

Original Article

Iranian Remote Sensing & GIS
Journal of

Land Use Changes Modeling and Predictions Using CA-ANN Hybrid Model in Khamir and Qeshm Mangrove Forests

Parvaneh Sobhani¹ and Afshin Danehkar^{2*}**Affiliation**

1. Assistant Professor,
Department of
Environmental Science,
Natural Resources Faculty,
Lorestan University,
Khorramabad, Iran
2. Professor of Department of
Environmental Science,
Natural Resources Faculty,
University of Tehran,
Karaj, Iran

ABSTRACT

Introduction: Currently, one of the most important environmental issues in the world is land use change and increasing unsustainability in natural ecosystems and protected areas. Mangrove forests grow in tropical coastal areas and are one of the most vulnerable and endangered ecosystems in the world. Land use changes generally affect the integrity of these natural ecosystems and also lead to habitat conversion and pose a threat to plant and animal life. The direct consequences of these changes and their effects include a decrease in the health and area of mangrove forests, intensification of global warming and climate change, a decrease in coastal water quality, a decrease in biodiversity, fragmentation of coastal habitats, and the destruction of biological resources. Therefore, spatio-temporal monitoring of land use changes and modeling and predicting the trend of these changes can contribute to integrated management and proper planning in mangrove forests. Accordingly, in the present study, the spatial-temporal changes in land use of Khamir and Qeshm mangrove forests during the years 1989-2023 were investigated. In addition, to model and predict the trend of these changes, a combined CA-ANN model was investigated based on the descriptive variables of altitude, slope, population density, distance from settlements, distance from city center, and distance from roads for the year 2060.

Materials and Methods: Khamir and Qeshm mangrove forests (Hara Protected Area) with an area of 86,258 ha located in Hormozgan province. In this study, the spatial-temporal changes in land use in this region were investigated using a set of Landsat satellite images (1989-2023) in the Google Earth Engine (GEE) web-based system. In addition, to model and predict these changes, a combined artificial neural network and cellular automata (CA-ANN) model was examined based on descriptive variables of altitude, slope, population density, distance from settlements, distance from city center, and distance from roads, and a map of the possible trend of land use changes for the year 2060 was also prepared. Finally, the ordinary least squares (OLS) regression model was used to analyze the impact of these variables on the trend of land use changes in the region.

Results and Discussion: According to the results, the mangrove forests of Khamir and Qeshm show a decreasing trend in 2023 compared to 1989. The results of the prediction of land use changes also showed that tidal zones and bare lands will increase in 2060, while mangrove forests and aquatic areas will decrease. Also, the most significant changes are related to the reduction of mangrove forests (in the northern and southeastern regions of the region) and the increase of other unnatural areas (tidal zones and bare lands in the area of Bandar Khamir in the north and northeast of the region, as well as on the outskirts of the villages of Laft to Goran). Accordingly, considering the values of the probability of transition, mangrove forest covers are susceptible to transformation into other unnatural areas. In addition, the results of the regression model analysis showed that the most important descriptive variables affecting land use changes include distance from settlements and roads due to greater accessibility and the possibility of high development of human activities in these natural habitats. In this regard, the continued increase in land use changes in the Khamir and Qeshm mangrove forests will lead to the destruction and extinction of a large area of these valuable biological reserves in the south of the country.

Conclusion: Given that the Khamir and Qeshm mangrove forests are considered areas under environmental protection and management boundaries, the implementation of proposed projects and the construction of any infrastructure and development in this area must be carried out by management plans (zoning) and environmental assessments. On the other hand, land use changes outside the management boundaries of the area must be limited to minimize the reduction in the integrity and fragmentation of the habitat in these natural habitats. Accordingly, reducing the adverse effects of land use changes in this area requires appropriate planning and integrated management in the proper utilization of these natural resources. The findings of this study can also help stakeholders create an opportunity to develop appropriate strategies to protect the mangrove forests of Khamir and Qeshm and restore these habitats.

Keywords: Land use, CA-ANN hybrid model, OLS regression model, Khamir and Qeshm mangrove forests.

Citation: Sobhani P. and Danehkar A., Land Use Changes Modeling and Predictions Using CA-ANN Hybrid Model in Khamir and Qeshm Mangrove Forests, Iran J Remote Sens GIS, 16(4):95-114.

* Corresponding Author: danehkar@ut.ac.ir
DOI: <https://doi.org/10.48308/GISJ.2024.233850.1189>

Received: 2023.11.20
Accepted: 2024.05.05





مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل ترکیبی CA-ANN در جنگل های مانگرو خمیر و قشم

پروانه سبحانی^۱ و افشین دانه کار^{۲*}

سمت

۱. استادیار، گروه محیط زیست، دانشگاه لرستان، دانشکده منابع طبیعی، خرم آباد، ایران
۲. استاد گروه محیط زیست، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، کرج، ایران

چکیده

سابقه و هدف: در حال حاضر یکی از مهم ترین مسائل محیط زیستی جهان تغییرات کاربری اراضی و افزایش ناپایداری در اکوسیستم های طبیعی و مناطق تحت حفاظت است. جنگل های مانگرو در مناطق ساحلی گرمسیری رشد می کنند و یکی از آسیب پذیرترین و در معرض خطرترین اکوسیستم های جهان شمرده می شوند. تغییرات کاربری اراضی به طور کلی در یکپارچگی این اکوسیستم های طبیعی تأثیر می گذارد و همچنین به تغییرات زیستگاه منجر می شود و تهدیدی برای زندگی گیاهان و حیوانات به شمار می رود. پیامدهای مستقیم این تغییرات و تأثیرات ناشی از آن شامل کاهش سلامت و مساحت جنگل های مانگرو، تشدید گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، کاهش کیفیت آب ساحلی، کاهش تنوع زیستی، تکه تکه شدن زیستگاه های ساحلی و همچنین تخریب منابع زیستی خواهد بود. بنابراین پایش مکانی- زمانی تغییرات کاربری اراضی و مدل سازی و پیش بینی روند این تغییرات می تواند به مدیریت یکپارچه و برنامه ریزی صحیح در مورد جنگل های مانگرو کمک کند. بر این اساس، در مطالعه حاضر، تغییرات مکانی- زمانی کاربری های اراضی جنگل های مانگرو خمیر و قشم طی سال های ۱۹۸۹-۲۰۲۳ بررسی شد. علاوه بر این به منظور مدل سازی و پیش بینی روند این تغییرات، مدل ترکیبی CA-ANN بر اساس متغیرهای توصیفی ارتفاع، شیب، تراکم جمعیت، فاصله از سکونتگاه ها مرکز شهر و جاده ها، برای سال ۲۰۶۰ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها: جنگل های مانگرو خمیر و قشم (منطقه حفاظت شده حرا)، با مساحت ۸۶،۲۵۸ هکتار، در استان هرمزگان واقع شده است. در این مطالعه، تغییرات مکانی- زمانی کاربری های اراضی این منطقه، با استفاده از مجموعه تصاویر ماهواره ای لندست (۱۹۸۹-۲۰۲۳) در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین (GEE) بررسی شد. علاوه بر این، به منظور مدل سازی و پیش بینی این تغییرات، مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی و اتومای سلولی (CA-ANN)، بر اساس متغیرهای توصیفی ارتفاع، شیب، تراکم جمعیت، فاصله از سکونتگاه ها و مرکز شهر و جاده ها، بررسی شد و نقشه روند احتمالی تغییرات کاربری اراضی، برای سال ۲۰۶۰ نیز تهیه شد. در نهایت، با استفاده از مدل رگرسیونی حداقل مربعات معمولی (OLS)، میزان تأثیرگذاری این متغیرها در روند تغییرات کاربری های اراضی منطقه تحلیل شد.

نتایج و بحث: مطابق نتایج، جنگل های مانگرو خمیر و قشم در سال ۲۰۲۳، در مقایسه با سال ۱۹۸۹، روندی کاهشی را نشان می دهند. نتایج پیش بینی تغییرات کاربری اراضی نیز نشان داد، در سال ۲۰۶۰، پهنه های جزرومدی و اراضی لخت افزایش و در مقابل، جنگل های مانگرو و پهنه های آبی کاهش خواهند یافت. همچنین بیشترین تغییرات به کاهش جنگل های مانگرو (در مناطق شمالی و جنوب شرقی) و افزایش سایر مناطق غیرطبیعی (پهنه های جزرومدی و اراضی لخت در محدوده بندر خمیر، در شمال و شمال شرق منطقه و همچنین حاشیه روستاهای لافت تا گوران) بازمی گردد و با توجه به مقادیر احتمال انتقال، پوشش های جنگلی مانگرو مستعد تبدیل شدن به سایر مناطق غیرطبیعی هستند. بر مبنای نتایج تحلیل مدل رگرسیونی نیز، عمده ترین متغیرهای توصیفی تأثیرگذار در تغییرات کاربری اراضی شامل فاصله از سکونتگاه ها و جاده ها است، زیرا در این رویشگاه های طبیعی، دسترسی و امکان توسعه فعالیت های انسانی بیشتر است. در این زمینه، تداوم افزایش تغییرات کاربری های اراضی، در جنگل های مانگرو خمیر و قشم، به نابودی و انقراض گسترده وسیعی از این ذخایر ارزشمند زیستی در جنوب کشور منجر می شود.

نتیجه گیری: با توجه به اینکه جنگل های مانگرو در خمیر و قشم جزء مناطق حفاظت شده محیط زیست و مرزهای مدیریتی محسوب می شوند، اجرای پروژه های پیشنهادی و احداث هرگونه زیرساخت و توسعه در این منطقه باید با توجه به طرح های مدیریتی (زون بندی) و ارزیابی های زیست محیطی انجام شود. از سویی، تغییرات کاربری ها باید در خارج از مرز مدیریتی منطقه محدود شود تا کاهش یکپارچگی و ازهم گسیختگی زیستگاه، در این رویشگاه های طبیعی، به حداقل برسد. بر این اساس، کاهش تأثیرات نامطلوب ناشی از تغییرات کاربری اراضی، در این منطقه، نیازمند برنامه ریزی مناسب و مدیریتی یکپارچه در بهره وری صحیح از این منابع طبیعی است. یافته های این مطالعه می تواند به ذی نفعان نیز، در ایجاد فرصتی برای توسعه راهبردهای مناسب به منظور حفاظت از جنگل های مانگرو خمیر و قشم و احیای این رویشگاه ها، یاری رساند.

کلیدواژه ها: کاربری های اراضی، مدل ترکیبی CA-ANN، مدل رگرسیونی OLS، جنگل های مانگرو خمیر و قشم.

استناد: سبحانی، پ. و دانه کار، ا.، مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل ترکیبی CA-ANN در جنگل های مانگرو خمیر و قشم، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳: ۹۵-۱۱۴.



۱- مقدمه

رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی به تغییرات گسترده کاربری اراضی در سراسر جهان منجر شده است (Morshed et al., 2021; Kamran et al., 2023). امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل محیط‌زیستی جهان تغییرات کاربری اراضی و افزایش ناپایداری در اکوسیستم‌های طبیعی و مناطق تحت حفاظت است (Sobhani et al., 2021; Zhang et al., 2022). شواهد حاکی از آن است که توسعه انسانی یک‌سوم تا نیمی از سطح زمین را دگرگون کرده که از مهم‌ترین تأثیرات آن، می‌توان به روند تغییرات آب‌وهوا و گرمایش جهانی، نابودی تنوع زیستی، کاهش سطح منابع آب و تهدید امنیت غذایی اشاره کرد (McDonald et al., 2020; Atasooy, 2020; Arowolo & Deng, 2018).

جنگل‌های مانگرو در مناطق ساحلی گرمسیری رشد می‌کنند و یکی از آسیب‌پذیرترین و در معرض خطرترین اکوسیستم‌های جهان‌اند (Sudhana et al., 2020). این رویشگاه‌های طبیعی، مانند سایر ذخایر ارزشمند زیستی، به دلیل عوامل محیطی (ازهم‌گسیختگی جبهه ساحل، طوفان، سیلاب و...) و انسانی (رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی، تغییرات کاربری اراضی) در معرض تهدید و نابودی قرار دارند (Khan et al., 2021). توسعه فعالیت‌های انسانی، از جمله آبی‌پروری، جنگل‌زدایی، توسعه شهری، آلودگی محیط‌زیست و افزایش سطح دریا تهدیدهای دائمی برای رشد مانگروها هستند (Gouvêa et al., 2022; Adame et al., 2021; John et al., 2022). تغییرات کاربری اراضی به‌طور کلی در یکپارچگی این اکوسیستم‌های طبیعی تأثیر می‌گذارد و همچنین به تغییرات زیستگاه منجر می‌شود و تهدیدی برای زندگی گیاهان و حیوانات به شمار می‌رود (Islam et al., 2018). بنابراین پیش‌مکانی-زمانی تغییرات کاربری اراضی و مدل‌سازی و پیش‌بینی روند این تغییرات می‌تواند به مدیریت یکپارچه جنگل‌های مانگرو و برنامه‌ریزی صحیح برای آن کمک کند.

روش‌ها و مدل‌های مورد استفاده در مطالعات تغییرات کاربری اراضی ابزارهای مؤثری برای طرح راه‌حل‌هایی در زمینه مدیریت پایدار و کاربرد صحیح این منابع ارزشمند شمرده می‌شوند (Sejati et al., 2003; Lambin et al., 2019). نظارت بر تغییرات ساختار زمین، از گذشته تا کنون، اطلاعات مفیدی را برای ارزیابی و مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی فراهم می‌کند اما تهدیدهای آینده این مناطق را شناسایی نمی‌کند (Verburg et al., 2006). از این‌رو تجزیه و تحلیل زنجیره مارکوف (MCA)^۱، اتومای سلولی (CA)^۲، مدل زنجیره‌ای مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov)^۳، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۴ و رگرسیون لجستیک باینری^۵ برخی از رایج‌ترین مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در آینده‌اند (Munthali et al., 2013; Subedi et al., 2020).

جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم یا منطقه حفاظت‌شده حرا یکی از مهم‌ترین مناطق تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست و ذخیره‌گاه طبیعی، پناهگاه و محل تغذیه بسیاری از گیاهان و جانوران به شمار می‌روند. علاوه بر این سواحل مانگرو فضایی مطلوب برای توسعه طبیعت‌گردی و فعالیت‌های گردشگری محسوب می‌شود که در طول سال، بسیاری از طبیعت‌گردان و گردشگران از آن بازدید می‌کنند (Idajati et al., 2016; Hakim et al., 2017; Hall, 2001). با وجود اهمیت این منطقه، به دلیل بهره‌وری بیش از حد منابع طبیعی و خدمات اکوسیستمی آن، ذخیره‌گاه طبیعی یادشده امروزه در وضعیت شکننده‌ای قرار دارد. پتروسیان^۶ و همکاران (۲۰۱۷)، رایگانی (۲۰۱۹) و مافی-غلامی^۷ و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان

1. Markov Chain Analysis
2. Cellular Automata
3. Cellular Automata-Markov
4. Artificial Neural Network
5. Binary Logistic Regression
6. Petrosian
7. Mafi-Gholami

رودخانه گیدابو^۷ در اتیوپی مدل‌سازی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که اراضی جنگلی، درختچه‌ها و مراتع، به دلیل توسعه زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌های شهری، از بین رفته‌اند و براساس پیش‌بینی‌ها، این روند در سال‌های آتی همچنان ادامه دارد. کوانگ^۸ و همکاران (۲۰۲۱)، برپایه روش‌های رگرسیون و یادگیری ماشین، توده‌های جنگلی مانگرو را در مصب رودخانه ویتنام بررسی و تحلیل کردند و نتایج پژوهش آنها بیانگر کاهش وسعت این جنگل‌ها از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۰ است.

مطابق مطالعات سال‌های اخیر، تغییر کاربری اراضی و پیش‌بینی و مدل‌سازی مکانی-زمانی این تغییرات در اکوسیستم‌های بکر طبیعی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. بر این اساس در مطالعه حاضر، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و اتومای سلولی (CA-ANN)، تغییرات کاربری اراضی در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم، از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱، مدل‌سازی و پیش‌بینی شد.

جنگل‌های مانگرو جوامع گیاهی چوبی بین جزرومدی با خدمات اکوسیستمی گوناگون‌اند که از جنبه‌های متفاوتی، از جمله زندگی جوامع بشری، زیست‌شناختی و اقتصاد مناطق ساحلی، اهمیت بسیار دارند (Wang et al., 2020; Walters et al., 2009). به‌رغم اهمیت فراوان جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم در تأمین کالاها و خدمات مورد نیاز انسان (Sobhani & Danehkar, 2023)، متأسفانه این جنگل‌ها در معرض تهدید فعالیت‌های انسانی و بلایای طبیعی، مانند افزایش سطح دریا و طوفان‌های استوایی، قرار گرفته‌اند. پیامدهای مستقیم این تغییرات و تأثیرات ناشی از آن شامل کاهش سلامت و مساحت جنگل‌های مانگرو،

کردند تراکم جنگل‌های طبیعی حرا در این منطقه کاهش یافته و اغلب پوشش جنگلی تحت تأثیر توسعه فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است. بر این اساس، تغییرات کاربری اراضی و توسعه فعالیت‌های گوناگون انسانی (اعم از فعالیت‌های فیزیکی و اقتصادی)، در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم، به افزایش سطح ناپایداری و تغییر چشم‌اندازهای طبیعی این ذخایر ارزشمند زیستی منجر شده است.

با توجه به اهمیت این موضوع، بسیاری از مطالعات اخیر بر آن بوده‌اند مدل‌های تغییر کاربری اراضی را در مقیاس‌های مکانی و زمانی گوناگون، برای تعیین تأثیرات بالقوه این تغییرات، بررسی و پیش‌بینی کنند که در مطالعه حاضر، به برخی از این منابع اشاره شده است. کریم‌زاده مطلق^۱ و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از مدل CA-Markov ارزیابی و پیش‌بینی کردند. طبق نتایج پژوهش آنها، اراضی کشاورزی و باغی از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۵۰ دچار روند کاهشی بوده که حاکی از گسترش فعالیت‌های شهری و صنعتی و کاهش سطح اراضی کشاورزی در منطقه است. در مطالعه‌های دیگر، آقایی^۲ و همکاران (۲۰۲۰) آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از مدل CA-Markov و LCM، در آب‌خیز کوزه-تپراقی استان اردبیل، مطالعه کردند. مطابق نتایج، سطح کاربری‌های کشاورزی آبی و مرتعی افزایش خواهد یافت و در مقابل، سطح کاربری‌های کشاورزی دیم و آبی، طی سال‌های آتی، روند کاهنده‌ای دارد. احمد^۳ و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات کاربری اراضی در جنگل‌های مانگرو ساندربانز^۴ را با استفاده از مدل‌های LR^۵، ANN و CA پیش‌بینی و به تهیه نقشه‌های آن پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مساحت جنگل‌های مانگرو در آینده کاهش خواهد یافت و درعین حال سطح پهنه‌های آبی تا سال ۲۰۵۰ با افزایش روبه‌رو خواهد شد. گیرما^۶ و همکاران (۲۰۲۲) نیز تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از ANN و مدل CA-Markov در حوضه

1. Karimzadeh Motlagh
2. Aghaei
3. Ahmad
4. Sundarbans
5. Logistic Regression
6. Girma
7. Gidabo
8. Quang

ساحل قشم و خورخوران) است. محدوده مورد مطالعه، از نظر تنوع زیستی، یکی از کانون‌های مهم زیستی کشور و حوزه خلیج فارس به شمار می‌رود. از فراوان‌ترین گونه‌های پستاندار دریایی، در این منطقه، می‌توان به پورپویز بی‌باله اشاره کرد. ماهیان شناخته‌شده این منطقه نیز ۳۲ گونه را دربرمی‌گیرند که به هفده خانواده تعلق دارند. خزندگان شناسایی شده در این منطقه شامل لاک‌پشت عقابی^۲ و لاک‌پشت سبز^۳ می‌شود و از گروه مارها نیز می‌توان به مار جعفری^۴، در بخش خشکی، و مارهای دریایی (*Hydrophis* و *Hydrophis schistosus*) و *cyanocincta*) در خورهای مانگرو اشاره کرد. علاوه بر این جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم، به دلیل وجود چشم‌اندازهای زیبا و جاذبه‌های طبیعی فراوان، از مکان‌های پرتقاضای طبیعت‌گردی ساحلی شناخته شده است (Sobhani & Danehkar, 2023a).

۳- روش بررسی

در این مطالعه، از تصاویر چندطیفی مجموعه لندست در بازه‌های زمانی متفاوت (۱۹۸۹، ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳)، برای نشان دادن سری مکانی-زمانی تغییرات جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم و همچنین نقشه طبقات کاربری اراضی این منطقه استفاده شد. تصاویر مورد مطالعه شامل L5-TM متعلق به سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۹، L7-ETM+ متعلق به سال ۲۰۰۹ و L8 و OLI-TIRS متعلق به سال ۲۰۲۳ می‌شود. در ادامه، با استفاده از مدل ترکیبی CA-ANN، روند تغییرات کاربری اراضی جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم در سال ۲۰۶۰ پیش‌بینی و مدل‌سازی شد. شایان ذکر است که دلایل بررسی بازه‌های زمانی مذکور، با توجه به توسعه پنج‌ساله پس از انقلاب، عبارت است از رشد جمعیت، افزایش تقاضای گردشگری، گسترش فعالیت‌های

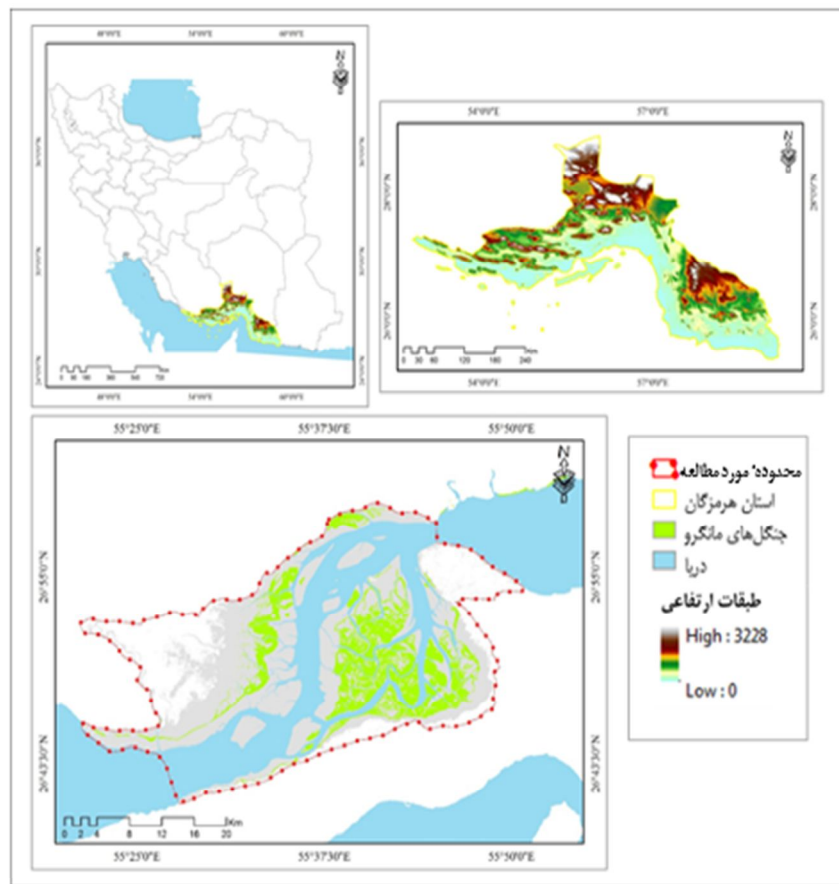
تشدید گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، کاهش کیفیت آب ساحلی، کاهش تنوع زیستی، تکه‌تکه شدن زیستگاه‌های ساحلی و تخریب منابع زیستی خواهد بود. بر این اساس در این پژوهش، تغییرات مکانی-زمانی کاربری‌های اراضی جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم، طی سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۳، بررسی شد. علاوه بر این به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی روند این تغییرات، مدل ترکیبی CA-ANN بر مبنای متغیرهای توصیفی ارتفاع، شیب، تراکم جمعیت، و فاصله از سکونتگاه‌ها و مرکز شهر و جاده‌ها بررسی شد و نقشه روند احتمالی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۶۰ نیز تهیه شد. در نهایت، با استفاده از مدل رگرسیونی OLS، میزان تأثیرگذاری متغیرهای توصیفی-مکانی مورد مطالعه در روند تغییرات کاربری‌های اراضی منطقه تحلیل شد. در این زمینه، عمده‌ترین پرسش‌های تحقیق عبارت‌اند از: (۱) روند تغییرات کاربری‌های اراضی جنگل‌های مانگرو در خمیر و قشم، طی سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۳، چه وضعیتی دارد؟ (۲) روند تغییرات کاربری اراضی تا سال ۲۰۶۰ چگونه خواهد بود؟ (۳) کدام‌یک از متغیرهای توصیفی بیشترین تأثیرگذاری را در روند تغییرات کاربری اراضی در این منطقه دارند؟

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی

جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم (منطقه حفاظت‌شده حرا)، واقع در استان هرمزگان و با مساحت ۸۶،۲۵۸ هکتار، در موقعیت جغرافیایی عرض شمالی ۲۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۴۷ ثانیه تا ۲۷ درجه و ۰۱ دقیقه و ۰۲ ثانیه و طول شرقی ۵۵ درجه و ۲۳ دقیقه و ۴۶ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۵۴ دقیقه و ۰۱ ثانیه توزیع شده‌اند (شکل ۱). این جنگل‌ها بزرگ‌ترین رویشگاه طبیعی درخت حرا^۱ در حوزه جنگل‌های مانگرو خلیج فارس محسوب می‌شوند. این حوزه براساس بستر رویشگاه، شامل سه تیپ دلتایی، ساحلی و جزیره‌ای و دربرگیرنده شش رویشگاه تفکیک‌پذیر (پهل، مردو، خمیر-لشتگان، سایه‌خوش،

1. *Avicennia marina*
2. *Eretmochelys imbricata*
3. *Chelonia mydas*
4. *Echis carinatus*



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

طبقه‌بندی نظارت‌شده‌ای است که در آن مجموعه‌ای از درخت‌ها، در تصمیم‌گیری و طبقه‌بندی، استفاده می‌شود. در این روش، ابتدا تعدادی درخت تصمیم‌گیری که بیشترین تمایز را از هم دارند، تشکیل و روند تصمیم‌گیری، در مورد هر یک از این درخت‌ها، جداگانه بررسی می‌شود. جنگل تصادفی یکی از روش‌های یادگیری ماشین است که به دلیل سرعت زیاد در مورد داده‌هایی با حجم بالا و بدون نیاز به داده‌های آموزشی، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Fischer et al., 2023). در این شیوه، ابتدا پارامترهای شبکه، شامل تعداد درخت‌ها و گره‌های هر درخت، مشخص می‌شود. سپس در هر درخت، تعدادی از داده‌های ورودی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود.

انسانی در این دوره و آغاز مطالعات محیط زیستی در کشور؛ از این رو تصاویر از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ انتخاب و بررسی شد. ماه تهیه تصاویر نیز اردیبهشت انتخاب شد که دلیل آن پوشش سبز غالب و زمان گل‌دهی رویشگاه‌های مانگرو در این بازه زمانی است.

برای طبقه‌بندی تصاویر، روش الگوریتم جنگل تصادفی به کار رفت. این الگوریتم که اغلب به منظور طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در توان تفکیک‌های مکانی کاربرد دارد، در مقایسه با الگوریتم‌های متداول طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبانی و شبکه‌های عصبی، نتایج چشمگیری داشته و معرف روش‌های جدید طبقه‌بندی ترکیبی است (Zhang et al., 2019; Ao et al., 2019). روش جنگل تصادفی شیوه

$$NDWI = \frac{(B3 - B5)}{(B3 + B5)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

همچنین $NDVI^3$ برای تهیه پوشش های مانگرو از سایر طبقات کاربری اراضی، مطابق رابطه (۲)، به کار رفت. این شاخص یکی از پرکاربردترین شاخص ها روی داده های سنجش از راه دور است که در این رابطه، R و NIR به ترتیب، طول موج های قرمز مرئی و فرورسرخ نزدیک اند (Shimu et al., 2019). $NDVI$ مقادیر نرمال شده بین -1 و $+1$ است و مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم، به دلیل انعکاس نسبتاً زیاد در محدوده فرورسرخ نزدیک و انعکاس اندک در محدوده قرمز مرئی، دارای میزان بالای $NDVI$ هستند.

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

از آن جاکه منطقه ساحلی- دریایی و دارای پهنه های جزرومدی و گل آلود است، به منظور جداسازی و تفکیک بهتر پهنه ها، از شاخص نرمال شده تفاوت کدورت ($NTDI$)^۴ استفاده شد. با توجه به اینکه آب های صاف و زلال در محدوده باندهای سبز و به ویژه باند قرمز، بازتاب بسیار ضعیفی (کمتر از ۱۰٪) دارند، می توان از این باندها برای برآورد و بررسی پهنه های گلی و جزرومدی که فاقد شفافیت اند، بهره برد (Lacaux et al., 2007). این شاخص با استفاده از رابطه (۳) به دست می آید.

$$NDTI = \frac{(R - G)}{(R + G)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در ادامه، برای تعدیل اثر خاک و تفکیک پوشش های جنگلی مانگرو نیز از شاخص طیفی اصلاح شده پوشش گیاهی و خاک ($SAVI$)^۵ بهره گرفته شد. این شاخص باندهای قرمز و فرورسرخ را به منظور استخراج پوشش

پس از عملیات تصمیم گیری در هریک از این درخت ها، نتایج با هم تلفیق می شوند (خروجی طبقه بندی براساس یک رأی اکثریت از پیش بینی تک درخت های آموزش دیده ایجاد می شود). دقت این روش، طبق توان درختان، به صورت جداگانه و میزان همبستگی در بین آنها مشخص می شود؛ بدین معنی که هرچه درختان انتخابی توانایی تصمیم گیری بهتری داشته باشند و همبستگی آنها کمتر باشد، دقت نهایی نیز بیشتر خواهد شد.

در ادامه، به پایش تغییرات و ارزیابی دقت تصاویر پرداخته شد. بارزسازی و پایش تغییرات، در حقیقت، کشف تغییرات به وجود آمده در یک مکان است که در فرایند سنجش از دور، با استفاده از تصاویر دو یا چندزمانه انجام می شود (Liu et al., 2007; Munthali et al., 2020). در مطالعه حاضر نیز، دقت طبقه بندی براساس شاخص کاپا و صحت کلی بررسی شد.

برای پردازش داده ها و اطلاعات، از محیط گوگل ارث انجین (GEE)^۱ استفاده شد. بدین ترتیب نقشه های طبقات کاربری اراضی جنگل های مانگرو خمیر و قشم طی سال های مورد مطالعه، براساس شاخص نرمال شده تفاوت پهنه های آبی ($NDWI$)^۲، استخراج و به دو کلاس آبی و غیرآبی طبقه بندی شد. در این شاخص، باند سبز مرئی و باند فرورسرخ نزدیک برای بارزسازی پهنه های آبی و حذف پوشش های گیاهی و خاک به کار رفت. دامنه تغییرات این شاخص بین $+1$ و -1 قرار دارد که نزدیک تر بودن ارزش پیکسل به $+1$ نشان دهنده وجود پهنه های آبی و نزدیک تر بودن آن به -1 بیانگر وجود پهنه های غیرآبی است (Sagar et al., 2017). برای محاسبه این شاخص، می توان از رابطه (۱) استفاده کرد. با توجه به اینکه در مطالعه پیش رو تصاویر به کاررفته شامل مجموعه تصاویر ماهواره ای لندست است، در رابطه (۱)، باند سبز مرئی معادل باند ۳ و باند فرورسرخ نزدیک معادل باند ۵ در نظر گرفته شد. در نقشه های تهیه شده، کلاس پهنه های آبی با کد صفر و کلاس های غیرآبی با کد یک نمایش داده شده اند.

1. Google Earth Engine
2. Normalized Difference Water Index
3. Normalized Difference Vegetation Index
4. Normalized Difference Turbidity Index
5. Soil Adjusted Vegetation Index

این مدل، CA چارچوب مکانی- زمانی را برای کاربری اراضی فراهم می‌کند و ANN نیز قوانین انتقال محلی را کنترل می‌کند تا با هر مرحله زمانی جدید، براساس قوانین تکامل محلی، به‌روز شوند (Amoah, 2022). در ابتدا، با استفاده از نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده از سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۳، متغیرهای توصیفی و یک ماتریس انتقال، نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۲۳ پیش‌بینی شد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل و ارزیابی دقت پیش‌بینی، تکنیک اعتبارسنجی صحت کلی برای مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده واقعی و پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۲۳ به کار رفت (Shafizadeh-Moghadam, 2019; Sobhani et al., 2021) و پس از فرایند صحت‌سنجی مدل، تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۶۰ پیش‌بینی شد.

در این مطالعه، برای بررسی عوامل مؤثر در افزایش تغییرات کاربری اراضی، از متغیرهای توصیفی همچون ارتفاع، شیب، تراکم جمعیت، فاصله از سکونتگاه‌ها و مرکز شهر و جاده‌ها، به‌منزله ورودی در مدل رگرسیونی حداقل مربعات معمولی (OLS)^۱ استفاده شد. بر این اساس، ارتفاع و شیب با توجه به مدل رقومی ارتفاع (DEM)^۲، با وضوح مکانی ۳۰ متر، تهیه شد. تراکم جمعیت نیز، طبق آخرین سرشماری موجود از مرکز آمار ایران (۱۳۹۵)، بررسی شد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). فاصله از سکونتگاه‌ها، مرکز شهر و جاده‌ها نیز با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، نظر کارشناسان و متخصصان و همچنین مطالعات و اسناد موجود (Jahdi, 2019; Shafizadeh-Moghadam, 2019; Lotfikhah et al., 2017; Mirzaei, 2021; 2023) طبقه‌بندی و سنجش شد (شکل ۲).

گیاهی به کار می‌برد. SAVI از ضریبی به نام تعدیل‌کننده اثر خاک بهره می‌برد که موجب می‌شود این شاخص اثر خاک را کاهش دهد. مطابق رابطه (۴)، ضریب L رابطه‌ای معکوس با میزان تراکم پوشش گیاهی دارد و بین صفر و یک است. در این رابطه، هرچه میزان پوشش گیاهی بیشتر باشد، L به صفر نزدیک‌تر خواهد بود و برعکس (Xia et al., 2020).

$$\text{SAVI} = (1+L) * \left[\frac{(\text{NIR}-R)}{(\text{NIR}+R+L)} \right] \quad (4)$$

۳-۱- انتخاب نقاط آموزشی

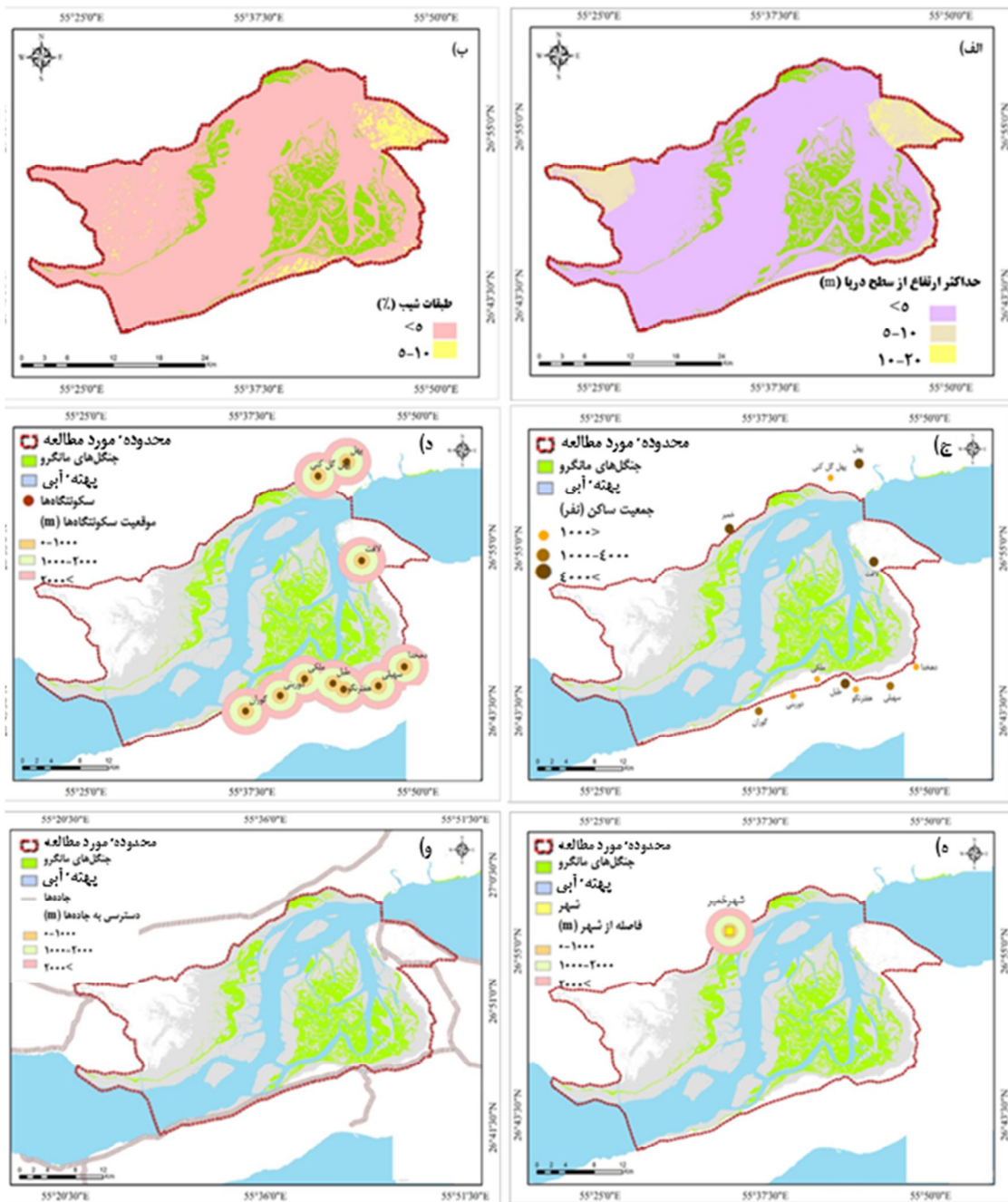
نمونه‌برداری یکی از مهم‌ترین مراحل طبقه‌بندی تصاویر است که در کیفیت و دقت طبقه‌بندی تأثیر بسزایی دارد. در این مطالعه، نقاط نمونه‌برداری در سامانه تحت وب GEE، به‌صورت بصری، به تعداد مورد نظر و تصادفی انتخاب شدند. در واقع، حداکثر ۱۵۰۰ نمونه انتخاب شد که از مجموع آنها، ۸۰۰ نمونه برای آموزش الگوریتم و ۷۰۰ مورد برای آزمایش طبقه‌بندی در نظر گرفته شد. سپس تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شد و با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی، مطابق توضیحات پیشین، نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شد. بر این اساس، طبقات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه شامل جنگل‌های مانگرو، پهنه‌های جزرومدی، اراضی لخت و پهنه‌های آبی می‌شود.

۳-۲- مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

۳-۲-۱- مدل ترکیبی CA-ANN

به‌منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مورد مطالعه، برای شناسایی تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۳ و نیز پیش‌بینی این تغییرات طی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۶۰، از نرم‌افزار QGIS و افزونه MOLUSCE بهره گرفته شد. برای محاسبه نقشه‌های احتمال انتقال همراه با شبیه‌سازی آینده نیز، مدل ترکیبی و یکپارچه CA-ANN به کار رفت. در

1. Ordinary Least Squares
2. Digital Elevation Model



شکل ۲. عوامل محرک مکانی: ارتفاع (الف)؛ شیب (ب)؛ تراکم جمعیت (ج)؛ فاصله از سکونتگاه‌ها (متر) (د)؛ فاصله از مرکز شهر (متر) (ه)؛ و فاصله از جاده‌ها (متر) (و)

روودی آموزش مدل ANN در نظر گرفته شدند. این مدل با میزان یادگیری ۰/۱ و نیروی حرکت آنی^۲ ۰/۰۵ آموزش داده شد و فرایند آموزش مدل برای ۱۰۰۰ تکرار و مقدار همسایگی یک پیکسل با ده لایه پنهان اجرا شد. سپس مدل آموزش‌دیده، برای به‌دست‌آوردن نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۶۰، شبیه‌سازی شد.

۴- نتایج

۴-۱- تحلیل تغییرات کاربری اراضی

نتایج ارزیابی دقت تصاویر حاکی از آن است که مقادیر به‌دست‌آمده بسیار مطلوب‌اند و در سطح مورد قبولی قرار می‌گیرند (جدول ۱). همان‌طور که نتایج نشان داد، مساحت جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم در سال ۲۰۲۳ (مساحت ۶۹۹۸ هکتار و ۸/۱۱٪)، در مقایسه با سال ۱۹۸۹ (مساحت ۷۷۰۹ هکتار و ۸/۹۳٪)، روند کاهشی داشته‌اند. در بین طبقات کاربری اراضی این منطقه، طی سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۳، پهنه‌های جزرومدی دارای بیشترین روند افزایشی (مساحت ۳۱۵۱ هکتار و ۳/۶۵٪) هستند و در مقابل، پهنه‌های آبی بیشترین روند کاهشی (۴۵۱۵- هکتار و ۵/۲۳٪) را داشته‌اند. اراضی لخت نیز یکی دیگر از طبقات کاربری اراضی‌اند با مساحت ۱۷۳۰۱ هکتار (۲۰/۰۵٪) در سال ۲۰۲۳، به‌نسبت سال ۱۹۸۹ با مساحت ۱۵۲۲۴ هکتار (۱۷/۶۴٪)، روندی افزایشی را نشان می‌دهند (جدول ۲).

در ادامه، مدل رگرسیون OLS برای بررسی متغیرها یا محرک‌های بالقوه تأثیرگذار در تغییرات کاربری اراضی مورد آزمون و تحلیل قرار گرفت. بدین‌منظور نقشه کاربری‌های اراضی در جایگاه متغیر وابسته در نظر گرفته شد که با توجه به شرایط محیطی منطقه مورد مطالعه، دوباره در شش طبقه طبقه‌بندی و بررسی شد: (۱) کاهش جنگل (جنگل‌زدایی)؛ (۲) افزایش جنگل (جنگل‌زایی)؛ (۳) جنگل بدون تغییر؛ (۴) کاهش سایر مناطق طبیعی؛ (۵) افزایش سایر مناطق طبیعی؛ (۶) سایر مناطق طبیعی بدون تغییر. بدین‌ترتیب داده‌های مکانی مورد استفاده به‌منزله متغیرهای مستقل شامل ارتفاع، شیب، تراکم جمعیت، فاصله از سکونتگاه‌ها، فاصله از مرکز شهر و فاصله از جاده‌ها در نظر گرفته شد. این مدل رگرسیونی در نرم‌افزار Arc GIS با آمار پارامتری والد^۱، برای ارزیابی اهمیت کلی مدل، به کار رفت. تحلیل‌ها نیز براساس آزمون دو سویه و در سطح اطمینان ۹۵٪ در نظر گرفته شد. بدین‌ترتیب فرضیه آماره والد بدین‌صورت بیان شد (با فرض اینکه، اگر $p\text{-value} < 0.05$ باشد، H_0 رد و H_1 مورد پذیرش است و برعکس):

H_0 : متغیرهای توصیفی در مدل مؤثر نیستند؛

H_1 : متغیرهای توصیفی در مدل مؤثرند.

در مطالعه پیش‌رو، برای پیش‌بینی طبقات کاربری اراضی در سال ۲۰۶۰، متغیرهای توصیفی به‌منزله عوامل

جدول ۱. ارزیابی دقت تصاویر براساس صحت کلی و ضریب کاپا در سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۳

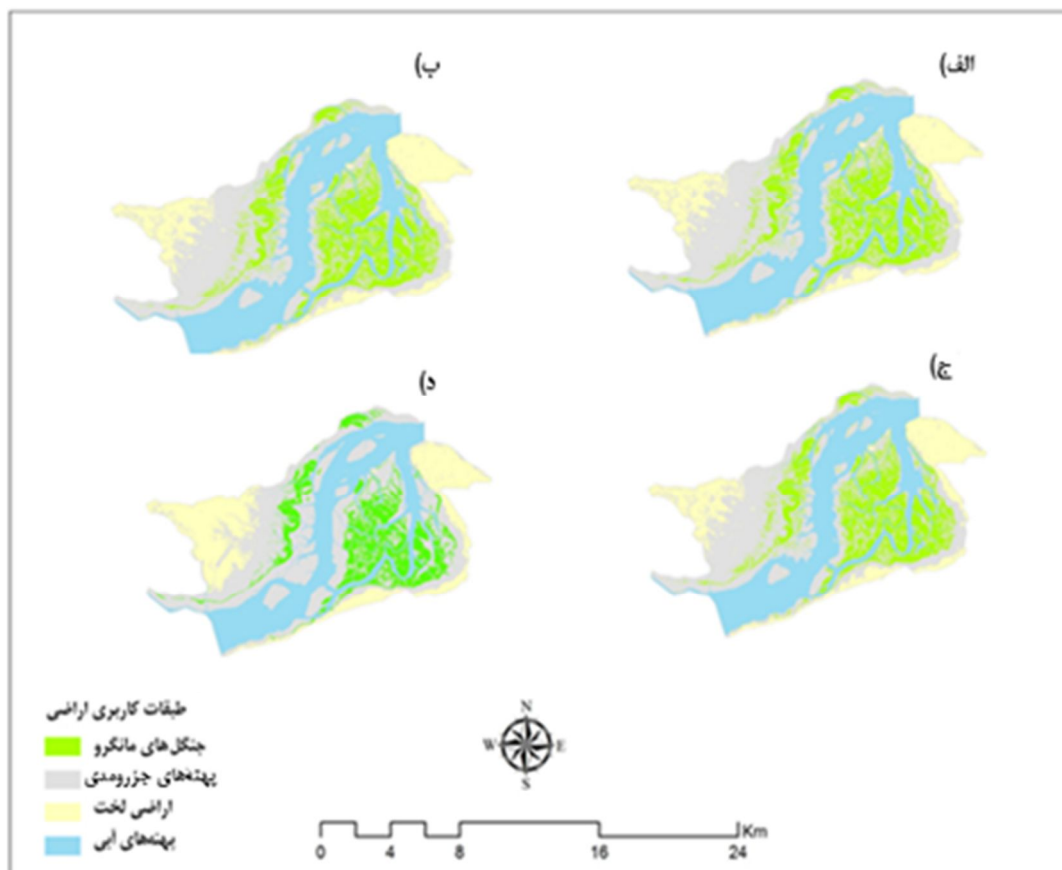
تصاویر ماهواره‌ای	سال	صحت کلی (%)	ضریب کاپا (%)
L5-TM	۱۹۸۹	۰/۹۳	۰/۸۵
	۱۹۹۹	۰/۹۵	۰/۸۸
L7-ETM+	۲۰۰۹	۰/۹۰	۰/۸۶
L8, OLI-TIRS	۲۰۲۳	۰/۹۸	۰/۹۰

1. Wald

2. Momentum

جدول ۲. تحلیل تغییرات کاربری اراضی در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم در سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۳

سال	جنگل‌های مانگرو		پهنه‌های جزرومدی		اراضی لغت		پهنه‌های آبی	
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
۱۹۸۹	۷۷۰۹	۸/۹۳	۳۵۸۸۷	۴۱/۶۰	۱۵۲۲۴	۱۷/۶۴	۲۷۴۳۶	۳۱/۸۰
۱۹۹۹	۷۵۰۳	۸/۶۹	۳۶۱۲۸	۴۱/۸۸	۱۵۹۳۱	۱۸/۴۶	۲۶۶۹۴	۳۰/۹۴
۲۰۰۹	۷۴۱۸	۸/۵۹	۳۸۲۵۰	۴۴/۳۴	۱۶۳۴۱	۱۸/۹۴	۲۴۲۴۷	۲۸/۱۰
۲۰۲۳	۶۹۹۸	۸/۱۱	۳۹۰۳۸	۴۵/۲۵	۱۷۳۰۱	۲۰/۰۵	۲۲۹۲۱	۲۶/۵۷
۱۹۸۹-۲۰۲۳	-۷۱۱	-۰/۸۲	۳۱۵۱	۳/۶۵	۲۰۷۷	۲/۴۱	-۴۵۱۵	-۵/۲۳



۲-۴- احتمال انتقال کاربری های اراضی طی سال های مورد مطالعه

در جدول ۳، احتمال انتقال طبقات کاربری اراضی جنگل های مانگرو خمیر و قشم، طی سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳، نشان داده شده است. نتایج بیان می کند که احتمال انتقال بین دو طبقه یکسان «جنگل به جنگل» و «سایر مناطق غیرطبیعی به سایر مناطق غیرطبیعی»، طی این بازه زمانی، با احتمال ۰/۶۱ و ۰/۸۲ ثابت و بدون تغییر است. به همین صورت، احتمال انتقال بین دو طبقه، در دوره زمانی مشخص، احتمال انتقال از یک طبقه به طبقه ای دیگر را نشان می دهد. در این مورد، احتمال تبدیل جنگل به سایر مناطق غیرطبیعی ۰/۳۳ است.

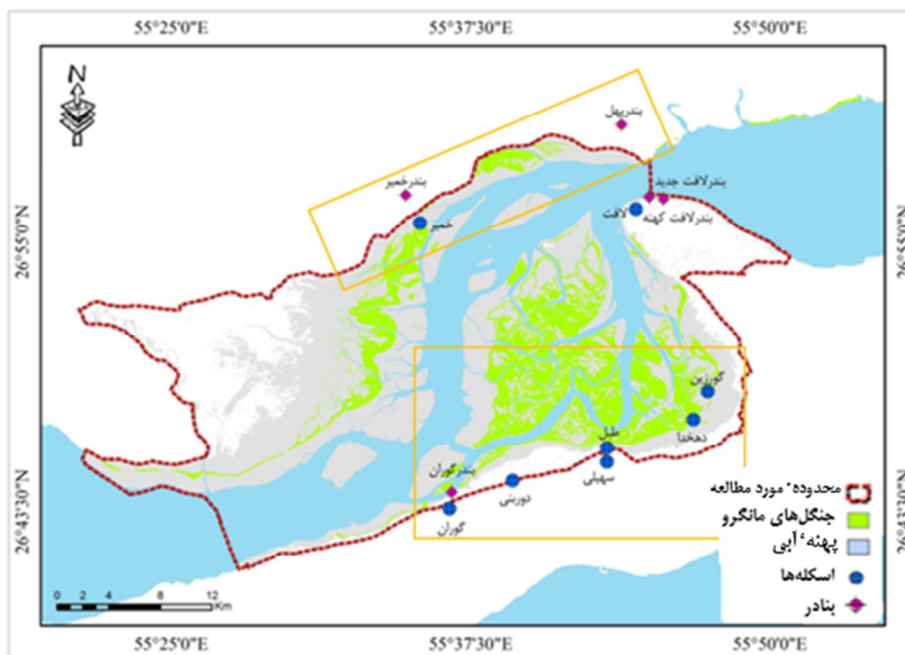
بر این اساس، با توجه به مقادیر احتمال انتقال، پوشش های جنگلی مانگرو مستعد تبدیل شدن به سایر مناطق غیرطبیعی اند.

مطابق شکل ۴، تغییرات واقعی کاربری های اراضی منطقه با استفاده از ماتریس احتمال طی سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳ بررسی شد. برپایه نتایج، بیشترین تغییرات به کاهش جنگل های مانگرو (در مناطق شمالی و جنوب شرق منطقه) و افزایش سایر مناطق غیرطبیعی (پهنه های جزرومدی و اراضی لخت در محدوده بندر خمیر، در شمال و شمال شرق منطقه و همچنین در حاشیه روستاهای لافت تا گوران) بازمی گردد.

جدول ۳. احتمال انتقال کاربری های اراضی

در سال های ۱۹۸۹-۲۰۲۳

سایر مناطق غیرطبیعی	جنگل	طبقات کاربری اراضی
۰/۴۶	۰/۵۴	جنگل
۰/۷۸	۰/۲۲	سایر مناطق غیرطبیعی (پهنه های جزرومدی، اراضی لخت و پهنه های آب)



شکل ۴. تغییرات واقعی کاربری های اراضی منطقه با استفاده از ماتریس احتمال در سال های مورد مطالعه

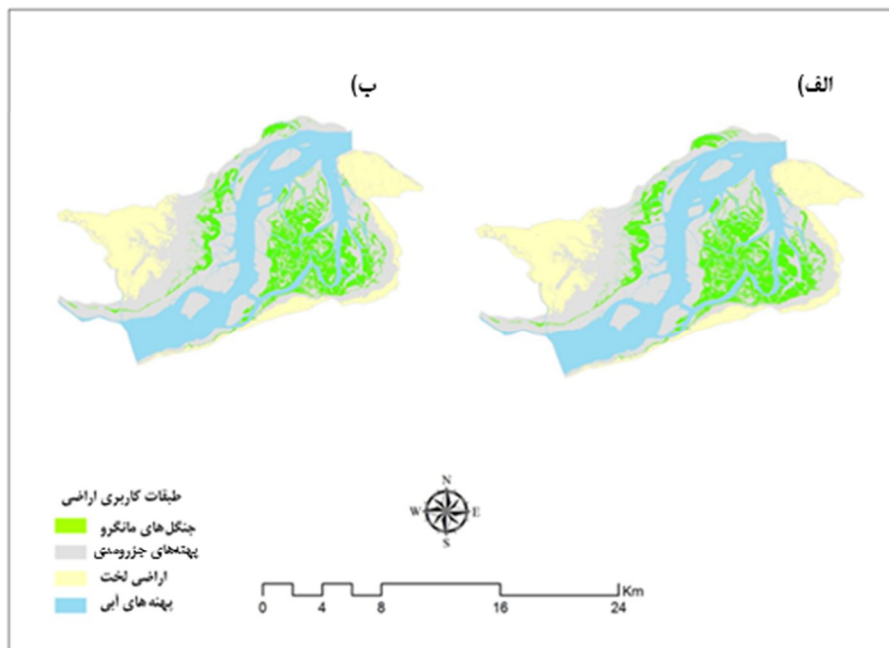
۳-۴- پیش بینی تغییرات کاربری اراضی

در این پژوهش، مدل سازی احتمال انتقال برای شبیه سازی در مدل CA-ANN براساس روندهای تبدیل و احتمال های انتقال کاربری اراضی انجام شد. طبق نتایج اعتبارسنجی، صحت مدل ANN در نقشه شبیه سازی شده سال ۲۰۲۳، در مقایسه با نقشه طبقات کاربری اراضی واقعی جنگل های مانگرو خمیر و قشم در همین سال، برابر با ۹۲٪ است. همچنین نتایج نشان داد که پهنه های جزرومدی، در جنگل های مانگرو خمیر و قشم طی سال ۲۰۶۰، روند افزایشی (مساحت

۴۲۳۶۶ هکتار و ۴۹/۱۱٪) خواهند داشت. در این منطقه، اراضی لخت نیز با مساحت ۱۹۵۰۷ هکتار (۲۲/۶۱٪)، در مقایسه با سال ۲۰۲۳، روندی افزایشی را نشان می دهند. در بین سایر طبقات کاربری اراضی موجود، پهنه های آبی با مساحت ۱۸۲۹۸ هکتار (۲۱/۲۱٪) بیشترین روند کاهش را در سال ۲۰۶۰ نشان می دهند. در نهایت، جنگل های مانگرو با مساحت ۶۲۵۵ هکتار (۷/۲۵٪) در سال ۲۰۶۰، در مقایسه با سال ۲۰۲۳، با مساحت ۶۹۹۸ هکتار (۸/۱۱٪) دچار کاهش خواهند شد (شکل ۵).

جدول ۴. تغییرات کاربری اراضی پیش بینی شده جنگل های مانگرو خمیر و قشم، در سال های ۲۰۲۳-۲۰۶۰

سال	جنگل های مانگرو		پهنه های جزرومدی		اراضی لخت		پهنه های آبی	
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
۲۰۲۳ (واقعی)	۶۹۹۸	۸/۱۱	۳۹۰۳۸	۴۵/۲۵	۱۷۳۰۱	۲۰/۰۵	۲۲۹۲۱	۲۶/۵۷
۲۰۲۳ (شبیه سازی شده)	۶۹۷۱	۸/۰۸	۳۹۰۴۲	۴۵/۲۶	۱۷۳۰۳	۲۰/۰۵	۲۲۹۴۲	۲۶/۵۹
۲۰۶۰ (شبیه سازی شده)	۶۲۵۵	۷/۲۵	۴۲۱۹۸	۴۸/۹۲	۱۹۵۰۷	۲۲/۶۱	۱۸۲۹۸	۲۱/۲۱
۲۰۶۰-۲۰۲۳	-۷۴۳	-۰/۸۶	۳۱۶۰	۳/۶۷	۲۲۰۶	۲/۵۶	-۴۶۲۳	-۵/۳۶



شکل ۵. نقشه طبقات کاربری اراضی پیش بینی شده جنگل های مانگرو خمیر و قشم در سال های ۲۰۲۳ (الف) و ۲۰۶۰ (ب)

۴-۴- تحلیل رگرسیون OLS

همان‌طور که نتایج آماره‌ی والد نشان می‌دهد، متغیرهای توصیفی دوره‌ی مورد مطالعه دارای ضرایب رگرسیون مورد قبولی‌اند. همچنین مطابق جدول ۴، همه‌ی متغیرهای توصیفی بررسی شده از سطح معناداری برخوردارند (p-value کوچک‌تر از ۰/۰۵ است). بدین معنی که با توجه به آماره‌ی t و عامل تورم واریانس (VIF) ^۱، متغیرهای توصیفی مورد مطالعه در روند تغییرات کاربری اراضی جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم تأثیرگذارند. علاوه‌براین مقدار ضریب تشخیص R^2 (۰/۵۸) نیز بیان می‌کند که متغیرهای توصیفی توانسته‌اند ۵۸٪ از تغییرات کاربری اراضی در این منطقه را تبیین کنند. از این‌رو در بین متغیرهای توصیفی، فاصله از سکونتگاه‌ها و جاده‌ها بیشترین تأثیرگذاری را در تغییرات کاربری اراضی، در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم، نشان می‌دهند؛ در حالی که متغیرهای ارتفاع و شیب، به دلیل پست و همواربودن موقعیت جغرافیایی منطقه (ساحلی- دریایی)، کمترین تأثیر را در روند این تغییرات دارند.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات کاربری اراضی ناشی از توسعه‌ی فعالیت‌های انسانی (جنگل‌زدایی، توسعه‌ی بندرها و اسکله‌ها، آلودگی و نشت نفت، الوار و تولید زغال)، یکی از مهم‌ترین تهدیدهای شناخته‌شده در جنگل‌های مانگرو هستند (Hamilton & Casey, 2016; Etemadi et al., 2021). این تغییرات به نابودی تنوع زیستی و کاهش سطح خدمات اکوسیستمی در این رویشگاه‌های طبیعی و منحصربه‌فرد منجر شده است. بر این اساس، در مطالعه حاضر، تغییرات مکانی- زمانی کاربری‌های اراضی جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم طی سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۳ بررسی شد. علاوه‌براین، به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی روند این تغییرات، مدل ترکیبی CA-ANN برمبنای متغیرهای توصیفی ارتفاع، شیب، تراکم جمعیت، و فاصله از سکونتگاه‌ها و مرکز شهر و جاده‌ها بررسی شد و نقشه‌ی روند احتمالی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۶۰ نیز تهیه شد. در نهایت، با استفاده از مدل رگرسیونی OLS، میزان تأثیرگذاری متغیرهای توصیفی- مکانی مورد مطالعه در روند تغییرات کاربری‌های اراضی منطقه تحلیل شد.

جدول ۴. نتایج تحلیل رگرسیون OLS در مدل پیش‌بینی تغییر کاربری‌های اراضی جنگل‌های مانگرو خمیر- قشم

متغیرهای توصیفی	ضریب a	اشتباه معیار	آماره‌ی t	احتمال ^b	عامل تورم واریانس ^c (VIF)
ارتفاع	-۰/۰۰۰۲۴۶	۰/۰۰۰۱۲۵	-۵/۲۳۴۵۶۱	۰/۰۰۲۸۵۶	۲/۲۳۱۶۴۵
شیب	-۰/۰۰۰۲۵۷	۰/۰۰۰۱۰۸	-۸/۳۶۷۴۱۱	۰/۰۰۳۴۶۲	۲/۸۶۵۴۳۲
تراکم جمعیت	-۰/۰۰۵۴۱۱	۰/۰۰۰۱۴۵	-۱۲/۴۳۶۲۱۵	۰/۰۰۱۷۵۶	۱/۹۰۳۲۵۷
فاصله از سکونتگاه‌ها	-۱/۰۰۰۳۲۶	۰/۰۱۵۱۲۶	-۳۸/۱۷۲۳۶۴	۰/۰۰۴۵۷۲	۱/۰۳۶۵۴۱
فاصله از مرکز شهر	-۰/۰۰۶۸۳۲	۰/۰۰۰۱۳۶	-۳۴/۲۱۴۳۰۶	۰/۰۰۷۴۳۲	۵/۷۱۵۸۴۳
فاصله از جاده‌ها	-۱/۰۰۰۱۲۳	۰/۰۰۰۰۶۵	-۲۵/۲۸۵۹۴۷	۰/۰۰۴۳۵۶	۱/۸۱۹۲۵۴

a: قدرت و نوع رابطه‌ی بین هر متغیر مستقل و وابسته را نشان می‌دهد.

b: علامت ستاره (*) نشان‌دهنده‌ی معنی‌داربودن ضریب آماری است (p-value < 0.05).

c: عامل تورم واریانس، با فرض $VIF > 7/5$ ، نشان‌دهنده‌ی افزونگی در بین متغیرهای مستقل است.

1. Variance Inflation Factor

زیرساخت‌های انسانی همچون اسکله‌ها، بندرها و سکونت‌گاه‌ها موجب کاهش سطح جنگل‌های مانگرو و تبدیل آنها به اراضی لخت و کاربری‌های غیرطبیعی شده است.

در مطالعه پیش رو، نتایج پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم حاکی از آن است که پهنه‌های جزرومدی و اراضی لخت، در سال ۲۰۶۰، افزایش و در مقابل، جنگل‌های مانگرو و پهنه‌های آبی کاهش خواهند یافت. بدین ترتیب روند کاهش پوشش‌های مانگرو، طی سال‌های آتی نیز تداوم خواهد داشت که به نابودی سطح وسیعی از این رویشگاه‌های طبیعی و کاهش تنوع زیستی می‌انجامد. به‌طور کلی نتایج بیان می‌کند که طی دهه‌های اخیر، روند روبه‌رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های انسانی سبب کاهش سطح جنگل‌های مانگرو حوزه خمیر و قشم شده است. این نتایج، مطابق تحلیل مدل رگرسیونی OLS در پیش‌بینی تغییرات کاربری‌های اراضی نیز تأیید شد. نتایج نشان داد که عمده‌ترین متغیرهای توصیفی تأثیرگذار در تغییر کاربری‌های اراضی این جنگل‌ها شامل فاصله از سکونتگاه‌ها و جاده‌ها می‌باشد، زیرا دسترسی بیشتر و امکان توسعه بالای فعالیت‌های انسانی در این رویشگاه‌های طبیعی را فراهم می‌کند. در این راستا، تداوم افزایش تغییرات کاربری‌های اراضی در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم به نابودی و انقراض سطح وسیعی از این ذخایر ارزشمند زیستی در جنوب کشور منجر می‌شود. با توجه به اینکه جنگل‌های مانگرو مورد نظر مناطق تحت حفاظت محیط‌زیست و مرزهای مدیریتی محسوب می‌شوند، اجرای پروژه‌های پیشنهادی و احداث هرگونه زیرساخت و توسعه در این منطقه باید با توجه به طرح‌های مدیریتی (زون‌بندی) و ارزیابی‌های

مطابق نتایج، مساحت جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم در سال ۲۰۲۳، در مقایسه با سال ۱۹۸۹، روندی کاهشی را نشان می‌دهند. همچنین در این منطقه، پهنه‌های جزرومدی بیشترین روند افزایشی و در مقابل، پهنه‌های آبی بیشترین روند کاهشی را داشته‌اند. به‌طور کلی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در افزایش تغییرات کاربری اراضی و کاهش جنگل‌های مانگرو عبارت است از توسعه زیرساخت‌ها، از جمله اسکله‌ها و بندرهای تفریحی و تجاری، رشد جمعیت و توسعه سکونتگاه‌ها، افزایش بی‌رویه فعالیت‌های گردشگری، بهره‌وری بیش‌ازحد توان منطقه، توسعه آبی‌پروری و جنگل‌زدایی. در این زمینه، نتایج مطالعات عرفانی‌فرد^۱ و همکاران (۲۰۲۳) و مافی-غلامی و همکاران (۲۰۲۰) نیز تأیید شد. این پژوهشگران بیان کردند که جنگل‌های مانگرو طی دهه‌های اخیر، به دلیل توسعه فعالیت‌های انسانی، روند کاهشی داشته است. نتایج مطالعه یعقوب‌زاده^۲ و همکاران (۲۰۲۱) بیان می‌کند توسعه فعالیت‌های انسانی در مجاورت رویشگاه‌های مانگرو و همچنین احداث اسکله‌ها و بندرها سبب تبدیل و تغییر کاربری‌های اراضی و کاهش جنگل‌های مانگرو در جنوب کشور شده است. نتایج مطالعه سوپریاتنا و ویبوو^۳ (۲۰۱۱) نیز نشان داد که رشد جمعیت، توسعه فعالیت‌های انسانی و تأثیرات ناشی از آن، احتمالاً در بیست سال آینده، بین ۲۰ تا ۶۰٪ از جنگل‌های مانگرو را نابود خواهد کرد.

همان‌طور که نتایج نشان داد، بیشترین تغییرات در زمینه کاهش جنگل‌های مانگرو (در مناطق شمالی و جنوب شرق منطقه) و افزایش سایر مناطق غیرطبیعی (پهنه‌های جزرومدی و اراضی لخت در محدوده بندر خمیر، در شمال و شمال شرق منطقه و نیز حاشیه روستاهای لافت تا گوران) است. بر این اساس، با توجه به مقادیر احتمال انتقال، پوشش‌های جنگلی مانگرو مستعد تبدیل شدن به سایر مناطق غیرطبیعی‌اند. نتایج مطالعه جعفرنیا^۴ و همکاران (۲۰۱۲) نیز هم‌راستا با نتایج این مطالعه است. این محققان بیان کردند توسعه

1. Erfanifard
2. Yaghoubzadeh
3. Supriatna & Wibowo
4. Jafarnia

- A Case Study of Wetlands in Greater Accra, Ghana**, [Master's thesis, Bowling Green State University]. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. (https://geogis.bgsu.edu/theses/ETD_Amoah_08-28-2022).
- Ao, Y., Li, H., Zhu, L., Ali, S. & Yang, Z., 2019, **The Linear Random Forest Algorithm and Its Advantages in Machine Learning Assisted Logging Regression Modeling**, Journal of Petroleum Science and Engineering, 174, PP. 776–789. (<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.11.067>).
- Arowolo, A.O., Deng, X., Olatunji, O.A. & Obayelu, A.E., 2018, **Assessing Changes in the Value of Ecosystem Services in Response to Land-Use/Land-Cover Dynamics in Nigeria**, Science of the Total Environment, 636, PP. 597–609. (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.277>).
- Atasoy, M., 2020, **Assessing the Impacts of Land-Use/Land-Cover Change on the Development of Urban Heat Island Effects**, Environment, Development and Sustainability, 22(8), PP. 7547–7557. (<https://doi.org/10.1007/s10668-019-00535-w>).
- 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), P. 4912. (<https://doi.org/10.3390/rs14194912>).
- Etemadi, H., Smoak, J.M. & Abbasi, E., 2021, **Spatiotemporal Pattern of Degradation in Arid Mangrove Forests of the Northern Persian Gulf**, Oceanologia, 63(1), PP. 99–114. (<https://doi.org/10.1016/j.oceano.2020.10.003>).
- Fischer, J., Wirtz, S. & Scherer, V., 2023, **Random Forest Classifier and Neural Network for Fraction Identification of Refuse-Derived Fuel Images**, Fuel, 341, P. 127712. (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127712>).
- Gholami, D.M. & Jaafari, A., 2020, **Changes in Landward and Seaward Extent of Mangroves in the Coastal Areas of the Hormozgan Province**, Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 18(1), PP. 1–13. (<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106644>).
- زیست‌محیطی انجام شود. از سویی، تغییرات کاربری‌ها باید در خارج از مرز مدیریتی منطقه محدود شود تا کاهش یکپارچگی و ازهم‌گسیختگی زیستگاه، در این رویشگاه‌های طبیعی، به حداقل برسد.
- بدین ترتیب کاهش تأثیرات نامطلوب ناشی از تغییرات کاربری اراضی در این منطقه نیازمند مدیریتی یکپارچه در بهره‌وری صحیح از این منابع طبیعی و برنامه‌ریزی مناسب برای آن است. به‌علاوه یافته‌های این مطالعه می‌تواند، در ایجاد فرصت توسعه راهبردهای مناسب به‌منظور حفاظت از جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم و احیای این رویشگاه‌ها، به‌ذی‌نفعان کمک کند.
- ۶- سپاسگزاری**
- این مقاله با همکاری و مساعدت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF)، برگرفته از طرح شماره ۴۰۰۵۹۷۲، به انجام رسیده است.
- ۷- منابع**
- Adame, M.F., Connolly, R.M., Turschwell, M.P., Lovelock, C.E., Fatoyinbo, T., Lagomasino, D., Goldberg, L.A., Holdorf, J., Friess, D.A. & Sasmito, S.D., 2021, **Future Carbon Emissions from Global Mangrove Forest**, Loss. Glob. Chang. Biol., 27, PP. 2856–2866. (<https://doi.org/10.1111/gcb.15571>).
- Aghaei, M., Khavarian, H. & Mostafazadeh, R., 2020, **Prediction of Land Use Changes Using the CA-Markov and LCM Models in the Kozehtopraghi Watershed in the Province of Ardabil**, Watershed Management Research Journal, 33(3), PP. 91–107. (<https://doi.org/10.22092/wmej.2019.128009.1267>).
- Ahmad, H., Abdallah, M., Jose, F., Elzain, H.E., Bhuyan, M.S., Shoemaker, D.J. & Selvam, S., 2023, **Evaluation and Mapping of Predicted Future Land Use Changes Using Hybrid Models in a Coastal Area**, Ecological Informatics, 78, P. 102324. (<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102324>).
- Amoah, M.K.M., 2022, **Mapping Wetlands Using GIS and Remote Sensing Techniques**,

- Girma, R., Fürst, Ch & Moges, A., 2022, **Land Use Land Cover Change Modeling by Integrating Artificial-Neural-Network with Cellular Automata-Markov Chain Model in Gidabo River Basin, Main Ethiopian Rift**, Environmental Challenges, 6, P. 100419. (<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100419>).
- Gouvêa, L.P., Serrão, E.A., Cavanaugh, K., Gurgel, C.F., Horta, P.A. & Assis, J., 2022, **Global Impacts of Projected Climate Changes on the Extent and Aboveground Biomass of Mangrove Forests**, Divers. Distrib., 28, PP. 2349–2360. (<https://doi.org/10.1111/ddi.13631>).
- Hakim, L., Siswanto, D. & Makagoshi, N., 2017, **Mangrove Conservation in East Java: The Ecotourism Development Perspectives**, Journal of Tropical Life Science, 7 (3), PP. 277–285. (<https://doi.org/10.11594/jtls.07.03.14>).
- Hall, C.M., 2001, **Trends in Ocean and Coastal Tourism: The End of the Last Frontier?**, Ocean & Coastal Management, 44(9-10), PP. 601–618. ([https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(01\)00071-0](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(01)00071-0)).
- Hamilton, S.E. & Casey, D., 2016, **Creation of a High Spatio-Temporal Resolution Global Database of Continuous Mangrove Forest Cover for the 21st Century (CGMFC-21)**, Global Ecology and Biogeography, 25(6), PP. 729–738. (<https://doi.org/10.1111/geb.12449>).
- Idajati, H., Pamungkas, A. & Kukinul Siswanto, V., 2016, **The Level of Participation in Mangrove Ecotourism Development, Wonorejo Surabaya**, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 227, PP. 515–520. (<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.109>).
- Islam, K., Rahman, M.F. & Jashimuddin, M., 2018, **Modeling Land Use Change Using Cellular Automata and Artificial Neural Network: The Case of Chunati Wildlife Sanctuary, Bangladesh**, Ecological Indicators, 88, PP. 439–453. (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.047>).
- Jafarnia, S., Hojjati, S.M. & Kooch, Y., 2012, **The Effect of Soil and Water Characteristics on the Vegetative Parameters of Hara Trees in the Qeshm Mangrove Habitat, Hormozgan Province**, Environmental Sciences, 9 (4), PP. 133–148. (https://envs.sbu.ac.ir/article_96416.html?lang=en).
- Jahdi, R., 2023, **Land Use Changes Modeling and Future Predictions Using CA-ANN Simulation in the Watershed of 25 (Shenroud, Siahkal)**, Journal of Geography and Environmental Studies, 12 (46), PP. 164–179. (<https://doi.org/20.1001.1.20087845.1402.12.46.10.4>).
- John, J., Nandhini, A., Velayudhaperumal Chellam, P. & Sillanpää, M., 2022, **Microplastics in Mangroves and Coral Reef Ecosystems: A Review**, Environ. Chem. Lett., 20, PP. 397–416. (<https://doi.org/10.1007/s10311-021-01326-4>).
- Kamran, Khan, A.K., Khayyam, U., Waheed, A. & Khokhar, M.F., 2023, **Exploring the Nexus between Land Use Land Cover (LULC) Changes and Population Growth in a Planned City of Islamabad and Unplanned City of Rawalpindi, Pakistan**, Heliyon, 9 (2), P. e13297. (<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13297>).
- Karimzadeh Motlagh, Z., Lotfi, A., Pourmanafi, S. & Ahmadizadeh, S., 2022, **Evaluation and Prediction of Land-Use Changes Using the CA_Markov Model**, Geography and Environmental Planning, 33(2), PP. 63–80. (<https://doi.org/10.22108/gep.2022.130601.1458>).
- Khan, A.R., Khan, A., Masud, S. & Rahman, R.M., 2021, **Analyzing the Land Cover Change and Degradation in Sundarbans Mangrove Forest Using Machine Learning and Remote Sensing Technique**, In Advances in Computational Intelligence: 16th International Work-Conference on Artificial Neural Networks, IWANN 2021, Virtual Event, June 16–18, 2021, Proceedings, Part II 16 (PP. 429–438), Springer International Publishing. (https://doi.org/10.1007/978-3-030-85099-9_35).

- Lacaux, J.P., Tourre, Y.M., Vignolles, C., Ndione, J.A. & Lafaye, M., 2007, **Classification of Ponds from High-Spatial Resolution Remote Sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal**, *Remote Sens. Environ.*, 106, PP. 66–74. (<https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.012>).
- Lambin, E.F., Geist, H.J. & Lepers, E., 2003, **Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions**, *Annual Review of Environment and Resources*, 28, PP. 205–241. (<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>).
- Liu, J., Dietz, T., Stephen, R., Carpenter, S.R. & Taylor, W.W., 2007, **Complexity of Coupled Human and Natural Systems**, *Science*, 317(5844). (<https://doi.org/10.1126/science.1144004>).
- Lotfikhah, S., Frouzd, M. & Danehkar, A., 2018, **Coastal Management Plan (SMP) of Hormozgan Province. Review Plan for Integrated Management Studies of Coastal Areas of Hormozgan Province**, Iran's Structural Consulting Engineers. (General Directorate of Coastal and Port Engineering, Vice-Chancellor of Engineering and Development of Infrastructure Affairs, Ports and Maritime Organization of the Islamic Republic of Iran).
- Mafi-Gholami, D., Zenner, E.K., Jaafari, A. & Bui, D.T., 2020, **Spatially Explicit Predictions of Changes in the Extent of Mangroves of Iran at the End of the 21st Century**, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 237, P. 106644. (<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106644>).
- McDonald, A.D., Ferris, T.K. & Wiener, T.A., 2020, **Classification of Driver Distraction: A Comprehensive Analysis of Feature Generation, Machine Learning, and Input Measures**, *Human Factors*, 62(6), PP. 1019–1035. (<https://doi.org/10.1177/0018720819856454>).
- Mirzaei, A., 2021, **Proportion Measurement of Territorial Waters of Hormozgan Province for Marine Tourism Activities Zoning**, Master's Thesis in the Field of Natural Resources-Environmental Engineering, Agriculture and Natural Resources Campus, Faculty of Natural Resources, Tehran.
- Morshed, S.R., Fattah, Md.A., Haque, Md.N. & Morshed, S.Y., 2021, **Future Ecosystem Service Value Modeling with Land Cover Dynamics by Using Machine Learning Based Artificial Neural Network Model for Jashore City, Bangladesh**, *Physics and Chemistry of the Earth*, 126, P. 103021. (<https://doi.org/10.1016/j.pce.2021.103021>).
- Munthali, M., Mustak, Sk., Abiodun, A. & Davis, N., 2020, **Modelling Land Use and Land Cover Dynamics of Dedza District of Malawi Using Hybrid Cellular Automata and Markov Model**, *Remote Sensing Applications Society and Environment*, 17(4), P. 100276. (<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100276>).
- Petrosian, H., Danekar, A., Ashrafi, S. & Fegghi, J., 2017, **Analysis of Rhizophora Mucronata Habitat Condition by Comparing Environmental Variables in Mangrove Forest of Sirik, Minab and Jask Habitats in Coastline of Oman Sea**, *Forest and Wood Products*, 70(1), PP. 39–48. (https://jfwf.ut.ac.ir/article_61609.html?lang=en).
- Quang, N.H., Quinn, C.H., Carrie, R., Stringer, L.C., Hue, L.T.V., Hackney, Ch.R. & Tan, D.V., 2021, **Comparisons of Regression and Machine Learning Methods for Estimating Mangrove Above-Ground Biomass Using Multiple Remote Sensing Data in the Red River Estuaries of Vietnam**, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, P. 100725. (<https://eprints.whiterose.ac.uk/185739/>).
- Rayegani, B., 2019, **Investigating the threats of mangrove forests with the help of remotely sensed data**, *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 6 (2), PP. 53-68. (<https://doi.org/10.29252/jsaeh.6.2.53>).
- Sagar, S., Roberts, D., Bala, B. & Lymburner, L., 2017, **Extracting the Intertidal Extent and Topography of the Australian Coastline from a 28 Year Time Series of Landsat**

- Observations**, Remote Sensing of Environment, 195, PP. 153–169. (<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.009>).
- Sejati, A.W., Buchori, I. & Rudiarto, I., 2019, **The Spatio-Temporal Trends of Urban Growth and Surface Urban Heat Islands over Two Decades in the Semarang Metropolitan Region**, Sustainable Cities and Society, 46(101432). (<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101432>).
- Shafizadeh-Moghadam, H., 2019, **Improving Spatial Accuracy of Urban Growth Simulation Models Using Ensemble Forecasting Approaches**, Computers, Environment and Urban Systems, 76, PP. 91–100. (<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.04.005>).
- Shimu, S.A., Aktar, M., Afjal, M.I., Nitu, A.M., Uddin, M.P. & Al Mamun, M., 2019, **NDVI Based Change Detection in Sundarban Mangrove Forest Using Remote Sensing Data**, In 2019 4th International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT) (PP. 1-5). IEEE.
- Sobhani, P. & Danehkar, A., 2023a, **Natural Features and Management Areas of Khamir and Qeshm Mangrove Forests**, Iran Nature, 8(4), PP. 97–112. (<https://doi.org/10.22092/irn.2023.362533>).
- Sobhani, P. & Danehkar, A., 2023b, **Spatial-Temporal Changes in Mangrove Forests for Analyzing Habitat Integrity: A Case of Hara Biosphere Reserve, Iran**, Environmental and Sustainability Indicators, 100293. (<https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100293>).
- Sobhani, P., Esmailzadeh, H. & Mostafavi, H., 2021, **Simulation and Impact Assessment of Future Land Use and Land Cover Changes in Two Protected Areas in Tehran, Iran**, Sustainable Cities and Society, 75, P. 103296. (<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103296>).
- Subedi, P., Subedi, K. & Thapa, B., 2013, **Application of a Hybrid Cellular Automaton – Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida**, Applied Ecology and Environmental Sciences, 1(6), PP. 126–132. (<https://doi.org/10.12691/aees-1-6-5>).
- Sudhana, S.A., Sakti, A.D., Syahid, L.N., Prasetyo, L.B., Irawan, B., Kamal, M. & Wikantika, K., 2020, **Detecting Mangrove Deforestation Using Multi Land Use Land Cover Change Datasets: A Comparative Analysis in Southeast Asia**, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 500(1), P. 012014. IOP Publishing. (<https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012014>).
- Statistical Center of Iran, 2016. **Results of the General Population and Housing Census**, Office of the Director, Public Relations and International Cooperation, PP. 1-150. (<https://amar.org.ir/>).
- Verburg, P.H., Overmars, K.P., Huigen, M.G.A., de Groot, W.T. & Veldkamp, A., 2006, **Analysis of the Effects of Land Use Change on Pas**, Applied Geography, 26(2), PP. 153–173. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2005.11.005>).
- Walters, B.B., Rönnbäck, P., Kovacs, J.M., Crona, B., Hussain, S.A., Badola, R. & Dahdouh-Guebas, F., 2009, **Erratum to "Ethnobiology, Socio-Economics and Management of Mangrove Forests: A Review"**, Aquatic Botany, 90(3), PP. 273–273. (<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009>).
- Wang, W., Fu, H., Lee, S.Y., Fan, H. & Wang, M., 2020, **Can Strict Protection Stop the Decline of Mangrove Ecosystems in China? From Rapid Destruction to Rampant Degradation**, Forests, 11(1), P. 55. (<https://doi.org/10.3390/f11010055>).
- Wibowo, A. & Supriatna, S., 2011, **Coastal Environmental Vulnerability on Coastal Cities in Indonesia**, Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 3(2). (<https://doi.org/10.28930/jitkt.v3i2.7818>).
- Xia, Q., Qin, C.Z., Li, H., Huang, C., Su, F.Z. & Jia, M.M., 2020, **Evaluation of Submerged Mangrove Recognition Index Using Multi-Tidal Remote Sensing Data**, Ecol. Indic., 113, P. 106196. (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106196>).

- Yaghoubzadeh, M., Salmanmahiny, A., Moslehi, M., Danehkar, A. & Tabrizi, A.R.M., 2021, **Investigation of Port Effects on Vegetative and Reproductive Characteristics of Grey Mangrove (*Avicennia Marina* (Forssk.) Vierh.) of Iran**, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 28(3), PP. 244–256. (<https://doi.org/10.22092/IJFPR.2020.342904> .1930).
- Zhang, L., Huettmann, F., Liu, S., Sun, P., Yu, Z., Zhang, X. & Mi, C., 2019, **Classification and Regression with Random Forests as a Standard Method for Presence-Only Data SDMs: A Future Conservation Example Using China Tree Species**, Ecological Informatics, 52, PP. 46–56. (<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.05.003>).
- Zhang, J., Li, X., Zhang, C., Yu, L., Wang, J., Wu, X. & Shi, T., 2022, **Assessing Spatiotemporal Variations and Predicting Changes in Ecosystem Service Values in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area**, GIScience & Remote Sensing, 59(1), PP.184–199. (<https://doi.org/10.1080/15481603.2021.2022427>).