایین شدیدتر است. در این روش فرض صفر توزیع مکانی تصادفات ترافیکی ارزیابی می‌شود. در واقع در فرض صفر فرض می‌شود که توزیع تصادفات ترافیکی در محدوده مورد مطالعه تصادفی فضایی کامل (CSR) است و برای رد یا اثبات این فرض Z-score ها و P-value ها بررسی می‌گردد. آمار G_i^* از طریق روابط ۸ و ۹ محاسبه می‌شود. X_j مقدار ویژگی (توصیف) برای عارضه j ، w_{ij} وزن بین عارضه‌های i و j و n برابر با تعداد کل عارضه‌هاست. آمار G_i^* یک Z-Score است.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} X_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (7)$$

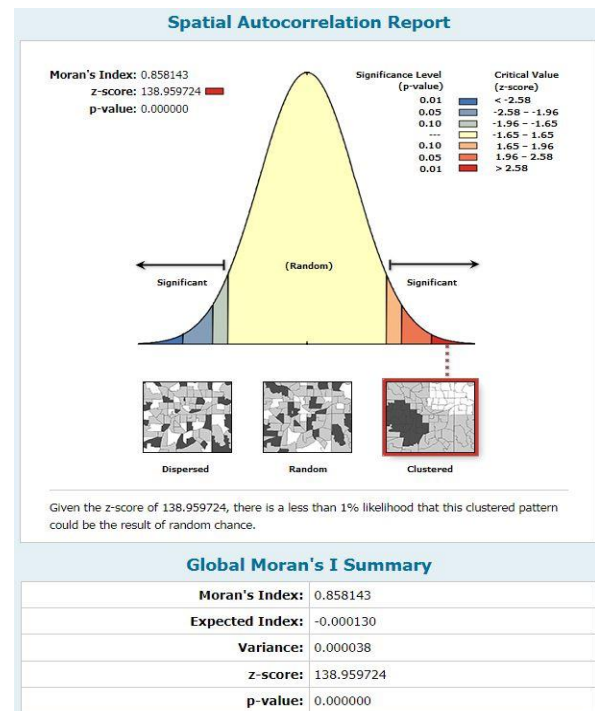
$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} \quad (8)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n X_j^2}{n} - \bar{X}^2} \quad (9)$$

نتایج و بحث

نتایج تحلیل میانگین نزدیک‌ترین همسایه: تحلیل میانگین نزدیک‌ترین همسایه اجرا و نتایج آن در شکل شماره ۳ ارائه شده است. همانگونه که مشهود است میانگین فاصله مورد انتظار در داده‌های تصادف ۲۱۸۱ متر

فراوانی تصادفات در سطح اطمینان ۹۹٪ در محورهای مواصلاتی منتهی به شهر اصفهان و شهرستان‌های پرجمعیت همجوار آن دیده می‌شود. به‌منظور بررسی این موضوع نیز بر روی لایه حریم شهر اصفهان از تابع بافر استفاده شد و نتیجه نمایانگر آن بود که به ترتیب حدود ۵۰، ۵۶ و ۶۱ درصد از کل تصادفات ترافیکی رخ داده در این مطالعه در فواصل ۳۰، ۴۰ و ۵۰ کیلومتری شهر اصفهان اتفاق افتاده است. باتوجه به وسعت استان پهناور اصفهان این مقادیر برای تمرکز تصادفات در بخش کوچکی از استان قابل توجه است و از حیث برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و اقدامات ایمنی ترافیک نیازمند توجه بیشتری می‌باشد. پس از این مرحله، برای تحلیل مکانی-زمانی سطوح مختلف، مجموعه داده تصادفات جرحی و فوتی از لحاظ زمانی به چهار سطح یعنی دوره زمانی شبانه‌روزی (بازه زمانی ۶-۰ صبح، ۶-۱۲ ظهر، ۱۲-۱۸ عصر و ۱۸-۲۴ شب)، روزهای هفته (از شنبه تا جمعه)، ماهیانه (۱۲ ماه سال)، سال (۱۳۹۶ و ۱۳۹۷) و همچنین سطح شدت تصادف (فوتی و جرحی) تقسیم و تحلیل نقاط داغ روی هریک از سطوح نامبرده به صورت مجزا انجام گردید تا الگوی رویدادهای تصادف هر سطح نیز شناسایی شود و در سطح اطمینان ۹۹ درصد مورد بررسی قرار گیرد. نقشه‌های حاصل به ترتیب در اشکال شماره ۶ تا ۱۰ نمایش و خلاصه نتایج حاصل از تحلیل‌ها در جدول شماره ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول شماره ۱ مشهود است در سطح دوره زمانی شبانه روز بیشترین درصد وقوع تصادفات در مناطق داغ و سطح اطمینان ۹۹٪ با مقادیر ۵۷/۸۳ و ۵۶/۸۰ درصد به ترتیب مربوط به دو بازه زمانی ۱۲-۱۸ و ۱۸-۲۴ می‌باشد که این امر می‌تواند به حجم تردد بالاتر و همچنین پایان زمان کاری و بازگشت افراد شاغل از محل کار خود در اطراف شهر (کارخانه‌ها، شهرک‌های صنعتی و غیره) به شهر اصفهان و بالعکس در این بازه‌های زمانی ارتباط داده شود. در بازه زمانی ۶-۰ صبح نیز به دلیل کمتر بودن حجم تردد، کمترین میزان تصادفات و به تبع آن کمترین میزان درصد وقوع تصادفات در مناطق داغ (۴۰/۹۸٪) دیده می‌شود. در سطح روز هفته، بالاترین میزان وقوع تصادفات یعنی ۶۰/۰۴ درصد در مناطق داغ به روز شنبه اختصاص یافته است. پس از آن در روزهای چهارشنبه، دوشنبه و یکشنبه علی‌رغم کم‌ترین تعداد تصادفات در طول هفته، بیشترین درصد وقوع تصادفات در سطح اطمینان ۹۹ درصد به ترتیب با مقادیر ۵۲/۱۸، ۵۱/۵۳ و ۵۰ درصد، به چشم می‌خورد. همچنین روزهای پنجشنبه و جمعه برخلاف داشتن بیشترین فراوانی تصادفات در طول هفته، همراه با روز سه شنبه در زمره کمترین میزان وقوع تصادفات در مناطق داغ قرار می‌گیرند که مقادیر آن‌ها به ترتیب ۴۸/۱۷، ۴۹/۰۳ و ۴۷/۰۴ درصد می‌باشد. علت آن می‌تواند به این امر نسبت داده شود که روزهای شنبه، یکشنبه و دوشنبه روزهای کاری آغاز هفته محسوب می‌شوند و حجم تردد بیشتری در مسیرهای نزدیک و منتهی به شهر اصفهان و شهرهای همجوار آن وجود دارد. درصد وقوع تصادفات در نقاط داغ در روز چهارشنبه که جزو روزهای کاری پایانی هفته محسوب می‌شود می‌تواند به رفت و آمد بیشتر افراد برای تعطیلات آخر هفته از شهر اصفهان به



شکل ۴: نتایج آماری آزمون خود همبستگی مکانی با نمودار اهمیت موران I، Z-score و P-value

Fig. 4: Statistical results of Spatial autocorrelation report with the Moran's I significance graph, Z-score, and P-value.

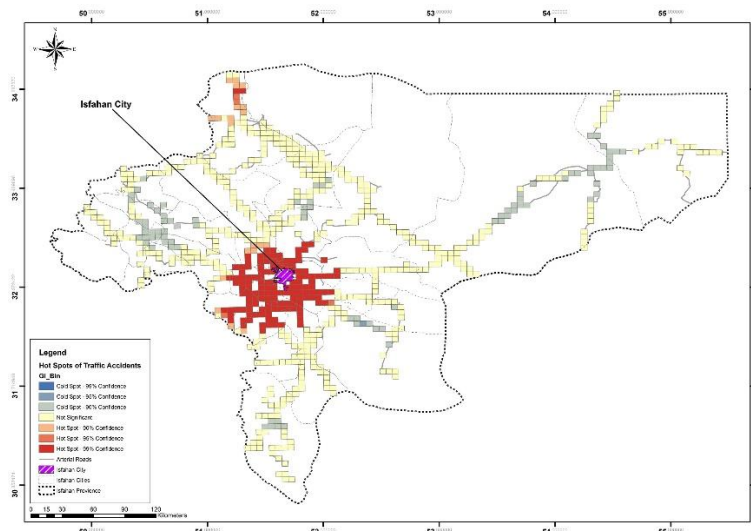
نگاشت مکانی و زمانی نقاط داغ تصادفات ترافیکی در استان اصفهان: الگوهای مکانی-زمانی در تصادفات ترافیکی با تحلیل تصادفات باتوجه به موقعیت مکانی و زمان وقوع آن‌ها ارتباط دارد. نظر به این‌که تحلیل مکانی-زمانی برای بررسی الگوهای مکانی و زمانی تصادفات استفاده می‌شود، در این مطالعه تحلیل مکانی-زمانی داده‌های تصادفات (که به‌عنوان رویداد در نظر گرفته می‌شوند) با استفاده از رویکردهای خوشه‌بندی مکانی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا برای تحلیل داده‌های مورد استفاده و شناسایی مناطق پر تصادف استان اصفهان ابتدا یک تحلیل بهینه شده نقاط داغ بر روی کل مجموعه داده تصادفات رخ داده در شبکه راه‌های اصلی، بزرگراه‌ها و آزادراه‌های استان اصفهان انجام شد. نقشه حاصل از تحلیل بهینه شده نقاط داغ (Optimized Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*)) در شکل شماره ۵ ارائه شده است. این نقشه بر اساس روش شمارش حوادث در چند ضلعی تور ماهی (Count Incidents Within Fishnet Polygons) به عنوان روش تجمع داده‌های حادثه ساخته شده و بر اساس Gibin در سه سطح اطمینان ۹۰٪، ۹۵٪ و ۹۹٪ نمایش داده شده است. در واقع در این روش رویدادهای نقطه‌ای تجمع شده و تعداد کل رویدادهای درون هر سلول محاسبه می‌گردد. نقشه حاصل نمایانگر مناطق پر تصادف و کم تصادف به صورت گرم و یا سرد است. همان‌طور که در شکل شماره ۵ مشهود است، تمرکز بخش اعظم نقاط داغ (سلول‌های قرمز رنگ) در جاده‌های منتهی به شهر اصفهان (منطقه بنفش رنگ در نقشه) و بخش کوچکی در شمال استان (آزادراه کاشان- قم) وجود دارد. بیشترین

اطمینان ۹۹ درصد اتفاق افتاده است که در نقشه مربوطه (شکل ۱۰) در بخشی از محورهای غربی و جنوبی استان اصفهان به چشم می‌خورد و مابقی نقاط از نظر آماری در سطح معنی‌داری قرار نگرفته‌اند. این گونه می‌توان استدلال نمود که در این مطالعه، الگوی تصادفات فوتی با بقیه سطوح متفاوت است و اغلب تصادفات فوتی در محورهای دورتر از مرکز استان و با تمرکز کمتر تصادفات و سرعت مجاز بالاتر اتفاق افتاده‌اند. الگوی تصادفات جرحی با تصادفات فوتی متفاوت بوده و حدود ۵۴.۴۶ درصد از تصادفات جرحی در سطح اطمینان ۹۹ درصد رخ داده‌اند و این گونه به نظر می‌رسد که تصادفات جرحی رخ داده در این بخش‌ها می‌تواند تا حدودی به نزدیکی به مراکز شهری پر جمعیت، حجم تردد، سرعت و دیگر عوامل موثر که نیاز به مطالعات بیشتری دارد بستگی داشته باشد.

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از این مطالعه، تحلیل‌های انجام شده در این تحقیق بر روی داده تصادفات سال ۱۳۹۸ نیز در سطح کلی و سطح شدت (فوتی و جرحی) به صورت آزمایشی انجام شد. خوشه‌های حاصل از هر سه سطح با خوشه‌های تصادفات سال‌های مورد بررسی (سال‌های ۹۶ و ۹۷) مطابقت خوبی نشان داد. همچنین بخشی از نتایج حاصل از روش مورد استفاده در این مطالعه که بیشترین فراوانی تصادفات در سطح اطمینان ۹۹٪ در محورهای مواصلاتی منتهی به شهر اصفهان و شهرستان‌های پرجمعیت همجوار آن دیده می‌شود با نتایج مطالعات استینبرگن و همکاران [۲۸] مبنی بر این که پارامتر نزدیکی به مناطق شهری به طور چشم‌گیری مکان‌های تمرکز تصادفات را تحت تاثیر قرار می‌دهد و با نتایج تحقیق [۱۸] در خصوص این که با در نظر گرفتن تراکم شبکه جاده‌ای، تصادفات عمدتاً در مراکز شهری توزیع می‌شوند مطابقت دارد.

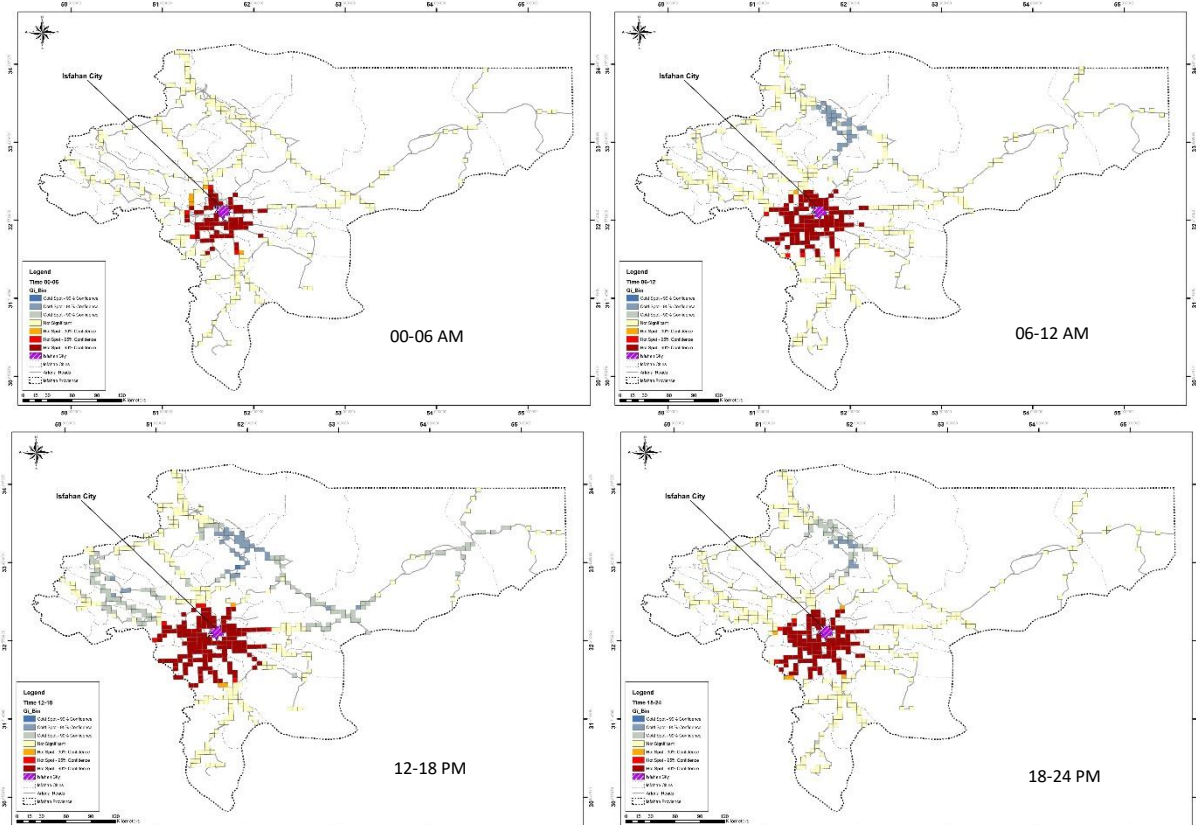
شهرستان‌های اطراف اصفهان (و بالعکس) و افزایش تعداد سفرها مرتبط باشد که خود موجب حجم تردد بالاتر و در نتیجه بروز تصادفات بیشتری در مناطق داغ با سطح اطمینان ۹۹٪ می‌گردد. از این رو این گونه می‌توان استدلال کرد که الگوی تصادفات در روزهای شنبه، یکشنبه، دوشنبه و چهارشنبه بیشتر وابسته به حجم تردد و ترافیک است ولی در روزهای پنجشنبه و جمعه که روزهای پایانی هفته بوده و از لحاظ کاری تعطیل محسوب می‌شود علی‌رغم فراوانی بیشتر تصادفات در این روزها، تصادفات در جاده‌هایی با فاصله بیش‌تر از مرکز استان اصفهان گسترش یافته‌اند. در سطح ماهیانه نیز علی‌رغم کمترین میزان فراوانی تصادفات در ماه‌های آذر، مهر و دی، بیشترین میزان تصادفات ترافیکی در مناطق داغ با سطح اطمینان ۹۹ درصد به ترتیب با مقادیر ۵۸/۱۲، ۵۶/۴۰ و ۵۵/۷۹ درصد اتفاق افتاده است. علت این امر می‌تواند به کاهش سفرهای برون شهری (سفرهای ورودی و خروجی) در محورهایی با فاصله بیشتر از مرکز استان در این ماه‌ها مرتبط باشد که به دنبال سردی هوا، باز بودن مدارس و دانشگاه‌ها، زمان امتحانات و دیگر عوامل، حجم تردد در این مسیرها کاهش یافته و بیشتر تصادفات در محورهای پر تردد منتهی به شهر اصفهان تمرکز پیدا کرده است. در ماه‌های فروردین، خرداد و اردیبهشت نیز به ترتیب با مقادیر ۳۰/۱۷، ۳۳/۴۳ و ۳۴/۹۷ درصد کمترین میزان تصادف در مکان‌های داغ مشاهده شده است. طبق تحلیل در سطح سالیانه نیز به ترتیب ۵۲/۳۱ و ۵۰/۸۳ درصد از تصادفات در هریک از سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در سطح اطمینان ۹۹ درصد قرار گرفته‌اند، که مقادیر تقریباً مشابه در این دو سال نمایانگر این است که بیش از ۵۰ درصد از تصادفات استان اصفهان در مسیرهای منتهی به شهر اصفهان و شهرهای همجوار آن رخ داده است.

همچنین طبق تحلیل فراوانی تصادفات در سطح شدت با سطح اطمینان ۹۹ درصد، تنها ۱۱.۹۵ درصد از تصادفات فوتی در مناطق داغ با سطح

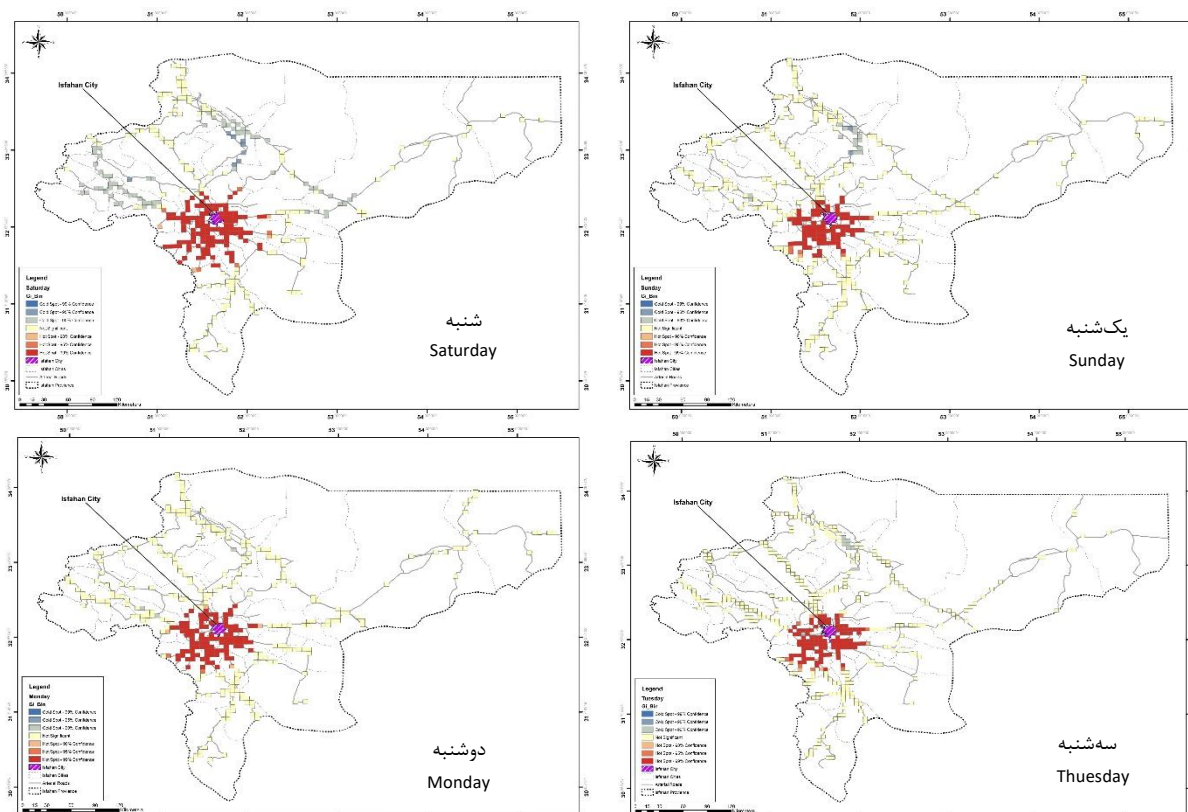


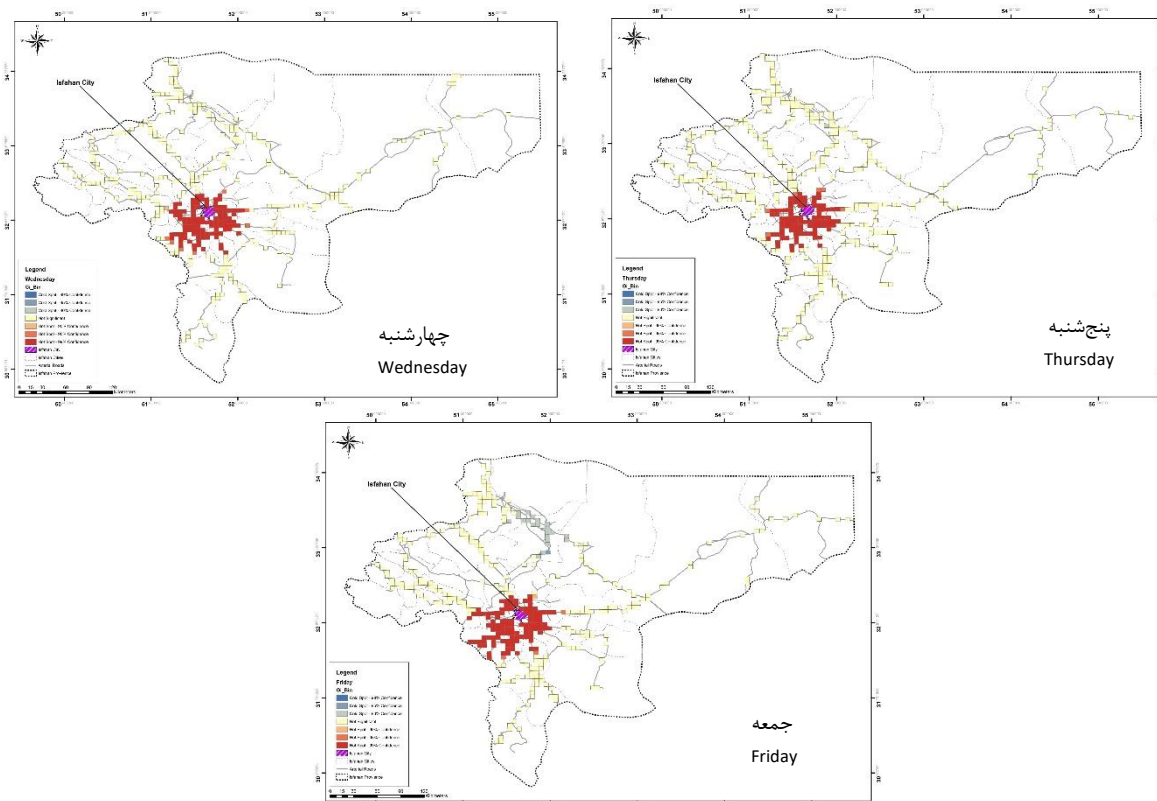
شکل ۵: تحلیل نقاط داغ بهینه شده در سطح کلی بر روی کل مجموعه داده تصادفات. سلول‌های قرمز، نارنجی و زرد رنگ به ترتیب بیانگر مناطق داغ با سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد و سلول‌های آبی تیره، آبی روشن و طوسی به ترتیب نمایانگر مناطق سرد با سطح اطمینان ۹۵.۹۹ و ۹۰ درصد و سلول‌های زرد کم‌رنگ فاقد اهمیت از نظر نقاط داغ و سرد می‌باشند. ناحیه بنفش رنگ مرکز استان یعنی شهر اصفهان را نشان می‌دهد.

Fig. 5: Optimized hotspot analysis at the aggregate level using the complete dataset of accidents. Red, orange, and yellow cells indicate hotspots with confidence levels of 99%, 95%, and 90%, respectively. Dark blue, light blue, and gray cells represent cold regions with confidence levels of 95%, 99%, and 90%. Pale yellow cells are considered insignificant for hot and cold spots. The purple area denotes the provincial capital, Isfahan

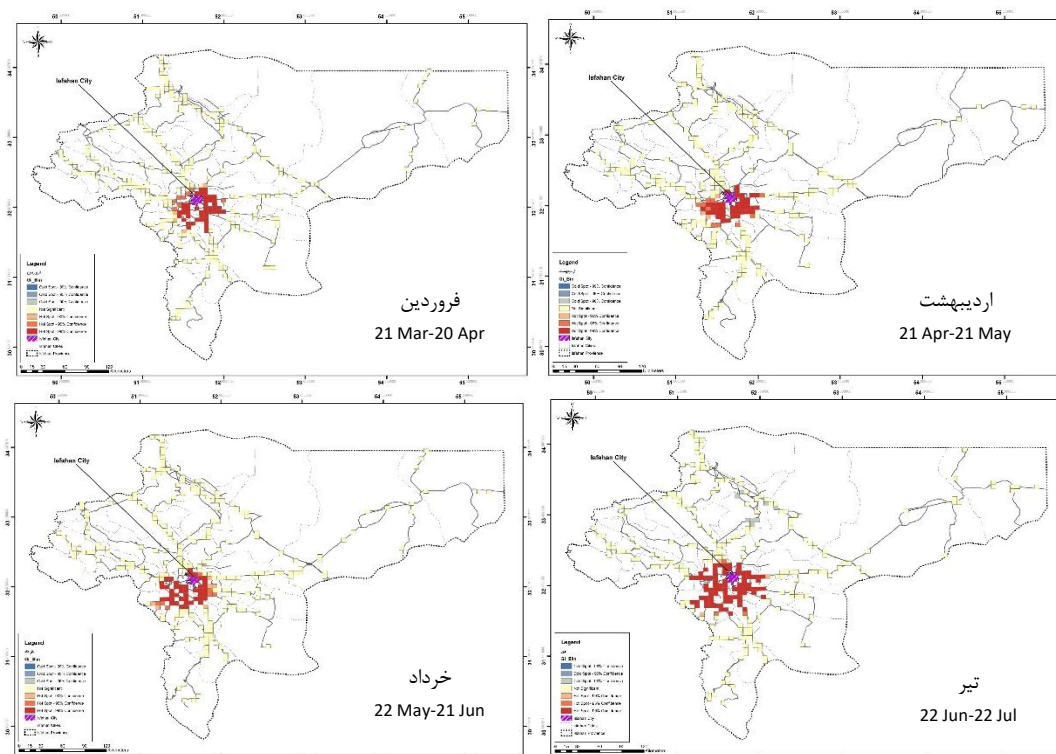


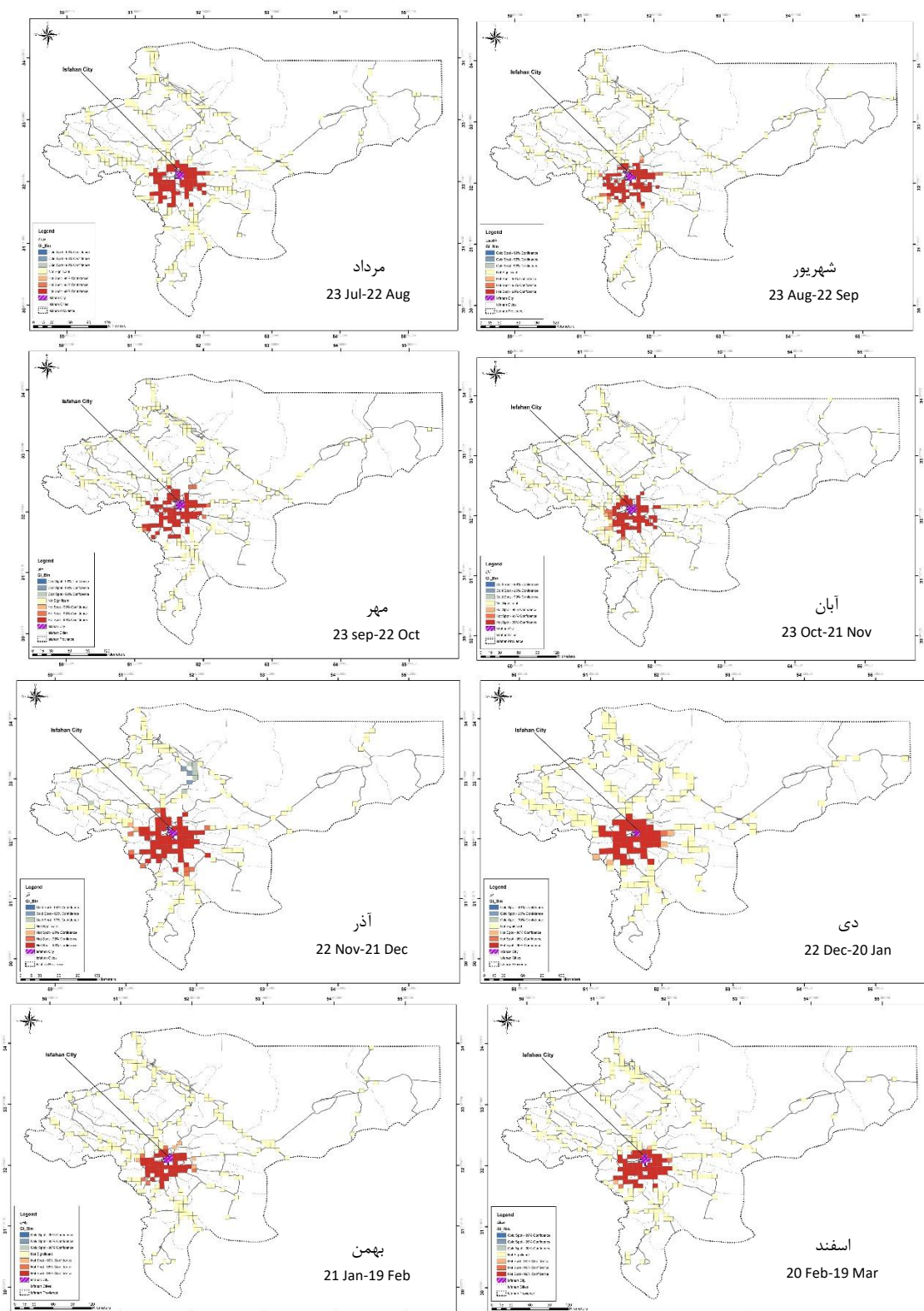
شکل ۶: نقشه‌های توزیع مکانی-زمانی نقاط داغ تصادفات ترافیکی در سطح بازه‌های زمانی
Fig.6: Spatial-temporal distribution maps of traffic accident hotspots at the time intervals level





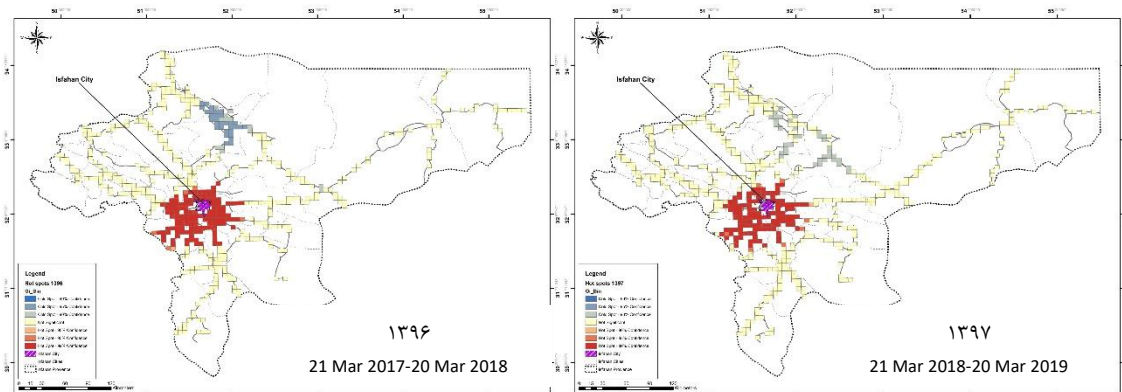
شکل ۷: نقشه‌های توزیع مکانی-زمانی نقاط داغ تصادفات ترافیکی در سطح روز هفته
 Fig.7: Spatial-temporal distribution maps of traffic accident hotspots at the day of the week level



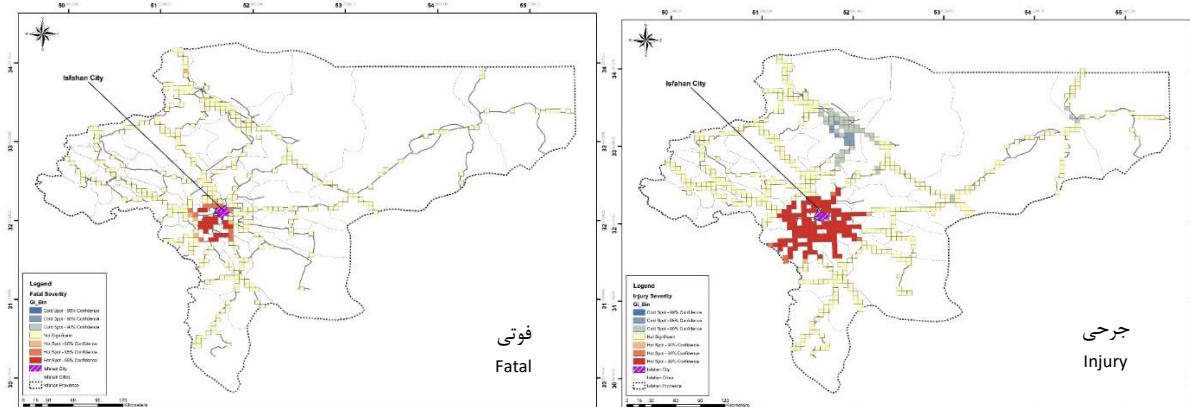


شکل ۸: نقشه‌های توزیع مکانی-زمانی نقاط داغ تصادفات ترافیکی در سطح ماهیانه

Fig.8: Spatial-temporal distribution maps of traffic accident hotspots at the monthly level



شکل ۹: نقشه‌های توزیع مکانی-زمانی نقاط داغ تصادفات ترافیکی در سطح سالیانه
Fig.9: Spatial-temporal distribution maps of traffic accident hotspots at the annual level



شکل ۱۰: نقشه‌های توزیع مکانی-زمانی نقاط داغ تصادفات ترافیکی در سطح شدت
Fig. 10: Spatial-temporal distribution maps of traffic accident hotspots at the severity level

جدول ۱: خلاصه آمار نقاط داغ برای هر یک از سطوح: بازه زمانی، روز، ماه، سال، شدت و درصد وقوع تصادفات در سطح اطمینان ۹۹٪ (GiBin=3)

Table 1: Summary of hotspot statistics for each of the levels: Time Interval, day, month, year and severity level, and the occurrence of accidents at 99% confidence level (GiBin = 3)

سطح Level	فراوانی تصادفات Frequency of accidents	تعداد تصادفات در سطح اطمینان ۹۹٪ The number of accidents at the 99% confidence level.	درصد وقوع تصادفات در سطح اطمینان ۹۹٪ The percentage of accidents at the 99% confidence level
بازه زمانی Time Interval			
00-06 AM	859	352	40.98
06-12 AM	1868	956	51.18
12-18 PM	2642	1516	57.38
18-24 PM	2317	1316	56.80
روز هفته Day of the week			
شنبه Saturday	1021	613	60.04
یکشنبه Sunday	1018	509	50.00
دوشنبه Monday	1048	540	51.53
سه‌شنبه Tuesday	1065	501	47.04
چهارشنبه Wednesday	1100	574	52.18
پنج‌شنبه Friday	1260	607	48.17

سطح Level	فراوانی تصادفات Frequency of accidents	تعداد تصادفات در سطح اطمینان 99% The number of accidents at the 99% confidence level.	درصد وقوع تصادفات در سطح اطمینان 99% The percentage of accidents at the 99% confidence level
Thursday			
جمعه Friday	1191	584	49.03
فروردین 21 Mar-20 Apr	643	194	30.17
اردیبهشت 21 Apr-21 May	612	214	34.97
خرداد 22 May-21 Jun	661	221	33.43
تیر 22 Jun-22 Jul	772	379	49.09
مرداد 23 Jul-22 Aug	763	379	49.67
شهریور 23 Aug-22 Sep	830	355	42.77
مهر 23 Sep-22 Oct	656	370	56.40
آبان 23 Oct-21 Nov	626	266	42.49
آذر 22 Nov-21 Dec	542	315	58.12
دی 22 Dec-20 Jan	527	294	55.79
بهمن 21 Jan-19 Feb	505	212	41.98
اسفند 20 Feb-19 Mar	566	252	44.52
1396 21 Mar 2017 to 20 Mar 2018	3770	1972	52.31
1397 21 Mar 2018 to 20 Mar 2019	3933	1999	50.83
فوتی Fatal	753	90	11.95
جرحی Injury	6950	3785	54.46

نتیجه‌گیری

استان اصفهان در سطوح مختلف با استفاده از روش‌های آمار مکانی و خوشه‌بندی در محیط GIS مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا الگوی توزیع تصادفات با استفاده از روش‌های ANN و سپس خودهمبستگی مکانی موران I جهانی بررسی گردید. نتایج نمایانگر آن بود که الگوی فضایی پراکنش تصادفات به‌صورت خوشه‌ای قوی است. نواحی حادثه‌خیز نیز با استفاده از تحلیل گتیس ارد جی استار ابتدا به‌صورت کلی، سپس در قالب پنج سطح مختلف یعنی دوره زمانی شبانه‌روز، روز هفته، ماه، سال و شدت تصادف بررسی و شناسایی شدند. آمار G_i^* که

در دهه‌های اخیر، پیدایش سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) موجب فراهم شدن ابزارهای ضروری برای مدل‌سازی توزیع مکانی و زمانی رویدادهای مکانمند از جمله تصادفات ترافیکی شده است. این‌گونه ابزارهای GIS به‌منظور تسهیل نمودن فرایند ذخیره‌سازی و بصری‌سازی موقعیت رویدادهای تصادفات و خوشه‌های مربوط به آن‌ها و همچنین تحلیل اهمیت توزیع تصادفات بر اساس روش‌های آماری استفاده می‌شوند. در این مطالعه، تحلیل مکانی-زمانی تصادفات ترافیکی در

algorithm approach. SN Applied Sciences 2020;2. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3125-1>.

[2] World Health Organization. Road traffic injuries [Internet]. 2023 [cited 2023 Dec].

[3] Li M, Xie H, Shu P. Study on the Impact of Traffic Accidents in Key Areas of Rural Roads. Sustainability 2021;13:7802. <https://doi.org/10.3390/su13147802>.

[4] Tola AM, Demissie TA, Saathoff F, Gebissa A. Severity, Spatial Pattern and Statistical Analysis of Road Traffic Crash Hot Spots in Ethiopia. Applied Sciences 2021;11:8828. <https://doi.org/10.3390/app11198828>.

[5] Moradi A, Rahmani K, Hoshmandi Shoja M, Rahimi Sepehr H, Khorshidi A. An overview of the situation of traffic accidents in Iran in comparison with Other Countries. Journal of Forensic Medicine [Internet]. 2016;22(1 (Serial 77)):45-53. [In Persian]

[6] Naghavi M, Shahraz S, Bhalla K, Jafari N, Pourmalek F, Bartels D, Puthenpurakal JA, Motlagh ME. Adverse health outcomes of road traffic injuries in Iran after rapid motorization. Archives of Iranian Medicine. 2009;12(3):284-94.

[7] Bhalla K, Naghavi M, Shahraz S, Bartels D, Murray CJL. Building national estimates of the burden of road traffic injuries in developing countries from all available data sources: Iran. Injury Prevention 2009;15:150-6. <https://doi.org/10.1136/ip.2008.020826>.

[8] Iranian Students News Agency (ISNA). [Internet].1398. [In Persian]

[9] Zeynali S, Hosseinali F, Sadeghi Niaraki A, Kazemi Beydokhti M, Effati M. Spatial Analysis of Accidents at the suburban Intersections Using Kernel Density Estimation and Spatial Autocorrelation Methods. Journal of Geospatial Information Technology. 1394;3(2):21-42. [In Persian]

[10] Ahmed LA. Using logistic regression in determining the effective variables in traffic accidents. Applied Mathematical Sciences 2017;11:2047-58. <https://doi.org/10.12988/ams.2017.75179>.

[11] Liu C, Sharma A. Exploring spatio-temporal effects in traffic crash trend analysis. Analytic Methods in Accident Research 2017;16:104-16. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2017.09.002>.

[12] Sun H, Wang Q, Zhang P, Zhong Y, Yue X. Spatialtemporal Characteristics of Tunnel Traffic Accidents in China from 2001 to Present. Advances in Civil Engineering 2019;2019:1-12. <https://doi.org/10.1155/2019/4536414>.

[13] Li Y, Abdel-Aty M, Yuan J, Cheng Z, Lu J. Analyzing traffic violation behavior at urban intersections: A spatio-temporal kernel density estimation approach using automated enforcement system data. Accident Analysis & Prevention 2020;141:105509. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105509>.

[14] Haji Mirza Aghasi N. Introducing GIS as legitimate instrument to deal with road accident data: a case study of Iran,

برای شناسایی خوشه‌های گرم و سرد تصادفات استفاده شد، تصویر واضحی از تصادفات ترافیکی ارائه نمود. باتوجه به نقشه‌های نقاط داغ در سطوح مورد بررسی نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که تمرکز تصادفات غالباً در محورهای منتهی به مرکز استان دیده می‌شود و هم‌جواری با مرکز استان و شهرهای پرجمعیت و اصلی بر تراکم تصادفات ترافیکی تاثیر بسیاری دارد و با فاصله از آن تمرکز تصادفات کاهش می‌یابد. در خصوص تصادفات با شدت فوتی این امر متفاوت به نظر می‌رسد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از تحلیل‌های آمار مکانی در محیط GIS در شناسایی الگوی توزیع تصادفات، نقاط حادثه خیز با اهمیت آماری بالا و الگوهای مکانی- زمانی تصادفات در سطوح مختلف موثر می‌باشد.

باتوجه به شناسایی الگوهای مکانی-زمانی نقاط حادثه خیز ترافیکی و نتایج حاصل از این تحقیق، مقامات ارشد راهداری و حمل و نقل جاده‌ای و تصمیم‌گیرندگان این حوزه می‌توانند نسبت به الویت قرار دادن برنامه تعمیر و نگهداری و افزایش ایمنی محورهای دارای تصادفات مکرر به‌ویژه محورهای ورودی شهر اصفهان، تعریض راه‌های با حجم تردد بالا، نصب تابلوهای راهنما و علائم محدودیت سرعت به‌ویژه در ورودی شهرها، افزایش ایستگاه‌های هلال احمر و اورژانس در مناطق پر حادثه برای خدمت‌رسانی سریع‌تر به آسیب دیدگان حوادث، افزایش تعداد دوربین‌های ثبت تخلف و ... اقدام نمایند. همچنین باتوجه به نتایج تحلیل نقاط داغ در سطوح مختلف دوره‌های زمانی، روزها و ماه‌های پر حادثه نسبت به افزایش اقدامات ایمنی و ایستگاه‌های پلیس در این زمان‌ها اقدامات لازم صورت گیرد. این راه‌حل‌ها می‌تواند برای مناطق قانونی با آسیب‌های مرگبار و جراحات شدید که بر اساس آمار مکانی و تحلیل نقشه‌ای شناسایی شده‌اند توصیه شود.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان اول و دوم مقاله در تمامی مراحل و نویسندگان سوم و چهارم در ارایه طرح و روش پژوهش و اصلاح نوشتار مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

مقاله ارسالی بخشی از کار رساله دکتری در دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات است. از این‌رو از کلیه عزیزانی که به‌نحوی در این تحقیق همکاری داشته‌اند تشکر به‌عمل می‌آید.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است»

منابع و مآخذ

[1] Yassin SS, Pooja. Road accident prediction and model interpretation using a hybrid K-means and random forest

- [26] Elvik R. A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries. *Accident Analysis & Prevention* 2008;40:1830–5. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.08.001>.
- [27] Bíl M, Andrášik R, Sedoník J. A detailed spatiotemporal analysis of traffic crash hotspots. *Applied Geography* 2019;107:82–90. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.04.008>.
- [28] Steenberghe T, Dufays T, Thomas I, Flahaut B. Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example. *International Journal of Geographical Information Science* 2004;18:169–81. <https://doi.org/10.1080/13658810310001629619>.
- [29] Noland RB, Quddus MA. A spatially disaggregate analysis of road casualties in England. *Accident Analysis & Prevention* 2004;36:973–84. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2003.11.001>.
- [30] Cabrera-Arnau C, Prieto Curiel R, Bishop SR. Uncovering the behaviour of road accidents in urban areas. *Royal Society Open Science* 2020;7:191739. <https://doi.org/10.1098/rsos.191739>.
- [31] Eksler V, Lassarre S, Thomas I. Regional analysis of road mortality in Europe. *Public Health* 2008;122:826–37. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2007.10.003>.
- [32] Ashraf I, Hur S, Shafiq M, Park Y. Catastrophic factors involved in road accidents: Underlying causes and descriptive analysis. *PLOS ONE* 2019;14:e0223473. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223473>.
- [33] Spoerri A, Egger M, von Elm E. Mortality from road traffic accidents in Switzerland: Longitudinal and spatial analyses. *Accident Analysis & Prevention* 2011;43:40–8. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.06.009>.
- [34] Mohammadian M, Hajare A, Mohammadian Hafshejani A. Incidence Trends of Injury and Mortality from Traffic Accidents in Urban and Suburban Areas of Isfahan Province during 2002–2010. *J Police Med* 2014; 3 (1). [In Persian]
- [35] Mohammadi G. Road crash injuries and fatalities in Isfahan, Iran from March 2006 to March 2009. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion* 2013;21:361–6. <https://doi.org/10.1080/17457300.2013.833946>.
- [36] Ghadiri Faraz B, Vaziri M, Aghili N, Bandeh khoda M. Investigation of influential factors on the severity of traffic accidents: case study: Isfahan city. The thirteenth International Conference on Transportation Engineering and Traffic, Tehran.1392. [In Persian]
- [37] Tavakoli Kashani A, Jafari M, Azizi Bondarabadi M. A new approach in analyzing the accident severity of pedestrian crashes using structural equation modeling. *Journal of injury & violence research*. 2021; 13(1):23–30. DOI:10.5249/jivr.v13i1.1545
- [38] Jafari H, Amini-Rarani M, Ranjbar M, Shafii M, Haj-Hashemi A. Investigating the Effects of Social Determinants of Traffic Tehran. *Spatial Information Research* 2017;25:151–9. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0083-9>.
- [15] Ma Q, Huang G, Tang X. GIS-based analysis of spatial-temporal correlations of urban traffic accidents. *European Transport Research Review* 2021;13. <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00509-y>.
- [16] Haji Mirza Aghasi N. Application of GIS for Urban Traffic Accidents: A Critical Review. *Journal of Geographic Information System* 2019;11:82–96. <https://doi.org/10.4236/jgis.2019.111007>
- [17] Effati M, Rajabi MA, Hakimpour F, Sha'bani S. Analysis of Spatial Factors Affecting the Concentration of Accidents on Rural Roads Using GIS and Data Mining. [Internet]. 1393;4(2):87–102. [In Persian]
- [18] Wang M, Yi J, Chen X, Zhang W, Qiang T. Spatial and Temporal Distribution Analysis of Traffic Accidents Using GIS-Based Data in Harbin. *Journal of Advanced Transportation* 2021;2021:1–10. <https://doi.org/10.1155/2021/9207500>
- [19] Zhang Y, Zhu F, Li Q, Qiu Z, Xie Y. Exploring Spatiotemporal Patterns of Expressway Traffic Accidents Based on Density Clustering and Bayesian Network. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2023;12:73. <https://doi.org/10.3390/ijgi12020073>.
- [20] Hazaymeh K, Almagbile A, Alomari AH. Spatiotemporal Analysis of Traffic Accidents Hotspots Based on Geospatial Techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2022;11:260. <https://doi.org/10.3390/ijgi11040260>
- [21] Loo BPY, Anderson TK. Cluster Identifications in Networks. In: *Spatial Analysis Methods of Road Traffic Collisions*. New York: CRC Press; 2016. p. 161–75.
- [22] Agyakwah M. Spatio-temporal patterns of vehicular accidents in Accra (Ghana) [master's thesis]. Enschede, The Netherlands: University of Twente; 2018.
- [23] Aghajani MA, Dezfoulan RS, Arjroody AR, Rezaei M. Applying GIS to Identify the Spatial and Temporal Patterns of Road Accidents Using Spatial Statistics (case study: Ilam Province, Iran). *Transportation Research Procedia* 2017;25:2126–38. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.409>.
- [24] Mohammed S, Alkhereibi AH, Abulibdeh A, Jawarneh RN, Balakrishnan P. GIS-based spatiotemporal analysis for road traffic crashes; in support of sustainable transportation Planning. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 2023;20:100836. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100836>.
- [25] Alkhadour W, Zraqou J, Al-Helali A, Al-Ghananeem S. Traffic Accidents Detection using Geographic Information Systems (GIS). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 2021;12. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2021.0120462>



پایان رساند. گرایش تخصصی وی در دوران تحصیلات تکمیلی، GIS بوده است. مقالات زیادی در نشریات معتبر فارسی و انگلیسی توسط ایشان به چاپ رسیده است. موضوعات مورد علاقه ایشان در تحقیقات عبارتند از مکان‌یابی و تخصیص، تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، بهینه‌سازی و مدل‌سازی مکانی

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

✉ aghamohammadi@srbiau.ac.ir



سعید بهزادی دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی عمران نقشه برداری (گرایش سامانه اطلاعات مکانی) از دانشگاه صنعتی خواجه نصیر از تهران می‌باشد. از سال ۱۳۹۵ تاکنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی عمران نقشه برداری دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی مشغول به فعالیت می‌باشند. ایشان تاکنون موفق به چاپ بیش از ۱۰۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از هوش مصنوعی، GIS پزشکی، کاربرد یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در GIS

Behzadi, S. Assistant Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

✉ behzadi@sru.ac.ir



علی اصغر آل شیخ استاد تمام گروه سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد. ایشان دارای مدرک دکتری تخصصی در رشته مهندسی سیستم اطلاعات مکانی (GIS) از دانشگاه کلگری کانادا (۱۳۷۷) می‌باشند. همچنین جوایز و افتخارات متعددی برای مشارکت‌های صنعتی، علمی و دانشگاهی کسب کرده‌اند. مقالات بسیاری در مجلات معتبر خارجی و داخلی توسط ایشان در زمینه‌های مختلف همچون سیستم‌های اطلاعات مکانی، GIS تحت وب، مکان‌یابی، هوش مصنوعی، Health GIS و ... به چاپ رسیده است.

AleSheikh, AA. Full Professor at the Department of Geospatial Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

✉ alesheikh@kntu.ac.ir

Crash Mortality in Isfahan City. Journal of Community Health Research 2022. <https://doi.org/10.18502/jchr.v11i2.9997>.

[39] Safaei M, Samani, RE, Abdolazimi R. Road traffic accident fatality predictors: A case-control study in Isfahan. Archives of Trauma Research, 2021; 10(4): 227-231

[40] Cover T, Hart P. Nearest neighbor pattern classification. IEEE Transactions on Information Theory. 1967 Jan; 13(1):21-27. DOI: 10.1109/TIT.1967.1053964

[41] Moore DA, Carpenter TE. Spatial Analytical Methods and Geographic Information Systems: Use in Health Research and Epidemiology. Epidemiologic Reviews 1999;21:143-61. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.epirev.a017993>.

[42] Clark WAV, Hosking PL. Statistical Methods for Geographers. John Wiley and Sons; 1986.

[43] <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/what-is-a-z-score-what-is-a-p-value.htm>

[44] Ord JK, Getis A. Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. Geographical Analysis 1995;27:286-306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>.

[45] Getis A, Aldstadt J. Constructing the Spatial Weights Matrix Using a Local Statistic. Geographical Analysis 2004;36:90-104. <https://doi.org/10.1353/geo.2004.0002>

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



مهدیس رحمتی دانشجوی دکتری تخصصی رشته سنجش از دور و GIS دانشگاه علوم و تحقیقات تهران می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی ارشد را نیز در رشته سنجش از دور و GIS از دانشگاه خوارزمی تهران اخذ نمودند. موضوعات مورد علاقه ایشان در تحقیقات عبارتند از: کاربرد GIS در مطالعات شهری، داده‌کاوی مکانی، یادگیری ماشین در GIS و کاربردهای RS در مطالعات شهری و محیط زیست

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

✉ Mahdis.rahmati@srbiau.ac.ir

حسین آقامحمدی استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه علوم و تحقیقات تهران است. وی تحصیلات مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی خود را در رشته مهندسی عمران - نقشه‌برداری در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران به

Citation (Vancouver): Rahmati M, AghaMohammadi Zanjirabad H, Behzadi S, AleSheikh AA. [Investigation of Spatio-Temporal Patterns of suburban Traffic Accidents in Isfahan Province in GIS Environment]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 79-96

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10770.1058>



COPYRIGHTS

© 2024 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

Subsidence Monitoring along Tehran Railway: An Analysis of InSAR and Ground Observations

J. Piri, E. Javadnia*

Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

ABSTRACT

Received: 17 February 2024
 Reviewed: 17 April 2024
 Revised: 04 May 2024
 Accepted: 06 June 2024

KEYWORDS:

Subsidence
 Sentinel
 Railway
 InSAR
 Validation

* Corresponding author

✉ Javadnia@znu.ac.ir

☎ (+9824) 33054504

Background and Objectives: Land subsidence is recognized as one of the most perilous natural occurrences, often resulting from human negligence in water extraction, underground mining, and various other factors. This phenomenon poses a significant threat, specifically in sensitive areas such as railway systems, where irreparable damage can transpire. Notably, subsidence-induced cracks have emerged along several railway routes, including Tehran-Mashhad, Tehran-Varamin, and Isfahan to Shiraz, jeopardizing the integrity of these lines. Consequently, comprehensive monitoring of subsidence and deformation in both temporal and spatial dimensions becomes imperative for effective event management. To accurately assess the deformation patterns of such phenomena, a thorough analysis of the instantaneous time series within the study region is essential. In recent times, Synthetic Aperture Radar Interferometry (InSAR) has emerged as a widely adopted technique for precisely measuring crustal deformation.

Methods: This study focuses on examining the rate of land subsidence along the railway lines in the Tehran region, utilizing InSAR and Sentinel-1 satellite imagery spanning the period from 2017 to 2020. The analysis involved processing a total of 46 images and generating 158 interferograms through the application of time series analysis and employing the Small Baseline Subset (SBAS) technique. GMTSAR software was used to create a time series and a displacement map from the interferograms. To ensure the credibility and comprehension of the research findings, diverse datasets were utilized, including the Iranian Permanent GPS Network for Geodynamics (IPGN) data, the data sourced from the Shamim network of the Land Registry Organization, the measurements from piezometric wells, and the soil characteristics derived from drilling boreholes.

Findings: The analysis of the interferometry time series reveals the occurrence of subsidence in specific areas within the case study. The most significant subsidence was observed along the Karaj-Kordan and Maleki-Aprin railway lines, with a deformation rate of approximately 139 mm/year along the line of sight (LOS). Notably, the validation process considering the errors associated with each method yielded relatively satisfactory results. Furthermore, an investigation was conducted to explore the relationship between subsidence, groundwater withdrawal, and soil type. This investigation utilized data from 12 piezometric wells located in the Tehran and Karaj plains, as well as information gathered from drilling boreholes in the study region. The overall findings indicate that the primary cause of subsidence in the region is attributed to a decline in groundwater withdrawal.

Conclusion: Upon analyzing the relationship between annual water loss, subsidence, and the soil characteristics within the region, it was determined that the primary cause of subsidence is the withdrawal of groundwater in areas characterized by thick deposits of fine-grained sediments. The proposed approach in this study highlights the effectiveness of utilizing the InSAR technique for initial evaluations of subsidence along linear infrastructures like railway lines. However, it is advised to employ more precise methods in subsidence-affected regions. Given the relatively limited resolution of Sentinel-1 imagery, it is recommended to utilize images with smaller pixel sizes when assessing linear structures such as roads or railways. Additionally, accurate leveling techniques can be employed to enhance the precision and identification of subsidence areas.



NUMBER OF REFERENCES

39



NUMBER OF FIGURES

23



NUMBER OF TABLES

1

مقاله پژوهشی

پایش فرونشست خط راه آهن تهران با استفاده از تکنیک اینسار و مشاهدات زمینی

جلیل پیری، اسلام جوادنیا*

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: یکی از خطرناک‌ترین رخدادهای طبیعی، فرونشست سطح زمین است و اغلب به جهت سهل انگاری بشر در استخراج آب‌ها و معادن زیرزمینی و عوامل دیگر حادث می‌شود. این پدیده، به خصوص در مناطق حساس مانند خطوط ریلی، می‌تواند منجر به حوادث جبران ناپذیری شود. شکاف‌های ناشی از فرونشست در برخی از مسیرهای ریلی همچون مسیر تهران-مشهد، تهران-ورامین، اصفهان به شیراز و ... تا نزدیکی این خطوط پیشروی داشته و تهدیدی برای این خطوط به شمار می‌آید. بنابراین، پایش فرونشست و بررسی تغییر شکل در بعد زمان و مکان به منظور مدیریت حادثه ضروری می‌باشد. برای رفتار سنجی تغییر شکل پدیده‌ها نیازمند بررسی سری زمانی آنی پدیده در منطقه مورد مطالعه هستیم. امروزه، تکنیک تداخل سنجی راداری (InSAR) به دلیل پیوستگی مکانی و زمانی یک تکنیک متداول برای اندازه‌گیری تغییر شکل پوسته زمین شده است.

روش‌ها: در این تحقیق، نرخ فرونشست زمین در طول خطوط ریلی در شاخه‌های خروجی خط آهن تهران با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۱ در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفته است. میزان جابه‌جایی سطح زمین از طریق پردازش ۴۶ تصویر و ایجاد ۱۵۸ تداخل نگار به کمک آنالیز سری زمانی و با استفاده از روش خط مبنای کوتاه (SBAS) به دست آمد. برای اعتبار سنجی و تفسیر نتایج پژوهش از داده‌های شبکه ژئودینامیک کشور، شبکه شمیم سازمان ثبت اسناد و املاک، داده‌های چاه‌های پیژومتری و همچنین مشخصات خاک گمانه‌های حفاری استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی تداخل سنجی، نشان از وقوع فرونشست قابل ملاحظه‌ای در مناطقی از محدوده مورد مطالعه دارد که بیشینه آن مربوط به مسیرهای کرج-کردان و ملکی-آپرین با نرخ جابه‌جایی ۱۳۹ میلی‌متر در سال در راستای خط دید ماهواره (LOS) می‌باشد. اعتبارسنجی نتایج به دست آمده با در نظر گرفتن خطاهای مربوط به هر کدام از روش‌ها نسبتاً خوب بود. همچنین ارتباط بین پدیده فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی و نوع خاک منطقه به کمک داده‌های ۱۲ چاه پیژومتری دشت‌های تهران و کرج و اطلاعات گمانه‌های حفاری تعدادی از چاه‌های پیژومتری منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج کلی نشان دهنده این بود که علت اصلی نشست در منطقه، افت سطح آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، با بررسی رابطه افت سالانه آب و فرونشست و همچنین نوع، جنس و ضخامت خاک منطقه، مشخص گردید که علت اصلی نشست در منطقه، افت سطح آب‌های زیر زمینی در مناطق با ضخامت بالای رسوبات ریز دانه می‌باشد. رویکرد پیشنهادی در این تحقیق نشان داد که به‌منظور پایش فرونشست در امتداد تأسیسات خطی از قبیل خطوط راه آهن، به‌کارگیری تکنیک InSAR می‌تواند در ارزیابی‌های اولیه و به دنبال آن، استفاده از روش‌های دقیق‌تر در مناطق درگیر فرونشست، مؤثر واقع گردد. به دلیل قدرت تفکیک نسبتاً پایین سنتینل-۱، پیشنهاد می‌شود در کاربردهای مرتبط با ساختارهای خطی از قبیل جاده یا راه آهن از تصاویر با اندازه پیکسل کوچک‌تر استفاده گردد. علاوه بر این، برای ارزیابی و شناسایی دقیق‌تر مناطق تحت فرونشست می‌توان از ترازیبی دقیق نیز بهره برد.

واژگان کلیدی:

فرونشست

سنتینل

خطوط ریلی

اینسار

اعتبارسنجی

* نویسنده مسئول

javadnia@znu.ac.ir

۰۲۴-۳۳۰۵۴۵۰۴

مقدمه

امنیت این خطوط و تأسیسات ساخته شده در مسیر ریلی وابسته به این حرکات و جابه‌جایی‌های زمین می‌باشد. فرونشست زمین باعث شکست و افتادگی این خطوط می‌گردد که این موضوع بسیار فاجعه بار می‌باشد و می‌تواند جان هزاران نفر را به خطر بیندازد. از این رو پایش فرونشست زمین و تعیین نرخ آن در مناطق دارای خطوط ریلی می‌تواند گامی مؤثر در پیشگیری از وقوع یک حادثه فاجعه‌بار گردد. شکل‌های (۱) و (۲) دو نمونه از فرونشست در مناطق ریلی را نشان می‌دهد.

فرونشست زمین، عبارت است از فروریزش یا پایین رفتن سطح زمین که به صورت تغییرات ارتفاعی عمودی سطح زمین قابل شناسایی می‌باشد و با جابه‌جایی‌های اندک افقی نیز همراه است. در مناطقی که فرونشست رخ می‌دهد یک یا چند عامل مانند حرکت گسل‌ها و برداشت بی‌رویه منابع آبی و نفتی نقش اساسی دارند [۱]. امروزه بسیاری از نقاط کشور ایران با درجات مختلف درگیر معضل فرونشست زمین شده‌اند که در برخی از این مناطق خطوط ریلی وجود دارد. پایداری و

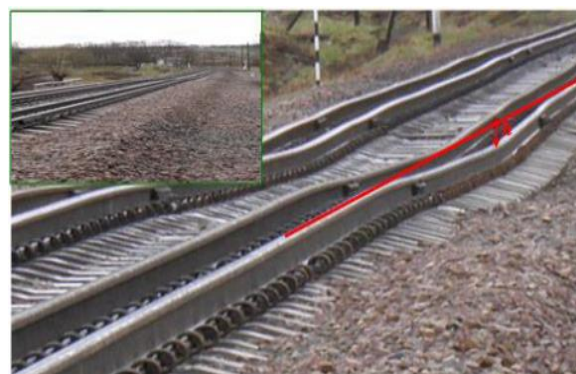
و فرونشست که سبب تغییر شکل سطح زمین می‌شود، مورد استفاده قرار گرفته است [۸-۱۰]. امروزه محصولات تداخل سنجی راداری در تجزیه و تحلیل تغییر شکل‌های رخ داده در زیرساخت‌های عمرانی در مناطق شهری [۱۱، ۱۲]، سد ها [۱۳، ۱۴]، پل ها [۱۵]، راه آهن [۱۶]، جاده ها [۱۷] کاربرد زیادی دارد. افزایش ماهواره ها و مأموریت‌های فضایی همچون انویست (Envisat)، سنتینل-۱ (Sentinel-1) و همچنین توسعه الگوریتم‌های پردازش داده مانند پراکنش‌کننده‌های پایدار (PS) (Persistent Scatterers) [۱۸] روش خط مبنای کوتاه (SBAS) (Small Baseline Subset) [۱۹]، امکان اندازه‌گیری تغییر شکل در حد سانتی‌متر را با بهبود کیفیت و وضوح تصاویر فراهم آورده است [۲۰]. در خصوص پایش مناطق ریلی با استفاده از تکنیک اینسار در ایران و مناطق مختلف جهان مطالعات گوناگونی صورت گرفته است [۲۱-۲۵].

سنتینل-۱ مجموعه مشاهدات راداری ماهواره‌ای است که با همکاری اتحادیه اروپا و آژانس فضایی اروپا از سال ۲۰۱۴ فعالیت خود را آغاز کرده است [۲۶]. سنتینل با پوشش مکانی و قدرت تفکیک مکانی بهتر نسبت سنجنده‌های قبلی به‌صورت پلاریزاسیون دوگانه HH (Horizontal Horizontal)، HV (Horizontal Vertical)، VH، VV قادر است هر ۱۲ روز یکبار از کل کره زمین تصویربرداری کند. زاویه فرود این سنجنده ۲۹/۱ الی ۴۶ درجه است. ماهواره سنتینل-۱ دارای مدار قطبی است که به‌صورت راداری تصویربرداری انجام می‌دهد و قادر است که پدیده‌ها و عوارض را در شب و روز بدون در نظر داشتن شرایط آب‌وهوایی جمع‌آوری کند. این ماهواره همچنین به‌گونه‌ای طراحی شده است تا در یک حالت عملیاتی بدون وقفه تصویربرداری از تمام مناطق کره زمین را انجام دهد.

دشت تهران جزو مناطق مستعد وقوع فرونشست در کشور محسوب می‌شود، منطقه جنوب و جنوب غرب این دشت یکی از مناطق بسیار مهم است که فرونشست‌های متعددی در آن گزارش گردیده و احتمال وقوع این پدیده در سال‌های اخیر به سرعت بالا رفته است. وجود تأسیسات زیربنایی، خطوط انتقال نیرو و راه‌های ارتباطی زیاد در این منطقه باعث شده فرونشست همواره تهدیدی برای تخریب آن‌ها به‌شمار آید. در بعضی از مناطق این دشت از جمله ورامین شکاف‌های ناشی از فرونشست تا نزدیکی خطوط ریلی پیشروی کرده است و تهدیدی جدی برای امنیت و پایداری این خطوط به‌شمار می‌رود و کوچک‌ترین آسیبی به این خطوط ممکن است خسارات جبران ناپذیر مالی و جانی در پی داشته باشد. به‌همین دلیل به‌منظور جلوگیری از خسارات احتمالی لزوم شناسایی و پایش مداوم این منطقه و خطوط ریلی واقع در آن بیش از پیش احساس می‌شود. بنابراین، هدف اصلی این تحقیق، بررسی و تعیین میزان نشست زمین در خطوط ریلی پایتخت و سه شاخه خروجی آن به سمت نواحی در نظر گرفته شد تا مناطق درگیر و دارای ریسک بالایی فرونشست به‌منظور مقابله و کاهش خطرات ناشی از آن شناسایی گردند. بدین منظور در این تحقیق از تکنیک تداخل سنجی راداری با بهره‌گیری از ۴۶ تصویر سنتینل-۱ در بازه زمانی سه ساله و روش SBAS برای



شکل ۱: فرونشست در محدوده راه آهن شیراز- اصفهان [۲]
Fig. 1: Subsidence in the area of Shiraz-Isfahan railway [2]

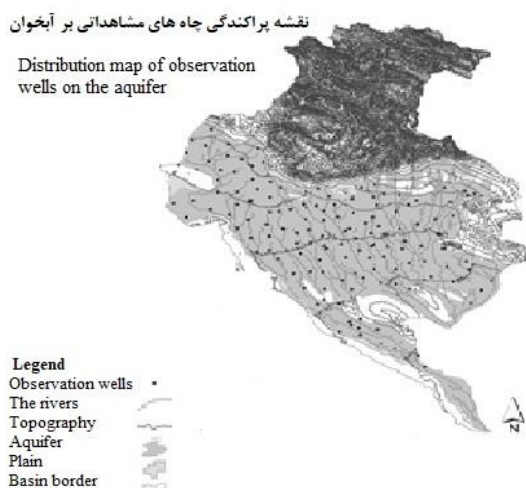


شکل ۲: فرونشست در خطوط ریلی [۳]
Fig. 2: Subsidence in railway [3]

امروزه با پیشرفت تکنولوژی ماهواره‌ای و سنجش از دوری امکان پایش فرونشست به‌صورت آنی و با قدرت تفکیک مکانی بالا و دقت قابل قبولی میسر می‌باشد [۴-۶]. به سبب زمان‌بر و هزینه‌بر بودن روش‌های اندازه‌گیری و پایش فرونشست توسط نقشه‌برداری زمینی، مانند تراز یابی و سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) (Global positioning system) و همچنین تراکم پایین نقاط ایستگاه‌های GPS، ارزیابی فرونشست به‌وسیله تداخل سنجی راداری با دریچه مصنوعی (اینسار) (Interferometric synthetic aperture radar) راهی نوین را در جهت اندازه‌گیری میزان فرونشست فراهم آورده است [۷]. امکان دسترسی به داده‌هایی با سطح پوشش بالاتر، قدرت تفکیک مکانی بالا، دسترسی آسان‌تر، سطح اطلاعات بیشتر و با پوشش زمانی بسیار بهتر، امکان سنجش بهتر پدیده‌های طبیعی را برای محققین فراهم آورده است. به‌گونه‌ای که می‌توان تغییرات ارتفاعی در ابعاد تقریباً یک سانتی‌متر را تشخیص و از طریق اندازه‌گیری‌های سری زمانی سیگنال‌های بازگشتی رادار، گستره وقوع، روند و موقعیت مکانی تغییرات سطح زمین را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. تصاویر تداخل سنجی با توجه به توانایی به تصویر کشیدن و فراهم کردن داده‌های پیوسته در یک بازه مکانی نسبتاً وسیع، ابزار مناسبی برای مطالعات جابه‌جایی زمین (از نظر الگو تغییرات و میزان آن) هستند [۷].

از اواخر دهه نود میلادی، تکنیک تداخل سنجی راداری به‌عنوان ابزاری کارآمد در مطالعه پدیده‌هایی مانند زمین لرزه، فعالیت‌های آتشفشانی

دشت تهران- کرج از نظر تقسیم‌بندی حوزه‌های آبریز ایران، بخشی از حوزه آبریز مرکزی می‌باشد، که از دامنه‌های جنوبی البرز شروع و تا دشت‌های ورامین و شهریار گسترش یافته است. آبخوان ناحیه مورد مطالعه دشت تهران-کرج دارای سرشت مشترک بوده و یک واحد هیدرولوژیکی را تشکیل می‌دهند. نوع آبخوان به‌صورت آزاد بوده، عناصر عمده تشکیل دهنده آبخوان به نسبت‌های متفاوتی از عناصر تخریبی نظیر رس، ماسه، شن و قلوه سنگ تشکیل یافته است و عموماً در نواحی ورودی و شمالی دشت عناصر درشت دانه‌تر درصد بیشتری از بافت خاک را شامل می‌شوند و به سمت نواحی خروجی و جنوبی دشت و با فاصله یافتن از محورهای رسوب‌گذاری به تدریج قطر ذرات کاهش می‌یابد. در شکل (۵) نقشه دشت، آبخوان، توپوگرافی منطقه، رودها و پراکندگی چاه‌های مشاهداتی آورده شده است [۲۹].



شکل ۵: نقشه آبخوان تهران-کرج [۲۹]
Fig. 5: Tehran-Karaj aquifer map [29]

داده‌های مورد استفاده

به‌منظور مطالعه، بررسی و تعیین نرخ فرونشست در خطوط ریلی ناحیه مورد مطالعه، از داده‌های راداری سنجنده سنتینل-۱ در مسیر ۳۵ استفاده گردید. تعداد ۴۶ تصویر SLC پایین گذر (Descending) در بازه زمانی ۲۰۱۷/۰۲/۱۸ تا ۲۰۲۰/۰۳/۲۲ با پلاریزاسیون VV و مد IW (Interferometric Wide swath) و زاویه فرود ۳۶ درجه تهیه شد. نام و مشخصات تصاویر در جدول (۱) آورده شده است. ردیف مشخص شده با رنگ قرمز در جدول زیر، مربوط به تصویر اصلی در ایجاد شبکه تداخل نگارها می‌باشد که توسط نرم‌افزار اسنپ به‌طور خودکار انتخاب شد.

برای حذف فاز ایجاد شده ناشی از خطاهای توپوگرافی باید از مدل ارتفاعی رقومی منطقه استفاده کرد. در این تحقیق، از مدل ارتفاعی رقومی سنجنده SRTM1 ۳۰ متری استفاده شد. همچنین، برای حذف فاز مداری ناشی از خطاهای مداری باید از اطلاعات مداری دقیق (Precise Orbits) استفاده کرد. به تعداد تصاویر راداری تهیه شده باید

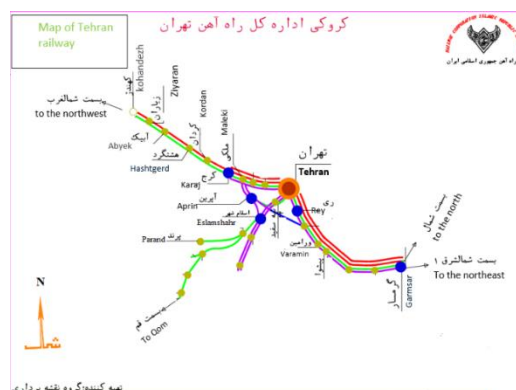
بررسی پدیده فرونشست خطوط ریلی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه تهران-کرج از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از غرب به استان قزوین و از شرق به استان سمنان محدود است. این منطقه با وسعتی معادل ۱۹۱۹۴ کیلومتر مربع بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی از استان‌های بسیار مهم کشور محسوب می‌شود [۲۷].

اگر ایستگاه راه‌آهن تهران را مبدأ مسیرهای خطوط راه‌آهن در نظر بگیریم به‌طور کلی شبکه ریلی کشور در سه محور اصلی فعالیت می‌کند. شکل‌های (۳) و (۴). این سه محور اصلی شامل شمال-شرق، آذربایجان و جنوب شرق خواهد بود. گسترده‌ترین محور راه‌آهن همان محور جنوب است که با بیش از ۲۰۰ ایستگاه شما را به بیشتر مقاصد جنوبی، شرقی و غربی کشور خواهد رساند. کوتاه‌ترین محور نیز محور آذربایجان با چیزی در حدود ۷۰ ایستگاه است که شما را به مناطق شمال غربی کشور می‌رساند [۲۸].



شکل ۳: سه شاخه اصلی راه‌آهن مرکز به سمت نواحی
Fig. 3: Three main branches of the central railway towards the districts



شکل ۴: منطقه مورد مطالعه و خطوط ریلی واقع بر آن
Fig. 4: The studied area and the railway lines located on it

منطقه جهت حذف خطاهای مداری و توپوگرافی و نیز، رفع خطای زمین مسطح که ناشی از انحنای زمین می‌باشد (Flat earth) دانلود می‌شوند. بعد از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، پردازش داده‌ها انجام می‌گیرد. مراحل پردازش شامل تشکیل شبکه خط مبنای کوتاه، تبدیل توپوگرافی به فاز و تشکیل تداخل نگارها و بازبازی فاز و در آخر ایجاد سری زمانی از تداخل نگارهای تشکیل شده، می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از پردازش در بخش بعدی به تفصیل توضیح داده شده است. مراحل کلی پردازش تصاویر راداری و تشکیل تداخل نگارها به‌صورت کلی در شکل (۶) نشان داده شده است.

تکنیک تداخل سنجی راداری مبتنی بر روش خط مبنای کوتاه (SBAS) روش SBAS در مکان‌هایی که امکان وجود پیکسل‌هایی با هم‌مدوسی (Coherence) بالا بسیار کم است مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۰]. در این روش، تداخل نگارها، تنها بین تصاویری با بازه زمانی کوتاه و تغییر اندک در زاویه دید تشکیل می‌شود. در واقع در این روش تنها زوج تصاویری مورد استفاده قرار می‌گیرند که مؤلفه قائم خط مبنای آن‌ها کمتر از مقدار بحرانی خط مبنا باشد [۳۱]. الگوریتم SBAS جهت غلبه بر معضلات مربوط به غیر همبستگی داده‌های اینسار توسعه داده شده است. این رویکرد، تأثیرات ناشی از غیر همبستگی مکانی و زمانی بر برآوردهای تغییر شکل را تنها با به‌کارگیری تداخل نگارهای بسیار همبسته کاهش می‌دهد. غیر همبستگی مکانی ناشی از جداسازی فیزیکی بین دو موقعیت آنتن SAR در دو گذر ماهواره است که برای کاهش این خطا، جفت تصویر در محدوده خط مبنای مکانی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر می‌تواند لحاظ شود [۲۸].

فایل مداری مربوط به هر تصویر را نیز دانلود نمود. در این تحقیق ۴۶ فایل مداری مربوط به هر کدام از تصاویر راداری سنتینل-۱ تهیه شد. برای اطمینان از نتایج تحقیق و تفسیر آن‌ها از داده‌های ژئودتیک سازمان نقشه‌برداری و سامانه شمیم سازمان ثبت اسناد و املاک کشور استفاده گردید. این ایستگاه‌ها به‌صورت ۲۴ ساعته به ردیابی و ثبت سیگنال‌های دریافتی از سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی (Global Navigation Satellite System) (GNSS) می‌پردازند و پردازش داده‌های این ایستگاه‌ها در چارچوب مرجع مختصاتی ITRF2014 انجام می‌پذیرد. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه ژئودینامیک تهران واقع در محوطه سازمان نقشه‌برداری با مختصات جغرافیایی ($35^{\circ}41'50''$ و $51^{\circ}20'01''$) و در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ و داده‌های ایستگاه ثابت شمیم استان البرز به مختصات ($35^{\circ}49'59''$ و $50^{\circ}59'48''$) در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. همچنین برای بررسی میزان ارتباط نرخ فرونشست با تغییرات آب‌های زیرزمینی از داده‌های ۲۰ چاه پیزومتری شرکت آب منطقه‌ای تهران و البرز بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۷ و همین‌طور برای بررسی میزان ارتباط این نرخ با نوع خاک منطقه از داده‌های گمانه‌های حفاری شرکت آب منطقه‌ای استفاده گردید.

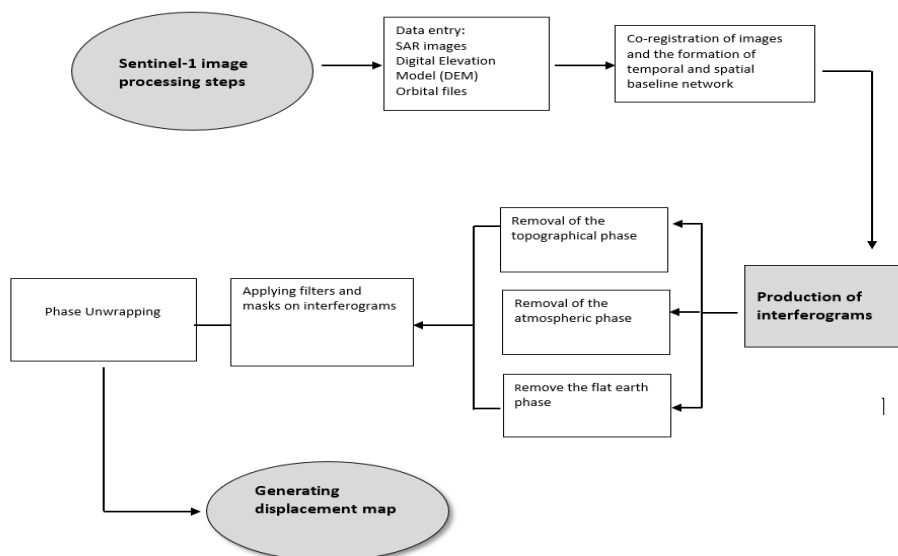
روش شناسی

برای انجام پروسه تداخل‌سنجی و تشکیل تداخل نگارها و استخراج میزان نرخ و دامنه فرونشست در منطقه، از نرم‌افزار متن باز GMTSAR تحت سیستم عامل لینوکس استفاده گردید. پردازش‌های انجام گرفته در این نرم‌افزار شامل مراحل مختلفی می‌باشد بدین صورت که، بعد از تهیه تصاویر منطقه مورد مطالعه از آژانس فضایی اروپا، دانلود فایل‌های مداری مربوط به هر تصویر و همچنین مدل ارتفاعی رقومی مربوط به

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

Table 1: Specifications of images used

شماره	تاریخ	شماره	تاریخ	مسیر
Number	Date	Number	Date	path
1	2017/02/18	24	2018/09/17	35
2	2017/03/14	25	2018/10/11	35
3	2017/04/07	26	2018/11/04	35
4	2017/05/01	27	2018/11/28	35
5	2017/06/06	28	2019/01/15	35
6	2017/07/12	29	2019/02/08	35
7	2017/08/05	30	2019/03/04	35
8	2017/08/29	31	2019/03/28	35
9	2017/09/22	32	2019/04/09	35
10	2017/10/16	33	2019/05/03	35
11	2017/11/09	34	2019/05/27	35
12	2017/12/03	35	2019/06/20	35
13	2017/12/27	36	2019/07/14	35
14	2018/01/20	37	2019/08/07	35
15	2018/02/13	38	2019/08/31	35
16	2018/03/09	39	2019/09/24	35
17	2018/04/02	40	2019/10/18	35
18	2018/04/26	41	2019/11/11	35
19	2018/05/20	42	2019/12/17	35
20	2018/06/13	43	2020/01/10	35
21	2018/07/07	44	2020/02/03	35
22	2018/07/31	45	2020/02/27	35
23	2018/08/24	46	2020/03/22	35

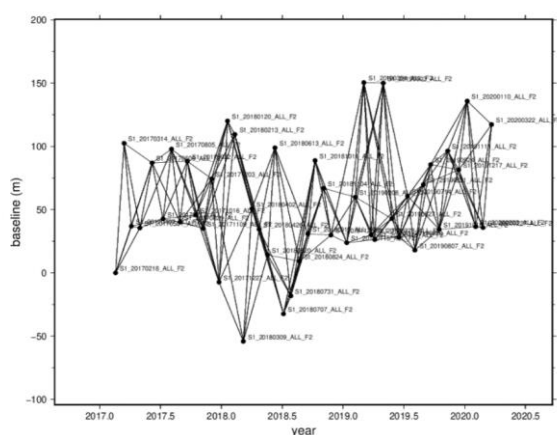


شکل ۶: مراحل کلی تداخل سنجی و تشکیل نقشه جابه جایی

که تصویر ۱۷ سپتامبر ۲۰۱۸ به‌عنوان تصویر اصلی و تصاویر دیگر به‌عنوان تصویر فرعی انتخاب شده و پیکسل‌های تصاویر فرعی نسبت به تصویر اصلی هم مرجع می‌شوند. برای انتخاب تصویر اصلی به‌صورت خودکار از نرم افزار اسنپ استفاده شد.

شبکه تداخل نگارهای مکانی و زمانی تصاویر سنتینل- ۱

برای بررسی سری زمانی تصاویر سنتینل از روش SBAS استفاده گردید. در این روش، برای تشکیل تداخل نگار، از جفت تصویری که دارای کمترین طول خط مبنا از نظر زمانی و مکانی می‌باشند، استفاده شد. برای این کار ۴۶ تصویر ماهواره سنتینل-۱ از ۱۸ فوریه ۲۰۱۷ تا ۲۲ مارس ۲۰۲۰ پردازش گردید. در این مطالعه از نرم‌افزار GMTSAR برای تولید ۱۵۸ تداخل نگار با خط مبنای مکانی کمتر از ۱۳۰ متر و خط مبنای زمانی کمتر از ۱۰۰ روز استفاده شد، که در شکل (۷) نحوه انتخاب تصاویر برای تشکیل تداخل نگارها و خط مبنای مکانی آن‌ها بر حسب روز نمایش داده شده است.



شکل ۷: نمایش خط مبنای مکانی و زمانی تداخل‌سنجها

در مقابل، غیر همبستگی زمانی ناشی از عدم تشابه خواص بازپراکنشی اشیاء موجود در زمین در فاصله زمانی بین دو تاریخ برداشت تصویر است. بدین منظور تداخل‌نگارها به‌طور معمول از ترکیب جفت تصاویری حاصل می‌شوند که دارای خط مبنای مکانی و زمانی کوچکی هستند. الگوریتم SBAS به‌طور کلی بر اساس قاعده پیکسل به پیکسل، از طریق رابطه (۱) بر روی تداخل‌نگارها پیاده می‌شوند [۱۶].

$$\left(T \frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda r \sin \theta}\right) \left(\frac{V}{h_c}\right) = (\delta \phi) \quad (1)$$

که در آن T میانگر ماتریسی از فاصله‌های زمانی مرجع، V بردار میانگین سرعت در راستای خط دید برای یک پیکسل بین هر مرحله زمانی، h_c سیگنال توپوگرافی باقیمانده، $\delta\Phi$ بردار مشاهدات مربوط به تغییرات فاز بازشده، λ طول موج رادار، r فاصله بین حسگر رادار تا هدف زمینی و θ زاویه فرودی است. این روش راه حل حداقل کمترین مربعات را ارائه می‌دهد. هدف اصلی در تحلیل سری زمانی، وارون کردن تداخل‌نگارها برای دستیابی به میزان تغییر شکل در زمان‌های دریافت تصاویر با استفاده از روش کمترین مربعات است. با حل کمترین مربعات رابطه (۱) می‌توان مقدار فاز مربوط به هر تصویر راداری را برآورد کرد. مقدار فاز اولین تصویر صفر در نظر گرفته می‌شود.

یزدانش داده ها

در این بخش ابتدا پردازش‌های لازم به‌منظور ایجاد سری زمانی و نقشه جابه‌جایی انجام گردید، این پردازش‌ها شامل انطباق هندسی تصاویر و تشکیل داخل نگارهای مکانی و زمانی بود که به‌صورت زیر انجام شد:

انطباق تصاویر

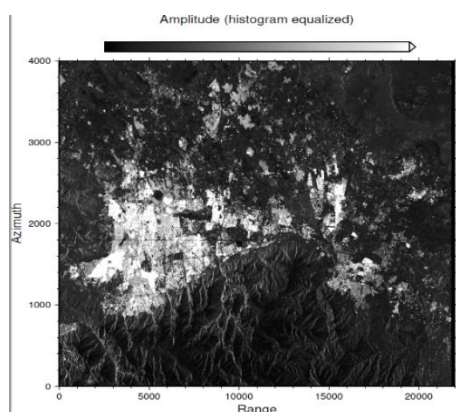
برای پردازش‌های تصاویر راداری، دو یا تعداد بیشتری تصویر باید به‌صورت یک دسته تصاویر (Stack) ثبت هندسی گردند. بدین ترتیب

تحلیل سری زمانی استفاده شده است. نمونه‌ای از محصولات تولید شده در فرآیند تداخل سنجی راداری توسط GMTSAR در شکل‌های (۸) تا (۱۳) نشان داده شده است.

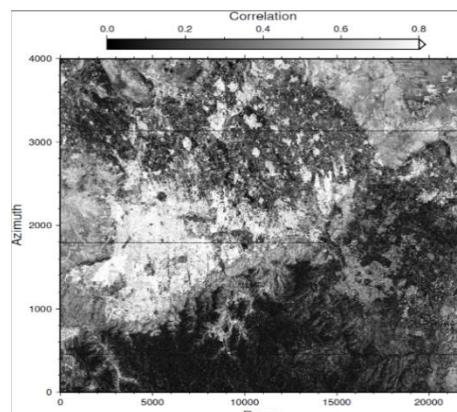
همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد، در پردازش تصاویر راداری در نرم افزار GMTSAR بر خلاف نرم‌افزارهای دیگر از جمله استامپس حذف خطاهای توپوگرافی و مداری به صورت یکجا و هنگام تشکیل تداخل نگار صورت می‌پذیرد.

در واقع این روش بر پایه انتخاب تداخل‌نگارهای مناسب بین تصاویر دریافتی رادار جهت تداخل سنجی راداری و تعیین میزان جابه‌جایی سطح زمین می‌باشد. معیار مورد استفاده در این روش انتخاب جفت تصاویری است که طول خط مبنای آن‌ها کوچک باشد.

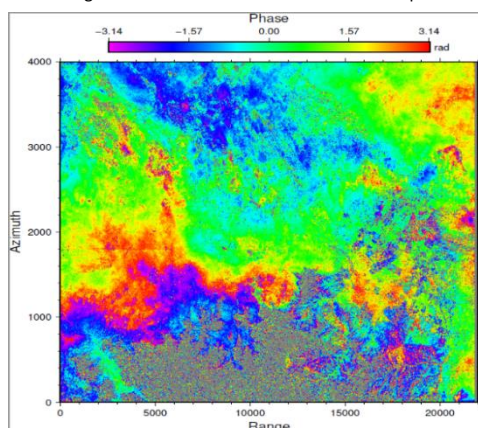
به عبارت دیگر، تنها تداخل‌نگارهایی تشکیل می‌شوند که جفت تصویر آن‌ها مسیرهای نزدیک به هم هستند و اختلاف مکانی بین مدارهایشان کوچک است [۳۲]. در این روش سری از روش کمترین مربعات برای



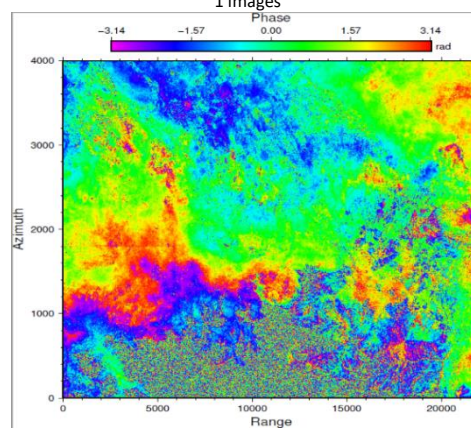
شکل ۹: نقشه دامنه تداخل نگار تولید شده
Fig. 9: Generated interferometer domain map



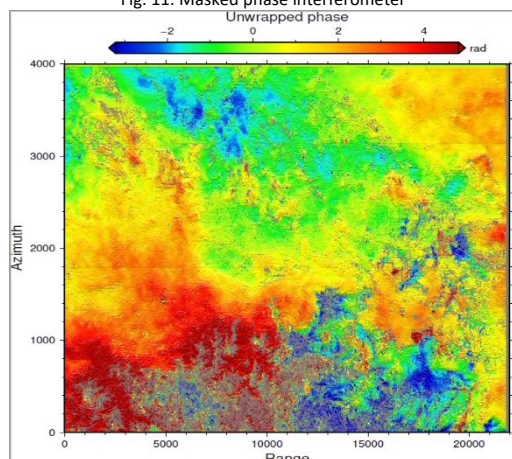
شکل ۸: نقشه همبستگی تولید شده از تداخل نگار بین دو تصویر سنتینل-۱
Fig. 8: Correlation map generated from interferometer between two Sentinel-1 images



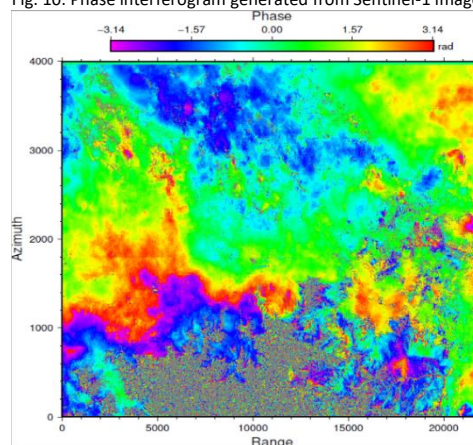
شکل ۱۱: تداخل نگار فاز ماسک شده
Fig. 11: Masked phase interferometer



شکل ۱۰: تداخل نگار فاز تولید شده از تصاویر سنتینل-۱
Fig. 10: Phase interferogram generated from Sentinel-1 images



شکل ۱۳: تداخل نگار تولید شده بعد از بازیابی فاز
Fig. 13: Unwrapped phase

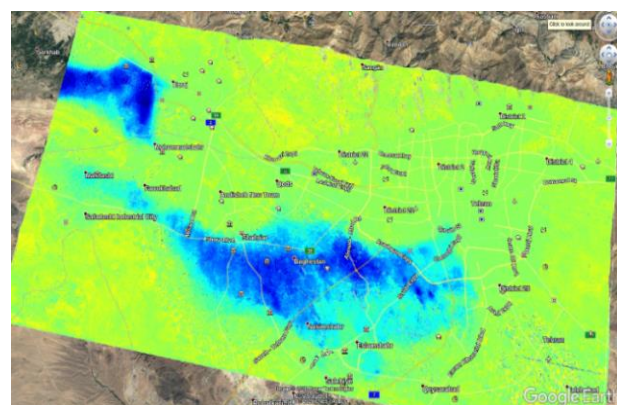
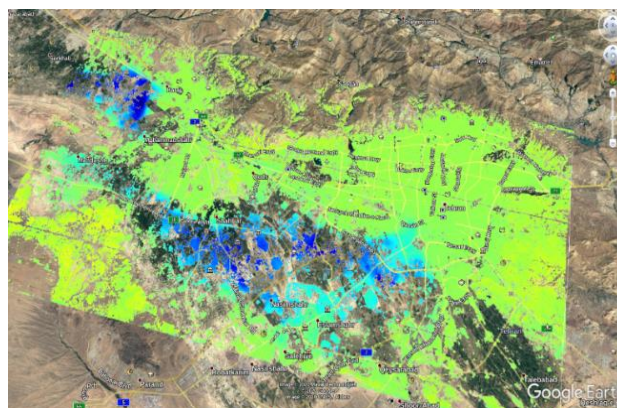


شکل ۱۲: تداخل نگار فاز ماسک شده و فیلتر شده
Fig. 12: Masked and filtered phase interferometer

نتایج حاصل از روش SBAS و نقشه‌های جابه‌جایی به‌دست آمده بیانگر حداکثر ۱۳۹ میلی‌متر فرونشست در محدوده زمانی مورد نظر در راستای دید ماهواره (LOS) (Line Of Sight) مربوط به شاخه غربی و جنوب غربی خطوط ریلی کشور به مرکزیت ایستگاه تهران می‌باشد. نقشه جابه‌جایی زمین و نرخ فرونشست در نواحی مختلف خطوط ریلی و ایستگاه‌های راه آهن در منطقه در شکل (۱۵) نمایش داده شده است.

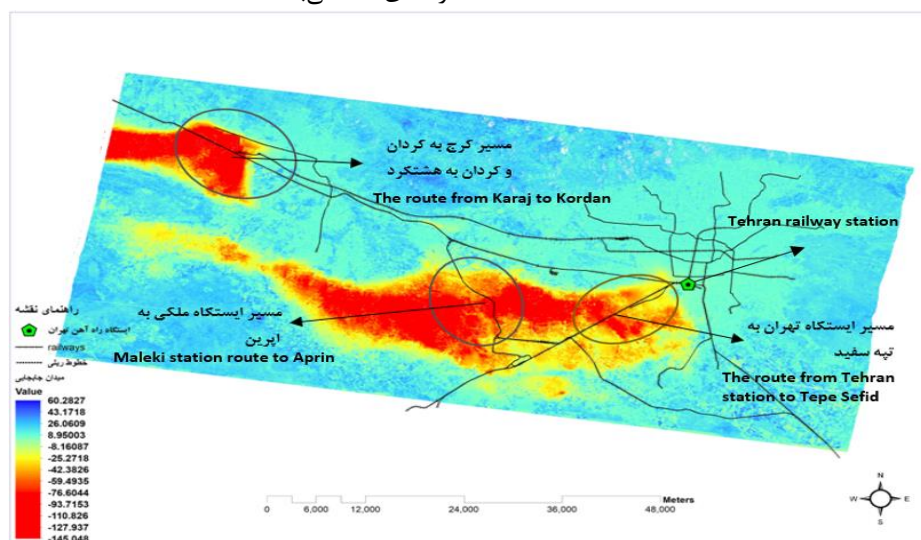
در شکل (۱۵) توزیع میزان فرونشست در ناحیه مورد بررسی، توسط رنگ‌های مختلف بر حسب میلی‌متر در سال نمایش داده شده است، همان‌طور که مشخص است بخش‌هایی از خطوط ریلی در معرض فرونشست زمین قرار دارند که می‌تواند خطرناک شود. مناطق با رنگ قرمز دارای بیشترین فرونشست و مناطق آبی رنگ کمترین نشست زمین در مناطق ریلی و حوالی آن می‌باشد. همان‌طور که در بخش‌های پیشین اشاره گردید، هدف اصلی این تحقیق، بررسی و تعیین میزان نشست زمین در خطوط ریلی پایتخت و سه شاخه خروجی آن به سمت نواحی بوده تا کمکی باشد برای شناسایی مناطق درگیر و دارای ریسک بالای فرونشست به‌منظور مقابله و کاهش خطرات ناشی از این پدیده. طبق نتایج به‌دست آمده، میزان نشست زمین در خود ایستگاه تهران حدود دو میلی‌متر در سال بوده که در حال حاضر ریسک بالایی به شمار نمی‌رود. مناطق پر خطر در شکل (۱۵) با بیضی مشخص گردیده است، بخش‌هایی از خطوط ریلی مربوط به بلاک‌های کرج به کردان محدود کمال شهر و همچنین مسیر کردان به هشتگرد (۱۰۵ الی ۱۳۹ میلی‌متر در سال) و نیز بخش‌هایی از شاخه‌های جنوبی و جنوب غربی راه آهن تهران، مسیر مربوط به ایستگاه ملکی به گار مانوری آپرین، حوالی شهریار و ورامین (۸۵ الی ۱۳۹ میلی‌متر در سال) دارای ریسک بالایی هستند. علاوه بر مناطق ذکر شده، خطوط ریلی مربوط به بلاک‌های تهران به تپه سفید و اسلام شهر نیز به نسبت کمتر (۳۰ تا ۶۰ میلی‌متر در سال) دچار پدیده فرونشست می‌باشند. مقادیر اعلام شده در راستای LOS می‌باشند.

نتایج سری زمانی حاصل از پردازش تصاویر سنتینل-۱ برای ایجاد سری زمانی و نقشه جابه‌جایی از ۱۵۸ تداخل نگار ایجاد شده در مرحله پردازش تصاویر، از نرم‌افزار GMTSAR استفاده شد. تداخل نگارهای نامناسب نیز از مرحله پردازش حذف شدند. برای ایجاد نقشه جابه‌جایی زمین از دو مقدار ۰/۰۸ و ۰/۰۲ برای میزان همدوسی استفاده گردید. شکل (۱۴ الف و ب).



شکل ۱۴: نقشه جابه‌جایی زمین با همدوسی‌های (الف) ۰/۰۸ و (ب) ۰/۰۲

Fig. 14: Land displacement map with difference coherences



شکل ۱۵: نقشه میزان فرونشست (میلی‌متر بر سال) در منطقه مورد مطالعه و مسیرهای ریلی درگیر فرونشست

Fig. 15: Map of the amount of subsidence (mm/year) in the study area and the railway tracks involved in the subsidence

($51^{\circ}20'01''$ و $35^{\circ}41'50''$) واقع شده است، برای ایجاد سری زمانی حاصل از نتایج تداخل سنجی مربوط به این نقطه، می‌بایست مختصات راداری متناظر با مختصات جغرافیایی را بر روی فایل‌های جابه‌جایی پیدا کرد، برای این کار از نقشه جابه‌جایی در نرم افزار SNAP استفاده شد، مختصات ($X=860, Y=628$) نقطه متناظر این ایستگاه بر روی نقشه جابه‌جایی می‌باشد.

شکل (۱۷) سری زمانی جابه‌جایی زمین مربوط به ایستگاه دائم ژئودینامیک تهران را بین سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۲۰ نشان می‌دهد که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور ارائه شده است و شکل (۱۸) سری زمانی جابه‌جایی حاصل از تداخل سنجی راداری می‌باشد.

هر دو نمودار بالا رفتار مشابهی را در سال برای نقطه مورد نظر نشان می‌دهند. طبق نتایج تداخل سنجی راداری نرخ جابه‌جایی برای نقطه مذکور سه الی پنج میلی‌متر در جهت دور شدن از خط دید ماهواره می‌باشد، این در حالی است که نرخ جابه‌جایی به‌دست آمده از داده‌های ایستگاه ژئودینامیک ۲ تا ۳ میلی‌متر در سال می‌باشد که به دلیل وجود منابع مختلف خطا اختلاف در حد چند میلی‌متر منطقی می‌باشد. البته لازم به ذکر است، جابه‌جایی به‌دست آمده از ایستگاه GPS در راستای قائم و جابه‌جایی حاصل از نتایج اینسار در راستای خط دید ماهواره می‌باشد.

اعتبار سنجی با داده‌های شبکه شمیم سازمان ثبت اسناد و املاک کشور
از بین ایستگاه‌های موجود، دو ایستگاه مربوط به واحدهای ثبتی تهران (THTH) و کرج (ALKJ) در محدوده مطالعاتی این تحقیق قرار داشت که برای اعتبارسنجی نتایج تحقیق، داده‌های مربوط به ایستگاه ثابت شمیم کرج از طریق اداره کل کاداستر سازمان ثبت اسناد و املاک کشور تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های اخذ شده از اداره کل کاداستر، در فرمت راینکس نسخه ۲ بودند که برای ایجاد سری زمانی از آن‌ها، نیاز به پردازش داشتند. روش‌های مختلفی برای پردازش فرمت راینکس وجود دارد که در این تحقیق از روش شبکه‌ای استفاده شد.

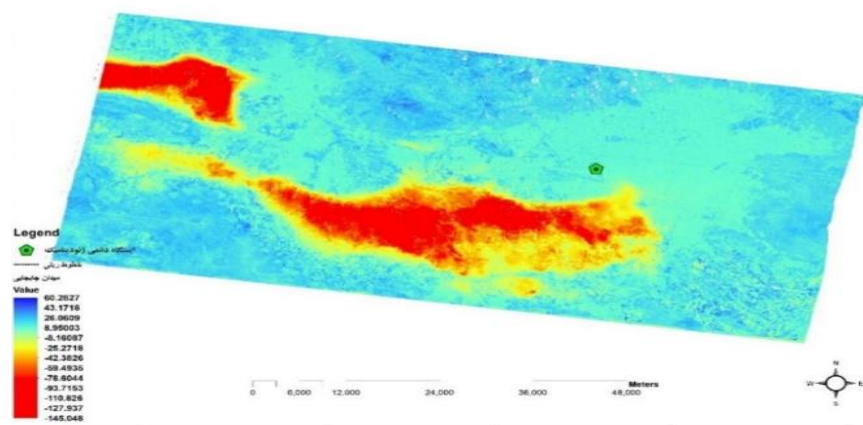
جدا از بحث خطوط ریلی، نتایج به‌دست آمده از تداخل سنجی راداری در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشینه فرونشست با نرخ ۱۴۰ میلی‌متر در سال (در راستای LOS) مربوط به منطقه شهریار می‌باشد. بررسی سطح آب‌های زیرزمینی از طریق داده‌های چاه‌های پیزومتری، حاکی از برداشت بی‌رویه آب در نواحی جنوبی استان تهران حوالی ورامین و شهریار می‌باشد [۳۳]. لازم به ذکر است، مقادیر فرونشست به‌دست آمده در تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات پیشین انجام شده در منطقه جنوب و جنوب غرب تهران که خطوط ریلی نیز در آن‌جا قرار دارد همخوانی دارد [۳۴-۳۷]. بنابراین به نظر می‌رسد هرچه سریعتر باید با اقدامات و روش‌های پیشگیرانه با آن‌ها مقابله نمود، تا با افزایش نرخ فرونشست تهدیدی برای خطوط ریلی و سایر تأسیسات موجود در منطقه نشود و منجر به حادثه‌ای نگردد.

نتایج و بحث

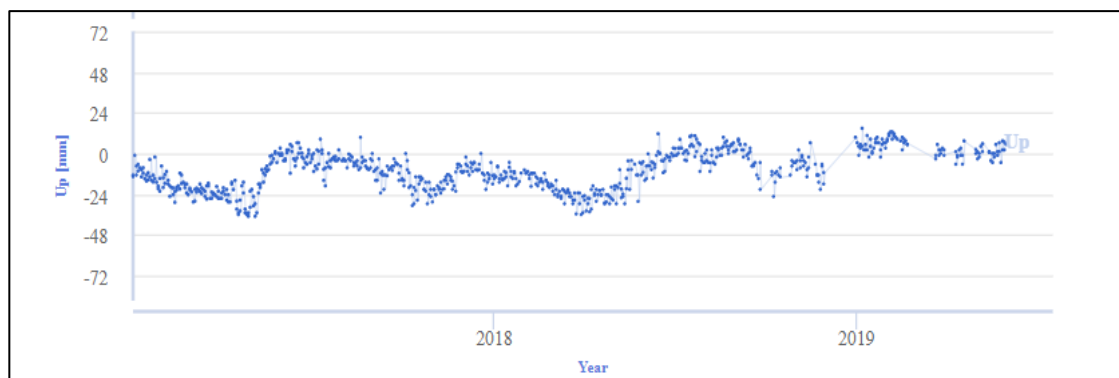
به‌منظور بررسی و تأیید جابه‌جایی به‌دست آمده از روش تداخل سنجی راداری، از داده‌های شبکه ژئودینامیک یا ترازبایی دقیق و همچنین داده‌های شبکه شمیم سازمان ثبت اسناد و املاک کشور استفاده گردید. همچنین باید نحوه و میزان ارتباط آن را نیز با دلایل مطروحه فرونشست در منطقه سنجید، که برای این کار از داده‌های چاه‌های پیزومتری و همچنین نوع و ضخامت خاک گمانه‌های حفاری استفاده گردید.

اعتبار سنجی مقدار فرونشست با داده‌های ایستگاه‌های دائم GNSS سازمان نقشه‌برداری کشور

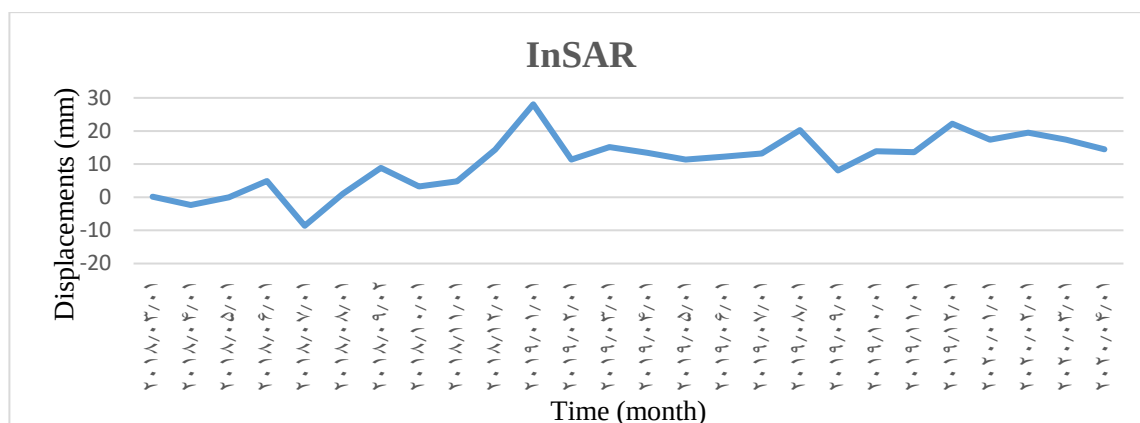
از بین ایستگاه‌های شبکه ژئودینامیک کشور تنها ایستگاه GPS تهران که در محوطه سازمان نقشه‌برداری کشور واقع شده، در منطقه مورد مطالعه قرار دارد که برای بررسی صحت نتایج تداخل سنجی، از سری زمانی داده‌های این ایستگاه استفاده گردید. شکل (۱۶) موقعیت ایستگاه دائمی ژئودینامیک سازمان نقشه‌برداری کشور را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. ایستگاه دائم GNSS سازمان نقشه‌برداری در موقعیت جغرافیایی



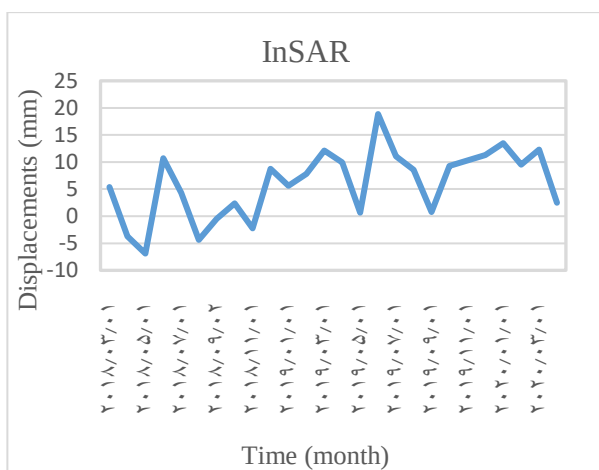
شکل ۱۶: موقعیت ایستگاه دائمی ژئودینامیک محوطه سازمان نقشه‌برداری- تهران
Fig. 16: The location of the permanent geodynamics station of the Mapping Organization-Tehran



شکل ۱۷: سری زمانی فرونشست زمین حاصل از داده‌های ایستگاه ژئودینامیک تهران
Fig. 17: The time series of land subsidence obtained from the data of Tehran Geodynamic Station



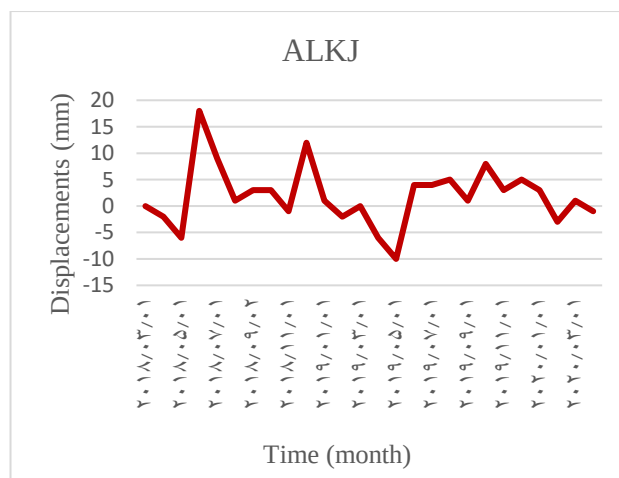
شکل ۱۸: سری زمانی فرونشست زمین حاصل از تداخل سنجی راداری
Fig. 18: Time series of ground subsidence obtained from radar interferometry



شکل ۲۰: سری زمانی فرونشست حاصل از تداخل سنجی راداری
Fig. 20: Time series of subsidence obtained from radar interferometry

طبق نتایج به دست آمده از تداخل سنجی راداری نرخ جابه‌جایی برای این نقطه در بازه زمانی مورد مطالعه ۷ الی ۸ میلی‌متر مثبت در سال در راستای LOS می‌باشد. مقدار جابه‌جایی متناظر به دست آمده از مشاهدات ایستگاه دائمی GNSS سامانه شمیم ۲ الی ۳ میلی‌متر می‌باشد. اختلاف به دست آمده می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد، اول این که مقدار جابه‌جایی در روش تداخل سنجی در راستای خط دید ماهواره

بعد از پردازش داده‌های راینکس سامانه شمیم، سری زمانی این داده‌ها ترسیم گردید. شکل (۱۹) سری زمانی مربوط به ایستگاه دائمی شمیم استان البرز - شهرستان کرج و شکل (۲۰) سری زمانی حاصل از تداخل سنجی راداری مربوط به نقطه متناظر این ایستگاه بر روی تداخل نگارها و فایل‌های جابه‌جایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹: سری زمانی جابه‌جایی مربوط به ایستگاه ثابت سامانه شمیم کرج
Fig. 19: The displacement time series related to the fixed station of the Shamim Karaj

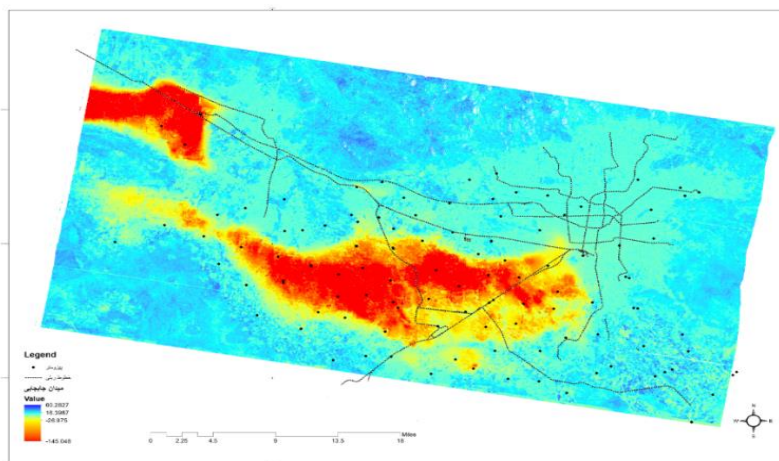
راداری و مقایسه موقعیت و وضعیت این نشست‌ها و بالا آمدگی‌ها با موقعیت چاه‌ها و تراکم آن‌ها و افت تراز سطح آب زیرزمینی و روند تغییرات افت، میزان ارتباط بین این دو مقوله بررسی گردید. شکل (۲۱) موقعیت چاه‌های پیزومتری تهران و البرز را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

تعدادی از پیزومترهای موجود در منطقه جهت بررسی ارتباط بین نرخ فرونشست و میزان افت و خیز سطح آب چاه‌ها انتخاب شدند. بیشتر از داده‌های چاه‌هایی استفاده شد که در منطقه با نرخ نشست بالا بود و هیدروگراف تراز سطح آب زیرزمینی برای این چاه‌ها ترسیم گردید. برای ۱۲ چاه پیزومتری هیدروگراف تراز سطح آب زیرزمینی برای بازه زمانی نزدیک به بیست سال ترسیم شد، شکل (۲۲).

می‌باشد درحالی‌که در ایستگاه شمیم مقدار جابه‌جایی در راستای قائم محاسبه شده است. دومین منبع خطا که به نظر می‌رسد منشأ اصلی خطا هم باشد خطای ناشی از روش به کار رفته برای پردازش داده‌های راینکس مشاهدات ایستگاه سامانه شمیم می‌باشد.

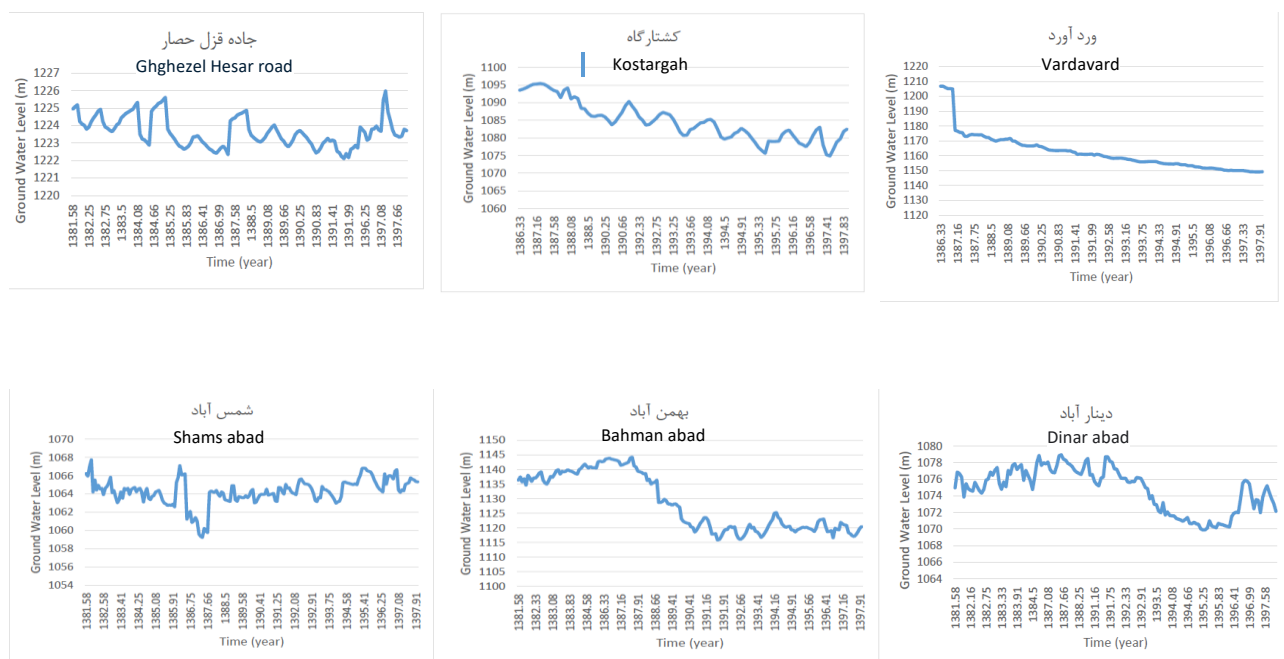
بررسی میزان ارتباط بین پدیده فرونشست و تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی و داده‌های چاه‌های مشاهداتی

برای بررسی علت رخداد فرونشست در منطقه و میزان ارتباط آن با تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی، داده‌های تعدادی از چاه‌های پیزومتری محدوده مورد مطالعه از طریق شرکت آب منطقه‌ای تهران تهیه شد و نمودار سری زمانی تغییرات تراز سطح آب برای آن‌ها ترسیم گردید. با استفاده از نقشه جابه‌جایی به‌دست آمده از تداخل سنجی



شکل ۲۱: موقعیت چاه‌های پیزومتری تهران و البرز بر روی نقشه جابه‌جایی

Fig. 21: Location of Tehran and Alborz piezometric wells on displacement map



شکل ۲۲: هیدروگراف تراز آب زیر زمینی چاه‌های منطقه

Fig. 22: Hydrograph of underground water level of wells in the region

آب زیرزمینی متراکم شده و منجر به وجود آمدن فرونشست در آن مناطق می‌گردند.

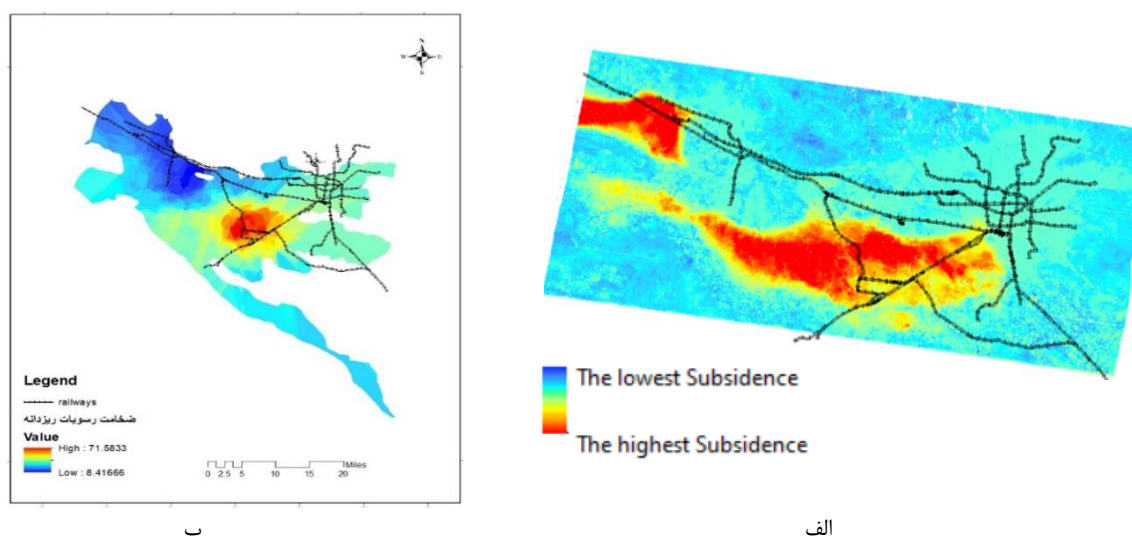
به‌همین منظور برای بررسی دقیق‌تر ارتباط فرونشست با نوع و ضخامت لایه‌های خاک منطقه نیاز به تهیه داده‌های خاک شناسی و گمانه‌های حفاری و اکتشافی محدوده مورد مطالعه می‌باشد. بخشی از این داده‌ها توسط شرکت آب منطقه‌ای در دسترس عموم قرار گرفته است. از آنجا که اطلاعات حاصل از هر لاگ حفاری، ضخامت ریزدانه‌ها در همان محل را ارائه می‌دهد، برای تعیین نقشه پراکندگی ریزدانه‌ها در محدوده دشت، باید از روش درون‌یابی استفاده کرد. چتر سیماب و همکاران، ۱۴۰۰ [۳۶] نقشه ضخامت رسوبات ریزدانه تراکم پذیر را به روش درون‌یابی کریجینگ به دست آوردند شکل (۲۳-ب). طبق این نقشه و اطلاعات گمانه‌های حفاری بالا و سایر گمانه‌های آبخوان‌های موجود، آن‌ها علت اصلی فرونشست در این منطقه را کاهش سطح آب زیرزمینی در مناطق با ضخامت زیاد رسوبات ریزدانه اعلام نمودند [۳۶]. صادقی و همکاران و همین‌طور محمودپور و همکاران، نیز بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از نوع خاک منطقه، گزارش نمودند که ضخامت واحدهای رسی ریزدانه با نفوذ پذیری کم در بخش‌های جنوبی دشت و همچنین از سوی غرب به شرق افزایش می‌یابد و این افزایش همراه با بیشتر شدن حدود روانی و خمیری خاک‌ها می‌باشد [۳۸، ۳۹]. لذا انتظار می‌رود که میزان نرخ فرونشست زمین به ترتیب در بخش‌های جنوبی و شرقی نسبت به بخش‌های شمالی و غربی دشت بیشتر باشد.

نقشه فرونشست به‌دست آمده در تحقیق حاضر شکل (۲۳-الف) مطابقت بسیار خوبی با نتایج پیشین ذکر شده دارد به‌طوری‌که در بخش‌های جنوبی و شرقی دشت تهران که جنس آبخوان در چاه‌های این مناطق از نوع ریزدانه رسی و یا رس سیلتی می‌باشد، بیشترین فرونشست رخ داده است و چنان‌چه در شکل (۲۳-ب) دیده می‌شود در مناطق دارای ضخامت رسوبات ریزدانه بالا، فرونشست زیادی اتفاق افتاده است. بنابراین در این نواحی حتی بعد این که کاهش تراز آب زیرزمینی از طریق تغذیه آبخوان جبران شده است هم نشست منطقه ادامه پیدا کرده که این نشان می‌دهد نشست زمین در این نواحی غیر قابل بازگشت است. در مقابل، در مناطق فاقد فرونشست یا فرونشست کم، جنس آبخوان از نوع رسوبات درشت دانه می‌باشد و نشست در این نواحی بسیار کم و نزدیک صفر می‌باشد، که این به‌دلیل وجود رسوبات درشت دانه است، زیرا این رسوبات درجه تراکم پذیری پایینی دارند و با افزایش تنش مؤثر، دچار تراکم به‌میزان قابل توجهی نمی‌شوند، به همین علت میزان نشست در این نواحی کم است.

چنان‌چه در شکل (۲۲) مشاهده می‌شود اکثر چاه‌های پی‌زومتری کاهش سطح آب را شاهد هستند و می‌توان افت سطح منابع آب زیرزمینی را دلیل اصلی نشست در منطقه مورد مطالعه ذکر کرد. اما این، تنها یکی از عوامل مؤثر در فرونشست می‌باشد، همان‌طور که در نمودارهای بالا مشخص است، گرچه در همه این چاه‌ها سطح آب منابع زیرزمینی کاهش پیدا کرده ولی میزان ارتباط این کاهش سطح آب و نرخ فرونشست برای مناطق مختلف یکسان نمی‌باشد، لذا باید عوامل دیگر را نیز در این قضیه دخیل دانست. به‌طور کلی عوامل بسیاری از نظر کمی و کیفی در ایجاد فرونشست زمین در اثر برداشت آب‌های زیرزمین مؤثرند، مانند نوع، جنس و ضخامت لایه‌های خاک منطقه و آبخوان، تداخل مواد تشکیل دهنده این لایه‌ها، تراکم و ترکیب لایه‌ها، نحوه پمپاژ، ساختار زمین شناسی منطقه، هدایت هیدرولیکی لایه‌های آبدار، بارندگی، دما، میزان رسوب پذیری، اندازه ذرات و ضخامت رسوبات ریز دانه به ویژه رس و... [۳۸].

دومین فاکتور مهم در ایجاد فرونشست ضخامت رسوبات ریزدانه است. به‌طور کلی نوع خاک تشکیل دهنده سفره، عامل بسیار مهمی در کنترل پدیده فرونشست می‌باشد [۳۰، ۳۱]. به‌عنوان مثال افت سطح آب زیرزمینی در جایی که خاک تشکیل دهنده سفره رسوبات درشت دانه می‌باشد، تراکم قابل توجهی در سفره ایجاد نمی‌کند، و متعاقب آن در این مناطق یا نشست رخ نمی‌دهد یا سرعت نشست بسیار پایین می‌باشد. پس یکی از عوامل مهم در شکل‌گیری و میزان فرونشست زمین، اثر تراکم مواد رسوبی ریزدانه به‌ویژه رس می‌باشد [۳۸، ۳۶]. بنابراین به‌منظور بررسی دقیق‌تر علت نشست، در برخی از مناطق باید نوع، جنس و ضخامت خاک را در لایه‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. برای این کار باید اطلاعات گمانه‌های حفاری را تهیه کرد که وب سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران (www.wrm.ir) این اطلاعات را جهت بررسی جنس آبخوان در اختیار کاربران قرار می‌دهد. در بخش بعدی در خصوص ارتباط فرونشست منطقه با نوع و جنس خاک توضیح داده می‌شود.

بررسی میزان ارتباط پدیده فرونشست با نوع و جنس خاک منطقه عوامل متعددی در وقوع فرونشست زمین مؤثر می‌باشد، طبق نتایج پژوهش‌های صورت گرفته [۲۹، ۳۱] یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد نشست زمین در آبخوان‌های کشور بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در مناطقی است که لایه‌های تراکم‌پذیر با ضخامت قابل ملاحظه در آبخوان وجود دارند. این لایه‌ها معمولاً از رس تشکیل شده و نیمه تراوا می‌باشند، که با افزایش فشار منفذی ناشی از کاهش فشار



شکل ۲۳ الف: دسته بندی مناطق بر اساس میزان فرونشست (زیاد، متوسط، کم) ب) ضخامت رسوبات ریزدانه تراکم پذیر در منطقه [۳۴]

Fig. 23 a: Classification of regions based on the amount of subsidence (high, medium, low)- b: The thickness of compressible fine-grained sediments in the region

نتیجه‌گیری

ماهواره برای مسیر ۳۵ می‌باشد. طبق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، مناطق پرخطر شامل بخش‌هایی از خطوط ریلی مربوط به بلاک‌های کرج به کردان محدوده کمال شهر و همچنین مسیر کردان به هشتگرد (میزان فرونشست در محدوده ۱۰۵ الی ۱۳۹ میلی متر در سال) و نیز بخش‌هایی از شاخه‌های جنوبی و جنوب غربی راه آهن تهران، مسیر مربوط به ایستگاه ملکی به گار مانوری آپرین، حوالی شهریار و ورامین (۸۵ الی ۱۳۹ میلی متر در سال) می‌باشند.

در نهایت برای اعتبارسنجی مقادیر فرونشست به‌دست آمده از روش ماهواره‌ای، از داده‌های ایستگاه دائم ژئودینامیک تهران مربوط به سازمان نقشه‌برداری کشور و داده‌های ایستگاه‌های دائم شمیم سازمان ثبت اسناد و املاک استفاده گردید. نتایج به‌دست آمده با در نظر گرفتن خطاهای مربوط به هر کدام از روشها نسبتاً خوب بود. همچنین برای بررسی ارتباط بین پدیده فرونشست و افت سطح آب زیرزمینی و نوع خاک منطقه از داده‌های ۱۲ چاه پیرومتری دشت‌های تهران و کرج و اطلاعات گمانه‌های حفاری تعدادی از چاه‌های پیرومتری منطقه استفاده شد. با بررسی رابطه‌ی افت سالانه آب و فرونشست و همچنین نوع جنس و ضخامت خاک منطقه مشخص گردید که علت اصلی نشست در منطقه، افت سطح آب‌های زیر زمینی در مناطق با ضخامت بالای رسوبات ریز دانه می‌باشد.

از جمله محدودیت‌های تحقیق می‌توان به قدرت تفکیک مکانی نسبتاً پایین تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ برای پایش ساختارهای خطی مانند ریل راه آهن و همچنین عدم قطعیت داده‌های فراهم شده از سازمان نقشه‌برداری (فاصله نسبتاً زیاد ایستگاه دائمی ژئودینامیک سازمان نقشه‌برداری از منطقه مورد مطالعه) و داده‌های اداره کل کاداستر (روش بکار رفته در پردازش مشاهدات ایستگاه سامانه شمیم) که به‌منظور بررسی صحت نتایج تداخل سنجی استفاده شده بودند، اشاره نمود.

یکی از مخاطراتی که به‌خصوص در سال‌های اخیر در مناطق مختلف دنیا و ایران خودنمایی می‌کند، پدیده فرونشست است. فرونشست زمین یکی از مشکلات زیست محیطی است که باید در تحقیقات اصولی و طولانی مدت مورد بررسی قرار گیرد و به‌دلیل مشکلات و تبعاتی که به وجود می‌آورد باید به‌طور مستمر و دائم، پایش و کنترل شود. از تبعات این پدیده می‌توان به آسیب دیدگی خطوط ریلی و جاده‌ها اشاره کرد که می‌تواند منجر به حوادث جبران‌ناپذیر مالی و جانی شود. بنابراین پایش این رخداد و بررسی مقدار جابه‌جایی و تغییر شکل در دو بعد زمان و مکان ضروری می‌باشد. روش‌های مختلفی برای پایش نشست زمین وجود دارد که به‌دلیل امکانات محدود و هزینه‌بر و زمان‌بر بودن روش‌های مرسوم مانند ترازبایی دقیق و استفاده از اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های دائم GPS و محدود بودن این ایستگاه‌ها امکان پایش دائم و یکپارچه دشت‌ها و مناطق دیگر وجود ندارد. از این‌رو، برای پایش دائمی این پدیده باید از روش‌های به‌صرفه‌تر با امکان دسترسی پیوسته، مانند تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های پردازش آن‌ها استفاده نمود. در این تحقیق برای اندازه‌گیری مقدار جابه‌جایی نشست زمین در خطوط ریلی پایتخت و سه شاخه خروجی آن از روش تداخل سنجی راداری بر مبنای سری زمانی خط مبنای کوتاه (SBAS) استفاده گردید.

در این پژوهش، از تصاویر ماهواره سنتینل-۱ طی بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ مربوط به مدار پایین‌رو مسیر ۳۵ با تعداد ۴۶ تصویر استفاده شد. نتایج حاصل از پردازش تصاویر سنتینل-۱ با استفاده از نرم‌افزار GMTSAR و روش خط مبنای کوتاه نشان می‌دهد به‌طور کلی نرخ جابه‌جایی پس از حذف خطاهای مداری و باقیمانده فاز توپوگرافی با استفاده از فایل‌های مداری و مدل ارتفاعی رقومی با قدرت تفکیک ۳۰ متری در محدوده ۱۳۹- تا ۴۹+ میلی متر در سال در راستای خط دید

[9] Stramondo S, Trasatti E, Albano M, Moro M, Chini M, Bignami C, Polcari M, Saroli M. Uncovering deformation processes from surface displacements. *Journal of Geodynamics*. 2016 Dec 1;102:58-82.

<https://doi.org/10.1016/j.jog.2016.08.001>

[10] Polcari M, Montuori A, Bignami C, Moro M, Stramondo S, Tolomei C. Using multi-band InSAR data for detecting local deformation phenomena induced by the 2016–2017 Central Italy seismic sequence. *Remote sensing of environment*. 2017 Nov 1;201:234-42. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2016.08.001>

[11] Stramondo S, Bozzano F, Marra F, Wegmuller U, Cinti FR, Moro M, Saroli M. Subsidence induced by urbanisation in the city of Rome detected by advanced InSAR technique and geotechnical investigations. *Remote Sensing of Environment*. 2008 Jun 16;112(6):3160-72.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.008>

[12] Polcari M, Albano M, Saroli M, Tolomei C, Lancia M, Moro M, Stramondo S. Subsidence detected by multi-pass differential SAR interferometry in the Cassino Plain (Central Italy): joint effect of geological and anthropogenic factors?. *Remote Sensing*. 2014 Oct 13;6(10):9676-90.

<https://doi.org/10.3390/rs6109676>

[13] Della Campania C. Comparison between Differential SAR interferometry and ground measurements data in the displacement monitoring of the earth-dam of. *Remote Sensing of Environment*. 2014;148:58-69.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.014>

[14] Milillo P, Perissin D, Salzer JT, Lundgren P, Lacava G, Milillo G, Serio C. Monitoring dam structural health from space: Insights from novel InSAR techniques and multi-parametric modeling applied to the Pertusillo dam Basilicata, Italy. *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 2016 Oct 1;52:221-9.

<https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.013>

[15] Fornaro, G., D. Reale, and S. Verde, *Bridge thermal dilation monitoring with millimeter sensitivity via multidimensional SAR imaging*. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2012. 10(4): p. 677-681. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.013>

[16] Serrano-Juan A, Pujades E, Vázquez-Suñé E, Crosetto M, Cuevas-González M. Leveling vs. InSAR in urban underground construction monitoring: Pros and cons. Case of la sagrera railway station (Barcelona, Spain). *Engineering Geology*. 2017 Feb 23;218:1-1. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.12.016>

[17] Jeon SS, Park YK, Eum KY. Stability assessment of roadbed affected by ground subsidence adjacent to urban railways. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2018 Aug 24;18(8):2261-71.

<https://doi.org/10.5194/nhess-10-2391-2010>

[18] Ferretti A, Prati C, Rocca F. Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 2001 Jan;39(1):8-20.

<https://doi.org/10.1109/36.898661>

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

با تشکر از سازمان نقشه‌برداری کشور بابت در اختیار دادن سری زمانی جابه‌جایی زمین مربوط به ایستگاه دائم ژئودینامیک تهران و اداره کل کاداستر سازمان ثبت اسناد و املاک کشور بابت در اختیار دادن داده‌های مربوط به ایستگاه ثابت شمیم کرج.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است».

منابع و مأخذ

[1] Galloway DL, Burbey TJ. Review: regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeology* 19: 1459–1486. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5>

[2] Available from: <https://www.isna.ir/news/97081305980>

[3] Nabochenko O, Sysyn M, Kovalchuk V, Kovalchuk Y, Pentsak A, Braichenko S. STUDYING THE RAILROAD TRACK GEOMETRY DETERIORATION AS A RESULT OF AN UNEVEN SUBSIDENCE OF THE BALLAST LAYER. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019 Jan 31;97(7).

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154864>

[4] Masoumi Z, Mousavi Z, Hajeb Z. Long-term investigation of subsidence rate and its environmental effects using the InSAR technique and geospatial analyses. *Geocarto International*. 2022 Dec 12;37(24):7161-85.

<https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1964616>

[5] Gao M, Gong H, Chen B, Zhou C, Chen W, Liang Y, Shi M, Si Y. InSAR time-series investigation of long-term ground displacement at Beijing Capital International Airport, China. *Tectonophysics*. 2016 Nov 22;691:271-81.

[6] Chen, B., et al., *Investigating land subsidence and its causes along Beijing high-speed railway using multi-platform InSAR and a maximum entropy model*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021. 96: p. 102284.

<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.10.016>

[7] Ranjbarmanesh, N., Entezari, Mozghan., Ramesht, Mohammad Hossein, *Evaluation of groundwater drawdown on subsidence of Mahidasht plain* Master Thesis, *Geomorphology*. isfahan University, 1392. [In Persian]

[8] Massonnet D, Rossi M, Carmona C, Adragna F, Peltzer G, Feigl K, Rabaute T. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *nature*. 1993 Jul 8;364(6433):138-42. <https://doi.org/10.1038/364138a0>

- [30] Zhu M, Dong SC, Yin HW. Spatial-temporal ground deformation study of Suzhou area from 2007 to 2010 based on the SBAS InSAR method. *Journal of Geo-information Science*. 2016;18(10):1418-27.
- [31] Babaee S S, M.Z., Roostaei M, *Time Series Analysis of SAR Images Using Small Baseline Subset (SBAS) and Persistent Scatterer (PS) Approaches to Determining Subsidence Rate of Qazvin Plain*. JGST. 2016; 5 (4) :95-111. [In Persian]
- [32] Hanssen RF. Radar interferometry: data interpretation and error analysis. Springer Science & Business Media; 2001 Apr 30. <https://doi.org/10.1007/0-306-47633-9>
- [33] Razmghir, R., Mosavi, Morteza., Shemshaki, Amir., Boloorch, Mohammad Javad, *Investigation Tehran-Shahriar plain subsidence due to uncontrolled extraction of groundwater*. first national conference on costal land water resources management, Sari, 1389. [In Persian]
- [34] Y. Maghsoudi, R. Amani and H. Ahmadi3A, "Study on Land Subsidence in West of Tehran Using Sentinel-1 Images and Persistent Scatterers Interferometry" *Iran-Water Resources Research*, Volume 15, No. 1, Spring 2019 [In Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.1.22.9>
- [35] A.safar, F.jafari, M. tavakoli "Land subsidence monitoring and its relationship with groundwater withdrawal, Case study: Karaj-Shahriyar plain" *Quantitative geomorphology research*, Volume 5, p. 82-93, 2018. [In Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1395.5.2.6.8>
- [36] Chatsrimab, Z., Alesheikh, A., Voosoghi, B., Behzadi, S., Modiri, M. Investigating the effect of aquifer type and groundwater level drop on subsidence rate using radar interference technique and field data (Case study: Tehran-Karaj-Shahriar aquifer area). *Advanced Applied Geology*, 2021; 10(4): 683-689. doi: 10.22055/aag.2020.30557.2028. [In Persian] <https://doi.org/10.22055/aag.2020.30557.2028>
- [37] M. amigh pey, A. saadat, A. molaee, Y. jamour "The first phase of studies to prepare the country's comprehensive subsidence atlas in the country's mapping organization, The 5th National Geomatics Conference and Exhibition and the 3rd Location Information Technology Engineering Conference, 1397 . [In Persian].
- [38] Sadeghi, J., Hamidian, Hadi, *Investigation of alluvial land subsidence due to pressure reduction in aquifers and how the type of alluvium affects land subsidence in Tehran plain*. The Second National Conference on Geotechnical Engineering of Iran, Kermanshah, 1393. [In Persian]
- [39] Mahmoudpour, M., Khamsehchian, M., Nikudel, M., Ghasemi, M. Engineering - hydrogeological model of land subsidence area in the southwest of Tehran (Tehran – Shahriyar plain). *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 2017; 9(Number 3 & 4): 1-17. [In Persian]
- [19] Berardino P, Fornaro G, Lanari R, Sansosti E. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 2002 Nov;40(11):2375-83. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792>
- [20] Casu F, Manzo M, Lanari R. A quantitative assessment of the SBAS algorithm performance for surface deformation retrieval from DInSAR data. *Remote Sensing of Environment*. 2006 Jun 15;102(3-4):195-210. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.023>
- [21] Shami, Siavash, et al. "Assessments of ground subsidence along the railway in the Kashan plain, Iran, using Sentinel-1 data and NSBAS algorithm." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 112 (2022): 102898. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102898>
- [22] Polcari, Marco, et al. "Anthropogenic subsidence along railway and road infrastructures in Northern Italy highlighted by Cosmo-SkyMed satellite data." *Journal of Applied Remote Sensing* 13.2 (2019): 024515-024515. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.13.024515>
- [23] Shi, Min, et al. "Monitoring differential subsidence along the beijing–tianjin intercity railway with multiband SAR data." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16.22 (2019): 4453. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224453>
- [24] L Lu Y, Chen D. Land Subsidence Monitoring Along Highway And Railway in SU-XI-CHANG Area. In2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC) 2019 May 24 (pp. 1908-1911). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITAIC.2019.8785579>
- [25] Luo, Qingli, Jian Li, and Yuanzhi Zhang. "Monitoring subsidence over the planned Jakarta–Bandung (Indonesia) high-speed railway using Sentinel-1 multi-temporal InSAR data." *Remote Sensing* 14.17 (2022): 4138. <https://doi.org/10.3390/rs14174138>
- [26] Aslan G, Cakir Z, Lasserre C, Renard F. Investigating subsidence in the Bursa Plain, Turkey, using ascending and descending Sentinel-1 satellite data. *Remote Sensing*. 2019 Jan 5;11(1):85. <https://doi.org/10.3390/rs11010085>
- [27] Hossein Zadeh, m., " *Landslide Hazard Zonation of Tehran, s Northern slopes "* (Master Thesis), Faculty Of Earth Science, in Department Of Environmental Geology and Hydrology. 1393, Shahrood Industrial University. [In Persian]
- [28] Iran, R.s.o.t.I.R.o. Wednesday 2022-2-16 20:13.
- [29] Pakkhesal, R., *Compilation optimum model of Tehran – Karaj's Groundwater monitoring network by hybrid geostatistical model*, (Master Thesis), in Department of Water and Environmental Engineering. 1394, Shahrood Industry Faculty. [In Persian]



دکتری خود را در رشته مهندسی نقشه‌برداری-سنجش از دور بترتیب در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران دریافت نمودند. فعالیت‌های پژوهشی اخیر وی در حوزه کاربرد یادگیری ماشین در برآورد پارامترهای جوی می‌باشد و همچنین کاربردهای سنجش از دور در پایش تغییرات اقلیمی، کشاورزی، مدیریت جنگل‌ها، مدیریت کاربری و پوشش اراضی و مدل‌سازی محیطی با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌باشد. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: پردازش تصاویر اپتیک و راداری، یادگیری ماشین، توسعه کاربردهای سنجش از دور.

Javadnia, E. Assistant Professor at the Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

✉ javadnia@znu.ac.ir

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



جلیل پیری دارای تحصیلات کارشناسی در رشته مهندسی عمران- نقشه‌برداری و کارشناسی ارشد- ژئودزی از دانشگاه زنجان می‌باشد. وی از سال ۱۳۹۷ تا کنون به عنوان کارشناس نقشه‌برداری و کاداستر در اداره ثبت اسناد و املاک استان زنجان مشغول به خدمت می‌باشد.

Piri, J. Department of Geomatics Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

✉ j.piri@znu.ac.ir

اسلام جوادنیا استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری در دانشکده مهندسی دانشگاه زنجان می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی ارشد و

Citation (Vancouver): Piri J, Javadnia E. [Subsidence Monitoring along Tehran Railway: An Analysis of InSAR and Ground Observations]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 97-112

doi <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10771.1059>



COPYRIGHTS

© 2024 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 Machine Learning Methods for Classify Landsat 9 Satellite Images in Order to Evaluate The Area of Urban Land Uses (West of Tehran)

H. Joulaei, A.R. Vafaeinajad*

Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 30 January 2024
 Reviewed: 05 April 2024
 Revised: 01 May 2024
 Accepted: 11 June 2024

KEYWORDS:

Landsat 9 Satellite Image
 Machine Learning
 Land Use
 Classification

* Corresponding author

✉ a_vafaei@sbu.ac.ir

☎ (+9821) 73932410

Background and Objectives: The issue of urbanization and monitoring of urban expansion and land use changes using satellite images has become a basic focus in the society. Easy and stable access to satellite data has made it possible to monitor and monitor land changes more accurately; But for optimal use of these images, it is necessary to collect samples of images and then classify their pixels based on regional features and characteristics. This process faces challenges such as data dispersion, which can be solved by using appropriate classification methods. In this study, in order to evaluate the area of land uses in cities, various methods of machine learning have been used. Instead of using a fixed and absolute method for classifying pixels, four different machine learning methods are investigated separately for each image. These diverse methods of machine learning provide the possibility of choosing the best and most efficient method for each image, thus improving the ability to detect and classify pixels for land use areas in cities and increasing accuracy and efficiency.

Methods: In this research, the Landsat 9 satellite image has been used to study and analyze different areas of Tehran in 2023. First, the desired image was subjected to the necessary corrections and then four appropriate machine learning algorithms (which included K-nearest neighbor, support vector machine, random forest and maximum likelihood) were used to classify Landsat 9 satellite images related to four different areas of Tehran (including 2, 5, 21, 22) were used. To evaluate the accuracy of the results, more than 200 check points were created on the image using the Stratified Random method, and then Google Earth Pro was used to check the check points. The overall classification accuracy and kappa coefficient were evaluated as evaluation criteria for the best classification method of image pixels. In the next step, the studied area was divided into equal blocks in order to better understand the area of land uses in that area. Then, using Zonal Statistics, the amount of land use area in each block was investigated.

Findings: Based on the methods used, the performance of the SVM method in this study achieved the highest possible accuracy, which is equal to 95%, and the Kappa coefficient, which is 89%. These results may be justified due to the non-uniformity of pixel areas in dense urban environments. In addition, different areas of land, including green areas with an area of 12 square kilometers, barren lands with an area of 64 square kilometers, and built-up areas with an area of 137 square kilometers were also examined in this analysis.

Conclusion: Through this approach, we have presented a highly accurate classification method for the analysis of satellite images related to the Landsat 9 satellite. This method enables a more accurate assessment of the area of land uses and provides urban decision makers and policy makers with a direct link with valuable insights for sustainable development in cities. This can play an effective role in the process of facilitating development plans to improve cities and citizens' lives, because it provides accurate and reliable information that helps strategic decisions in the field of urban development and enables more effective and targeted changes in urban policies and programs.



NUMBER OF REFERENCES

32



NUMBER OF FIGURES

13



NUMBER OF TABLES

1

مقاله پژوهشی

استفاده از روش‌های یادگیری ماشین برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ به منظور ارزیابی مساحت کاربری‌های زمین شهری (غرب تهران)

حسین جولایی، علیرضا وفايي نژاد*

گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: موضوع شهرنشینی و نظارت بر گسترش شهری و تغییرات کاربری زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به یک مرکزیت اساسی در جامعه تبدیل شده است. دسترسی آسان و پایدار به داده‌های ماهواره‌ای، این امکان را فراهم کرده که تغییرات زمینی را با دقت بیشتری رصد و نظارت کرد؛ اما برای بهره‌برداری بهینه از این تصاویر، لازم است نمونه‌هایی از تصاویر جمع‌آوری شده و سپس پیکسل‌های آن‌ها بر اساس ویژگی‌ها و مشخصه‌های منطقه‌ای طبقه‌بندی شوند. این فرآیند، با چالش‌هایی همچون پراکندگی داده‌ها مواجه است که با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی مناسب قابل حل است. در این مطالعه، به منظور ارزیابی مساحت کاربری‌های زمین در شهرها، روش‌های متنوعی از یادگیری ماشین مورد استفاده قرار گرفته است. به جای استفاده از یک روش ثابت و مطلق برای طبقه‌بندی پیکسل‌ها، چهار روش مختلف یادگیری ماشین جداگانه برای هر تصویر مورد بررسی قرار گرفته است. این روش‌های متنوع از یادگیری ماشین امکان انتخاب بهترین و پراکرایبی‌ترین روش برای هر تصویر را فراهم می‌کنند، به گونه‌ای که توانایی تشخیص و طبقه‌بندی پیکسل‌ها برای مساحت‌های کاربری زمین در شهرها را بهبود می‌بخشند و دقت و کارایی را افزایش می‌دهند.

روش‌ها: در این تحقیق، از تصویر ماهواره‌ای لندست ۹ برای مطالعه و تحلیل منطقه‌های مختلف تهران در سال ۲۰۲۳ استفاده شده است. ابتدا، تصویر مورد نظر تحت تصحیحات لازم قرار گرفته و سپس، چهار الگوریتم یادگیری ماشین متناسب (که شامل K- نزدیک‌ترین همسایه، ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و حداکثر احتمال بودند) برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ مرتبط با چهار منطقه مختلف تهران (شامل ۲، ۵، ۲۱، ۲۲) به کار گرفته شدند. برای ارزیابی دقت نتایج، بیش از ۲۰۰ نقطه چک با استفاده از روش Stratified Random بر روی تصویر ایجاد شدند و سپس از Google Earth Pro برای بررسی دقیق نقاط چک استفاده شد. دقت طبقه‌بندی کلی و ضریب کاپا به عنوان معیارهای ارزیابی بهترین روش طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله بعد، منطقه مورد مطالعه به منظور درک بهتر مساحت کاربری‌های زمین در آن ناحیه به بلوک‌های مساوی تقسیم شد. سپس با استفاده از روابط آماری رستری (Zonal Statistic)، میزان مساحت کاربری‌های زمین در هر بلوک مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: بر اساس روش‌های مورد استفاده، عملکرد روش SVM در این مطالعه به دقت بیشترین مقدار ممکن، که معادل ۹۵ درصد است، و ضریب کاپا، که به نسبت ۸۹ درصد است، دست یافت. این نتایج ممکن است به دلیل عدم یکنواختی پهنه‌های پیکسل در محیط‌های شهری پرتراکم توجیه شود. علاوه بر این، مساحت‌های مختلفی از زمین از جمله مناطق سبز با مساحت ۱۲ کیلومترمربع، زمین‌های بایر با مساحت ۶۴ کیلومترمربع و مناطق ساخته شده با مساحت ۱۳۷ کیلومترمربع نیز در این تحلیل مورد بررسی قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: از طریق این رویکرد، ما یک روش طبقه‌بندی بسیار دقیق را برای تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مربوط به ماهواره لندست ۹ ارائه داده‌ایم. این روش، امکان ارزیابی دقیق‌تری از مساحت کاربری‌های زمین را فراهم می‌کند و به تصمیم‌گیران شهری و سیاست‌گذاران ارتباط مستقیمی با بینش‌های ارزشمندی برای توسعه پایدار در شهرها ارائه می‌دهد. این امر، می‌تواند در فرآیند تسهیل طرح‌های توسعه‌ای برای بهبود شهرها و زندگی شهروندان نقش مؤثری ایفا کند، زیرا اطلاعات دقیق و معتبری را ارائه می‌دهد که به تصمیم‌گیری‌های استراتژیک در حوزه توسعه شهری کمک می‌کند و امکان اعمال تغییرات مؤثرتر و هدفمندتر در سیاست‌ها و برنامه‌های شهری را فراهم می‌سازد.

واژگان کلیدی:

تصویر ماهواره‌ای لندست ۹
یادگیری ماشین
کاربری زمین
طبقه بندی

* نویسنده مسئول

a_vafaei@sbu.ac.ir

۰۲۱-۷۳۹۳۲۴۱۰ ①

مقدمه

۲۰۵۰ به‌طور قابل توجهی به تقریباً دو سوم افزایش خواهد یافت [۲].

شهرنشینی، توسط ترکیبی از عوامل از جمله رشد سریع جمعیت، گسترش شبکه‌های جاده‌ای، روند توسعه شهری و نابرابری‌های اجتماعی و اقتصادی هدایت می‌شود [۳]. شهرنشینی و در نتیجه، تغییرات کاربری نه تنها منجر به کمبود در توزیع عادلانه منابع و ارائه خدمات عمومی

در سال‌های اخیر، موضوع شهرنشینی و به‌واسطه آن تغییرات کاربری به‌عنوان یک نگرانی مهم برای جوامع مطرح شده است [۱]. در سال ۱۹۵۰، مناطق شهری کمتر از یک سوم جمعیت جهان را در خود جای داده بودند. با این حال، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که این رقم تا سال

۲۰۲۲ با افزایش ۵۳/۸۷ درصدی همراه شد [۱۱]. وهل اسلام و همکارش تغییرات پوشش زمین و کاربری زمین را از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ تجزیه و تحلیل کردند. آن‌ها از ترکیبی از یک شبکه عصبی، سلول‌های مارکوف خودکار و یک الگوریتم طبقه‌بندی (MLC) برای پیش‌بینی چشم‌انداز سال ۲۰۳۱ استفاده کردند. داده‌های مورد استفاده برای این تحلیل از تصاویر گرفته شده توسط ماهواره‌های Landsat 5 TM، Landsat 8 OLI/TIRS و Landsat 9 تهیه شده است [۱۲]. آپلان و همکاران از الگوریتم‌های جنگل تصادفی (RF)، K-نزدیک‌ترین همسایه‌ها (KNN) و ماشین بردار پشتیبانی (SVM) استفاده کرد. آن‌ها عملکرد طبقه‌بندی هر روش را بر اساس دقت کلی، و ضریب کاپا ارزیابی کردند [۱۳]. صادق خلیفه حنون رویکردی ابداع کرد که تغییرات پویا در کاربری و پوشش زمین (LULCCs) را با اهداف توسعه پایدار (SDGs) ادغام می‌کند. استفاده از روش‌های مختلف یادگیری ماشین (ML) مانند جنگل‌های تصادفی (RF) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) در کنار سلول‌های خودکار (CA)، و همچنین مدل‌های مجموعه شامل (KNN)، RF، و الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک (LR) هست. در این سند، پیش‌بینی گسترش شهری تا سال ۲۰۹۲ ترسیم شد [۱۴]. عبدالقادر راش و همکارانش با استفاده از تصاویر چند زمانی لندست، تحقیقی در مورد کاربری زمین و تغییر پوشش زمین (LULC) انجام دادند. آن‌ها فن‌های مختلف یادگیری ماشینی مانند ماشین‌های بردار پشتیبانی (SVM)، جنگل تصادفی (RF)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و نزدیک‌ترین همسایگان (KNN) را به کار گرفتند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که الگوریتم RF دارای ضریب کاپا بسیار بالایی است که از ۰/۹۳ تا ۰/۹۷ متغیر است که از عملکرد سایر الگوریتم‌ها که از ۰/۹۱ تا ۰/۹۶ متغیر بودند، پیشی گرفت [۱۵]. در تحقیقی که توسط ویکاس کالمر و همکاران انجام شد، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 2 در کنار فن‌های طبقه‌بندی شامل حداکثر احتمال، جنگل تصادفی و ماشین‌های بردار پشتیبان استفاده شد. دقت نقشه‌های تولیدشده با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ارزیابی شد. ارزیابی عملکرد با استفاده از معیارهایی مانند ضریب کاپا، دقت کلی، دقت تولیدکننده و دقت کاربر انجام شد. یافته‌های آن‌ها نشان داد که الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان نقشه‌های بسیار دقیقی تولید می‌کنند [۱۶]. همنت عملکرد چهار الگوریتم طبقه‌بندی متمایز - جنگل تصادفی (RF)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و درخت تصمیم (DT) را با استفاده از تصاویر Sentinel-2 ارزیابی کرد. یافته‌های مطالعه نشان می‌دهد که دقت این الگوریتم‌ها بسته به شرایط نمونه برای طبقه‌بندی پوشش زمین در نوسان است [۱۷]. قیرومحران و همکارانش عملکرد پنج الگوریتم طبقه‌بندی نظارتی را در تهیه نقشه‌های پوشش و کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 2 و Landsat 8 ارزیابی کردند. پس از بهینه‌سازی الگوریتم‌ها، آن‌ها مشخص کردند که SVM به‌عنوان کارآمدترین روش برای طبقه‌بندی ظاهر شد [۱۸].

می‌شود، بلکه منجر به پیامدهای زیانباری مانند از بین رفتن زیستگاه می‌شود [۳]. [۴] در نتیجه، توجه ویژه به این موضوعات و استفاده از تمامی ابزارهای موجود برای مدیریت کاربری زمین ضروری است. استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی یکی از مهم‌ترین ابزارها است که در جامعه امروزی راهی برای شناسایی و یا پیش‌بینی تغییرات محیط در طول زمان فراهم می‌کند [۵]. از تصاویر سنجش از دور می‌توان تغییرات کاربری زمین و یا مساحت‌های پهنه‌های حال حاضر را ارزیابی کرد [۶]. سیستم اطلاعات مکانی و سنجش از دور و ترکیب آن با روش‌های یادگیری ماشین نیز بسیار مورد توجه واقع شده است. چندین الگوریتم یادگیری ماشین در چند سال گذشته توسعه داده شده است که می‌تواند رویدادهای آینده را بر اساس این تصاویر شناسایی و پیش‌بینی کند، که این موضوع را به موضوع مورد علاقه محققان در سال‌های اخیر تبدیل کرده است [۷]، [۸]، [۹]. الگوریتم‌های یادگیری ماشین بر اساس کیفیت داده‌های به‌دست آمده و همچنین نوع الگوریتم مورد استفاده برای این منظور متفاوت است [۷]. تعدادی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین که معمولاً استفاده می‌شوند، از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین‌های بردار پشتیبان و جنگل‌های تصادفی می‌باشند [۱۰]. در چند سال گذشته تحقیقات زیادی در مورد روش‌های سنجش از دور و یادگیری ماشین انجام شده است که برای طبقه‌بندی تصاویر یا برای ارزیابی رشد و توسعه یک پدیده در طول زمان مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در نتیجه استفاده از طبقه‌بندی کننده‌های RF و SVM (جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان)، آندریاس رینو و همکاران مدل‌های Automata سلولی (CA) را کالبره کردند. شبیه‌سازی پراکندگی شهری توسط هر دو طبقه‌بندی کننده RF و SVM بهبود یافته است. بنابراین، دریافتند که، مدل‌های CA مبتنی بر RF و SVM نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی بهتر عمل می‌کنند [۶]. شیخ‌موسو و همکاران پیشگامان مدل‌های RF و SVM برای طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور می‌باشند. یافته‌های آن‌ها حاکی از دقت بالا و کاهش واریانس RF در تشخیص تغییرات زمین و پوشش از تصاویر با چشم‌انداز پایین بود، در حالی که SVM در مجموعه داده‌هایی با ویژگی‌های گسترده برتر بود. علاوه بر این، RF عملکرد برتر را در طبقه‌بندی تصاویر فرا طیفی و چند طیفی نشان داد [۷]. یوهو و همکارانش از تصاویر Landsat 8 همراه با داده‌های ماهواره‌ای Landsat ETM+ برای بررسی تغییرات پوشش زمین و کاربری زمین استفاده کردند. آن‌ها از الگوریتم‌های KNN، SVM، ANN و RF در تحلیل خود استفاده کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که الگوریتم RF از سایر مدل‌های طبقه‌بندی با حاشیه ۹۰ درصد از نظر دقت بهتر عمل می‌کند [۸]. گیلبرت و شیء تحقیقاتی انجام دادند که تغییرات پوشش زمین و کاربری زمین را ارزیابی کرد. آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7، جمعیت‌ها را دسته‌بندی کردند و همبستگی‌ها را شناسایی کردند. یافته‌های آن‌ها افزایش قابل توجهی از جمعیت ۸۶/۲۴ درصدی را از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ نشان داد و به دنبال آن از سال ۲۰۱۲ تا

می‌کنیم و در نهایت، دقیق‌ترین روش را انتخاب می‌کنیم (ارزیابی دقت و انتخاب دقیق‌ترین روش). در نهایت، در بخش نتایج، منطقه مورد مطالعه را به مناطق یکنواخت تقسیم می‌کنیم و بر اساس آمارهای منطقه‌ای (Zonal Statistic) میزان مساحت کاربری‌های زمین مشخص می‌کنیم (بخش‌بندی منطقه مطالعه و آمار منطقه‌ای) (شکل ۱).

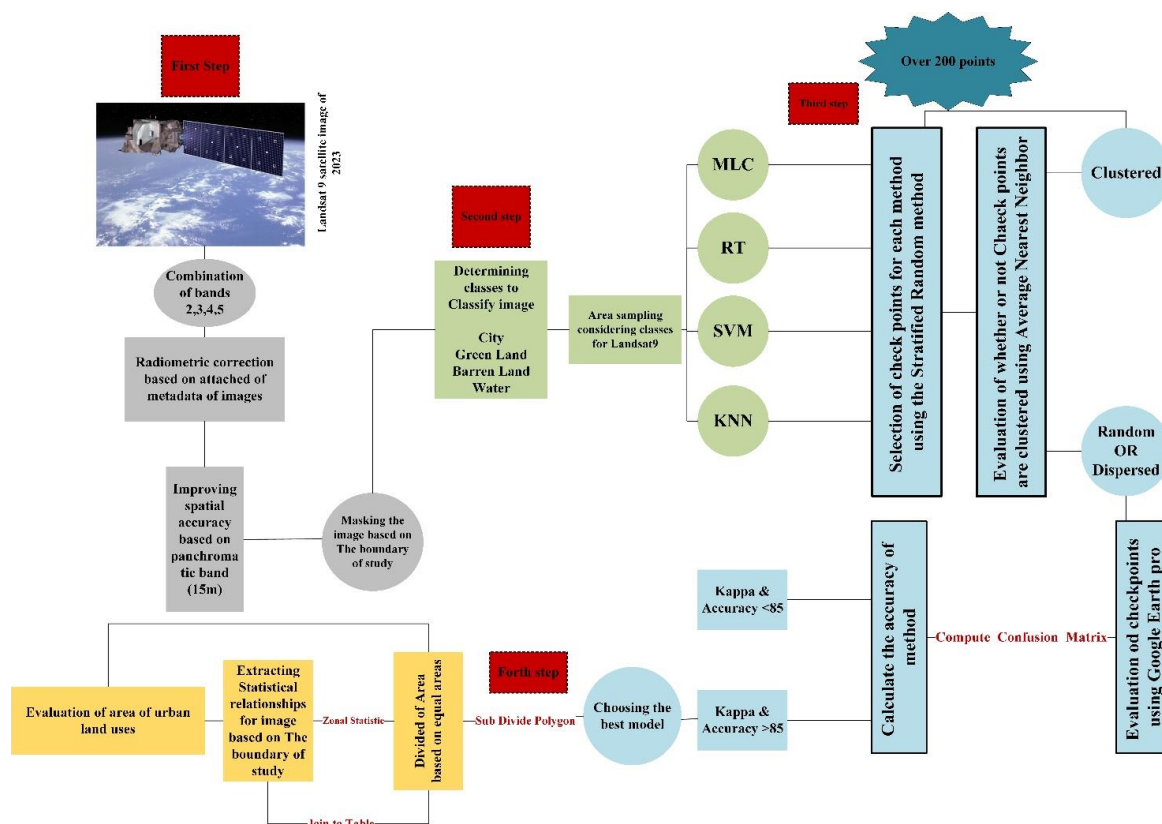
منطقه مورد مطالعه

مناطق ۲، ۵، ۲۱ و ۲۲ تهران به عنوان نقطه کانونی برای ارزیابی مساحت کاربری‌های زمین انتخاب شدند. این مناطق که بخش‌های شمال غرب و غرب تهران را در برمی‌گیرد، تقریباً ۲۱۵ کیلومترمربع وسعت دارد. رشد شهر در این سال‌ها به‌طور قابل توجهی به سمت غرب کشیده شده است که توسط تغییرات جمعیتی و پویایی‌های مختلف اجتماعی-اقتصادی تحریک شده است. بر اساس آخرین سرشماری، مجموع جمعیت این چهار منطقه بالغ بر ۱۹۲۲۸۱۷ نفر است. تجزیه و تحلیل زمین نشان می‌دهد که مناطق شمالی بالاترین ارتفاع را با نزول تدریجی به سمت جنوب و غرب نشان می‌دهند. شایان ذکر است، شیب در اکثر مناطق یکنواخت باقی می‌ماند. مختصات جغرافیایی از $51^{\circ}06'$ تا $51^{\circ}23'N$ در طول جغرافیایی و $35^{\circ}41'$ تا $35^{\circ}49'E$ در عرض جغرافیایی متغیر است (شکل ۲).

در نهایت، مطالعات متعددی الگوریتم‌های متعدد را برای شناسایی الگوریتم بهینه مقایسه می‌کنند، سپس، آن الگوریتم انتخابی را در برنامه‌های مختلف، از جمله پیش‌بینی، مدل‌سازی شهرنشینی، تغییرات کاربری زمین و میزان مساحت‌های در حال حاضر به کار می‌گیرند. توجه به این نکته مهم است که نتایج این الگوریتم‌ها می‌تواند بر اساس عواملی مانند نوع داده، توزیع نمونه و تغییرات زمانی در پدیده‌هایی مانند رشد شهری متفاوت باشد. ما در این مطالعه، چهار الگوریتم مختلف یادگیری ماشین به‌صورت بهینه برای ارزیابی مساحت کاربری‌های زمین بر روی جدیدترین نوع تصاویر ماهواره‌ای لندست یعنی تصویر لندست ۹ اعمال می‌کنیم. برای تصویر، عملکرد هر چهار الگوریتم را از نظر دقت و ضریب کاپا ارزیابی می‌کنیم و دقیق‌ترین روش را برای تصویر انتخاب می‌کنیم.

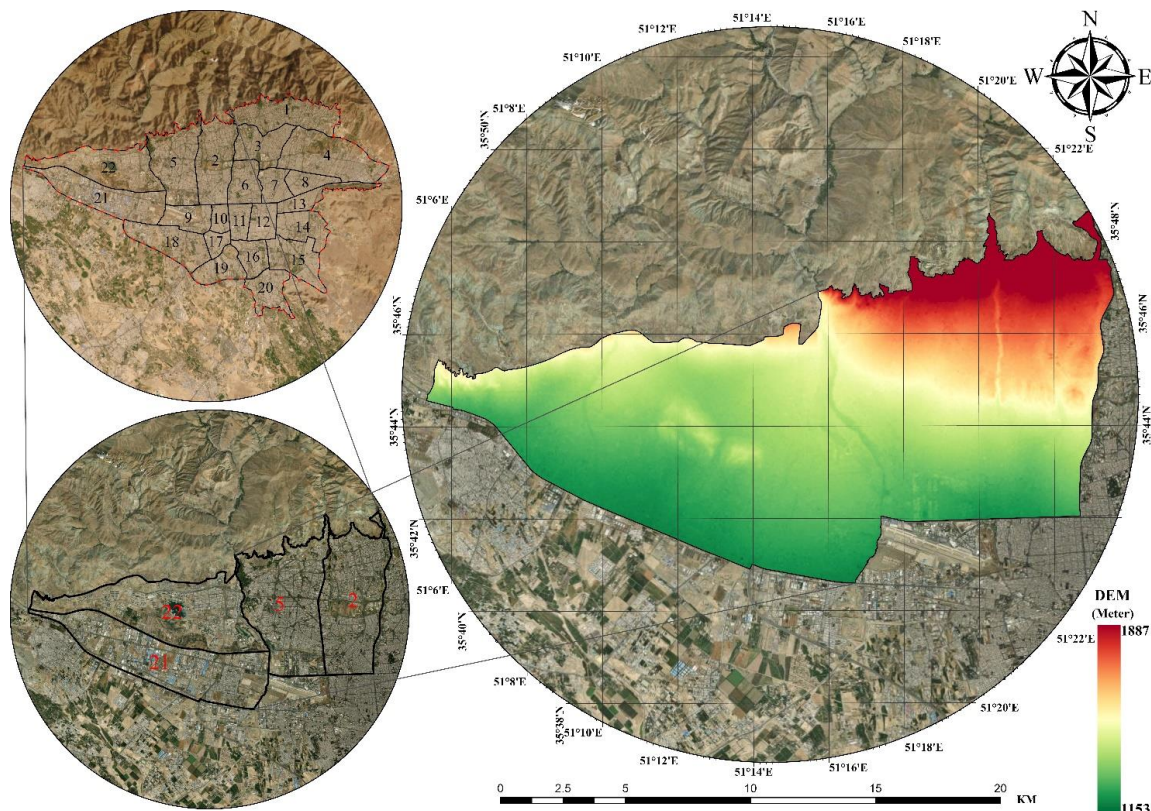
روش تحقیق

در این مطالعه، ما چهار رویه کلیدی را با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS Pro و Google Earth Pro در کنار زبان برنامه‌نویسی Python انجام خواهیم داد. در ابتدا، تصویر را از سایت USGS جمع‌آوری و تنظیمات لازم را انجام می‌دهیم (آماده‌سازی داده‌ها). پس از این، از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی برای طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر استفاده می‌کنیم (طبقه‌بندی تصویر با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین). پس‌از آن، ما دقت تمام روش‌های اعمال‌شده برای تصویر را ارزیابی



شکل ۱: مراحل پژوهش

Fig. 1: Flowchart of the methodology



شکل ۲: منطقه مورد مطالعه
Fig. 2: Case Study

آماده‌سازی داده‌ها

ما تصویر ماهواره لندست ۹ را برای تجزیه و تحلیل مساحت کاربری‌های زمین مورد مطالعه انتخاب کرده‌ایم. ارزیابی ما مساحت کاربری‌های زمین در سال ۱۴۰۲ را در برمی‌گیرد. با استفاده از پایگاه داده (earthexplorer.usgs.gov)، تصویر را به دست آوردیم. این تصویر متعلق به مجموعه تصویر سطح ۱ کالکشن ۲ است. این بسته که با بسته‌های سطح ۲ مجموعه متفاوت است، یک نوار پانکروماتیک (باند ۸) را در مجموعه تصاویر خود در برمی‌گیرد. با این حال، اصلاحات جوی و سایر تنظیمات روی این تصویر اعمال نشده است [۱۹]، [۲۰]. برای انجام این کار، ابتدا باندهای RGB و مادون قرمز نزدیک (NIR) را ادغام می‌کنیم و سپس از ابزارهای پردازش ArcGIS Pro برای اعمال تصحیحات جوی که از فایل ابر داده (متادیتا) دانلود شده همراه تصویر، استفاده می‌کنیم. مهم است که بدانیم برای تصاویر لندست ۹، باندهای RGB و Near-Infrared به عنوان باندهای ۲، ۳، ۴ و ۵ تعیین می‌شوند. علاوه بر این، ادغام باند NIR در کنار باندهای RGB به منظور تشخیص پوشش گیاهی در منطقه مشخص شده است [۲۱] (جدول ۱).

پس از آماده شدن تصاویر، قدرت تفکیک آن‌ها را افزایش دادیم. باند ۸ مجموعه تصاویر ماهواره لندست که دانلود شدند، اکنون وضوح ۱۵ متری دارند [۲۱]. با استفاده از ابزار Pan Sharpening در نرم‌افزار ArcGIS Pro، وضوح تصویر از ۳۰ متر به ۱۵ متر افزایش می‌یابد. پس از آن، تصویر با توجه به مرز مطالعه مشخص شده برش زده شده است (شکل ۳).

طبقه‌بندی تصویر با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین

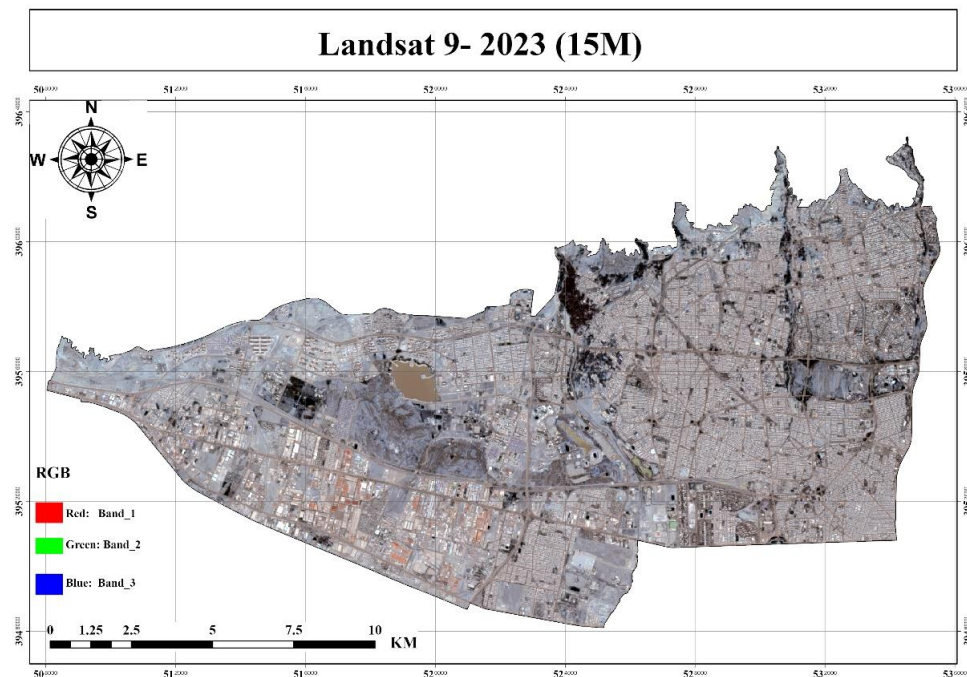
به‌طور معمول، روش‌های طبقه‌بندی متعددی در دسترس هستند که هر کدام از الگوریتم‌های متنوعی برای طبقه‌بندی پیکسل‌های تصاویر استفاده می‌کنند. علیرغم مجموعه‌ای از خروجی‌های تولید شده توسط این روش‌ها، آن‌ها اغلب در ارائه یک تعریف کاملاً جامع از طبقه‌بندی ناکام هستند. با این وجود، به‌طور گسترده پذیرفته شده است که تمام تکنیک‌های طبقه‌بندی با هدف شناسایی یک دسته (طبقه) است که با ویژگی‌های طیفی پیکسل مورد نظر هماهنگ است [۲۲]. مهم نیست از کدام الگوریتم طبقه‌بندی استفاده می‌کنیم، بلکه باید از رعایت این مراحل اطمینان حاصل کنیم: ۱- تعریف کلاس‌ها ۲- انتخاب داده‌ها ۳- پیش‌پردازش داده‌ها ۴- انتخاب و اعمال الگوریتم‌ها ۵- پس پردازش داده‌ها ۶- ارزیابی دقت [۲۳]، [۲۴]

بر اساس شرایط منطقه‌ای، ما تصویر را به چهار پهنه طبقه‌بندی کرده‌ایم: شهر، زمین‌های سبز، زمین بایر و آب. با توجه به وجود یک دریاچه مصنوعی (دریاچه چیتگر)، ما کلاس مشخصی را برای آب معرفی می‌کنیم تا پیکسل‌های آن را از سایرین متمایز کند. ذکر این نکته ضروری است که به علت پیکسل سایز ۱۵ متری که بهبود یافته است ولی بازهم این مقدار کمی بزرگ است. بنابراین، هنگام نمونه‌برداری سعی شده است که نمونه‌های برداشت شده در تمام منطقه پراکنده باشد و بسیار ریز برداشت شوند (شکل ۴). همچنین، تمام الگوریتم‌ها با استفاده از ArcGIS Pro نسخه ۳.۲ اجرا می‌شوند.

جدول ۱: نمای کلی از اطلاعات موجود در تصویر گرفته شده

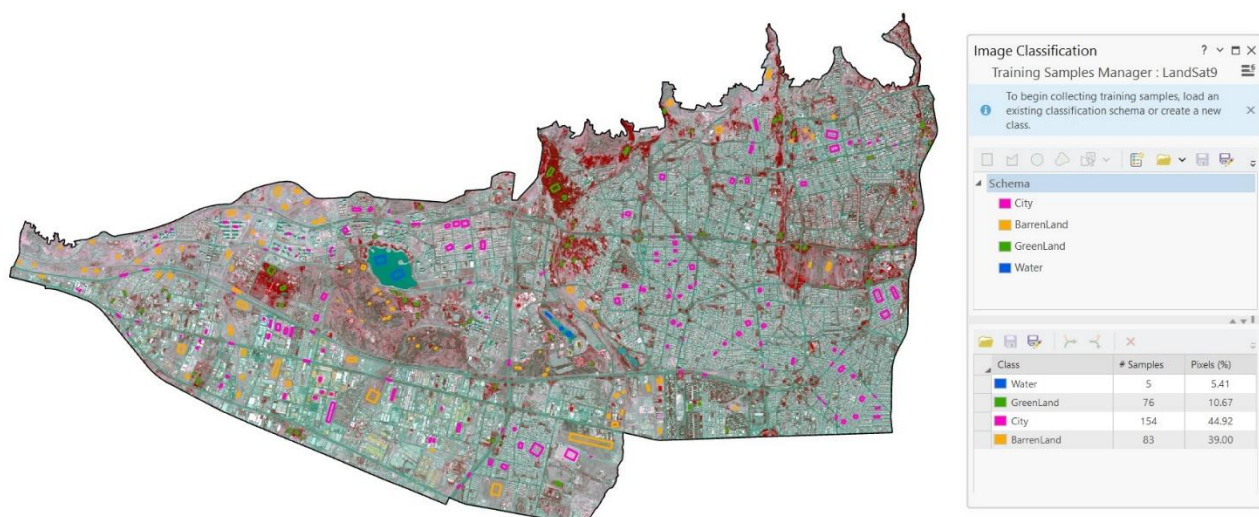
Table 1: An overview of the information contained in the captured image

باند	اندازه پیکسل	سال	نوع بسته داندودی
BAND	PIXEL SIZE	YEAR	COLLECTION & LEVEL
2, 3, 4, 5, 8	30M & 15M	2023	2 & 1
			لندست ۹ LANDSAT9



شکل ۳: آماده سازی تصویر ماهواره ای لندست ۹

Fig. 3: Preparation of Landsat9 image



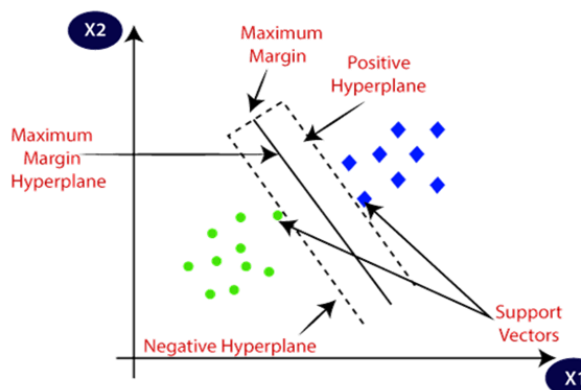
شکل ۴: نمونه برداری از تصویر لندست ۹

Fig. 4: Figure 4: Sampling of Landsat image 9

نمونه های آموزشی طبقه بندی شده عمل می کند. متعاقباً، K نزدیک ترین همسایه هایی را که بیشترین شباهت را به نمونه مورد نظر دارند، شناسایی می کند. الگوریتم با تشخیص دسته بندی این همسایگان،

• کا نزدیک ترین همسایه (*K- Nearest Neighbour*) در مرحله اولیه طبقه بندی، از الگوریتم KNN استفاده می کنیم. این الگوریتم با اندازه گیری فاصله بین یک نمونه معین و مجموعه ای از

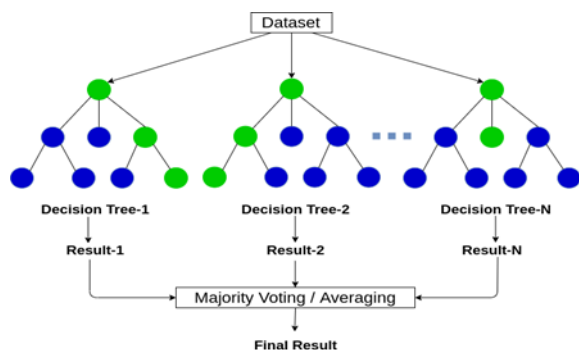
که c پارامتر جریمه، ω بردار ضریب، b فاصله هایپرپلن از ابتدا، ξ_i خطا در کلاس‌بندی، است.



شکل ۶: نحوه عملکرد الگوریتم SVM [۲۸]
Fig. 6: How the SVM algorithm work [28]

• درخت‌های تصمیم - جنگل تصادفی (RF)

درخت‌های تصمیم یا رویکرد طبقه‌بندی جنگل تصادفی با استفاده از نمونه‌ها و زیرمجموعه‌های متنوع داده‌های آموزشی، درخت‌های تصمیم را تولید می‌کند [۲۹]، [۳۰]. با اولویت‌بندی تصمیمات بر اساس اهمیت تک تک پیکسل‌ها، درخت تصمیم شکل می‌گیرد. هنگامی که تجسم می‌شود، ما شاخه‌هایی را مشاهده می‌کنیم که در نمودار برای هر پیکسل ظاهر می‌شوند [۲۹].



شکل ۷: نحوه عملکرد الگوریتم RF [۳۱]
Fig. 7: How the RF algorithm work [31]

• طبقه‌بندی بیش‌ترین شباهت (MLC)

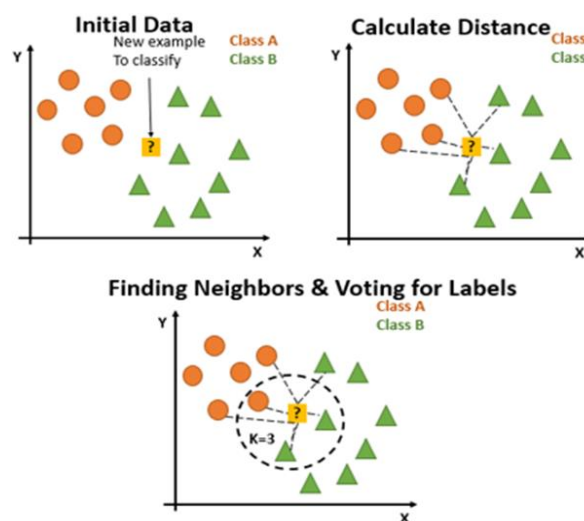
طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC) بر اساس نظریه احتمال است. MLC فرض می‌کند که در حین آموزش داده‌ها، آمار داده‌های آموزشی برای هر کلاس در هر باند به صورت گاوسی توزیع شده است. به اصطلاح ریاضی می‌توان منطق را این گونه نوشت:

$$x \in w_i \text{ if } P(w_i|x) > P(w_j|x) \text{ for all } j \neq i$$

به این معنی که پیکسل با بردار مقادیر طیفی x به کلاس w_i تعلق خواهد داشت اگر مقدار احتمال تعلق پیکسل به این کلاس یعنی

طبقه‌بندی مناسب را به داده‌های نمونه مورد بررسی اختصاص می‌دهد [۲۲]، [۲۳]، [۲۴]، [۲۵]. در طول این روش، مجموعه آموزشی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا k -نزدیک‌ترین نمونه‌های همسایه را در مجاورت D قرار دهد (شکل ۵). رویکرد 'نزدیک‌ترین همسایه' از فاصله اقلیدسی به عنوان متریک خود استفاده می‌کند، که یک فرمول ریاضی برای محاسبه فواصل است. انتخاب روش فاصله تعیین می‌کند که چگونه فاصله‌ها اندازه‌گیری می‌شوند، با معیارهای دیگر فاصله نیز قابل استفاده است [۲۶]. بین دو شیء $X_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n})$ و $X_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n})$ فاصله اقلیدسی به صورت زیر است:

$$dist(X_1, X_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2} \quad (1)$$



شکل ۵: نحوه عملکرد الگوریتم KNN [۲۷]
Fig. 5: How the KNN algorithm work [27]

• ماشین بردار پشتیبان (SVM)

اساساً، SVM یک طبقه‌بندی باینری خطی است که نمونه‌ای از داده‌های تجربی را با ساختن ابر صفحه جداکننده بهینه برچسب‌گذاری می‌کند. تابع SVM با به حداکثر رساندن حاشیه بین ابر صفحه جداکننده و داده، مرز بالایی خطای تعمیم مورد انتظار را به حداقل می‌رساند. مفهوم حاشیه (مرز) یک عنصر کلیدی در رویکرد SVM است؛ زیرا تعمیم‌پذیری آن را نشان می‌دهد [۲۸]. مزیت اصلی SVM، گزینه‌ای برای تبدیل مدل برای حل یک مسئله طبقه‌بندی غیرخطی بدون هیچ دانش پیشینی است. بر اساس یک سناریو با مجموعه‌ای از بردارهای آموزشی T ، یک ابر صفحه (Hyperplane) باید شناسایی شود که بردارهای ویژگی مثبت را از منفی جدا کند (شکل ۶).

$$\text{Min}_{\omega, b, \xi} : \frac{1}{2} \omega^T \omega + c \sum_{i=1}^1 \xi_i \quad (2)$$

$$y_i(\omega^T \phi(x_i) + b) \geq 1 - \xi_i$$

$$\xi_i \geq 0$$

بر اساس ماتریس، ارقام در امتداد محور مرکزی نشان‌دهنده مقدار پیکسل‌هایی هستند که با دو مجموعه داده در یک راستا قرار دارند. به زبان ساده، پیکسل‌هایی که به‌درستی شناسایی شده‌اند در محور مرکزی قرار می‌گیرند [۲۲]، در حالی که عناصر خارج از محور مرکزی نشان‌دهنده خطا هستند. علاوه بر این، در این ماتریس، یک دقت کلی وجود دارد که به‌عنوان میانگین دقت طبقه‌بندی محاسبه می‌شود. این دقت با نسبت پیکسل‌های طبقه‌بندی شده صحیح به تعداد کل پیکسل‌ها تعیین می‌شود [۱۵].

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^C E_{ii}}{N}$$

در این زمینه، C نشان‌دهنده مقدار کلاس‌ها است، N نشان‌دهنده تعداد کل پیکسل‌های شناخته شده، E_{ii} نشان‌دهنده اجزای قطر اولیه و O.A مخفف دقت طبقه‌بندی جامع است.

محاسبه دقت کلی ساده است و ارزیابی گسترده‌ای از عملکرد طبقه‌بندی ارائه می‌کند و با همه کلاس‌ها به‌طور یکسان بدون در نظر گرفتن تمایزات آن‌ها رفتار می‌کند. از این رو، ما ضریب کاپا را انتخاب می‌کنیم زیرا دقت طبقه‌بندی را در مقابل شانس تصادفی اندازه‌گیری می‌کند.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_i X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_i X_{i+} X_{+i}}$$

در این زمینه، N تعداد کل پیکسل‌های واقعی روی زمین را نشان می‌دهد. X_{i+} نشان‌دهنده مجموع تجمعی مقادیر در ردیف i است، در حالی که X_{+i} نشان‌دهنده مجموع تجمعی مقادیر در ستون i است.

نتایج و بحث

در این تحقیق، ما چهار تکنیک طبقه‌بندی را با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین بر روی تصویر ماهواره‌ای پیاده‌سازی کردیم (شکل ۱۰).

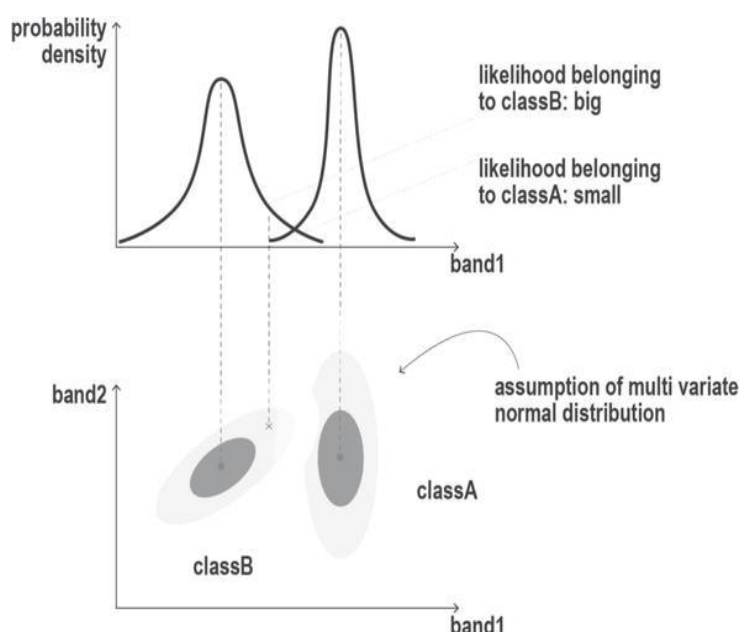
$P(w_i|x)$ بزرگ‌تر از احتمال دیگر کلاس‌ها باشد. برای محاسبه این احتمال از قانون بیز کمک گرفته می‌شود [۳۲].

$$P(w_i|x) = \frac{P(x|w_i)P(w_i)}{P(x)}$$

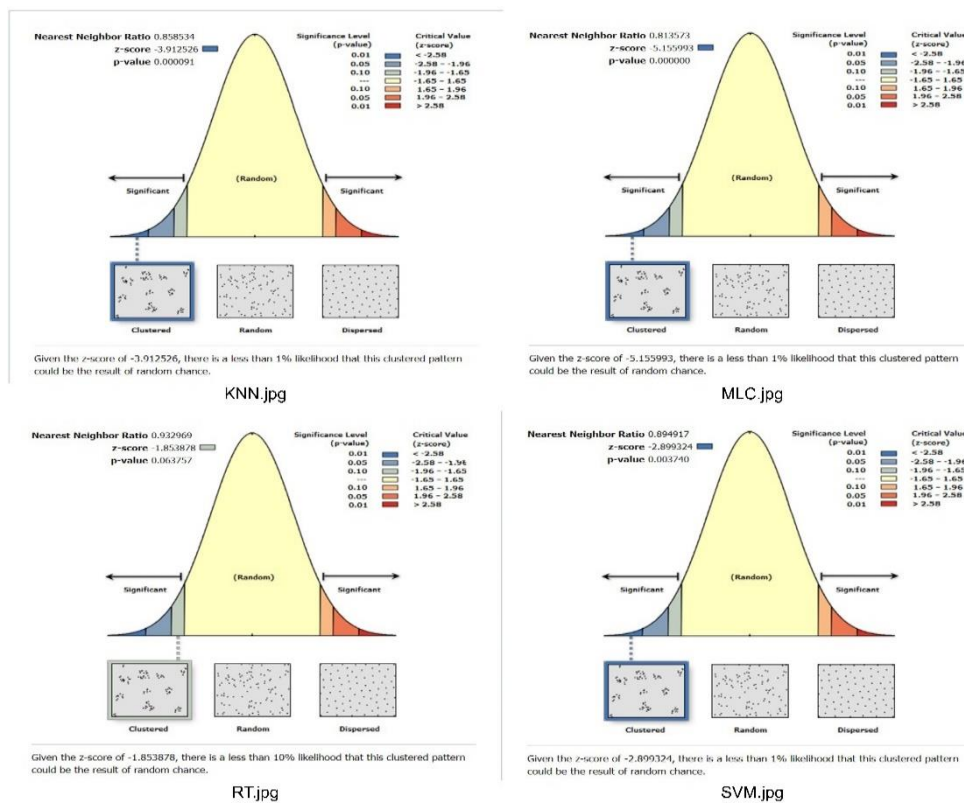
که در این فرمول x بردار مقادیر طیفی و w_i کلاس طیفی i ام می‌باشد. $P(w_i|x)$ احتمال ثانویه کلاس w_i نام دارد و برای همه کلاس‌ها محاسبه می‌شود. احتمال ثانویه در روش بیش‌ترین شباهت مبنای تصمیم‌گیری خواهد بود. $P(x|w_i)$ احتمال یافتن پیکسل از کلاس w_i در موقعیت x در فضای چند طیفی است. $P(w_i)$ را احتمال اولیه کلاس w_i می‌نامند. احتمال اولیه، درصد کلی حضور یک کلاس در تصویر را بیان می‌کند.

• ارزیابی دقت و انتخاب دقیق‌ترین روش

به‌منظور تعیین الگوریتم بهینه برای تصویر، ما حدود ۲۰۰ نقطه چک داده را در هر روش با استفاده از تکنیک نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌ای (Stratified Random) متناسب با تصویر تولید می‌کنیم. استفاده از این رویکرد نمونه‌گیری شامل توزیع نقاط بر اساس مناطق مربوطه از کلاس‌های تصویر است. در نتیجه، مناطق کلاس بزرگ‌تر منجر به تراکم بالاتر نقاط در آن مناطق می‌شود [۲۲]. علاوه بر این، توزیع نقطه را از طریق تحلیل میانگین نزدیک‌ترین همسایه (AVG) ارزیابی می‌کنیم. اگر حالت‌های شدیداً خوشه‌ای ظاهر شوند، فرآیند را تا زمانی که توزیع تصادفی و پراکنده و یا کم خوشه شود، تکرار می‌کنیم (شکل ۹). متعاقباً کلیه نقاط ایجادشده زمینی را (Ground Truth) از طریق نرم‌افزار Google Earth Pro مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در نهایت، ماتریس سردرگمی و خطا (Confusion Matrix) را با استفاده از کتابخانه scikit-learn در پایتون محاسبه می‌کنیم.

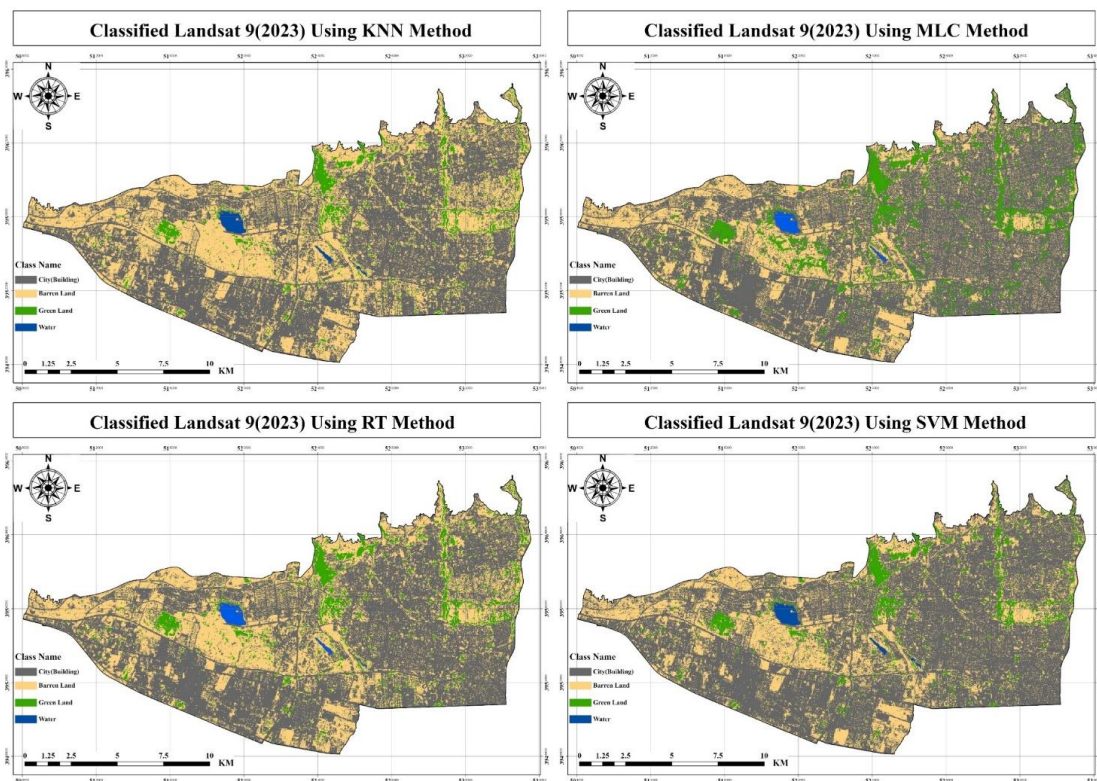


شکل ۸: نحوه عملکرد الگوریتم MLC [۲۱]
Fig. 8: How the MLC algorithm work [21]



شکل ۹: ارزیابی توزیع نقاط چک بر روی روش‌های اعمال شده بر لندست ۹

Fig. 9: Evaluation of the distribution of check points on the methods applied to Landsat 9



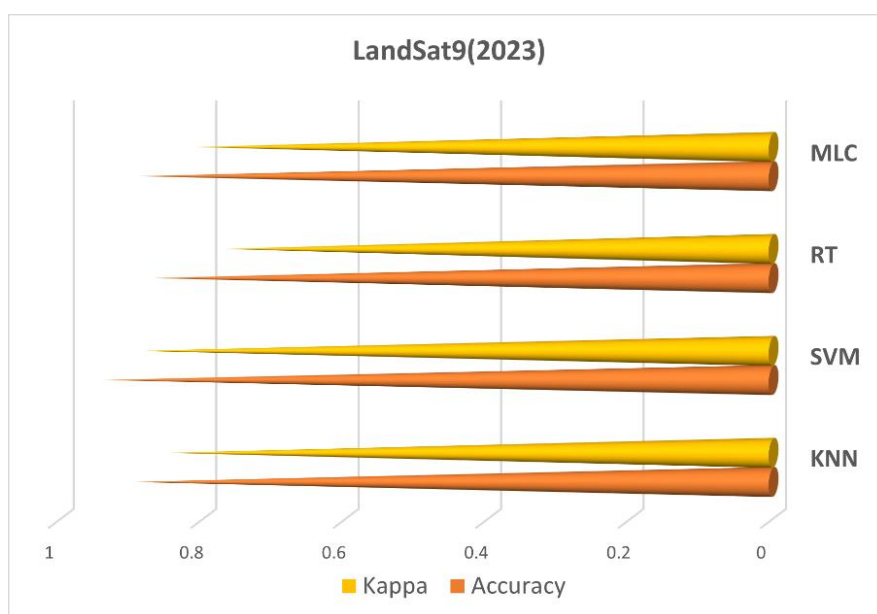
شکل ۱۰: اعمال الگوریتم یادگیری ماشین بر روی تصویر لندست ۹

Fig. 10: Applying machine learning algorithm on Landsat 9 image

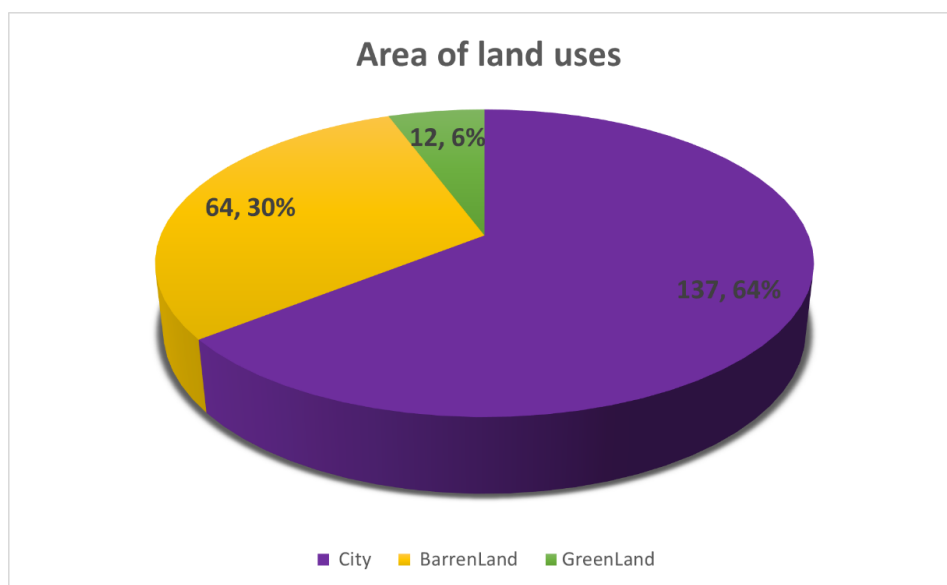
land) دچار خطا شده‌اند و مساحت زیادی را در منطقه به خود اختصاص داده‌اند. در رابطه با روش KNN به علت ماهیت همسایگی، در محاسبه پیسکل همسایه زمانی که یکنواختی بین پیکسل‌ها وجود ندارد کمی دچار مشکل می‌شوند (مناسب برای مناطق شهری کم تراکم). روش RT دقت و ضریب کاپای قابل قبولی را به خود اختصاص دادند ولی روش SVM برای ارزیابی مساحت کاربری‌های زمین که شامل بررسی دقیق پیکسل‌های می‌باشد، محاسبه شده است. برای محاسبه مساحت‌ها مناطق نمونه، ما ابعاد هر پیکسل‌ها را در قدرت تفکیک آن‌ها ضرب کردیم (۱۵×۱۵) (شکل ۱۲).

بر اساس ارزیابی‌های به دست آمده از ماتریس سردرگمی- گیجی (Confusion Matrix)، تکنیک KNN به دقت کلی ۰/۹۰ و کاپا ۰/۸۵، تکنیک SVM به دقت کلی ۰/۹۴ و کاپا ۰/۸۹، تکنیک RT به دقت کلی ۰/۸۷ و کاپا ۰/۷۷ و در نهایت تکنیک MLC به دقت کلی ۰/۸۹ و کاپای ۰/۸۱ دست یافتند (شکل ۱۱).

بر اساس یافته‌ها الگوریتم SVM بهترین عملکرد را دارد. علت آن‌را می‌توان توانایی محاسبه این الگوریتم زمانی که بین پهنه‌های از پیکسل‌ها پراکندگی وجود دارد توصیف نمود (همانند مناطق شهری پرتراکم). روش MLC در محاسبه مساحت‌های زمین‌های سبز (Green



شکل ۱۱: بررسی دقت و ضریب کاپا
Fig. 11: Check accuracy and kappa coefficient

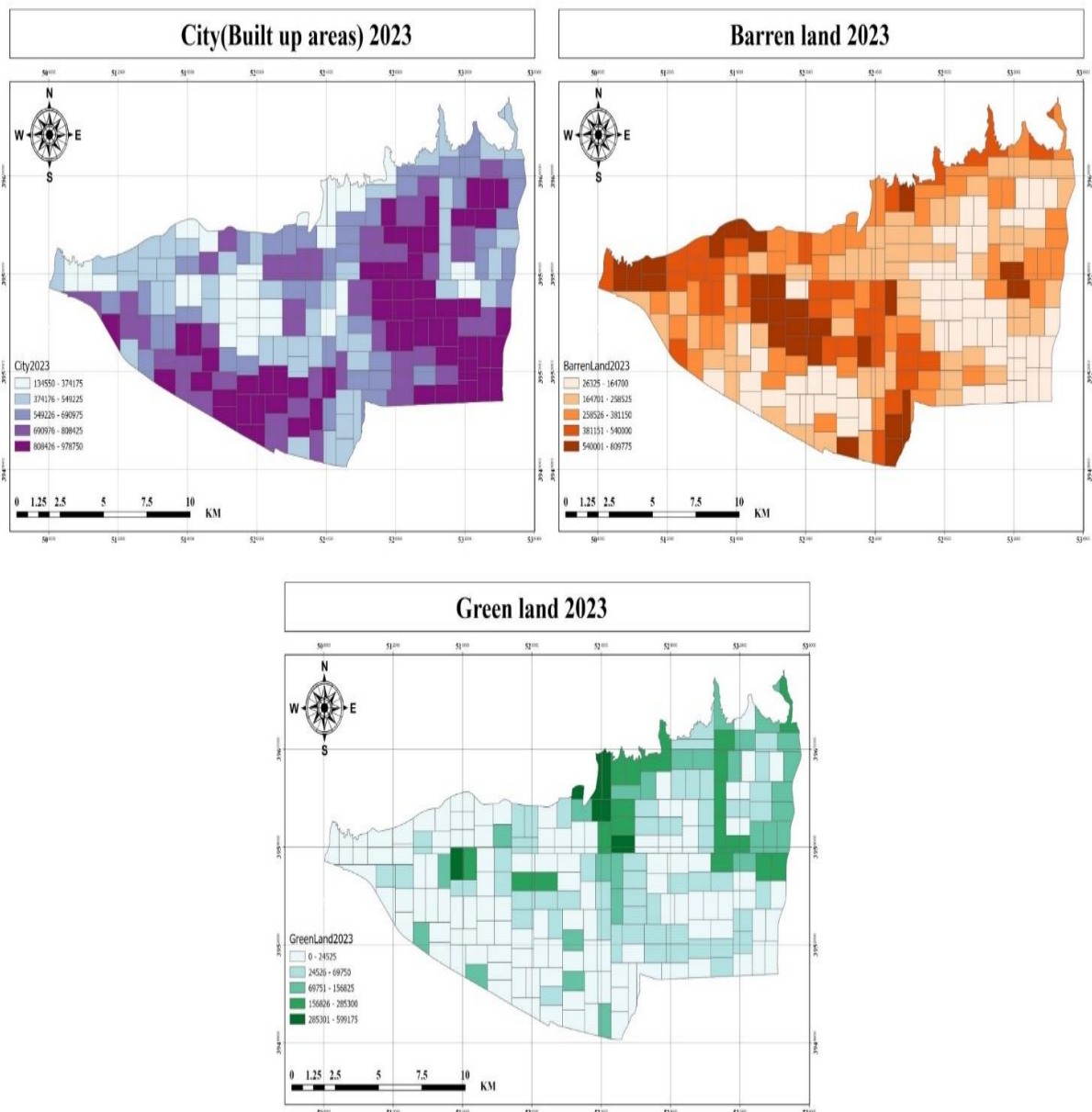


شکل ۱۲: ارزیابی مساحت طبقات تعریف شده
Fig. 12: evaluation of the area of the defined classes

سمت شرقی ناحیه و جنوب غربی ناحیه می‌باشد و مناطق غربی کم‌ترین میزان مساحت‌های ساخته شده را دارند. به طبع آن نیز بیش‌ترین میزان مساحت زمین‌های خالی در سمت غرب ناحیه و کم‌ترین آن نیز در سمت شرق ناحیه می‌باشد. همچنین، در رابطه با زمین‌های سبز و پارک‌های شهری می‌توان گفت بیش‌ترین میزان مساحت زمین‌های سبز در سمت شرق ناحیه و شمال ناحیه می‌باشد و توسعه پارک‌های شهری در سمت مناطق ساخته‌شده می‌باشد.

میزان مساحت‌های زمین‌های سبز، زمین‌های بایر و مناطق ساخته شده به ترتیب ۱۲، ۶۴ و ۱۳۷ کیلومترمربع می‌باشد که به ترتیب ۶، ۳۰ و ۶۴ درصد از کل منطقه را به خود اختصاص می‌دهند.

به‌منظور به دست آوردن بینش عمیق‌تر در مورد مساحت کاربری‌های زمین در یک منطقه خاص، ما منطقه را به مناطق یکنواخت تقسیم کردیم و تجزیه و تحلیل آماری رستری (Zonal Statistic) را انجام دادیم (شکل ۱۳). بیش‌ترین میزان مساحت زمین‌های ساخته‌شده در



شکل ۱۳: ارزیابی مساحت کاربری‌های زمین شهری در بلوک‌های تقسیم‌شده
Fig. 13: Evaluation of the area of urban land uses in divided blocks

نتیجه‌گیری

استفاده از یک روش واحد برای هر تصاویر ماهواره‌ای لندست ممکن است منجر به ارزیابی‌های ناقص در نتایج طبقه‌بندی تصاویر شود. در نتیجه، ما به‌طور دقیق هر چهار روش را برای تصویر آزمایش کردیم. قابل ذکر است، ماشین بردار پشتیبان (SVM) به‌دقت کلی ۰.۹۴ و کاپا ۰.۸۹ دست یافت و بهترین روش برای این منطقه مورد مطالعه است. همچنین، قابل ذکر است مهم‌ترین مرحله برای پیاده‌سازی روش‌های طبقه‌بندی نحوه برداشت آن‌ها است. سعی شده است برداشت نمونه‌های بسیار ریز برداشت شود. همچنین، نحوه توزیع نقاط چک و تعداد آن‌ها بسیار مؤثر بود. همچنین، مطالعه ما نشان داده که میزان دقیق هر مساحت هر بلوک تقسیم شده را می‌توان ارزیابی نمود و تصمیم‌گیری‌های لازم را انجام داد. به‌عنوان مثال می‌توان در آینده به توسعه فضای سبز شهری در مناطق غربی پرداخت یا می‌توان از ساخت و سازی در مناطقی که فضای سبز و پوشش گیاهی مناسب دارند جلوگیری نمود که بینش‌های ارزشمندی را برای برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران برای تسهیل طرح‌های توسعه پایدار در شهرها ارائه می‌کند. پیشنهادهای قابل‌توجهی نیز برای تحقیقات آینده در نظر گرفته شده است که شامل استفاده از الگوریتم XGBoost برای طبقه‌بندی است که به‌دلیل کارایی آن در یادگیری از ویژگی‌های متعدد از طریق تکنیک‌های تقویت شناخته شده است. علاوه بر این، با تحلیل عوامل محرک و مدل‌سازی آن‌ها با استفاده از روش‌های رگرسیون متنوع می‌توان به‌درک عمیق‌تری از این تغییرات و مساحت‌های کاربری‌های شهری دست‌یافت.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از همکاری‌هایی 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

Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Bienn... Potentiality of ecotourism development of Kirala Kele Partial-Nature-Based wetland the Southern Sri Lanka View project The Use of Probiotics to Optimize Mud Crab Scylla paramamosain Larval Culture. View project Noresah Mohd Shariff Sanjay Gairola Environment and Protected Areas Authority Sharjah," 2010. [Online]. <https://www.researchgate.net/publication/235931337>

[4] X. Sun, C. Zhang, and Q. Tan, "Factors Influencing the Coordinated Development of Urbanization and Its Spatial Effects: A Case Study of Beijing-Tianjin-Hebei Region," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 5, Mar. 2023 doi: 10.3390/su15054137.

[5] Muhammad Nasar-u-minAllah Bhalli and Abdul Ghaffar, "Use of Geospatial Techniques in Monitoring Urban Expansion and Land Use Change Analysis: A Case of Lahore, Pakistan," *Journal of Basic & Applied Sciences*, vol. 11, pp. 265–273, Jan. 2015, doi: 10.6000/1927-5129.2015.11.38.

[6] A. Rienow, A. Mustafa, L. Krelaus, and C. Lindner, "Modeling urban regions: Comparing random forest and support vector machines for cellular automata," *Transactions in GIS*, vol. 25, no. 3, pp. 1625–1645, Jun. 2021 doi: 10.1111/tgis.12756.

[7] M. Sheykhoumousa, M. Mahdianpari, H. Ghanbari, F. Mohammadimanesh, P. Ghamisi, and S. Homayouni, "Support Vector Machine Versus Random Forest for Remote Sensing Image Classification: A Meta-Analysis and Systematic Review," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 13. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 6308–6325, 2020. doi: 10.1109/JSTARS.2020.3026724.

[8] Y. G. Yuh, W. Tracz, H. D. Matthews, and S. E. Turner, "Application of machine learning approaches for land cover monitoring in northern Cameroon," *Ecol Inform*, vol. 74, May 2023 doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101955.

[9] Y. O. Ouma, A. Keitsile, B. Nkwae, P. Odirile, D. Moalafhi, and J. Qi, "Urban land-use classification using machine learning classifiers: comparative evaluation and post-classification multi-feature fusion approach," *Eur J Remote Sens*, vol. 56, no. 1, 2023 doi: 10.1080/22797254.2023.2173659.

[10] Y. Qian, W. Xing, X. Guan, T. Yang, and H. Wu, "Coupling cellular automata with area partitioning and spatiotemporal convolution for dynamic land use change simulation," *Science of the Total Environment*, vol. 722, Jun. 2020 doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137738.

[11] K. M. Gilbert and Y. Shi, "Land use/land cover change detection and prediction for sustainable urban land management in Kigali City, Rwanda," vol. 2023, no. 2, pp. 62–75, [Online] <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/alm>

[12] C. Huang, L. S. Davis, and J. R. G. Townshend, "An assessment of support vector machines for land cover classification," *Int J Remote Sens*, vol. 23, no. 4, pp. 725–749, Feb. 2002 doi: 10.1080/01431160110040323.

[1] M. A. Kuddus, E. Tynan, and E. McBryde, "Urbanization: A problem for the rich and the poor?," *Public Health Rev*, vol. 41, no. 1, Jan. 2020, DOI: 10.1186/s40985-019-0116-0.

[2] "Urbanization." Accessed: Dec. 09, 2023. [Online] <https://un.org/development/desa/pd/content/urbanization-0>

[3] A. Talib, "International Environmental Modelling and Software Society (iEMSS) 2010 International Congress on

- [26] "Lecture 2: k-nearest neighbors." Accessed: Dec. 10, 2023. [Online]
https://www.cs.cornell.edu/courses/cs4780/2018fa/lectures/lecturenote02_kNN.html#:~:text=The%20k%2DNN%20algorithm&text=Denote%20the%20set%20of%20the,furthest%20point%20in%20Sx.
- [27] L. Zhu and P. Spachos, "Support vector machine and YOLO for a mobile food grading system," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 13, Mar. 2021
 doi: 10.1016/j.iot.2021.100359.
- [28] "Support Vector Machine(SVM): A Complete guide for beginners Introduction to Support Vector Machine(SVM)."
- [29] Esri, "Train Random Trees Classifier (Spatial Analyst)," 2023, Accessed: Dec. 10, 2023. [Online].
<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/train-random-trees-classifier.htm>
- [30] A. Ghosh, R. Sharma, and P. K. Joshi, "Random forest classification of urban landscape using Landsat archive and ancillary data: Combining seasonal maps with decision level fusion," *Applied Geography*, vol. 48, pp. 31–41, Mar. 2014
 doi: 10.1016/j.apgeog.2014.01.003.
- [31] M. Y. Khan, A. Qayoom, M. S. Nizami, M. S. Siddiqui, S. Wasi, and S. M. K. U. R. Raazi, "Automated Prediction of Good Dictionary EXamples (GDEX): A Comprehensive Experiment with Distant Supervision, Machine Learning, and Word Embedding-Based Deep Learning Techniques," *Complexity*, vol. 2021, 2021
 doi: 10.1155/2021/2553199.
- [32] Y. Yao, J. Li, X. Zhang, P. Duan, S. Li, and Q. Xu, "Investigation on the expansion of urban construction land use based on the CART-CA Model," *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 6, no. 5, May 2017
 doi: 10.3390/ijgi6050149.
- [13] P. Thanh Noi and M. Kappas, "Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery," *Sensors (Basel)*, vol. 18, no. 1, Dec. 2017
 doi: 10.3390/s18010018.
- [14] S. K. Hanoon, A. F. Abdullah, H. Z. M. Shafri, and A. Wayayok, "Urban Growth Forecast Using Machine Learning Algorithms and GIS-Based Novel Techniques: A Case Study Focusing on Nasiriyah City, Southern Iraq," *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 12, no. 2, Feb. 2023
 doi: 10.3390/ijgi12020076.
- [15] A. Rash, Y. Mustafa, and R. Hamad, "Quantitative assessment of Land use/land cover changes in a developing region using machine learning algorithms: A case study in the Kurdistan Region, Iraq," *Heliyon*, vol. 9, no. 11, Nov. 2023
 doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21253.
- [16] V. K. Rana and T. M. Venkata Suryanarayana, "Performance evaluation of MLE, RF and SVM classification algorithms for watershed scale land use/land cover mapping using sentinel 2 bands," *Remote Sens Appl*, vol. 19, Aug. 2020
 doi: 10.1016/j.rsase.2020.100351.
- [17] H. S. Pokhariya, D. P. Singh, and R. Prakash, "Evaluation of different machine learning algorithms for LULC classification in heterogeneous landscape by using remote sensing and GIS techniques," *Engineering Research Express*, vol. 5, no. 4, Dec. 2023
 doi: 10.1088/2631-8695/acfa64.
- [18] L. Ghayour *et al.*, "Performance evaluation of sentinel-2 and landsat 8 OLI data for land cover/use classification using a comparison between machine learning algorithms," *Remote Sens (Basel)*, vol. 13, no. 7, Apr. 2021,
 doi: 10.3390/rs13071349.
- [19] "Landsat Collection 2 Level-1 Data." Accessed: Dec. 07, 2023. [Online].
<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-1-data>
- [20] "Landsat Collection 2 Level-2 Science Products."
- [21] J. Manuel Núñez, S. Medina, G. Ávila, and J. Montejano, "High-Resolution Satellite Imagery Classification for Urban Form Detection," in *Satellite Information Classification and Interpretation*, IntechOpen, 2019
 doi: 10.5772/intechopen.82729.
- [22] F. Seyyed Bagher and R. Yosof, *Principles of Remote Sensing*. Iran-Isfahan: Azadeh, 2015.
- [23] I. Nurwauziyah, U. D. Sulistiyah, I. Gede, B. Putra, M. I. Firdaus, and D. S. Umroh, "Satellite Image Classification using Decision Tree, SVM and k-Nearest Neighbor," 2018. [Online].
<https://www.researchgate.net/publication/326316293>
- [24] S. Abburu and S. B. Golla, "Satellite Image Classification Methods and Techniques: A Review," 2015.
- [25] R. Li and S. Li, "Multimedia Image Data Analysis Based on KNN Algorithm," *Comput Intell Neurosci*, vol. 2022, 2022
 doi: 10.1155/2022/7963603.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



حسین جولایی دارای مدرک کارشناسی ارشد سیستم‌های اداره زمین (LAS) از دانشگاه شهید بهشتی دانشکده عمران، آب و محیط زیست می‌باشد. زمینه تحقیقاتی کنونی ایشان نیز مرتبط با مدیریت زمین‌بر پایه روش‌های نوین سیستم اطلاعات مکانی و هوش مصنوعی می‌باشد.

Joulaei, M. Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ hossein.joulaei98@gmail.com

علیرضا وفایی‌نژاد دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری در دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی می‌باشند. عضو هیأت علمی دانشگاه شهید بهشتی و هیأت تحریریه در نشریه علمی پژوهش‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی بوده و دارای ۳۱

موضوعات سيستم اطلاعات جغرافيايي، هوش مصنوعي تهيه شده است.

Vafaeinajad, A. Assistant Professor at the Department of Faculty of Civil, Water and Environmenal Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ a_vafaei@sbu.ac.ir



مقاله کنفرانسی و ۳۷ مقاله ژورنالی در مجلات داخل کشور هستند. ایشان در انتشار ۲۷ مقاله ISI نیز مشارکت داشته‌اند طی ۲۲ سال با ۱۸ پژوهشگر مختلف همکاری مستقیم علمی داشته‌اند. مقالات منتشر شده ایشان بیشتر در

Citation (Vancouver): Joulaei H, Vafaeinajad A.R. [Using Machine Learning Methods For Classify Landsat 9 Satellite Images In Order To Evaluate The Area Of Urban Land Uses (West Of Tehran)]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 113-126

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10860.1064>



COPYRIGHTS

© 2024 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

Prediction of Total Soil Nitrogen Variations Using Three Machine Learning Approaches and Remote Sensing Data

Sh. Felegari¹, K. Moravej^{*1}, A. Sharifi², A. Golchin¹, P. Karami³¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran² Department of Geomatics and Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran³ Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran

ABSTRACT

Received: 01 January 2024
 Reviewed: 18 March 2024
 Revised: 13 April 2024
 Accepted: 30 April 2024

KEYWORDS:

Boosted Regression Trees
 Landsat-9
 Random Forest
 Sentinel-1
 Support Vector Machine
 Total Soil Nitrogen

* Corresponding author

✉ kmoravej@znu.ac.ir

☎ (+9824) 33052606

Background and Objectives: Every country relies on soil as a vital natural resource that significantly contributes to environmental conservation and food production. Preparation of soil nutrient distribution map serves as a valuable tool for managers to make decisions. Due to the time-consuming and expensive nature of laboratory analysis for these variables on a large scale, efforts have been made to explore soil nitrogen through remote sensing. The current research deals with the application of remote sensing methods along with regression and random forest models to predict total soil nitrogen in Gilan province. This study aimed to answer two main questions: (1) Can SAR data be used to quantify total soil nitrogen (TSN) (2) How do SVM, BRT and RF algorithms perform in predicting soil nitrogen content?

Methods: This study focused on evaluating the data capabilities of Landsat-9 and Sentinel-1 satellites individually and in combination, using advanced algorithms such as Support Vector Machine (SVM), Boosted Regression Tree (BRT), and Random Forest (RF). The purpose of this evaluation was strategic, aiming to showcase the diverse conditions of the study area based on land cover/land use, climatic, and topographical parameters. Various variables, including climate parameters, topographic components, and remote sensing subscale indices, were investigated in conjunction with SAR data and optical images. Nonlinear machine learning algorithms, specifically SVM, RF, and BRT, were employed to predict total soil nitrogen status by modeling complex relationships between soil properties and environmental variables. R software, utilizing the CARET package for parameter input, was employed to implement the algorithm.

Findings: The results indicated the following: RF and BRT algorithms outperformed SVM and were effective in monitoring total soil nitrogen values. Multi-temporal SAR images showed higher accuracy in monitoring total soil nitrogen content compared to optical remote sensing data, facilitating more realistic predictions in paddy soils. The integration of environmental variables led to an increase in the accuracy of algorithms, where remote sensing variables played a crucial role, contributing to 61% and 51% effects in RF and BRT algorithms, respectively. The comparison of SVM and RF algorithms revealed that RF ranked second after the BRT algorithm, and the accuracy of total soil nitrogen estimation was not achieved with the SVM algorithm. However, both BRT and RF algorithms were able to monitor changes in total soil nitrogen. BRT performed better, accurately recording 58% of changes, as evidenced by a higher R^2 value (0.58) and lower RMSE (0.25 mg/kg) and MAE (0.19 mg/kg) values.

Conclusion: In conclusion, the following key points were extracted from this research: 1) RF and BRT algorithms outperformed SVM in effectively monitoring total soil nitrogen levels; 2) multi-temporal SAR images demonstrated higher accuracy in tracking total soil nitrogen compared to optical remote sensing, enabling precise predictions in paddy soils; 3) the incorporation of environmental variables enhanced algorithmic accuracy; and 4) remote sensing variables contributed 61% and 51% to RF and BRT algorithms, respectively.



NUMBER OF REFERENCES
30



NUMBER OF FIGURES
4



NUMBER OF TABLES
5

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی تغییرات نیتروژن کل خاک با استفاده از سه رویکرد متفاوت یادگیری ماشین و داده‌های سنجش از دور

شیلان فعله‌گری^۱، کامران مروج^{۲*}، علیرضا شریفی^۲، احمد گلچین^۱، پرویز کرمی^۳

^۱ گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲ گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

^۳ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: هر کشوری به خاک به‌عنوان یک منبع طبیعی حیاتی، متکی است که به‌طور قابل توجهی در حفظ محیط زیست و تولید مواد غذایی کمک می‌کند. تهیه نقشه توزیع عناصر غذایی خاک به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای تصمیم‌گیری مدیران عمل می‌کند. با توجه به ماهیت زمان‌بر و پرهزینه آنالیز آزمایشگاهی برای این متغیرها در مقیاس بزرگ، تلاش‌هایی برای کاهش نیتروژن خاک از طریق سنجش از دور انجام شده است. پژوهش حاضر، به کاربرد روش‌های سنجش از دور همراه با مدل‌های رگرسیون و تصادفی جنگل برای پیش‌بینی نیتروژن کل خاک در استان گیلان می‌پردازد. این مطالعه، با هدف پاسخ به دو سوال اصلی انجام شد: (۱) آیا می‌توان از داده‌های SAR برای تعیین مقدار نیتروژن کل خاک استفاده کرد؟ (ب) الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبانی (SVM)، درخت رگرسیون تقویت‌شده (BRT) و جنگل تصادفی (RF) در پیش‌بینی محتوای نیتروژن خاک چگونه عمل می‌کنند؟

روش‌ها: این مطالعه بر ارزیابی قابلیت‌های داده‌های ماهواره‌های Landsat-9 و Sentinel-1 به‌صورت جداگانه و ترکیبی، با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته مانند SVM، RF و BRT متمرکز شد. نمونه‌برداری هدفمند به‌صورت استراتژیک انجام شد تا شرایط متنوع منطقه مورد مطالعه را بر اساس پوشش زمین/ کاربری زمین، پارامترهای اقلیمی و توپوگرافیکی نشان دهد. متغیرهای مختلف، از جمله پارامترهای آب‌وهوایی، اجزای توپوگرافی، و شاخص‌های زیرگروه سنجش از دور، در ارتباط با داده‌های SAR و تصاویر نوری مورد بررسی قرار گرفتند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین غیرخطی، به‌ویژه SVM، RF و BRT برای پیش‌بینی وضعیت نیتروژن کل خاک با مدل‌سازی روابط پیچیده بین خواص خاک و متغیرهای محیطی مورد استفاده قرار گرفتند. نرم افزار R، با استفاده از بسته CARET برای ورودی پارامتر، برای پیاده‌سازی الگوریتم استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج، حاکی از موارد زیر بود: عملکرد الگوریتم‌های RF و BRT از SVM پیشی گرفت و در پایش مقادیر نیتروژن کل خاک مؤثر بود، تصاویر SAR چند زمانی دقت بالاتری را در نظارت بر محتوای نیتروژن کل خاک در مقایسه با داده‌های سنجش از دور نوری نشان دادند و پیش‌بینی‌های واقعی‌تر را در خاک‌های شالیزارهای تسهیل کردند، ادغام متغیرهای محیطی منجر به افزایش دقت الگوریتم‌ها شد. متغیرهای سنجش از دور، نقش مهمی را در این پژوهش ایفا کردند و به ترتیب، تأثیر ۶۱ و ۵۱ درصدی در الگوریتم‌های RF و BRT گزارش شد. مقایسه الگوریتم‌های SVM و RF نشان داد که RF پس از اجرای الگوریتم BRT در رتبه دوم قرار دارد و دقت برآورد نیتروژن کل خاک با الگوریتم SVM به‌دست نیامد. با این حال، الگوریتم‌های BRT و RF قادر به نظارت بر تغییرات نیتروژن کل خاک بودند و BRT با ثبت دقیق ۵۸٪ تغییرات به‌دلیل مقدار R2 بالاتر (۰/۵۸) و مقادیر RMSE (۰/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و MAE (۰/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر، عملکرد بهتری داشت.

نتیجه‌گیری: در انتها، موارد کلیدی زیر به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی از این پژوهش استخراج شد: (۱) الگوریتم‌های RF و BRT در نظارت بر سطوح نیتروژن کل خاک به‌طور مؤثر بهتر از SVM عمل کردند، (۲) تصاویر SAR چند زمانی دقت بالایی در ردیابی نیتروژن کل خاک در مقایسه با سنجش از دور نوری ارائه می‌دهند و پیش‌بینی دقیق را در خاک‌های شالیزارهای تسهیل می‌کنند، (۳) ترکیب متغیرهای محیطی باعث افزایش دقت الگوریتمی شد و (۴) متغیرهای سنجش از دور به ترتیب ۶۱ و ۵۱ درصد به الگوریتم‌های RF و BRT کمک کردند.

تاریخ دریافت: ۱۱ دی ۱۴۰۲
تاریخ داوری: ۲۸ اسفند ۱۴۰۲
تاریخ اصلاح: ۲۴ فروردین ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

درختان رگرسیون تقویت شده
لندست-۹
جنگل تصادفی
سنتینل-۱
ماشین بردار پشتیبانی
نیتروژن کل خاک

* نویسنده مسئول

kmoravej@znu.ac.ir

۰۲۴-۳۳۰۵۲۶۰۶ (۳)

مقدمه

سوی دیگر، در زمین‌های زراعی کنیا، SVM برای تخمین کربن آلی خاک سطحی مؤثرتر از RF بود. عملکرد متضاد الگوریتم‌ها در این دو مکان را می‌توان به انواع خاک، الگوهای آب‌وهوا، و شیوه‌های کاربری زمین در هر منطقه نسبت داد که بر توانایی‌های الگوریتم‌ها برای مدیریت تغییرات مختلف خواص خاک تأثیر می‌گذارد [۱۲].

اخیراً، محققان از ترکیب تکنیک‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای مدل‌سازی پارامترهای خاکی مانند توزیع نیتروژن کل خاک استفاده کرده‌اند. در مطالعه‌ای در منطقه خاک سیاه شمال شرقی چین از الگوریتم RF و تصاویر Sentinel-2A برای ایجاد نقشه توزیع فضایی نیتروژن کل خاک استفاده شد [۱۱]. در این مطالعه، ۱۰۴ نمونه خاک سطحی از سایت‌های زمین کشاورزی جمع‌آوری شد و از ۲۱ متغیر پیش‌بینی‌کننده برای برآورد نیتروژن کل خاک استفاده شد. الگوریتم RF در ثبت دقیق تغییرات در نیتروژن کل خاک مؤثر بود و استفاده از متغیرهای پیش‌بین مناسب عملکرد آن را بیشتر بهبود بخشید. به‌طور مشابه، در مطالعه‌ای دیگر نیتروژن کل خاک در شهر لوشون در شمال شرقی استان لیائونینگ چین ترسیم شد. در این مطالعه، از ۱۱۵ نمونه خاک و ۱۲ متغیر کمکی استفاده و سه الگوریتم رگرسیون گام به گام و RF آزمایش شد که الگوریتم RF دقیق‌ترین نتایج را ارائه داد.

همچنین، مطالعات متعددی استفاده از رادار دهانه مصنوعی (SAR) را برای بررسی خواص شیمیایی خاک، به‌ویژه محتوای نیتروژن کل، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای از داده‌های Landsat-7 و Sentinel-1 برای بررسی محتوای کربن آلی خاک استفاده شد [۱۳] و با موفقیت تغییرات کربن آلی خاک در شرق چین ترسیم شد. به‌طور مشابه، سدید و همکاران [۱۴] از تصاویر نوری و داده‌های باند L ALOS PALSAR برای مطالعه محتوای کربن آلی خاک در خاک‌های آمازون استفاده کرد و دریافت که ترکیب ضریب پراکندگی عقب داده‌های SAR باعث افزایش دقت پیش‌بینی می‌شود [۱۴]. عامل بین امواج الکترومغناطیسی و ذرات خاک استنتاج خواص شیمیایی خاک را از طریق داده‌های SAR امکان‌پذیر می‌کند. همان‌طور که امواج به سطح خاک نفوذ می‌کنند، تغییری در قطبش ایجاد می‌کنند که می‌تواند برای استنباط اطلاعات در مورد خواص خاک اندازه‌گیری شود. محتوای رطوبت خاک یکی از ویژگی‌هایی است که می‌توان از داده‌های SAR استنباط کرد، زیرا به شدت به ثابت دی الکتریک خاک مربوط می‌شود. هنگامی که رطوبت خاک افزایش می‌یابد، ثابت دی الکتریک خاک نیز افزایش می‌یابد که منجر به تغییر در قطبش امواج الکترومغناطیسی می‌شود. علاوه بر این، بافت خاک و محتوای ماده آلی را می‌توان به داده‌های SAR مرتبط دانست، زیرا آن‌ها به ترتیب بر توزیع ذرات خاک و خواص دی الکتریک خاک تأثیر می‌گذارند. تجزیه و تحلیل داده‌های SAR می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد ویژگی‌های خاک ارائه دهد که می‌تواند برای کاربردهای مختلف، از جمله پیش‌بینی عملکرد محصول، مدیریت کاربری اراضی، و نظارت بر محیط زیست مفید باشد [۱۵-۱۷]. ادغام این داده‌های اضافی برای بهبود دقت

خاک، در تولید غذا و حفظ و نگهداری محیط نقش مهمی دارد. افزایش و کاهش مقدار نیتروژن در خاک در اثر شیوه‌های مختلف کشاورزی، منجر به آلودگی میکروبی خاک، کاهش شدید بهره‌وری و سلامت خاک و نقصان در محصولات کشاورزی مورد نیاز انسان می‌شود [۱]. با توجه به نگرانی‌های زیست محیطی و سلامتی و نقش اساسی خاک و کیفیت آن در سلامت بوم‌سازگان، آگاهی از میزان نیتروژن کل به‌عنوان شاخص مهمی در کیفیت خاک و محصولات کشاورزی ضروری است. فناوری سنجش از دور چندین مزیت را نسبت به روش‌های سنتی برای اندازه‌گیری محتوای مواد مغذی خاک ارائه می‌کند [۲]. در واقع، داده‌های سنجش از دور با استفاده از فن‌آوری‌های نقشه‌برداری دیجیتال خاک و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده آن فرصت‌های جدیدی برای نظارت بر ویژگی‌های خاک مثل بررسی منابع نیتروژن و چگونگی توزیع آن‌ها را از فضا فراهم می‌کند [۳]. رویکردهای نقشه برداری دیجیتال خاک، از جمله استفاده از الگوریتم‌های جنگل تصادفی (RF)، مدل خطی تعمیم یافته (GLM)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)، قابلیت پیش‌بینی تغییرات فضایی پارامترهای مختلف خاکی مانند محتوای نیتروژن در خاک را فراهم می‌کند [۴]. این رویکردها، نه تنها نیاز به کار میدانی گسترده و هزینه‌های مرتبط را کاهش می‌دهد، بلکه فرصت‌های جدیدی را برای پایش ویژگی‌های خاک فراهم می‌کنند [۵]. به‌طور کلی، بهترین الگوریتم جهانی برای پیش‌بینی خواص خاک وجود ندارد و انتخاب الگوریتم به ویژگی‌های منحصر به فرد محل مطالعه و متغیرهای در نظر گرفته شده بستگی دارد [۶-۸]. برای انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم، محققان باید الگوریتم‌ها را از یک منظر واحد با در نظر گرفتن شرایط خاص منطقه مورد مطالعه، آزمایش و مقایسه کنند. این رویکرد، کمک می‌کند تا اطمینان حاصل شود که الگوریتم انتخاب شده به خوبی با ویژگی‌های خاص خاک و عوامل محیطی موجود در آن مکان مطابقت دارد و در نتیجه، پیش‌بینی‌های دقیق‌تری به‌دست می‌آید [۹]. به‌عنوان مثال، در مطالعه انجام شده در نیجریه، الگوریتم جنگل تصادفی (RF) نتایج قابل اعتمادتری نسبت به الگوریتم درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) برای مطالعه ویژگی‌های خاک ارائه داد [۱۰]. این نتیجه، ممکن است به ترکیب خاصی از خواص خاک، پوشش گیاهی، و شرایط آب‌وهوایی در نیجریه نسبت داده شود که به نفع عملکرد الگوریتم RF است. به‌طور مشابه، در مطالعه اکوسیستم آلپ، الگوریتم BRT از الگوریتم RF بهتر عمل کرد [۱۱]. این نتیجه می‌تواند به ویژگی‌های منحصر به فرد منطقه آلپ، مانند انواع مختلف خاک، ترکیبات پوشش گیاهی، و توپوگرافی مرتبط باشد، که ممکن است به نفع توانایی الگوریتم BRT برای ثبت تعاملات پیچیده بین خواص خاک و سایر عوامل محیطی باشد [۱۱]. علاوه بر این، در حوضه آبخیز دریاچه Swyang در کره جنوبی، الگوریتم RF برای تخمین نیتروژن کل خاک در مقایسه با الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی (SVM) بهتر عمل کرد. از

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه این تحقیق، در ناحیه مرکزی استان گیلان در شمال ایران با مختصات بین طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه و ۴۹ درجه و ۳۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه و ۲۰ ثانیه و ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه و ۵۵ ثانیه شمالی واقع شده است. بر اساس آمار ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی محلی، میانگین بارندگی سالانه در منطقه ۱۲۴۶ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد است. گزارش داده‌اند که زمین منطقه مورد مطالعه با مناطق پست با شیب کمتر از ۰/۵ درصد مشخص می‌شود [۱] و کاربری اصلی زمین برای شالی‌کاری است. منطقه مورد مطالعه و محل‌های نمونه‌برداری به‌ترتیب در شکل ۱ نشان داده شده است.

داده‌های خاک

۱۰۰ نمونه خاک سطحی از اعماق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر در شالیزارهای منطقه مورد مطالعه برداشت شد. زمان برداشت نمونه‌های خاک هفته آخر شهریور ۱۳۹۹ بود. به‌منظور اعتبارسنجی و کالیبراسیون الگوریتم‌ها جمع‌آوری شد. با توجه به دشواری و ماهیت زمان‌بر بودن نمونه‌برداری خاک در منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری هدفمند در مکان‌هایی انجام شد که معرف شرایط منطقه مورد مطالعه بر اساس پارامترهای پوشش زمین/ کاربری زمین، اقلیمی و پارامترهای توپوگرافی بود. در هر محل نمونه‌برداری، یک گودال یک متری برای طبقه‌بندی و بررسی خاک زیرسطحی حفر شد. مختصات GPS برای هر نقطه نمونه‌برداری ثبت شد. پس از هوا خشک شدن نمونه‌های خاک و عبور از الک ۲ میلی‌متری، نیتروژن کل خاک به‌روش کج‌لدال اندازه‌گیری شد [۱۸].

پیش‌بینی الگوریتم‌هایی مانند RF و رگرسیون گام به گام چندگانه ضروری است. با در نظر گرفتن مجموعه گسترده‌تری از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، مدل‌ها می‌توانند برهمکنش‌ها و الگوهای پیچیده‌تری را در داده‌های خاک ثبت کنند که منجر به نتایج دقیق‌تری می‌شود. با توجه به تأثیر بالقوه فعالیت‌های کشاورزی بر سطوح نیتروژن خاک، مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی نیتروژن خاک در مزارع برنج شمال ایران انجام شد. این مطالعه، با هدف پاسخ به دو سوال اصلی انجام شد: (۱) آیا می‌توان از داده‌های SAR برای تعیین مقدار نیتروژن کل خاک استفاده کرد؟ (ب) الگوریتم‌های SVM، BRT و RF در پیش‌بینی محتوای نیتروژن خاک چگونه عمل می‌کنند؟ برای پرداختن به این سوالات، این مطالعه از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مانند باندها و شاخص‌های سنجش از دور، پارامترهای توپوگرافی، کاربری زمین/ پوشش زمین (LULC)، داده‌های اقلیمی و ۱۰۰ نمونه خاک استفاده شد. شکاف پژوهشی در این مطالعه حول محور نیاز به روش‌های کارآمد برای پیش‌بینی نیتروژن کل خاک است. تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی برای نقشه‌های توزیع عناصر در خاک هم‌زمان بر و هم‌گران است. بنابراین، نیاز به کشف روش‌های جایگزین مانند سنجش از دور برای مقابله با این چالش وجود دارد. به‌طور خلاصه در این پژوهش تلاش شد اطلاعاتی درباره مدل‌های پیش‌بینی‌کننده نیتروژن خاکی و رویکردهای نقشه‌برداری دیجیتالی خاک به خواننده داده شود. در بخش مواد و روش‌ها به واکاوی سه الگوریتم یادگیری غیرخطی SVM، RF و BRT برای پیش‌بینی وضعیت نیتروژن خاک به کمک نرم‌افزار R پرداخته شد. در بخش نتایج، به بررسی خروجی‌های حاصل از سه الگوریتم یادگیری غیرخطی SVM، RF و BRT پرداختیم و بر اساس نتایج حاصل از مقادیر R2 برتری هر کدام از مدل‌ها نسبت به دیگری شرح داده شد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری
Fig. 1: Location of the study area and sampling points

متغیرهای محیطی

این مطالعه، متغیرهای مختلفی مانند پارامترهای آب و هوایی، اجزای توپوگرافی، شاخص‌های زیرگروه سنجش از دور و LULC را بررسی کرد. در مجموع ۱۵ متغیر، از جمله نیتروژن کل خاک، ارتفاع، شیب، جهت، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و تصاویر دانه‌دودی از باند ۴، ۵، ۶ و لندست-۹ و همچنین NDVI، میانگین بارش سالانه (MAP) و میانگین دمای سالانه (MAT) مورد بررسی قرار گرفتند. تغییرات این پارامترها با استفاده از نرم‌افزار QGIS با تفکیک مکانی ۳۰ متر ترسیم شد، و همچنین با استفاده از این نرم‌افزار نقشه نهایی از مقادیر متغیرهای مورد بررسی و مقادیر اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک تهیه شد. برای مدل‌سازی، مقدار پیکسل متغیرهای پیش‌بینی‌کننده به محل نمونه-برداری از خاک اختصاص داده شد. همچنین در این پژوهش شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) نیز به عنوان یکی از پارامترهای ورودی مورد نیاز محاسبه شد. مقدار شاخص NDVI بین ۱- تا ۱+ متغیر است. در واقع، این شاخص معیاری از فعالیت فتوسنتزی گیاه است. هرچه مقدار NDVI بیشتر باشد، پوشش‌های گیاهی متراکم با سلامت بیشتر انتظار می‌رود. مقادیر منفی شاخص NDVI عموماً پوشش‌های آبی است. همچنین مقادیر بین صفر تا ۰/۲ را به اراضی فاقد پوشش گیاهی می‌توان نسبت داد [۱۸]. شاخص NDVI، تفاضل نرمال شده بازتاب در باندهای نزدیک مادون قرمز (NIR) و قرمز به فرم رابطه زیر است [۲۴]:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}}$$

در این فرمول، NIR و RED مقادیر بازتاب اندازه‌گیری شده در باند طیفی نزدیک به مادون قرمز و قرمز را نشان می‌دهند [۲۴].

داده‌های سنجش از دور

متغیرهای سنجش از دور مورد استفاده در این مطالعه شامل داده‌های SAR و تصاویر نوری بودند. تصاویر سنتینل-۱ از آژانس فضایی اروپا (ESA) و داده‌های لندست-۹ از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) دانه‌دود شد. حسگر سنتینل-۱ از دو صورت فلکی ماهواره‌ای Sentinel-1A و Sentinel-1B تشکیل شده است و چهار تصویر پیچیده تک‌ظاهری در حالت تداخل سنجی گسترده (WI) استفاده شده است [۱۵]. در این پژوهش از ۴ (۲ تصویر از سنتینل-۱ و ۲ تصویر از لندست-۹) تصویر استفاده شد. جدول ۱ اطلاعات دقیقی در مورد داده-های SAR ارائه می‌دهد. پردازش داده‌های SAR شامل چندین مرحله حیاتی برای اطمینان از دقت و قابلیت استفاده است. کالیبراسیون، که برای ویژگی‌های خاص حسگر و عوامل محیطی تنظیم می‌شود، برای افزایش قابلیت اطمینان داده‌ها انجام شد. رادیومتری، یکی دیگر از فرآیندهای ضروری، با هدف تصحیح تغییرات در شدت سیگنال ناشی از عواملی مانند زمین و زاویه تابش است و در این پژوهش بر روی داده‌ها اعمال شد. ژئوکدینگ، بخشی جدایی ناپذیر از پردازش داده‌های SAR، شامل اختصاص مختصات جغرافیایی به هر پیکسل در تصویر است که

امکان ارجاع مکانی دقیق را فراهم می‌کند. علاوه بر این، فیلتر لکه‌ای برای کاهش نویز ذاتی موجود در تصاویر SAR استفاده شد. این تکنیک فیلتر کردن، با استفاده از یک فیلتر پنجره ۵×۵، به صاف کردن نویز لکه‌ها و حفظ ویژگی‌های مهم تصویر کمک می‌کند [۱۵]. تمام این مراحل پردازش با استفاده از نرم‌افزار SARscape 5.2 انجام شد، ابزاری تخصصی که برای تجزیه و تحلیل و دستکاری داده‌های SAR طراحی شده است. این نرم‌افزار مجموعه‌ای جامع از عملکردهای متناسب با وظایف پردازش داده‌های SAR را ارائه می‌دهد.

تصاویر با استفاده از Aster GDEM به مقیاس دسی بل تبدیل شدند. شاخص NDVI با استفاده از باند ۴ و ۵ برای شناسایی نوع و شدت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. روش تصحیح هندسی چند جمله‌ای برای تصحیح تمام تصاویر استفاده شد. اهداف تحقیق با استفاده از باندهای ۴، ۵ و ۶ لندست-۹، که به ترتیب نشان دهنده رشد گیاهی، پوشش و زیست توده هستند، با طول موج‌های ۰/۶۴ تا ۰/۶۷ میکرومتر برای باند ۴، ۰/۸۵ تا ۰/۸۸ میکرومتر برای باند ۵ و ۱/۵۷ تا ۱/۶۵ میکرومتر برای باند ۶ انجام شد. در مقابل ۸ متغیر محیطی به دست آمده از تصاویر سنجش از دور شامل BC-1، BC-2، BC-3، BC-4، Band-4، Band-5، Band-6، NDVI بودند. لازم به ذکر است که تصاویر به دست آمده کمتر از ۱۰ درصد پوشش ابری داشتند.

جدول ۱: اطلاعات مربوط به تصاویر سنتینل-۱
Table 1: information related to Sentinel-1 images

تاریخ Date	پرتو Beam	قطبی شدن Polarization	زاویه وقوع Incident Angle (°)	جهت Direction
28 June 2021	WI	VV	39.36	Ascending
28 July 2021	WI	VV	39.02	Descending
28 August 2021	WI	VV	39.02	Descending
28 September 2021	WI	VV	39.35	Ascending

متغیرهای آب و هوا

پارامترهای اقلیمی برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های وب سایت CARD و یک ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه مورد مطالعه به دست آمد. مجموعه داده‌های MAT و MAP برای دوره مطالعه نیز به دست آمد. یک دوره ۲۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۰) در نظر گرفته شد و میانگین دو داده MAP و MAT برای تعیین متغیر پیش‌بینی محاسبه شد. برای درونیایی داده‌ها، روش مدل‌سازی سطح HASM انتخاب شد زیرا نشان داده شده است که نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های درونیایی ارائه می‌دهد.

داده‌های کاربری/پوشش زمین (Land Use/Land Cover)

در این مطالعه، از یک رویکرد طبقه‌بندی نظارت شده برای تولید داده‌های کاربری/پوشش زمین (Land Use/Land Cover) استفاده شد. به طور خاص ما از الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی به دلیل اثربخشی آن در مدیریت مجموعه داده‌های بزرگ و پیچیده و همچنین توانایی آن در ارائه نتایج طبقه‌بندی قابل اعتماد استفاده کردیم. الگوریتم جنگل

RF و BRT را می‌توان برای تقویت مزایای درختان ترکیب کرد و تغییرات متغیرهای پاسخ را از متغیرهای پیش‌بینی تحلیل کرد. برای تقویت الگوریتم، باید یک رویکرد تکراری اتخاذ شود و به‌طور مداوم درختان را به آن اضافه کرد. ویژگی اصلی الگوریتم BRT افزایش دقت پیش‌بینی و تطبیق نامعقول داده‌ها است که می‌تواند به طور کاذب گرازیان تصادفی را افزایش دهد.

تجزیه و تحلیل آماری

نرم افزار R برای تولید نقشه‌های نیتروژن کل خاک با استفاده از بسته‌های مختلف، از جمله RF-Package (BRT)، GBM-Package (BRT)، RASTER- و MAP TOOLS-Package (SVM)، KERN-Lab-Package (SVM) استفاده شد. علاوه بر این، برای انجام تجزیه و تحلیل آماری و تجزیه و تحلیل متغیرهای محیطی از SPSS نسخه ۲۴ استفاده شد. برای ارزیابی اثربخشی داده‌های سنتینل-۱ در نقشه‌برداری نیتروژن کل خاک نیتروژن کل خاک، از ترکیب‌های مختلفی از متغیرهای محیطی استفاده شد، همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است. عملکرد این ترکیب‌های مختلف با استفاده از سه الگوریتم BRT، SVM و RF پیش‌بینی شد.

جدول ۲: تمام متغیرهای مورد نیاز برای نیتروژن کل خاک

Table 2: All variables required for mapping of TSN

شماره	مدل	توصیف
ID	Model	Description
I	Model A	ترکیبی از متغیرهای آب و هوایی، توپوگرافی، متغیرهای به‌دست آمده از Landsat-9 و کاربری و پوشش زمین
		A combination of climate variables, topography, variables obtained from Landsat-9 and Land Use and Land Cover
II	Model B	متغیر به‌دست آمده از لندست-۹ Variable obtained from Landsat-9
III	Model C	متغیر به‌دست آمده از سنتینل-۱ Variable obtained from Sentinel-1
IV	Model D	متغیر مربوط به سنجش از دور (مانند متغیرهای به‌دست آمده از لندست-۹ و سنتینل-۱) The variable related to remote sensing (such as the variables obtained from Landsat-9 and Sentinel-1)
		ترکیبی از سنجش از دور (لندست-۹ و سنتینل-۱)، آب‌وهوا، توپوگرافی، کاربری اراضی و متغیرهای پوشش زمین
V	Model E	A combination of remote sensing (Sentinel1 and landsat9), climate, topography, land use and land cover variables

از معادلات (۱) تا (۳) [۲۰] برای تعریف میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R2) استفاده شد که به‌عنوان شاخص در تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (۱) \quad [۲۰]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (۲) \quad [۲۰]$$

تصادفی یک تکنیک یادگیری ماشین است که با ساخت تعداد زیادی درخت تصمیم در طول مرحله آموزش و سپس ترکیب پیش‌بینی‌های آن‌ها برای تولید خروجی طبقه‌بندی نهایی عمل می‌کند. این رویکرد یادگیری گروهی، دقت و استحکام مدل طبقه‌بندی را افزایش می‌دهد، به‌ویژه در سناریوهایی با داده‌های ورودی با ابعاد بالا و عدم تعادل کلاس. در طول مرحله آموزش، ما از مجموعه‌ای از نمونه‌های آموزشی حاوی اطلاعات طیفی و برچسب‌های حقیقی زمینی که کلاس‌های مختلف پوشش زمین را نشان می‌دهند، استفاده کردیم. این نمونه‌ها برای آموزش مدل طبقه‌بندی جنگل تصادفی برای تشخیص و تمایز بین انواع پوشش‌های زمین بر اساس امضای طیفی آن‌ها استفاده شد. هنگامی که طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی آموزش داده شد، آن‌را روی تصاویر ماهواره‌ای که منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند، اعمال کردیم تا هر پیکسل را در یکی از کلاس‌های پوشش زمین از پیش تعریف شده طبقه‌بندی کنیم. خروجی این فرآیند به لایه‌های نهایی نقشه خروجی اضافه شد. این لایه، علاوه بر این که توزیع فضایی طبقات پوشش زمین را در سراسر منطقه مورد مطالعه به تصویر می‌کشد، تمرکز اصلی آن بر روی نواحی با کشت برنج (شالیزارها) می‌باشد. در این پژوهش، با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در بخش مرکزی استان گیلان در شمال ایران واقع شده است، کلاس‌های طبقات پوشش زمین شامل: جنگل‌ها، علفزارها، زمین‌های زراعی، تالاب‌ها، مناطق شهری، بدنه‌های آبی (مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها) و زمین‌های بایر است. بر اساس هدف این پژوهش تمرکز ما بر کلاس زمین‌های زراعی و در این کلاس توجه به اراضی شالیکاری می‌باشد.

الگوریتم‌های پیش‌بینی

الگوریتم‌های یادگیری ماشین غیرخطی، از جمله SVM، RF و BRT، در این مطالعه برای پیش‌بینی وضعیت نیتروژن کل خاک با مدل‌سازی روابط پیچیده بین خواص خاک و متغیرهای محیطی مورد استفاده قرار گرفت. نرم افزار R برای وارد کردن پارامترهای مختلف به الگوریتم‌ها با استفاده از رویکرد جستجوی شبکه با بسته CARET استفاده شد. الگوریتم SVM که از یادگیری آماری سرچشمه می‌گیرد، برای طبقه‌بندی تمام داده‌ها به‌صورت جداگانه استفاده شد [۱۹]. برای بهبود دقت مدل SVM، از توابع پایه شعاعی، چند جمله‌ای، سیگموئیدی و خطی استفاده شد. مدل الگوریتم SVM در تهیه نقشه‌های نیتروژن کل خاک استفاده شد که RBF به‌عنوان هسته عملکرد آن در نظر گرفته شد. الگوریتم دیگری که مبتنی بر یادگیری ماشین است، RF است که برای مطالعات رگرسیون و طبقه‌بندی استفاده می‌شود. الگوریتم RF از درختان زیادی برای دستیابی به پیش‌بینی هدف استفاده می‌کند، جایی که هر درخت با استفاده از بوت استرپ داده‌های آموزشی ساخته می‌شود. نمونه‌ها به دو گروه نمونه‌های داخل کیسه و نمونه‌های بیرون کیسه تقسیم می‌شوند و میزان خطا در نمونه‌های بیرون کیسه قابل تخمین است. فلسبرگ و همکاران [۲۵] توضیح دادند که الگوریتم‌های

و مقدار متوسط نیتروژن ۰/۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شد. توزیع محتوای نیتروژن تغییر جزئی با مقدار متوسط بالاتر از انحراف استاندارد نشان داد. توزیع چولگی، با ضریب چولگی ۰/۴ ثبت شد. پنج مدل مختلف (مدل‌های A، B، C، D و E) با ترکیب متغیرهای محیطی مختلف برای نقشه برداری نیتروژن کل خاک ایجاد شدند. جدول ۳ تمام اطلاعات مربوط به مقدار نیتروژن کل خاک و متغیرهای پیش‌بینی کننده نمونه‌های خاک را نشان می‌دهد. در توصیف مدل‌های طراحی شده برای این پژوهش می‌توان اشاره کرد که مدل A فاقد اطلاعات و داده‌های نوری بود، در حالی که مدل‌های B و C اثرات SAR و داده‌های نوری را بررسی کردند. مدل D از اطلاعات و داده‌های تصاویر Sentinel-1 و Landsat-9 استفاده کرد و مدل E تمام متغیرهای مربوط به داده‌های سنجش از دور را بدون محدودیت در نظر گرفت. عملکرد این مدل‌ها با استفاده از سه الگوریتم (RF، SVM و BRT) ارزیابی شده و در جدول ۴ ارائه شده است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i)} \quad [20] \quad (3)$$

معادلات ۱ تا ۳ به ترتیب MAE، RMSE و R^2 را تعریف می‌کنند، جایی که P_i و O_i محتوای نیتروژن کل خاک مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهند و n تعداد نقاط نمونه است. لازم به ذکر است که واحدهای RMSE و MSE در هر پژوهش با واحدهای پارامتر مورد بحث در آن پژوهش مطابقت دارند. در این مطالعه، تلاش شد تغییرات نیتروژن کل خاک بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شود، پس منطبق بر واحد نیتروژن کل خاک واحد دو پارامتر آماری RMSE و MSE نیز میلی گرم بر کیلوگرم (در این پژوهش) می‌باشد.

نتایج و بحث

مقادیر نیتروژن کل خاک نمونه‌ها از ۰/۲۱ تا ۱/۴ میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود، همچنین مقدار انحراف استاندارد ۰/۴۴، مقدار میانگین ۰/۷۹

جدول ۳: داده‌های آماری پارامترهای محیطی و مقادیر نیتروژن کل خاک.
Table 3: Statistical data of Environmental parameters and TSN values.

	Minimum	Maximum	Mean	Median	Standard Deviation	Skewness
نیتروژن کل خاک (گرم بر کیلوگرم) TSN (g/Kg)	.21	1.40	.79	.92	.44	-.40
ارتفاع (متر) Elevation (m)	500	1700	1050	987	231.36	.68
جهت (درجه) Aspect (Deg)	0.0	345	210	134	101	.41
شیب (درجه) Slope (Deg)	.28	15.32	12.01	4.65	4.68	.94
TWI	6.21	16.35	9.24	9.45	3.74	.81
BC-1 (db)	-24.13	1.37	-14.26	-14.56	3.79	1.27
BC-2 (db)	-16.45	-4.21	-10.31	-9.41	2.37	-.23
BC-3 (db)	-16.87	-2.31	-10.23	-9.4	1.84	-.28
BC-4 (db)	-25.14	-6.94	-17.36	-17.54	2.64	.21
باند ۴ (عدد دیجیتالی) Band-4 (digital number)	324.13	3145.36	1084.51	927.45	841.36	.70
باند ۵ (عدد دیجیتالی) Band-5 (digital number)	2047.31	4861.58	3316.74	3612.34	641.52	-.23
باند ۶ (عدد دیجیتالی) Band-6 (digital number)	1362.47	4123.54	2145.78	3478.31	674.42	.80
شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده NDVI	.04	.76	.50	.63	.37	-.31
میانگین بارندگی سالیانه (میلی متر) MAP (mm)	92	149	124	91.5	19.6	.48
میانگین درجه حرارت سالیانه (درجه سانتی گراد) MAT (°C)	4.97	7.32	6.54	7.0	.60	-.70

جدول ۴: کارایی مدل‌های مورد استفاده در رابطه با الگوریتم‌های RF، SVM و BRT
Table 4: The efficiency of the used models in relation to the RF, SVM, and BRT algorithms

	Model	MAE (mg/kg)	RMSE (mg/kg)	R ²
RF	Model A	0.20	0.26	0.53
	Model B	0.23	0.30	0.38
	Model C	0.23	0.28	0.45
	Model D	0.21	0.26	0.51
	Model E	0.20	0.25	0.56
SVM	Model A	0.21	0.27	0.48
	Model B	0.23	0.29	0.37
	Model C	0.23	0.29	0.41
	Model D	0.22	0.28	0.45
	Model E	0.21	0.26	0.51
BRT	Model A	0.20	0.26	0.53
	Model B	0.24	0.30	0.38
	Model C	0.24	0.29	0.41
	Model D	0.20	0.25	0.56
	Model E	0.19	0.25	0.58

مقادیر متغیرهای محیطی مشابه بین دو الگوریتم متفاوت است. متغیرهای محیطی در الگوریتم RF به شرح زیر بود: Band-6، Band-4، NDVI، BC-3 و LULC، اما متغیرهای محیطی در الگوریتم BRT شامل «ارتفاع، NDVI، BC-2، BC-3 و LULC» بود. هر دو الگوریتم RF و BRT برای سه متغیر کاربری زمین، پوشش زمین و BC-3 مقادیر تقریباً برابری داشتند. در الگوریتم RF، متغیرهای آب‌وهوایی و توپوگرافی، داده‌های LULC و Sentinel-1A به ترتیب ۱۰، ۱۳، ۱۶ و ۲۸ درصد در برآورد تغییرات نیتروژن کل خاک را به خود اختصاص دادند. با این حال، متغیرهای Landsat-9 با سهم ۳۳٪ در نظارت بر تغییرات نیتروژن کل خاک مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی بودند. از سوی دیگر، متغیرهای سنجنش از دور سهم بیشتری در الگوریتم BRT به ترتیب با مقادیر ۵۱٪ و ۶۱٪ داشتند. متغیرهای اقلیمی و توپوگرافی، داده‌های LULC، Sentinel-1A و Landsat-9 به ترتیب ۷، ۱۷، ۲۵، ۳۱ و ۲۰ درصد در تخمین تغییرات نیتروژن کل خاک توسط الگوریتم BRT موثر بودند.

پیش‌بینی توزیع فضایی نیتروژن کل خاک

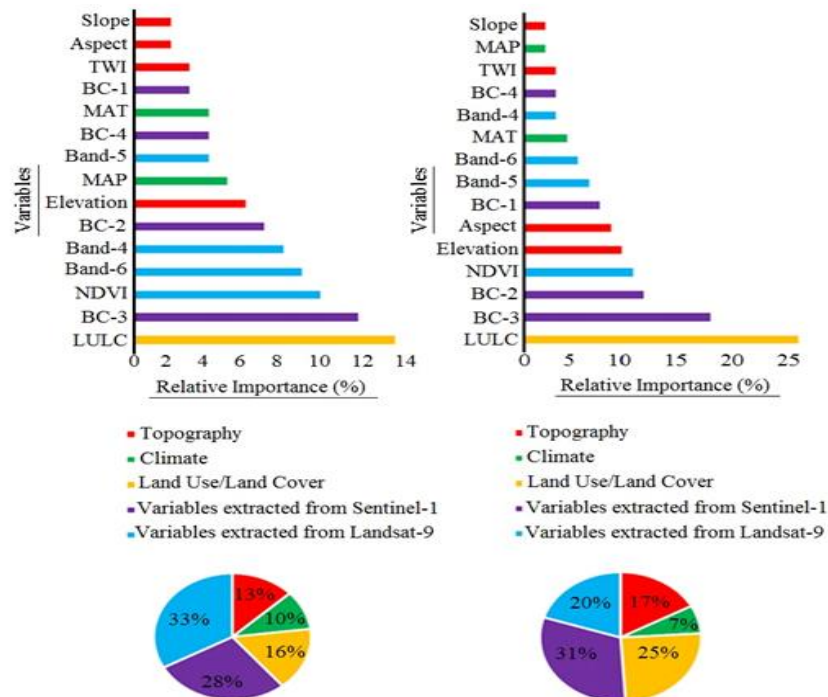
نقشه‌های پیش‌بینی توزیع فضایی نیتروژن کل خاک در شکل ۳ (مدل E) و شکل ۴ (مدل D) ارائه شده است. این نقشه‌ها توسط الگوریتم‌های BRT، RF و SVM تهیه شده است. مقادیر نیتروژن کل خاک گزارش شده در مدل E به ترتیب ۰/۸۲ (±۰/۲۵)، ۰/۸۴ (±۰/۳۲) و ۰/۸۵ (±۰/۲۱) گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که مقدار داده‌های نیتروژن کل خاک مشاهده‌شده (واقعی) بیشتر از نیتروژن کل خاک پیش‌بینی شده توسط الگوریتم‌های BRT، RF و SVM بود. برای بررسی تغییرات ناشی از سطح نیتروژن کل خاک دو مدل E و D از الگوریتم‌های BRT و RF استفاده شد. دلیل اصلی این انتخاب این بود که هر دو الگوریتم ذکر شده، مبتنی بر درخت هستند.

دقت پنج مدل با استفاده از شاخص‌های R²، RMSE و MAE ارزیابی شد. مقدار R² بالاتر و مقادیر کمتر RMSE و MAE نشان‌دهنده دقت بالاتر الگوریتم BRT بالاترین دقت را در پیش‌بینی توزیع نیتروژن کل خاک (با مقدار R²=۰/۵۸، مقدار RMSE=۰/۲۵ mg/kg و مقدار RME=۰/۱۹) نشان داد. در بین سه الگوریتم، مدل C (شامل داده‌های SAR چند زمانی) از نظر دقت از مدل B (شامل متغیرهای Landsat-9) بهتر عمل کرد. این نتایج نشان داد که ترکیب داده‌های SAR در نقشه‌برداری نیتروژن کل خاک بسیار موفق بود و به‌طور بالقوه می‌تواند جایگزین تصاویر نوری شود. بر اساس نتایج، مدل C با الگوریتم RF دارای بالاترین مقدار R² و کمترین مقادیر MAE و RMSE به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۴۵، ۰/۲۳ میلی گرم بر کیلوگرم و ۰/۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم بود که نشان‌دهنده دقت ۴۵٪ در پایش تغییرات نیتروژن کل خاک است (جدول ۴).

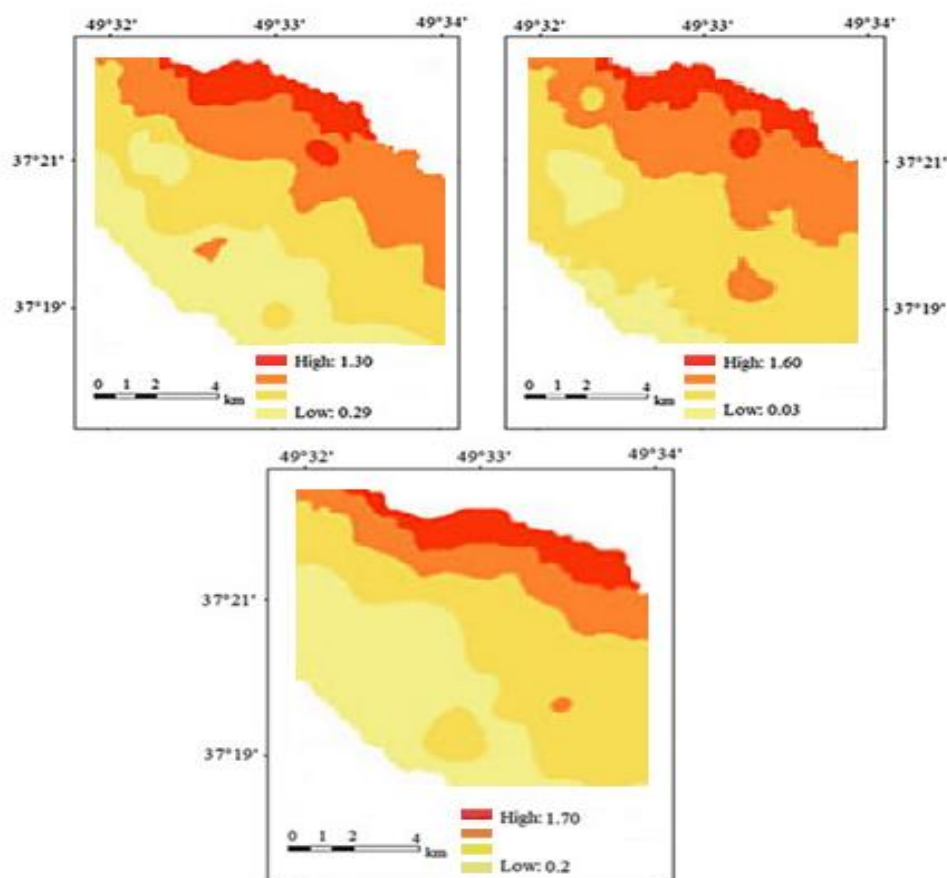
موفقیت مدل C را می‌توان به استفاده از داده‌های چند زمانی Sentinel-1A و Landsat-9 نسبت داد. الگوریتم BRT با تصاویر SAR نیز دقت پیش‌بینی نیتروژن کل خاک را به ترتیب ۵۰، ۱۸ و ۱۸ درصد از نظر R²، RMSE و MAE بهبود بخشید. دقت مدل A نیز با ترکیب داده‌های Sentinel-1A افزایش یافت که منجر به مقادیر R²=۰/۵۸ برای الگوریتم BRT و R²=۰/۵۶ برای الگوریتم RF شد. در نهایت، مدل E با الگوریتم‌های BRT و RF که شامل چندین متغیر سنجنش از دور، آب‌وهوا، توپوگرافی و LULC بود، بالاترین عملکرد را در پیش‌بینی تغییرات نیتروژن کل خاک داشت، که به ترتیب قادر به توضیح ۵۸ و ۵۶ درصد از تغییرات نیتروژن کل خاک بودند.

اهمیت نسبی داده‌های زیست محیطی

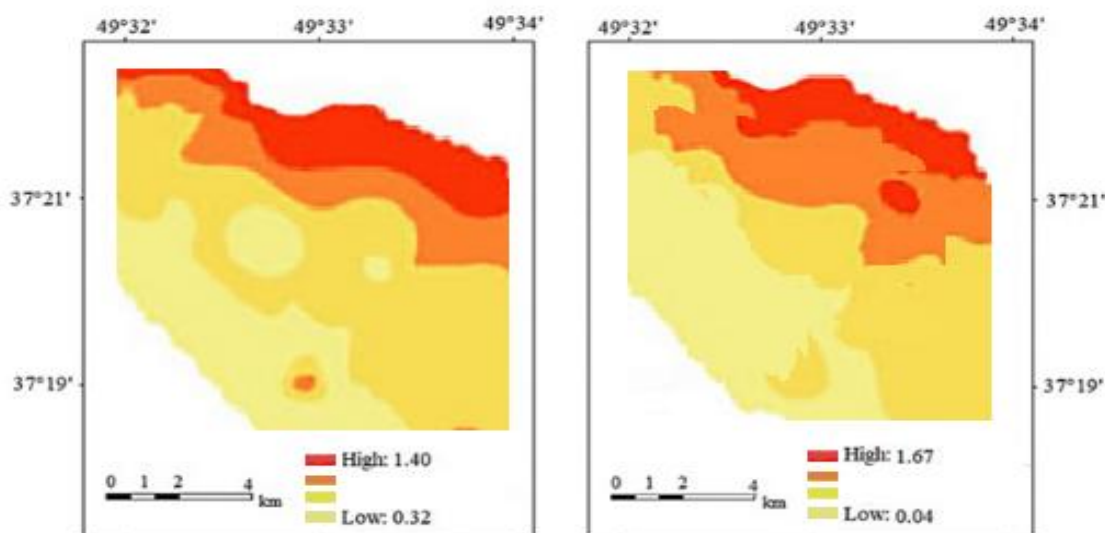
برای نتایج بهتر، نرمال‌سازی متغیرها در این مطالعه انجام شد. شکل ۲ مقادیر هر متغیر محیطی را در مدل E تحت تاثیر الگوریتم‌های BRT و RF نشان می‌دهد.



شکل ۲: مقدار میانگین هر متغیر پیش‌بینی با استفاده از مدل E برای تکنیک‌های RF (چپ) و BRT (راست)
 Fig. 2: Mean value of each predictor variable using E model for RF (left) and BRT (right) techniques



شکل ۳: توزیع مقادیر نیتروژن کل خاک در خاک‌های شالیزار شمال ایران با استفاده از مدل E با RF (چپ)، BRT (راست) و SVM (پایین). در مدل E تمامی پارامترهای اقلیمی، توپوگرافی و سنجش از دور پوشش داده شد
 Fig. 3: Distribution of STN values in paddy soils of northern Iran using E model with RF (left), BRT (right) and SVM (down). In model E, all climate parameters, topography and remote sensing were covered



شکل ۴: نقشه پراکنش مقادیر STN در خاکهای شالیزاری شمال ایران با استفاده از مدل D با RF (چپ)، BRT (راست). در مدل D، پارامترهای سنجش از دور پوشش داده شد. به دلیل عدم دقت قابل قبول SVM از ترسیم نقشه مربوط به این مدل خودداری شد.

Fig. 4: Distribution map of STN values in paddy soils of northern Iran using model D with RF (left), BRT (right). In model D, remote sensing parameters were covered. Due to the lack of acceptable accuracy of SVM, drawing the map related to this model was avoided

جدول ۵: مقادیر نیتروژن کل خاک گزارش شده در مدل E با روش های SVM،

RF و BRT

Table 5: Total soil nitrogen values reported in model E with SVM, BRT and RF methods

Algorithm	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation (SD)
SVM	0.22	1.41	0.85	0.21
BRT	0.11	1.68	0.84	0.32
RF	0.28	1.35	0.82	0.25

نقشه توزیع فضایی مقادیر نیتروژن کل خاک توسط Zhang و همکاران [۱۱] ایجاد شد. پژوهش آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی از Sentinel-2A و مقایسه الگوریتم‌های مختلف با استفاده از RF انجام شد. آن‌ها برای تخمین توزیع فضایی نیتروژن کل خاک از ۲۱ متغیر کمکی استفاده کردند که شامل باندها و شاخص‌های طیفی اصلی و همچنین متغیرهای محیطی بود. نتایج نشان داد که الگوریتم RF بر اساس تکنیک‌های سنجش از دور قادر به ثبت دقیق تغییرات در نیتروژن کل خاک است [۱۱]. در مطالعه دیگری توسط وانگ و همکاران [۲۴]، نیتروژن کل خاک در شهر لوشون در شمال شرقی استان لیائونینگ، چین، با استفاده از الگوریتم‌های RF و رگرسیون چندگانه گام به گام نقشه‌برداری شد. برای نقشه‌برداری نیتروژن کل خاک در مناطق جنگلی، آن‌ها پیشنهاد کردند که داده‌های سنجش از دور و متغیرهای محیطی باید به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های اصلی استفاده شوند [۲۴].

ارزش متغیرهای پیش‌بینی‌کننده

استفاده از تصاویر SAR برای پیش‌بینی دقیق محتوای نیتروژن کل خاک بسیار مهم است. داده‌های رادار می‌توانند اطلاعاتی فراتر از سطح خاک و پوشش گیاهی را ضبط کنند و با استفاده از سیگنال‌های پس‌پراکنده

همچنین عملکرد قابل قبول‌تری نسبت به الگوریتم SVM برای نظارت بر تغییرات نیتروژن کل خاک دارند. الگوریتم‌های BRT و RF عملکرد رضایت‌بخشی را با مقادیر متوسط -0.03 و -0.01 در پایش نیتروژن کل خاک با استفاده از مدل‌های D و E نشان دادند. با این حال، شایان ذکر است که تفاوت معنی‌دار در مقادیر پیش‌بینی‌شده نیتروژن کل خاک بین مدل‌های D و E تنها در مناطقی با زمین برهنه و پوشش گیاهی مشاهده شد.

یافته‌های تحقیق نشان داد که الگوریتم‌های RF و BRT در تخمین دقیق مقادیر نیتروژن کل خاک مؤثرتر بودند. اتوی و همکاران [۲۱] دقت الگوریتم‌های ANN، BRT و SVM را برای ارزیابی مخازن کربن آلی خاک (SOC) از طریق نقشه‌برداری دیجیتالی خاک مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که BRT دقت بالاتری نسبت به دو الگوریتم دیگر دارد [۲۱]. تزیاکریس و همکاران [۲۲] از RF و کریجینگ برای بررسی کربن آلی خاک با استفاده از DEM استفاده کردند و دریافتند که RF از کوکریجینگ بهتر عمل کرد [۲۲]. پنگ و همکاران [۲۳] یک نقشه توزیع نیتروژن کل خاک با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور تولید کرد و دقت الگوریتم‌های BRT، SVM و RF را مقایسه کرد. آن‌ها گزارش کردند که الگوریتم‌های BRT و RF از دقت بالاتری نسبت به SVM برخوردار است و ترکیب داده‌های Landsat-8 و Sentinel-2 با استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر درخت منجر به افزایش ۱۷ درصدی در شاخص‌های MAE و RMSE شد [۲۳]. استفاده از داده‌های Sentinel-1 و تصاویر نوری دقت بالایی را در این مطالعه تضمین کرد، که نشان می‌دهد ترکیب پارامترهای مفیدتر می‌تواند نتایج را بهبود بخشد. به‌طور خاص، نتایج نشان داد که استفاده از داده‌های Sentinel-1 به‌عنوان داده‌های SAR چند زمانی، دقت نقشه‌برداری نیتروژن کل خاک را در شالیزارهای مورد مطالعه بهبود بخشید.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، توزیع فضایی نیتروژن کل خاک در خاک‌های شالیزاری شمال ایران با استفاده از الگوریتم‌های SVM، BRT و RF مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد: (۱) الگوریتم‌های RF و BRT عملکرد بهتری از SVM داشتند و در نظارت بر مقادیر نیتروژن کل خاک مؤثر بودند. (۲) تصاویر SAR چند زمانی، نظارت دقیق‌تری بر محتوای نیتروژن کل خاک در مقایسه با داده‌های سنجش از راه دور نوری ارائه می‌کنند، و امکان پیش‌بینی واقعی مقادیر نیتروژن کل خاک در خاک‌های شالیزاری را فراهم می‌کنند. (۳) دقت الگوریتم‌ها با گنجاندن متغیرهای محیطی افزایش یافت. (۴) الگوریتم BRT کمترین مقادیر RMSE (۰/۲۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم و MAE (۰/۱۹) میلی‌گرم بر کیلوگرم و بالاترین مقدار (۰/۵۸) را نشان داد. متغیرهای سنجش از دور به ترتیب در ۶۱٪ و ۵۱٪ تأثیر در الگوریتم‌های RF و BRT نقش داشتند. با توجه به اقلیم منحصربه‌فرد منطقه مورد مطالعه که در مجاورت دریای خزر واقع شده و در اکثر فصول سال دارای هوای ابری و مه آلود است، استفاده از داده‌های Sentinel-1 به دلیل قابلیت نفوذ ابرها و مه در مناطق دارای مه توصیه می‌شود. آب‌وهوای مشابه این مطالعه تحقیقات بیشتری را توصیه می‌کند که داده‌های جدید سنجش از دور، متغیرهای محیطی و الگوریتم‌های پیشرفته‌تر را برای دستیابی به دقت بیشتر در پیش نیتروژن خاک و سایر ویژگی‌های خاک ترکیب می‌کند.

مشارکت نویسندگان

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

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری‌ها 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] Kosari A, Sharifi A, Ahmadi A, Khoshsim M. Remote sensing satellite's attitude control system: rapid performance sizing for passive scan imaging mode. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* 2020;92. <https://doi.org/10.1108/AEAT-02-2020-0030>.
- [2] Jeong G, Oeverdieck H, Park SJ, Huwe B, Ließ M. Spatial soil nutrients prediction using three supervised learning methods for assessment of land potentials in complex terrain. *Catena (Amst)* 2017;154. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.006>.
- [3] Fileborn B. Digital mapping as feminist method: critical reflections. *Qualitative Research* 2023;23. <https://doi.org/10.1177/14687941211028797>.

امکان شناسایی اهدافی مانند بافت خاک، رطوبت، شوری و زیست توده بالای زمین را فراهم کنند. فلسبرگ و همکاران [۲۵] نشان دادند که می‌توان از تصاویر رادار برای بررسی ویژگی‌های خاک با ثبت اطلاعات پوشش گیاهی استفاده کرد که به شدت بر بازتاب خاک تأثیر می‌گذارد [۲۵]. گوو و همکاران [۲۶] اثر بخشی ترکیب داده‌های دیجیتال Sentinel-1 و Sentinel-2 را برای تخمین زیست توده سطح زمین نشان داد. باندها و شاخص‌های ماهواره‌ای از جمله Sentinel-1، Sentinel-2 و Landsat در نقشه‌برداری ویژگی‌های مختلف خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نقشه‌برداری محتوای نیتروژن کل خاک به‌ویژه تحت تأثیر تغییرات کاربری زمین و پوشش زمین (LULC) است که بر بازتاب طیفی تأثیر می‌گذارد که ارتباط نزدیکی با زیست توده و تراکم گیاه دارد [۲۶]. وانگ و همکاران [۲۷] اشاره کردند که تصاویر ماهواره‌ای دیجیتال مهم‌ترین داده کمکی برای پایش تغییرات محیطی در مقایسه با سایر متغیرها هستند. متغیرهای توپوگرافی دارای قدرت پیش‌بینی بالایی برای نقشه‌برداری دیجیتالی خاک در نظر گرفته می‌شوند [۲۷]. علاوه بر ارتفاع، شاخص رطوبت، توپوگرافی و شیب متغیرهای مهمی در توزیع نیتروژن کل خاک هستند زیرا بر کانی‌سازی و سازماندهی نیتروژن و همچنین محتوای نیتروژن موجود تأثیر می‌گذارند [۲۸-۲۹]. بارندگی همچنین به‌طور غیرمستقیم بر تغییرات در چرخه نیتروژن با تأثیر بر میزان نیتروژن جذب شده توسط گیاهان و بهره‌وری پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد [۳۰].

در حالی که این تحقیق بینش‌های ارزشمندی را برای پیش‌بینی سطوح نیتروژن کل خاک با استفاده از روش‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های پیشرفته ارائه می‌دهد، مهم است که چندین محدودیت را بپذیریم. اولاً، تمرکز مطالعه بر روی استان گیلان ممکن است تعمیم‌پذیری یافته‌ها را به سایر مناطق با شرایط محیطی متفاوت محدود کند. علاوه بر این، در حالی که سنجش از دور ابزار ارزشمندی برای جمع‌آوری داده‌ها فراهم می‌کند، محدودیت‌های ذاتی مانند محدودیت‌های تفکیک فضایی و طیفی وجود دارد که ممکن است بر صحت و دقت پیش‌بینی‌ها تأثیر بگذارد. علاوه بر این، اتکا به الگوریتم‌های یادگیری ماشین، سوگیری‌ها و عدم قطعیت‌های بالقوه مرتبط با انتخاب مدل و تنظیم پارامتر را معرفی می‌کند. در حالی که تلاش‌هایی برای ادغام متغیرهای مختلف زیست‌محیطی انجام شد، ممکن است هنوز عواملی وجود داشته باشد که بر سطوح نیتروژن خاک تأثیر بگذارند، مانند شیوه‌های مدیریت زمین محلی یا ویژگی‌های خاک که در تجزیه و تحلیل ثبت نشده است. در نهایت، اتکای این مطالعه به تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌بینی‌های الگوریتمی ممکن است نیاز به صحت و اعتبار زمین را نادیده بگیرد، که می‌تواند بررسی‌های ضروری را در مورد دقت برآوردهای حاصل از سنجش از دور فراهم کند. بنابراین، در حالی که یافته‌ها بینش‌های ارزشمندی را ارائه می‌دهند، باید در برون‌یابی آن‌ها به زمینه‌های وسیع‌تر احتیاط کرد و تحقیقات آینده باید به بررسی این محدودیت‌ها برای افزایش استحکام و کاربرد یافته‌ها بپردازد.

- learning method. *Science of the Total Environment* 2023;866. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161421>.
- [16] Zhang Q, Liu M, Zhang Y, Mao D, Li F, Wu F, et al. Comparison of Machine Learning Methods for Predicting Soil Total Nitrogen Content Using Landsat-8, Sentinel-1, and Sentinel-2 Images. *Remote Sens (Basel)* 2023;15. <https://doi.org/10.3390/rs15112907>.
- [17] Denton OA, Aduramigba-Modupe VO, Ojo AO, Adeoyolanu OD, Are KS, Adelana AO, et al. Assessment of spatial variability and mapping of soil properties for sustainable agricultural production using geographic information system techniques (GIS). *Cogent Food Agric* 2017;3. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1279366>.
- [18] Kjeldahl J. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Zeitschrift Für Analytische Chemie* 1883.
- [19] Vapnik VN. The nature of statistical learning theory. *Statistics for Engineering and Information Science*. Springer-Verlag, New York 2000.
- [20] Willmott CJ, Matsuura K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Clim Res* 2005;30. <https://doi.org/10.3354/cr030079>.
- [21] Ottoy S, De Vos B, Sindayihebura A, Hermy M, Van Orshoven J. Assessing soil organic carbon stocks under current and potential forest cover using digital soil mapping and spatial generalisation. *Ecol Indic* 2017;77. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.010>.
- [22] Tziachris P, Aschonitis V, Chatzistathis T, Papadopoulou M. Assessment of spatial hybrid methods for predicting soil organic matter using DEM derivatives and soil parameters. *Catena (Amst)* 2019;174. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.010>.
- [23] Peng Y, Zhao L, Hu Y, Wang G, Wang L, Liu Z. Prediction of soil nutrient contents using visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *ISPRS Int J Geoinf* 2019;8. <https://doi.org/10.3390/ijgi8100437>.
- [24] Wang S, Jin X, Adhikari K, Li W, Yu M, Bian Z, et al. Mapping total soil nitrogen from a site in northeastern China. *Catena (Amst)* 2018;166. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.03.023>.
- [25] Felsberg A, De Lannoy GJM, Giroto M, Poesen J, Reichle RH, Stanley T. Global soil water estimates as landslide predictor: The effectiveness of smos, smap, and grace observations, land surface simulations, and data assimilation. *J Hydrometeorol* 2021;22. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0228.1>.
- [26] Guo S, Bai X, Chen Y, Zhang S, Hou H, Zhu Q, et al. An improved approach for soil moisture estimation in gully fields of the Loess Plateau using Sentinel-1A radar images. *Remote Sens (Basel)* 2019;11. <https://doi.org/10.3390/rs11030349>.
- [4] Li N, Zhao D, Arshad M, Sefton M, Triantafilis J. Comparison of a digital soil map and conventional soil map for management of topsoil exchangeable sodium percentage. *Soil Use Manag* 2022;38. <https://doi.org/10.1111/sum.12666>.
- [5] Campolo J, Güereña D, Maharjan S, Lobell DB. Evaluation of soil-dependent crop yield outcomes in Nepal using ground and satellite-based approaches. *Field Crops Res* 2021;260. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107987>.
- [6] Loranty MM, Abbott BW, Blok D, Douglas TA, Epstein HE, Forbes BC, et al. Reviews and syntheses: Changing ecosystem influences on soil thermal regimes in northern high-latitude permafrost regions. *Biogeosciences* 2018;15. <https://doi.org/10.5194/bg-15-5287-2018>.
- [7] Jones BJD. Potassium availability: synchronizing nutrient supply and plant demand through 4R nutrient stewardship. *Crops & Soils* 2019;52. <https://doi.org/10.2134/cs2019.52.0602>.
- [8] Garrigues E, Corson MS, Angers DA, Van Der Werf HMG, Walter C. Soil quality in Life Cycle Assessment: Towards development of an indicator. *Ecol Indic* 2012;18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.014>.
- [9] Taher KI, Abdulazeez AM, Zebari DA. Data Mining Classification Algorithms for Analyzing Soil Data. *Asian Journal of Research in Computer Science* 2021. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2021/v8i230196>.
- [10] Akpa SIC, Odeh IOA, Bishop TFA, Hartemink AE, Amapu IY. Total soil organic carbon and carbon sequestration potential in Nigeria. *Geoderma* 2016;271. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.021>.
- [11] Zhang Y, Sui B, Shen H, Ouyang L. Mapping stocks of soil total nitrogen using remote sensing data: A comparison of random forest models with different predictors. *Comput Electron Agric* 2019;160. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.015>.
- [12] Parham PE, Pople D, Christiansen-Jucht C, Lindsay S, Hinsley W, Michael E. Modeling the role of environmental variables on the population dynamics of the malaria vector *Anopheles gambiae* sensu stricto. *Malar J* 2012;11. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-11-271>.
- [13] Ma Y, Minasny B, Wu C. Mapping key soil properties to support agricultural production in Eastern China. *Geoderma Regional* 2017;10. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.06.002>.
- [14] Ceddia M, Gomes A, Vasques G, Pinheiro É. Soil Carbon Stock and Particle Size Fractions in the Central Amazon Predicted from Remotely Sensed Relief, Multispectral and Radar Data. *Remote Sens (Basel)* 2017;9. <https://doi.org/10.3390/rs9020124>.
- [15] Li Z, Liu F, Peng X, Hu B, Song X. Synergetic use of DEM derivatives, Sentinel-1 and Sentinel-2 data for mapping soil properties of a sloped cropland based on a two-step ensemble



علیرضا شریفی دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری در دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی ارشد و دکتری خود را در رشته مهندسی نقشه‌برداری-سنجش از دور به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ از دانشگاه تهران دریافت نمودند. فعالیت‌های پژوهشی اخیر وی در حوزه کاربرد یادگیری عمیق در پردازش تصویر فراطیفی و همچنین کاربردهای سنجش از دور در پایش تغییرات اقلیمی، کشاورزی، مدیریت جنگل‌ها، مدیریت کاربری و پوشش اراضی و مدل‌سازی محیطی با استفاده از کلان داده‌های سنجش از دور می‌باشد. در حال حاضر ایشان بیش از ۱۰۰ مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های علمی ارائه نموده‌اند و همچنین در کمیته علمی و داوری بیش از ۴۰ مجله و کنفرانس علمی ملی و بین المللی فعالیت داشته‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: پردازش تصاویر فراطیفی و راداری، هوش مصنوعی در اطلاعات مکانی، توسعه کاربردهای سنجش از دور.

Sharifi, A. Associate Professor at the Department of Geomatics and Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

✉ a_sharifi@sru.ac.ir



احمد گلچین استاد گروه مهندسی علوم خاک در دانش کده کشاورزی دانشگاه زنجان می‌باشند. فعالیت‌های پژوهشی اخیر وی در حوزه حاصلخیزی خاک، توزیع فضایی شیمی و دینامیک ماده آلی در خاک‌ها، آلودگی خاک و تغذیه گیاه می‌باشد.

Golchin, A. Professor at the Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

✉ agolchin2011@yahoo.com



پرویز کرمی استادیار گروه مرتعداری در دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان می‌باشند. فعالیت‌های پژوهشی اخیر وی در حوزه کارایی اشکال و سطوح مختلف پلات برای برآورد تولید علفزارهای نیمه استپی و شبیه سازی عملکرد اکوسیستم‌های مرتعی با مدل CENTURY می‌باشد.

Karami, P. Assistant Professor at the Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.

✉ P.karami@uok.ac.ir

[27] Wang S, Adhikari K, Wang Q, Jin X, Li H. Role of environmental variables in the spatial distribution of soil carbon (C), nitrogen (N), and C:N ratio from the northeastern coastal agroecosystems in China. *Ecol Indic* 2018;84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.046>.

[28] Araya SN, Fryjoff-Hung A, Anderson A, Viers JH, Ghezzehei TA. Advances in soil moisture retrieval from multispectral remote sensing using unoccupied aircraft systems and machine learning techniques. *Hydrol Earth Syst Sci* 2021;25. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2739-2021>.

[29] Ågren AM, Larson J, Paul SS, Laudon H, Lidberg W. Use of multiple LIDAR-derived digital terrain indices and machine learning for high-resolution national-scale soil moisture mapping of the Swedish forest landscape. *Geoderma* 2021;404. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115280>.

[30] Pérez-Piqueres A, Albiach R, Domínguez A, Canet R. Effect of soil preparation techniques on the biochemical properties and microbial communities of a citrus orchard after replanting and conversion into organic management. *Applied Soil Ecology* 2017;119. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.05.015>.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



شیلان فعله‌گری دانشجوی مقطع دکترای مهندسی علوم خاک می‌باشد و مشغول فعالیت در حوزه آموزش و پژوهش است. زمینه‌های تخصصی و علاقمندی ایشان عبارتند از: توسعه کاربردهای سنجش از دور، پایش تغییرات اقلیمی.

Felegari, S. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

✉ Shilan.Felegari@znu.ac.ir



کامران مروج دانشیار گروه مهندسی علوم خاک در دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان می‌باشند. فعالیت‌های پژوهشی اخیر وی در حوزه تهیه نقشه رقومی خاک، تجزیه و تحلیل‌های ژئومرفومتري و ارزیابی تناسب اراضی است. همچنین کاربردهای سنجش از دور در پایش تغییرات اقلیمی، مدیریت کاربری و پوشش اراضی و مدل‌سازی محیطی با استفاده از کلان داده‌های سنجش از دور از زمینه‌های تخصصی ایشان است.

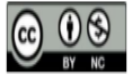
Moravej, K. Associate Professor at the Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

✉ Kmoravej@znu.ac.ir

Citation (Vancouver): Felegari Sh, Moravej k, Sharifi A, Golchin A, Karami P. [Prediction of Total Soil Nitrogen Variations Using Three Machine Learning Approaches and Remote Sensing Data]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 127-140



<https://doi.org/10.22061/jrsg.2024.10781.1060>



COPYRIGHTS

© 2024 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

Revealing Unauthorized Constructions on Forest Lands in the Framework of Environmental Cadastre: A Case Study of Laloon Village

H. Babaeifard, S. Sadeghian, A. Gharagozlo*

Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 09 January 2024

Reviewed: 12 March 2024

Revised: 20 March 2024

Accepted: 25 April 2024

KEYWORDS:

Environmental Cadaster
Land Use Change Detection
Land Administration System
Geospatial Information System
Sustainable Development

* Corresponding author

✉ a_gharagozlo@sbu.ac.ir

☎ (+98912) 1309098

Background and Objectives: Unauthorized construction activities in forest lands have raised significant concerns. Environmental cadastre is regarded as a fundamental tool for providing precise spatial, legal, and environmental information, enabling close monitoring, land management, and sustainable development.

Methods: In this study, a combination of qualitative and quantitative research methods has been employed. The qualitative approach included the analysis of the legal and supervisory framework of the cadastre and the examination of institutional arrangements and stakeholder participation. On the other hand, the quantitative approach involved spatial data analysis and cadastre implementation to assess changes in land use and villa construction in forest lands. To identify villa constructions in the forest regions of Laloon village, data collection tools such as Google Earth images were utilized. Subsequently, using supervised maximum likelihood algorithms, classified images were generated and a land use map was prepared. Finally, a 1:5000 cadastral map of Laloon village was created and the implementation idea of an environmental cadastre in this area was examined.

Findings: Significant changes were observed in land use patterns in the village of Laloon between the years 2011 and 2024. The increase in residential areas on forest lands indicates undesirable environmental impacts. These changes have endangered the ecosystem and biodiversity of the region and led to population growth. In this study, the Kappa coefficient for the years 2011 at 0.902 and for 2024 at 0.945, has been evaluated as an indicator of land use differences in Laloon village. Furthermore, the overall accuracy of the research was calculated to be 92.703% for 2011 and 96.405% for 2024. The results indicate the high importance and accuracy in detecting land use changes in Laloon village. The assessment of the implementation of environmental cadaster for villa construction in forest areas of Laloon village shows the need for effective land management strategies, and the performance of the environmental cadaster system is capable of detecting land changes and conservation planning. This research emphasizes the importance of incorporating environmental considerations into cadastral mapping processes.

Conclusion: Based on the findings of this study, optimal use of environmental cadastre in Iran for the protection of natural resources and preservation of habitat sustainability is considered as a very vital action. Adhering to environmental laws and regulations during the execution of development processes and construction of structures is universal and undeniable for everyone. Implementing environmental cadastre requires collaboration among governmental organizations, technical expertise, utilization of advanced technologies, and community participation. This research indicates that implementing environmental cadastre plays a significant role in maintaining a balance between development and environmental protection. To enhance the efficiency of the environmental cadastre system in Iran, it is suggested that actions such as strengthening the legal framework, improving data management, upgrading technology, increasing stakeholder participation, and ensuring sustainable financial support be taken. These actions include drafting specific laws and regulations, establishing a centralized and powerful database, forming a multi-stakeholder advisory committee with the participation of various entities, and allocating sustainable financial resources for the advancement and development of the environmental cadastre.



NUMBER OF REFERENCES

33



NUMBER OF FIGURES

9



NUMBER OF TABLES

4

مقاله پژوهشی

آشکارسازی ساخت‌وسازهای غیرمجاز بر اراضی جنگلی در چارچوب کاداستر محیط‌زیست: مطالعه موردی روستای لالون

حمیدرضا بابایی فرد، سعید صادقیان، علیرضا قراگوزلو*

گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: فعالیت‌های ساخت‌وساز غیرمجاز در اراضی جنگلی باعث نگرانی‌های زیادی شده است. کاداستر محیط زیست به‌عنوان ابزار اساسی برای ارائه اطلاعات دقیق مکانی، حقوقی و زیست محیطی مورد توجه قرار می‌گیرد و باعث نظارت دقیق، مدیریت زمین و توسعه پایدار می‌شود.

روش‌ها: در این تحقیق، از یک روش تحقیق ترکیبی کیفی و کمی استفاده شده است. رویکرد کیفی شامل تحلیل چارچوب قانونی و نظارتی کاداستر و بررسی ترتیبات نهادی و مشارکت ذینفعان بوده است. از سوی دیگر، رویکرد کمی شامل تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و پیاده‌سازی کاداستر برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و ساخت ویلا در اراضی جنگلی می‌باشد. برای شناسایی ویلاسازی‌ها در مناطق جنگلی روستای لالون، از ابزارهای جمع‌آوری داده مانند تصاویر گوگل ارث بهره گرفته شده است. سپس با استفاده از الگوریتم‌های نظارت شده حداکثر احتمال، تصاویر طبقه‌بندی شده و نقشه کاربری اراضی تهیه شده است. در نهایت، نقشه کاداستر ۵۰۰۰/۱ روستای لالون تهیه شده و ایده اجرای کاداستر محیطی در این منطقه مورد بررسی قرار گرفته است.

یافته‌ها: در نتایج مطالعه کاربری اراضی در روستای لالون در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴، تغییرات قابل توجهی مشاهده شد. افزایش مناطق مسکونی در زمین‌های جنگلی نشان‌دهنده تأثیرات زیست محیطی نامطلوب است. این تغییرات، باعث به خطر افتادن اکوسیستم و توازن زیستی منطقه و افزایش جمعیت شده است. در این مطالعه، ضریب کاپا برای سال‌های ۲۰۱۱ با مقدار ۰/۹۰۲ و برای سال ۲۰۲۴ با مقدار ۰/۹۴۵، به عنوان شاخصی از تفاوت‌های کاربری اراضی در روستای لالون، مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین، دقت کلی تحقیق برای سال ۲۰۱۱ به میزان ۹۲/۷۰۳٪ و برای سال ۲۰۲۴ به میزان ۹۶/۴۰۵٪ محاسبه شده است. نتایج حاکی از اهمیت و دقت بالا در تشخیص تغییرات کاربری اراضی در روستای لالون می‌باشد. ارزیابی پیاده‌سازی کاداستر زیست محیطی برای ساخت‌وساز ویلاها در مناطق جنگلی روستای لالون نشان می‌دهد که نیاز به استراتژی‌های مدیریت زمین مؤثر وجود دارد و عملکرد سیستم کاداستر زیست محیطی قادر به تشخیص تغییرات اراضی و برنامه‌ریزی حفاظتی است. این تحقیق بر اهمیت گنجاندن ملاحظات زیست محیطی در فرآیندهای نقشه‌برداری کاداستر تأکید دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های این مطالعه، استفاده بهینه از کاداستر محیط زیست در ایران جهت حفاظت از منابع طبیعی و حفظ پایداری زیستگاه‌ها به‌عنوان یک اقدام بسیار حیاتی تلقی می‌شود. رعایت قوانین و مقررات زیست محیطی در هنگام اجرای فرآیندهای توسعه و احداث سازه‌ها برای همه یکسان و غیرقابل انکار می‌باشد. پیاده‌سازی کاداستر محیط زیست نیازمند همکاری سازمان‌های دولتی، تخصص فنی، بهره‌وری از فناوری‌های پیشرفته و مشارکت جامعه است. این تحقیق، نشان می‌دهد که پیاده‌سازی کاداستر محیط زیست نقش مهمی در حفظ توازن بین توسعه و حفاظت از محیط زیست دارد. به‌منظور بهبود بهره‌وری سیستم کاداستر محیطی در ایران، پیشنهاد می‌شود که اقداماتی همچون تقویت چارچوب قانونی، بهبود مدیریت داده‌ها، ارتقای فن‌آوری، افزایش مشارکت ذینفعان و تضمین تامین مالی پایدار انجام شود. این اقدامات شامل تدوین قوانین و مقررات مخصوص، ایجاد پایگاه داده متمرکز و قدرتمند، تشکیل کمیته مشورتی چندجانبه با حضور نهادهای مختلف و تخصیص منابع مالی پایدار برای پیشرفت و توسعه کاداستر محیط زیست می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۹ دی ۱۴۰۲

تاریخ داوری: ۲۲ اسفند ۱۴۰۲

تاریخ اصلاح: ۰۱ فروردین ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۰۶ اردیبهشت ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

کاداستر محیط زیست

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

سیستم اداره زمین

سیستم اطلاعات مکانی

توسعه پایدار

* نویسنده مسئول

a_gharagozlo@sbu.ac.ir

۰۹۱۲-۱۳۰۹۰۹۸

مقدمه

روش‌ها اغلب فاقد وضوح فضایی مورد نیاز برای شناسایی دقیق و توصیف پیشرفت‌های کوچک مقیاس، مانند ویلاهای فردی، به‌ویژه در مناطق با پوشش گیاهی متراکم هستند [۲۵ و ۲۶ و ۲۷ و ۲۸]. علاوه بر این، فرکانس زمانی جمع‌آوری داده‌ها از این ماهواره‌ها ممکن است برای ثبت ماهیت سریع و پویای فرآیندهای شهرنشینی، به‌ویژه در اقتصادهای نوظهور کافی نباشد [۲۹].

روش تحقیق

در این تحقیق، یک رویکرد ترکیبی از روش‌های کیفی و کمی به‌کار گرفته شده است. رویکرد کیفی شامل تجزیه و تحلیل چارچوب قانونی و نظارتی حاکم بر کاداستر محیط زیست در کشور و همچنین، بررسی ترتیبات نهادی و مشارکت ذینفعان در اجرای کاداستر می‌باشد. از سوی دیگر، رویکرد کمی شامل تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی از جمله تصاویر و نقشه‌های کاداستر برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و ساخت ویلا در اراضی جنگلی روستای لالون است. این روش منحصر به فرد امکان تجزیه و تحلیل چند وجهی از اجرای کاداستر زیست محیطی را به ارمغان می‌آورد و اطمینان می‌دهد که درک جامعی از موضوع به‌دست آید. برای پیگیری تغییرات کاربری اراضی، یک روش تحقیق دقیق و ساختارمند به‌کار گرفته شده و با دقت اجرا شده است. این فرآیند، با بررسی جامع ادبیات مرتبط با کاداستر محیطی، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و شیوه‌های توسعه پایدار آغاز شده است. این بررسی ادبیات به‌عنوان پایه‌ای برای مفهوم‌سازی چارچوب تحقیق و شناسایی شکاف‌ها در دانش موجود عمل کرده است.

منطقه مورد مطالعه

در تلاش برای شناخت تأثیرات پیاده‌سازی کاداستر محیط زیست، منطقه مورد مطالعه، مبنا و سنگ بنای پژوهش ما را تشکیل می‌دهد. جامعه پژوهش این مقاله، روستای لالون می‌باشد که تحلیل دقیقی درباره ویلاننشینی در مناطق جنگلی این منطقه صورت گرفته است. با استفاده از یک فرآیند دقیق، محدوده‌هایی که ساخت ویلاها در مناطق حساس محیط زیستی وجود داشته یا تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، شناسایی شده است. این تجزیه و تحلیل عمیق از منطقه مورد مطالعه تحقیق، نه تنها درک ما از چالش‌های زیست محیطی را تقویت می‌کند، بلکه مسیری برای مداخلات سیاستی آگاهانه و رویکردهای مدیریت پایدار زمین فراهم می‌کند.

روستای لالان یا لالون، جزء روستاهای دهستان رودبار قصران واقع در بخش رودبار قصران شهرستان شمیران، استان تهران، ایران واقع شده است. این روستا، با جذابیت بصری خیره‌کننده‌اش، در فاصله ۴۵ کیلومتری از شمال تهران، ۷ کیلومتری از شمال شرقی شهر فشم، و ۱ کیلومتری از شمال روستای زایگان و جاده فشم به آبنیک، در عرض ۳۶ درجه شمالی و طول ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۲۴۱۸ متری از سطح دریا قرار واقع شده است که یک تکامل زیبا از طبیعت و

در سال‌های اخیر، تسریع فرآیند توسعه و شهرنشینی به چالش‌های قابل توجه در حوزه محیط زیست در کشورمان منجر شده است. از این رو، ارزیابی و نظارت بر وضعیت منابع طبیعی و دارایی‌های محیط زیستی ضروری می‌باشد [۱ و ۲]. فعالیت‌های ساخت‌وساز غیرمجاز در اراضی با پوشش گیاهی جنگلی، به یک نگرانی اساسی از منظر حفاظت و حراست از محیط زیست تبدیل شده است که نیازمند توجه فوری است [۳ و ۴ و ۵]. این اقدامات باعث به خطر افتادن اکوسیستم‌های جنگلی، کاهش تنوع بیولوژیکی و تخریب زیستگاه‌های طبیعی ارزنده می‌شود [۶ و ۷].

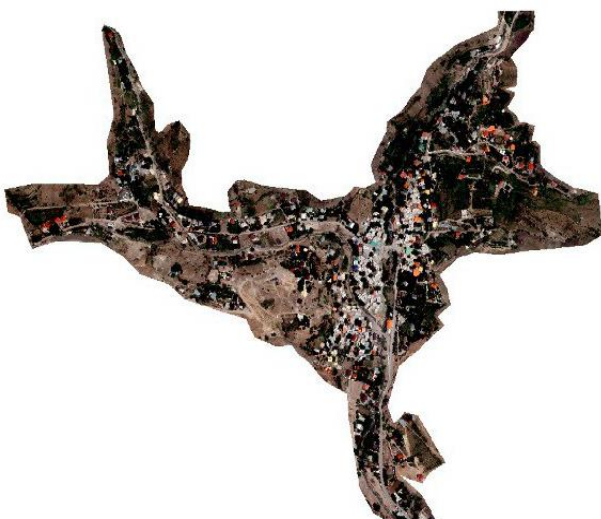
سیستم‌های کاداستر سنتی، که اصولاً بر مالکیت زمین و تراکم مرزی دارایی‌ها متمرکز هستند، به‌طور گسترده فاقد داده‌های زیست‌محیطی مورد نیاز برای مدیریت مؤثر اراضی جنگلی می‌باشند [۸ و ۹]. این نقصان در قدرت نظارت و کنترل مؤثر بر ساخت و سازهای غیرمجاز، به‌ویژه در مناطقی که دچار فقدان چارچوب‌های نظارتی قوی هستند، محدودیت‌هایی را بر جای می‌گذارد [۱۰]. به‌منظور پاسخ‌گویی به این محدودیت‌ها، این مطالعه یک رویکرد نوین را ارائه می‌دهد که اصول و مبانی چارچوب کاداستر محیطی را شامل می‌شود. این چارچوب داده‌های فضایی مرتبط با مالکیت زمین، خصوصیات زیست محیطی و فعالیت‌های کاربری زمین را ادغام می‌نماید و تحلیل جامع و کاملی از مدیریت زمین ارائه می‌دهد [۱۱]. ارزیابی کاداستر محیطی به‌عنوان ابزاری بسیار حیاتی برای تصمیم‌گیران، سیاست‌گذاران و ذینفعانی که در فعالیت‌های مدیریت محیطی مشغول هستند عمل می‌کند [۱۲]. این نوع ارزیابی اطلاعات ارزشمندی را درباره توزیع و کیفیت منابع طبیعی، تغییرات کاربری اراضی و تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط فراهم می‌کند [۱۳].

در پژوهش‌های گذشته، اثرات مخرب ساخت‌وسازهای غیرمجاز بر روی زمین‌های جنگلی مورد تأکید قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، تولدو و همکاران، بر تأثیرات منفی این ساخت‌وسازها بر اکوسیستم‌های جنگلی تأکید کرده‌اند [۱۴]، در حالی که تینگو و همکاران، به بررسی تأثیرات حفاظت از تنوع زیستی پرداختند [۱۵]. چالش‌های موجود در نظارت بر ساخت‌وسازهای غیرمجاز با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور توسط یووانویچ و همکاران، مورد بحث قرار گرفت [۱۶]. همچنین، سانچز فرناندز و همکاران، یک مرور بر یکپارچه‌سازی سنجش از دور و GIS برای شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز ارائه کردند [۱۷]. به علاوه، هی و همکاران، یک رویکرد سنجش از دور برای نقشه‌برداری ساخت و سازهای غیرمجاز در زمین‌های جنگلی ارائه دادند [۱۸]، در حالی که خو و همکاران، تکنیک‌های سنجش از دور را برای نظارت بر ساخت‌وسازهای غیرمجاز مورد بررسی قرار دادند [۱۹].

مطالعات قبلی عمدتاً بر روی کمی کردن میزان جنگل‌زدایی و تحلیل الگوهای تغییر کاربری زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مانند Landsat، Sentinel و MODIS متمرکز بوده‌اند که اغلب از تکنیک‌های سنجش از دور استفاده می‌کنند [۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴]. با این حال، این



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۱
Fig. 1: Study area in 2011



شکل ۲: منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۴
Fig. 2: Study area in 2024

طبقه‌بندی تصاویر

انجام طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم‌های یادگیری ماشینی، یک فعالیت مهم و حیاتی در حوزه پردازش تصاویر است که پژوهش‌گران را برای توسعه روش‌های بهبود یافته در این حوزه، هدایت می‌کند. این الگوریتم‌ها با تحلیل ویژگی‌های مختلف تصاویر، ارزش‌های رقومی را به‌منظور تفکیک اشیاء یا پدیده‌های مختلف از یکدیگر به گروه‌هایی با مشخصه‌های همگن تقسیم می‌کنند. بررسی نمونه‌های آموزشی جهت تحلیل و تصنیف تصاویر از اهمیت بالایی برخوردار است و انتخاب نمونه‌های آموزشی از طبقات مختلف کاربری اراضی معمولاً مبتنی بر استفاده از ابزار (Region of Interest) ROI صورت می‌گیرد. در این روند، مناطق مختلف از جمله مناطق جنگلی، سایت‌های ساخت ویلا و دسته‌های دیگر کاربری با دقت انتخاب می‌شوند. نمونه‌های آموزشی انتخاب شده باید تنوع کافی داشته باشند تا الگوریتم‌های تحلیل تصاویر بتوانند به‌درستی اقدام به تصنیف نواحی در تصاویر کنند. این اقدامات، با استفاده از ابزارهای نرم‌افزار ENVI، فرآیند تحلیل و تفسیر

زیبایی‌های خود را به تماشاگران‌اش ارائه می‌دهد و به‌عنوان یک مقصد مناسب برای گردش و تفریح یک‌روزه مطرح است. این روستا، به‌دلیل فراوانی گل‌های زیبای لاله در این منطقه، به لاله‌گون شهرت داشته و در گذر زمان به نام "لالون" شناخته شده است. لالون همانند اسمش نشان‌دهنده رنگارنگی لاله‌های فراوان در رنگهای سرخ و زرد در این منطقه است. روستای لالان، در نقطه تلاقی دو دره زیبا قرار گرفته است، که پس از ادغام به یکدیگر، به سمت جنوب ادامه می‌یابند. این منطقه جذاب، از نظر جغرافیایی در قلب روستا قرار دارد و رودخانه لالان از این میان عبور می‌کند. دره شمال‌شرقی با نام تنگه ورزاب شناخته می‌شود و دره شمال‌غربی که به نام تنگه لپه‌سنگ یا ریگ‌چال نامیده می‌شود. رودی که از تنگه ورزاب سرچشمه می‌گیرد، با نام گت روآرک (روزآرک بزرگ) شناخته می‌شود و رودی که از تنگه لپه‌سنگ جاری است، به نام کوشک روآرک (روزآرک کوچک) مشهور است.

داده‌های مورد استفاده

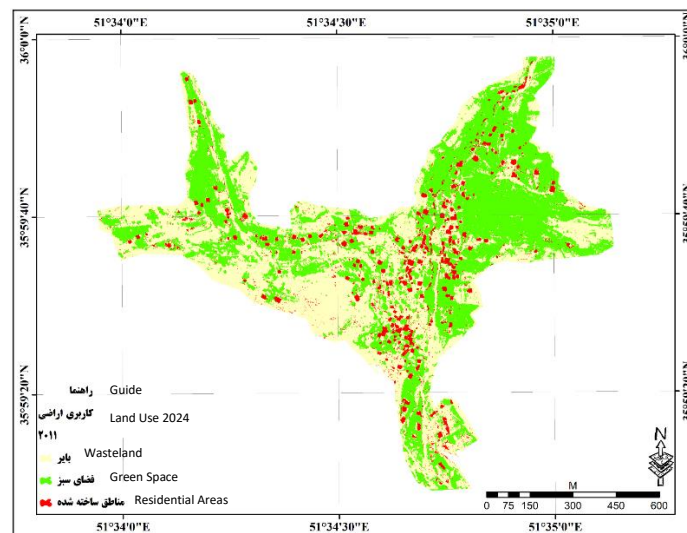
در فرآیند پیاده‌سازی کاداستر محیط زیست، تشخیص مختصات عقارات بر اساس قانون جامع حدنگار، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این فرایند می‌بایست با استفاده از دستگاه گیرنده جی‌پی‌اس و توتال استیشن از طریق نقشه‌های زمینی انجام و پس از تثبیت مختصات، اسناد ثبتی صادر می‌شوند. با توجه به مواجهه با چالش‌های متعدد نظیر اختلافات مالکیتی، مسائل قومی و فرهنگی، مناطق دشوارالوصول و پرخطر، که ممکن است امکان مراجعه مستقیم به محل ملک را از بین ببرد، فرایند پیاده‌سازی کاداستر محیط زیست با مشکلات زیادی روبه‌رو است. از این رو، تحقیق حاضر به روش استفاده از اسناد هم‌پوشانی شده موجود در گوگل ارث انجام گرفت. علاوه بر این، از نظر هزینه و زمان، روش استفاده از تصاویر رایگان گوگل ارث نسبت به روش زمینی بسیار مقرون به‌صرفه محسوب می‌شود.

برای تهیه تصاویر مدنظر از گوگل ارث، از نرم‌افزار AllMapSoft Google Earth Images Downloader استفاده شده است. این نرم‌افزار به کاربر این امکان را می‌دهد که با وارد کردن مختصات چهار گوشه منطقه مورد نظر، تصاویر مربوط به آن منطقه را با هر زوم دلخواهی دانلود کند. سپس با استفاده از همین نرم‌افزار، می‌توان این تصاویر موزاییکی دانلود شده را به هم چسبانده و تصاویر با کیفیت بالا و مطمئنی از منطقه مد نظر را به دست آورد.

تصاویر با وضوح بالا و با زوم ۲۰ برای سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۴ دریافت شده‌اند. به‌منظور افزایش دقت تحلیل، از نرم‌افزار ENVI برای انجام برش‌های صحیح و دقیق از منطقه مورد بررسی استفاده می‌شود. این برش‌ها با استفاده از subset data via ROIs از تصاویر استخراج می‌شوند. این روش، این امکان فراهم می‌کند تا با کنارگذاشتن مناطق اطراف مورد بررسی که شامل کوهستان و بیابان است، به دقت بیشتری در طبقه‌بندی و تحلیل داده‌ها دست یابیم. این برش‌ها، نقشی بسیار حیاتی در نمایش دقیق‌تر و تجزیه و تحلیل عمیق‌تر اطلاعات مکانی دارند و به بهبود تفسیر نتایج کمک می‌کنند.

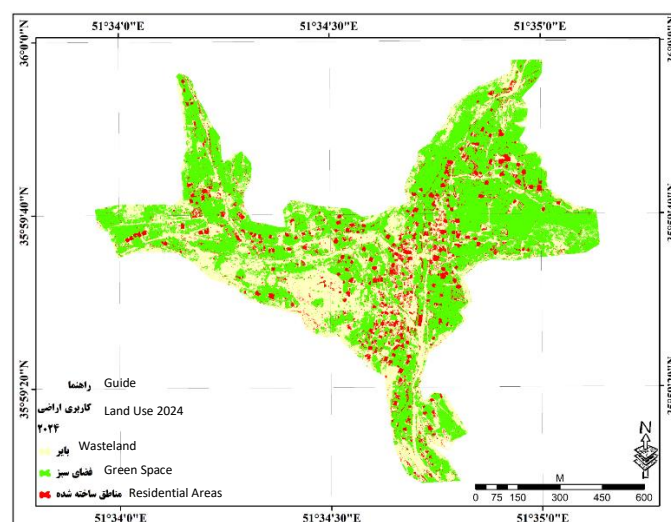
فایل خروجی ذخیره می‌کنیم. سپس، با استفاده از Tools > Color Mapping > Class Color Mapping، نام و رنگ کلاس‌های مشخص شده را تعیین می‌نماییم. استفاده از این روش پیشرفته و دقیق در تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، امکان تولید نقشه کاربری اراضی با دقت بالا را فراهم می‌کند که در حوزه‌های مختلف از جمله برنامه‌ریزی شهری، کشاورزی و محیط زیست قابل استفاده است. به طور خلاصه، روش طبقه‌بندی نظارت شده با الگوریتم حداکثر احتمال به‌عنوان یک روش قابل اعتماد و دقیق در تولید نقشه کاربری اراضی شناخته شده است. در این‌جا، نتایج طبقه‌بندی دو تصویر مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۴ از روستای لالون مورد بررسی قرار گرفته است. نقشه‌های طبقه‌بندی مربوط به این دو سال برای روستای لالون، در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

تصاویر را بهبود می‌بخشد و در پروژه‌های تحقیقاتی، طبقه‌بندی تصاویر به دو شکل نظارت شده و نظارت نشده صورت می‌گیرد. در این مقاله، از روش طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال (MLC) در نرم‌افزار ENVI بر روی تصاویر ارائه شده توسط Google Earth برای شناسایی و تحلیل تغییرات در الگوهای استفاده از زمین در طول زمان استفاده شده است. برای انجام طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال (MLC) در نرم‌افزار ENVI، در ابتدا، با ورود به بخش Classification > Supervised > Maximum Likelihood، فایل تصویر منطقه را بارگیری کرده و محدوده مکانی مورد نظر را تعیین می‌کنم. سپس، با معرفی مناطق آموزشی توسط (ROI) و انتخاب نمونه‌های آموزشی، الگوریتم MLC را اجرا می‌کنم. این الگوریتم به هر پیکسل احتمال تعلق به یک کلاس خاص را اختصاص می‌دهد. با تنظیمات دقیق از جمله حد آستانه و مقیاس داده، خروجی الگوریتم MLC را در



شکل ۳: نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۱

Fig. 3: Land use map in 2011



شکل ۴: نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۴

Fig. 4: Land use map in 2024

اراضی قرار گرفته است. افزایش مناطق مسکونی به عنوان یکی از جنبه های اصلی این تحولات مشاهده شده است. این تغییرات، با عوامل گوناگونی از جمله اقتصادی و اجتماعی منطقه در ارتباط است. این تحولات، منجر به تغییرات به سزایی در اکوسیستم محیطی گردیده اند و لازم است رویکردهای دقیقی برای مدیریت صحیح منابع طبیعی و حفظ تعادل اکولوژیکی اتخاذ گردد.

به منظور مقایسه مساحت های اراضی به کاربردهای بایر، فضای سبز، و مناطق ساخته شده در روستای لالون برای دوره های سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۴، به وسیله ی شکل ۵ تصویری دقیق و واضح ارائه شده است.

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

از ابزار آشکارسازی تغییرات یا Change Detection در نرم افزار انوی برای آشکارسازی تغییرات تصاویر طبقه بندی شده استفاده می نماییم. نتایج به دست آمده نشان می دهد که در طول این سال ها، الگوی کاربری اراضی در روستای لالون به طور قابل توجهی تغییر کرده است. نقشه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی بین سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۴ در شکل ۶ قابل مشاهده است.

بررسی تحلیلی نتایج نشان می دهد که در طول سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴، کاربری اراضی در روستای لالون تحولات قابل توجهی را تجربه کرده است. از مقایسه و آشکارسازی تغییرات دو نقشه کاربری می توان نتایج گوناگونی از جمله مساحت و درصد مساحت زمین های بایر، فضای سبز و مناطق ساخته شده را استخراج کرد.

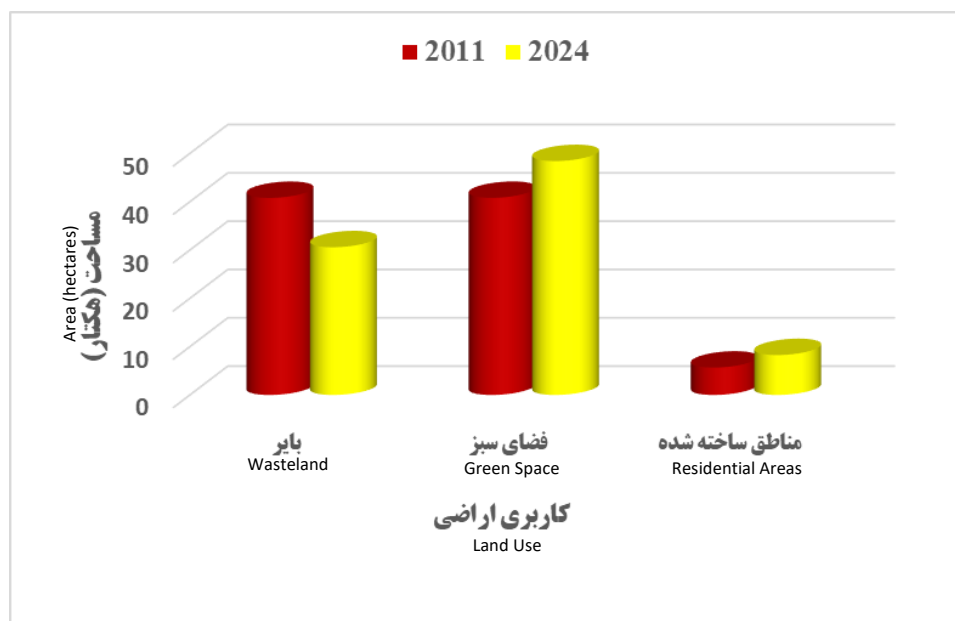
در سال ۲۰۱۱، مساحت زمین های بایر ۴۰/۷۹ هکتار و درصد مساحت آن در کل اراضی ۴۶/۷۴٪ بود. اما در سال ۲۰۲۴، مساحت زمین های بایر به ۳۰/۵۸ هکتار و درصد مساحت آن به ۳۵/۰۴٪ کاهش یافت. در مورد فضای سبز، در سال ۲۰۱۱ مساحت آن ۸/۴۰ هکتار بود و درصد مساحت آن ۴۶/۷۶٪ بود. اما در سال ۲۰۲۴، مساحت فضای سبز به ۴۲/۴۸ هکتار و درصد مساحت آن به ۴۸/۵۵٪ افزایش یافت. در نهایت، مناطق ساخته شده در سال ۲۰۱۱ به مساحت ۵/۶۷ هکتار و درصد مساحت آن ۶/۵٪ بود. اما در سال ۲۰۲۴، مساحت مناطق ساخته شده به ۸/۲۷ هکتار و درصد مساحت آن به ۹/۴۷٪ افزایش یافت.

نتایج تحلیل های انجام شده نشان می دهد که در طول دوره مورد بررسی، روستای لالون به طور قابل توجهی تحت تغییرات در الگوی کاربری

جدول ۱: مساحت و درصد مساحت کاربری اراضی سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۴

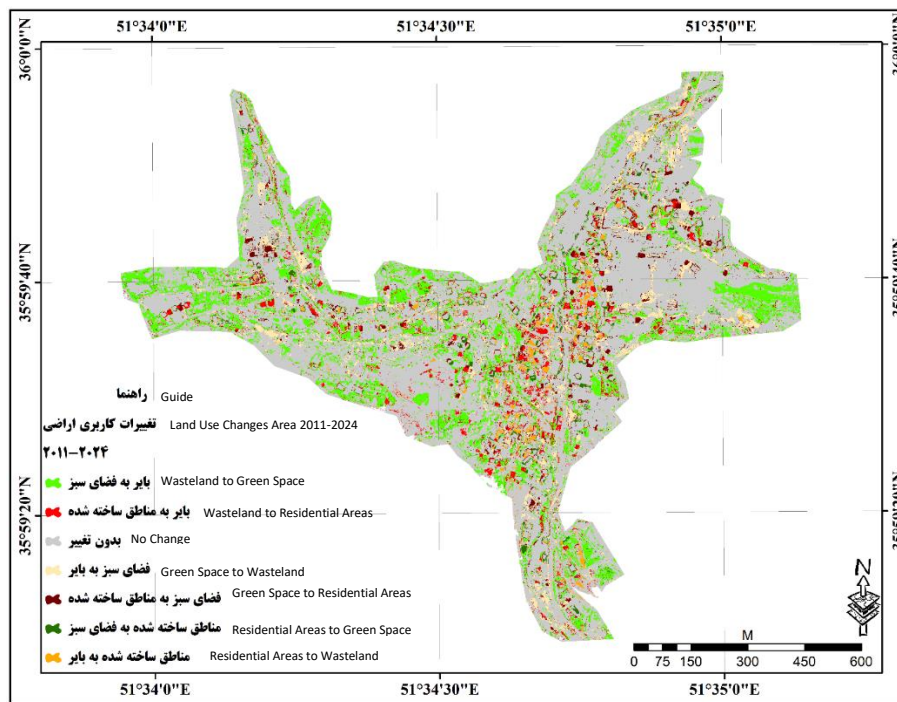
Table 1: Land Area and Percentage of Land Use in 2011 and 2024

کاربری اراضی Land Use	2011		2024	
	مساحت (هکتار) Area (hectares)	درصد مساحت Percentage of area	مساحت (هکتار) Area (hectares)	درصد مساحت Percentage of area
بایر Wasteland	40.79	46.74	30.58	35.04
فضای سبز Green Space	40.80	46.76	48.42	55.48
مناطق ساخته شده Residential Areas	5.67	6.50	8.27	9.47



شکل ۵: نمودار مساحت کاربری اراضی سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۴

Fig. 5: Land Use Area Chart for the years 2011 and 2024



شکل ۶: نقشه تغییرات کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۲۴

Fig. 6: Map of Land Use Changes for the years 2024-2011

از آن‌جا که دقت و روش‌های این تحقیق مطابق با استانداردهای علمی بوده است، نتایج حاصله، قابل اطمینان و قابل اعتنا می‌باشند.

تهیه نقشه کاداستر محیط زیست

به منظور ایجاد نقشه‌های کاداستر محیط زیست، ابتدا با استفاده از نرم افزار گوگل ارث، محدوده‌های مورد نظر را مشخص کرده و به صورت یک فایل KML ذخیره شدند. سپس، این فایل KML را در نرم افزار ArcGIS وارد شده و به فرمت SHP که یک فرمت سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است تبدیل شدند. در مرحله بعدی، منطقه مورد مطالعه را به دو بخش کاربری مسکونی و فضای سبز تقسیم کرده و با استفاده از ابزارهای داخلی نرم‌افزار ArcGIS، نقشه کارتوگرافی مورد نظر، طراحی و تهیه شدند. این روش‌ها و ابزارهای استفاده شده برای تهیه نقشه کاداستر محیط زیست، کمک کرد تا تحلیل و نمایش اطلاعات محیط زیست، با دقت بالایی صورت پذیرد. به‌طور کلی، این روش‌های پیشرفته برای تهیه نقشه کاداستر محیط زیست، نشان می‌دهد که با بهره‌گیری از فناوری‌های مدرن، می‌توان به بهبود مدیریت منابع طبیعی و حفاظت از محیط زیست کمک کرد. این فعالیت‌ها با استفاده از ابزارهای هوشمند، مبتنی بر داده، بهبود قابل ملاحظه‌ای در فرآیندهای تصمیم‌گیری مرتبط با محیط زیست به همراه خواهد داشت. در شکل ۸ نقشه کاداستر محیط زیست با مقیاس ۱/۵۰۰۰ از منطقه مورد مطالعه یعنی روستای لالون قابل مشاهده است.

در مواردی که ساختمان‌های غیرقانونی یا مخالف با مقررات حفاظت محیط زیست در مناطقی همچون روستای لالون احداث می‌شوند، اهمیت بحث حقوقی بسیار چشم‌گیر است. به‌عنوان مثال، در حوزه

نتایج این تحقیق، نشان می‌دهد که در طول سال‌های مورد مطالعه، مساحت مناطق ساخته شده افزایش یافته‌اند. با توجه به تحلیل‌های انجام شده، مشخص شده است که این تغییرات در کاربری اراضی نه تنها بر منابع طبیعی و محیط زیست تأثیراتی دارند، بلکه ممکن است بر جوامع محلی و اقتصاد منطقه نیز تأثیرگذار باشند و به تغییرات در مصرف منابع طبیعی، افزایش گرمایش جهانی و تأثیرات زیست محیطی منجر شود. بنابراین، مطالعات بیشتر در این زمینه و اتخاذ سیاست‌های مناسب برای مدیریت بهینه منابع ضروری به‌نظر می‌رسد. در شکل ۷، تحولات مساحت کاربری اراضی در روستای لالون از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ به دقت قابل مشاهده می‌باشد.

در این مقاله، یک پروژه بررسی دقیق تحقیقاتی در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی روستای لالون برای دوره زمانی مشخص شده از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ انجام داده شد.

در این تحقیق، برآورد ضریب کاپا برای دو زمان مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور خاص، مقادیر ضریب کاپا برای سال ۲۰۱۱ و ۲۰۲۴ به ترتیب برابر با ۰.۹۰۲ و ۰.۹۴۵ تخمین زده شده‌اند. این مقادیر، نشان‌دهنده تفاوت‌های موجود در کاربری اراضی روستای لالون در دو زمان مطرح شده است.

همچنین، دقت کلی حاصل از کار پژوهشی در سال ۲۰۱۱ با میزان ۹۲٪/۷۰۳ و در سال ۲۰۲۴ با میزان ۹۶٪/۴۰۵ محاسبه شده است. این نتایج، نشان از اهمیت و دقت بالای این پژوهش در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی روستای لالون دارد.

در نتیجه، این تحقیق می‌تواند به درک عمیق‌تری از تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات آنها در محیط زیست و جوامع محلی منطقه کمک کند.

می‌شوند، ممکن است به پیچیدگی‌های حقوقی برخورد کنند. در چنین مواقعی، ارائه داده‌ها و شواهد علمی و حقوقی برای اثبات عدم تطابق این ساختمان‌ها با استانداردهای محیط زیست و سامانه کاداستر محیط زیست، ضروری و غیرقابل انکار است.

به‌عنوان یک نمونه، اگر ساختمان‌ها باعث آسیب‌ها یا تغییرات غیرمطلوب در منابع طبیعی و محیط زیست شده باشند، اقدامات حقوقی مطابق با قوانین محیط زیست و سامانه کاداستر محیط زیست، می‌تواند به انجام برسد. برای دستیابی به این هدف، تجزیه و تحلیل دقیق و دقت در امر حقوقی و قانونی مرتبط با استفاده از منابع علمی مورد اعتماد، ضروری و حیاتی است.

حقوق بین‌الملل محیط زیست و همچنین در قالب قوانین محیط زیست داخلی کشور، نهادهای مربوطه ممکن است بنیان‌هایی برای برخورد متناسب با چنین تخلفاتی تدارک دیده باشند.

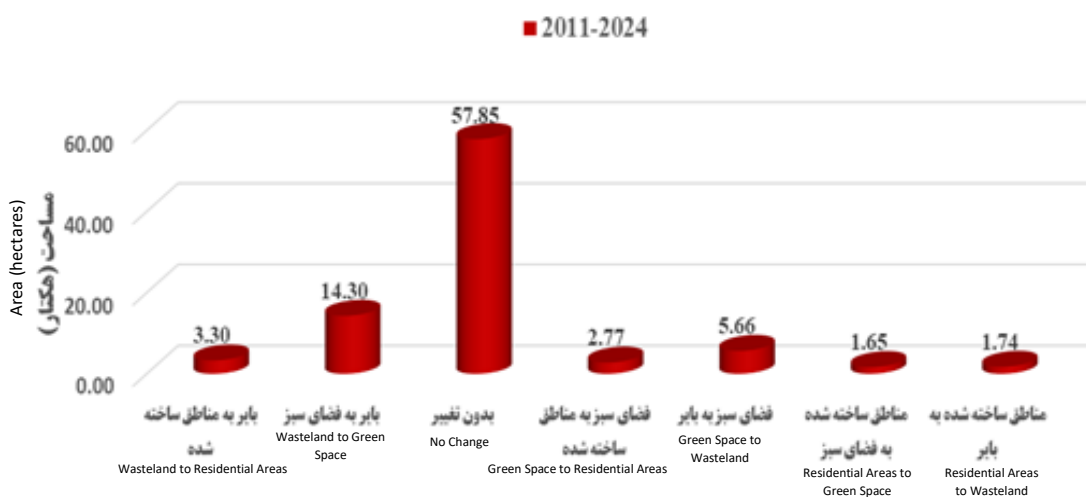
تشکیل یک سامانه کاداستر محیط زیست در این زمینه، می‌تواند به عنوان یک ابزار بسیار موثر برای شناسایی تغییرات غیرمجاز در کاربری اراضی و نظارت بر اعمال بنیادین غیرقانونی در زمینه ساخت‌وسازها مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا، فراهم کردن دسترسی به اطلاعات دقیق و جامع‌تری از وضعیت فیزیکی اراضی و ساختمان‌ها توسط سامانه کاداستر محیط زیست، تسهیل در روند اجرایی و قانونی و نیز افزایش سرعت در فرآیندهای اصلاحی خواهد داشت.

ساختمان‌هایی که خلاف مقررات محیط زیست در منطقه احداث

جدول ۲: مساحت و درصد مساحت تغییرات کاربری اراضی سال‌های ۲۰۲۴-۲۰۱۱

Table 2: Area and Percentage of Land Use Changes in the Years 2024-2011

تغییرات کاربری اراضی Land Use Changes Area	مساحت (هکتار) Area (hectares)	درصد مساحت Percentage of area
بایر به مناطق ساخته شده Wasteland to Residential Areas	3.30	3.78
بایر به فضای سبز Wasteland to Green Space	14.30	16.38
بدون تغییر No Change	57.85	66.30
فضای سبز به مناطق ساخته شده Green Space to Residential Areas	2.77	3.18
فضای سبز به بایر Green Space to Wasteland	5.66	6.48
مناطق ساخته شده به فضای سبز Residential Areas to Green Space	1.65	1.89
مناطق ساخته شده به بایر Residential Areas to Wasteland	1.74	1.99

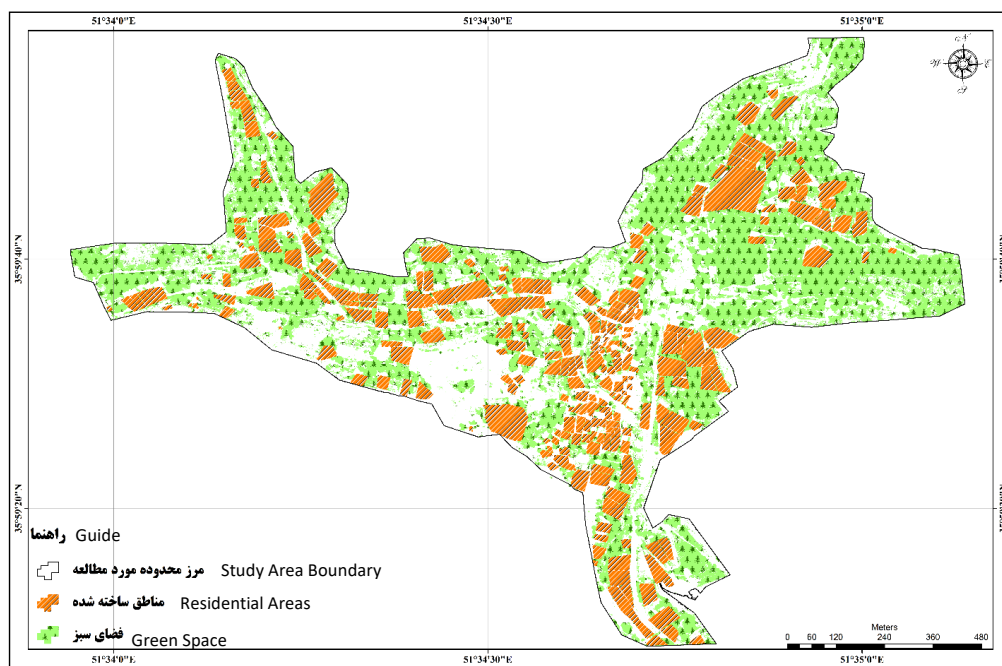


تغییرات کاربری اراضی

Land Use Changes Area

شکل ۷: نمودار تغییرات مساحت کاربری اراضی سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۱۱

Fig. 7: Chart illustrating changes in land use area for the years 2011 and 2024



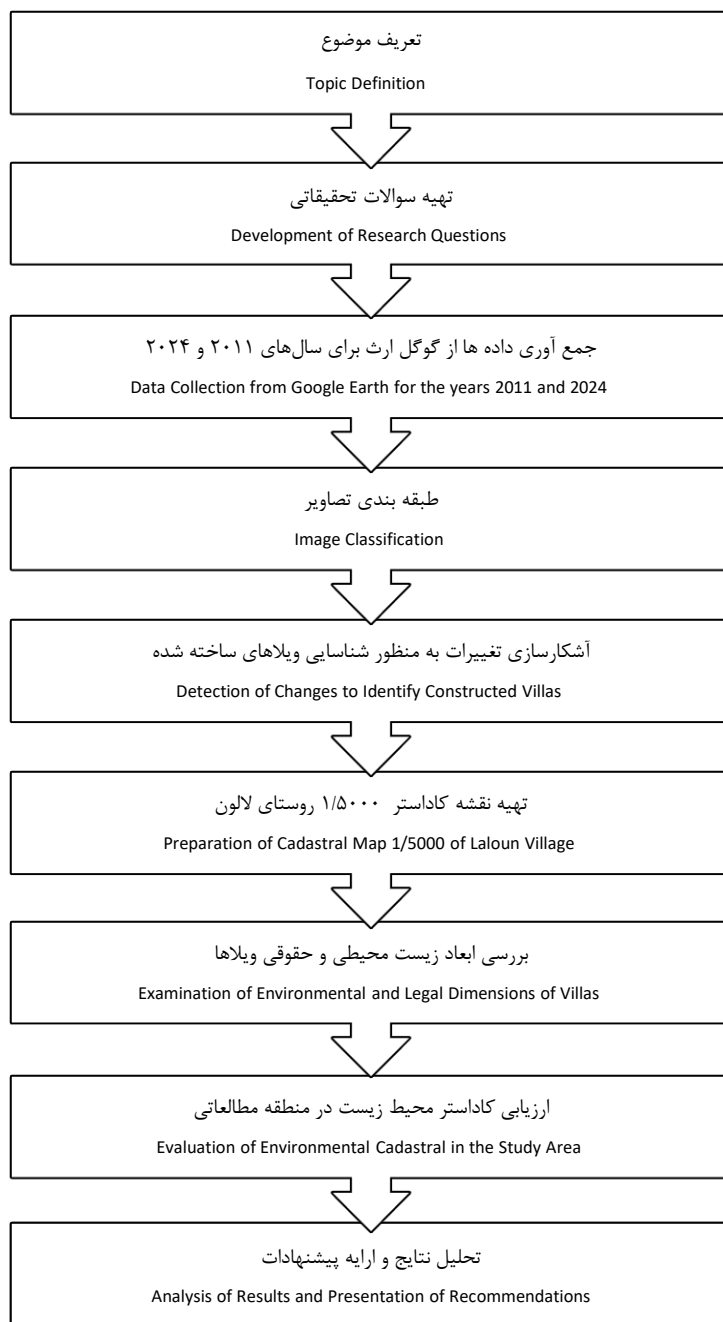
شکل ۸: نقشه کاداستر محیط زیست روستای لالون
Fig. 8: Cadastral map of the environmental area of Laloon village

عملکرد کاداستر محیط زیست

با توجه به اهمیت اجرای کاداستر زیست محیطی، دقت و کامل بودن داده‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. این امر، اطمینان و قابلیت اعتماد سیستم را افزایش می‌دهد. برای افزایش دقت داده‌ها، بررسی‌های میدانی دقیق و ارزیابی اعتبارسنجی لازم است. همچنین، دسترسی یکپارچه به داده‌های کاداستر برای ذینفعان امر حیاتی است. همچنین، کارایی و اثربخشی سیستم نیز بسیار حائز اهمیت است. اجرای مقررات و حفظ یکپارچگی محیطی برای بهبود کارایی اساسی است و تقویت سیستم‌های محلی جهت نظارت و حفظ یکپارچگی اجرایی ضروری محسوب می‌شود. تلفیق سیستم کاداستر با محیط‌های حقوقی و قانونی نیز برای پایداری و توسعه ضروری است. در نهایت، محیط کاربرپسند و در دسترس برای تمام ذینفعان اساسی برای موفقیت و اثربخشی سیستم محسوب می‌شود. مشارکت جوامع محلی و سازمان‌ها در برنامه‌ریزی کاربری زمین نقش مهمی دارد و ترویج مشارکت ذینفعان از طریق برنامه‌های آموزشی و کمپین‌های آگاهی‌بخشی نیز اهمیت دارد.

پیاده‌سازی سیستم کاداستر محیط زیست، بهبود فرآیندهای ثبت و اخذ سند زمین را تسهیل می‌کند و اثرات مثبت گسترده‌ای بر مدیریت منابع زمین و حفظ محیط زیست دارد. این پیاده‌سازی، منجر به شناسایی و کنترل ساخت‌وسازهای غیرمجاز در مناطق جنگلی می‌شود و به برنامه‌ریزی پیشرفته و تصمیم‌گیری بهینه برای مدیریت منابع کمک می‌کند. علاوه بر این، این سیستم توسعه پایدار، حفظ منابع طبیعی، کنترل و ارزیابی مستمر تغییرات محیطی، توانمندسازی جوامع محلی برای حفاظت از محیط زیست، حفظ یکپارچگی اکولوژیکی و تنوع زیستی، کاهش تخریب زمین و حفاظت از خاک و آب، ارائه دقیق اطلاعات به ذینفعان برای تصمیم‌گیری آگاهانه، بهبود برنامه‌ریزی

فضایی و کاربری اراضی، ارتقاء روش‌های بهره‌برداری پایدار از زمین، نظارت کارآمد بر تغییرات کاربری زمین، شناسایی و رفع ساخت‌وسازهای غیرمجاز، افزایش آگاهی ذینفعان در مورد مقررات زیست محیطی، رعایت بهتر الزامات قانونی و کاهش فعالیت‌های مضر، بهبود دقت و صحت اطلاعات، کنترل به موقع مشکلات احتمالی، بهبود کیفیت محیط زیست و افزایش درآمد دولت منجر می‌شود. همچنین، این سیستم به نظارت بهتر و کاهش ریسک‌های زیست محیطی و حل مسائلی از جمله کنترل شهرنشینی و کاهش فشار انسانی بر منابع زیست محیطی و افزایش اجرای مقررات حفاظت از محیط زیست کمک می‌کند. پروژه‌های پیاده‌سازی موفق کاداستر محیط زیست در سراسر جهان نشان داده است که برنامه‌های نظارتی مؤثر، اطلاعات جامع و دقیق درباره کاربری زمین و منابع طبیعی، و همکاری بین نهادها و جوامع محلی از اهمیت بالایی برخوردارند. این پروژه‌ها، مانند برنامه ملی نظارت بر محیط زیست و منابع در چین [۳۰]، برنامه منابع آبی ملی در ایالات متحده [۳۱]، اطلاعات کاداستر محیطی در ترکیه [۳۲] و اداره محیط زیست سیرالیون [۳۳]، به سیاست‌گذاران و جوامع کمک کرده‌اند تا الگوهای کاربردی زمین را بهتر درک کرده و استراتژی‌های پایدار برای مدیریت منابع طبیعی توسعه دهند. تحقیقات فعلی، نشان داده است که مشارکت جامعه، بهبود ساختارهای حاکمیتی، و استفاده از فناوری‌های مکانیکی و سیستم‌های اطلاعات مکانی می‌تواند به بهبود دقت و کارایی مدیریت داده‌های زیست محیطی کمک کند. این تجربیات نشان دهنده این است که ادامه تلاش برای غنی‌سازی گفتمان آکادمیک و بهبود عملکرد سیستم‌های کاداستر محیطی ضروری است تا به توسعه پایدار و حفظ تنوع زیستی در سطح جهان کمک شود.



شکل ۹: فلوچارت مراحل انجام کار
Fig. 9. Flowchart of the work process stages

جدول ۳: کاربردهای کاداستر در حوزه محیط زیست
Table 3: Applications of Cadastre in the Environmental Sector

تصمیم گیری حقوقی Legal decision-making	اقدامات حاکمیتی Governance actions	بازارها و ارزش گذاری Markets and valuation	کاربری زمین و محیط زیست Land use and the environment
پرونده های دادگاه زمین Land court cases	مالیات بر زمین Land tax	ارزیابی انبوه املاک و مستغلات Mass appraisal of real estate	پروژه های عمرانی و زیربنایی Construction and infrastructure projects
موارد مزاحم Disturbing items	مدیریت اراضی Land management	ارزش گذاری جنگلداری Valuation of forestry	حفاظت از میراث فرهنگی Protection of cultural heritage

جدول ۴: نقاط قوت سیستم کاداستر موجود
Table 4: Strengths of the existing cadastral system

نقاط قوت سیستم کاداستر موجود Strengths of the existing cadastral system include
تضمین دولت بر مالکیت املاک در اسناد، امنیت قانونی Government guarantee on property ownership in documents, legal security
خدمات سریع برای کاربر Fast services for users
پوشش کامل اطلاعات زمینی Comprehensive coverage of land information
سیستم جامع کامل و قابل اطمینان A complete and reliable comprehensive system
سیستم رایانه ای و اتوماتیکی، اطلاعات رقومی Computerized and automated system, digital information
خدمات سیستم برای اهداف دیگر (مبنایی برای LIS) System services for other purposes (basis for LIS)
تلفیق سیستم های مختلف Integration of various systems
نقشه برداری و ثبت زمین در یک سازمان Surveying and land registration in one organization
حمایت قانونی، مبنای قانونی Legal support, legal basis
مبنای خوب نقشه برداری Good basis for surveying
نیازهای محلی / انعطاف پذیری در خرید و فروش / تمرکز زدایی / ساختارها / مشارکت بخش خصوصی / بکارگیری سیستم ارزان / مشارکت اقتصادی / مدیریت متمرکز / تخصص Local needs / flexibility in buying and selling / decentralization / structures / private sector participation / cost-effective system deployment / economic participation / centralized management / expertise

در پیاده‌سازی سیستم کاداستر محیط زیست، محدودیت‌هایی وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرند. اولین محدودیت، در ارتباط با منابع مالی و فنی است که نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجه را ایجاد می‌کند. عدم تأمین منابع مالی می‌تواند موانع جدی برای پیاده‌سازی این سیستم ایجاد کند. همچنین، نیاز به زیرساخت‌های فنی قوی و منابع مالی برای بهره‌برداری و نگهداری پایدار از اهمیت بالایی برخوردار است. دومین محدودیت، مربوط به هماهنگی سازمانی است که شامل هماهنگی ناکارآمد بین سازمان‌های مختلف، تجمع نهادها بدون تقبل مسئولیت، عدم تمکین سازمان‌ها از یک موضوع حیاتی و مشکلات سیاسی می‌شود که می‌تواند به عدم هماهنگی و اشکالات بزرگ‌تر منجر شود. این محدودیت‌ها، نشان‌دهنده ضرورت اقدامات جدی و هوشمندانه برای پیشبرد و بهبود سیستم کاداستر محیط زیست است.

با توجه به محدودیت‌های فوق، برای حل مشکلات موجود در پیاده‌سازی سیستم کاداستر محیط زیست، اقدامات بسیار مهمی پیشنهاد می‌شود. اول، باید سرمایه‌گذاری قابل توجهی در زیرساخت‌های فنی و منابع مالی انجام شود تا منابع کافی برای پیاده‌سازی و بهره‌برداری از سیستم فراهم شود. دوم، هماهنگی بین سازمان‌ها باید بهبود یابد و تعهدات مشترک بین آن‌ها برقرار شود تا هماهنگی و همکاری مؤثرتری در راستای حفاظت از محیط زیست صورت گیرد. سوم، استراتژی‌های هدفمند برای ارتقاء کفایت کاداستر زیست محیطی باید اجرا شود. با این اقدامات،

جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، به ارزیابی پیاده‌سازی کاداستر محیط زیست در کشور پرداختیم. با تمرکز بر روستای لالون و تغییراتی که در آن برای سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۴ در نظر گرفته شد، به بررسی اثرات ویلاسازی در زمین‌های جنگلی پرداختیم.

تشخیص تغییرات و شناسایی ویلاهای ساخته شده، نشان داد که اجازه ساخت ویلا در مناطق زیست محیطی نباید داده می‌شد و با این حال،

در پیاده‌سازی سیستم کاداستر محیط زیست، محدودیت‌هایی وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرند. اولین محدودیت، در ارتباط با منابع مالی و فنی است که نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجه را ایجاد می‌کند. عدم تأمین منابع مالی می‌تواند موانع جدی برای پیاده‌سازی این سیستم ایجاد کند. همچنین، نیاز به زیرساخت‌های فنی قوی و منابع مالی برای بهره‌برداری و نگهداری پایدار از اهمیت بالایی برخوردار است. دومین محدودیت، مربوط به هماهنگی سازمانی است که شامل هماهنگی ناکارآمد بین سازمان‌های مختلف، تجمع نهادها بدون تقبل مسئولیت، عدم تمکین سازمان‌ها از یک موضوع حیاتی و مشکلات سیاسی می‌شود که می‌تواند به عدم هماهنگی و اشکالات بزرگ‌تر منجر شود. این محدودیت‌ها، نشان‌دهنده ضرورت اقدامات جدی و هوشمندانه برای پیشبرد و بهبود سیستم کاداستر محیط زیست است.

پروتکل‌های مدیریت قوی داده‌ها و اشتراک‌گذاری است. ادغام کاداستر زیست محیطی با سیستم‌های موجود اداره زمین و ادغام مکانیسم‌های مشارکت شهروندان نیز برای پایداری و اثربخشی بلندمدت آن بسیار مهم است.

در پایان، یافته‌های این مطالعه، نیاز مبرم به اجرای کاداستر زیست محیطی در ایران را برجسته می‌کند. ویلاسازی غیرمجاز در روستای لالون، به‌عنوان یک مطالعه موردی، چالش‌های پیش رو در ایجاد تعادل در حفظ محیط زیست و تقاضای کاربری زمین را نشان می‌دهد. توسعه یک سیستم جامع کاداستر زیست محیطی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار استراتژیک برای رسیدگی به این چالش‌ها، ترویج مدیریت پایدار زمین و تضمین حفظ بلندمدت منابع طبیعی و یکپارچگی اکولوژیکی کشور باشد.

بنابراین، پیاده‌سازی کاداستر محیط زیست به‌عنوان یک ابزار مدیریت منابع طبیعی، نقش مهمی در حفظ تعادل بین توسعه و حفاظت از محیط زیست دارد. امیدواریم که نتایج این مقاله، به بهبود فرآیندهای مدیریت منابع طبیعی و حفظ محیط زیست کمک کند.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از تمامی عزیزانی که در این تحقیق همکاری داشته‌اند، کمال قدردانی و سپاس خود را اعلام می‌نمایند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

- [1] Kalfas D, Kalogiannidis S, Chatzitheodoridis F, Toska E. Urbanization and Land Use Planning for Achieving the Sustainable Development Goals (SDGs): A Case Study of Greece. *Urban Sci.* 2023;7(2):43. doi:10.3390/urbansci7020043.
- [2] Ismaeili Fard M, Liaghati H, Saei A, Malek Mohammadi H. Challenges of environmental management regulations in Iran. *Environmental Sciences.* 2017;15(3):1-17.
- [3] Liu B, Song W, Meng Z, Liu X. Review of Land Use Change Detection—A Method Combining Machine Learning and Bibliometric Analysis. *Land.* 2023;12(5):1050. doi:10.3390/land12051050.
- [4] Gbanie SP, Griffin AL, Thornton A. Impacts on the Urban Environment: Land Cover Change Trajectories and Landscape Fragmentation in Post-War Western Area, Sierra Leone. *Remote Sens.* 2018;10(1):129. doi:10.3390/rs10010129.

چندین ویلا ساخته شده بود. این موضوع، نشان دهنده نقص‌های حقوقی و پیمایشی در فرآیند ساخت‌وساز در منطقه بود.

در ادامه، با تهیه نقشه کاداستر ۱:۵۰۰۰ روستای لالون، ایده اجرای کاداستر محیطی در منطقه مورد مطالعه را عملی کردیم. این اقدام، نشان دهنده امکانات و ابزارهای موجود برای مدیریت بهتر منابع طبیعی و حفظ محیط زیست در منطقه بود.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، مشخص است که اجرای کاداستر محیط زیست می‌تواند به حفظ منابع طبیعی و پایداری زیستگاه‌های جانوران و گیاهان کمک کند. همچنین، تأکید بر رعایت قوانین و مقررات زیست محیطی در فرآیند توسعه و ساخت‌وساز ضروری است تا مشکلات محیط زیستی کاهش یابد.

پیاده‌سازی کاداستر محیطی در کشور محور اصلی این مقاله بوده است. یافته‌های این مطالعه، نقش حیاتی کاداستر زیست محیطی را در رسیدگی به تضادهای کاربری زمین و ترویج شیوه‌های مدیریت پایدار زمین نشان می‌دهد.

ساخت‌وساز غیرمجاز ویلا در اراضی جنگلی روستای لالون، همان‌طور که از طریق تجزیه و تحلیل تصاویر گوگل ارث مشاهده شد، بر اهمیت مدیریت موثر زمین و اقدامات حفاظت از محیط زیست تأکید می‌کند. تجاوز فعالیت‌های انسانی به مناطق حساس اکولوژیکی نه تنها محیط طبیعی را تهدید می‌کند، بلکه نگرانی‌های قانونی و قضایی را نیز به‌دنبال دارد.

تهیه نقشه تفصیلی کاداستر روستای لالون به‌عنوان بخشی از تحقیق، امکان سنجی و مزایای بالقوه اجرای کاداستر زیست محیطی در کشور را نشان می‌دهد.

کاداستر محیط زیست، به‌عنوان یک سیستم اطلاعات جامع زمین، می‌تواند چارچوبی قوی برای نظارت و مدیریت تغییرات کاربری زمین، شناسایی فعالیت‌های غیرمجاز و اطلاع‌رسانی به فرآیندهای تصمیم‌گیری مرتبط با حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار فراهم کند.

با ادغام داده‌های مکانی، اطلاعات حقوقی و ویژگی‌های زیست‌محیطی، کاداستر محیطی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی، تخصیص منابع و حل تعارض عمل کند.

یافته‌های این مطالعه بر لزوم رویکردی هماهنگ و سیستماتیک برای اجرای کاداستر محیط زیست در ایران تأکید می‌کند. توسعه یک سیستم ملی کاداستر محیط زیست نیازمند همکاری سازمان‌های دولتی مختلف، از جمله وزارت کشاورزی، سازمان حفاظت از محیط‌زیست، و سازمان نقشه‌برداری کشور، در میان دیگران است. این تلاش مشترک یکپارچه سازی داده‌های مربوطه، ایجاد دستورالعمل‌ها و مقررات روشن، و اجرای موثر کاداستر زیست محیطی در سراسر کشور را تضمین می‌کند.

علاوه بر این، اجرای موفقیت‌آمیز کاداستر زیست‌محیطی مستلزم توسعه تخصص فنی تخصصی، پذیرش فناوری‌های پیشرفته جغرافیایی و ایجاد

- [18] He Y, Ma W, Ma Z, Fu W, Chen C, Yang CF, Liu Z. Using Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and a Monitoring Information System to Enhance the Management of Unauthorized Structures. *Appl Sci*. 2019;9(22):4954. doi:10.3390/app9224954.
- [19] Xu X, Zhou Y, Lu X, Chen Z. FERA-Net: A Building Change Detection Method for High-Resolution Remote Sensing Imagery Based on Residual Attention and High-Frequency Features. *Remote Sens*. 2023;15(2):395. doi:10.3390/rs15020395.
- [20] Hemati M, Hasanlou M, Mahdianpari M, Mohammadimanesh F. A Systematic Review of Landsat Data for Change Detection Applications: 50 Years of Monitoring the Earth. *Remote Sens*. 2021;13(15):2869. doi:10.3390/rs13152869.
- [21] Jiang J, Xing Y, Wei W, Yan E, Xiang J, Mo D. DSUNet: An Improved Forest Change Detection Network by Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 Images. *Remote Sens*. 2022;14(19):5046. doi:10.3390/rs14195046.
- [22] Wu L, Li Z, Liu X, Zhu L, Tang Y, Zhang B, Liu B. Multi-Type Forest Change Detection Using BFAST and Monthly Landsat Time Series for Monitoring Spatiotemporal Dynamics of Forests in Subtropical Wetland. *Remote Sens*. 2020;12(2):341. doi:10.3390/rs12020341.
- [23] Turton AE, Augustin NH, Mitchard ETA. Improving Estimates and Change Detection of Forest Above-Ground Biomass Using Statistical Methods. *Remote Sens*. 2022;14(19):4911. doi:10.3390/rs14194911.
- [24] Wang Z, Yao W, Tang Q, Liu L, Xiao P, Kong X, Wang Y. Continuous Change Detection of Forest/Grassland and Cropland in the Loess Plateau of China Using All Available Landsat Data. *Remote Sens*. 2018;10(11):1775. doi:10.3390/rs10111775.
- [25] Zhang T, Wu L, Liu X, Liu M, Chen C, Yang B, Zhang S. Detection of Forest Disturbances with Different Intensities Using Landsat Time Series Based on Adaptive Exponentially Weighted Moving Average Charts. *Forests*. 2024;15(1):19. doi:10.3390/f15010019.
- [26] Shi W, Zhang M, Zhang R, Chen S, Zhan Z. Change Detection Based on Artificial Intelligence: State-of-the-Art and Challenges. *Remote Sens*. 2020;12(10):1688. doi:10.3390/rs12101688.
- [27] Ren H, Ren C, Wang Z, Jia M, Yu W, Liu P, Xia C. Continuous Tracking of Forest Disturbance and Recovery in the Greater Khingan Mountains from Annual Landsat Imagery. *Remote Sens*. 2023;15(22):5426. doi:10.3390/rs15225426.
- [28] 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(15):2460. doi:10.3390/rs12152460.
- [29] Cai S, Liu D. Detecting Change Dates from Dense Satellite Time Series Using a Sub-Annual Change Detection Algorithm. *Remote Sens*. 2015;7(7):8705-8727. doi:10.3390/rs70708705.
- [5] Duguma LA, Atela J, Minang PA, Ayana AN, Gizachew B, Nzyoka JM, Bernard F. Deforestation and Forest Degradation as an Environmental Behavior: Unpacking Realities Shaping Community Actions. *Land*. 2019;8(2):26. doi:10.3390/land8020026.
- [6] Ntuke LT, Munishi LK, Treydte AC. Land Use Land/Cover Change Reduces Woody Plant Diversity and Carbon Stocks in a Lowland Coastal Forest Ecosystem, Tanzania. *Sustainability*. 2022;14(14):8551. doi:10.3390/su14148551.
- [7] Angelstam P, Bush T, Manton M. Challenges and Solutions for Forest Biodiversity Conservation in Sweden: Assessment of Policy, Implementation Outputs, and Consequences. *Land*. 2023;12(5):1098. doi:10.3390/land12051098.
- [8] Bennett RM, Koeva M, Asiama K. Review of Remote Sensing for Land Administration: Origins, Debates, and Selected Cases. *Remote Sens*. 2021;13(21):4198. doi:10.3390/rs13214198.
- [9] Buško M, Apollo M. Public Administration and Landowners Facing Real Estate Cadastre Modernization: A Win-Lose or Win-Win Situation? *Resources*. 2023;12(6):73. doi:10.3390/resources12060073.
- [10] Krigsholm P, Riekkinen K, Ståhle P. The Changing Uses of Cadastral Information: A User-Driven Case Study. *Land*. 2018;7(3):83. doi:10.3390/land7030083.
- [11] Kamara SM. Integration of GIS in the Development of an Environmental Cadastre Administrative System for the Environment Protection Agency Sierra Leone. *J Geogr Inf Syst*. 2019;11(4):411-428. doi:10.4236/jgis.2019.114026.
- [12] Rajabifard A, Stoter J, Kalantari M. Legal barriers to 3D cadastre implementation: What is the issue? *Land Use Policy*. 2013;35:379-387. doi:10.1016/j.landusepol.2013.06.010.
- [13] Helming K, Pérez-Soba M. Sustainability impact assessment of land use changes. *Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research*. 2008. doi:10.1007/978-3-540-78648-1.
- [14] Toledo E, Ochoa-Moreno WS, Alvarado R, Cuesta L, Murshed M, Rehman A. Forest Area: Old and New Factors That Affect Its Dynamics. *Sustainability*. 2022;14(7):3888. doi:10.3390/su14073888.
- [15] Tiengo R, Merino-De-Miguel S, Uchôa J, Gil A. A Land Cover Change Detection Approach to Assess the Effectiveness of Conservation Projects: A Study Case on the EU-Funded LIFE Projects in São Miguel Island, Azores (2002–2021). *Land*. 2024. doi:10.3390/land13050963.
- [16] Jovanović D, Gavrilović M, Sladić D, Radulović A, Govedarica M. Building Change Detection Method to Support Register of Identified Changes on Buildings. *Remote Sens*. 2021;13(16):3150. doi:10.3390/rs13163150.
- [17] Sánchez-Fernández M, Arenas-García L, Gutiérrez Gallego JA. Detection of Construction and Demolition Illegal Waste Using Photointerpretation of DEM Models of LiDAR Data. *Land*. 2023;12(12):2119. doi:10.3390/land12122119.



سعید صادقیان دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، دارای مدرک دکتری از دانشگاه تهران در رشته مهندسی نقشه برداری-فتوگرامتری است. وی علاوه بر تدریس در دانشگاه، دارای سوابق علمی و اجرایی بسیاری نیز می‌باشد. او به عنوان عضو هیأت

تحریریه نشریه علمی پژوهش‌های سنجش از دور و اطلاعات مکانی فعالیت دارد و تجربه ریاست آموزشکده نقشه برداری سازمان نقشه‌برداری کشور در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ را نیز دارا می‌باشد.

Sadeqian, S. Associate Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ sa_sadeghian@sbu.ac.ir



علیرضا قراگوزلو دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی، یک متخصص برجسته و فعال در زمینه محیط زیست و سیستم اطلاعات مکانی است. آثار او شامل بیش از ۵۵ مقاله کنفرانسی، ۲۹ مقاله ژورنالی و ۱۰ کتاب است. وی عضو هیأت

مدیره انجمن متخصصان محیط زیست ایران و همچنین عضو کمیسیون تخصصی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی وزارت علوم و تحقیقات و فناوری می‌باشد.

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

✉ a_gharagozlo@sbu.ac.ir

[30] Yu R, Mu Q. Implementation progress of Nature-based Solutions in China: A global comparative review. *Nature-Based Solutions*. 2023;4:100075. doi:10.1016/j.nbsj.2023.100075.

[31] Molnar JL, Kubiszewski I. Managing natural wealth: Research and implementation of ecosystem services in the United States and Canada. *Ecosystem Serv*. 2012;2:45-55. doi:10.1016/j.ecoser.2012.09.005.

[32] Ercan O. A closer look at Turkish cadastre and its successful completion. *Land Use Policy*. 2021;110:104951. doi:10.1016/j.landusepol.2020.104951.

[33] Kamara SM. Development of an Environmental Cadastre Administrative System by GIS integration for the Environment Protection Agency in Sierra Leone. Book Publisher International; 2020.

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



حمیدرضا بابایی‌فرد کارشناس ارشد سیستم‌های اداره زمین از دانشگاه شهید بهشتی است. وی، حائز رتبه ۲۰ کنکور کارشناسی ارشد مهندسی نقشه‌برداری و رتبه ۵ کنکور دکتری سیستم اطلاعات مکانی می‌باشد. او سابقه تدریس نقشه برداری از سال ۱۳۹۹ تاکنون را دارد. وی همچنین

نویسنده کتاب سیستم اداره زمین است و دارای بیش از ده مقاله پژوهشی و همایشی می‌باشد. علایق پژوهشی او در زمینه‌های پردازش تصاویر، تحلیل‌های مکانی، یادگیری ماشین و هوش مصنوعی است.

Babaeifard, H. Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ h.babaeifard@mail.sbu.ac.ir

Citation (Vancouver): Babaeifard H, Sadeghian S, Gharagozlo A. [Revealing Unauthorized Constructions on Forest Lands in the Framework of Environmental Cadastre: a Case Study of Lalon Village]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 141-154

doi <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10970.1066>



COPYRIGHTS

© 2024 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

Improving Classification Accuracy of High Spatial Resolution Images by Using Texture Quantization and Genetic Feature Selection

H. Ashoori

Department of Geomatics Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

ABSTRACT

Received: 06 March 2024

Reviewed: 07 April 2024

Revised: 02 May 2024

Accepted: 05 June 2024

KEYWORDS:

Classification

Feature Selection

Genetic Algorithm

High Spatial Resolution Image

Texture Quantization

* Corresponding author

ashoori@qiau.ac.ir

(+9828) 33670051

Background and Objectives: Texture quantization is a useful method for extracting spatial relevance between pixels, which is used in the human brain for image interpretation. Aside from spectral bands, textural features of high spatial resolution image can be used to improve classification accuracy. Finding proper textural features among available features is important for special case studies.

Methods: In this paper, two methods based on genetic algorithm (GA) are introduced to choose efficient features. The first is binary GA, which improves classification accuracies through selecting the best textural features. The second one is GA with a variable number of selected features in a refined and full feature space. Results show that the best combination does not necessarily consist of features with improved individual accuracy.

Findings: The proposed methods have better accuracy, less number of features, and less computational time when comparing with the simple GA. They could be used based on the number of spectral bands, number of generated features, and train and check pixel number. Second method needs more prerequisite time and could be used for images with fewer bands, train and check pixels, and generated features, because increasing these items increase computational time very much. Second method could be used in large images with more train and check pixels but led to more selected features.

Conclusion: Results obtained on three datasets indicate 7.7 to 50.48 percent improvement in mean accuracy.



NUMBER OF REFERENCES

24



NUMBER OF FIGURES

6



NUMBER OF TABLES

6

مقاله پژوهشی

انتخاب ترکیب بهینه ویژگی‌های بافتی به روش ژنتیک، به منظور طبقه‌بندی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا

حامد عاشوری

گروه مهندسی نقشه‌برداری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: بافت تصویر، به عنوان داده‌ای ارزشمند توسط ذهن انسان برای تفسیر تصویر استفاده می‌شود. کمی‌سازی بافت تصویر روشی کاربردی برای استخراج روابط مکانی بین پیکسل‌های تصویر است. از ویژگی‌های بافتی تولید شده از تصویر در کنار ویژگی‌های طیفی تصویر می‌توان برای بهبود کیفیت طبقه‌بندی استفاده کرد. با توجه به تنوع روش‌های کمی‌سازی بافت تصویر، انتخاب ویژگی‌های بهینه برای هر تصویر به صورت مستقیم روی دقت استخراج اطلاعات موثر است. الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از روش‌های بهینه‌سازی در کاربردهای مختلف استفاده می‌شود.

روش‌ها: در این مقاله دو روش انتخاب ویژگی بر پایه الگوریتم ژنتیک برای انتخاب ویژگی‌های بافتی تصویر ارائه شده است. در روش نخست، الگوریتم ژنتیک برای انتخاب بهترین ترکیب با طول متغیر از ویژگی‌های بافتی در دو حالت ورودی از کل فضای ویژگی و ورودی از فضای پالایش شده، تعریف شده است. در روش دوم الگوریتم ژنتیک برای انتخاب عدد متغیر ویژگی‌های طیفی در دو حالت انتخاب از بین کل ویژگی‌ها و انتخاب از بین ویژگی‌های گزینش شده به کار رفته شده است.

یافته‌ها: نتایج، نشان می‌دهد که ترکیب بهینه الزاماً شامل ویژگی‌هایی که به تنهایی توانمندی بهتری در بهبود دقت طبقه‌بندی دارند، نمی‌شود. الگوریتم‌های پیشنهادی منجر به دقت بهتر، تعداد ویژگی منتخب کمتر و زمان محاسباتی کمتری نسبت به الگوریتم ساده ژنتیک است. از روش‌های پیشنهادی بسته به ابعاد تصویر، تعداد ویژگی‌های بافتی تولید شده و تعداد داده‌های آموزشی و چک می‌توان استفاده کرد. روش دوم زمان آماده‌سازی اولیه بیشتری داشته و به دلیل افزایش تصاعدی زمان محاسباتی برای تصاویری با تعداد باند طیفی و تعداد پیکسل‌های کنترل و چک و تعداد ویژگی بافتی کمتر قابل به کارگیری است. روش نخست برای تصاویری با ابعاد بزرگ و تعداد داده‌های آموزشی و چک بیشتر قابل استفاده است ولی برای رسیدن به دقت بهینه، تعداد ویژگی منتخب بیشتری را ارائه می‌دهد.

نتیجه‌گیری: اجرای روش‌های پیشنهادی بر روی سه مجموعه داده ورودی، منجر به افزایش دقت میانگین طبقه‌بندی بین ۷٫۷ تا ۵۰٫۴۸ درصد نسبت به طبقه‌بندی طیفی و حفظ دقت تا افزایش ۵٫۶ درصدی نسبت به ژنتیک ساده ولی با تعداد نصف تا یک سوم ویژگی‌های منتخب و کاهش ۵۰ درصدی زمان بهینه‌سازی گردید.

تاریخ دریافت: ۱۶ اسفند ۱۴۰۳
تاریخ داوری: ۱۹ فروردین ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۱۳ اردیبهشت ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۶ خرداد ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

طبقه‌بندی تصویر
کمی‌سازی بافت
انتخاب ویژگی
الگوریتم ژنتیک
تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا

* نویسنده مسئول

ashoori@qiau.ac.ir

© ۵۱-۳۳۶۷۰۰-۲۸

مقدمه

خودهمبستگی، زمین آمار و مبتنی بر تبدیل حوزه فرکانس تصویر می‌شوند [۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶] روش‌های کمی‌سازی بافت تصویر در سه دسته کلی آماری، ساختاری و طیف مبنا قابل دسته‌بندی هستند. [۷] روش‌های آماری، کمیت‌های آماری مختلف از تنوع درجات خاکستری تصویر محاسبه می‌کنند. این روش‌ها در گروه‌های آماری مرتبه اول [۸] و آماری مرتبه دوم [۹] دسته‌بندی می‌شوند.

روش‌های ساختاری فرض را بر تشکیل الگوهای بافتی از چیدمان‌های ساختاری اولیه می‌گذارند. [۱۰] در این روش با استفاده از فیلترهای آشکارساز لبه، خط و نقطه و ... انواع ساختارهای موجود در تصویر استخراج می‌شود. این روش در مواردی که بافت ساختار منظم و ویژه‌ای دارد مانند خطوط موازی افقی یا عمودی بسیار مناسب عمل می‌کند. ولی در مورد پدیده‌های طبیعی روشی بهینه به حساب نمی‌آید، چون در این حالت برخلاف عوارض مصنوعی چنان ساختار منظم و یکسانی

طبقه‌بندی، یکی از روش‌های رایج استخراج اطلاعات از تصاویر سنجش از دوری است. در روش‌های متداول فقط از ویژگی‌های طیفی تصویر به عنوان ورودی استفاده می‌شود. در حالی که در تفسیر چشمی، خصوصاً در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، روابط مکانی بین پیکسل‌های مجاور کمک شایانی به شناخت عوارض و تمایز بین عوارض با خصوصیات طیفی مشابه می‌شود. بنابراین، می‌توان از داده‌های مکانی تصویر برای افزایش دقت طبقه‌بندی استفاده کرد، این داده‌ها در تصاویر با رزولوشن مکانی بالا قابل توجه است. کمی‌سازی بافت روشی موثر برای به کارگیری اطلاعات مکانی تصویر در استخراج اطلاعات است.

محققین بسیاری روش‌های مختلفی برای کمی‌سازی روابط بین پیکسل‌های تصویر و استفاده از ویژگی‌های تولید شده در طبقه‌بندی ارائه داده‌اند. این روش‌ها شامل کمی‌سازی بافت، مورفولوژی مبنا،

موضوع اصلی این مقاله استفاده از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب ویژگی از بین ویژگی‌های بافتی تولید شده از تصویر با حداقل زمان محاسباتی، حداقل تعداد ویژگی و بهترین دقت میانگین طبقه‌بندی در یک رویه مستقیم و مستقل است. استفاده از الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از روش‌های بهینه‌سازی، برای انتخاب ویژگی‌های بهینه متداول است. با این حال، استفاده از این الگوریتم با تعداد ویژگی انتخابی ثابت و بدون انجام پالایش فضای ویژگی منجر به صرف زمان زیاد بهینه‌سازی شده و همچنین امکان رسیدن به ترکیب بهینه را محدود می‌سازد. برای حل این مسأله، در این تحقیق، روش‌هایی برای بهبود انتخاب ویژگی‌های بافتی تصویر بر پایه الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. این روند در دو گام به انجام رسیده است، در گام نخست، دو روش برای کاهش تعداد ویژگی‌های فضای ورودی با به کارگیری گام‌های ساده و سریع ارائه شده‌اند. در گام بعدی، ترکیب بهینه ویژگی‌های موجود در فضای ویژگی فیلتر شده، به روش ژنتیک انتخاب می‌شوند. برای این انتخاب نیز دو روش ارائه شده است.

داده‌های استفاده شده

برای تست روش‌های ارائه شده، سه مجموعه داده استفاده شدند. مجموعه داده نخست برشی از تصویر اورتو پن شارپ سنجنده آیکونوس از جنوب تهران با ابعاد 500×500 پیکسل با قدرت تفکیک مکانی ۱ متری است. در این تصویر تنوع خوبی از پوشش‌های زمین با طیف مشابه و بافت متفاوت وجود دارد. هفت کلاس پوشش زمینی در این تصویر مشخص شده‌اند که لیست آنها در جدول ۱- الف ارائه شده است، همچنین، تصویر مورد استفاده در شکل ۱-الف نمایش داده شده است. مجموعه داده دوم، تصویر هوایی مرئی (RGB) از مجموعه داده grss_dfc_2014 (داده‌های مسابقه تلفیق اطلاعات IEEE GRSS) [۱۶] است. به همراه تصویر در این مجموعه داده، داده‌های حقیقت زمینی از شش کلاس ارائه شده است. برای انجام تست‌های این تحقیق، ۴۰۰۰ پیکسل به صورت اتفاقی از هر یک از کلاس‌های این مجموعه داده انتخاب شدند، از این بین ۲۰۰ پیکسل از هر کلاس به صورت اتفاقی به عنوان داده آموزشی و مابقی به عنوان داده چک به کار گرفته شدند. لیست کلاس‌ها در جدول ۱- ب ارائه شده و تصویر استفاده شده در شکل ۱- ب نمایش داده شده است.

مجموعه داده سوم، تصویر اورتو شده از تصاویر هوایی اخذ شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور از محدوده گاوهرگ زاگرس است. این تصویر با دوربین فتوگرامتری هوایی لایکا آرسی ۲۰ اخذ شده است. پس از دریافت تصاویر اسکن شده، با استفاده از مشخصات کالیبره دوربین و نقاط کنترل پریک شده بر روی تصاویر، مدل سه بعدی و پس از آن مدل ارتفاعی رقومی سطحی تولید شده و با استفاده از مدل تولید شده و تصاویر حل شده، تصحیح جابه‌جایی ناشی از ارتفاع و زمین مرجع نمودن بر روی تصاویر انجام شد. این تصاویر برای طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش جنگلی در سازمان جنگل‌ها و مراتع مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

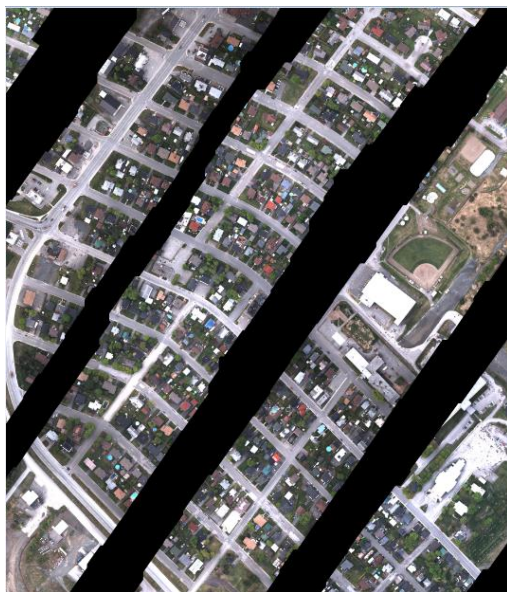
مشاهده نمی‌گردد؛ برای این نوع زمینه‌ها روش آماری جواب بهتری خواهد داد.

ویژگی‌های مبتنی بر تبدیل به حوزه فرکانس، از اعمال فیلترهایی بر روی تبدیل تصویر در فضای فرکانس بر استخراج مقادیر دامنه یا فاز فرکانس‌های موجود در تصویر یا پنجره از آن تصویر محاسبه می‌شوند. [۱۱]

در هر یک از روش‌ها، پارامترهای مختلفی مانند ابعاد کرنل، بردار فاصله و فرمول تولید قابل تنظیم کردن است، بدین ترتیب ویژگی‌های متفاوتی امکان تولید شدن دارند. با انتخاب مقادیر مختلف برای این پارامترها و تولید ویژگی‌های جدید، تعداد بسیار بالایی ویژگی بافتی قابل تولید کردن است. بر مبنای تنوع کلاس‌های عارضه موجود در تصویر و تمایزهای بافتی آن‌ها، مجموعه خاصی از ویژگی‌ها بایستی مورد استفاده قرار بگیرد. بدین ترتیب برای هر تصویر تعداد زیادی ویژگی بافتی بایستی تولید و کارایی آن‌ها ارزیابی شود تا بهترین ترکیب از ویژگی‌های بافتی به دست آید. محققین مختلف روش‌هایی برای انتخاب بهترین مجموعه ویژگی برای طبقه‌بندی ارائه کرده‌اند. در [۳] بعد از مرتب کردن ویژگی‌ها، ترکیب بهینه با اضافه کردن ویژگی‌ها از ابتدای لیست به مجموعه ساخته می‌شود. در [۱۲] از الگوریتم ژنتیک باینری برای انتخاب بهترین ویژگی‌ها در طبقه‌بندی تصاویر فراطیفی استفاده شده است. در [۴] انتخاب ویژگی برای بازیابی تصویر و طبقه‌بندی استفاده شده است. در [۵] الگوریتم ژنتیک برای انتخاب هترین ویژگی جهت کشف دیابت استفاده شده است. در [۱۳] الگوریتم ژنتیک برای انتخاب ویژگی جهت طبقه‌بندی ام آر آی تابعی مورد استفاده قرار گرفته است. در [۱۴] از الگوریتم ژنتیک باینری در طبقه‌بندی تصاویر پزشکی استفاده شده است. در [۱۵] یک الگوریتم بر مبنای ژنتیک برای انتخاب ویژگی جهت تمایز بین عارضه از پس زمینه معرفی شده است. در [۲۲] از الگوریتم ژنتیک برای رتبه‌بندی حجم اطلاعات موجود در باندهای تصویر فراطیفی جهت ورود در روش انتخاب ویژگی استفاده شده است. در [۲۳] بافت به روش مورفولوژی از باندهای تصویر فراطیفی تولید شده و برای کاهش ابعاد فضا از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است و در نهایت، جهت انتخاب ویژگی‌ها از شبکه عصبی بهره‌گیری شده است. در [۲۴] روشی برای کمی‌سازی بافت تصویر بر اساس محاسبه آماری تنوع چیدمان اجزای کوچک تشکیل دهنده تصویر ارائه شده است. چالش موجود در به کارگیری اطلاعات نهفته در بافت تصویر در قالب کمی‌سازی بافت، انتخاب روش مناسب کمی‌سازی بافت و ویژگی مناسب جهت به کارگیری در طبقه‌بندی تصویر است به صورتی که منجر به نتیجه بهینه گردد. در واقع، بسته به نوع عوارض موجود در تصویر، قدرت تفکیک مکانی تصویر، طیف مورد استفاده در تولید ویژگی بافتی، تمایز متفاوتی از ویژگی تولید شده بین عوارض تصویر (به عبارت دیگر کنتراست در ویژگی تولیدی) حاصل می‌شود. حتی این احتمال وجود دارد که برخی از روش‌های تولید ویژگی، به دلیل ایجاد شباهت در بین کلاس‌های مختلف موجود در تصویر، منجر به کاهش دقت طبقه‌بندی شود.

طیفی در اختیار نیست، اجرای موفق این روش می‌تواند به‌عنوان یک راهکار برای انجام مطالعات منابع طبیعی و جنگلی مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۲-ب، نمونه داده تولید شده که از موزاییک کردن نمونه‌هایی از هر یک از تراکم‌های تاج پوشش ایجاد شده است نمایش داده شده است. همچنین در تصویر الف این شکل، تصویری که به صورت چشمی توسط مفسر مجرب، تفسیر و طبقه‌بندی شده و به‌عنوان مرجع استفاده شده، نمایش داده شده است.

طبقه‌بندی در ۶ کلاس تراکمی انجام می‌شود. برای اخذ داده‌های آموزش و چک از نتایج طبقه‌بندی چشمی مفسرهای خبره آن سازمان به‌عنوان مرجع استفاده شد. این نمونه تست با توجه به پنکروماتیک (تک باند) بودن تصاویر، نمونه قابل توجهی است چرا که در انجام طبقه‌بندی‌های تراکم تاج پوشش به‌طور معمول از تصاویر چند طیفی و تولید شاخص‌های طیفی بهره گرفته می‌شود [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱]. با توجه به اینکه در بسیاری از مطالعات بررسی تغییرات تراکم تاج پوشش مورد نظر است و از سال‌های گذشته تصاویر چند



ب

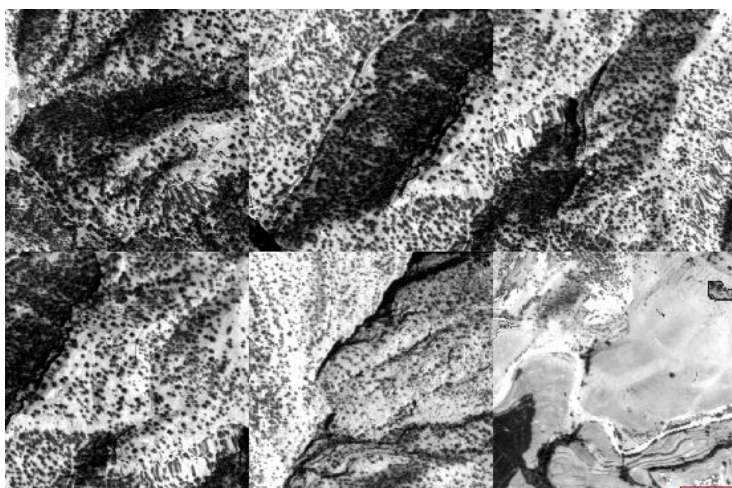
B



الف

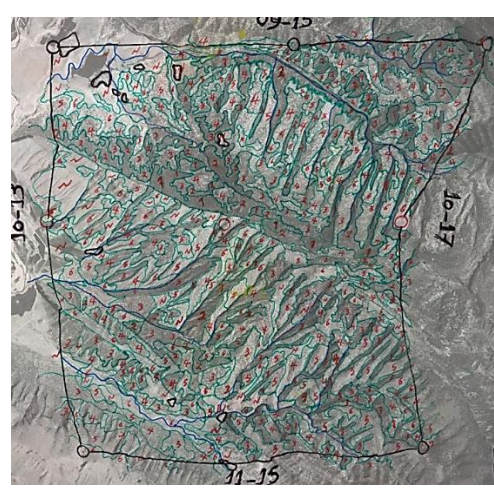
A

شکل ۱: الف: مجموعه داده نخست (برش ۵۰۰×۵۰۰ پیکسلی از تصویر آیکونوس اورتو پن شارپ جنوب تهران) - ب: مجموعه داده دوم تصویر هوایی تلفورد
Fig. 1: A First dataset (500 × 500 subset of IKONOS pansharpened, orthorectified image of south Tehran), B: second dataset, aerial image of Tedford.



ب

B



الف

A

شکل ۲: الف) تصویر طبقه‌بندی شده چشمی، (از چپ بالا به راست و سپس از سمت چپ پایین به راست به ترتیب کلاس‌های ۱ تا ۶ تراکم تاج پوشش هستند) (ب) مجموعه داده تولید شده برای استفاده به‌عنوان ورودی آزمون‌ها

Fig. 2: A: Classified image by expert operator, B: test image of the mosaic of each class subset

جدول ۱: لیست کلاس‌های مجموعه داده‌های استفاده شده

Table 1: List of classes

الف) مجموعه داده ۱ A. First dataset		ب) مجموعه داده ۲ B. Second dataset		پ) مجموعه داده ۳ C. Third dataset		
شماره No	نام کلاس Class Name	شماره No	نام کلاس Class Name	شماره No	نام کلاس Class Name	بازه تراکم تاج پوشش Canopy Density Range
1	Ploughed Land-1 (زمین شخم خورده ۱)	1	Road (جاده)	1	F1	75%FCD>
2	Ploughed Land-2 (زمین شخم خورده ۱)	2	Tree (درخت)	2	F2	75%<FCD< 50%
3	Row of Tree (ردیف درخت)	3	Red roof (سقف قرمز)	3	F3	50%<FCD< 25%
4	Tree (درخت)	4	Green roof (سقف سبز)	4	F4	25%<FCD< 10%
5	Bush (بوته)	5	Concrete roof (سقف بتنی)	5	F5	10%<FCD< 5%
6	Asphalt Road (راه آسفالت)	6	Vegetation (پوشش گیاهی)	6	F6	5%<FCD< 1%
7	Building (ساختمان)	7	Bare Soil (خاک بدون پوشش)			

روش‌ها

بر روی کل ویژگی‌های تولید شده و ویژگی‌های فیلتر شده اجرا شد. در حالت دوم برای حذف ویژگی‌های ضعیف از مفهوم ساده وریانس مقدار ویژگی در کلاس‌های زمینی استفاده شد.

در روش دوم پیشنهادی، طول کروموزوم در الگوریتم ژنتیک ثابت و برابر با تعداد ویژگی‌های فضای ورودی است و الگوریتم به انتخاب ویژگی‌های بهینه برای حضور در ترکیب نهایی می‌پردازد و تعداد ویژگی‌های حاضر در ترکیب نهایی در روند اجرا مشخص می‌شود. در این حالت، برای کاهش ابعاد فضای ویژگی و حذف ویژگی‌های ضعیف، از انتخاب برترین ویژگی‌ها در افزایش دقت کاربر کلاس‌ها، دقت میانگین و دقت کلی طبقه‌بندی استفاده شد. برای رسیدن به حالت بهینه و تست تعداد مختلف ورودی، در چند اجرا، به ترتیب بهترین ویژگی‌ها، دو ویژگی برتر، سه ویژگی برتر و چهار ویژگی برتر در هر یک از شاخص‌ها، در فضای ورودی جایگذاری شدند.

برای انجام طبقه‌بندی، از طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد. این طبقه‌بندی کننده در طبقه‌بندی تک ویژگی در کنار باندهای طیفی برای رتبه‌بندی ویژگی‌ها و همچنین در طبقه‌بندی ویژگی‌های منتخب با استفاده از هر یک از روش‌های سه گانه اجرا شده در این تحقیق به کار گرفته شد.

الف) ژنتیک ساده

در این روش، کلیه ویژگی‌های تولید شده شانس حضور در ترکیب بهینه را که تعداد مشخصی از ویژگی‌ها است، دارند. بدین ترتیب طول کروموزوم ثابت، و ژن‌ها، شماره ویژگی حاضر در مجموعه بهینه است. به عبارت دیگر، مقدار هر ژن عددی بین ۱ تا تعداد ویژگی بافتی تولید شده و طول کروموزوم تعداد ویژگی‌های مورد نظر بر انتخاب از بین کلیه ویژگی‌ها است.

در این تحقیق ۱۴ ویژگی از مجموعه ویژگی‌های آماری مرتبه ۱ با کرنل‌های مربعی با ابعاد فرد بین ۳ تا ۵۵ پیکسل برای هر سه مجموعه داده تولید شدند. بدین ترتیب برای تصاویر مرئی رنگی (RGB) تعداد $27 \times 14 \times 3$ معادل ۱۱۳۴ ویژگی تولید می‌شوند و برای تصویر پنکروماتیک ۳۷۸ ویژگی تولید می‌شوند.

بعد از تولید هر ویژگی، مجموعه داده‌های طیفی در کنار ویژگی تولید شده به عنوان ورودی طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان SVM با به کارگیری داده‌های آموزشی و چک انتخاب شده به کار گرفته شده و پس از انجام طبقه‌بندی دقت کاربر هر یک از کلاس‌ها و دقت کلی و دقت میانگین طبقه‌بندی انجام شده محاسبه و به عنوان نتایج هر ویژگی ذخیره گردیده‌اند. هر ویژگی، تأثیر خاصی بر دقت‌های حاصل از طبقه‌بندی دارند، بعضی ویژگی‌ها، دقت کاربر کلاس‌های خاصی را افزایش می‌دهند و برخی تأثیر مثبت بر دقت میانگین یا دقت کلی طبقه‌بندی دارند.

گام بعدی تعیین ترکیبی از ویژگی‌های تولید شده است که با به کارگیری در کنار باندهای طیفی تصویر منجر به بهترین نتایج و افزایش در دقت‌های طبقه‌بندی می‌شود. در این تحقیق، از سه روش برای انتخاب ویژگی‌های بهینه استفاده شده است.

اولین روش استفاده شده که برای مقایسه به عنوان مرجع اجرا شد، به کارگیری الگوریتم ژنتیک ساده برای انتخاب از بین کلیه ویژگی‌های تولید شده است. در این حالت، تعداد ویژگی‌های مجموعه بهینه بایستی مشخص باشد، برای رسیدن به انتخاب بهینه تعداد، طول کروموزوم‌های متفاوت آزمایش شدند.

در روش نخست پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک منعطف که تعداد ویژگی‌های انتخابی آن متغیر هستند اجرا شد. این روش در دو حالت

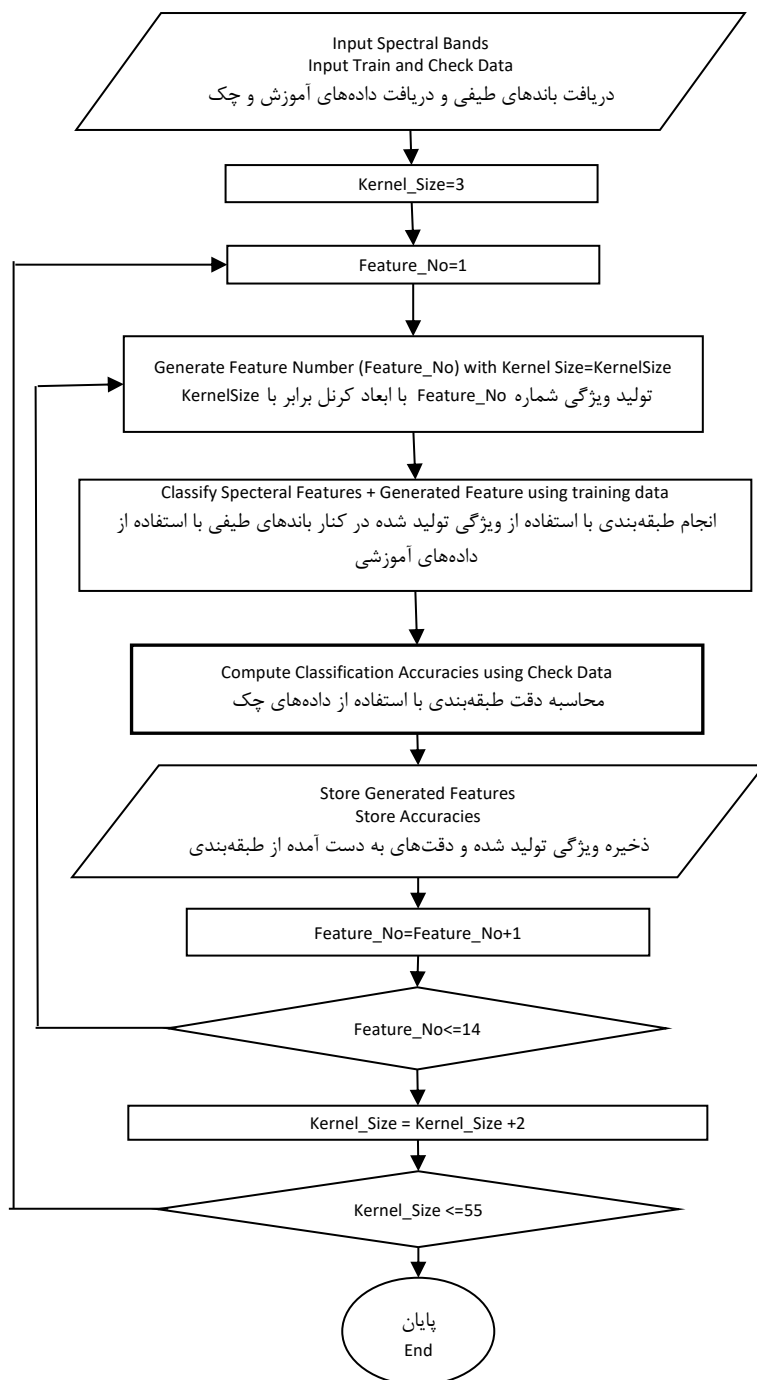
جدول ۲: روابط تولید ویژگی‌های بافتی بر مبنای آماره‌های مرتبه ۱ [۸]

Table 2: Statistical (first-order) texture features [8]

میانگین وزندار با وزن عکس فاصله (Distance weighted mean)		میانگین (ممان نخست) (Mean (first moment))	
1	$m_1 = E[I^1] = \sum_{I=0}^{N_g-1} I P(I)$	2	$Mean_w = \frac{\sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_c} \frac{1}{d_{i,j}} I(i, j)}{\sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_c} \frac{1}{d_{i,j}}}$
ممان سوم (Third moment)		ممان دوم (Second moment)	
3	$m_3 = E[I^3] = \sum_{I=0}^{N_g-1} I^3 P(I)$	4	$m_2 = E[I^2] = \sum_{I=0}^{N_g-1} I^2 P(I)$
ممان مرکزی نخست (First central moment)		ممان چهارم (4 th moment)	
5	$\mu_1 = E[(I - E[I])^1] = \sum_{I=0}^{N_g-1} (I - m_1) P(I)$	6	$m_4 = E[I^4] = \sum_{I=0}^{N_g-1} I^4 P(I)$
عدم تقارن (ممان مرکزی سوم) (Skewness (3rd central moment))		واریانس (ممان دوم مرکزی) (Variance (2nd central moment))	
7	$\mu_3 = E[(I - E[I])^3] = \sum_{I=0}^{N_g-1} (I - m_1)^3 P(I)$	8	$\mu_2 = E[(I - E[I])^2] = \sum_{I=0}^{N_g-1} (I - m_1)^2 P(I)$
ممان مطلق نخست (First absolute moment)		میزان اوج (ممان مرکزی چهارم) (Kurtosis (4th central moment))	
9	$\hat{\mu}_1 = E[Abs(I - E[I])]$	10	$\mu_4 = E[(I - E[I])^4] = \sum_{I=0}^{N_g-1} (I - m_1)^4 P(I)$
انترپی (ممان مطلق دوم) (Entropy)		ممان مطلق سوم (Third absolute moment)	
11	$H = -E[\log_2 P(I)] = -\sum_{I=0}^{N_g-1} P(I) \log_2 P(I)$	11	$\hat{\mu}_3 = E[Abs(I - E[I])^3]$
13	Median (میانه)	14	Mode (مد)

$$P(I) = \frac{\text{number of pixels with gray level } I}{\text{Total number of pixels}}$$

تعریف هیستوگرام که در تعدادی از روابط فوق از آن استفاده شده است:



شکل ۳: روند تولید ویژگی‌ها (کادر با حاشیه ضخیم و نوشتار بولد، فقط در روش دوم فیلتر کردن اولیه ویژگی‌ها اجرا می‌شود)

Fig. 3: Feature generation process (thick border box done only for second proposed method)

پیکسل‌های هر یک از داده‌های آموزشی محاسبه شده و رنج تغییرات این ویژگی در بین کلاس‌ها با کسر حداقل میانگین ویژگی در کلاس و حداکثر میانگین ویژگی در کلاس به دست می‌آید. ویژگی‌هایی که دارای رنجی کمتر از حد آستانه انتخاب شده هستند، توانایی کمتری در ایجاد تمایز بین کلاس‌های مختلف تصویر دارند. حد آستانه رنج برای حذف ویژگی‌ها در این تحقیق ۶۴ (برابر با یک چهارم رنج ممکن تغییرات) در نظر گرفته شده است.

بدین ترتیب این روش با دو نوع فضای ویژگی ورودی اجرا می‌شود، اولین فضا شامل کلیه ویژگی‌های بافتی تولید شده و فضای دوم شامل ویژگی‌هایی که دارای رنجی بیشتر از حد آستانه انتخابی هستند. در اجرای این روش، مجموعه داده‌های مرئی شامل ۱۱۳۴ ویژگی و داده پانکروماتیک شامل ۳۷۸ ویژگی بودند. فضای پالایش شده پس از حذف ویژگی‌های دارای رنج تغییرات کمتر از حد آستانه برای مجموعه داده‌ای نخست تا سوم به ترتیب شامل ۸۴۶، ۶۴۸ و ۳۴۷ ویژگی شدند. بدین ترتیب در مورد مجموعه داده‌های مرئی ۲۵ تا ۵۰ درصد کاهش ابعاد فضا حاصل شد که تاثیر مناسبی در کاهش زمان محاسباتی دارد.

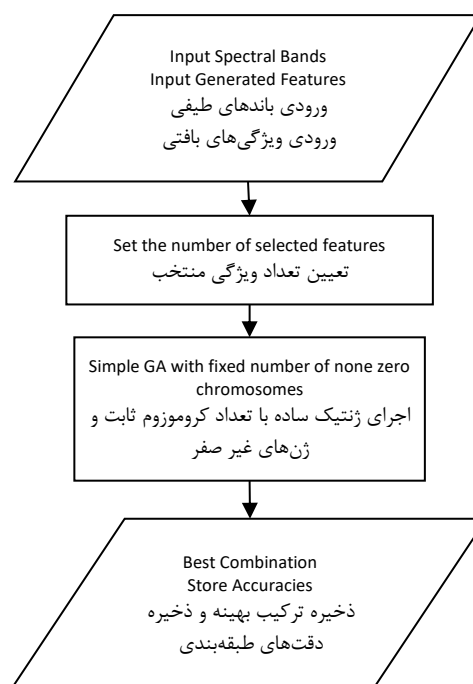
ج) روش دوم ارائه شده

در این روش ابتدا ویژگی‌های منتخب با در نظر گرفتن قابلیت افزایش دقت طبقه‌بندی از بین ویژگی‌های تولید شده انتخاب شده و فضای ویژگی ورودی الگوریتم ژنتیک را تشکیل می‌دهند. سپس، یک الگوریتم ژنتیک باینری ترکیب بهینه را از بین ویژگی‌های موجود در فضای ویژگی انتخاب می‌نماید.

معیار انتخاب ویژگی‌های ورودی به فضای ویژگی، توانمندی ویژگی‌ها در افزایش دقت طبقه‌بندی کاربر کلاس‌ها، دقت طبقه‌بندی کل و دقت میانگین طبقه‌بندی است. بدین ترتیب که بعد از مرتب کردن ویژگی‌ها بر اساس هر یک از دقت‌های حاصل (دقت هر یک از کلاس‌ها، دقت کلی طبقه‌بندی، دقت میانگین) ویژگی نخست انتخاب شده و به مجموعه ویژگی‌ها افزوده می‌شود، در نهایت ویژگی‌های تکراری حذف شده و فضای ویژگی منتخب تشکیل می‌شود.

در این تحقیق چهار مجموعه ویژگی منتخب با انتخاب بهترین ویژگی از هر شاخص، دو ویژگی بهتر از هر شاخص، سه ویژگی بهتر از هر شاخص و چهار ویژگی بهتر از هر شاخص تشکیل شدند. بدین ترتیب حالت‌های مختلف ابعاد فضای ویژگی مورد آزمون قرار گرفت.

الگوریتم ژنتیک باینری برای انتخاب ویژگی‌های بهینه در این روش مورد استفاده قرار گرفت، طول کروموزوم برای با تعداد ویژگی‌های موجود در فضای ویژگی تعیین شد، هر ژن دارای مقدار ۰ یا ۱ و به معنی حضور یا عدم حضور ویژگی متناظر در مجموعه انتخاب شده است. بدین ترتیب تعداد ویژگی موجود در مجموعه انتخابی متغیر بوده و در حین اجرای الگوریتم ژنتیک تعیین می‌شود.



شکل ۴: روند نمای اجرای ژنتیک ساده

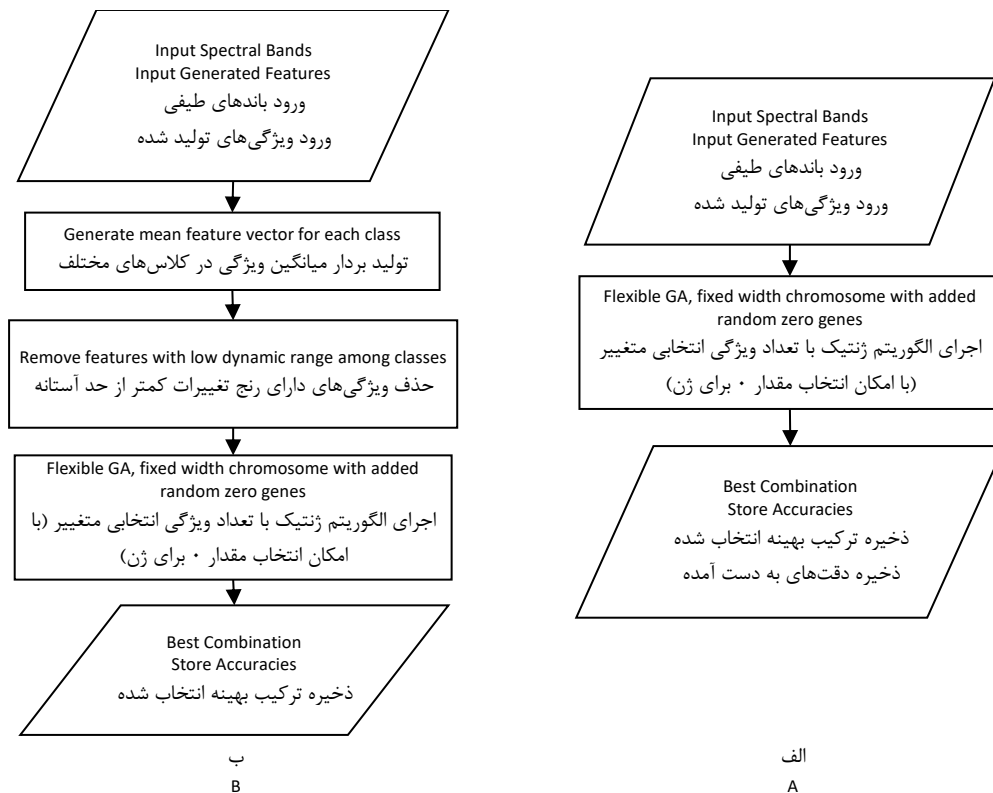
Fig. 4: Simple GA

در این روش با توجه به ثابت بودن طول کروموزوم و در نتیجه ثابت بودن تعداد ویژگی انتخابی، مسأله تعیین تعداد ویژگی بهینه برای رسیدن به بهترین نتیجه است، برای رسیدن به این پارامتر، بایستی حالت‌های مختلف طول کروموزوم تعیین و الگوریتم با هر یک از حالت‌ها اجرا شود. در این تحقیق ژنتیک ساده با تعداد ویژگی/طول کروموزوم از ۲ ویژگی تا تعداد ویژگی برابر با چهار برابر تعداد کلاس‌های تصویر اجرا شد.

ب) روش نخست ارائه شده

در این روش، تعداد ویژگی انتخابی ثابت نیستند، بدین ترتیب یکی از نقص‌های روش ژنتیک ساده پوشش داده می‌شود. متغیر شدن تعداد ویژگی منتخب با افزودن امکان وجود عدد صفر به عنوان شماره ویژگی و به معنی عدم انتخاب هیچ یک از ویژگی‌ها در مقدار ژن‌ها ممکن شد. برای جلوگیری از محدودیت تعداد ویژگی نهایی، طول کروموزوم‌ها مساوی با دو برابر تعداد کلاس‌های تصویر در نظر گرفته شد. بدین ترتیب با توجه به امکان اختیار کردن مقدار صفر برای هر ژن، تعداد ویژگی‌های منتخب، متغیر بوده و می‌تواند عددی بین ۱ تا طول کروموزوم که مساوی با دو برابر تعداد کلاس‌ها است، باشد.

در حالت دوم اجرای این روش، برای افزایش کارایی الگوریتم، فضای ویژگی باید پالایش شده و ویژگی‌هایی با محتوای اطلاعاتی کم حذف شوند. روش ساده‌ای که برای پالایش فضای ویژگی به کار گرفته شده، حذف ویژگی‌هایی است که دارای رنج دینامیک کوچکی در بین پیکسل‌های داده آموزشی هستند. بدین ترتیب که میانگین هر ویژگی در



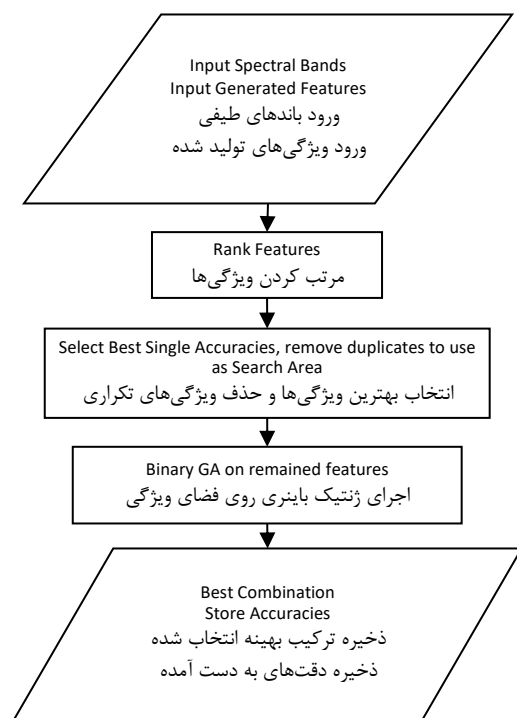
شکل ۵: روش ارائه شده نخست

Fig. 5: First Proposed Method

در هر سه روش اجرا شده در این تحقیق، جمعیت هر نسل برابر با ۴۰ کروموزوم بود. در هر نسل، ۱۰ نخبه معادل ۲۵٪ از نسل پیشین منتقل شد، ۱۲ کروموزوم معادل ۳۰٪ نسل با اپراتور تقاطع (Crossover) تولید شده و ۱۲ کروموزوم معادل ۳۰٪ با اپراتور جهش از کروموزوم‌های نسل پیشین تولید گردید و ۶ کروموزوم باقی مانده در هر نسل معادل ۱۵٪ بازتولید شدند.

الگوریتم ژنتیک با هدف رسیدن به بهترین دقت میانگین طبقه‌بندی اجرا شد. در این اجرا دو شرط توقف تعیین گردید، شرط نخست تعداد بهترین کروموزوم‌هایی است که در نسل بعدی نتایج مشابهی با نسل پیشین داشته و به صورت دقیقتر افزایش دقتی کمتر از ۰/۱٪ داشته باشند، شرط دوم تعداد نسل‌های متوالی است که دارای بهترین نتیجه مشابه هستند. این دو تعداد در این تحقیق برابر با ۳ کروموزوم و ۳ نسل تنظیم گردیده است.

برای تخمین بهینه و دستیابی به نتایج قابل اطمینان، الگوریتم ژنتیک ۱۰ مرتبه اجرا شده و میانگین نتایج تکرارها به عنوان نتیجه هر یک از روش‌ها در نظر گرفته شد. این نتایج شامل دقت طبقه‌بندی، زمان پردازش و تعداد ویژگی منتخب در گروه بهینه است.

شکل ۶: روش ارائه شده دوم
Fig. 6: Second Proposed Method

نتایج آزمون‌ها و بحث

برای برقراری امکان مقایسه، نتایج طبقه‌بندی طیفی هر یک از سه مجموعه داده انتخابی محاسبه شده و در جدول ۳ نمایش داده شده است. در مجموعه داده‌های نخست و سوم که کلاس‌هایی با شباهت طیفی وجود دارد، باندهای طیفی در تفکیک بین کلاس‌های موجود توانایی کمتری دارند و در مجموعه داده‌های دوم به دلیل وجود تمایز طیفی نتایج بهتری به دست آمده است. در این مجموعه داده، دقت کلی و میانگین حدود ۸۳ درصد قابل دستیابی است.

مطابق انتظار نتایج طبقه‌بندی‌ها نشان می‌دهد که باندهای طیفی در تفکیک کلاس‌هایی که از نظر طیفی مشابه هستند، توانمند نیستند. طبقه‌بندی تک به تک ویژگی‌های طیفی در کنار باندهای طیفی منجر به نتایج متفاوتی می‌شود. در جدول ۳، بهترین و بدترین دقت‌های به دست آمده از طبقه‌بندی تک ویژگی در کنار باندهای طیفی نمایش داده شده است. ویژگی‌های طیفی تأثیرات متفاوتی در طبقه‌بندی ایجاد می‌کنند، برخی به دلیل داشتن مقادیر مشابه در کلاس‌های مختلف، منجر به کاهش قدرت تمایز بین کلاس‌ها و در نتیجه کاهش دقت طبقه‌بندی می‌شوند و در عوض سایر آن‌ها منجر به افزایش دقت طبقه‌بندی می‌گردند. برای افزایش دقت استخراج هر یک از کلاس‌ها، ویژگی بافتی خاصی قابل استفاده است. در نتیجه به کارگیری ترکیبی بهینه از ویژگی‌های طیفی می‌تواند منجر به افزایش مناسب دقت طبقه‌بندی گردد. روش‌های ارائه شده در این تحقیق سعی در انجام این انتخاب با استفاده از روش ژنتیک دارند.

جدول ۴، خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده از آزمون‌های انجام شده را نمایش می‌دهد. در این جدول میانگین دقت طبقه‌بندی، میانگین زمان صرف شده برای انجام روند انتخاب بهینه و همچنین میانگین تعداد

ویژگی انتخاب شده در ۱۰ اجرای هر یک از روش‌ها ارائه شده است. در روش ژنتیک ساده فضای طیفی با ابعاد مختلف مورد آزمون قرار گرفته است. در روش پیشنهادی نخست، دو حالت فضای ویژگی پالایش شده و فضای ویژگی شامل همه ویژگی‌های تولیدی اجرا شدند و در روش دوم پیشنهادی، آزمون‌ها در چهار حالت انتخاب بهترین ویژگی‌ها، دو ویژگی، سه ویژگی و چهار ویژگی برتر اجرا شده‌اند.

در روش پیشنهادی نخست، استفاده از فضای ویژگی پالایش شده، منجر به دقت بهتری شده و در مجموع زمان پردازش کمتری را صرف نموده است و با تعداد ویژگی کمتر در مجموعه انتخاب شده، همراه بوده است. روش پیشنهادی دوم، سریعتر از ژنتیک ساده و روش پیشنهادی نخست است، البته برای ساختن فضای ویژگی در این روش به دلیل نیاز به طبقه‌بندی یک به یک ویژگی‌های تولید شده در کنار ویژگی‌های طیفی و مرتب کردن آنها بر اساس دقت‌های کاربر، کلی و میانگین، زمان بیشتری لازم است. روش پیشنهادی اول در حالت فضای ویژگی پالایش شده نیز نیاز به تولید میانگین هر ویژگی در هر کلاس و سپس حذف ویژگی‌های مشابه باقی‌مانده دارد که یک روند زمان بر است، با این حال مدت زمان بسیار کمتری نسبت به پیش پردازش روش دوم صرف می‌شود.

مقایسه تعداد ویژگی‌های انتخاب شده توسط سه روش آزمون شده، نشان می‌دهد که رتبه اول در کمترین تعداد ویژگی به روش پیشنهادی دوم تعلق دارد، بعد از آن روش پیشنهادی اول و در آخر روش ژنتیک ساده قرار می‌گیرد. مسلماً یکی از دلایل برتری روش پیشنهادی دوم در این شاخص، گزینش اولیه ویژگی‌های دارای بهترین دقت طبقه‌بندی است. تعداد ویژگی کمتر انتخاب شده به معنی هزینه پردازشی و زمانی کمتر برای تولید ویژگی‌ها و طبقه‌بندی کل تصویر پس از انتخاب ترکیب بهینه با طبقه‌بندی صرفاً داده‌های آموزشی است.

جدول ۳: نتایج طبقه‌بندی به دست آمده از طبقه‌بندی داده‌های طیفی، بهترین و بدترین دقت‌های حاصل از طبقه‌بندی ویژگی‌های طیفی تولید شده در کنار باندهای طیفی
Table 3: Classification accuracies obtained using spectral bands and best and worst mean accuracy obtained using textual features

Table 3: Classification accuracies obtained using spectral bands and best and worst mean accuracy obtained using textural features										
	Class No شماره کلاس	Dataset 1 مجموعه داده ۱			Dataset 2 مجموعه داده ۲			Dataset 3 مجموعه داده ۳		
		Worst بدترین	Spectral طیفی	Best بهترین	Worst بدترین	Spectral طیفی	Best بهترین	Worst بدترین	Spectral طیفی	Best بهترین
دقت کاربر کلاس‌ها Producer Accuracy	1	87.33	87.42	90.56	85.64	84.23	84.04	14.86	48.79	80.12
	2	0	0	21.69	58.47	63.30	90.83	62.41	54.74	99.47
	3	0	0	91.72	85.74	89.87	88.52	47.93	54.50	100
	4	0	0	82.19	57.09	60.92	78.67	12.22	0	100
	5	90.43	90.05	97.69	92.81	93.68	92.88	10.91	31.43	77.49
	6	56.24	68.48	94.21	98.22	98.17	92.38	99.82	99.75	100
	7	99.65	100.00	100	90.98	93.08	95.71			
Overall Accuracy دقت کلی		65.53	66.58	79.26	81.28	83.32	89	41.01	46.14	93.91
Mean Accuracy (Mean of Producer accuracies) دقت میانگین (میانگین دقت کاربر کلاس‌ها)		47.66	49.42	82.58	81.28	83.32	89	41.36	48.20	92.85

جدول ۴: نتایج میانگین (میانگین دقت طبقه بندی، میانگین زمان محاسباتی و میان تعداد ویژگی‌های منتخب) به‌دست آمده از ۱۰ اجرای هر یک از روش‌ها (F ویژگی، BF بهترین ویژگی، T حدآستانه)

Table 4: Mean results (mean classification accuracy, mean computational time, and mean number of selected features) obtained from 10 runs of each method (F: features, BF: best features)

روش Method	Dataset 1 مجموعه داده ۱					Dataset 2 مجموعه داده ۲					Dataset 3 مجموعه داده ۳				
	Mean Number of Features میانگین تعداد ویژگی‌ها	Mean Time میانگین زمان پردازش	Mean of Mean Accuracy میانگین دقت میانگین	Sub Method زیر روش (پارامتر روش)	زیر روش	Mean Number of Features میانگین تعداد ویژگی‌ها	Mean Time میانگین زمان پردازش	Mean of Mean Accuracy میانگین دقت میانگین	Sub Method زیر روش (پارامتر روش)	زیر روش	Mean Number of Features میانگین تعداد ویژگی‌ها	Mean Time میانگین زمان پردازش	Mean of Mean Accuracy میانگین دقت میانگین	Sub Method زیر روش (پارامتر روش)	زیر روش
ژنتیک ساده Simple genetics	2 F	86.77	656.9	2.0	2 F	90.36	1474.6	2.0	2 F	96.24	719.9	2.0	2 F	96.09	766.8
	7 F	90.64	737.5	7.0	7 F	91.43	1829.8	7.0	6 F	96.09	766.8	6.0	6 F	96.09	766.8
	14 F	91.38	1409.8	14.0	14 F	91.75	3725.3	14.0	12 F	95.77	1353.2	12.0	12 F	95.77	1353.2
	21 F	91.37	1581.1	21.0	21 F	91.85	5928.6	21.0	18 F	93.54	1632.2	18.0	18 F	93.54	1632.2
	28 F	91.43	1321.6	28.0	28 F	91.77	5814.6	28.0	24 F	92.02	1776.6	24.0	24 F	92.02	1776.6
روش نخست (ویژگی‌های فیلتر شده) The first method (filtered features)	64 T	91.22	491.0	12.7	64 T	92.01	1320.0	12.5	64 T	94.99	282.4	4.9	64 T	94.99	282.4
روش نخست (تمامی ویژگی‌ها) The first method (all features)	-	90.71	471.3	13.4	-	91.31	1352.2	11.8	-	94.74	335.8	7.9	-	94.74	335.8
روش دوم The second method	9 BF	87.53	154.7	4.7	8 BF	90.81	417.7	4.6	7BF	94.96	111.1	3.5	7BF	94.96	111.1
	18 BF	87.46	357.1	8.1	15 BF	90.76	1061.4	5.7	14 BF	94.93	190.8	5.0	14 BF	94.93	190.8
	25 BF	90.31	653.3	8.5	23 BF	91.04	1581.4	7.5	21 BF	98.05	358.0	9.5	21 BF	98.05	358.0
	32 BF	90.71	788.0	12.2	29 BF	90.65	2013.8	9.9	27 BF	98.68	452.0	12.3	27 BF	98.68	452.0

روش‌های ارائه شده در این تحقیق، ترکیب بهینه ویژگی‌های بافتی تصویر را می‌یابند، این روش‌ها می‌توانند با روش ژنتیک ساده که یکی از الگوریتم‌های ساده و متداول برای این انتخاب است، جایگزین شوند، این الگوریتم‌ها با تکرارهای کمتر و با سرعت بیشتری به مجموعه بهینه می‌رسند. در جدول ۵، میزان بهبود دقت طبقه‌بندی با اجرای هر یک از روش‌های آزمون شده در این تحقیق ارائه شده است.

در جدول ۵، روش‌های پیشنهاد شده از منظر معیارهای بحث شده در بالا مورد مقایسه قرار گرفته‌اند، ستون آخر در هر مجموعه داده، رتبه کلی اخذ شده توسط هر یک از روش‌ها را نمایش می‌دهد، این رتبه از ضرب رتبه‌های اخذ شده در هر یک از معیارها به‌دست آمده است. اگر چه روش پیشنهادی دوم از نظر دقت طبقه‌بندی در داده‌های چند طیفی در رتبه دوم قرار دارد ولی در هر سه مجموعه داده، رتبه کلی نخست را به خود اختصاص داده است.

جدول ۵: رتبه‌بندی روش‌های آزمون شده در معیارهای مختلف و رتبه‌بندی کلی آنها

Table 5: Ranking criteria and overall ranking score of proposed methods

روش Method	Dataset 1 مجموعه داده ۱					Dataset 2 مجموعه داده ۲					Dataset 3 مجموعه داده ۳				
	Overall Rank رتبه کلی	Number of Selected Features تعداد ویژگی انتخاب شده	Prerequisite Time زمان پیش پردازش	Computational Time زمان پردازش	دقت	Overall Rank رتبه کلی	Number of Selected Features تعداد ویژگی انتخاب شده	Prerequisite Time زمان پیش پردازش	Computational Time زمان پردازش	دقت	Overall Rank رتبه کلی	Number of Selected Features تعداد ویژگی انتخاب شده	Prerequisite Time زمان پیش پردازش	Computational Time زمان پردازش	دقت
2 nd proposed روش دوم	6	1	3	1	2	6	1	3	1	2	3	1	3	1	2
1 st Proposed -Refine روش نخست (ویژگی‌های فیلتر شده)	8	2	2	2	1	8	2	2	2	2	4	1	2	1	4
1 st Proposed -All روش نخست (کل ویژگی‌ها)	12	3	1	2	2	12	3	1	2	3	6	2	1	1	6
Simple GA ژنتیک ساده	12	4	1	3	1	9	3	1	3	2	6	1	1	3	2

جدول ۶: بهترین دقت‌های به‌دست آمده از هر یک از حالت‌های طبقه‌بندی، محاسبه بهبود حاصل نسبت به روش طبقه‌بندی طیفی
Table 6: Accuracy improvement compared with using spectral bands (Sp: spectral bands; 1st refined: first proposed method with refined feature space; 2nd : second proposed method)

	Dataset 1 مجموعه داده ۱				Dataset 2 مجموعه داده ۲				Dataset 3 مجموعه داده ۳			
	SP طیف	One Texture تک بافت	1 st Refined روش نخست	2 nd روش دوم	SP طیف	One Texture تک بافت	1 st Refined روش نخست	2 nd روش دوم	SP طیف	One Texture تک بافت	1 st Refined روش نخست	2 nd روش دوم
Best Mean Accuracy بهترین دقت میانگین حاصل	49.42	85.12	91.22	90.71	83.32	89.00	92.01	91.04	48.20	92.84	94.99	98.68
Improvement بهبود نسبت به طیفی	-	35.70	41.80	41.29	-	5.68	8.69	7.72	-	44.64	46.79	50.48

مشارکت نویسندگان

مقاله توسط یک نویسنده نگارش شده است، همچنین ارائه الگوریتم‌ها، پیاده‌سازی آن‌ها، آماده‌سازی داده‌های نمونه و اجرا و تولید نتایج توسط نویسنده صورت پذیرفته است.

تشکر و قدردانی

نویسنده مقاله، از مجموعه تلویزیون در کبک کانادا برای اخذ یکی از مجموعه داده‌های استفاده شده در این تحقیق سپاسگزاری می‌کند. همچنین از سازمان جنگل‌ها و مراتع ایران برای در اختیار قراردادن تصاویر هوایی و همچنین طبقه‌بندی دستی آن‌ها که به‌عنوان یکی از مجموعه داده‌های تصویر استفاده شد، قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مأخذ

- [1] Fauvel M, Benediktsson JÓA, Chanussot J, Sveinsson JR. Spectral and Spatial Classification of Hyperspectral Data Using SVMs and Morphological Profiles. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2008 Nov;46(11):3804–14.
- [2] Gaetano R, Scarpa G, Poggi G. Hierarchical Texture-Based Segmentation of Multiresolution Remote-Sensing Images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2009 Jul;47(7):2129–41.
- [3] Puig D, Angel Garcia M. Automatic texture feature selection for image pixel classification. Pattern Recognition. 2006 Nov;39(11):1996–2009.
- [4] Lin CH, Chen HY, Wu YS. Study of image retrieval and classification based on adaptive features using genetic algorithm feature selection. Expert Systems with Applications. 2014 Nov;41(15):6611–21.
- [5] Welikala RA, Fraz MM, Dehmeshki J, Hoppe A, Tah V, Mann S, et al. Genetic algorithm-based feature selection combined with dual classification for the automated detection of proliferative diabetic retinopathy. Computerized Medical Imaging and Graphics. 2015 Jul; 43:64–77.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

انتخاب ویژگی‌های بهینه از بین ویژگی‌های بافتی قابل تولید از تصویر، دارای یک راه‌حل یکتا نیست و ترکیبات مختلف می‌توانند منجر به رسیدن به دقت مناسب طبقه‌بندی متناسب بسته به خصوصیات تصویر و کلاس‌های انتخاب شده، شوند. در این روند، طبقه‌بندی تصویر با بیشینه دقت و با کمترین زمان پردازشی اهمیت داشته و ویژگی‌های انتخاب شده مهم نیست.

روش‌های ارائه شده نسبت به روش ژنتیک ساده، قابلیت بهبود در افزایش دقت، زمان پردازشی و تعداد ویژگی انتخاب شده در ترکیب بهینه را دارند. در مقایسه نتایج به‌دست آمده از روش‌ها، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش دوم ارائه شده منجر به دقت بهتر با انتخاب تعداد کمتر ویژگی است، البته این روش برای رسیدن به ترکیب بهینه نیازمند زمان اجرای بیشتری نسبت به روش ارائه شده نخست است. مقایسه حالت‌های اجرای مختلف روش دوم ارائه شده، نشان می‌دهد که با استفاده از ۳ یا ۴ بهترین ویژگی‌ها، می‌توان به بهترین نتایج دست یافت، البته با توجه به زمان کمتر مورد نیاز جهت طی روند رسیدن به این ترکیب، حالت استفاده از ۳ ویژگی برتر توصیه می‌شود.

برای انتخاب بهترین ویژگی‌های تولید شده از تصاویر چند طیفی، روش دوم ارائه شده توصیه می‌شود. این روش به دلیل انتخاب تعداد ویژگی کمتر، برای طبقه‌بندی کل تصویر مناسب‌تر است. چرا که زمان پردازشی کمتری برای تولید ویژگی‌های بافتی در کل تصویر نیاز خواهد بود. در صورتی که هدف از انتخاب ویژگی صرفاً رسیدن به بهترین دقت بوده و زمان محاسباتی صرف شده اهمیت نداشته باشد، روش اول پیشنهاد شده در حالت فضای ویژگی پالایش شده توصیه می‌شود.

جمع‌بندی موارد ارائه شده شامل این نکات است؛ کمی‌سازی بافت یکی از روش‌هایی است که می‌تواند به‌صورت قابل توجهی، منجر به افزایش دقت طبقه‌بندی گردد. الگوریتم ژنتیک پتانسیل خوبی برای استفاده به‌عنوان انتخابگر ترکیب بهینه ویژگی‌های تولید شده برای استفاده در طبقه‌بندی دارد. تعداد باندها و ابعاد تصویر در زمان پردازشی روش‌های ارائه شده تأثیر مستقیم دارد. به‌صورت کلی روش دوم ارائه شده برای رسیدن به بهترین نتایج با تعداد کمتر ویژگی توصیه می‌شود.

[20] Souza C. Mapping Forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*. 2003 Nov 15;87(4):494–506.

[21] Lévesque J, King DJ. Spatial analysis of radiometric fractions from high-resolution multispectral imagery for modelling individual tree crown and forest canopy structure and health. *Remote Sensing of Environment*. 2003 Apr;84(4):589–602.

[22] Akbari D, Akbari V. Object-based classification of hyperspectral images based on weighted genetic algorithm and deep learning model. *Applied Geomatics*. 2023; 15, 227–238.

[23] Akbari D, Rokni K. Spectral-spatial classification of hyperspectral images based on nonlinear principal component analysis and deep learning models. *International Journal of Remote Sensing*. 2023; Volume 23.

[24] Zhu W, Yang X, Liu R, Zhao C. A new feature extraction algorithm for measuring the spatial arrangement of texture Primitives: Distance coding diversity. *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 2024 Mar 1; 127:103698–8.

[6] Ruiz LA, Fdez-Sarría A, Recio JA. Texture feature extraction for classification of remote sensing data using wavelet decomposition: a comparative study. 20th ISPRS Congress. 2004; Vol. 35. No. part B.

[7] Castleman KR. *Digital Image Processing*. Pearson; 1996.

[8] Theodoridis S, Konstantinos Koutroumbas. *Pattern recognition*. Amsterdam Elsevier/Acad. Press [20]11.

[9] Haralick RM, Shanmugam K, Dinstein I. Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems*, 1973 Nov; SMC-3(6):610–21.

[10] Laws, K. *Textured Image Segmentation*. 1980; Ph.D Dissertation, University of South California.

[11] Pratt WK. *Digital image processing: PIKS Scientific inside*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience; 2007.

[12] Yu S, De Backer S, Scheunders P. Genetic feature selection combined with composite fuzzy nearest neighbor classifiers for hyperspectral satellite imagery. *Pattern Recognition Letters*. 2002 Jan;23(1-3):183–90.

[13] Feature selection using genetic algorithm for classification of schizophrenia using fMRI data. *Journal of Artificial Intelligence and Data Mining*. 2015;3(1).

[14] Singh DAAG, Leavline EJ, Priyanka R, Priya PP. Dimensionality Reduction using Genetic Algorithm for Improving Accuracy in Medical Diagnosis. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*. 2016 Jan 8;8(1):67–73.

[15] Liang Y, Zhang M, Browne WN. Image feature selection using genetic programming for figure-ground segmentation. 2017; *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 62: 96–108.

[16] <http://www.grss-ieee.org/community/technical-committees/data-fusion/>, 2014 IEEE GRSS Data Fusion Contest. Online.

[17] Boyd DS, Foody GM, Ripple WJ. Evaluation of approaches for forest cover estimation in the Pacific Northwest, USA, using remote sensing. *Applied Geography*. 2002 Oct;22(4):375–92.

[18] Joshi C, Leeuw JD, Skidmore AK, Duren IC van, van Oosten H. Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2006 Jun;8(2):84–95.

[19] Cross A, Settle JJ, Drake N, R. Päivinen. Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*. 1991 May 1;12(5):1119–29.

معرفی نویسنده

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



حامد عاشوری، استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه آزاد واحد قزوین می‌باشند. ایشان مدارک کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری خود را در رشته مهندسی عمران-نقشه‌برداری، مهندسی عمران-سنجش از دور و نقشه‌برداری

گرایش سنجش از دور بترتیب در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۸ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران دریافت نمودند. فعالیت‌های پژوهشی ایشان در زمینه استخراج اطلاعات از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و همچنین کاربردهای سنجش از دور در مدیریت پروژه‌های عمرانی و مستندسازی مکان محور است. ایشان علاوه بر تدریس در رشته ژئوماتیک، به‌صورت تخصصی در زمینه مطالعه، توسعه، استقرار و گسترش استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی سازمانی فعالیت دارند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: پردازش تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، کاربرد سنجش از دور در طبقه‌بندی جنگل، توسعه کاربردهای فتوگرامتری هوایی و توسعه کاربردهای ژئوماتیک در فعالیت‌های عمرانی، اجرایی و سازمانی است.

Ashoori H., Assistant professor, Department of Geomatics Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

✉ ashoori@qiau.ac.ir

Citation (Vancouver): Ashoori H. [Improving Classification Accuracy of High Spatial Resolution Images by Using Texture Quantization and Genetic Feature Selection]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 155-168



<https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10880.1065>



COPYRIGHTS

© 2024 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Detection of Drought Behavioral Patterns and Its Prediction Using Web-Based Expert Systems

M. Nagahi, S. Behzadi*

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

ABSTRACT

Received: 14 February 2024
 Reviewed: 2 April 2024
 Revised: 15 May 2024
 Accepted: 08 June 2024

KEYWORDS:

Drought Prediction
 Expert System
 Web-Based Platform
 Behavioral Patterns

* Corresponding author

✉ behzadi@sru.ac.ir

☎ (+9821) 22970021

Background and Objectives: Drought is a persistent and critical challenge that affects many countries around the world, including Iran. This natural phenomenon can have severe economic, social, and environmental consequences, making the study and prediction of drought an important focus for researchers and experts. The primary objective of this paper is to predict drought using an expert system and to find an appropriate behavioral model for this phenomenon across all provinces of Iran. Drought is a complex and multifaceted issue that can have far-reaching impacts. In Iran, where water scarcity is a longstanding concern, drought can exacerbate existing challenges and lead to significant disruptions in various sectors, such as agriculture, water supply, and energy production. Accurate and timely prediction of drought can help policymakers and stakeholders implement effective mitigation and adaptation strategies, thereby minimizing the adverse effects of this natural disaster.

Methods: This study utilized data related to drought in all provinces of Iran from 2009 to 2021. These data include various drought indices, such as precipitation, temperature, humidity, and climate change indicators. Using these data, the researchers developed monthly behavioral models of drought for each province, employing an expert system and artificial intelligence techniques. The researchers first examined the drought patterns and trends in each province to identify suitable behavioral models. This process involved analyzing the historical data and identifying the key factors that influence drought patterns in the different regions of Iran. By leveraging the expertise of domain experts and the capabilities of advanced analytical tools, the researchers were able to construct comprehensive behavioral models that capture the complexity of drought dynamics. The development of these monthly behavioral models for each province was a critical step in the research process. By modeling the drought patterns at a granular, provincial level, the researchers were able to account for the unique geographic, climatic, and socioeconomic characteristics of each region. This approach enabled the creation of tailored predictions that can be more effectively utilized by decision-makers at the local and provincial levels.

Findings: The results of this study demonstrated that the use of drought data from all provinces of Iran and the development of monthly behavioral models can indeed facilitate the prediction of drought in each province on a monthly basis. The researchers were able to produce twelve behavioral models for each province, representing the probability of drought occurrence in different months. These models can serve as powerful tools in managing and planning to combat drought at both the provincial and national levels. By providing accurate and timely predictions of drought, policymakers and stakeholders can make more informed decisions regarding water resource management, agricultural planning, and disaster response strategies. The findings also highlighted the importance of an integrated, expert-driven approach to drought prediction. By leveraging the expertise of domain experts and the capabilities of advanced analytical tools, the researchers were able to develop comprehensive and reliable behavioral models that capture the nuances of drought dynamics in Iran.

Conclusion: The findings of this study have significant implications for drought management and decision-making in Iran. By using an expert system and behavioral modeling of drought across all provinces, the researchers were able to achieve more accurate and timely predictions of this phenomenon. The linear model was selected as the best model, and an online web-based map was created to display the probability of drought for each province on a monthly basis. This web-based tool can serve as a valuable resource for policymakers, stakeholders, and the general public, facilitating informed decision-making and drought

management at various levels. The availability of this information can lead to the reduction of the impacts and consequences of drought, enabling more effective planning and mitigation strategies to be implemented. The comprehensive and systematic approach used in this study can be replicated in other regions or countries facing similar drought-related challenges. By leveraging the power of expert systems, artificial intelligence, and behavioral modeling, researchers and policymakers can work together to develop robust drought prediction and management frameworks that enhance resilience and sustainability in the face of this critical natural phenomenon.



NUMBER OF REFERENCES

33



NUMBER OF FIGURES

4



NUMBER OF TABLES

3

مقاله پژوهشی

تشخیص مدل رفتاری خشکسالی و پیش‌بینی آن با استفاده از سیستم خبره تحت بستر وب

مهدی ناگهی، سعید بهزادی*

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

چکیده

پیشینه و اهداف: خشکسالی به عنوان یکی از چالش‌های حیاتی و پایدار در ایران و بسیاری از کشورهای جهان، همواره توجه بسیاری از محققان و تصمیم‌گیران را به خود جلب کرده است. این پدیده طبیعی می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر اقتصاد، جامعه و محیط زیست داشته باشد و از این رو، شناسایی و پیش‌بینی دقیق آن از اهمیت بالایی برخوردار است. ایران به دلیل شرایط جغرافیایی و اقلیمی خاص خود، بیش از دیگر کشورها در معرض خطر خشکسالی قرار دارد و این موضوع لزوم استفاده از فناوری‌های نوین برای مدیریت بهتر منابع آب و مقابله با خشکسالی را برجسته‌تر می‌سازد. هدف اصلی این مقاله، پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از سیستم خبره و هوش مصنوعی و توسعه مدل‌های رفتاری مناسب برای این پدیده در تمامی استان‌های ایران است.

روش‌ها: برای دستیابی به هدف مذکور، داده‌های مربوط به خشکسالی در تمامی استان‌های ایران از سال ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. این داده‌ها شامل مجموعه‌ای گسترده از شاخص‌های مختلف خشکسالی نظیر بارش، دما، رطوبت نسبی و شاخص‌های تغییرات اقلیمی می‌باشند. با استفاده از این داده‌ها، مدل‌های رفتاری ماهانه خشکسالی برای هر استان توسعه داده شده است. در این راستا، سیستم خبره و الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای شناسایی الگوها و روندهای خشکسالی در هر استان به کار گرفته شده‌اند. به کمک این روش‌ها، مدلی خطی به عنوان بهترین مدل انتخاب شد که توانست به صورت ماهانه احتمال وقوع خشکسالی را پیش‌بینی کند. در نهایت، یک نقشه آنلاین و تحت وب توسعه داده شده است که نتایج پیش‌بینی‌ها را به صورت ماهانه برای هر استان نمایش می‌دهد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از داده‌های گسترده خشکسالی و توسعه مدل‌های رفتاری ماهانه، می‌توان به پیش‌بینی دقیق و به موقع خشکسالی در هر استان دست یافت. دوازده مدل رفتاری برای هر استان تولید شده که احتمال وقوع خشکسالی را در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهند. این مدل‌ها قادرند به عنوان ابزاری قدرتمند در مدیریت و برنامه‌ریزی مقابله با خشکسالی در سطح استانی و ملی مورد استفاده قرار گیرند. با ارائه نتایج به صورت نقشه‌های آنلاین و تحت وب، دسترسی به اطلاعات و نتایج پیش‌بینی‌ها برای تصمیم‌گیران و مدیران مربوطه ساده‌تر و سریع‌تر می‌شود.

نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از سیستم خبره و مدل‌سازی رفتاری خشکسالی در تمامی استان‌های ایران، منجر به پیش‌بینی دقیق‌تر و به موقع‌تر این پدیده می‌شود. انتخاب مدل خطی به عنوان بهترین مدل، این امکان را فراهم می‌کند که نتایج پیش‌بینی‌ها با دقت بالاتری ارائه شوند. نقشه آنلاین و تحت وبی که توسعه داده شده است، ابزاری مفید برای مدیران و تصمیم‌گیران در زمینه مدیریت منابع آب و مقابله با خشکسالی محسوب می‌شود. این ابزار می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با خشکسالی در سطوح مختلف کمک شایانی کند و به کاهش آثار و پیامدهای

تاریخ دریافت: ۲۵ بهمن ۱۴۰۲
تاریخ داوری: ۱۴ فروردین ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۹ خرداد ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

پیش‌بینی خشکسالی
سیستم خبره
بستر وب
الگوهای رفتاری

* نویسنده مسئول

behzadi@sru.ac.ir

۰۲۱-۲۲۹۷۰۰۲۱

منفی این پدیده طبیعی منجر شود. با توجه به یافته‌های این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های خبره و هوش مصنوعی در پیش‌بینی و مدیریت خشکسالی، نه تنها امکان‌پذیر بلکه بسیار مؤثر است. این رویکرد می‌تواند الگویی برای دیگر کشورهایی باشد که با مشکل خشکسالی مواجه‌اند و نیازمند راهکارهای دقیق و عملی برای مدیریت بهتر منابع آب خود هستند.

مقدمه

خشکسالی یکی از بلایای طبیعی است [۱] که در مقایسه با سایر بلایا از نقطه نظر میزان، شدت، طول مدت واقعه، گسترش منطقه، تلفات جانی، خسارت‌های اقتصادی و اثرات بلند مدت از بالاترین درجات برخوردار است. خشکسالی واقعه‌ای از کمبود طولانی در آب است، خواه جوی (متوسط بارش)، آب سطحی یا آب زیرزمینی باشد. خشکسالی می‌تواند ماه‌ها یا سال‌ها دوام داشته باشد، یا ممکن است بعد از گذشت ۱۵ روز اعلام شود. این می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در اکوسیستم و کشاورزی منطقه آسیب دیده داشته باشد و به اقتصاد محلی آسیب برساند [۲].

فصول خشک سالانه در مناطق استوایی احتمال ابتلا به خشکسالی و آتش‌سوزی‌های بعدی را به‌میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. دوره‌های گرما می‌تواند با تسریع تبخیر بخار آب، شرایط خشکسالی را به‌طور قابل‌توجهی بدتر کند.

بارش‌ها و تأثیرات آن‌ها، از جمله خشکسالی و سیل [۳، ۴]، از جوانب حیاتی در مطالعات مربوط به موارد طبیعی است. بر اساس تحقیقات، خشکسالی به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی با اثرات گسترده و مخرب، مخصوصاً در مناطق استوایی، تلقی می‌شود. عدم وجود بارش‌های منظم و کمبود طولانی مدت آب می‌تواند منجر به وقوع خشکسالی شود که این امر می‌تواند عوارض جدی برای اکوسیستم‌ها و اقتصاد منطقه داشته باشد. از سوی دیگر، بارش‌های شدید نیز می‌توانند به وقوع سیل و خسارت‌های وسیع و وخیم منجر شوند. تغییرات اقلیمی می‌توانند الگوی بارش را تغییر داده و این امر می‌تواند اثرات خشکسالی و سیل را تشدید کند. بنابراین، مدیریت هوشمند بارش‌ها و منابع آب، از جمله استفاده از تکنولوژی‌های مناسب و روش‌های مدیریتی جهت کاهش اثرات منفی خشکسالی و سیل، امری ضروری و حیاتی به‌شمار می‌رود [۵].

امروزه، با پیشرفت فناوری، ابزارهای مختلفی مانند تصاویر ماهواره‌ای، شبکه‌های تحت وب، دستگاه‌های موبایل و ... در مدیریت خشکسالی به کار گرفته می‌شوند. تصاویر ماهواره‌ای [۶]، به عنوان یک ابزار قدرتمند، امکان مشاهده و پایش الگوهای بارش، شناسایی مناطق خشکسالی و ارزیابی وضعیت منابع آب را فراهم می‌کند [۷، ۸]. از سوی دیگر، شبکه‌های تحت وب به عنوان یک پل ارتباطی، امکان به اشتراک‌گذاری داده‌های مربوط به بارش و وضعیت آبیاری را بین محققان، دولتمردان و جامعه عمومی فراهم می‌سازند [۹، ۱۰]. همچنین، دستگاه‌های موبایل و نرم‌افزارهای مربوطه، به کاربران امکان مشاهده و پیگیری وضعیت بارش و آبیاری را در زمان واقعی می‌دهند و اطلاعات مهمی را در اختیار آن‌ها قرار می‌دهند. به طور کلی، استفاده از این ابزارهای فناوری اطلاعات و ارتباطات، در بهبود مدیریت خشکسالی و افزایش اثربخشی

تدابیر پیشگیری و مقابله با این پدیده‌های طبیعی بسیار مؤثر است. تا کنون تحقیق‌های زیادی در این حوزه انجام شده است که در ادامه به نمونه‌های از آن اشاره خواهد شد.

حسینی موعاری و همکاران در سال ۱۳۹۴ پیش‌بینی خشکسالی ایستگاه گنبد کاووس را با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی موسوم به ANN و سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی موسوم به ANFIS انجام دادند. در مجموع ANFIS دارای دقت بالاتری نسبت به مدل ANN در پیش‌بینی خشکسالی بود [۵، ۱۱].

فقیه در سال ۱۳۹۲ پیش‌بینی خشکسالی در منطقه سقز را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و شاخص بارش استاندارد انجام داد. نتایج نشان داد که ANN مقادیر SPI و وضعیت خشکسالی را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی می‌نماید.

حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) پیش‌بینی خشکسالی شهر تبریز را با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل ترکیبی شبکه عصبی-موجکی را انجام داده‌اند. نتایج رخداد خشکسالی به دست آمده از دو مدل، نشان می‌دهند که تعداد رویدادهای خشکسالی بر اساس شاخص SPI با بازه‌های زمانی مختلف، از خشکسالی ملایم به طرف خشکسالی حاد، روند کاهشی داشته است. یعنی احتمال وقوع خشکسالی شدید و حاد نسبت به دیگر خشکسالی‌ها کمتر است [۱۲].

اشرف آوان و بی در سال ۲۰۱۶ به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از ANFIS و ناهنجاری‌های دمای سطح دریا برای منطقه موسمی شرق آسیا پرداختند. این مطالعه مبتنی بر مدل توسعه یافته ANFIS برای پیش‌بینی خشکسالی بود که در آن از داده‌های شاخص بارش استاندارد شده SPI و ناهنجاری دمای سطح دریا SSTA به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل استفاده شد. نتایج نشان داد هنگامی که به همراه SPI از داده‌های ناهنجاری دمای سطح دریا به‌عنوان ورودی استفاده شود، مدل نتایج دقیق‌تری نسبت به زمانی که تنها SPI ورودی مدل باشد ارائه می‌کند [۱۳].

شیرمحمدی و همکاران در سال ۲۰۱۳ با استفاده از مدل‌های ANN و ANFIS به پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی SPI برای سه ماه آینده در استان آذربایجان پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که هر دو روش قادر به پیش‌بینی SPI در منطقه هستند [۱۴].

نگاهی اجمالی به مطالعات انجام شده در زمینه پیش‌بینی خشکسالی نشان می‌دهد که در این زمینه، مطالعات بسیاری در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است. اکثر این مطالعات با استفاده از مدل‌های مختلف نظیر ANN و ANFIS انجام شده است [۱۵، ۱۶]. تاکید تحقیقات گذشته، بیشتر روی مقایسه بین روش‌های پیش‌بینی است و اشاره‌ای به پیش‌بینی خشکسالی تحت بستر وب نداشته‌اند. پس می‌توان گفت جای

تمام استان‌های ایران در حیطه منطقه مورد مطالعه این مقاله قرار گرفته‌اند، که در مختصات جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی جغرافیایی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی جغرافیایی جای دارد که در شکل (۱) مشخص شده است.

از سال ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۰ در زمینه خشکسالی داده‌هایی توسط سایت ایدمان جمع‌آوری شده است که نشان می‌دهد در هر ماه چه تعدادی اخبار خشکسالی منتشر شده است. البته هر روز در صورت وجود یک خبر ثبت شده است، بدین معنا که اگر در یک روز، خبرهای گوناگون در شبکه‌های مختلف خبری منتشر شده باشد، تنها یک خبر محسوب می‌شود. این داده‌ها باید به‌صورت مرتب در پایگاه داده ذخیره شوند و مدل‌های رفتاری خشکسالی ماهانه هر استانی، به کمک این داده‌ها حاصل شود. اطلاعاتی که در هر سال دسترس بود شامل سال وقوع، ماه وقوع، روز وقوع، نام استان و نام بحران است [۱۸، ۲۲، ۲۳].

برای بیشتر شدن دقت مدل‌سازی رفتار بحران خشکسالی تصمیم گرفته شد که به جای پیش‌بینی سالانه، رفتار بحران خشکسالی به‌صورت ماهانه بررسی شود و در نهایت به‌صورت درصدی برای احتمال وقوع خشکسالی در هر روز ارائه شود، بدان معنا که اگر در مدل رفتاری ۱۵ روز در ماه خشکسالی پیش‌بینی شود احتمال وقوع خشکسالی برای کاربر ۵۰ درصد نمایش داده می‌شود.

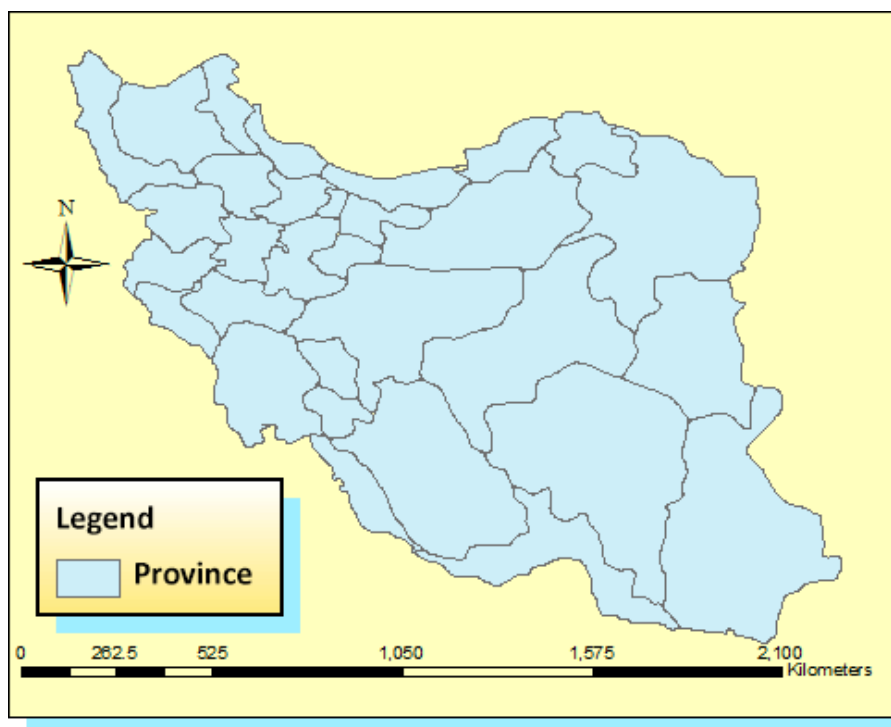
برای بحران خشکسالی در هر استان ۱۲ مدل ارائه می‌شود که رفتار خشکسالی را در هر ۱۲ ماه سال به‌طور جداگانه پیش‌بینی می‌کند. با توجه به اینکه ایران ۳۱ استان دارد، ۳۷۲ مدل رفتاری برای پیش‌بینی بحران خشکسالی ارائه می‌شود.

یک سامانه آنلاین تحت بستر وب برای ارائه پیش‌بینی خشکسالی خالی است [۱۷]. البته، مابقی بحران‌ها نیز می‌توانند به این سامانه اضافه شوند. هدف این مقاله پیش‌بینی خشکسالی با پیدا کردن مدل رفتاری برای خشکسالی و همچنین به کمک سیستم خبره یا متخصص است. سیستم خبره به دلیل سرعت در اجرای قوانین، برای استفاده در بستر وب بسیار کاربردی است، چراکه، یک عامل مهم در بستر وب، پاسخ سریع به درخواست کاربر است [۱۸].

پیش‌بینی رفتار خشکسالی حایز اهمیت است، چراکه برای مدیریت کردن هر بحرانی از جمله خشکسالی آمادگی قبل از بحران مهم است تا بتوان آن بحران را مدیریت کرد [۱۹، ۲۰]. هدف این مقاله پیش‌بینی و مدیریت خشکسالی به کمک سیستم خبره یا متخصص و همچنین مدل رفتاری ماهانه خشکسالی در هراستان ایران است.

مواد و روش‌ها

در این مقاله به کمک یک سیستم خبره یا متخصص و زبان برنامه‌نویسی پایتون را پیاده‌سازی می‌شود [۲۱]. این سیستم خبره با توجه به مدل رفتاری ماهانه خشکسالی در هر استان، پیش‌بینی خشکسالی را ارائه دهد. خروجی این مقاله در بستر وب است. به نحوی که تمام افراد جامعه به آسانی از آن استفاده کنند. این اطلاع‌رسانی می‌تواند افراد عادی و مسئولان را هشدار کند که خطر خشکسالی تا چه حد در کمین آن‌هاست.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه، استان‌های ایران
Fig. 1: Study Area, Provinces of Iran

مثالی دیگر: فرض کنید عدد ۳ در ردیف ۲۰، با توجه به جدول ۱، این عدد بیان‌گر این است که، در استان آذربایجان غربی برای بحران خشکسالی در سال ۱۳۸۹ و در آبان ماه، ۳ مورد خشکسالی ثبت شده است.

این داده‌ها در پایگاه داده توسط حلقه‌های تو در تو به کمک زبان پایتون در جدولی به نام ws_data_88 ذخیره شد. ستون‌های این جدول شامل id, year, month, day, province و disaster است که در شکل (۲) نمایش داده شده است.

برای رفتار هر یک از بحران‌ها، در هر ماه، یک مدل در نظر گرفته شده است. در واقع هر بحران به جای یک مدل که فقط رفتار بحران را در هر سال بیان کند، دارای ۱۲ مدل است. به کمک این دوازده مدل به دست آمده رفتار بحران در هر ماه سال پیش‌بینی می‌شود.

باتوجه به اینکه کاربر در چه ماهی قرار دارد، پاسخ مدنظر به او داده می‌شود. چون در برنامه‌نویسی فقط با اعداد می‌خواهیم سروکار داشته باشیم، به دلیل سرعت در اجرا و کمتر شدن حجم کدنویسی، باید برای استان‌ها لیستی تهیه کنیم و تا پایان تحلیل‌های پژوهش، نتیجه‌گیری و اطلاع‌رسانی به کاربر، از این ترتیب پیروی کنیم. ترتیب استان‌ها به شرح جدول ۱ است:

ابتدا داده‌ها را بر اساس حلقه‌های تو در تو مرتب کردیم. خروجی این حلقه برای ماتریس برداری یا تک‌ستون است که هر عدد یا سطر آن ارائه دهنده تعداد وقوع بحران خشکسالی برای یک استان و در یکی از سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۰ و یکی از ماه‌هاست. برای مثال، فرض کنید عدد ۲ در این لیست در ردیف ۱۰ قرار دارد، با توجه به جدول ۱ این عدد بیان‌گر این است که، در استان آذربایجان شرقی برای بحران خشکسالی در سال ۱۳۸۸ و در دی ماه، ۲ مورد اخبار خشکسالی ثبت شده است.

جدول ۱: نام و ترتیب استان‌ها

Table 1: Names and Order of Provinces

نام استان‌ها The names of the provinces				
۱. آذربایجان شرقی 1. East Azarbaijan	۸. تهران 8. Tehran	۱۵. سمنان 15. Semnan	۲۲. کرمانشاه 22. Kermanshah	۲۹. هرمزگان 29. Hormozgan
۲. آذربایجان غربی 2. West Azarbaijan	۹. چهارمحال و بختیاری 9. Chaharmahal and Bakhtiari	۱۶. سیستان و بلوچستان 16. Sistan and Baluchestan	۲۳. کهگیلویه و بویراحمد 23. Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	۳۰. همدان 30. Hamedan
۳. اردبیل 3. Ardabil	۱۰. خراسان جنوبی 10. South Khorasan	۱۷. فارس 17. Fars	۲۴. گلستان 24. Golestan	۳۱. یزد 31. Yazd
۴. اصفهان 4. Isfahan	۱۱. خراسان رضوی 11. Razavi Khorasan	۱۸. قزوین 18. Qazvin	۲۵. گیلان 25. Gilan	
۵. البرز 5. Alborz	۱۲. خراسان شمالی 12. North Khorasan	۱۹. قم 19. Qom	۲۶. لرستان 26. Lorestan	
۶. ایلام 6. Ilam	۱۳. خوزستان 13. Khuzestan	۲۰. کردستان 20. Kurdistan	۲۷. مازندران 27. Mazandaran	
۷. بوشهر 7. Bushehr	۱۴. زنجان 14. Zanjan	۲۱. کرمان 21. Kerman	۲۸. مرکزی 28. Markazi	

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra
1	id	int(11)			No	None		AUTO_INCREMENT
2	year	int(4)			No	None		
3	month	int(2)			No	None		
4	day	int(2)			No	None		
5	province	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		Yes	NULL		
6	disaster	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		Yes	NULL		

شکل ۲: ساختار جدول ws_data_88 به منظور ذخیره‌سازی داده‌های خام

Fig. 2: Structure of the ws_data_88 Table for Storing Raw Data

رابطه (۴) باشد. برای هر یک از سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ عددی توسط این مدل بدست می‌آید. همچنین اعداد واقعی این رخداد را همان‌طور که بیان شد از سایت ایدمان داریم. حال کافی است به کمک رابطه (۵)، ضریب همبستگی پیرسون بین اعداد محاسباتی بدست آمده از مدل و اعداد واقعی مربوطه، محاسبه می‌شود. این روند برای ۳۷۲ مدل فرعی انجام می‌پذیرد. در نهایت با میانگین گرفتن از این ۳۷۲ عدد، ضریب همبستگی پیرسون برای مدل اصلی بدست می‌آید. لازم به ذکر است مدل اصلی حاصل از برازش رابطه (۱) تا رابطه (۴) هر یک به‌طور جداگانه این روند را طی می‌کنند و برای هر یک ضریب همبستگی پیرسون، رابطه (۵)، محاسبه می‌شود.

نتایج

ضریب همبستگی پیرسون برای مدل‌های اصلی یا کلی حاصل از رابطه (۱)، رابطه (۲)، رابطه (۳) و رابطه (۴) در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲: ضریب همبستگی پیرسون حاصل برازش چندجمله‌ای روابط (۱)، (۲)، (۳) و (۴)

Table 2: Pearson Correlation Coefficients Obtained from Fitting Polynomial

Relationships (1), (2), (3), and (4)	
Polynomial Type	Pearson Correlation Coefficient
Relation (1)	0.36
Relation (2)	0.31
Relation (3)	0.34
Relation (4)	0.38

در نهایت برای بحران خشکسالی در هر استانی ۱۲ مدل فرعی حاصل شد. هر یک از این مدل‌ها رفتار بحران خشکسالی در استان مربوطه را به ترتیب برای ماه‌های فروردین تا اسفند ارائه دادند. تعداد استان‌ها ۳۱ و تعداد ماه‌ها ۱۲ است، پس در نهایت ۳۷۲ مدل فرعی برای هر یک از مدل‌های اصلی، به‌طور جداگانه، بدست آمد. ضرایب مدل‌های فرعی در پایگاه داده ذخیره شد.

برازش دادن روابط (۱)، (۲)، (۳) و (۴) بدین معنی است که ضرایب a و b و c و d و e بدست آورده شود. رابطه (۱) دو ضریب a و b را دارد که با ساختاری که در شکل (۳) آمده است ذخیره شد.

در شکل (۳) تنها ساختار جدول مدل رابطه (۱) در پایگاه داده آمده است. برای مدل‌های دیگر کافیت، ستون ضرایب دیگر را در جدول اضافه کرد. مدل رابطه (۲) ستون ضریب c ، مدل رابطه (۳) ستون ضریب c و d و مدل رابطه (۴) ستون ضریب c ، d و e اضافه می‌شود. در نهایت تمام ضرایب مدل‌ها در جدولی، به‌طور جداگانه، در پایگاه داده ذخیره شد.

اطلاع‌رسانی به کاربر به گونه‌ای است که امکان انتخاب هر چهار مدل تولید شده را به کاربر می‌دهد. همچنین مقایسه نتایج پیش‌بینی این مدل‌ها را نسبت به هم فراهم می‌آورد. این نوع اطلاع‌رسانی با یک سیستم خبره یا متخصص و به کمک مدل‌های رفتاری بدست آمده از روابط (۱)، (۲)، (۳) و (۴) حاصل شده است. در بستر وب زمان ارائه پاسخ به درخواست کاربر بسیار اهمیت دارد. هرچه معادلات و تحلیل‌های

با استفاده از داده‌های سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۵، رابطه (۱)، رابطه (۲)، رابطه (۳) و رابطه (۴)، برای هر یک از ماه‌ها برازش داده می‌شود. پس، داده‌های سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۵ را برای برازش داده منحنی و ارائه مدل مورد استفاده قرار داده شده است. داده‌های سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ را نیز برای بدست آوردن ضریب همبستگی پیرسون، رابطه (۵) [۲۴]، به کار گرفته می‌شود. در نهایت چهار نوع مدل رفتاری اصلی برای خشکسالی حاصل می‌شود.

$$Y = aX + b \quad (۱)$$

$$Y = aX^2 + bX + c \quad (۲)$$

$$Y = aX^3 + bX^2 + cX + d \quad (۳)$$

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e \quad (۴)$$

a ، b ، c ، d و e ضرایب معادلات چندجمله‌ای هستند.

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (۵)$$

در رابطه ۵، σ_X ، انحراف معیار X ، σ_Y ، انحراف معیار Y ، $\rho_{X,Y}$ ، ضریب همبستگی پیرسون بین X و Y و $\text{cov}(X,Y)$ ، کواریانس بین X و Y می‌باشد

انحراف استاندارد اندازه گیری میزان تغییر یا پراکندگی مجموعه ای از مقادیر است [۲۵، ۲۶]. در تئوری و آمار احتمال، کواریانس اندازه گیری تنوع مشترک دو متغیر تصادفی است [۲۷، ۲۸]. ضریب همبستگی پیرسون اندازه گیری همبستگی خطی بین دو مجموعه داده است. [۲۹، ۳۰] این ضریب نسبت بین کواریانس دو متغیر و محصول انحراف معیار آن‌ها است. بنابراین، در اصل یک اندازه گیری عادی از کواریانس است، به گونه‌ای که نتیجه همیشه دارای یک مقدار بین ۱- تا ۱ است. مانند خود کواریانس، این اندازه گیری فقط می‌تواند یک همبستگی خطی متغیرها را منعکس کند و بسیاری از انواع دیگر روابط را نادیده می‌گیرد. با محاسبه ضریب همبستگی پیرسون برای هریک از مدل‌ها و مقایسه نتایج با یکدیگر، بهترین مدل به عنوان مدل رفتاری خشکسالی، انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است هر نوع مدل رفتاری شامل ۳۷۲ مدل فرعی است که هریک برای استان و ماه خاصی است. میانگین ضرایب همبستگی ۳۷۲ مدل فرعی، ضریب همبستگی مدل اصلی یا کلی است. برای این ۳۷۲ مدل تولید شده، در هر مدل کلی، داده‌های سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ را محاسبه و ذخیره می‌کنیم. داده‌های واقعی نیز از سایت ایدمان در دسترس است. حال داده‌های محاسباتی و واقعی موجود است، کافیت ضریب همبستگی پیرسون را برای این مدل‌ها به‌طور جداگانه محاسبه و میانگین گیری کرد.

توضیح بیشتر اینکه، برای هریک از مدل‌های فرعی، که معرف مدل رفتاری خشکسالی برای یک استان مشخص و ماه مشخصی است، هشت داده محاسباتی و واقعی در دسترس است. با مثالی این موضوع روشن تر بیان خواهد شد.

رفتار بحران خشکسالی استان تهران در فروردین ماه مدل رفتاری دارد که می‌تواند حاصل از برازش منحنی رابطه (۱)، رابطه (۲)، رابطه (۳) یا

خشکسالی یک بحران یا بلای طبیعی است [۱]. خشکسالی معمولاً از یک رفتار ثابت پیروی نمی‌کنند. چراکه یک بارش باران شدید غیرمنتظره می‌تواند تمام مدل‌های پیش‌بینی را دچار چالش بزرگی کند. پس نمی‌توان انتظار همبستگی بالایی از مدل‌ها نسبت به واقعیت داشت. به‌طور خاص تعریف ضریب تعیین، مربع همبستگی بین دو متغیر است. [۳۱] ضریب تعیین یا مجذور ضریب همبستگی دو مدل ANFIS و ANN، که به‌منظور پیش‌بینی خشکسالی طراحی شده بود، بررسی شد [۳۲]. داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های زابل، زاهدان، خاش، ایرانشهر و چابهار از سال آبی ۶۵-۶۴ تا ۹۵-۹۴ در این تحقیق مورد استفاده می‌باشد. در مجموع مدل ANFIS دقت بهتری از ANN داشته است. پس برای مقایسه نتایج، تنها مدل ANFIS را در نظر می‌گیریم. نتایج حاصل از مدل ANFIS در جدول (۳) آمده است. این نتایج برای پیش‌بینی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان است. در جدول (۳) شاخص‌های بارندگی استاندارد شده، درصد نرمال و خشکسالی موثر مورد بررسی قرار گرفته است [۳۳].

پیچیده‌تری برای اطلاع‌رسانی استفاده شود، زمان ارائه پاسخ به درخواست کاربر بیشتر می‌شود.

برای ارائه اطلاعات به کاربر، نیاز به ماهی که کاربر درخواست ارسال کرده است و همچنین استان مد نظر کاربر داریم. با مشخص شدن ماه و استان و به کمک مدل‌های رفتاری و سیستم خبره یا متخصص، احتمال وقوع خشکسالی در بستر وب به کاربر نمایش داده می‌شود. نحوه ارائه اطلاعات به کاربر در شکل (۴) آمده است.

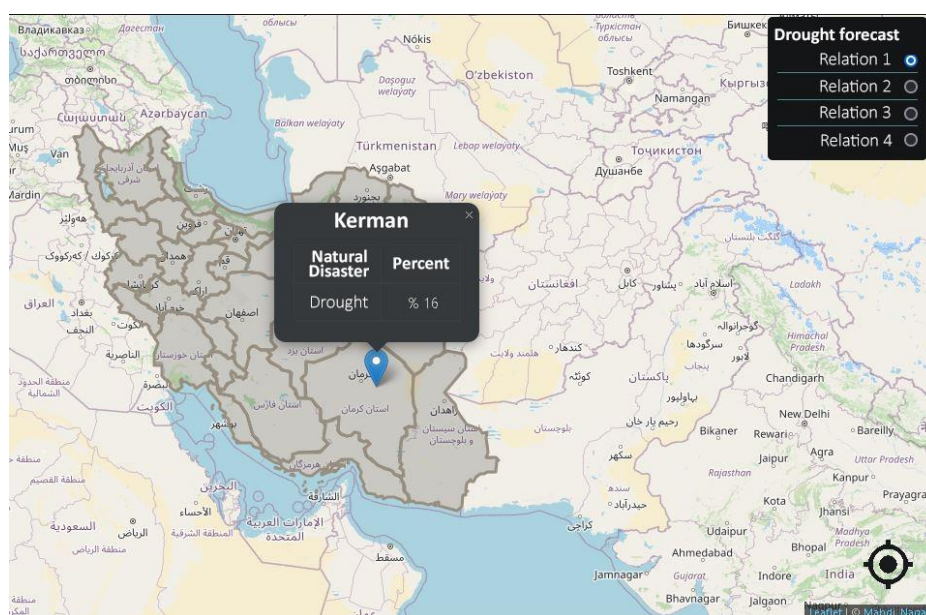
بحث و بررسی

با توجه به جدول شماره (۲) می‌توان گفت معادلات پیچیده‌تر بهبودی چشم‌گیری در مدل رفتاری و ضریب همبستگی آن ایجاد نمی‌کند. همچنین می‌توان گفت به ترتیب رابطه (۴)، رابطه (۱)، رابطه (۳) و رابطه (۲) از ضریب همبستگی بهتری برخوردار هستند. پیچیده شدن مدل از رابطه (۱) به رابطه (۲) موجب بهبود همبستگی بین مدل و واقعیت نمی‌شود. اما پیچیده شدن مدل از رابطه (۲) به رابطه (۳) و همچنین از رابطه (۳) به رابطه (۴) این همبستگی را بهبود می‌بخشد.

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra
1	id	int(255)			No	None		AUTO_INCREMENT
2	province	varchar(255)	utf8_general_ci		No	None		
3	province_code	int(255)			No	None		
4	disaster	varchar(255)	utf8_general_ci		No	None		
5	disaster_code	int(255)			No	None		
6	month	int(255)			No	None		
7	coef_a	float			No	None		
8	coef_b	float			No	None		

شکل ۳: ساختار جدول ذخیره ضرایب مدل چندجمله‌ای رابطه (۱)

Fig. 3: Structure of the Table for Storing Polynomial Model Coefficients of Relationship (1)



شکل ۴: احتمال خشکسالی کرمان در ماه شهریور در مدل خطی یا رابطه (۱)

Fig. 4: Drought Probability in Kerman in the Month of Shahrivar in Linear Model or Relationship (1)

نیست، چراکه زمان ارائه اطلاعات به کاربر را افزایش می‌دهد. پس بهتر است از چندجمله‌ای رابطه (۱) یا مدل خطی با ضریب همبستگی ۰.۳۶ استفاده شود.

پیشنهاد می‌شود این روند برای بحران‌های دیگری از جمله آلودگی هوا، سیل، زلزله، آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع نیز انجام گیرد تا در نهایت سامانه‌ای کامل و جامع، تحت بستر وب، عرضه شود. همچنین مدل‌های دیگری نیز برای خشکسالی تحت بستر وب ارائه و نتایج حاصل، با یکدیگر مقایسه شود.

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 مأخذ

- [1] Maybank J, Bonsai B, Jones K, Lawford R, O'brien E, Ripley E, et al. Drought as a natural disaster. *Atmosphere-Ocean*. 1995;33(2):195-222.
- [2] Mohammadi J, Vafaeinezhad A, Behzadi S, Aghamohammadi H, Hemmasi A. Drought prediction and modeling by hybrid wavelet method and neural network algorithms. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 2022;13(4):13-6.
- [3] Karimi P, Safaval PA, Behzadi S, Azizi Z, Zarkash MMK, Kalashami HK. Flood Risk Zoning Using Geographical Information System Case Study: Khorramabad Flood in April 2019. *Acta hydrotechnica*. 2022;35(63):89-100.
- [4] Jalilzadeh A, Behzadi S, editors. Flood Mapping and Estimation of Flood Water-Level Using Fuzzy Method and Remote Sensing Imagery (Case Study: Golestan Province, Iran). *Forum Geografic*; 2020: University of Craiova, Department of Geography.
- [5] Behzadi S, Mousavi Z, Norouzi E. Mapping Historical Water-Supply Qanat Based On Fuzzy Method. An Application to the Isfahan Qanat (Isfahan, Iran). *International Journal of Numerical Methods in Civil Engineering*. 2019;3(4):24-32.
- [6] SHIRAVAND H, KHALEDI S, BEHZADI S, Shokri SHA. Monitoring and assessing the changes in the coverage and decline of oak forests in Lorestan Province using Satellite Images and BFAST Model. 2020.

جدول ۳: میانگین مجذور ضریب همبستگی پنج ایستگاه برای مدل ANFIS

Table 3 - Mean Squared Correlation Coefficients of Five Stations for ANFIS Model

Index	Mean square correlation coefficient
Standardized Precipitation Index (SPI)	0.48
Normalized Precipitation Index (PN)	0.55
Effective Drought Index (EDI)	0.92

در شاخص EDI خشکسالی به‌طور روزانه پایش می‌شود [۶]. پس نمی‌توان نتایج این شاخص را با نتایج مدل‌های روابط (۱) تا (۴) مقایسه کرد. مدل‌های روابط (۱) تا (۴) به‌طور ماهانه برازش داده شده‌اند. با توجه به جدول (۲) و (۳) مدل ANFIS از نظر همبستگی بهتر از مدل رفتاری روابط (۱) تا (۴) است. در بستر وب امکان تحلیل‌های طولانی مدت را نداریم. زمان اطلاع‌رسانی در بستر وب تا حد امکان باید کم باشد. طولانی شدن این زمان کاربر را خسته کرده و سامانه اطلاع‌رسانی ساخته شده با مدل ANFIS کارایی چندانی ندارد. لازم به ذکر است دقت‌های بالا در زمینه پیش‌بینی رفتار یک بحران یا بلای طبیعی، کمی اغراق‌آمیز است، چراکه اگر با دقت بالا امکان پیش‌بینی بلایای طبیعی میسر بود، این حجم از خسارات ناشی از این بلایا دچار زمین نمی‌شد.

نتیجه‌گیری

پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم، به‌ویژه در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای، طی سال‌های اخیر مشکلات زیادی را همراه داشته است. این پیامدها به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بخش‌های مختلف جامعه را تحت تاثیر قرار داده است. یکی از مهمترین این پیامدها افزایش وقوع بلایای جوی - اقلیمی نظیر سیل، خشکسالی، چرخنده‌های حاره‌ای، بالا آمدن سطح آب دریا، توفان گرد و غبار و ... است. که شایع‌ترین آن‌ها در ایران وقوع سیل و خشکسالی است. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و سیستم‌های سینوپتیکی که این منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. آشکار است که خشکی از جمله ویژگی‌های این منطقه به حساب می‌آید. خشکسالی یکی از مهمترین و شایع‌ترین بلایای جوی - اقلیمی است که این کشور را متأثر می‌سازد. از آنجا که خشکسالی، بخش‌های مختلف جامعه مانند منابع آب، کشاورزی، صنعت، اقتصاد، بهداشت و ... را تحت تاثیر قرار می‌دهد. لذا پایش و ارزشیابی این بحران در آینده به‌منظور برنامه ریزی صحیح در بخش‌های مختلف جامعه، امری لازم و ضروری است.

در این مقاله به بحران خشکسالی در ایران به‌کمک داده‌های سال ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۰ پرداخته شد. با دستیابی به مدل رفتار خشکسالی در هر ماه، سیستم خبره یا متخصصی در بستر وب طراحی و پیاده‌سازی شد.

با توجه به جدول (۲) می‌توان اذعان کرد، ضریب همبستگی پیرسون برای چهار مدل چندجمله‌ای رابطه (۱)، رابطه (۲)، رابطه (۳) و رابطه (۴) بسیار نزدیک به هم است. در این پژوهش بنا به دلایل متنوع از جمله؛ اطلاع‌رسانی تحت وب، تا حد ممکن باید پاسخ به کاربر در زمان کوتاهی انجام گیرد. به‌همین جهت استفاده از معادله‌های پیچیده‌تر برای بهتر شدن ضریب همبستگی به میزان ۰.۰۲ به هیچ‌وجه درست

- Spatial Analysis of Water Levels at the Time of Drought. *Journal of Geomatics Science and Technology*. 2020;9(3):73-84.
- [20] Mahjoobi M, Behzadi S. Solar desalination site selection on the Caspian Sea coast using AHP and fuzzy logic methods. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2022;1-9.
- [21] Poorazizi E, Alesheikh A, Behzadi S. Developing a mobile GIS for field geospatial data acquisition. *J Appl Sci*. 2008;8(18):3279-83.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Schober P, Boer C, Schwarte LA. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia*. 2018;126(5):1763-8.
- [25] Bland JM, Altman DG. Statistics notes: measurement error. *Bmj*. 1996;312(7047):1654.
- [26] Ghashghaie S, Behzadi S. Spatial Statistics Analysis to Identify Hot Spots Using Accidental Event Calls Services. *Journal of Statistical Research of Iran JSRI*. 2019;16(1):121-41.
- [27] Rice JA. *Mathematical statistics and data analysis*: Cengage Learning; 2006.
- [28] Abdollahi A, Behzadi S. Socio-Economic and Demographic Factors Associated with the Spatial Distribution of COVID-19 in Africa. *Journal of Racial and Ethnic Health Disparities*. 2022;1-13.
- [29] Ahmed Z, Kumar S. Pearson's correlation coefficient in the theory of networks: A comment. *arXiv preprint arXiv:180306937*. 2018.
- [30] Deng J, Deng Y, Cheong KH. Combining conflicting evidence based on Pearson correlation coefficient and weighted graph. *International Journal of Intelligent Systems*. 2021;36(12):7443-60.
- [31] Everitt. Everitt BS 2002: *The Cambridge dictionary of statistics* (2nd ed.). CUP. p. 78. ISBN 978-0-521-81099-9. 2002.
- [32] Jalilzadeh A, Behzadi S. Machine learning method for predicting the depth of shallow lakes using multi-band remote sensing images. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*. 2019;3(2):54-64.
- [33] Shiravand H, Khaledi S, Behzadi S. Evaluation and Prediction of Decline of Oak Forests in Middle Zagros (Lorestan Section) with a Climate Change Approach. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*. 2019;17(1):64-81.
- [7] Norouzi E, Behzadi S. Evaluating machine learning methods and satellite images to estimate combined climatic indices. *International Journal of Numerical Methods in Civil Engineering*. 2019;4(1):30-8.
- [8] Norouzi E, Behzadi S. The Feasibility of Machine-learning Methods to Extract the Surface Evaporation Quantity using Satellite Imagery. *Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations (JECEI)*. 2021;9(2):229-38.
- [9] Mousavi Z, Behzadi S. Geo-Portal Implementation with a Combined Approach of AHP and SWOT. *International Journal of Natural Sciences Research*. 2019;7(1):23-31.
- [10] Mousavi Z, Behzadi S. Introducing an Appropriate Geoportal Structure for Managing Wildlife Location Data. *International Journal of Natural Sciences Research*. 2019;7(1):32-48.
- [11] Hosseini-Moghari S.M., Araghinejad Sh. Application of Statistical, Fuzzy and Perceptron Neural Networks in Drought Forecasting (Case Study: Gonbad-e Kavous Station). *Journal of Water and Soil*. 2016;30(1):247-259.
- [12] Hassanzadeh Y., Abdi Kordani A., Fakheri Fard A.. Drought Forecasting Using Genetic Algorithm and Conjoined Model of Neural Network-Wavelet. *Journal of Water and Wastewater*. 2012;23(3):48-59.
- [13] Awan JA, Bae DH. Drought prediction over the East Asian monsoon region using the adaptive neuro-fuzzy inference system and the global sea surface temperature anomalies. *IJCli*. 2016;36(15):4767-77.
- [14] Shirmohammadi B, Moradi H, Moosavi V, Semiromi MT, Zeinali A. Forecasting of meteorological drought using Wavelet-ANFIS hybrid model for different time steps (case study: southeastern part of east Azerbaijan province, Iran). *Natural hazards*. 2013;69(1):389-402.
- [15] Behzadi S, Jalilzadeh A. Introducing a Novel Digital Elevation Model Using Artificial Neural Network Algorithm. *Civil Engineering Dimension*. 2020;22(2):47-51.
- [16] Mokhtarzad M, Eskandari F, Jamshidi Vanjani N, Arabasadi A. Drought forecasting by ANN, ANFIS, and SVM and comparison of the models. *Environmental earth sciences*. 2017;76:1-10.
- [17] Arandian N, Behzadi S. Providing a Web-Based Platform Based on Predicted Weights from Existing Conditions. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020;42:1169-72.
- [18] Ghasempoor Z, Behzadi S. Provide an Automated Web-based Platform for Collecting Traffic Data. *Journal of Geomatics Science and Technology*. 2022;12(1):171-86.
- [19] Barzegari S, Agahmohammadi H, Behzadi S. Development of a Strategy Using Spatial Analysis and Neural Network for



سعید بهزادی دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی عمران نقشه برداری گرایش سامانه اطلاعات مکانی از دانشگاه صنعتی خواجه نصیر از تهران می باشد. از سال ۱۳۹۵ تا کنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی عمران نقشه برداری دانشگاه

تربیت دبیر شهید رجائی مشغول به فعالیت میباشند ایشان تا کنون موفق به چاپ بیش از ۱۰۰ مقاله در مجلات و کنفرانس های معتبر بین المللی شده اند. زمینه های تخصصی ایشان عبارتند از هوش مصنوعی GIS پزشکی کاربرد یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در GIS.

Behzadi, S. Assistance Professor at the Department of Surveying and Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

✉ behzadi@sru.ac.ir

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



مهدی ناگهی دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی سامانه های اطلاعات مکانی از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی تهران می باشد. همچنین مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی عمران نقشه برداری از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی در سال ۱۳۹۶ اخذ نموده بود. ایشان از سال ۱۳۹۷ تاکنون به عنوان هنر آموز رشته ساختمان و کامپیوتر در آموزش و پرورش تهران مشغول به فعالیت می باشد. زمینه تخصصی ایشان برنامه نویسی در حوزه GIS می باشد.

Nagahi, M. Department of Surveying and Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

✉ nagahiedu@gmail.com

Citation (Vancouver): Nagahi M, Behzadi S. [Detection of Drought Behavioral Patterns and Its Prediction Using Web-Based Expert Systems]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 169-178

<https://doi.org/10.22061/jrsg.2024.10772.1063>



COPYRIGHTS



© 2024 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 2, Issue 1, Serial Number 3, Winter & Spring 2024

Slum Area Mapping Using UAV Photogrammetry <i>H. Salih Mahdi, E. Ghanbari Parmehr, S. A. Anvari</i>	1-10
Determining Soil Roughness and Moisture Parameters Using Sentinel-1 Satellite Data via OH Model: A Case Study of Agricultural Land in Nazarabad City <i>H. Babaeifard, S. Sadeghian</i>	11-24
Evaluation of Metaheuristic Algorithms in Selecting the Building Optimal Cover Based on the Effect of Urban Heat Islands <i>A. Ghandian, N. Mostofi, A. Majidizadeh, H. Motieyan</i>	25-44
Dynamic Analysis of Urban Heat Islands in Tehran (2013-2023) Based on MODIS Images and Google Earth Engine <i>S. T. Mansouri, E. Zarghami</i>	45-64
Exploring Factors Influencing High Volume of Requests to Rescue Centers: A Geographically Weighted Regression Analysis <i>M. Minaei, M.H. Vahidnia, Z. Rezaei</i>	65-78
Investigation of Spatio-Temporal Patterns of suburban Traffic Accidents in Isfahan Province in GIS Environment <i>M. Rahmati, H. AghaMohammadi Zanjirabad, S. Behzadi, AA. AleSheikh</i>	79-96
Subsidence Monitoring along Tehran Railway: An Analysis of InSAR and Ground Observations <i>J. Piri, E. Javadnia</i>	97-112
Using Machine Learning Methods for Classify Landsat 9 Satellite Images in Order to Evaluate the Area of Urban Land Uses (West of Tehran) <i>H. Joulaei, A.R. Vafaeinajad</i>	113-126
Prediction of Total Soil Nitrogen Variations Using Three Machine Learning Approaches and Remote Sensing Data <i>Sh. Felegari, k. Moravej, A. Sharifi, A. Golchin, P. Karami</i>	127-140
Revealing Unauthorized Constructions on Forest Lands in the Framework of Environmental Cadastre: a Case Study of Lalon Village <i>H. Babaeifard, S. Sadeghian, A. Gharagozlo</i>	141-154
Improving Classification Accuracy of High Spatial Resolution Images by Using Texture Quantization and Genetic Feature Selection <i>H. Ashoori</i>	155-168
Detection of Drought Behavioral Patterns and Its Prediction Using Web-Based Expert Systems <i>M. Nagahi, S. Behzadi</i>	169-178