

## Research Paper

# The Application of Landscape Ecology in Monitoring Changes in the Spatial Patterns of Mangrove Ecosystems (Case Study: Qeshm Mangrove Forests)

Neda Bihamta Toosi<sup>1</sup> , Alireza Soffianian<sup>2</sup>, and Sima Fakheran<sup>3</sup>

1- Assistant professor, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran, (Corresponding author: n.bihamta@sanru.ac.ir)

2- Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Received: 17 February, 2025

Revised: 10 April, 2025

Accepted: 20 May, 2025

## Extended Abstract

**Background:** Mangrove forests, one of the most important natural habitats, provide many ecosystem services for humans and other living organisms. In recent years, climate change and the development of human activities on the coasts have decreased the area of these forests. The knowledge-based management of forest lands, as a solution to reduce the factors of destruction and create a balance between development and the environment, requires a detailed assessment of changes in the landscape structure in the form of spatial and temporal patterns. This research aims to monitor changes in the spatial patterns of the mangrove forest ecosystem using the landscape ecology approach and remote sensing techniques.

**Methods:** Landsat TM and OLI satellite images for the years 1985, 2002, 2016, and 2022 were used to prepare land cover maps and assess the state of the mangrove forest ecosystem, considering the changes and programs implemented for the protection and development of human activities. The random forest method was used in the R software to generate land cover maps with four layers: mangrove lands, mudflat areas, tidal lands, and water areas, after preparing educational samples. After classification, the accuracy assessment of the generated map was examined using data collected from field surveys and Google Earth imagery. These maps are applied as base maps to identify and analyze spatial patterns at the class and landscape levels. Using FRAGSTATS software, four measures of class area (CA), percentage of each class (PLAND), spot density (PD) and nearest neighbor distance (ENN) at the class level and four measures of spot number (NP), contiguity (CONTAG), fragmentation (SPLIT), and the largest spot index (LPI) were used to analyze and monitor changes in spatial patterns in the studied period.

**Results:** The accuracy assessment results indicated that the four maps obtained had an acceptable accuracy ranging from 86 to 88 %. The class area metric (CA) results indicated that the area of mangrove forests decreased from 1985 to 2002, increased from 2002 to 2016, and then decreased again from 2016 to 2022. One of the primary reasons for the decline in mangrove forests between 1985 and 2016 was mangrove wood harvest by villagers for charcoal and fuel. Efforts to restore mangrove forests have been initiated since 2006, and in some regions, seedlings have been manually planted over the past few years. As mangrove areas have diminished, mudflats and tidal lands have increased in their place. The PLAND index results indicated that the abundance of mangroves and mudflats increased while the number of water bodies decreased between 1985 and 2012.

The PD index has increased for forest, swamp, and tidal lands. The increase in the density of forest patches in this area is caused by new vegetation areas and fragmentation of parts near the coast due to sedimentation and rising water levels. The ENN index has been decreasing for mangrove forest lands and tidal lands, and increasing for swamp lands. The decrease in Euclidean nearest neighbor distance (ENN) indicates the destruction of mangrove lands, less dispersion of healthy mangrove lands, and uneven distribution of mangrove patches in the coastal area. The analysis of landscape-level patch numbers indicated a decline in mangrove patches from 1985 to 2002, largely due to their use as fuel and for livestock grazing. The CONTAG metric showed an overall decreasing trend from 1985 to 2022, with a brief increase occurring between 1982 and 2016. The largest spot index (LPI) decreased and the fragmentation index (SPLIT) increased from 1985 to 2022.



**Conclusion:** Coastal areas are home to vital ecosystems that provide numerous environmental, economic, and social benefits. However, the rapid development of ports and human activities on the Iranian coasts to achieve economic benefits, without considering conservation planning and monitoring the state of coastal ecosystems, can pose a serious threat to the health of these coastal ecosystems in the long term. One of the most important consequences of the destruction of coastal ecosystems is the reduction of biodiversity. Based on the obtained results, it is evident that, even though mangrove forest protection and development programs, such as seedling planting, have been implemented since 2005, human activities in coastal areas have led to the destruction and fragmentation of mangrove forest lands. Given the critical importance of these forests, protection planning and management should be conducted with increased supervision and precision to prevent further destruction of these coastal areas. The findings of this research can aid in organizing and planning the protection of mangrove ecosystems in southern Iran.

**Keywords:** Ecosystem, Mangrove forest, Remote sensing, Landscape metrics, Qeshm

**How to Cite This Article:** Bihamta Toosi, N., Soffianian, A & Fakheran, S. (2025). The Application of Landscape Ecology in Monitoring Changes in the Spatial Patterns of Mangrove Ecosystems (Case Study: Qeshm Mangrove Forests). *Ecol Iran For*, 13(2), 91-101. DOI: 10.61882/ifej.2025.575



## مقاله پژوهشی

## کاربرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین در پایش تغییرات الگوهای مکانی اکوسیستم‌های مانگرو (مطالعه موردی: جنگل‌های مانگرو قشم)

ندا بی‌همتا طوسی<sup>۱</sup> (ID)، علیرضا سفیانیان<sup>۲</sup> و سیما فاخران<sup>۳</sup>

۱- استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: n.bihanta@sanru.ac.ir)

۲- استاد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۹

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱  
صفحه ۹۱ تا ۱۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** جنگل‌های مانگرو به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی، طیف وسیعی از خدمات اکوسیستمی را برای انسان و سایر موجودات زنده فراهم می‌کنند. در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیم و توسعه فعالیت‌های انسانی در سواحل سبب کاهش مساحت این جنگل‌ها شده‌اند. مدیریت دانش‌بنیان اراضی جنگلی به‌عنوان راهکاری در جهت کاهش عوامل تخریب و ایجاد تعادل بین توسعه و محیط‌زیست نیازمند ارزیابی دقیق تغییرات ساختار سیمای سرزمین در قالب الگوهای مکانی و زمانی است. استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین بهترین راه برای مقایسه‌ی وضعیت سیمای سرزمین در طول زمان و ابزار مناسبی برای یافتن ارتباط دقیق بین ساختار و عملکرد کاربری‌های مختلف در ساختار فضایی اکوسیستم‌های جنگلی است. هدف این پژوهش پایش تغییرات الگوهای مکانی اکوسیستم جنگل‌های مانگرو با بهره‌گیری از رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین و تکنیک‌های سنجش از دور است.

**مواد و روش‌ها:** برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی و بررسی وضعیت اراضی جنگلی مانگرو، تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM و OLI برای سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۸۱، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ با توجه به تغییرات، برنامه‌های انجام‌شده برای حفاظت و توسعه فعالیت‌های انسانی در منطقه انتخاب شدند. پس از تهیه نمونه‌های تعلیمی، نقشه‌های پوشش اراضی با روش جنگل تصادفی در چهار طبقه شامل اراضی مانگرو، اراضی باتلاقی، اراضی جزر و مدی و پهنه‌های آبی در نرم‌افزار R تولید شدند. پس از پایان طبقه‌بندی، صحت نقشه‌های تولیدشده با داده‌های جمع‌آوری شده از بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل ارث ارزیابی گردید. این نقشه‌ها به‌عنوان نقشه پایه برای شناسایی و تحلیل الگوهای مکانی در سطح کلاس و سیمای سرزمین به‌کارگرفته شدند. با استفاده از نرم‌افزار FRAGSTATS چهار سنج مساحت کلاس (CA)، درصد فراوانی هر کلاس (PLAND)، تراکم لکه (PD) و فاصله نزدیک‌ترین همسایگی (ENN) در سطح کلاس و چهار سنج تعداد لکه (NP)، پیوستگی (CONTAG)، خردشدگی (SPLIT) و شاخص بزرگترین لکه (LPI) برای تجزیه و تحلیل تغییرات الگوهای مکانی در بازه زمانی مورد مطالعه انتخاب شدند.

**یافته‌ها:** نتایج ارزیابی صحت نشان داد که چهار نقشه حاصل‌شده، صحت قابل قبولی (حدود ۸۶ تا ۸۸) داشتند. بررسی نتایج سنج مساحت کلاس (CA) نشان داد که مساحت جنگل‌های مانگرو در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۱ کاهش داشت، سپس بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ روند افزایشی یافت، و از سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱ دوباره مساحت جنگل‌های مانگرو کاهش پیدا کرد. یکی از دلایل اصلی کاهش اراضی مانگرو در بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۸۱ استفاده از چوب درختان مانگرو (حرا) توسط مردم روستا برای زغال‌گیری و سوخت بود. از سال ۱۳۸۵، توسعه جنگل‌های مانگرو مورد توجه قرار گرفت و در بعضی بخش‌ها در طی سال‌های گذشته نهال‌های به‌صورت دست‌کاشت اضافه شد. در مناطقی که اراضی مانگرو کاهش داشت اراضی باتلاقی و جزر و مدی افزایش داشتند. نتایج سنج PLAND نشان دادند که درصد فراوانی اراضی مانگرو و اراضی باتلاقی افزایش و پهنه‌های آبی در بازه مورد نظر از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱ کاهش داشتند. سنج تراکم لکه برای اراضی جنگلی، باتلاقی و جزر و مدی افزایش داشت. افزایش تراکم لکه‌های اراضی جنگلی در این منطقه ناشی از مناطق رویشی جدید و قطعه‌شدگی بخش‌های نزدیک به ساحل به‌دلیل رسوب‌گذاری و بالا آمدن سطح آب است. سنج نزدیک‌ترین فاصله همسایه برای اراضی جنگلی مانگرو و اراضی جزر و مدی روند کاهشی داشت و برای اراضی باتلاقی روند افزایشی نشان داد. کاهش میزان سنج نزدیک‌ترین فاصله همسایه بیانگر تخریب اراضی مانگرو و پراکندگی کمتر اراضی مانگرو سالم و توزیع نابرابر لکه‌های مانگرو در منطقه ساحلی است. نتایج تجزیه و تحلیل سنج تعداد لکه در سطح سیمای سرزمین نشان دادند که کاهش تعداد لکه‌های اراضی مانگرو در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۱ به‌دلیل استفاده مردم از این درختان برای مصرف سوخت و مصرف دام اتفاق افتاد. سنج پیوستگی در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱ دارای روند کلی کاهشی بود و تنها در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ افزایش داشت. کاهش سنج پیوستگی در سطح سیمای سرزمین نشانه‌ای پدیده قطعه‌شدگی و تخریب اراضی مانگرو در سطح سیمای سرزمین است. سنج شاخص بزرگ‌ترین لکه در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱ کاهش یافت و شاخص خردشدگی افزایش داشت.

**نتیجه‌گیری:** مناطق ساحلی دارای اکوسیستم‌های حیاتی هستند که مزایای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی متعددی را به‌همراه دارند. با این حال، توسعه سریع بنادر و فعالیت‌های انسانی در سواحل کشور برای دستیابی به منافع اقتصادی بدون در نظر گرفتن برنامه‌ریزی حفاظتی و پایش برای وضعیت اکوسیستم‌های ساحلی می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامتی این اکوسیستم‌های ساحلی در بلندمدت باشد. یکی از مهم‌ترین پیامدهای تخریب اکوسیستم‌های ساحلی کاهش تنوع زیستی است. بر اساس نتایج حاصل‌شده، با وجود این‌که از سال ۱۳۸۵، برنامه‌های حفاظت و توسعه جنگل‌های مانگرو (کاشت نهال) مورد توجه قرار گرفته‌اند، توسعه فعالیت‌های انسان در نواحی ساحلی سبب تخریب و قطعه‌شدگی اراضی جنگلی مانگرو شده است. به‌دلیل اهمیت ویژه‌ای که این جنگل‌ها دارند، پیشنهاد می‌گردد که برنامه‌ریزی حفاظتی و مدیریت با نظارت و دقت بیشتری انجام شود تا از تخریب بیشتر این مناطق در امتداد ساحل ممانعت گردد. یافته‌های حاصل از این پژوهش می‌توانند برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی از اکوسیستم‌های مانگرو در جنوب ایران مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم، جنگل‌های مانگرو، سنجش از دور، سنج‌های سیمای سرزمین، قشم

## مقدمه

تنظیمی، زیستگاهی و غیره، به‌عنوان یکی از غنی‌ترین اکوسیستم‌ها در دنیا شناخته می‌شوند (Hu et al., 2020). جنگل‌های مانگرو در سواحل جنوب ایران از دریای عمان تا جزایر خلیج فارس به‌صورت جوامعی با وسعت‌های متفاوت پراکنش دارند که بزرگ‌ترین و مرغوب‌ترین جامعه یکپارچه

جنگل‌های مانگرو، اکوسیستم‌های خاصی هستند که در سواحل مناطق استوایی و نیمه‌استوایی گسترش دارند. این اکوسیستم‌ها به‌دلیل تنوع زیستی منحصر به‌فرد و خدمات اکوسیستمی متنوعی که ارائه می‌دهند، مانند خدمات تولیدی،

سنجه‌ها به هدف مطالعه، خصوصیات سیمای سرزمین و مقیاس مورد نظر بستگی دارد (Bozorgi et al., 2020). سنجه‌های سیمای سرزمین در سه سطح دسته‌بندی می‌شوند: (۱) سطح لکه: این سنجه‌ها برای لکه‌های منفرد تعریف شده‌اند که خصوصیات فضایی (مکانی)، نوع محتوا و بافت لکه‌ها را مشخص می‌کنند. (۲) سطح کلاس: این سنجه‌ها برای همه لکه‌های که یک نوع هستند ایجاد شده‌اند و منظور از کلاس به همه لکه‌های که یک نوع کاربری یا یک نوع پوشش را نشان می‌دهند، گفته می‌شود. (۳) سطح سیمای سرزمین: این سنجه‌ها همه نوع کلاس‌ها و لکه‌های موجود در سیمای سرزمین را به صورت یکپارچه شامل می‌شوند. مناطق گوناگون وضعیت ساختاری متفاوتی دارند که در نتیجه سنجه‌های انتخابی متفاوت خواهند بود. علاوه بر این، غالباً نقشه‌های طبقه‌بندی شده پوشش/کاربری زمین برای محاسبه سنجه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که از نظر مقیاس، نوع طبقه‌بندی و درجه وضوح متفاوت هستند (Uuemaa et al., 2013).

امروزه، علم سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل فراهم کردن دید یکپارچه به سرزمین، دسترسی رایگان و مقیاس زمانی به‌طور گسترده‌ای برای مطالعه و تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی و پایش تغییرات آن‌ها مورد توجه قرار گرفته است (Bihamta Toosi et al., 2020). بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین برای ارزیابی تغییرات پوشش/کاربری اراضی و اکوسیستم‌های جنگلی موفقیت‌آمیز بوده است.

نوال و همکاران (Nowell et al., 2013) از سنجه‌های سیمای سرزمین برای بررسی تغییرات سواحل مدیترانه استفاده کردند. نتایج سنجه‌های اندازه لکه، بعد فراکتال و شکل لکه نشان دادند که پدیده تخریب، قطعه قطعه‌شدگی و کاهش مساحت زیستگاه‌های ساحلی مدیترانه در طی بازه زمانی مورد مطالعه اتفاق افتادند. همچنین، نتایج پژوهش آن‌ها نشان دادند که سنجه‌ها ابزاری مناسب برای ارزیابی کیفیت و ساختار زیستگاه‌های نواحی ساحلی بودند.

منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2024) آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های جنگلی دادآباد را بر پایه مدل تخریب با استفاده از فنون سنجش از دور و سنجه‌های سیمای سرزمین ارزیابی کردند. تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دوره زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۸-۱۹۸۸) تهیه و در گام بعدی تحلیل ساختاری با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین انجام شد. با استفاده از نتایج حاصل از سنجه‌ها، مدل تخریب سیمای سرزمین تهیه و درجه آسیب‌پذیری بوم‌شناختی محاسبه شد. در گام آخر، تحلیل و پهنه‌بندی سیمای سرزمین بر مبنای ضرایب تخریب به‌دست‌آمده انجام گرفت. نتایج مدل بکارگرفته شده نشان دادند که حدود ۵۸/۴۰ درصد از کل مساحت اکوسیستم‌های جنگلی دادآباد دارای وضعیت تخریب کم بود که دلیل آن کوهستانی و صعب‌العبور بودن منطقه و عدم دسترسی آسان و محدودیت توسعه فعالیت‌های انسانی مطرح شد.

جنگلی در جزیره قشم و محدوده خمیر مشاهده می‌شود (Bihamta Toosi et al., 2019). مهم‌ترین علل کاهش وسعت این جنگل‌ها فعالیت انسان و تغییرات اقلیم ذکر شده‌اند. تخریب جنگل‌های مانگرو با فعالیت‌های انسانی شامل توسعه اراضی ساحلی، آبی‌پروری، استخراج نمک، توریسم و احداث استخرهای پرورش میگو ارتباط دارد (Goldberg et al., 2020). سطح آب دریا بر اثر گرمایش جهانی و آب‌شدن یخ‌های قطبی افزایش یافته است که پیامد حاصل از آن، افزایش فرسایش ساحلی و شدت جریان‌های ساحلی خواهد بود که در نتیجه آن، خطوط ساحلی به عقب رانده خواهند شد. در واقع، بالا آمدن آب دریا موجب محدودیت پراکنش جنگل‌های مانگرو در بسیاری از مناطق خواهد شد. خصوصاً مناطقی که رسوب کمی وجود دارد، میزان آسیب‌پذیری بیشتری در مقابل بالا آمدن سطح آب دریاها دارند (Lee et al., 2014).

نزدیک به ۳/۶ میلیون هکتار از اراضی جنگل‌های مانگرو در جهان کاهش داشته‌اند که بیشترین میزان کاهش اراضی این جنگل‌ها در آسیا به دلیل تغییرات کاربری اراضی مشاهده شده است (Giri, 2016). جنگل‌های مانگرو ایران به‌عنوان ذخیره زیست‌کره توسط معیارهای برنامه انسان و زیست‌کره یونسکو (MBA) در سال ۱۹۷۲ برگزیده شده‌اند (Zahed et al., 2010). با توجه به ارزش‌های اکولوژیک، کارکرد و خدمات اکوسیستمی این جنگل‌ها و همچنین به‌عنوان یکی از مناطق حساس دریایی، مطالعه و حفاظت از این اکوسیستم‌ها باید مورد توجه قرار گیرند (Soffianian et al., 2023). شناخت شرایط زیستگاهی و داشتن اطلاعات مکانی دقیق و به‌روز راهکاری موثر برای حفاظت از این جنگل‌ها است (Toosi et al., 2022).

سیمای سرزمین به معنی سطحی از زمین است که لکه‌های مختلفی از اکوسیستم‌های محلی یا کاربری‌های سرزمین را در یک منطقه دربر دارد (McGarigal & Marks, 1995). تغییر پوشش اراضی در واقع مجموعه تغییرات و جایگزینی ساختار و کارکرد الگوهای مکانی سرزمین در طول زمان است که اثرات گسترده‌ای بر سیمای سرزمین دارد (Bihamta Toosi et al., 2014). اولین اقدام برای شناسایی تغییرات الگوهای مکانی، کمی‌کردن الگوهای سیمای سرزمین است. استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین رویکردی مناسب برای اندازه‌گیری و محاسبه تغییرات است که به درک و دانستن ارتباط بین پیکره‌بندی و ساختار سیمای سرزمین با عملکرد سیمای سرزمین کمک می‌کند (Daneshmandparsa et al., 2018). سنجه‌های سیمای سرزمین دارای فرمول و الگوریتم‌هایی هستند که با اندازه‌گیری ترکیب و آرایش فضایی لکه‌های زیستی در زمینه، قادرند ساختار سیمای سرزمین و سواحل را در ارتباط با فرآیندهای بوم‌شناختی و ویژگی‌های شکل بستر نمایش دهند (Boström et al., 2011).

طیف گسترده‌ای از سنجه‌ها برای محاسبه و کمی‌سازی الگوهای مکانی سیمای سرزمین توسعه پیدا کرده‌اند. انتخاب

جنگلی مانگرو انتخاب شد. این منطقه در عرض شمالی ۴۴' ۲۶ تا ۵۸' ۲۶ و طول جغرافیایی ۵۵ ۳۱' تا ۴۸' ۵۵ قرار دارد و دارای مساحتی نزدیک به ۶۵۷۲۵ هکتار است. بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیمی خشک است و دمای متوسط سالیانه آن نزدیک به ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. حداقل و حداکثر دمای مطلق ثبت‌شده در این منطقه به ترتیب ۱۶ و ۴۶ درجه سانتی‌گراد هستند. میانگین بارندگی سالیانه نزدیک به ۱۹۲ میلی‌لیتر است. جنگل‌های مانگرو جزیره قشم از گونه *Avicennia marina* هستند که با نام محلی حرا شناخته می‌شود. درخت حرا به دلیل داشتن ریشه‌های هوایی در محیط غرقابی استقرار یافته است. مهمترین پارامترها برای شکل‌گیری اکوسیستم جنگلی مانگرو شامل عرض جغرافیایی مناسب، شوری بهینه، جزر و مد متوالی و وجود خورها و آبراهه‌های فرعی هستند (Zahed et al., 2010). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

#### داده‌های مورد استفاده

برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی و بررسی وضعیت اکوسیستم جنگلی مانگرو، ابتدا آرشیو تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد بررسی قرار گرفت و براساس همسانی جزر و مد، کیفیت تصاویر، عدم پوشش ابر تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM و OLI برای سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۸۱، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ از سایت USGS با توجه به تغییرات و برنامه‌های انجام‌شده برای حفاظت و توسعه فعالیت‌های انسانی در منطقه مورد از سایت USGS انتخاب شدند.

درختان حرا همیشه سبز هستند، لذا محدودیت فصلی و ماه برای انتخاب تصویر از نظر پوشش گیاهی وجود ندارد، و تصاویر در ماه‌های بهمن و اسفند مورد استفاده قرار گرفتند.

برای ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی، داده‌های میدانی جمع‌آوری شده (تعداد ۱۷۰ نقطه) توسط دستگاه GPS به صورت تصادفی با توزیع پراکنده در سال ۱۳۹۵، تصاویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث استفاده شدند. با توجه به این‌که تصاویر دارای پردازش سطح یک هستند، تصحیحات هندسی مجدد انجام شدند. تصحیحات رادیومتریک با استفاده از نرم‌افزار انوی (۵/۳) و اطلاعات موجود در فایل سرپاره تصاویر لندست انجام شدند و در مرحله بعدی، از روش پیکسل تاریک به منظور تصحیح اتمسفری استفاده شد. پس از تهیه نمونه‌های تعلیمی، نقشه‌های پوشش اراضی با روش جنگل تصادفی در چهار طبقه شامل اراضی مانگرو، اراضی باتلاقی، اراضی جزر و مدی و پهنه‌های آبی در نرم‌افزار R تولید شدند. از روش اعتبارسنجی مستقل و داده‌های جمع‌آوری شده از بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل‌ارث منطقه برای ارزیابی صحت استفاده شد. در این روش، درصدی از نمونه‌های تعلیمی به‌طور تصادفی انتخاب و کنار گذاشته می‌شود و پس از پایان طبقه‌بندی اعتبارسنجی به وسیله‌ی آن داده‌های انجام می‌گردد. در این پژوهش، ۳۰ درصد از داده‌ها به صورت تصادفی برای اعتبارسنجی کنار گذاشته شد.

پیرباوقار و محمودی (Pir Bavaghar & Mahmoodi, 2023)، کارایی سنجه‌های سیمای سرزمین را به‌منظور تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی مناطق جنگلی در محدوده شمال زاگرس بررسی کردند. در این مطالعه، از سه دوره تصاویر ماهواره‌ای لندست و روش پیشینه شباخت برای تهیه نقشه پوشش اراضی استفاده شد. سپس، چهار سنجه در سطح کلاس و پنج سنجه در سطح سیمای سرزمین برای اندازه‌گیری کمی الگوهای مکانی انتخاب شدند. نتایج حاصل نشان دادند که توسعه اراضی مسکونی و کشاورزی سبب کاهش مساحت اراضی جنگلی در شمال زاگرس شد و پیشنهاد شد که برای جلوگیری از تخریب بیشتر این اراضی، طرح‌های بازسازی اراضی جنگلی برای این مناطق فراهم گردد.

نصیری و درویش صفت (Nasiri & Darvishsefat, 2019) تغییرات کاربری اراضی منطقه جنگلی ارسباران را با کمک سنجه‌های بوم‌شناسی منظر تجزیه و تحلیل کردند. در این مطالعه، از داده‌های ماهواره‌ی لندست برای سه سال ۱۳۶۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۳ استفاده شد و نقشه پوشش اراضی در هفت کلاس مختلف شامل کشاورزی، مرتع، جنگل کم‌تراکم، جنگل متراکم، مسکونی، و بدون پوشش تهیه گردید. در این مطالعه، سنجه‌های مساحت هر کلاس، درصد سیمای سرزمین، تعداد لکه‌ها، شاخص بزرگترین لکه، شاخص میانگین شکل، میانگین فاصله اقلیدسی، پراکندگی و مجاورت، شاخص تکه‌تکه شدگی و شاخص تنوع شانون محاسبه شدند. براساس نتایج بدست آمده، منطقه ارسباران در بین سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۱ تغییرات کمتری نسبت به سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳ داشت و در گذر زمان، پدیده قطعه قطعه شدگی به دلیل گسترش مناطق مسکونی در منطقه رخ داد.

درویش‌صفت و همکاران (Darvish Sefat et al., 2018) وضعیت آشفستگی مکانی اکوسیستم جنگلی را در منطقه حفاظت‌شده سرولات با کمک داده‌های سنجنده از دور و سنجه‌های سیمای سرزمین بررسی کردند. در این مطالعه، از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه دقیق منطقه و از هشت سنجه مکانی سیمای سرزمین در سطح کلاس استفاده شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی سنجه‌های سیمای سرزمین به همراه تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان دادند که بخش‌های جنگلی منطقه حفاظت‌شده دارای آشفستگی کم بودند، ولی با توجه به طبیعت زیبا و گردشگری بودن سرولات، خطر توسعه جاده و ویلاسازی در منطقه بسیار زیاد بود و از این رو شدیداً در معرض افزایش آشفستگی قرار داشت.

هدف از انجام این پژوهش، تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش اراضی اکوسیستم‌های مانگرو در جنوب ایران (بخش شمالی جزیره قشم و سواحل بندر خمیر) با استفاده از رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین و دانش سنجنده از دور است.

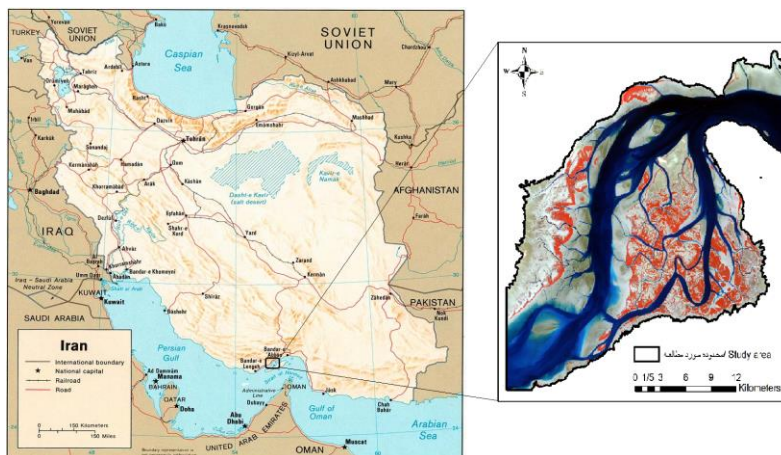
#### مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی شامل شمال جزیره قشم و جنوب بندر خمیر است که بر مبنای حضور یکپارچه و گسترده اکوسیستم

**انتخاب سنجه‌های سیمای سرزمین**

استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین رویکردی بهینه برای مقایسه‌ی وضعیت سیمای سرزمین در طی زمان و شناخت ارتباط بین ساختار و عملکردهای گوناگون سیمای سرزمین است (Tang et al., 2020). از این رو، برای شناسایی تغییر الگوهای سیمای پوشش جنگل در طول زمان از تعداد چهار سنجه مساحت کلاس (CA)، درصد هر کلاس

(PLAND)، تراکم لکه (PD) و فاصله نزدیک‌ترین همسایگی (ENN) در سطح کلاس و چهار سنجه تعداد لکه (NP)، پیوستگی (CONTAG)، خردشدگی (SPLIT) و شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) استفاده شد (جدول ۱) تا ویژگی‌های ساختاری الگوهای مکانی اکوسیستم جنگلی مانگرو ارزیابی گردند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (شکل سمت چپ موقعیت منطقه در ایران، شکل سمت راست تصویر ماهواره‌ای محدوده مطالعاتی)

Figure 1. The Geographic Location of the study area (the right figure is the location of the study area in Iran, and the left figure is the satellite imagery of the study area)

جدول ۱- توضیحات سنجه‌های سیمای سرزمین انتخاب شده در این مطالعه (Mc Garigal & Marks 1995)

محدوده تغییرات (واحد) Range (unit)	نام اختصاری Acronym	نام سنجه Name of metrics	طبقه Category
0-100 هکتار / Hectare	CA	مساحت کلاس Class area	
0-100 درصد / Percent	PLAND	نسبت فراوانی هر کلاس Percentage of landscape	مساحت Area
0-100 درصد / Percent	LPI	شاخص بزرگترین لکه Largest patch index	
ENN > 0 متر / Meter	ENN	فاصله نزدیکترین همسایگی Euclidean nearest neighbor distance	مجاورت Aggregation
NP > 0 بدون واحد / No unit	NP	تعداد لکه Number of patches	
PD > 0 تعداد در ۱۰۰ هکتار / Number per 100 hectares	PD	تراکم لکه Patch density	خردشدگی Subdivision
1 ≤ SPLIT ≤ number of cells in the landscape area, squared. (none)	SPLIT	شاخص خردشدگی Splitting index	
0 < CONTAG ≤ 100. (Percent)	Contag	پیوستگی Contagion	پیوستگی Contagion

**نتایج و بحث**

نقشه‌های پوشش اراضی تولید شده در چهار طبقه به ترتیب برای سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۸۱، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، نقشه‌های حاصل صحت قابل‌قبولی (حدود ۸۶ تا ۸۸) داشتند. این نقشه‌ها به‌عنوان نقشه پایه برای شناسایی و تحلیل الگوهای مکانی در سطح کلاس و سیمای سرزمین به‌کار گرفته شدند.

**تجزیه و تحلیل سنجه‌های انتخاب شده در سطح کلاس**

بررسی نتایج سنجه مساحت کلاس (CA) نشان داد که در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۱ مساحت جنگل‌های مانگرو کاهش داشت و سپس بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ روند

افزایشی داشت و از سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱ دوباره مساحت جنگل‌های مانگرو کاهش پیدا کرد (جدول ۳). به طور کلی، تغییرات مساحت پوشش اراضی مانگرو روند کاهشی، افزایشی و کاهشی داشتند. یکی از دلایل اصلی کاهش اراضی مانگرو در بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۸۱ استفاده از چوب درختان مانگرو (حرا) توسط مردم روستا برای زغال‌گیری و سوخت بود. روند افزایشی بازه ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵، شامل رشد خالص توده جنگل نیست بلکه فضای باز بین درختان مانگرو را نیز شامل می‌شود. پس از ثبت این منطقه به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره از سال ۱۳۷۹، برنامه‌های حفاظتی و اقدامات مدیریتی بیشتری انجام شدند. از سال ۱۳۸۵ توسعه جنگل‌های مانگرو مورد توجه قرار گرفته است و در بعضی بخش‌ها در طی سال‌های گذشته نهال‌ها به‌صورت دست کاشت اضافه شدند. در مناطقی

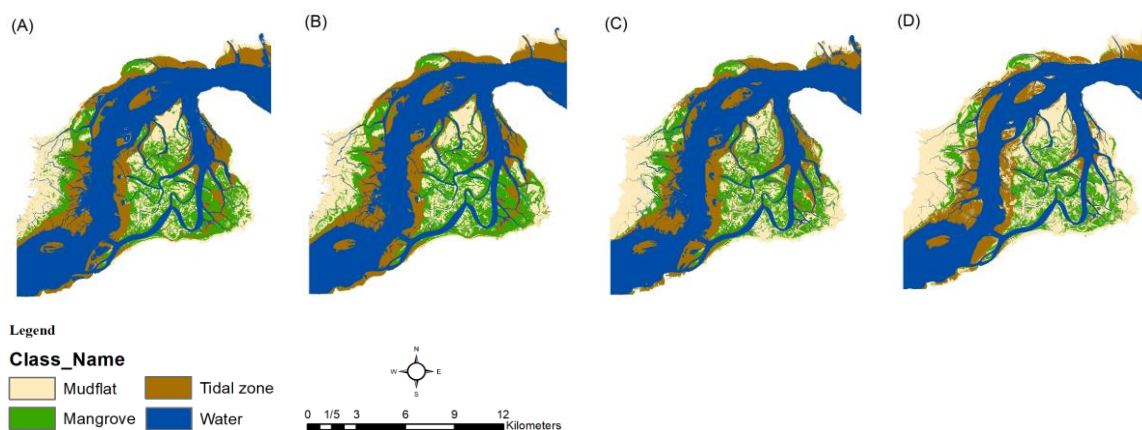
اراضی جزر و مدی افزایش داشتند و درصد فراوانی اراضی باتلاقی کاهش یافت. در بازه زمانی سوم ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱، درصد فراوانی اراضی جنگلی مانگرو کاهش و درصد فراوانی اراضی باتلاقی افزایش داشتند. به‌طور کلی، در بازه مورد نظر از سال ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱ درصد فراوانی اراضی مانگرو و اراضی باتلاقی افزایش داشت و پهنه‌های آبی کاهش یافتند. در مطالعه اسدی و مقدم (Asadi & Moghadam, 2019)، درصد فراوانی اراضی جنگلی و باتلاقی در بازه زمانی ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۵ افزایش داشت و درصد فراوانی پهنه‌های آبی کاهش یافت.

که اراضی مانگرو کاهش داشت اراضی باتلاقی و جزر و مدی افزایش یافتند.

سنجه PLAND درصد پوشش هر نوع از اراضی و نسبت فراوانی آن را در سیمای سرزمین نشان می‌دهد. مطالعه تغییرات زمانی این سنجه، می‌تواند برای درک و داشتن یک ذهنیت کلی از تغییر در الگوهای سیمای سرزمین مورد استفاده قرار گیرد. در بازه زمانی مورد نظر از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۱، درصد فراوانی اراضی جنگلی مانگرو کاهش داشت و درصد فراوانی اراضی باتلاقی افزایش یافت. در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵، درصد فراوانی اراضی جنگلی مانگرو و درصد فراوانی

جدول ۲- نتایج ارزیابی صحت برای هر یک از نقشه‌های پوشش اراضی (صحت کلی و ضریب کاپا)

ضریب کاپا (Kappa coefficient)	صحت کلی (Overall accuracy) (%)	سال (Year)
0.82	87.4	۱۳۶۴ (1985)
0.78	84.5	۱۳۸۱ (2002)
0.85	88.5	۱۳۹۵ (2016)
0.89	86.3	۱۴۰۱ (2022)



شکل ۲- نقشه‌های پوشش اراضی حاصل از تصاویر لندست برای چهار بازه زمانی ۱۳۶۴ (A)، ۱۳۸۱ (B)، ۱۳۹۵ (C) و ۱۴۰۱ (D)  
Figure 2. The land cover maps derived from the Landsat imageries for the four-time steps 1985 (A), 2002 (B), 2016 (C), and 2022 (D).

قطعه‌شدگی در اراضی جنگلی است و در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ مقدار این سنجه روند افزایشی داشت که نشان‌دهنده بهبود وضعیت اراضی جنگلی مانگرو در منطقه است. به‌طور کلی، روند سنجه ENN برای اراضی جنگلی مانگرو و اراضی جزر و مدی روند کاهشی داشت و برای اراضی باتلاقی روند افزایشی نشان داد. نبابا و همکاران (Nababa *et al.*, 2020) برای بررسی تغییرات پوشش اراضی و تخریب جنگل‌های مانگرو در منطقه دلتایی نیجریه از سنجه‌های سیمای رزمین استفاده کردند. مطالعه آن‌ها نیز نشان داد که کاهش میزان سنجه نزدیک‌ترین فاصله همسایه اقلیدسی (ENN) بیانگر تخریب اراضی مانگرو و پراکندگی کمتر اراضی مانگرو سالم و توزیع نابرابر لکه‌های مانگرو در منطقه ساحلی بود.

**تجزیه و تحلیل سنجه‌های انتخاب شده در سطح سیمای سرزمین**

سنجه PD نشان‌دهنده افزایش لکه‌ها در واحد ۱۰۰ هکتار است که با افزایش تعداد لکه‌ها در واحد سطح، تراکم لکه‌ها در واحد سطح افزایش خواهد یافت. در این مطالعه، سنجه PD برای اراضی جنگلی، باتلاقی و جزر و مدی در طی بازه زمانی مورد نظر افزایش داشت. افزایش تراکم لکه‌های اراضی جنگلی در این منطقه ناشی از مناطق رویشی جدید و قطعه‌شدگی بخش‌های نزدیک به ساحل به دلیل رسوب‌گذاری و بالا آمدن سطح آب است. نتایج مطالعه بهارلویی و همکاران (Baharlouii *et al.*, 2019) نیز نشان دادند که سنجه تراکم لکه در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ در منطقه خمیر افزایش داشت.

سنجه ENN نشان‌دهنده نزدیک‌ترین فاصله بین لکه‌های یک کلاس است. میزان سنجه ENN در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۱ کاهش داشت که نشان‌دهنده تخریب و

۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ دارای روند افزایشی بود، اما در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۸ روند کاهشی داشت و از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ میزان تعداد لکه‌ها در سطح سیمای سرزمین افزایش پیدا کرد. سنجه پیوستگی در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱ دارای روند کلی کاهشی بود و تنها در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ افزایش داشت. در مطالعه‌ی پیرباوقار و محمودی (Pir Bavaghar & Mahmoodi, 2023)، کاهش سنجه پیوستگی در سطح سیمای سرزمین در اراضی جنگلی بانه کردستان به‌عنوان نشانه‌ای از تخریب اراضی جنگلی در سطح سیمای سرزمین عنوان شد. کاهش این سنجه نشان‌دهنده پدیده قطعه‌قطعه‌شدگی و تخریب در سطح سیمای سرزمین است.

نتایج تجزیه و تحلیل سنجه‌ها الگوهای مکانی در سطح سیمای سرزمین در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند. سنجه تعداد لکه در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۱ کاهش داشت و سپس در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱ روند افزایش نشان داد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که در بازه اول، تخریب اراضی جنگلی مانگرو برای مصرف سوخت و مصرف دام می‌تواند از علت‌های اصلی کاهش لکه‌های اراضی مانگرو باشد. دلیل افزایش سنجه تعداد لکه در سطح سیمای سرزمین در بازه زمانی، کاشت اراضی جنگلی، افزایش سطح آب و ایجاد خورهای کوچک و همچنین رسوب‌گذاری‌ها و افزایش اراضی جزر و مدی است (شکل ۳- الف). در مطالعه‌ی بهارلویی و همکاران (Baharlouii et al., 2019) در منطقه بندر خمیر، سنجه تعداد لکه در بازه زمانی

جدول ۳- نتایج سنجه‌های محاسبه‌شده در سطح کلاس برای بازه‌های زمانی

Table 3. The results of the metrics calculated at the class level for periods

سال / Year		سال / Year		نوع پوشش اراضی Land cover type	سنجه / Metric
۱۴۰۱ 2022	۱۳۹۵ 2016	۱۳۸۱ 2002	۱۳۶۴ 1985		
8340	8890	7872	8105	اراضی مانگرو Mangrove covers	CA
15953	15124	16283	15218	اراضی باتلاقی Mudflat covers	
12812	12441	12505	12420	اراضی جزر و مدی Tidal areas	
28618	29268	29063	29980	آب Water	PLAND
17.9329	18.5174	16.2811	16.4008	اراضی مانگرو Mangrove covers	
19.12	18.1329	19.9309	18.0321	اراضی باتلاقی Mudflat covers	
20.1388	19.9624	18.5589	19.9294	اراضی جزر و مدی Tidal areas	
43.8083	44.607	45.2951	45.692	آب Water	PD
2.8378	3.2874	3.1609	2.3196	اراضی مانگرو Mangrove covers	
4.9962	4.0708	2.501	2.9277	اراضی باتلاقی Mudflat covers	
5.9683	3.9214	2.4949	3.3072	اراضی جزر و مدی Tidal areas	
1.0817	1.9478	0.7056	1.0684	آب Water	ENN
95.2361	98.4751	90.2225	114.0742	اراضی مانگرو Mangrove covers	
81.8617	81.835	101.2459	94.2701	اراضی باتلاقی Mudflat covers	
83.4615	94.5134	86.5772	93.9264	اراضی جزر و مدی Tidal areas	
90.225	95.8548	91.7935	113.2795	آب Water	

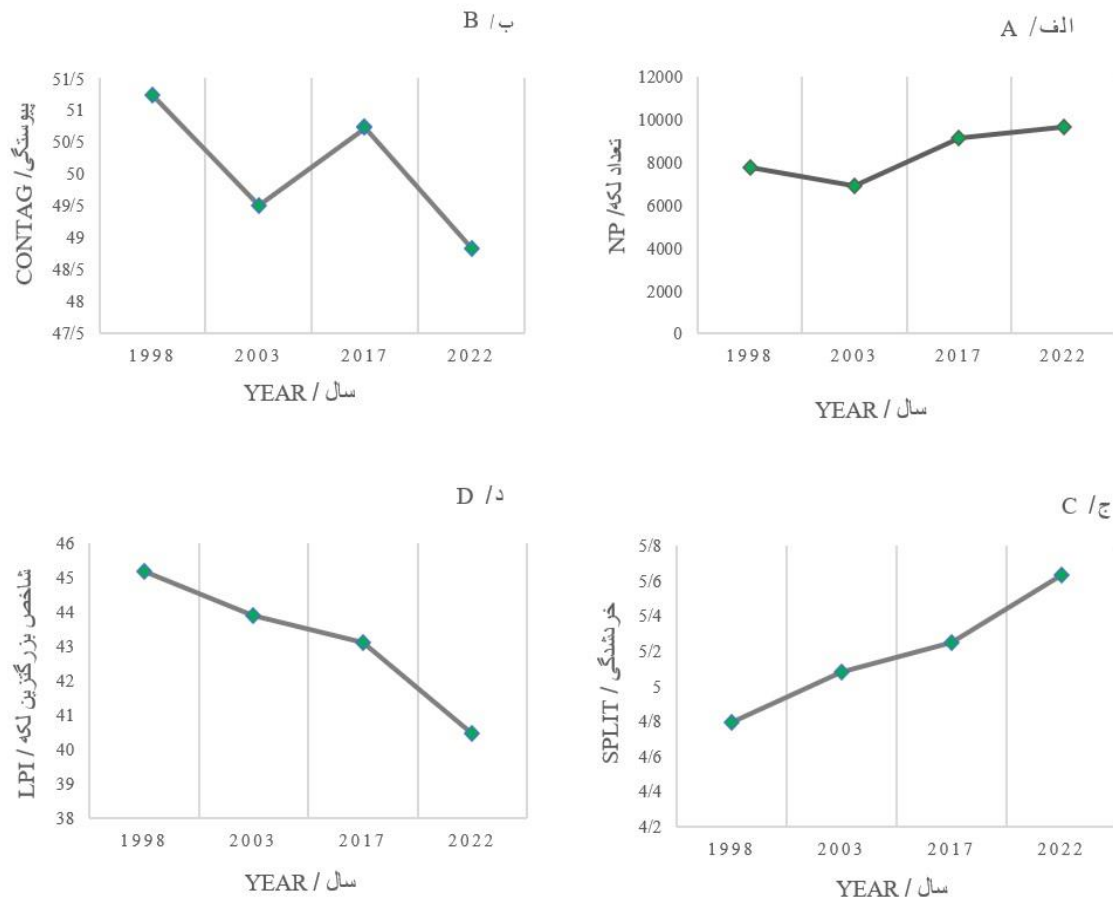
۲۰۱۶ در بخش خمیر با کاهش همراه بود. کاهش مساحت بزرگترین لکه در سطح سیمای سرزمین همراه با افزایش سنجه خردشدگی نشان‌دهنده پدیده تخریب در سطح سیمای سرزمین است. افزایش سنجه خردشدگی در سطح سیمای سرزمین می‌تواند حاصل از فعالیت‌های انسانی و پیامدهای طبیعی مانند افزایش توریسم و تغییرات جزر و مدی در بخش‌هایی از منطقه باشد.

با توجه به یافته‌های به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل سنجه‌های الگوهای مکانی، می‌توان استنباط کرد که وضعیت ساختار سیمای سرزمین اکوسیستم جنگلی مانگرو در طی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۱ بسیار روند تخریبی داشت و از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ با این‌که برنامه‌های احیاء جنگل‌های تخریب‌شده در بعضی مناطق اجرا شد اما روند تخریب با شیب کمی ادامه داشت. تفسیر بصری تصاویر و نقشه‌های حاصل

سنجه شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۴۰۱ کاهش یافت و شاخص خردشدگی (SPLIT) افزایش داشت. بین شاخص بزرگ‌ترین لکه و خردشدگی رابطه عکس وجود دارد. هنگامی که کل سیمای سرزمین تنها از یک نوع اراضی (لکه) پوشیده باشد مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه برابر ۱ است و تخریب پوشش یکپارچه یک لکه همراه با کاهش مساحت بزرگ‌ترین لکه مقدار این سنجه از یک به سمت صفر میل خواهد کرد که به‌صورت درصد بین صفر تا ۱۰۰ نمایش داده می‌شود (Uuemaa et al., 2013). در سطح سیمای سرزمین، بزرگ‌ترین لکه مربوط به پهنه آبی است که بر اثر فعالیت‌های طبیعی مانند تغییرات جزر و مدی و نرخ رسوب‌گذاری، پیوستگی بزرگ‌ترین لکه کاهش پیدا کرده است. مقدار سنجه بزرگ‌ترین شاخص لکه در مطالعه‌ی بهارلویی و همکاران (Baharlouii et al., 2019) در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا

نتایج این مطالعه مطابقت دارد و اراضی جنگلی مانگرو در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ کاهش شدید، در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بیشترین میزان افزایش و در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ مقدار کمی کاهش داشتند.

شده نشان داد که روند کاهش و قطعه‌شدگی اراضی در فواصل دورتر از منطقه مرکزی و درحاشیه سواحل اتفاق افتاد. عرفانی فرد و همکاران (Erfanifard *et al.*, 2022) جنگل - های مانگرو در سواحل جنوبی ایران را برای یک بازه ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) مورد پایش قرار دادند. نتیجه مطالعه آن‌ها با



شکل ۳- نمودار نتایج سنجه‌های محاسبه‌شده در سطح سیمای سرزمین، الف) تعداد لکه، ب) شاخص پیوستگی، ج) شاخص خردشدگی و د) شاخص بزرگ‌ترین لکه

Figure 3. Graphs of the results of the calculated metrics at the landscape level, A) NP, B) CONTAG, C) SPLIT, and D) LPI

در این مطالعه، برای پایش وضعیت اکوسیستم جنگلی مانگرو از رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین و سنجه‌های الگوهای مکانی استفاده شد. براساس نتایج حاصل شده، تغییرات در الگوهای مکانی اکوسیستم مانگرو به‌صورت کاهش، افزایش و کاهش بوده‌اند. از سال ۱۳۸۵، برنامه‌های حفاظت و توسعه جنگل‌های مانگرو و در سال‌های گذشته نهال‌کاری مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این حال، توسعه بنادر طبل و لافت، افزایش فعالیت‌های صید ماهی و میگو، استفاده از سرشاخه‌های درختان برای چرای دام (شتر) و افزایش تردد قایق‌های گردشگری می‌تواند سبب تخریب اراضی جنگلی مانگرو شوند. یکی از پیامدهای تخریب اراضی مانگرو و تغییر پوشش جنگلی، کاهش تنوع زیستی است. همچنین، تغییر در ساختار اکوسیستم مانگرو می‌تواند عملکرد این اکوسیستم را در ارائه خدمات اکوسیستم مانند حفاظت مناطق ساحلی از

### نتیجه‌گیری کلی

اکوسیستم‌های جنگلی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رویشگاه‌های زمین همواره خاستگاه طیف وسیعی از خدمات اکوسیستمی برای انسان و سایر موجودات زنده بوده‌اند. این در حالی است که متأسفانه همواره با گذشت زمان متأثر از عوامل طبیعی و انسانی میزان پوشش جنگل‌ها دست‌خوش تغییر و تحول زیادی شده است. مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی به‌عنوان راهکاری در جهت کاهش عوامل تخریب و ایجاد تعادل بین توسعه و محیط زیست نیازمند ارزیابی دقیق تغییرات ساختار سیمای سرزمین در قالب الگوهای مکانی و زمانی است. استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین بهترین راه برای مقایسه وضعیت سیمای سرزمین در طی زمان و ابزار مناسبی برای یافتن ارتباط دقیق بین ساختار و عملکرد کاربری‌های مختلف در ساختار فضایی مناطق جنگلی است.

طوفان‌های دریایی تغییر دهد. یافته‌های حاصل از این پژوهش را می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی از اکوسیستم‌های مانگرو در جنوب ایران مورد استفاده قرار داد.

## References

- Asadi, M., & Moghadam, E. (2019). Evaluation Changes and Quantification Mangrove Forests in Khorkhouran Protected Area with Emphasis on Hydrodynamic Strait of Hormuz. *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(6), 213-226. [In Persian]
- Baharlouii, M., Mafi Gholami, D., & Abbasi, M. (2019). Investigating Mangrove Fragmentation Changes Using Landscape Metrics. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 159-162. [In Persian]
- Bihamta Toosi, N., Safianian, A., & Fakheran, S. (2014). Analysis of Land Cover Changes in the Central Part of Isfahan (Iran) Using Landscape Metrics. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2(6), 77-88. [In Persian]
- Bihamta Toosi, N., Safianian, A., Fakheran, S., & Pourmanafi, S. (2019). Incorporating CART algorithm and i for mapping Mangrove using Landsat 8 imagery. *Forest Research and Development*, 5(4), 557-569.
- Bihamta Toosi, N., Soffianian, A. R., Fakheran, S., Pourmanafi, S., Ginzler, C., & T. Waser, L. (2020). Land cover classification in mangrove ecosystems based on VHR satellite data and machine learning an upscaling approach. *Remote Sensing*, 12(17), 2072-4292.
- Boström, C., Pittman, S. J., Simenstad, C., & Kneib, R. T. (2011). Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps, and challenges. *Marine Ecology Progress Series*, 427, 191-217.
- Bozorgi, M., Moein, M., Nejadkoorki, F., & Toosi, N. B. (2020). Assessing the effect of water scarcity on crop selection and spatial pattern of croplands in central Iran. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105743. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105743>
- Daneshmandparsa, R., Mirzaee, R., & Bihamta, N. (2018). Land cover change detection of Chahar Mahal Bakhtiari province using landscape metrics (1994-2015). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 7, 17-28. <https://doi.org/10.29252/ijae.7.2.17> [In Persian]
- Darvish Sefat, A. A., Bagheri, M., Ghorbani, M., & Zahedi Amiri, G. (2018). Spatial forest disturbance modeling using landscape metrics in Sarvelat protected area of Iran. *Journal of Forest and Wood Products*, 71(1), 23-33. [In Persian]
- Erfanifard, Y., Lotfi Nasirabad, M., & Stereńczak, K. (2022). Assessment of Iran's mangrove forest dynamics (1990–2020) using Landsat time series. *Remote Sensing*, 14(19), 2072-4292.
- Giri, C. (2016). Observation and monitoring of mangrove forests using remote sensing: Opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 8(9), 2072-4292.
- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N., & Fatoyinbo, T. (2020). Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology*, 26(10), 5844-5855.
- Hu, L., Xu, N., Liang, J., Li, Z., Chen, L., & Zhao, F. (2020). Advancing the mapping of mangrove forests at national-scale using Sentinel-1 and Sentinel-2 time-series data with Google Earth Engine: A case study in China. *Remote Sensing*, 12(19), 3120
- Lee, S. Y., Primavera, J. H., Dahdouh-Guebas, F., McKee, K., Bosire, J. O., Cannicci, S., Diele, K., Fromard, F., Koedam, N., & Marchand, C. (2014). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecology and Biogeography*, 23(7), 726-743.
- Mansouri, M., Bادهیان, Z., Maleknia, R., & Ghobadi, M. (2024). Assessment of forest ecosystem vulnerability and prioritization of degradation factors of Dadabad region of Khorramabad. *Journal of Wood and Forest Science and Technology Since* 31(1), 1-22. [In Persian]
- McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station*, 10, 1-122.
- Nababa, I. I., Symeonakis, E., Koukoulas, S., Higginbottom, T. P., Cavan, G., & Marsden, S. (2020). Land cover dynamics and mangrove degradation in the Niger Delta region. *Remote Sensing*, 12(21), 3619
- Nasiri, v., & Darvishsefat, A. A. (2019). Change Detection and Analysis of Land Use Land Cover Changes Using Ecological Landscape Metrics (Case study: Arasbaran region, 1990-2014). *Journal of Wood and Forest Science and Technology Since* 25(4), 1-18. [In Persian]
- Pir Bavaghar, M., & Mahmoodi, M. (2023). Investigating Land Cover Changes using Landscape Metrics (Case Study: Baneh Forests). *Ecology of Iranian Forest*, 11(22), 81-90. [In Persian]
- Soffianian, A. R., Toosi, N. B., Asgarian, A., Regnauld, H., Fakheran, S., & Waser, L. T. (2023). Evaluating resampled and fused Sentinel-2 data and machine-learning algorithms for mangrove mapping in the northern coast of Qeshm island, Iran. *Nature Conservation*, 52, 1-22

- Tang, J., Li, Y., Cui, S., Xu, L., Ding, S., & Nie, W. (2020). Linking land-use change, landscape patterns, and ecosystem services in a coastal watershed of southeastern China. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01177
- Toosi, N. B., Soffianian, A. R., Fakheran, S., & Waser, L. T. (2022). Mapping disturbance in mangrove ecosystems: Incorporating landscape metrics and PCA-based spatial analysis. *Ecological Indicators*, 136, 108718. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108718>
- Uuemaa, E., Mander, Ü., & Marja, R. (2013). Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review. *Ecological Indicators*, 28, 100-106.
- Zahed, M. A., Ruhani, F., & Soraya Mohajeri. (2010). An overview of Iranian mangrove ecosystem, northern part of the Persian Gulf and Oman Sea. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9(2), 411-417.