

Detection and Monitoring of Urban Constructions in Central District of Noor Township Using Satellite Imagery and Based on Spatial Planning Approach

Azra Moshtagheh Mehr¹, Asadullah Hejazi^{2*}

¹MA, Land Use Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

²Associate Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received Date: 08 June 2025 Accepted Date: 14 September 2025

Abstract

Background and Objective: Given the increasing trend of global urbanization, studying and monitoring the expansion of urban constructions is of great importance, as the growth of such structures often leads to significant changes in land surface cover. Accordingly, the objective of this study is to analyze and investigate the trend of expansion of urban constructions in a part of Noor County, Mazandaran Province.

Methodology: In this study, land use maps of the study area for the period 2005–2025 were extracted using Landsat 5 and 8 satellite imagery and the Support Vector Machine (SVM) model. Additionally, the Land Change Modeler (LCM) tool was employed to assess the temporal-spatial patterns of change during this period.

Results and Findings: The findings of this study indicate that the area of urban constructions in the region increased from 33.07 km² in 2005 to 92.7 km² in 2015, and further to 97.15 km² in 2025. Accordingly, the extent of constructions in proximity to the cities of the region has shown greater growth due to increased construction activities. Assessments reveal the inevitable impact of the expansion of constructions on the reduction of other land use types in the region. By 2025, approximately 99.8 km² of the region have been directly affected by the expansion of constructions, with pastures and agricultural lands experiencing the most significant impacts in this regard. The results of this study highlight the increasing trend of expansion of human constructions in parallel with the region's population growth and underscore the importance of adopting land use planning and programs to optimally manage land use in line with sustainable territorial development.

Keywords: "Change Detection", "Urban Constructions", "Remote Sensing", "Spatial Planning", "Noor".

* Corresponding Author Email: a_hejazi@tabrizu.ac.ir

Cite this article: Moshtagheh Mehr, A. and Hejazi, S. A. (2026). Detection and Monitoring of Urban Constructions in Central District of Noor Township Using Satellite Imagery and Based on Spatial Planning Approach. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 7(1), 340-354.



تشخیص و پایش فزاینده‌گی مستحدثات شهری در محدوده بخش مرکزی شهرستان نور با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و مبتنی بر رویکرد آمایشی

عذرا مشتاق مهر^۱، سید اسدالله حجازی^{۲*}

۱. کارشناس ارشد، رشته برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲. دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به روند روزافزون شهرنشینی جهانی، مطالعه و پایش فزاینده‌گی مستحدثات انسانی اهمیت بسیار زیادی دارد، زیرا رشد مستحدثات اغلب منجر به دگرگونی‌های گسترده در پوشش سطحی زمین می‌شود. بر همین اساس، هدف پژوهش حاضر تحلیل و بررسی روند گسترش مستحدثات در بخشی از شهرستان نور در استان مازندران می‌باشد.

روش‌شناسی: در پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ و بهره‌گیری از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) به استخراج نقشه کاربری اراضی منطقه در بازه زمانی ۲۰۲۵-۲۰۰۵ اقدام شده است. همچنین، از ابزار مدل‌ساز تغییرات زمین (LCM) جهت ارزیابی الگوهای زمانی-فضایی تغییر در این مدت بهره گرفته شده است.

نتایج و یافته‌ها: یافته‌های پژوهش حاضر بیانگر این بوده است که مساحت مستحدثات در سطح منطقه از ۳۳/۰۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۵ به ۹۲/۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۵ و ۹۷/۱۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته است. بر این اساس، گستره مستحدثات در مجاورت شهرهای منطقه به دلیل رشد ساخت‌وسازها رشد بیشتری را نشان داده است. ارزیابی‌ها بیانگر تأثیر غیرقابل اجتناب گسترش مستحدثات بر کاهش سطح سایر کاربری‌ها در سطح منطقه می‌باشد و تا سال ۲۰۲۵ مساحتی در حدود ۹۹/۸ کیلومتر مربع از منطقه به طور مستقیم تحت تأثیر گسترش مستحدثات قرار گرفته است که در این میان، مراتع و اراضی زراعی بیشترین تأثیرپذیری را در این زمینه داشته‌اند. نتایج پژوهش حاضر روند فزاینده‌گی گسترش مستحدثات را به موازات رشد جمعیت منطقه آشکار ساخته و اهمیت اتخاذ طرح‌ها و برنامه‌های آمایشی را جهت مدیریت بهینه کاربری زمین در راستای توسعه پایدار سرزمینی را برجسته ساخته است.

کلیدواژه‌ها: "تشخیص تغییرات"، "مستحدثات"، "سنجش از دور"، "آمایش سرزمین"، "شهرستان نور".

* نویسنده مسئول: a_hejazi@tabrizu.ac.ir

ارجاع به این مقاله: مشتاق مهر، عذرا و حجازی، سید الله. (۱۴۰۵). ۲۰. تشخیص و پایش فزاینده‌گی مستحدثات شهری در محدوده بخش مرکزی شهرستان نور با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و مبتنی بر رویکرد آمایشی. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای. ۱(۷)، ۳۴-۳۵۴.

مقدمه و بیان مسأله

پدیده شهرنشینی و تبعات مختلف آن از جمله رشد فزاینده جمعیت و گسترش مستحذات، در سال‌های اخیر مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. امروزه و در راستای پاسخگویی به نیازهای جامعه انسانی و تولید، محدوده‌های شهری با دو برابر نرخ رشد جمعیت در حال گسترش هستند (فنگ و همکاران، ۲۰۲۱: ۶۹۷۴). از سویی دیگر، مطالعات چنین نشان می‌دهند که نسبت جمعیت شهری جهان نیز همچنان در حال افزایش بوده و انتظار می‌رود که از ۵۶ درصد در زمان حال به ۶۸ درصد تا سال ۲۰۵۰ افزایش یابد (هی و همکاران، ۲۰۲۳: ۱). این روند فزاینده در سراسر جهان اکوسیستم‌ها را تهدید می‌کند، زیرا گسترش شهرنشینی اغلب با آب‌بندی چشمگیر خاک، تراکم مناطق ساخته شده و تخریب یا نابودی فضاهای سبز همراه می‌شود (کابیش و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۷۳).

مستحذات شهری ترکیبی از مواد و سطوح پیچیده همچون پوشش گیاهی، سطوح نفوذناپذیر بدون پوشش گیاهی و سطوح جزئی و کاملاً غیرقابل نفوذ از جمله آسفالت، بتن و سازه‌های مختلف سقف می‌باشد. این مواد و سطوح تحت فرآیندهای طبیعی و انسانی قرار می‌گیرند و به طور پیوسته ناهمگونی موجود در ساختار منطقه‌ای را افزایش می‌دهند (کوراس و همکاران، ۲۰۲۳: ۱). علاوه بر این، ساختمان‌های بلند و چندطبقه به‌طور فزاینده‌ای در مناطق شهری در سراسر جهان ساخته شده‌اند و انتظار می‌رود که در آینده نیز افزایش یابد تا از فضا در بعد سوم به عنوان راه‌حلی برای کمبود زمین افقی استفاده شود (راملال و همکاران، ۲۰۲۳: ۳). بر این اساس، مستحذات شهری یکی از مهم‌ترین طبقات در بافت و ساختار هر منطقه را تشکیل می‌دهند. از این‌رو، شناسایی و پایش مستحذات نقش اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، مدیریت بحران، توریسم و غیره دارد و بدون حصول اطلاعات به‌روز در مورد روند مستحذات، برنامه‌ریزی مؤثر آمایش سرزمین به سختی امکان‌پذیر است (ژانگ، ۲۰۰۱: ۳۳۳۹). علاوه بر این، معضل ساخت‌وسازهای غیرمجاز در محدوده و حریم شهرها بیش از پیش برجسته شده است و به منظور درک این روند و اتخاذ اقدامات مناسب، نیاز به دستیابی به اطلاعات فوری از مناطق مختلف شهری و پایش تغییرات غیرمعمول وجود دارد (لی و تان، ۲۰۲۰: ۱۷). بنابراین، تشخیص و پایش مستحذات از اهمیت قابل توجهی در کاربردهای مختلف جغرافیایی از قبیل برنامه‌ریزی شهری، شبیه‌سازی بلایای طبیعی، پیش‌بینی، مدیریت و همچنین ارزیابی تغییرات کاربری زمین در هر منطقه برخوردار است (پوتیناواراتا و هورکابو، ۲۰۱۷: ۳۲۶).

در همین راستا، امروزه فناوری سنجش از دور ماهواره‌ای پتانسیل زیادی برای کسب اطلاعات از مستحذات شهری از خود نشان داده است. به طور خاص، داده‌های سنجش از دور امکان پایش دقیق بر مستحذات شهری را برای ارزیابی و کمی کردن فرآیندهای توسعه زمین از مقیاس محلی تا جهانی و از کوتاه مدت تا بلند مدت فراهم می‌کنند (کابیش و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۷۴). به‌ویژه در کشورهای کمتر توسعه یافته و مناطقی با فزاینده‌ی مستحذات شهری، سنجش از دور اغلب تنها منبع قابل اعتماد دستیابی به اطلاعات مکانی به شمار می‌رود و از این رو بیشتر مدل‌های پایش شهری از داده‌های سنجش از دور به عنوان ورودی خود استفاده می‌کنند (فان درلیندن، ۲۰۱۵: ۸). از این‌رو، افزایش دسترسی به داده‌های سنجش از دور با توان تفکیک مختلف، امکان تشخیص تغییر و تحولات مستحذات شهری در مقیاس‌های مختلف را فراهم کرده است (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۲: ۱۴۱۳).

امروزه تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین به چالشی مهم در کشور ایران و به‌ویژه نواحی شمالی کشور تبدیل شده است. این روند به‌خصوص در استان مازنداران در سال‌های اخیر شدت گرفته است و تصرف و تغییر کاربری و دست‌اندازی‌های مداوم از جمله چالش‌های اساسی جنگلی و جگله‌ای مازنداران محسوب می‌شود (صدیقی و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۱). در این راستا، شهرستان نور نیز با توجه به موقعیت ساحلی و برخورداری از چشم‌انداز زیبا، در طی دو دهه اخیر دستخوش تغییرات فراوانی در کاربری اراضی خود شده است و مستحذات (اعم از ساختمان‌ها و سایر عوارض ساخته شده) به شکلی روزافزون در حال گسترش می‌باشد. چالش مهم و اصلی در این زمینه نه شاید در سطح و وسعت مورد بهره‌برداری باشد بلکه به کیفیت آن اراضی مربوط است، زیرا اغلب زمین‌های ساخته شده و یا در حال ساخت، اراضی کشاورزی حاصل‌خیز و مستعد برای کشاورزی بوده‌اند. بنابراین، این فرض مطرح است که گسترش مستحذات در سطح منطقه بدون توجه به مبحث توسعه پایدار و رعایت اصول زیست محیطی به انجام رسیده است. با توجه به مطالب فوق و در راستای پاسخ به این سؤال که مستحذات شهری در طی دو

دهه اخیر از چه روندی تبعیت نموده است، در پژوهش حاضر به تشخیص و ارزیابی روند فزاینده‌ی مستحذات در محدوده بخش مرکزی شهرستان نور در استان مازندران پرداخته شده است. بر این اساس، هدف نهایی پژوهش حاضر این است که با شناسایی چالش‌های موجود در زمینه کاربری اراضی منطقه بتوان راهکارهای مناسب در زمینه برنامه‌ریزی آمایش سرزمینی منطقه را ارائه نمود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

اصطلاح مستحذات در لغت‌نامه دهخدا به معنای بناهای نو برآورده بیان شده است. به عبارتی دیگر، مستحذات در واقع به معنی تأسیسات ساخته شده^۱ می‌باشد که ساختمان‌ها نیز تنها جزئی از آن هستند و ساخت‌وساز هم وسیله‌ای برای ایجاد مستحذات است. بنابراین، مستحذات دربرگیرنده طیفی گسترده از زیرساخت‌ها مانند جاده‌ها، ساختمان‌ها، پل‌ها، راه‌آهن، فرودگاه و غیره است. مستحذات یا ساختمان‌ها ابتدایی‌ترین محل سکونت انسان در جامعه مدرن است. در میان تمام عوارض سکونتگاهی، ساختمان‌ها بارزترین ویژگی هستند و بیشترین توزیع را به‌ویژه در محیط‌های شهری دارند (ژای و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۱). سکونتگاه‌های انسانی علی‌رغم نسبت کمی که سطح زمین را پوشش می‌دهند (کمتر از ۱٪)، تأثیرات به مراتب نامتناسبی بر محیط اطراف خود از نظر جرم، انرژی و شار منابع اعمال می‌کنند (چن و همکاران، ۲۰۲۰: ۱). مستحذات یکی از مهم‌ترین اجزای مناطق شهری هستند. آگاهی از توزیع و روند توسعه مستحذات در یک منطقه از جمله اطلاعات ضروری برای پایش محیط زیست و اتخاذ اقدامات مناسب در زمینه برنامه‌ریزی منطقه‌ای است. با این وجود، جمع‌آوری چنین اطلاعاتی به آسانی امکان‌پذیر نیست و تفسیر مرسوم عکس‌های هوایی نیز بسیار وقت‌گیر و پرهزینه قلمداد می‌شود. از این نظر، شناسایی و استخراج دقیق اطلاعات مربوط به مستحذات سکونتگاهی از تصاویر سنجش از دور در بسیاری از زمینه‌ها مانند بررسی و ارزیابی بلایا، برنامه‌ریزی شهری و برآوردهای جمعیتی حائز اهمیت است (لو و همکاران، ۲۰۲۱: ۱).

مستحذات شهری به دلیل عوامل مختلفی همچون پیچیدگی ساختارها و الگوی نامنظم فضایی پوشش طبیعی و انسان‌ساخت زمین، لزوم به‌روزرسانی اطلاعات موجود و فرآیندهای زمان‌بر و پرهزینه نظارت و ارزیابی، از گذشته تا به امروز یکی از چالش‌برانگیزترین مقوله‌ها در تشخیص و پایش پدیده‌های زمینی محسوب می‌شده‌اند. از طرفی دیگر، با توجه به تأثیرات غیرقابل اجتناب شهرها بر محیط‌های اطراف از جنبه‌های مختلف، پایش مداوم مستحذات شهری و دستیابی به اطلاعات دقیق و به‌روز از تحولات ساخت‌وساز در مناطق شهری گامی حیاتی در راستای دستیابی به توسعه پایدار شهری قلمداد شده است (جعفری، ۱۴۰۱: ۲۵).

پیشینه مطالعات تشخیص و پایش مستحذات به عنوان یکی از پویاترین طبقات کاربری اراضی، تحولی چشمگیر را از روش‌های سنتی به سوی فناوریهای پیشرفته سنجش از دور و پردازش هوشمند داده‌ها طی کرده است. در گذشته، اتکای اصلی بر سرشماری‌های میدانی پرهزینه و وقت‌گیر و تفسیر بصری عکس‌های هوایی بود که اگرچه دقیق بودند، اما فاقد قابلیت به‌روزرسانی سریع و پوشش وسیع بودند. در همین راستا، با ظهور تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک متوسط همچون لندست از دهه ۱۹۷۰ به بعد، نخستین گام‌ها برای تهیه نقشه‌های شهری و تمایز سطوح نفوذناپذیر از دیگر پوشش‌ها برداشته شد. بر این اساس، در سال‌های اخیر، استخراج مستحذات شهری یا ساختمان‌ها از تصاویر سنجش از دور به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است. در نتیجه به خوبی مشخص شده است که تصاویر ماهواره‌ای اپتیکی با وضوح بالا و متوسط، تصاویر لیدار و رادار منابع اطلاعاتی مفیدی برای چنین رویکردی هستند و با ظهور نسل جدیدی از سنجنده‌های اپتیکی و راداری همچون QuickBird، IKONOS و TerraSAR-X با قدرت تفکیک مکانی بالا، شناسایی و استخراج مستحذات شهری به شکلی متفاوت‌تر از قبل میسر شده است. این پیشرفت‌ها، پایش تغییرات مکانی-زمانی این اراضی را برای برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع و مطالعات زیست محیطی در مقیاس جهانی میسر ساخته است (لیو و همکاران، ۲۰۱۸: ۲۲۹). در ادامه به مرور تعدادی از مطالعات قبلی در این زمینه پرداخته شده است.

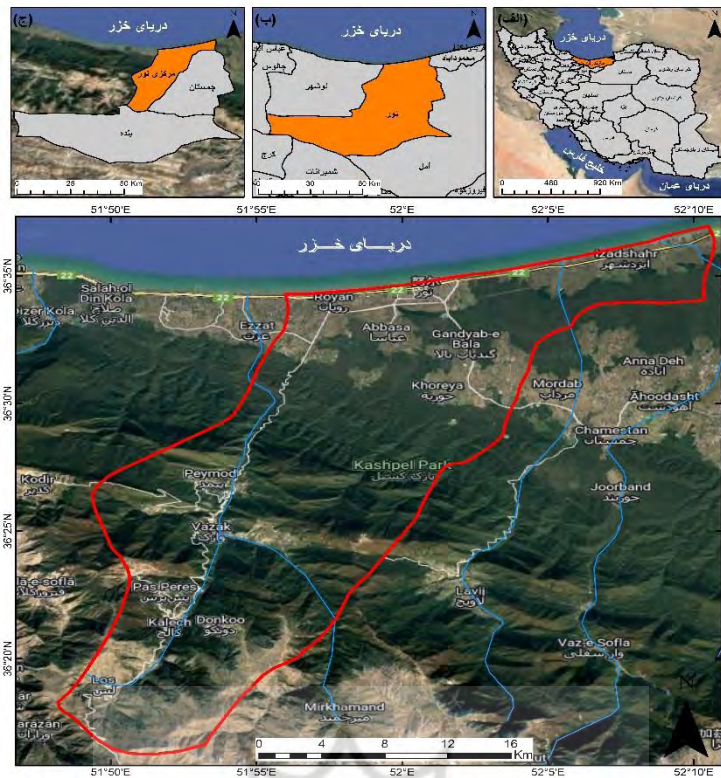
^۱ Built-up

در عرصه مطالعات داخلی، تحقیق عبدالهی و همکاران (۱۳۹۸) چنین نشان داده است که مساحت اراضی جنگلی و باغات در محدوده شهرستان لاهیجان در بازه زمانی ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷ حدود ۲۰۰۰ هکتار کاهش یافته و پیش‌بینی تغییرات برای سال ۱۴۰۹ نیز حاکی از کاهش وسعت ۷۶۰/۵ هکتاری اراضی جنگلی بوده و بنابراین رشد مساحت‌ها در محدوده مطالعاتی متناسب و همسو نبوده و این امر موجب پدیده اسپرال در شهر لاهیجان شده است. در تحقیقی دیگر، عبیات و همکاران (۱۳۹۹) به این نتیجه دست یافته‌اند که پوشش گیاهی در محدوده شهری اهواز دارای روند کاهشی بوده و بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل عرصه‌های پوششی به اراضی ساخته‌شده بوده است. بعلاوه، مطابق پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۹، روند کاهش پوشش گیاهی ادامه یافته و مساحت آن به ۲۹۲۳/۲۴ هکتار خواهد رسید. نتایج تحقیق عبدالهی و نصیری (۱۳۹۹) چنین مشخص نموده است که در طی یک مدت ۲۰ ساله حدود ۱۰۵۵ هکتار از سطح جنگل‌های استان گیلان کاسته شده و با ادامه روند فعلی تا سال ۱۴۱۰، حدود ۸۷۱ هکتار دیگر نیز کمتر خواهد شد.

در عرصه تحقیقات بین‌المللی، یافته‌های تحقیق عثمان و همکاران (۲۰۱۸) بیانگر این بوده است که مساحت اراضی شهری رشدی در حدود ۴۳/۳ درصد از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۱ را تجربه نموده است و در ادامه با رشد ۷۲ درصدی تا سال ۲۰۱۱ ادامه یافته است. مطابق نتایج این تحقیق، مستحذات شهری گسترش یافته و در صورتی که معکوس نشود می‌تواند منجر به بروز چالش‌های اجتماعی و زیست محیطی بزرگ‌تری گردد. در تحقیق شریف و همکاران (۲۰۲۲) به تحلیل تغییرات کاربری و پوشش زمین در منطقه الباحه عربستان سعودی پرداخته شده است و یافته‌ها حاکی از گسترش شهری چشمگیر به قیمت کاهش وسیع مراتع، جنگل و بوته‌زارها و اراضی بایر و شن‌زارها بوده است. همچنین، یافته‌های تحقیق چاتورودی و همکاران (۲۰۲۲) چنین نشان داده است که مساحت مستحذات شهری در بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ چیزی در حدود ۱۳۰ درصد رشد یافته است و تا سال ۲۰۳۰ نیز ۲۵ درصد دیگر به این رشد افزوده خواهد شد. بر همین اساس، با توجه به موارد مذکور و نیز نظر به خلأ مطالعات پیشین، در مطالعه حاضر تلاش شده است تا روندها و تحولات تغییر کاربری اراضی در محدوده شهرستان نور در شمال کشور مورد بررسی قرار گرفته و گام‌های مؤثر در این زمینه از دیدگاه آمایش سرزمین ارائه شود.

معرفی محدوده مورد مطالعه

شهرستان نور با مساحت ۲۶۶۶ کیلومتر مربع، یکی از شهرستان‌های ساحلی استان مازندران است که در شمال کشور واقع شده است. محدوده شهرستان نور از سمت شمال به دریای خزر، از سمت شرق به دو شهرستان محمودآباد و آمل، از سمت جنوب به دو شهرستان شمیرانات در استان تهران و کرج در استان البرز و از سمت غرب به دو شهرستان چالوس و نوشهر منتهی می‌شود. شهرستان نور مطابق آمار سرشماری عمومی جمعیتی انجام شده در سال ۱۳۹۵ جمعیتی برابر با ۱۲۱۵۳۱ نفر را در خود جای داده و تراکم جمعیت در آن چیزی در حدود ۴۵۴۳ نفر در هر کیلومتر مربع برآورد گردیده است. شهرستان نور از نظر تقسیمات کشوری دارای ۳ بخش (مرکزی، چمستان و بلده)، ۸ دهستان و ۲۲۶ آبادی است (بادکو و حسنی، ۱۳۹۶: ۱۲۱). بخش مرکزی شهرستان نور به عنوان محدوده مطالعاتی در پژوهش حاضر برگزیده شده است. این بخش که تنها بخش ساحلی شهرستان نور محسوب می‌شود، شامل شهرهای نور (مرکز شهرستان)، علمده (رویان) و ایزدشهر است و از مهم‌ترین روستاهای آن می‌توان به رستم رود و تاشکوه علیا اشاره نمود. همچون سایر نواحی شمال کشور، شهرستان نور نیز به دلیل برخورداری از جاذبه‌های طبیعی و فرهنگی متعدد، یکی از مناطق گردشگرپذیر کشور به‌شمار می‌آید و تغییر کاربری بی‌رویه و جایگزینی اراضی زراعی و پوشش طبیعی با ساختمان‌های ویلایی و مسکونی به یکی از معضلات اصلی منطقه و به‌ویژه نواحی مجاور شهر نور تبدیل شده است. از این‌رو، ارزیابی و پایش روند زمانی و مکانی مستحذات و ساخت‌وسازها می‌تواند اهمیت و ضرورت زیادی داشته باشد.



شکل ۱: نقشه محدوده مطالعاتی پژوهش (الف: استان مازندران؛ ب: شهرستان نور؛ ج: بخش مرکزی شهرستان نور)

روش پژوهش

تحقیق حاضر از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی است. در تحقیق حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و بهره‌گیری از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده به استخراج نقشه کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ پرداخته شده است. علاوه بر این، برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و الگوهای موجود در این زمینه از مدل LCM استفاده شده است.

داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

در پژوهش حاضر از داده‌های ماهواره لندست به عنوان منبع اصلی اطلاعات مکانی بهره گرفته شده است. تصاویر ماهواره لندست به دلیل پوشش مکانی گسترده، تناوب زمانی مناسب، باندهای طیفی متنوع و از همه مهم‌تر دسترسی رایگان، برای مطالعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی بسیار مناسب می‌باشند (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۴۰۳: ۳۳۶). بر این اساس، تصاویر مربوط به سه مقطع زمانی، ۲۰۰۵، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ از مجموعه تصاویر لندست برای تحلیل تغییرات تاریخی اراضی منطقه انتخاب شده‌اند. گفتنی است که تصاویر مذکور به شکل رایگان و در قالب داده‌های سطح ۱ (L1) از کالکشن ۲ (C2) و از طریق پایگاه سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) دریافت شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تصاویر مذکور بر اساس یکسری نقاط کنترل زمینی و نیز داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) برای تصحیح جابجایی زمین، کالیبره شده و به دلیل اعمال تصحیح رادیومتریکی بر روی آن‌ها، دارای بالاترین کیفیت ممکن به منظور تحلیل الگوهای زمانی و مکانی محسوب می‌شوند. مشخصات دقیق تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ بیان شده است. علاوه بر این، از داده‌های جانبی از قبیل نقشه‌های موجود و تصاویر با وضوح بالای گوگل از سطح منطقه به منظور تعریف کلاس‌های کاربری زمین، انتخاب نمونه‌های آموزشی طبقه‌بندی و ارزیابی صحت نقشه‌های حاصله استفاده شده است. در تحقیق حاضر، جهت انجام پردازش‌های مورد نظر بر روی تصاویر موجود، از بسترهای نرم‌افزاری مختلف از قبیل ENVI 5.3، ArcGIS 10.4.1، IDRISI TerrSet و Google Earth Pro بهره گرفته شده است.

جدول ۱: تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده و مشخصات آن‌ها

ردیف	تاریخ برداشت تصویر	ماهواره	سنجنده	ردیف و گذر	پوشش ابر	قدرت تفکیک مکانی
۱	۲۰۰۵/۰۷/۱۶	لندست ۵	TM	۱۶۴ - ۳۵	< ۵٪	۳۰ متر
۲	۲۰۱۵/۰۸/۰۵	لندست ۸	OLI			
۳	۲۰۲۵/۰۷/۳۱					

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

فرایند تجزیه و تحلیل داده‌ها در بحث حاضر شامل چند مرحله به شرح زیر بوده است:

۱- پیش‌پردازش تصاویر: این مرحله یکی از فازهای پردازشی مهم در فرایند کار با تصاویر ماهواره‌ای است که خود به انواع مختلفی تقسیم می‌شود و در حالت کلی، هدف از انجام آن آماده‌سازی تصاویر جهت پردازش‌های بعدی می‌باشد (قدوسی و همکاران، ۱۴۰۳: ۱۷۵). در پژوهش حاضر جهت آماده‌سازی اولیه تصاویر ماهواره‌ای مربوط به هر سال، ابتدا باندهای طیفی یکسان در هر یک از تصاویر استخراج شده و با یکدیگر Stack شده‌اند و یک تصویر چندطیفی به عنوان تصویر نهایی جهت پردازش‌ها ایجاد شده است. در این راستا، در تصویر مربوط به سنجنده لندست ۵، باندهای ۱ تا ۵ و ۷ و در تصاویر مربوط به سنجنده لندست ۸ نیز باندهای ۱ تا ۷ با یکدیگر ترکیب شده‌اند. در گام بعدی، محدوده بخش مرکزی شهرستان نور از هر یک از تصاویر مذکور برش داده شده است. سپس، رفع خطاهای رادیومتریکی و اتمسفری احتمالی موجود در تصاویر مدنظر قرار گرفته است که در این زمینه، با توجه به اینکه تصحیحات مختلف در تصاویر دانلود شده از قبل و توسط انتشاردهندگان اعمال شده است، صرفاً به استانداردسازی تصاویر از نظر عددی اکتفا شده است. بر این اساس، از تکنیک IAR^۱ بهره گرفته شده است. در این تکنیک میانگین بازتابندگی کل تصویر به عنوان یک مرجع بازتابی در نظر گرفته می‌شود. سپس هر پیکسل بر اساس این میانگین نرمال‌سازی می‌شود تا اثرات نامطلوب اتمسفر کاهش یابد.

۲- طبقه‌بندی نظارت شده: یکی از الگوریتم‌های اصلی و رایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، روش طبقه‌بندی نظارت شده است و در تحقیق حاضر با توجه به این واقعیت که کاربر کنترل کاملی بر فرایند طبقه‌بندی و تفکیک کلاس‌ها در این روش دارد و نیز نتایج قابل اعتمادتری حاصل می‌شود، مورد استفاده قرار گرفته است. این روش دارای مدل‌های مختلفی است که از میان آن‌ها، در بحث حاضر از مدل ماشین بردار پشتیبان^۲ (SVM) استفاده شده است. بعلاوه، به منظور ارزیابی الگوهای تغییرات زمین در سطح منطقه در بازه زمانی بیست ساله، از ابزار مدل‌ساز تغییرات زمین^۳ (LCM) بهره گرفته شده است.

تکنیک SVM یک رویکرد ناپارامتریک برای طبقه‌بندی است و کاهش عدم قطعیت و تناسب داده‌ها یکی از ویژگی‌های اصلی آن است (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۵: ۳). این تکنیک از مفهوم کرنل^۴ بهره می‌برد که بر مبنای آن داده‌ها را از طریق یک تبدیل غیرخطی به فضایی با ابعاد بالا ترسیم می‌کند. بر این اساس، کارکرد اصلی این مدل یافتن مرز بهینه است که باعث افزایش جدایی بین کل بردارهای پشتیبانی می‌شود. گفتنی است که برای انجام طبقه‌بندی تصاویر، ابتدا و مبتنی بر هدف، کاربری‌های واقعی موجود و تفکیک مکانی آن‌ها از یکدیگر، ۶ کلاس طیفی مجزا (جدول ۲) تعریف شده و سپس به برداشت نمونه‌های آموزشی از هر کلاس پرداخته شده و از آن‌ها برای آموزش و ارزیابی مدل طبقه‌بندی استفاده شده است. هدف از انجام این فرایند آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های مورد نظر و همچنین، ارزیابی تغییرات مساحت بین کلاس‌های مختلف و شناسایی الگوهای غالب تبدیل بین کلاس‌ها بوده است.

جدول ۲: کلاس‌های طیفی طبقه‌بندی کاربری اراضی در سطح منطقه

^۱ Internal Average Relative Reflectance

^۲ Support Vector Machine

^۳ Land Change Modeler

^۴ Kernel

ردیف	نام کلاس	شرح کلاس
۱	پهنه آبی	منابع آب سطحی از قبیل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سدها، تالاب‌ها و غیره
۲	اراضی جنگلی	پوشش متراکم درختی از نوع پهن برگ و سوزنی برگ
۳	اراضی زراعی	مزارع و زمین‌های با پوشش گیاهی فصلی، باغات میوه و شالی‌زارها
۴	مراتع	اراضی پوشیده از گیاهان علفی و بوته‌ای و یا مخلوطی از آن‌ها
۵	اراضی بایر	خاک، نمکزار، سواحل، اراضی سنگلاخی و شنی
۶	مستحدثات شهری	جاده‌ها، ساختمان‌های مسکونی، نواحی صنعتی و تجاری و دیگر ساخت‌وسازهای انسانی

۳- ارزیابی صحت: برای ارزیابی صحت و دقت نقشه‌های حاصل از مدل طبقه‌بندی از ماتریس خطا که رایج‌ترین روش ارزیابی صحت طبقه‌بندی است، استفاده شده است. این ماتریس کلاس‌های طبقه‌بندی شده‌ای را نشان می‌دهد که مبتنی بر یکسری ردیف‌ها و ستون‌های مربوط به نقاط مرجع از یکدیگر تفکیک شده‌اند (عباس و جابر، ۲۰۲۰: ۸). در این راستا، دو شاخص پرکاربرد ماتریس خطا یعنی ضریب کاپا و دقت کلی جهت ارزیابی نتایج به کار گرفته شده است. ضریب کاپا روشی قدرتمند برای مقایسه تفاوت‌های بین ماتریس‌های خطای متنوع است که مقداری بین ۰ تا ۱ را در بر می‌گیرد (کرانچیچ و همکاران، ۲۰۱۹: ۵). شاخص دقت کلی نیز بیانگر نسبت بین تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده صحیح و تعداد کل پیکسل‌های مرجع است (هولوباجا و همکاران، ۲۰۱۹: ۷). بر این اساس، ارزیابی صحت برای اندازه‌گیری این شاخص‌ها با استفاده از روابط (۱) و (۲) انجام شده است:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ii}}{T} \quad (1)$$

$$KC = \frac{T \sum_{i=1}^n K_{ii} - \sum_{i,j=1}^n (K_i + K_j)}{T^2 - \sum_{i,j=1}^n (K_i + K_j)} \quad (2)$$

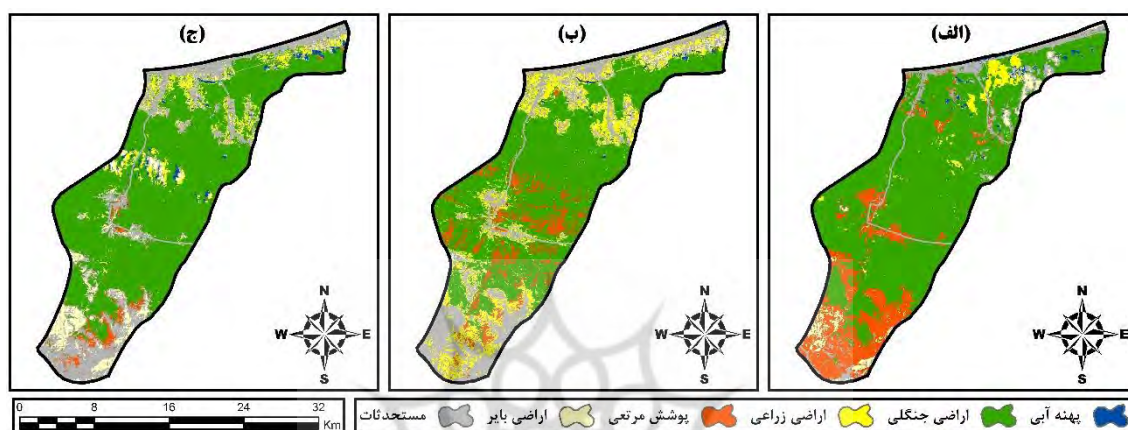
که در روابط فوق، n تعداد کلاس‌ها، K_{ij} تعداد طبقه‌بندی صحیح، K_i تعداد پیکسل در ردیف i و K_j تعداد پیکسل در ستون j و T تعداد پیکسل‌های مورد استفاده برای ارزیابی صحت می‌باشد (اوما و همکاران، ۲۰۲۳: ۹).

بحث و یافته‌های پژوهش

نتایج طبقه‌بندی ساختار کاربری اراضی منطقه

در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از نمونه‌های آموزشی از تکنیک ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی مورد مطالعه استفاده شده است و نقشه کاربری زمین در سه سال مختلف استخراج شده است. مطابق آنچه که در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد، کاربری اراضی بخش مرکزی شهرستان نور به شش کلاس مجزا از قبیل پهنه آبی، اراضی جنگلی، اراضی زراعی، مراتع، اراضی بایر و مستحدثات (اراضی ساخته شده و نقشه آن به دست آمده است. بر اساس نقشه حاصله، می‌توان گفت که گستره هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی در هر سال متفاوت است اما با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، در یک نگاه کلی و مبتنی بر تفسیر چشمی می‌توان پوشش گسترده اراضی جنگلی را از سایر اراضی تفکیک نمود. مطابق نتایج طبقه‌بندی کاربری اراضی منطقه، در ابتدای دوره (سال ۲۰۰۵) و از مجموع مساحت ۴۷۲ کیلومتر مربعی بخش مرکزی شهرستان نور، ۴/۱۱ کیلومتر مربع به پهنه آبی، ۳۳۰/۱ کیلومتر مربع به اراضی جنگلی، ۱۲ کیلومتر مربع به اراضی زراعی، ۷۵/۷ کیلومتر مربع به پوشش مرتعی و ۱۷/۱ کیلومتر مربع به اراضی بایر تعلق داشته است. بر این اساس، اراضی جنگلی به تنهایی چیزی در حدود ۶۹/۹ درصد از مساحت منطقه را در بر گرفته است. همچنین، مستحدثات شهری در این سال مساحتی در حدود ۳۳ کیلومتر مربع که برابر با ۷ درصد از مساحت کلی منطقه است را اشغال نموده‌اند. بررسی نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ حاکی از این بوده است که ۳/۶۵ کیلومتر مربع از مجموع مساحت منطقه به پهنه آبی، ۲۶۰/۵۹ کیلومتر مربع به اراضی جنگلی، ۷۱/۳ کیلومتر مربع به اراضی زراعی، ۳۷/۷۸ کیلومتر مربع به مراتع و ۶/۱۱ کیلومتر مربع به اراضی بایر

اختصاص یافته است. همچنین، مستحدثات شهری در این سال مساحتی در حدود ۹۲/۷ کیلومتر مربع از سطح زمین را در بر گرفته است. بر این اساس، اراضی جنگلی کماکان بیشترین سهم از کاربری زمین منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. نهایتاً، بررسی آماری طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۲۵ چنین مشخص نموده است که ۵/۸۳ کیلومتر مربع از سطح زمین به پهنه آبی، ۳۰۸/۱۵ کیلومتر مربع به اراضی جنگلی، ۲۲/۶۹ کیلومتر مربع به اراضی زراعی، ۱۰/۱۲ کیلومتر مربع به پوشش مرتعی، ۲۸/۲ کیلومتر مربع به زمین بایر و ۹۷/۱۵ کیلومتر مربع به مستحدثات اختصاص یافته است. مطابق ارزیابی‌ها، در این سال اراضی جنگلی بیشترین و پهنه‌های آبی کمترین سهم از کاربری اراضی منطقه در به خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که در جدول ۳ قابل مشاهده است، هر یک از کلاس‌ها مساحت معینی از کاربری زمین در بازه زمانی مورد مطالعه را اشغال نموده‌اند و به‌طور کلی، سهم برخی از کلاس‌ها در طی دوره‌های ۱۰ ساله با کاهش یا افزایش همراه شده است.



شکل ۲: نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی محدوده بخش مرکزی شهرستان نور

(الف: سال ۲۰۰۵؛ ب: سال ۲۰۱۵؛ ج: سال ۲۰۲۵)

جدول ۳: مساحت کاربری اراضی منطقه در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۲۵

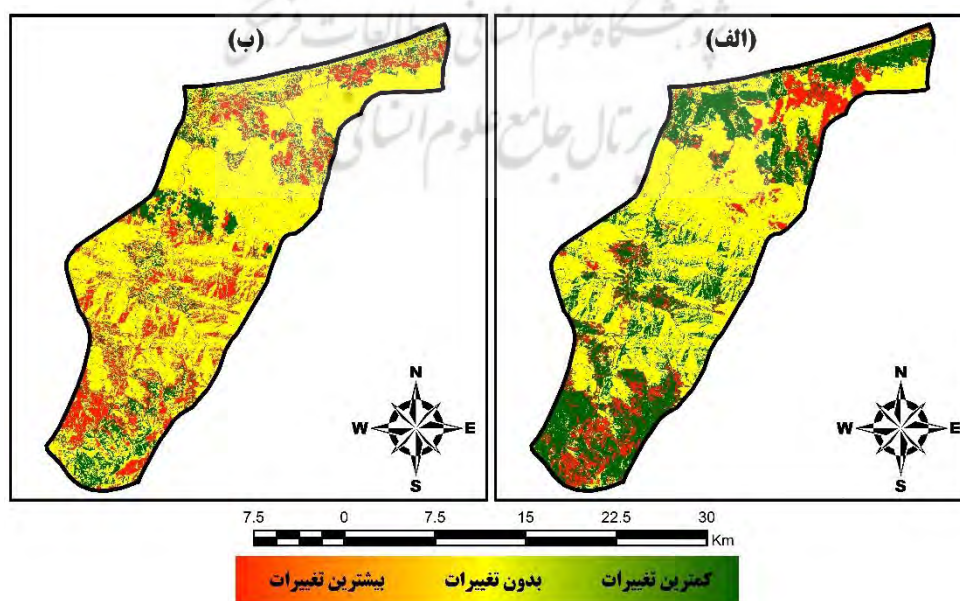
نام کلاس	۲۰۰۵		۲۰۱۵		۲۰۲۵	
	مساحت (Km ²)	نسبت (%)	مساحت (Km ²)	نسبت (%)	مساحت (Km ²)	نسبت (%)
پهنه آبی	۴/۱۱	۰/۸۷	۳/۶۵	۰/۷۷	۵/۸۳	۱/۲۳
اراضی جنگلی	۳۳۰/۱	۶۹/۹۳	۲۶۰/۵۸	۵۵/۲	۳۰۸/۱۵	۶۵/۲۸
اراضی زراعی	۱۲	۲/۵۴	۷۱/۳۲	۱۵/۱۱	۲۲/۶۹	۴/۸
مراتع	۷۵/۷۴	۱۶/۰۴	۳۷/۷۷	۸	۱۰/۱۲	۲/۱۴
اراضی بایر	۱۷/۱	۳/۶۲	۶/۱۱	۱/۲۹	۲۸/۲	۵/۹۷
مستحدثات	۳۳/۰۷	۷	۹۲/۷	۱۹/۶۳	۹۷/۱۵	۲۰/۵۸
مجموع	۴۷۲	۱۰۰	۴۷۲	۱۰۰	۴۷۲	۱۰۰

بررسی روند زمانی-فضایی تغییرات کاربری اراضی منطقه

مطابق بررسی‌های صورت گرفته در ارتباط با روند زمانی کاربری اراضی منطقه، تغییرات در بازه زمانی بیست ساله به صورت متفاوتی برای هر یک از کلاس‌ها ثبت گردیده است. بر این اساس، روند تغییرات پهنه‌های آبی، اراضی جنگلی، اراضی زراعی و اراضی بایر از نوع متناوب بوده است. در این راستا، پهنه‌های آبی، اراضی جنگلی و اراضی بایر از سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۱۵ با کاهش مساحت مواجه شده‌اند اما از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۲۵ مجدداً سیر صعودی نشان داده‌اند. در مقابل، عکس این روند برای تغییرات اراضی زراعی مشاهده گردیده است به نحوی که مساحت اراضی زراعی تا سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است اما از این

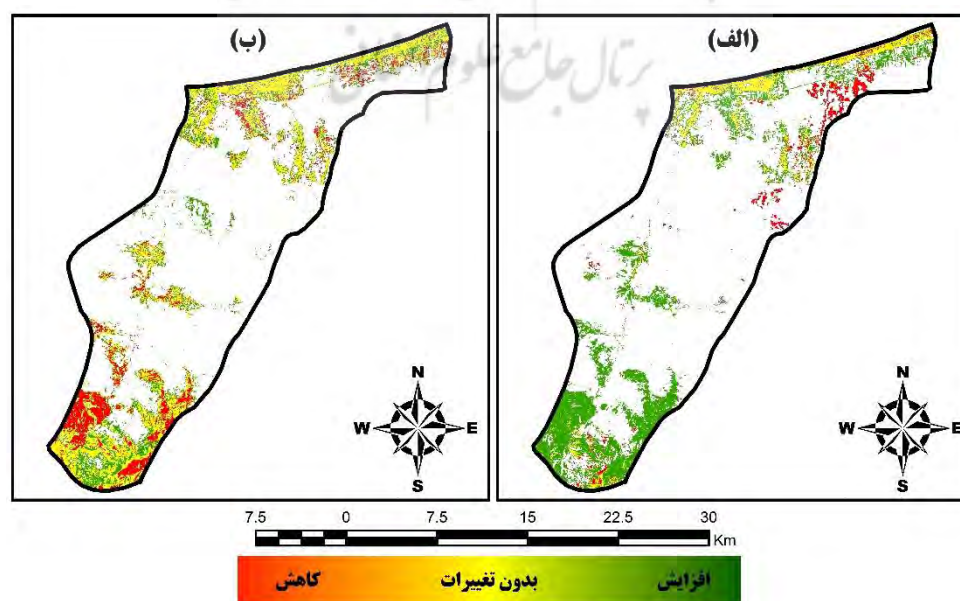
سال تا سال ۲۰۲۵ با روند کاهشی همراه شده است. بررسی‌ها چنین نشان داده است که مساحت پوشش مرتعی در سطح منطقه در طی این بیست سال همواره یک روند کاهشی را تجربه نموده است به گونه‌ای که وسعت آن از ۷۵/۷۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۵ به ۳۷/۷۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۵ و ۱۰/۱۲ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۵ تنزل یافته است و این بدان معنی است که سهم مراتع در کاربری اراضی منطقه از ۱۶/۰۴ در ابتدای بازه به تنها ۲/۱۴ درصد در انتهای آن تنزل یافته است. از سویی دیگر، بررسی روند تغییرات برای مستحذات در سطح منطقه مورد مطالعه حاکی از این بوده است که گستره این گروه از اراضی همواره دارای سیر صعودی می‌باشد. بر این اساس، گستره مستحذات از ۳۳/۰۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۵ به ۹۲/۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۵ و ۹۷/۱۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته و سهم آن از مجموع وسعت منطقه از ۷ درصد در ابتدای دوره به ۲۰/۵۸ در انتهای دوره ارتقا یافته است و لذا، مستحذات شهری در حال حاضر چیزی در حدود یک پنجم از سطح زمین در محدوده بخش مرکزی شهرستان نور را اشغال نموده‌اند.

از نظر روند فضایی تغییرات کاربری زمین منطقه، همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، گستره تغییرات در نقاط مختلف بخش مرکزی شهرستان نور متفاوت می‌باشد و به طور کلی، می‌توان شدت تغییرات در آن را در سه گروه مورد بررسی قرار داد: ۱- تغییرات ناچیز (رنگ سبز)؛ ۲- تغییرات شدید (رنگ قرمز)؛ ۳- بدون تغییرات (رنگ زرد). در این راستا و مطابق نقشه حاصله، کاربری زمین منطقه تا سال ۲۰۱۵ نشان‌دهنده الگویی نامنظم از تغییرات فضایی بوده است به گونه‌ای که اغلب نواحی واقع در خط ساحلی تغییرات ناچیزی تجربه نموده‌اند اما با این حال، بخش قابل توجهی از اراضی جنگلی و زراعی واقع در بین دو شهر نور و ایزدشهر متحمل تغییرات زیادی شده‌اند (شکل ۳-الف) که در درجه اول ناشی از گسترش مستحذات بوده است و این در حالی است که همین نواحی در نقشه تغییرات فضایی تا سال ۲۰۲۵ عملاً بدون تغییر مانده‌اند (شکل ۳-ب). همچنین، روند تغییرات در نواحی جنوبی منطقه نیز قابل توجه بوده است. در این راستا، گستره وسیعی از منتهی‌الیه جنوبی منطقه تا سال ۲۰۱۵ دچار تغییرات شدیدی شده است که با توجه به توپوگرافی این منطقه می‌توان گفت که در درجه اول با تغییرات طبیعی و اقلیمی مرتبط بوده است که موجب افزایش نسبتاً زیاد مساحت اراضی جنگلی و مرتعی و سپس گسترش جاده‌سازی (مستحذات) در آن شده است. همین روند تا سال ۲۰۲۵ نیز ادامه یافته است و نواحی دیگری از جنوب منطقه متحمل تغییرات نسبتاً شدیدی در کاربری زمین شده‌اند. مطابق بررسی‌های صورت گرفته، شدت تغییرات کاربری زمین در نواحی شمالی و به‌ویژه مجاورت خط ساحلی در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ نسبتاً شدید بوده است که لازم است مورد بررسی قرار بگیرد. برای این منظور، کم و کیف تغییرات کاربری زمین منطقه و نقش مستحذات در این زمینه با بهره‌گیری از تکنیک LCM مورد ارزیابی قرار گرفته است.

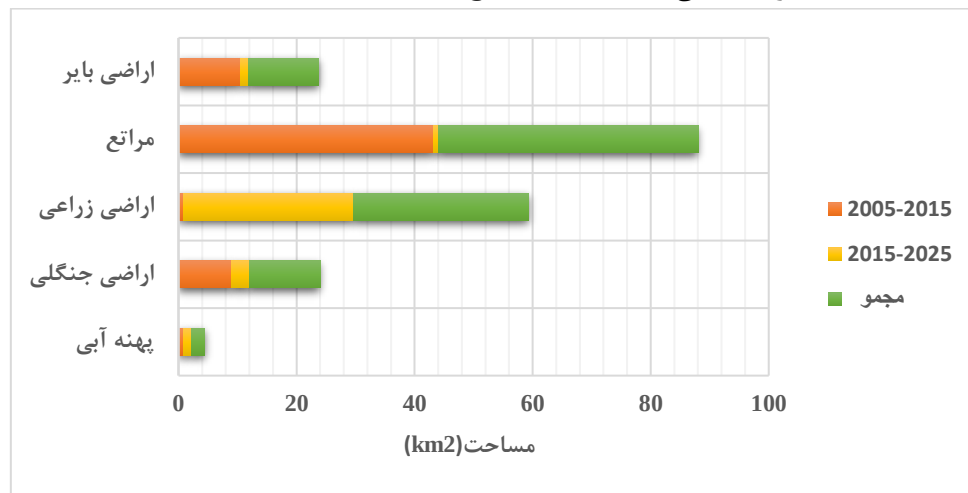


شکل ۴: شدت تغییرات فضایی کاربری اراضی منطقه در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۲۵ (الف: ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵؛ ب: ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵)

مطابق آنچه که در شکل ۵ نشان داده شده است، گستره مستحدثات و اراضی ساخته شده در طی بیست سال اخیر دارای روند متناوبی می باشد. بررسی ها در زمینه تغییرات زمانی-فضایی مستحدثات در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ چنین مشخص نموده است که چیزی در حدود ۷۲/۶۳ کیلومتر مربع به مساحت مستحدثات افزوده شده و در مقابل، ۱۳/۸۱ کیلومتر مربع از آن کاسته شده است. بر این اساس، مساحت خالص تغییرات مستحدثات در طی این بازه زمانی چیزی در حدود ۵۸/۸۲ کیلومتر مربع محاسبه گردیده است. در طی این بازه زمانی، گسترش چشمگیر مستحدثات در دو ناحیه شناسایی شده است. اول، به موازات جنوبی منطقه شهری در حریم ساحلی که ناشی از رشد فیزیکی شهرهای نور، رویان و ایزدشهر در جهت جنوب بوده است که خود منجر به رشد شبکه جاده ای و حاشیه نشینی در مجاورت آن شده است. دوم، در بخش های مرکزی تا جنوبی منطقه که با توجه به وجود منطقه گردشگری و تفریحی و ساخت وسازهای گسترده شاهد گسترش قابل توجه مستحدثات بوده اند. از طرف دیگر، در بازه زمانی بین سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ نیز گسترش مستحدثات اغلب به صورت پراکنده و در وسعتی کمتر در مقایسه با دوره ده ساله قبلی رخ داده است. در این بازه زمانی، رشد شهری در جهت جنوبی که در دوره قبلی اتفاق افتاده بود، جای خود را به رشد پراکنده در محدوده کمربند ساحلی داده است و ساخت وسازها بیشتر با روند غربی-شرقی گسترش یافته اند. از این رو، گستره تغییرات مستحدثات در ده ساله دوم (۲۰۱۵-۲۰۲۵) در قیاس با ده ساله اول نسبتاً کمتر بوده است. در ادامه، برای پی بردن به این موضوع که گسترش مستحدثات در سطح منطقه مورد مطالعه چه تأثیری بر سایر کلاس های کاربری اراضی داشته است، ماتریس فضایی تغییرات کاربری اراضی محاسبه شده است. در این راستا و همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، گسترش مستحدثات در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۵، منجر به کاهش وسعتی در حدود ۱۰/۴۵ کیلومتر مربع از اراضی بایر، ۴۳/۱۵ کیلومتر مربع از مراتع، ۰/۷۹ کیلومتر مربع از اراضی زراعی، ۸/۹۹ کیلومتر مربع از اراضی جنگلی و ۰/۹۱ کیلومتر مربع از پهنه های آبی منطقه شده است. در طرف دیگر، بررسی ها برای بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۲۵ نیز چنین مشخص نموده است که گسترش مستحدثات با کاهش مساحت ۱/۳۱ کیلومتر مربع از پهنه های آبی، ۳/۰۲ کیلومتر مربع از اراضی جنگلی، ۲۸/۸۷ کیلومتر مربع از اراضی زراعی، ۰/۸۹ کیلومتر مربع از مراتع و ۱/۴۵ کیلومتر مربع از اراضی بایر شده است. بنابراین، ارزیابی ها بیانگر تأثیر غیرقابل چشم پوشی گسترش مستحدثات بر کاهش سطح سایر طبقات پوشش زمین در سطح منطقه می باشد و مطابق یافته های حاصله، از سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۲۵ مساحتی در حدود ۹۹/۸ کیلومتر مربع از بخش مرکزی شهرستان نور به طور مستقیم تحت تأثیر گسترش مستحدثات قرار گرفته است که در این میان، مراتع با مساحت ۴۴/۰۴ و اراضی زراعی با مساحت ۲۹/۶۶ کیلومتر مربعی بیشترین تأثیرپذیری را داشته اند. بعلاوه، در حدود ۱۲/۰ کیلومتر مربع از اراضی جنگلی، ۱۱/۹ درصد از اراضی بایر و ۲/۲۲ درصد از پهنه های آبی تحت الشعاع گسترش مستحدثات شهری و اراضی ساخته شده قرار گرفته اند.



شکل ۵: شدت تغییرات فضایی مستحدثات در سطح منطقه (الف: ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵؛ ب: ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵)



شکل ۶: نمودار سهم تغییرات کاربری اراضی منطقه در گسترش مستحدثات در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۲۵

ارزیابی صحت طبقه‌بندی نظارت شده

در ادامه بررسی‌ها به ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان پرداخته شده است. بر همین اساس، صحت نقشه‌های کاربری اراضی حاصله با بهره‌گیری از جدول موسوم به ماتریس خطا مورد ارزیابی واقع شده است. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، پردازش‌ها از دقت مناسب و قابل قبولی برخوردار بوده است. بر این اساس، صحت کلی نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۰۵ برابر با ۷۹/۵۸ درصد محاسبه شده است. همچنین، میزان ضریب کاپا برای این سال برابر با ۰/۸۳۴ حاصل شده است که حاکی از عملکرد بسیار خوب طبقه‌بندی صورت گرفته می‌باشد. همچنین، صحت کلی و ضریب کاپا برای نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۵ به ترتیب برابر با ۸۷/۵ و ۰/۸۲۱ به دست آمده است. علاوه بر این، نتایج ارزیابی صحت برای طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۲۵ بیانگر این بوده است که میزان صحت کلی حاصله برابر با ۸۸/۳۱ درصد و مقدار ضریب کاپا برابر با ۰/۸۵۶ می‌باشد. بر این اساس، صحت طبقه‌بندی نظارت شده در سال ۲۰۲۵ در بالاترین میزان بوده و طبقه‌بندی‌های صورت گرفته برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۰۵ به ترتیب در رتبه‌های پس از آن واقع شده‌اند.

جدول ۴: ارزیابی صحت طبقه‌بندی کاربری اراضی بخش مرکزی شهرستان نور

نام کلاس	دقت کاربری (UA)			دقت تولیدکننده (PA)		
	۲۰۰۵	۲۰۱۵	۲۰۲۵	۲۰۰۵	۲۰۱۵	۲۰۲۵
پهنه آبی	۱۰۰	۹۱/۶۷	۸۳/۳۳	۸۷/۵۷	۱۰۰	۱۰۰
اراضی جنگلی	۱۰۰	۹۵/۶۵	۷۸/۱۸	۱۰۰	۹۵/۶۵	۱۰۰
اراضی زراعی	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۷۳/۳۳	۷۰	۱۰۰
مراتع	۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۰	۹۰	۸۰
اراضی بایر	۷۵	۷۳/۳۳	۱۰۰	۹۰	۷۰	۸۳/۳۳
مستحدثات	۹۳/۷۵	۸۰	۱۰۰	۹۳/۷۵	۸۷/۵	۱۰۰
صحت کلی (OA)						
ضریب کاپا (K)	۰/۸۳۴	۰/۸۲۱	۰/۸۵۶	۷۹/۵۸	۸۷/۵	۸۸/۳۱

بررسی یافته‌ها و بحث

مطابق بررسی‌های صورت گرفته و یافته‌های حاصله، تغییرات کاربری اراضی یکی از مسائل مهم زیست محیطی در محدوده شهرستان نور می‌باشد. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه و قرارگیری در خط ساحلی دریای خزر از یک سو و برخورداری از

مواهب طبیعی متعدد از قبیل جنگل‌ها و مراتع بکر، این منطقه از کشور به طور روزافزون شاهد تحولات چشمگیر در زمینه کاربری اراضی موجود بوده است و نقشه‌های حاصله نیز مؤید این امر بوده است. نتایج بررسی‌های صورت گرفته چنین مشخص نموده است که بخش مرکزی شهرستان نور در طی دو دهه اخیر شاهد روندی فزاینده از ساخت‌وسازهای شهری و روستایی بوده است که اغلب با هدف بهره‌برداری از منافع توسعه گردشگری به انجام رسیده است و همین امر سبب شده است تا علاوه بر شکل‌گیری رشد ناموزون شهری، بخش قابل توجهی از اراضی که از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشند، تخریب شده و چشم‌انداز طبیعی منطقه تا حدی دگرگون شود که این موضوع ضرورت مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه کاربری زمین در سطح منطقه را برجسته ساخته است. در ارتباط با یافته‌های کلیدی پژوهش حاضر می‌توان به چند نکته مهم اشاره نمود. نخست اینکه تغییرات فضایی کاربری زمین و رشد فزاینده مستحذات در بازه زمانی بیست ساله در سطح منطقه به طور مستقیم ناشی از افزایش جمعیت بوده است. در این زمینه شتاب افزایش جمعیت شهری به‌ویژه در طی ده سال اخیر در سطح منطقه شدت بیشتری به خود گرفته است و به دلیل شرایط اقلیمی و طبیعی مساعد در سطح منطقه، مهاجرت افراد غیربومی نیز جهت سرمایه‌گذاری و احداث ساختمان‌های ویلایی بیشتر شده است. علاوه بر این، برخی از بومیان منطقه نیز املاک خود را جهت ساخت‌وساز در اختیار سرمایه‌گذاران قرار داده‌اند که کاهش سطح اراضی زراعی و باغات میوه یکی از پیامدهای اصلی آن در طی این مدت بوده است. از سویی دیگر، همان‌طور که غلامی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در پژوهش خود به آن پرداخته‌اند، به دلیل عدم موفقیت برخی از طرح‌های جنگل‌داری، در طی دو دهه اخیر روند جنگل‌زدایی در برخی نواحی شدت گرفته است. دومین موضوع مهم در این زمینه این است که توسعه مستحذات در سطح منطقه به طور فزاینده‌ای با از بین رفتن پوشش مرتعی همراه شده است. مراتع پراکنده و پوشش گیاهی طبیعی به‌ویژه در نواحی جنوبی و مرکزی شهرستان نور از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و نقش حیاتی در حفظ تنوع زیستی، تأمین منابع غذایی و از بین بردن فرسایش خاک دارند و به عنوان زیستگاه‌های حیات وحش عمل کرده و به تأمین علوفه برای دام‌ها کمک می‌کنند. همچنین، حفاظت از این اکوسیستم‌ها به مقابله با تغییرات اقلیمی و بهبود کیفیت آب و هوا کمک می‌کن. با این وجود، تخریب مراتع موجود در سطح منطقه کاملاً در تضاد با اصول توسعه زیست محیطی پایدار و برنامه‌های آمایش سرزمین بوده و تهدیدی جدی محسوب می‌شود. در سوی دیگر، با توجه به اینکه اغلب اراضی جنگلی در شیب تند و توپوگرافی محدودکننده واقع شده‌اند، تأثیر توسعه مستحذات بر تخریب این گروه از اراضی در قیاس با پوشش مرتعی کمتر بوده است. در این راستا، یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج پژوهش رادوش و غضنفری (۱۴۰۳) مبنی بر اینکه بیشترین تغییرات کاربری اراضی در سطح شهرستان نور در حوضه‌های آبی و کمترین آن در اراضی جنگلی بوده است، هم‌سو نبوده است. سومین نکته قابل ذکر در این زمینه اهمیت کاربرد داده‌های سنجش از دور و به‌کارگیری از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده جهت تشخیص و پایش تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. بر این اساس، استفاده از تصاویر رایگان ماهواره لندست به خوبی توانسته است که اهداف مطالعه را پوشش داده و استخراج دقیق کاربری اراضی و به‌ویژه مستحذات را تسهیل نماید. با این وجود، استفاده از مدل طبقه‌بندی کننده مناسب از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و مدل ماشین بردار پشتیبان کارایی بالایی در این زمینه از خود نشان داده است. بر این اساس، همان‌طور که یوسفی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خود به آن پرداخته‌اند، مدل ماشین بردار پشتیبان دارای حداکثر صحت در زمینه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد که این قابلیت را دارد که مشکلات موجود در اختلاف غیرمتعادل میان نمونه‌های آموزشی را رفع نماید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر به انجام مطالعه‌ای پیرامون تشخیص و پایش فزاینده‌ی مستحذات شهری در محدوده بخش مرکزی شهرستان نور با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و مبتنی بر یک رویکرد آمایشی پرداخته شده و روند زمانی-فضایی کاربری زمین در سطح منطقه در طی دو دهه اخیر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش حاضر روند فزاینده گسترش مستحذات را به موازات رشد جمعیت منطقه آشکار ساخته و اهمیت اتخاذ تدابیر و رویکردهای آمایشی را جهت مدیریت بهینه کاربری اراضی در راستای توسعه پایدار سرزمینی را برجسته ساخته است. با توجه به یافته‌ها و نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر، پیشنهادات آمایشی زیر را می‌توان در راستای چالش‌های موجود ارائه نمود:

- تدوین و اجرای طرح‌های جامع آمایش سرزمین در سطح بخش: طرح‌های آمایش سرزمین که مشخص کننده کاربری‌های مناسب برای اراضی و محدودیت‌های ساخت‌وساز در مناطق حساس باشد می‌تواند موجب جلوگیری از گسترش غیربهبینه مستحدثات شهری شود؛
- توسعه و تقویت زیرساخت‌های گردشگری پایدار: با هدایت سرمایه‌گذاری به سمت گردشگری پایدار و مسئولانه، می‌توان به ایجاد اشتغال و درآمد برای جوامع محلی کمک کرد؛ این امر موجب کاهش فشار بر اراضی زراعی و منابع طبیعی خواهد شد؛
- تشویق به احیای اراضی و جنگل‌کاری: برنامه‌های احیای اراضی تخریب‌شده و جنگل‌کاری در عین حال که از گسترش بی‌رویه مستحدثات جلوگیری می‌کند، می‌تواند منابع طبیعی را تقویت کرده و به حفظ اکوسیستم‌های محلی نیز کمک کند.
- اجرای قوانین و مقررات سخت‌گیرانه در ساخت و ساز: اتخاذ قوانینی که ساخت و سازهای غیرمجاز را منع کند و مشوق‌هایی برای حفاظت از اراضی طبیعی و جنگلی داشته باشد، می‌تواند به کنترل گسترش شهری کمک کند؛
- آموزش و ارتقاء آگاهی جامعه محلی: برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای جامعه محلی درباره اهمیت حفاظت از منابع طبیعی و مدیریت پایدار کاربری اراضی، می‌تواند ضمن افزایش سواد محیط زیستی، به ایجاد حس مسئولیت اجتماعی در برابر محیط زیست کمک کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله به شکل توضیح داده شده از سوی مجله، مورد تأیید نویسندگان این مقاله است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر فاقد حمایت مالی است.

سپاسگزاری

از کلیه کسانی که در مراحل مختلف نوشتن این مقاله با نظرات خود ما را یاری دادند سپاسگزاری می‌کنیم.

منابع و مأخذ

- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پسند، امیرحسین و خاوریان نهزک، حسن (۱۴۰۳). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۴ با استفاده از پردازش تصاویر لندست ۸ و تحلیل اثرات آن (مطالعه موردی: شهر میاندوآب). *مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای*، ۵(۴)، ۳۳۰-۳۴۶.
- بادکو، بهروز و حسنی، سمیه (۱۳۹۶). بررسی تأثیر حضور گردشگران بر محیط زیست شهرستان نور از دید جامعه میزبان. *میراث و گردشگری*، ۲(۵)، ۱۰۹-۱۳۸.
- رادوش، فراز و غضنفری متکی، المیرا (۱۴۰۳). تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی شهرستان نور با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور. *هشتمین کنگره سالانه بین‌المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران*، بهمن ماه ۱۴۰۳.
- صدیقی، صابر؛ دربان آستانه، علیرضا و رضوانی، محمدرضا (۱۳۹۶). بررسی عوامل کالبدی و سیاسی-حقوقی تغییرات کاربری اراضی در شهرستان محمودآباد. *برنامه‌ریزی فضایی*، ۷(۲)، ۳۹-۵۸.

- عبداللهی، سحر و نصیری، وحید (۱۳۹۹). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌های استان گیلان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل ژئومد، پژوهش و فناوری محیط زیست، ۷(۵)، ۱۵۱-۱۴۱.
- عبداللهی، علی‌اصغر؛ خبازی، مصطفی و درانی، زهرا (۱۳۹۸). مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر لاهیجان با رویکرد توسعه پایدار، شهر پایدار، ۲(۴)، ۱۷-۳۰.
- عبیات، محمد؛ عطار روشن، سینا و عبیات، محمود (۱۳۹۹). ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM و زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۹(۳۵)، ۱۸۳-۲۰۴.
- غلامی، شعبانعلی؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود و نوری پور، مصطفی (۱۳۹۴). بررسی تأثیر افزایش جمعیت بر میزان تغییر کاربری اراضی (مطالعه موردی حوزه آبخیز واز شهرستان نور). اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۶(۱)، ۳۷-۵۶.
- قدوسی، وحید؛ نظم‌فر، حسین و رحمتی، منصور (۱۴۰۳). تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی رشد و توسعه شهری (مطالعه موردی شهر اردبیل). مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۶(۳)، ۱۸۵-۱۶۹.
- یوسفی، صالح؛ تازه، مهدی؛ میرزایی، سمیه؛ مرادی، حمیدرضا و توانگر، شهلا (۱۳۹۳). مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان نور). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۳)، ۶۷-۷۶.
- Abbas, Z., and Jaber, H. S. (2020). Accuracy assessment of supervised classification methods for extraction land use maps using remote sensing and GIS techniques. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 745, No. 1, p. 012166). IOP publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012166>
- Abdollahi, A. A., khabazi, M., & dorani, Z (2020). Modeling and Predicting Land Use Changes in Lahijan City with a sustainable development approach. *Sustainable city*, 2(4), 17-30. doi: 10.22034/jsc.2020.205453.1148 [In Persian].
- Abdollahi, S., & Nasiri., V (2020). Detection and prediction of forest level changes in Guilan province using satellite images and geomod model. *Journal of Environmental Research and Technology*, 7(5), 141-151. [In Persian].
- Abiyat, M., Attar Roshan, S., & Abiyat, M (2020). Evaluating and Predicting Vegetation Changes Pertaining to Land Use Changes using LCM Model and CA-Markov Chain (Case Study: Ahvaz City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(3), 183-204. doi: 10.22067/geoh.2020.67236.0 [In Persian].
- Alsharif, M., Alzandi, A. A., Shrahily, R., & Mobarak, B (2022). Land Use Land Cover Change Analysis for Urban Growth Prediction Using Landsat Satellite Data and Markov Chain Model for Al Baha Region Saudi Arabia. *Forests*, 13(10), 1530. <https://doi.org/10.3390/f13101530>
- Asghari Saraskanroud, S., Pasandeh, A. & Khavarian, H (2025). Detection of Land Use Changes in the 2013-2024 Period Using Landsat 8 Image Processing and Analyzing its Effects (Case Study: Miandoab City). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 5(4), 329-346. [In Persian]. https://www.srds.ir/article_222189_en.html
- Chaturvedi, S., Shukla, K., Rajasekar, E., & Bhatt, N (2022). A spatio-temporal assessment and prediction of Ahmedabad's urban growth between 1990–2030. *Journal of Geographical Sciences*, 32(9), 1791-1812. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-2023-4>
- Chen, B., Song, Y., Huang, B., & Xu, B (2020). A novel method to extract urban human settlements by integrating remote sensing and mobile phone locations. *Science of Remote Sensing*, 1, 100003. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2020.100003>
- Feng, X., Li, P., & Cheng, T (2021). Detection of urban built-up area change from Sentinel-2 images using multiband temporal texture and one-class random forest. *IEEE Journal of*

- Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 6974-6986. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3092064>
- Ghodousi, V., Nazmfar, H., & Rahmati, M (2025). Land use changes and simulation of urban growth and development (Case study: Ardabil city). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(3), 168-185. [In Persian]. https://www.srds.ir/article_215756.html?lang=en
- He, T., Wang, K., Xiao, W., Xu, S., Li, M., Yang, R., & Yue, W (2023). Global 30 meters' spatiotemporal 3D urban expansion dataset from 1990 to 2010. *Scientific data*, 10(1), 321. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02240-w>
- Holobacă, I. H., Ivan, K., & Alexe, M (2019). Extracting built-up areas from Sentinel-1 imagery using land-cover classification and texture analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 40(20), 8054-8069. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1608391>
- Huang, X., Ren, L., Liu, C., Wang, Y., Yu, H., Schmitt, M., ... & Mayer, H (2022). Urban building classification (ubc)-a dataset for individual building detection and classification from satellite imagery. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 1413-1421). <https://doi.org/10.1109/CVPRW56347.2022.00147>
- Kabisch, N., Selsam, P., Kirsten, T., Lausch, A., & Bumberger, J (2019). A multi-sensor and multi-temporal remote sensing approach to detect land cover change dynamics in heterogeneous urban landscapes. *Ecological indicators*, 99, 273-282. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.033>
- Kranjčič, N., Medak, D., Župan, R., & Rezo, M (2019). Support vector machine accuracy assessment for extracting green urban areas in towns. *Remote Sensing*, 11(6), 655. <https://doi.org/10.3390/rs11060655>
- Kuras, A., Brell, M., Liland, K. H., & Burud, I (2023). Multitemporal feature-level fusion on hyperspectral and LiDAR data in the urban environment. *Remote Sensing*, 15(3), 632. <https://doi.org/10.3390/rs15030632>
- Li, B. S., & Tan, Z. C (2020). Dynamic monitoring method of illegal buildings using spatiotemporal big data based on urban high lying zones. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 17-23. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-17-2020_2020
- Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S., ... & Wang, S (2018). High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. *Remote sensing of environment*, 209, 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.055>
- Luo, H., He, B., Guo, R., Wang, W., Kuai, X., Xia, B., ... & Xie, L (2021). Urban Building Extraction and Modeling Using GF-7 DLC and MUX Images. *Remote Sensing*, 13(17), 3414. <https://doi.org/10.3390/rs13173414>
- Ouma, Y. O., Keitsile, A., Nkwae, B., Odirile, P., Moalafhi, D., & Qi, J (2023). Urban land-use classification using machine learning classifiers: comparative evaluation and post-classification multi-feature fusion approach. *European Journal of Remote Sensing*, 56(1), 2173659. <https://doi.org/10.1080/22797254.2023.2173659>
- Puttinaovarat, S., & Horkaew, P (2017). Urban areas extraction from multi sensor data based on machine learning and data fusion. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 27(2), 326-337. <https://doi.org/10.1134/S1054661816040131>
- Radvash, F & Ghazanfari, E (2024). Analyzing land use changes in Noor County using remote sensing technologies. 8th International Congress of Developing Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran. [In Persian].

- Ramlal, B., Archibald, D., Al-Tahir, R., Sutherland, M., & Davis, D (2023). Assessment of Multi-Perspective and Multi-Sensor Data for Urban Strata Mapping. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2599958/v1>
- Sedighi, S., Darban Astane, A. & Rezvani, M. R (2018). An Investigation of the physical and political Factors Affecting Land Use Changing of Mahmoudabad Town. *Spatial Planning*, 7(2), 39-58. **[In Persian]**.
- van der Linden, S (2015). Urban Mapping & Change Detection.
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Tazeh, M., Pourghasemi, H., & Karimi, H (2015). Comparison of different algorithms for land use mapping in dry climate using satellite images: a case study of the Central regions of Iran. *Desert*, 20(1), 1-10. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2015.54077>
- Yousefi, S., Tazeh, M., Mirzaee, S., Moradi, H. R., & Tavangar, SH (2014). Comparison of Different Classification Algorithms in Satellite Imagery to Produce Land Use Maps (Case Study: Noor City). *Journal of Rs and Gis for Natural Resources (Journal of Applied Rs and Gis Techniques in Natural Resource Science)*, 5(3), 67-76. SID. <https://sid.ir/paper/189580/en> **[In Persian]**.
- Zhai, W., Shen, H., Huang, C., & Pei, W (2016). Fusion of polarimetric and texture information for urban building extraction from fully polarimetric SAR imagery. *Remote Sensing Letters*, 7(1), 31-40. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2015.1101179>
- Zhang, Y (2001). Detection of urban housing development by fusing multisensor satellite data and performing spatial feature post-classification. *International Journal of Remote Sensing*, 22(17), 3339-3355. <https://doi.org/10.1080/01431160010031289>