



سبش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

سال چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱  
Vol.14, No. 1, Spring 2022  
۱۰۷-۱۲۳  
مقاله پژوهشی

## ارزیابی امنیت اکولوژیکی شهرستان نظرآباد براساس روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین

منیره امینی<sup>۱</sup> و رومینا سیاح‌نیا<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران  
۲. استادیار پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷

### چکیده

توسعه با مفهوم عام آن، پیشرفت صنعتی، تکنولوژیکی و فضایی، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، به تأثیرات نامطلوب در محیط‌زیست هم در مقیاس ناحیه‌ای و هم در سطوح گوناگون منطقه‌ای، ملی و گاه جهانی منجر شده و به همان میزان، امنیت اکولوژیکی مناطق را تحت تأثیر قرار داده است. طی دهه‌های اخیر، توجه بیشتری به امنیت زیست‌محیطی در جهان شده و روش‌های گوناگونی برای ارزیابی آن توسعه یافته است اما تا به امروز، بیشتر تحقیقات درمورد امنیت اکولوژیکی براساس مدل فشار-وضعیت پاسخ انجام شده است و کمتر مطالعاتی، بر مبنای رویکرد مدل اکولوژیکی سیمای سرزمین، به این مقوله پرداخته‌اند. همچنین تحقیقات اندکی با تمرکز بر تغییرات پویای امنیت اکولوژیکی، به‌ویژه شبیه‌سازی و پیش‌بینی روند توسعه آینده امنیت محیط‌زیست انجام شده است. هدف از این تحقیق پایش و پیش‌بینی وضعیت امنیت محیط‌زیست در دوره زمانی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۳۵، با تلفیق الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبانی، مدل اکولوژیکی سیمای سرزمین، مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov) برای حوزه شهرستان نظرآباد از توابع استان البرز است. بدین منظور با طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست در دو بازه زمانی پانزده‌ساله طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱، روند تغییرات کاربری اراضی منطقه در پنج کلاس کاربری، اراضی ساخته‌شده، اراضی کشت‌شده، زمین‌های مرطوب، پوشش گیاهی و اراضی بایر بررسی شد و برای تهیه نقشه‌های کاربری سال ۲۰۳۵، از مدل CA-Markov استفاده شد. به‌منظور کمی کردن الگوهای سیمای سرزمین در سطح کلاس، متریک‌های MPS، CA، NP، PLAND، AWMSI، PD و در سطح سیمای سرزمین، متریک‌های LPI، CONTAG و SHDI محاسبه شدند. پس از آن، شاخص امنیت اکولوژیکی برای متریک‌های سیمای سرزمین منطقه مورد مطالعه، مدل‌سازی شد. نتایج حاکی از کاهش یکپارچگی و افزایش تعداد لکه‌ها در کلاس اراضی کشت‌شده و توسعه و گسترش اراضی انسان‌ساخت در این اراضی بود و از دیگر سو، شاهد بروز پدیده یکپارچگی در اراضی بایر منطقه بودیم؛ از این رو امنیت اکولوژیکی منطقه در دوره مورد بررسی، متأثر از وقایع یادشده، طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ با شدت بیشتر و در سال‌های ۲۰۰۶ تا پیش‌بینی ۲۰۳۵، با شیب ملایم‌تری رو به کاهش ارزیابی شد. در پایان، رعایت بیش از پیش ملاحظات محیط‌زیستی و اصول حفاظت و حمایت در برنامه‌های توسعه‌ای منطقه پیشنهاد شد.

**کلیدواژه‌ها:** امنیت اکولوژیکی، بوم‌شناسی سیمای سرزمین، سنجش از دور، متریک‌های سیمای سرزمین.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیطی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

## ۱- مقدمه

سیمای سرزمین تاحدودی در بوم‌شناسی محیط‌زیست نقش دارد و در نتیجه، امنیت اکولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Liu et al., 2021). تحقیقات درمورد الگوی سیمای سرزمین منطقه می‌تواند وضعیت اکولوژیکی و تغییرات فضایی مربوط به آن را به خوبی آشکار کند (Zhu et al., 2020). ساخت مدل ارزیابی و تحلیل امنیت اکولوژیکی، با ارزیابی کمی شاخص اکولوژی سیمای سرزمین یک منطقه، مزایای خاصی در زمینه تحقق امنیت اکوسیستم آن منطقه دارد (Motlagh et al., 2020).

امنیت اکولوژیکی یکی از مفاهیم در توصیف شرایط ساختار و عملکرد اکوسیستم است که برای کاوش درباره چگونگی تهدید اکوسیستم از سوی گسترش شهری و توسعه اقتصادی، استفاده می‌شود (Sayahnia et al., 2017; Sun et al., 2018; Keshtkar & Sayahnia, 2021; Sajjadi Ghaemmaghami et al., 2021). پژوهش‌های دهه‌های گذشته در این حوزه، رویکردهای ریاضی متعددی برای ارزیابی امنیت محیط‌زیست به کار رفته است؛ از جمله فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، مدل شبکه عصبی، رویکرد ردپای اکولوژیکی، مدل بوم‌شناسی سیمای سرزمین، اما بیشتر آنها بر مدل فشار-وضعیت-پاسخ (PSR)<sup>۲</sup> متمرکزند. مدل PSR را می‌توان در ارزیابی‌های بوم‌شناختی منطقه‌ای، با مقیاس‌های فضایی کوچک با چند متغیر فضایی و چند عامل تأثیرگذار، اعمال کرد اما، درمورد بلایای طبیعی ناشی از فعالیت‌های انسانی بیش از ظرفیت تحمل محیط طبیعی، اجرایی نیست (Liu et al., 2021). سیستم ارزیابی PSR بیش از حد بر تأثیر فعالیت‌های انسانی در محیط‌زیست تأکید می‌کند و نتایج ارزیابی تاحدودی یک‌سویه است (Liang et al., 2010).

فعالیت‌های انسان، در زمینه ساخت‌وساز، تغییرات بسیاری در سیمای سرزمین<sup>۱</sup> به وجود آورده (Valeria et al., 2015) و باعث تغییر جمعیت، ساختار صنعتی و الگوهای سیمای سرزمین شده است (Su et al., 2016). پیامدهای بوم‌شناختی توسعه انسان ساخت را می‌توان، با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین برای توصیف و تحلیل تغییرات پویا در سیمای سرزمین منطقه‌ای درک کرد (Schwoertzig et al., 2016). اکولوژی سیمای سرزمین وضعیت امنیت محیط‌زیستی منطقه‌ای خاص را از طریق الگوی سیمای سرزمین و شاخص‌های آن ارزیابی می‌کند. این کار می‌تواند داده‌های اطلاعاتی سلسله‌مراتبی و یکپارچه را برای مطالعه چندمقیاسی توابع اکوسیستم فراهم کند (Liu & Chang, 2015).

الگوی سیمای سرزمین و تغییرات متناظر آن، به دلیل تأثیر متقابل عوامل گوناگون از جمله عوامل طبیعی و انسانی، بازتابی جامع از بوم‌شناسی محیط‌زیست در منطقه‌ای خاص است (Sayahnia et al., 2019; Liang et al., 2020). بنابراین مطالعه فرایندها و الگوی سیمای سرزمین اطلاعات مهمی را برای حفاظت و مدیریت اکولوژیک مهیا می‌کند که می‌تواند ترکیب و توزیع فاکتورهای سیمای سرزمین را نشان دهد (Moarrab et al., 2021). بررسی امنیت اکولوژیک<sup>۲</sup> نه تنها باید به فرایندها و الگوهای سیمای سرزمین توجه داشته باشد بلکه لازم است تأثیر فاکتورهای سیمای سرزمین را که انعکاس ساختار و عملکرد سیمای سرزمین در امنیت اکولوژیک است، در نظر گیرد (Ma et al., 2019). روش‌های شاخص الگوی سیمای سرزمین را که قادرند ترکیب و ویژگی‌های سیمای سرزمین را در ساختار فضایی منعکس کنند، می‌توان به‌منظور توصیف کمی تغییر الگوی سیمای سرزمین و ناهمگونی فضایی، به کار برد (Yuantao et al., 2013; Omidpour et al., 2020; Hassanpour et al., 2020). به‌ویژه، تغییرات در الگوی

1. Landscape Ecology
2. Ecological Security
3. Pressure-Status-Response

سرزمین، تجزیه و تحلیل اجزای اصلی فضایی (SPCA) و تکنیک‌های GIS، توزیع الگوی امنیت بوم‌شناسی سیمای سرزمین را در ناحیه گانژو<sup>۱</sup>، استان گانژو در چین، به‌دست آوردند و نشان دادند وضعیت امنیت اکولوژیکی جامع سیمای سرزمین منطقه تحقیقاتی در حد متوسط است.

پنگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهشی، خطر بوم‌شناسی سیمای سرزمین، مرتبط با شهرهای معدنی را براساس احتمال خطر و ازدست‌دادن توان بالقوه محیط‌زیستی، ارزیابی و بررسی کردند. نتایج ارزیابی آنها نشان می‌دهد خطر اکولوژیکی سیمای سرزمین در مناطق بسیار شهری کمتر از مناطق روستایی است و هم شهرها و هم مناطق طبیعی و نیمه‌طبیعی در خطر اکولوژیکی کلی، در مقیاس سیمای سرزمین، نقش دارند. معرب و همکاران (۱۴۰۰) نیز، در مقاله‌ای برگرفته از رساله‌ای دکتری، تغییرات کاربری در دوره چهار ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۴۰ را با مدل زنجیره‌ای CA-Markov با رویکرد الگوی بوم‌شناسی سیمای سرزمین، در حوزه لواسانات استان تهران، پایش و پیش‌بینی کردند و امنیت اکولوژیکی این حوزه را ارزیابی نمودند. نتایج پیش‌بینی پوشش زمین در سال ۲۰۴۰ نشان می‌دهد در سطح هر طبقه، با ادامه روند کنونی، تعداد لکه‌ها به‌جز طبقه بایر، در سایر طبقات کاهش پیدا خواهد کرد.

با توجه به اینکه در اسناد فرادست توسعه در استان البرز، به‌طور خاص سند آمایش این استان، موضوع پالایش جمعیت و فعالیت از مجموعه‌های شهری بسیار پرتراکم شرق به مناطق دارای تراکم جمعیتی-فعالیتی کمتر در غرب و جنوب‌غرب استان، یکی از راهبردهای پابرجا در نظر گرفته شده است، در این مطالعه،

در مقایسه با مدل PSR، مدل اکولوژی سیمای سرزمین از خود اکوسیستم شروع می‌شود و براساس ساختار، عملکرد، پویایی لکه‌های سیمای سرزمین و توالی اکولوژیکی آن، یکپارچگی و پایداری اکوسیستم، توانایی ضد تداخل و انعطاف‌پذیری است. استقرار یک سیستم شاخص ارزیابی می‌تواند تغییرات زمانی و مکانی الگوهای سیمای سرزمین را بهتر منعکس کند. مدل بوم‌شناسی سیمای سرزمین نه‌تنها برای طراحی سیمای سرزمین در مقیاس فضایی بزرگ‌تر و برنامه‌ریزی کاربری اراضی بلکه برای ارزیابی اکولوژیکی در مقیاس کوچک‌تر نیز مناسب است (Weber, 2004).

تا کنون مطالعات متعددی در سطوح ملی و بین‌المللی، در زمینه ارزیابی امنیت اکولوژیک و ارتباط آن با نحوه استقرار سازمان فضایی، انجام شده است. لیو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با نام «ارزیابی امنیت اکولوژیکی براساس سنجش از دور و مدل سیمای سرزمین اکولوژی»، طی ایجاد چارچوبی پیچیده با ادغام الگوریتم جنگل تصادفی<sup>۲</sup>، مدل Fishnet، مدل سیمای سرزمین و مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار<sup>۳</sup>، سطح امنیت محیط‌زیستی شهرستان ژنگژو<sup>۴</sup> را در کشور چین، طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۶ ارزیابی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که با گذشت زمان، وسعت مناطق دارای ایمنی اکولوژیکی بالا به‌تدریج کاهش می‌یابد. آنها پیش‌بینی کردند که تا سال ۲۰۲۶، سطح امنیت محیط‌زیستی ژنگژو در سلطه مناطق دارای امنیت اکولوژیکی پایین‌تر قرار خواهد گرفت. این محققان اظهار داشتند نتایج تحقیق می‌تواند اطلاعات اساسی و پشتیبانی تصمیم‌گیری را برای سازمان‌های دولتی و برنامه‌ریزان کاربری اراضی، در تضمین توسعه مسئولانه و پایدار سرزمین فراهم کند.

وی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی امنیت اکولوژیکی سیمای سرزمین و بهینه‌سازی الگوی سیمای سرزمین در حوضه رودخانه خشک داخلی»، با توجه به نظریه اکولوژی سیمای

1. Liu
2. Random Forest Algorithm
3. CA-Markov
4. Zhengzhou
5. Wei
6. Ganzhou
7. Peng

کاهش می‌یابد. حدود ۸۷٪ از وسعت پهنه ۵۸۶ کیلومترمربعی این شهرستان جزء نواحی هموار و دشتی است. ارتفاعات کوهستانی، با برون‌زد سازندهای سخت در این شهرستان، شامل بخش‌هایی از رشته ارتفاعات حلقه‌دره، واقع در جنوب شهرستان است. به‌عبارت دیگر، با آنکه شهرستان نظرآباد در کوهپایه‌های البرز واقع شده و تمامی شبکه‌های آبراه‌های و مسیل‌های موجود در آن از این ارتفاعات منشأ گرفته و حتی بخش وسیعی از آبخوان دشت نیز با جریان‌های روانی این رشته‌کوه تغذیه می‌شود، برون‌زد واحدهای سخت البرز در این شهرستان مشاهده نمی‌شود و صرفاً ارتفاعات کوهستانی آن در حد فاصل شهرستان اشتهارد با این شهرستان و بخشی از واحد زمین‌ساختی سندانج-سیرجان قرار دارد ( Alborz Province Management and Planning Organization (2016).

نبود جریان‌های سطحی، گسترش وسیع کفه‌های رسی با قشر نازک املاح نمکی و شور، وسعت کم آبخوان و تغذیه نامناسب سفره آب زیرزمینی از جمله عوامل محدودکننده منابع آبی در این شهرستان است. باین‌وصف، شهرستان نظرآباد در حال حاضر فاقد امکان بهره‌گیری از منابع آب سطحی است و صرفاً به منابع آب زیرزمینی و یا انتقال از دیگر حوزه‌های مجاور اتکا دارد. بهره‌برداری از منابع زیرزمینی نیز فقط از طریق چاه صورت می‌گیرد. باین‌حال خاک سبک و اراضی مرطوب<sup>۳</sup> دشت نظرآباد این پهنه را مستعد فعالیت کشاورزی کرده و دامپروری، در کنار زراعت، از منابع اصلی درآمد روستاییان منطقه است. طبق نتایج آخرین سرشماری نفوس و مسکن در کشور (۱۳۹۵)، جمعیت شهرستان برابر با ۱۵۲۴۳۷ نفر بوده است و ۸۱/۴۵٪ در شهرها و ۱۸/۵۵٪ در روستاهای شهرستان ساکن‌اند ( Alborz Province Management and Planning Organization (2016).

1. Land Sat
2. Bare Land
3. Wetland

از یک‌سو تغییرات کاربری اراضی را در دوره زمانی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۳۵ بررسی خواهیم کرد. این کار با استفاده از تصاویر ماهواره‌اندست<sup>۱</sup> و تلفیق مدل سلول خودکار با مدل تصادفی زنجیره مارکوف، به‌منظور مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی این تغییرات در آینده انجام می‌شود. از دیگر سو، در پی ارزیابی امنیت اکولوژیک با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در دوره‌های زمانی گوناگون خواهیم بود. هدف کلی این ارزیابی دستیابی به میزان درستی راهبرد موصوف است و در نهایت، درمورد این مسئله راهکار و پیشنهادهایی خواهیم داد که چطور این راهبرد و برنامه‌های منتج از آن، با صرف کمترین هزینه محیط‌زیستی، محقق شود.

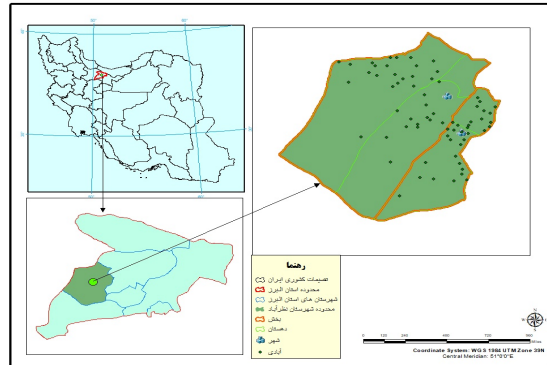
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

نظرآباد یکی از سکونتگاه‌های اصیل استان البرز است که در دشت غنی هشتگرد شکل گرفته است. محدوده نظرآباد شامل گستره‌ای وسیع از اراضی بایر<sup>۲</sup> و متروک و فعالیت‌های در زمینه کشاورزی است. این شهرستان مهم حوزه غربی استان البرز شامل دو منطقه شهری، به نام‌های نظرآباد و تنکمان و دو بخش با عنوان بخش مرکزی می‌شود که دهستان‌های احمدآباد، سید جمال‌الدین و نجم‌آباد را دربر می‌گیرد. بخش تنکمان، با دو دهستان به نام‌های تنکمان جنوبی و تنکمان شمالی، در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۰/۷۸ دقیقه شرقی تا ۵۰ درجه و ۴۰/۹۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷/۵۷ دقیقه شمالی تا ۳۶ درجه و ۲/۶ دقیقه شمالی قرار دارد و بخشی از محدوده دشتی استان البرز را تشکیل داده است (شکل ۱) ( Alborz Province Management and Planning Organization (2016).

این منطقه، به‌طور میانگین، حدود ۱۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد، شیب عمومی آن از شمال به جنوب است و ارتفاع در آن از ۱۳۵۰ تا ۱۰۵۰ متر

اراضی ساخته شده<sup>۳</sup> (شامل مناطق شهری و روستایی، صنایع و راه‌ها)، اراضی کشت شده<sup>۴</sup> (شامل زمین‌های زراعی دیم و آبی و باغات و درختکاری‌های متراکم)، پوشش گیاهی<sup>۵</sup> (شامل علف‌زارها و بوته‌زارهایی که ممکن است به صورت مرتع نیز استفاده شوند و همچنین اراضی آیش)، سطوح آبی (شامل تالاب واقع در منطقه و دیگر سطوح مرطوب) و اراضی بایر.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهرستان نظرآباد)

برای طبقه‌بندی تصاویر، از الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی<sup>۶</sup> استفاده شد که یکی از انواع طبقه‌بندی نظارت شده است. سپس طبقه‌بندی انجام شده برای هریک از دوره‌ها، با استفاده از نمونه‌های شاهد اعتبارسنجی شد. این نمونه‌های شاهد به صورت زمینی و در برخی موارد، با استفاده از نرم‌افزار Google Earth Pro برداشت شده بود. در مجموع، شاخص‌های صحت کلی<sup>۷</sup> و ضریب کاپا<sup>۸</sup> برای هر سه دوره مورد قبول بود.

## ۲-۲- روش تحقیق

روش تحقیق پژوهش، در ادامه، مفصلاً بررسی شده است.

## ۲-۲-۱- استخراج کاربری / پوشش اراضی<sup>۱</sup> در دوره زمانی مورد مطالعه

به منظور دستیابی به نقشه‌های پوشش اراضی منطقه در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانی از شهرستان نظرآباد، متعلق به ماه‌های آوریل و مه در سه دوره پانزده ساله، استفاده شد که از سایت USGS<sup>۲</sup> برداشت شده‌اند (جدول ۱). تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد و با توجه به کاربری‌های فعلی منطقه و اهداف تحقیق و قابلیت تصاویر مورد استفاده، این پنج کاربری در نظر گرفته شد:

## ۲-۲-۲- مدل CA-Markov

مدل مارکوف یک روش پیش‌بینی بلندمدت است که براساس موقعیت و احتمال وقوع رویدادی خاص در لحظه‌ای خاص، با استفاده از زنجیره مارکوف، برای پیش‌بینی تغییرات آن در لحظه‌ها (یا دوره‌های) گوناگون در آینده به کار می‌رود (Mohamed & Worku, 2019). مدل CA دارای ظرفیتی برای

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	تاریخ	گذر/ردیف	تفکیک مکانی
Land Sat 5	TM	۱۹۹۱/۴/۲۰	۱۶۵/۵۳۵	۳۰
Land Sat 5	TM	۲۰۰۶/۵/۳۱	۱۶۵/۵۳۵	۳۰
Land Sat 8	OLI	۲۰۲۱/۵/۲۴	۱۶۵/۵۳۵	۳۰

1. Land Use Land Cover (LULC)
2. U.S. Geological Survey
3. Construction Land
4. Cultivated Land
5. Vegetation Cover
6. Support Vector Machine Algorithm (SVM)
7. Overall Accuracy
8. Kappa Coefficient (K)

۲-۲-۳- تجزیه و تحلیل الگوی سیمای سرزمین  
 برای تحلیل تغییرات الگوی سیمای سرزمین پوشش  
 کاربری اراضی، اهمیت اکولوژیکی معیارهای گوناگون  
 الگوی سیمای سرزمین در منطقه مورد مطالعه محاسبه  
 شد. با بررسی مطالعات پیشین ( Parivar et al., 2021; Inkoom et al., 2018; Kupfer, 2012)، الگوی سیمای  
 سرزمین را می‌توان در سه سطح قرار داد: ۱) لکه، که  
 منعکس‌کننده ویژگی‌های ساختاری یک تکه در سیمای  
 سرزمین است و همچنین مبنایی برای محاسبه سایر  
 شاخص‌های سطح سرزمین محسوب می‌شود؛  
 ۲) کلاس، که ویژگی‌های ساختاری انواع لکه‌های  
 گوناگون در سیمای سرزمین را منعکس می‌کند؛  
 ۳) سیمای سرزمین، که ویژگی‌های ساختاری کلی  
 سیمای سرزمین را بازتاب می‌دهد. با توجه به معیارهای  
 الگوی سیمای سرزمین و تعدد سنجه‌ها، براساس مرور  
 منابع علمی و با توجه به تناسب سنجه‌ها با اهداف این  
 مطالعه و طبق همبستگی بین مفهوم آنها، مجموعه‌ای  
 از سنجه‌ها در سطح کلاس و سیمای سرزمین به منظور  
 انجام‌شدن مطالعه حاضر، انتخاب و در محیط نرم‌افزار  
 GIS، با به‌کارگیری افزونه‌های Patch Analyst و Patch  
 Grid و نرم‌افزار Fragstat تحلیل شدند (جدول ۲).

شبیه‌سازی تغییرات مکانی و زمانی است که اجزای  
 اصلی آن واحدها، قوانین و همسایگی‌ها هستند ( Yu et al., 2019). مدل CA-Markov ترکیبی از مدل CA و  
 مدل مارکوف است که هر دو مدل‌های پویا با حالت‌های  
 گسسته محسوب می‌شوند (Yu et al., 2019). مدل  
 CA-Markov می‌تواند بر محدودیت مدل مارکوف در  
 توزیع فضایی آینده، غلبه کند و در شبیه‌سازی تغییرات  
 مکانی- زمانی به کار رود (Liu et al., 2021)؛ در نتیجه،  
 ترکیب GIS و نقشه‌های استفاده از زمین/ پوشش،  
 براساس داده‌های سنجش از دور با مدل CA-Markov،  
 در مدل‌سازی و شبیه‌سازی فضایی و زمانی تغییرات  
 کاربری بسیار مؤثر است (Wang et al., 2012). در این  
 تحقیق، نقشه‌های LULC به‌دست‌آمده در محیط  
 نرم‌افزار ENVI متعلق به سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۶،  
 به‌منزله سال‌های پایه، برای تهیه نقشه پیش‌بینی  
 ۲۰۲۱ در محیط نرم‌افزار IDRISI selva 17 استفاده  
 شد و با مقایسه آن با نقشه کاربری اراضی منتج از  
 سنجش از دور و اندازه‌گیری دقت، نقشه پیش‌بینی  
 کاربری اراضی سال ۲۰۳۵ به‌دست آمد.

جدول ۲. متریک‌های سیمای سرزمین

منبع	مفهوم	مقیاس مطالعه	واحد	سنجه‌های سیمای سرزمین
Sheikh Goodarzi et al 2011	این سنجه نمایه وزن‌دار شده نسبت محیط به مساحت لکه است؛ لکه‌های بزرگ‌تر وزنی بیشتر از لکه‌های کوچک‌تر دارند	کلاس	ندارد	نمایه وزن‌دار شده AWMSI (Area weighted mean shape index) شکل لکه
Sheikh Goodarzi et al 2011	سطح اشغال شده با نوعی لکه خاص، در هر کلاس، بخش بر تعداد لکه‌های آن کلاس	کلاس	هکتار	میانگین اندازه MPS (Mean patch size) لکه‌ها
Sheikh Goodarzi et al 2011	نشان‌دهنده مجموع مساحت‌های تمامی لکه‌های متعلق به یک کلاس یا طبقه است؛ به‌منزله شاخصی برای غالب‌بودن استفاده می‌شود	کلاس	هکتار	مساحت طبقه CA (Class area)

ادامهٔ جدول ۲

منبع	مفهوم	مقیاس مطالعه	واحد	سنجه‌های سیمای سرزمین
Yu et al., 2019; Wei et al., 2018; Møisja et al., 2016; Lu, 2015; Argañaraz & Entraigas, 2014, Su et al., 2016	در صورت محاسبهٔ متریک در سطح کلاس، به معنی تعداد کل لکه‌های هر کلاس است؛ شاخصی برای تکه‌تکه‌شدگی زیستگاه محسوب می‌شود	کلاس	ندارد	تعداد لکه
Kim, 2019; Miller & Brewer, 2018; Vanderhaegen & Canters, 2017; Fan & Myint, 2014; Su et al., 2016	نسبت درصد مساحت هر کلاس را محاسبه می‌کند؛ نوعی سنجهٔ ترکیب سیمای سرزمین در بسیاری از کاربردهای اکولوژیکی است	کلاس	درصد	درصد پوشش سیمای سرزمین
Ma et al., 2019; Li et al., 2019; Wu et al., 2019; Yu et al., 2019; Pan et al., 2019; Wei et al., 2018; Liu et al., 2018; Inkoom et al., 2018 ; Liu et al., 2016; Zhou et al., 2014	تعداد لکه‌ها را در واحد سطح نشان می‌دهد و شاخصی برای تکه‌تکه‌شدن زیستگاه است	کلاس	تعداد لکه‌ها در هر ۱۰۰ هکتار	تراکم لکه
Ma et al., 2019; Yu et al., 2019; Pan et al., 2019; Wei et al., 2018; Miller & Brewer, 2018; Zhijia Zheng et al., 2018; Liu et al., 2018; Inkoom et al., 2018	درصد نسبت مساحت بزرگ‌ترین لکه در سیمای سرزمین به کل مساحت سیمای سرزمین	سیمای سرزمین	درصد	بزرگ‌ترین لکه
Ma et al., 2019; Wei et al., 2018; Inkoom et al., 2018; Zhijia Zheng et al., 2018; Liu et al., 2016; Zhou et al., 2014	هنگامی که میزان ناپیوستگی (تکه‌تکه‌شدن) انواع لکه‌های سیمای سرزمین افزایش پیدا کند، این مقدار به صفر نزدیک می‌شود؛ این متریک بین صفر تا ۱۰۰ و با توجه به میزان پیوستگی لکه‌ها تغییر می‌کند	سیمای سرزمین	درصد	نمایهٔ شیوع
Ma et al., 2019; Li et al., 2019; Yu et al., 2019; Pan et al., 2019; Wei et al., 2018; Zhijia Zheng et al., 2018; Morelli et al., 2018; Liu et al., 2016; Zhou et al., 2014	بیانگر میزان تنوع نسبی لکه‌ها در سطح سیمای سرزمین است؛ در صورتی که سیمای سرزمین فقط دارای یک لکه باشد، این متریک معادل صفر و در صورت افزایش انواع لکه‌ها، نشان‌دهندهٔ افزایش تنوع و پراکنش لکه‌هاست	سیمای سرزمین	ندارد	شاخص تنوع شانون

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- نقشه کاربری / پوشش اراضی در دوره زمانی

##### مورد مطالعه

طبقه‌بندی تصاویر با به‌کارگیری الگوریتم SVM نشان داد، در منطقه مورد مطالعه، پنج طبقه اراضی ساخته‌شده، اراضی کشت‌شده، پوشش گیاهی، زمین‌های مرطوب و اراضی بایر وجود دارد (جدول ۴). نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده، متعلق به سال‌های بررسی‌شده، در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

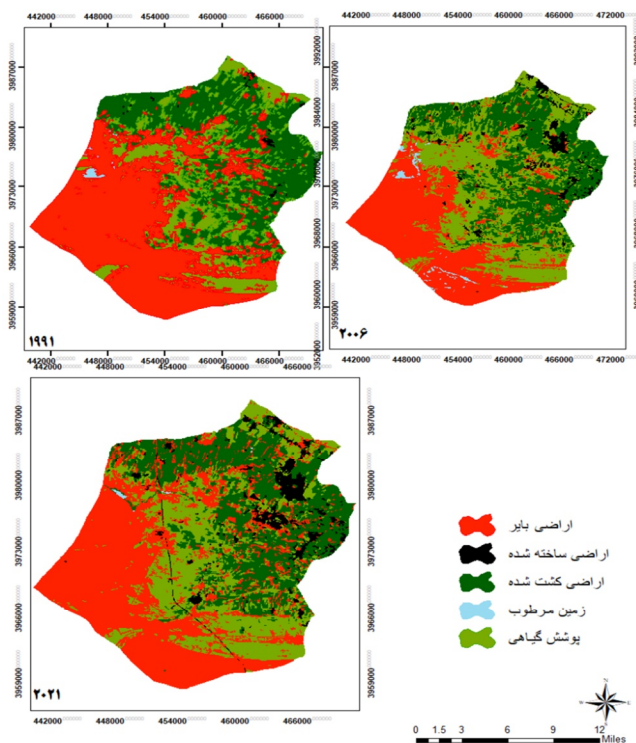
نتایج صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر نشان می‌دهد مقدار دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی در مورد سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۱ به ترتیب ۸۵/۸، ۹۴/۶ و ۹۲/۷۶٪ و مقدار ضریب کاپا برای هر سه سال برابر با ۰/۸۱، ۰/۹۳ و ۰/۹۵ بود که این میزان صحت در سطح مطلوب قرار دارد (جدول ۳).

جدول ۳. نتیجه اعتبارسنجی طبقه‌بندی تصاویر

	۱۹۹۱	۲۰۰۶	۲۰۲۱
شاخص			
دقت کلی	۸۵/۸	۹۴/۶	۹۲/۷۶
کاپا	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۹۵

جدول ۴. مساحت کاربری‌های گوناگون طی سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۶، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۵

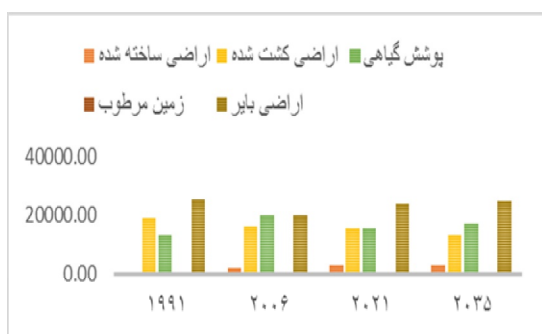
کاربری (هکتار)	۱۹۹۱	۲۰۰۶	۲۰۲۱	۲۰۲۵
اراضی ساخته‌شده	۳۲۱/۳۱	۲۳۳۴/۴۱	۳۱۵۴/۹۳	۳۱۱۲/۰۶
اراضی کشت‌شده	۱۹۲۳۹/۸۲	۱۵۹۴۶/۸۱	۱۵۵۵۹/۸۰	۱۳۱۵۷/۶۹
پوشش گیاهی	۱۳۳۵۲/۰۹	۲۰۰۷۰/۹۱	۱۵۸۰۰/۳۲	۱۷۲۹۰/۲۹
زمین مرطوب	۲۴۴/۹۸	۴۸۰/۸۹	۶۳/۶۹	۸۵/۴۲
اراضی بایر	۲۵۴۶۳/۹۳	۱۹۷۸۷/۲۵	۲۴۰۴۱/۶۶	۲۴۹۷۶/۳۳



شکل ۲. نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۱



پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، آشکارسازی تغییرات و بررسی آنها طی سه دوره زمانی مورد مطالعه انجام شد (شکل ۴). براساس نتایج پایش تغییرات کاربری اراضی طی دوره زمانی مورد بررسی، افزایش سطح اراضی انسان‌ساخت و کاهش مساحت اراضی کشت‌شده و همچنین تغییرات متناوب زمین‌های مرطوب گواهِ بر استفاده نامطلوب از سرزمین، به‌ویژه طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ بوده است. به‌نظر می‌رسد این روند از سال ۲۰۰۶ شیب ملایم‌تری داشته که ممکن است ناشی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و سیاسی منطقه در این سال‌ها باشد. بخش اصلی اراضی مرطوب که تغییرات در آن رخ داده، تالاب صالحیه در غرب شهرستان، در جوار روستای قارپوزآباد است و نکته شایان توجه، در روند این تغییرات، وضعیت این تالاب در سال‌های پیش از آب‌گیری سد طالقان در بالادست منطقه است. نقشه طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۶، به‌کاررفته در این تحقیق، وضعیت آبی تالاب را پیش از احداث و آب‌گیری سد طالقان نشان می‌دهد<sup>۱</sup> (جدول ۴). به‌یقین دلایل متعددی زمینه‌ساز این نایکنواختی در روند تغییرات اراضی مرطوب است اما هم‌زمانی این رخداد با آب‌گیری سد شایسته تأمل است.

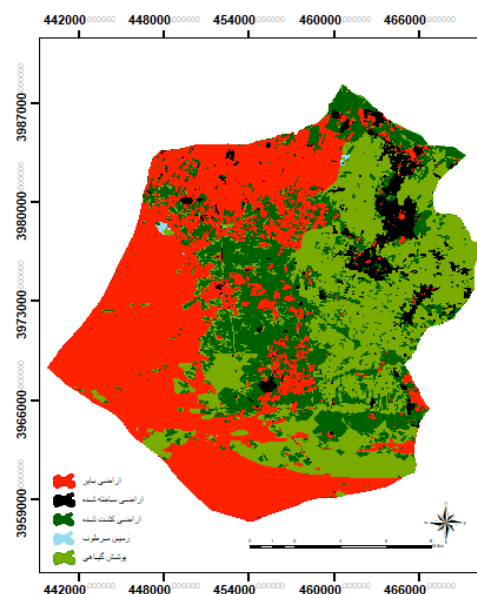


شکل ۴. مقایسه روند تغییرات کاربری‌های گوناگون در سال‌های مورد بررسی

۱. آب‌گیری سد از پاییز سال ۱۳۸۵ آغاز شده و تصویر سال ۲۰۰۶ که در این تحقیق استفاده شده، متعلق به فصل بهار است.

دقت کلی از راه تقسیم مجموع پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی‌شده بر مجموع کل پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده به‌دست می‌آید. لازم است یادآوری کنیم که پیکسل‌های به‌درستی طبقه‌بندی‌شده در قطر اصلی ماتریس خطا جای دارند (Membani, M., & Asgari, H. 2018; Shafiee Sabet et al 2019). ضریب کاپا معیاری است که می‌تواند، از طریق مقایسه، دقت نقشه تولیدشده از روی تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های مرجع زمینی را ارائه دهد. این ضریب کاپا معیاری است برای سنجش توافق بین پیش‌بینی مدل و واقعیت (Congalton, 1991).

به‌منظور پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۵، در گام نخست، از زنجیره مارکوف و اتومات استفاده شد؛ بدین‌صورت که ابتدا تصویر طبقه‌بندی‌شده سال ۱۹۹۱ و سپس تصویر طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۰۶ به مدل معرفی شد و از این طریق، ماتریس تبدیلات به‌دست آمد. تصویر سال ۲۰۲۱، به‌همراه ماتریس تبدیلات به‌دست‌آمده از دوره قبل، به مدل معرفی و نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۵ احصا شد (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی، سال ۲۰۳۵

۳-۲- بررسی روند تغییرات متریک‌ها در سطح کلاس طبق نتایج طبقه‌بندی پوشش اراضی به‌دست‌آمده از هر دوره، شاخص‌های الگوی سیمای سرزمین در سطح کلاس با کمک نرم‌افزار fragstats4.1 (جدول ۵) به‌دست آمد. براساس محاسبه متریک CA، مساحت طبقه اراضی ساخته‌شده در بازه زمانی ۱۹۹۱، ۲۰۰۶، ۲۰۲۱ و ۲۰۳۵ به ترتیب ۳۱۶/۲۵، ۲۳۳۳/۲۵، ۳۱۵۰/۲۵ و ۳۱۱۴ بوده که این افزایش مساحت نشان‌دهنده رشد و توسعه سکونتگاه‌ها، مراکز صنعتی و خدماتی ناشی از فعالیت‌های روزافزون انسان در منطقه است. رشد چشمگیر حدود هفت‌برابری در پانزده سال اول ممکن است نتیجه وضعیت خاص اقتصادی-اجتماعی منطقه در این بازه زمانی باشد. از طرف دیگر، مساحت اراضی کشت‌شده طی سال‌های مورد بررسی با روند نزولی مواجه بوده و به ترتیب، از ۱۹۲۰۷/۵ در سال ۱۹۹۱، به ۱۵۹۴۳/۵، ۱۵۵۵۶/۲۵ و ۱۳۱۴۵ در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۳۵ رسیده است. پوشش گیاهی نیز، از ۱۳۴۹۱ در سال ۱۹۹۱، به ۲۰۷۸/۵ در سال ۲۰۰۶ رسیده؛ در سال ۲۰۲۱ کاهش یافته و به ۱۵۸۱۶/۵ رسیده است و در سال ۲۰۳۵، طبق افزایش دوباره پیش‌بینی‌شده به ۱۷۲۹۳ می‌رسد. زمین مرطوب نیز روند افزایشی را در این متریک، طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶، نشان می‌دهد و در سال ۲۰۲۱، به دلیل هم‌زمانی با آب‌گیری سد طالقان در بالادست منطقه مورد مطالعه و تخصیص ندادن صحیح حبابه منابع طبیعی و محیط‌زیست، به شدت کاهش یافته و به ۶۲/۷۵ رسیده است. در مورد سال ۲۰۳۵، روند افزایشی بسیار محدودی پیش‌بینی شده است؛ اراضی بایر منطقه، از ۲۵۳۴۸/۷۵ در سال ۱۹۹۱ به ۱۹۷۷۲/۷۵ در سال ۲۰۰۶ رسیده و در سال ۲۰۲۱، با افزایشی دوباره، به ۲۴۰۳۵ رسیده است و در سال ۲۰۳۵ با روند افزایش ملایمی مواجه می‌شود (شکل ۵).

در بررسی متریک PLAND، مشاهده می‌شود که درصد سیمای سرزمین پوشش‌یافته با مناطق انسان‌ساخت، به ترتیب سال‌های مورد بررسی به ۰/۵۴

۳/۹۸، ۵/۳۷ و ۵/۳۱ رسیده است. این مسئله گسترش فزاینده محیط انسان‌ساخت را در سیمای سرزمین منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۵). اراضی کشت‌شده نیز در این متریک، از ۳۲/۷۷ در سال ۱۹۹۱ کاهش داشته و به ترتیب به ۲۷/۲، ۲۶/۵۳ و ۲۲/۴۲ رسیده است. در مورد پوشش گیاهی، این متریک از روند ثابتی پیروی نکرده و با افزایش، از ۲۳/۰۱۵ در سال ۱۹۹۱، به ۳۴/۲۵ در سال ۲۰۰۶ رسیده است. در سال ۲۰۲۱ نیز، کاهش داشته و به ۲۶/۹۸ رسیده است و در پیش‌بینی در مورد ۲۰۳۵، به ۲۹/۵ می‌رسد. زمین‌های مرطوب نیز بدین منوال، طی پانزده سال نخست، با افزایش این متریک مواجه بوده‌اند؛ در سال ۲۰۲۱ روند کاهشی بوده است اما، در پیش‌بینی سال ۲۰۳۵، افزایش ملایمی در آن دیده می‌شود و از ۰/۱۰۸ به ۰/۱۵ می‌رسد. درصد پوشش سیمای سرزمین از اراضی بایر در مورد سال‌های بررسی‌شده، به ترتیب ۴۳/۲۴، ۳۳/۷۵، ۴۱ و ۴۲/۶۱ بوده است (شکل ۵). نتایج بررسی شاخص NP نشان می‌دهد تعداد لکه‌های کاربری انسان‌ساخت در بازه زمانی ۱۹۹۱، ۲۰۰۶، ۲۰۲۱ و ۲۰۳۵ به ترتیب ۳۰، ۱۷۵، ۲۰۰ و ۲۷۳ بوده است که روند افزایشی را در تعداد لکه‌های این کاربری، در سیمای سرزمین منطقه بیان می‌کند. لکه‌های کشت‌شده، از ۷۷ عدد در سال ۱۹۹۱، طی افزایشی به ۱۴۷ لکه در سال ۲۰۰۶ و ۱۷۷ عدد در سال ۲۰۲۱ رسیده است. در مورد سال ۲۰۳۵، پیش‌بینی می‌شود با رشدی فزاینده به ۷۲۶ لکه برسد. چنین برداشت می‌شود که اراضی کشاورزی منطقه در حال خردشدن و ازدست‌دادن همبستگی‌اند. تعداد لکه‌های پوشش گیاهی نیز، در سال‌های مورد بررسی به ترتیب ۳۸۸، ۳۹۱، ۴۳۹ و ۷۶۵ بوده است که روند افزایشی را طی سالیان مورد بررسی، نشان می‌دهد. درباره زمین‌های مرطوب، تعداد لکه‌ها در سال ۱۹۹۱ سیزده‌تا بوده که در سال ۲۰۰۶، به ۴۱ عدد افزایش یافته و پس از آن، در ۲۰۲۱ به شش لکه کاهش یافته است. گمان بر این می‌رود که منطقه، طی پانزده سال

۱۹۹۱، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۱ روند افزایشی ملایمی رخ داده و برای سال ۲۰۳۵، رشد فزاینده‌ای پیش‌بینی شده است. در این شاخص نیز، همانند متریک NP، روند افزایش گواه بر تخریب یکپارچگی پوشش اراضی است. متریک دیگری که در این موضوع دلالت می‌کند MPS یا میانگین اندازه لکه در سطح کلاس است. در محاسبه متریک MPS در سطح کلاس سطوح ساخته‌شده، شاهد روند افزایشی هستیم که نشان‌دهنده گسترش یکپارچگی این کلاس برای سال‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه است. این موضوع، درمورد کلاس اراضی کاشته‌شده کاملاً برخلاف کلاس قبلی است و روند کاهشی این متریک، به‌ویژه طی سال‌های ۲۰۲۱ تا پیش‌بینی ۲۰۳۵، نشان از تخریب و تکه‌تکه‌شدن سیمای سرزمین دارد (شکل ۵). محاسبه متریک AWMSI که میزان بی‌نظمی در شکل لکه‌ها را کمی می‌کند، نشان‌دهنده بی‌نظمی و کشیدگی بالا در شکل لکه، در انواع کاربری‌ها، طی سال‌های مورد بررسی است. مقدار این متریک با متریک CA ارتباط مستقیم دارد (شکل ۵).

دوم بررسی، خشک‌تر شده باشد. در پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۵ نیز، تعداد این لکه‌ها به دوازده عدد می‌رسد. تعداد لکه‌های اراضی بایر از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱، به‌ترتیب ۲۴۷، ۳۲۸ و ۵۷۷ بوده که روند افزایشی را نشان می‌دهد اما درمورد سال ۲۰۳۵، به ۲۰۹ می‌رسد که نشان می‌دهد لکه‌های ناپیوسته اراضی بایر به‌هم‌پیوسته خواهند شد و لکه واحدی را تشکیل خواهند داد. این مسئله ممکن است ناشی از تخریب لکه‌های پوشش گیاهی و اراضی کشت‌شده در منطقه باشد (شکل ۵).

بررسی متریک PD یا تراکم لکه که تعداد لکه‌ها در واحد سطح را نشان می‌دهد و شاخصی برای تکه‌تکه‌شدن زیستگاه است، درمورد اراضی ساخته‌شده طی سال‌های بررسی، روندی افزایشی را نشان می‌دهد. این روند از سال ۲۰۰۶ تا پیش‌بینی سال ۲۰۳۵، روند آرام‌تری داشته اما طی پانزده سال اول مورد بررسی، با شدت بیشتری رشد یافته است. این متریک درمورد اراضی کشت‌شده کاملاً متفاوت بوده و طی سال‌های

جدول ۵. محاسبه متریک‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس

کلاس	سال	CA	PLAND	NP	PD	AWMSI	MPS
ارضی ساخته‌شده	1991	316/25	40/5	30	0/05	8/037	10/6
	2006	2333/25	3/98	175	0/23	20/27	11/99
	2021	3150/25	5/37	200	0/34	20/39	15/52
	2035	3114	5/31	273	0/47	19/65	17/18
ارضی کشت‌شده	1991	19207/5	32/77	77	0/13	21/55	249/28
	2006	15943/5	27/2	147	0/25	10/34	147/72
	2021	15556/25	26/53	177	0/30	26/11	109/27
	2035	13145	22/42	726	1/24	40/029	27/87
پوشش گیاهی	1991	13491	23/015	388	0/66	35/83	34/74
	2006	20078/5	34/25	391	0/67	25/33	57/63
	2021	15816/5	26/98	439	0/75	35/17	40/92
	2035	17293	29/5	765	1/3	30/92	50/66
زمین مرطوب	1991	254/75	0/43	13	0/02	4/94	19/53
	2006	485/25	0/83	41	0/07	38/033	12/18
	2021	63/75	0/108	6	0/01	3/15	8/95
	2035	87/75	0/15	12	0/02	4/012	15/28
ارضی بایر	1991	25348/75	43/24	247	0/42	17/73	102/77
	2006	19782/75	33/75	328	0/56	18/92	65/11
	2021	24035	41	577	0/98	27/49	47/92
	2035	24978/75	42/61	209	0/36	16/13	167/46



شکل ۵. نمودارهای روند تغییر عناصر سیمای سرزمین در سطح کلاس

جدول ۶. متریک‌های سطح سیمای سرزمین

سال	LPI	CONTAG	SHDI
1991	37/18	56/20	1/12
2006	29/29	48/23	1/26
2021	31	47/78	1/24
2035	38/85	49/86	1/22

### ۳-۳- بررسی روند تغییرات متریک‌ها در سطح

#### سیمای سرزمین

نتایج تجزیه و تحلیل متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین، در دوره‌های متفاوت برای شهرستان نظرآباد، در جدول ۶ نشان داده شده است.

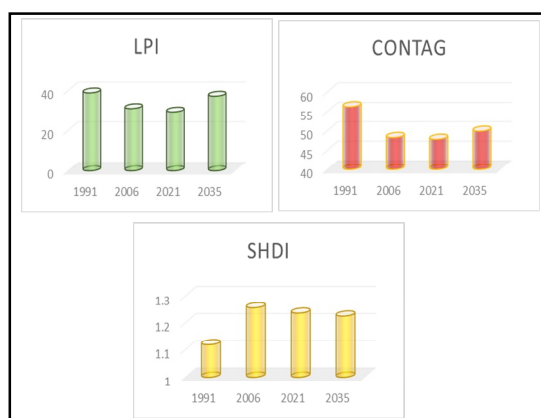
دوره نخست بررسی، شاهد کاهش هستیم و در پیش‌بینی سال ۲۰۳۵ هرچند به‌مقدار اندک، روند افزایشی را مشاهده می‌کنیم. در مجموع، این نکته بیانگر کاهش پیوستگی لکه‌ها و در نتیجه، تخریب زیستگاه در بازه‌های زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ و ۲۰۲۱ است (شکل ۶).

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در راستای بررسی میزان درستی راهبردهای پابرجا در سند آمایش استان البرز، در موضوع انتقال جمعیت و فعالیت به مناطق غرب و جنوب‌غرب این استان، در این پژوهش، امنیت اکولوژیکی را ارزیابی کردیم. این کار با استفاده از نقشه‌های پوشش/کاربری زمین، به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۱، داده‌های فیزیکی و نقشه شبیه‌سازی‌شده سال ۲۰۳۵ که با کمک مدل CA-MARKOV تهیه شده، تغییرات پوشش/کاربری اراضی در شهرستان نظرآباد، از توابع استان البرز با موفقیت انجام شد. در ادامه، با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین، امنیت اکولوژیکی منطقه را در سطح کلاس و سیمای سرزمین ارزیابی کردیم. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده رشد سریع و پیش‌رونده سطوح ساخته‌شده در اراضی کشاورزی منطقه است که ضمن تکه‌تکه شدن اراضی مستعد کشاورزی، در بسیاری از موارد، تخریب و لم‌یزرع شدن لکه‌های کوچک‌تر را به دنبال داشته و باعث بروز پدیده یکپارچگی در زمین‌های بایر شده است. هرچند سطح پوشش کلاس بایر طی سال‌های بررسی، تغییر چندانی نداشته، روند تغییرات آن به وضعیت نامطلوب اراضی کشاورزی انجامیده است. در مجموع، در طول بازه زمانی مورد بررسی، لکه‌های بزرگ اراضی دارای ارزش اکولوژیکی مطلوب به‌طور فزاینده‌ای به قطعات کوچک‌تر دارای ارزش اکولوژیکی کمتر تبدیل شده‌اند و در نتیجه، امنیت اکولوژیکی منطقه کاهش یافته است. این مسئله مشابه دیگر مطالعات، از جمله

شاخص بزرگ‌ترین لکه یا LPI که در این تحقیق، در سطح سیمای سرزمین بررسی شده، نسبت بزرگ‌ترین لکه در کل مساحت سیمای سرزمین تعریف شده است و با درصد نشان داده می‌شود. هر قدر مقدار این شاخص کمتر باشد، نشان‌دهنده تخریب بیشتر یکپارچگی پوشش اراضی است.

بنابراین براساس نتایج محاسبه این متریک در سطح سیمای سرزمین شهرستان نظرآباد، طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ شاهد روند کاهشی هستیم که تخریب یکپارچگی پوشش اراضی در این بازه را بیان می‌کند. البته در سال‌های ۲۰۲۱ و طبق پیش‌بینی ۲۰۳۵، مقدار این متریک رو به افزایش بوده است. با توجه به نتایج بررسی‌های انجام‌شده، این بهبود وضعیت یکپارچگی کاربری اراضی متعلق به کلاس اراضی بایر در این سال‌هاست که بیانگر توسعه این اراضی در کنار کاهش، تخریب و تبدیل اراضی کشت‌شده، مرطوب و پوشش گیاهی در منطقه است (شکل ۶).



شکل ۶. نمودارهای روند تغییر عناصر سیمای سرزمین در سطح سیمای سرزمین

طبق نتایج محاسبه متریک شانون یا SHDI، طی سال‌های مورد بررسی، تغییر چندانی مشاهده نشد که یکنواختی نسبی تنوع کاربری‌ها را در سطح سیمای سرزمین، در منطقه مورد بررسی نشان دهد (شکل ۶). اما در مورد متریک پیوستگی CONTAG، طی دو

پتانسیل‌های سرزمینی و جغرافیای خاص منطقه صورت پذیرد؛ در غیر این صورت، ممکن است تبعات جبران‌ناپذیری متوجه حوزه پایداری، امنیت و سلامت محیط‌زیستی منطقه شود. در مجموع، پیشنهاد می‌شود برای کنترل تکه‌تکه‌شدن و تبدیل بیش از پیش کلاس‌های گوناگون سیمای سرزمین شهرستان نظرآباد به پهنه‌های بایر، برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای در این منطقه، براساس اصول حفاظتی و حمایتی اراضی با پوشش طبیعی و پهنه‌های کشاورزی انجام شود.

#### ۵- منابع

- Alborz Province Management and Planning Organization (2016). **Alborz Province Spatial Planning Studies**.
- Argañaraz, J. P., & Entraigas, I. (2014). **Scaling functions evaluation for estimation of landscape metrics at higher resolutions**. *Ecological informatics*, 22, 1-12.
- Bauni, V., Schivo, F., Capmourteres, V., & Homberg, M. (2015). **Ecosystem loss assessment following hydroelectric dam flooding: The case of Yacuyretá, Argentina**. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 1, 50-60.
- Congalton, R. G. (1991). **A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data**. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.
- Fan, Ch., Myint, S., (2014). **A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation**, *Landscape and Urban Planning* 121, 117-128.
- Feng, Y., & Tong, X. (2017). **Using exploratory regression to identify optimal driving factors for cellular automaton modeling of land use change**. *Environmental monitoring and assessment*, 189(10), 1-17.
- Hassanpour, P., Sayyahnia, R., Esmaeilzadeh, H. (2020). **Ecological structure assessment of urban green space using the landscape approach (case study: Tehran's 22nd district)**. *Environmental Sciences*, 18(1), 187-202. doi: 10.29252/envs.18.1.187

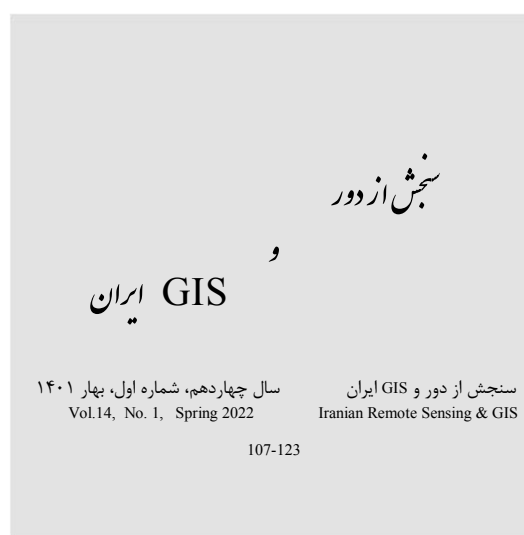
یافته‌های پژوهش معرب و همکاران (۱۴۰۰)، محمد<sup>۱</sup> و ورکیو<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) و سو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۰) است. با توجه به موقعیت جغرافیایی-سیاسی منطقه، مهم‌ترین عامل پدیدآمدن چنین وضعیتی توسعه فضایی زیرساخت‌های انسان‌محور بوده است. در این مورد، نتایج پژوهش حاضر با پژوهش فنگ<sup>۴</sup> و تانگ<sup>۵</sup> (۲۰۱۷) مطابق است که تغییرات کاربری اراضی و الگوهای سیمای سرزمین را نتیجه رشد سریع شهرنشینی و افزایش جمعیت می‌دانند. این پدیده تبعاتی، از جمله برداشت بیش از پتانسیل از سفره‌های آب زیرزمینی در منطقه را برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در پی داشته است؛ به طوری که در حال حاضر، مطابق با نتایج فصل محیط‌زیست سند آمایش استان البرز، در این شهرستان نسبت جمعیت کنونی به جمعیت ظرفیت برد براساس منابع آب منطقه، ۰/۳ تخمین زده شده و با تنش آبی مواجه است. با این تفاسیر، با توجه به وابستگی منطقه به منابع آب زیرزمینی به منظور تأمین نیازهای آبی، افزایش سطح اراضی انسان‌ساخت که به افزایش توسعه صنعتی، زیرساختی و جمعیتی منطقه منجر می‌شود، می‌تواند تهدیدی جدی برای کاهش سطح آبخوان‌ها در منطقه محسوب شود و ضمن بروز تنش‌های آبی، احتمال بروز پدیده‌هایی همچون فرونشست را افزایش دهد. یافته‌های این تحقیق، همان‌طور که لیو و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعات خود مطرح کرده‌اند، می‌تواند اطلاعات اساسی و پشتیبان تصمیم‌گیری را برای سازمان‌های دولتی و برنامه‌ریزان، به منظور تضمین توسعه مسئولانه و پایدار سرزمین، فراهم کند. در این زمینه، پیشنهاد می‌شود راهبرد انتخابی سند آمایش استان البرز مبنی بر انتقال جمعیت به این منطقه، بسیار بااحتیاط و با در نظر گرفتن وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی به منزله منبع اصلی تأمین آب منطقه و بررسی جوانب انتقال آب از حوزه‌های مجاور و حجم تخصیص حقبه منطقه از سد طالقان، به گونه‌ای ساختارمند برنامه‌ریزی شود تا، ضمن برقراری توازن محیط‌زیستی و حفظ امنیت اکولوژیک، بهره‌وری مطلوب و بهینه از

- Inkoom, J. N., Frank, S., Greve, K., Walz, U., & Fürst, C. (2018). **Suitability of different landscape metrics for the assessments of patchy landscapes in West Africa.** *Ecological Indicators*, 85, 117-127.
- Keshtkar, M., Sayahnia, R. (2021). **Monitoring the Ecological Security of Esfahan with an Ecosystem Service Approach.** *Geography and Environmental Sustainability*, 10(4), 91-107.
- Kim, J., (2019). **Subdivision design and landscape structure: Case study of The Woodlands, Texas, US,** *Urban Forestry & Urban Greening* 38, 232-241.
- Kupfer, J. A. (2012). **Landscape ecology and biogeography: rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape.** *Progress in physical geography*, 36(3), 400-420.
- Liang, P., Liming, D., & Guijie, Y. (2010). **Ecological security assessment of Beijing based on PSR model.** *Procedia Environmental Sciences*, 2, 832-841.
- Liang, X., Jin, X., Ren, J., Gu, Z., & Zhou, Y. (2020). **A research framework of land use transition in Suzhou City coupled with land use structure and landscape multifunctionality.** *Science of the Total Environment*, 737, 139932.
- Liu, D., & Chang, Q. (2015). **Ecological security research progress in China.** *Acta Ecologica Sinica*, 35(5), 111-121.
- Liu, P., Zhang, X., Ma, C., Zhang, H., Han, R., & Lu, X. (2021). **Ecological Security Assessment Based on Remote Sensing and Landscape Ecology Model.** *Journal of Sensors*, 2021.
- Li, Z.T., Yuan, M. J, Hu, M.M., Wang, Y.F., Xia, B.Ch., (2019). **Evaluation of ecological security and influencing factors analysis based on robustness analysis and the BP-DEMALTE model: A case study of the Pearl River Delta urban agglomeration,** *Ecological Indicators* 101,595-602.
- Liu, Y., Peng, J., & Wang, Y. (2018). **Application of partial least squares regression in detecting the important landscape indicators determining urban land surface temperature variation.** *Landscape Ecology*, 33(7), 1133-1145.
- Liu, Y., Peng, J., Zhang, T., & Zhao, M. (2016). **Assessing landscape eco-risk associated with hilly construction land exploitation in the southwest of China: Trade-off and adaptation.** *Ecological indicators*, 62, 289-297.
- Lu, J. (2015). **Landscape ecology, urban morphology, and CBDs: an analysis of the Columbus, Ohio Metropolitan Area.** *Applied Geography*, 60, 301-307.
- Ma, L., Bo, J., Li, X., Fang, F., & Cheng, W. (2019). **Identifying key landscape pattern indices influencing the ecological security of inland river basin: The middle and lower reaches of Shule River Basin as an example.** *Science of the Total Environment*, 674, 424-438.
- Memhani, M., & Asgari, H. (2018). **Monitoring assessment and prediction of spatial changes of Land Use/Cover using Markov Chain Model (Case study: Shushtar-Khuzestan),** *Sepehr Geographical Information Quarterly*, 27 (105), 35-47. (In Farsi).
- Miller, J.D., Brewer, T (2018). **Refining flood estimation in urbanized catchments using landscape metrics,** *Landscape and Urban Planning* 175, 34-49.
- Mõisja, K., Uuemaa., E., Oja, T (2016). **Integrating small-scale landscape elements into land use/cover: The impact on landscape metrics' values,** *Ecological Indicators* 67, 714-722.
- Moarrab, Y., Salehi, E., Amiri, M.J., and Hovidi, H. (2021). **Ecological Security Analysis of Land Use Changes in Lavasanat Basin Using Landscape Metrics.** *Geography and Development*, 19 (64), 77-114. (In Farsi).
- Mohamed, A., & Worku, H. (2019). **Quantification of the land use/land cover dynamics and the degree of urban growth goodness for sustainable urban land use planning in Addis Ababa and the surrounding Oromia special zone.** *Journal of Urban Management*, 8(1), 145-158.

- Morelli, F., Benedetti, Y., Šímová, P. (2018). **Landscape metrics as indicators of avian diversity and community measures**, Ecological Indicators 90 (2018) 132-141.
- Motlagh, Z. K., Lotfi, A., Pourmanafi, S., Ahmadizadeh, S., & Soffianian, A. (2020). **Spatial modeling of land-use change in a rapidly urbanizing landscape in central Iran: Integration of remote sensing, CA-Markov, and landscape metrics**. Environmental Monitoring and Assessment, 192(11), 1-19.
- omidpour, M., Sayahnia, R., Rezaei, Y. (2020). **The Impact of Urban Growth and Development Trend on Ecological Network Structure with Resilience and Landscape Approach (Case study of Hamedan)**. Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 12(2), 19-32.
- Pan, Zh., Wang, G., Hu, Y., Cao, B (2019). **Characterizing urban redevelopment process by quantifying thermal dynamic and landscape analysis**, Habitat International 86, 61-70.
- Parivar, P., Quanrud, D., Sotoudeh, A., & Abolhasani, M. (2021). **Evaluation of urban ecological sustainability in arid lands (case study: Yazd-Iran)**. Environment, Development and Sustainability, 23(2), 2797-2826.
- Peng, J., Zong, M., Hu, Y. N., Liu, Y., & Wu, J. (2015). **Assessing landscape ecological risk in a mining city: a case study in Liaoyuan City, China**. Sustainability, 7(7), 8312-8334.
- Sajjadi Ghaemmaghami, S., Sayahnia, R., Mobarghei Dinan, N., Makhdoum Farkhondeh, M. (2021). **Evaluating the implications of urban growth on carbon fixation ecosystem services (Case study: Karaj Subcatchments)**. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 12(1), 20-37.
- Sayahnia, R., Makhdoum, M., Faryadi, S. (2017). **Ecological indices in evaluation of urban development capability (case study: Tehran metropolitan area)**. Environmental Sciences, 15(1), 77-88.
- Sayahnia, R., Sobhani, P., Mahmoudi, H., esmaeilzadeh, H. (2019). **Estimation of the tourism carrying capacity in protect areas (Case study: Alvand No-Hunting Area)**. Journal of Tourism Planning and Development, 8(30), 51-64. doi: 10.22080/jtpd.2019.16240.3037
- Schwoertzig, E., Poulin, N., Hardion, L., & Trémolières, M. (2016). **Plant ecological traits highlight the effects of landscape on riparian plant communities along an urban-rural gradient**. Ecological indicators, 61, 568-576.
- Shafiee Sabet, N., Shakiba, A., Mohammadi, A. (2019). **Detection and prediction of land use changes using CA-Markov model Case study: Tehran - Damavand**, Sepehr Geographical Information Quarterly, 28 (111), . 175-190, (In Farsi).
- Sheikh Goodarzi, M., Alizadeh Shabani, A., Salman Mahini, A., Feghhi, J. (2011). **Landscape Ecological Metrics-based Investigation of Land Cover/Use Changes in Korganrud Watershed**, Journal of Resources Natural Iran, 64 (4), . 431 - 441, (In Farsi).
- Shi, Y., Qi, Z., Liu, X., Niu, N., & Zhang, H. (2019). **Urban land use and land cover classification using multisource remote sensing images and social media data**. Remote Sensing, 11(22), 2719.
- Su, W., Gu, C., Yang, G., Chen, S., & Zhen, F. (2010). **Measuring the impact of urban sprawl on natural landscape pattern of the Western Taihu Lake watershed, China**. Landscape and Urban Planning, 95(1-2), 61-67.
- Su, Y., Chen, X., Liao, J., Zhang, H., Wang, C., Ye, Y., & Wang, Y. (2016). **Modeling the optimal ecological security pattern for guiding the urban constructed land expansions**. Urban Forestry & Urban Greening, 19, 35-46.
- Sun, J., Li, Y. P., Gao, P. P., & Xia, B. C. (2018). **A Mamdani fuzzy inference approach for assessing ecological security in the Pearl River Delta urban agglomeration, China**. Ecological Indicators, 94, 386-396.



- Vanderhaegen, S., Canters, Frank., (2017). **Mapping urban form and function at city block level using spatial metrics**, Landscape and Urban Planning 167, 399-409.
- Valeria, B., Facundo, S., Virginia, C., Marina, H., (2015). **Ecosystem loss assessment following hydroelectric dam flooding: The case of Yacyretá, Argentina**, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 1, 50-60.
- Wang, Q. H., Kalantar-Zadeh, K., Kis, A., Coleman, J. N., & Strano, M. S (2012). **Electronics and optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides**. Nature nanotechnology, 7(11), 699-712.
- Weber, T. (2004). **Landscape ecological assessment of the Chesapeake Bay watershed**. Environmental Monitoring and Assessment, 94(1), 39-53.
- Wei, S., Pan, J., & Liu, X. (2020). **Landscape ecological safety assessment and landscape pattern optimization in arid inland river basin: Take Ganzhou District as an example**. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 26(3), 782-806.
- Wu, X., Liu, S., Sun, Y., An, Y., Dong, Sh., Liu., G., (2019). **Ecological security evaluation based on entropy matter-element model: A case study of Kunming city, southwest China**, Ecological Indicators 102, 469-478.
- Yu, Y., Yu, M., Lin, L., Chen, J., Li, D., Zhang, W., & Cao, K. (2019). **National green GDP assessment and prediction for China based on a CA-Markov land use simulation model**. Sustainability, 11(3), 576.
- Yu, M., Huang, Y., Cheng, X., Tian, J., (2019) . **An ArcMap plug-in for calculating landscape metrics of vector data**, Ecological Informatics, 50, 207-219.
- Yuantao, X., Qingwen, M., Zheng, Y., Yanying, B., Yehong, S., Jing, L., & Zhi, C. (2013). **Identifying landscape pattern metrics for the Hani Terrace in Yunnan, China**. Journal of Resources and Ecology, 4(3), 212-219.
- Zheng, Zh., Du, Sh., Wang, Y.Ch., Wang, Q (2018). **Mining the regularity of landscape-structure heterogeneity to improve urban land-cover mapping**, Remote Sensing of Environment, 214, 14-32.
- Zhou, K., Liu, Y., Tan, R., Song, Y., (2014). **Urban dynamics, landscape ecological security, and policy implications: A Case study from the Wuhan area of central China**, Cities 41 141-153.
- Zhu, C., Zhang, X., Zhou, M., He, S., Gan, M., Yang, L., & Wang, K. (2020). **Impacts of urbanization and landscape pattern on habitat quality using OLS and GWR models in Hangzhou, China**. Ecological Indicators, 117, 106654.



## Investigation of Nazarabad County Ecological Security Based on the Trend of Land Use Changes Using Landscape Metrics

Amini M.<sup>1</sup> and Sayahnia, R.<sup>2\*</sup>

1. Ph.D. Student of Environmental Science and Engineering, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University
2. Assistant Prof., of Dep. of Environmental Planning and Design, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University

### Abstract

Development in its general sense, industrial, technological and spatial progress, especially in developing countries, has led to adverse effects on the environment not only on a regional scale but also at different regional, national and sometimes global levels which has similarly affected the ecological security of the regions. In recent decades, more attention has been paid to the issue of environmental safety in the world, and various methods have been developed to evaluate it, but to date, most research on ecological safety has been done based on the pressure- Status -response model and fewer studies have been conducted based on approach landscape ecology models have dealt with this category. There is also little research focusing on dynamic changes in ecological security, in particular simulating and predicting the future development of environmental security. The purpose of this study is to monitor and predict the environmental security situation in the period 1991 to 2035 by combining the support vector machine algorithm, landform ecology model, Markov chain combination model, and automated cells for the Nazarabad county area of the functions Alborz province. For this purpose, using the classification of Landsat satellite images in two 15-year time periods from 1991 to 2021, the trend of land use changes in the region in five land use classes; Construction lands, cultivated lands, wetlands, vegetation and barren lands were studied and CA-Markov model was used to prepare land use maps for 2035. MPS, CA, NP, PLAND, AWMSI, and PD metrics were calculated to quantify the landscape appearance patterns at the class level and LPI, CONTAG, and SHDI metrics were calculated at the landscape level. Then, the ecological safety index was modeled for the landscape metrics of the study area. The results indicate a decrease in integration and an increase in the number of spots in the cultivated land class and the development and expansion of man-made lands in these lands. On the other hand, we have witnessed the phenomenon of integration in the barren lands of the region. Therefore, the ecological security of the region during the study period affected by the above events was evaluated more intensively during the years 1991 to 2006 and more gently in the years 2006 to the forecast of 2035. It was suggested that more attention be paid to environmental considerations and principles of protection in regional development programs.

**Keywords:** Ecological security, Landscape ecology, Remote sensing, Landscape metrics.

\* Correspondence Address: Dep. of Planning and Designing the Environment, Environmental Sciences Research Institute (ESRI), Shahid Beheshti University, Tehran.  
Email: r\_sayahnia@sbu.ac.ir