Vol. 6, No. 11, Autumn & Winter 2024-25

Shahid Beheshti University

Sustainable Development of Geographical Environment

Journal homepage: https://egsdejournal.sbu.ac.ir

SDGE

Investigating and Predicting Trend of Land Cover/Land Use Changes in Coastal Habitat of Kiashahr Lagoon

Elnaz Soleymani Asl [1], **Afshin Alizadeh Shabani** [1], **Afshin Danehkar** [1*], **Parvaneh Sobhani** [2]

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

ARTICLE INFO

Keywords:

- Land Use/ Land Cover Changes
- Landsat Satellite
- Markov Chain and Cellular Automata Model (CA-Markov)
- Kiashahr Lagoon

Research Article

Received: 15/08/2024
Accepted: 31/12/2024

ABSTRACT

One of the most important human threats is land cover/use changes that lead to the destruction of biodiversity, especially in wetland habitats. In this study, these changes were investigated in Kiashahr Lagoon's Port during the years of 2007, 2014 and 2022 using Landsat Satellite images in Google Earth Engine system and classifying them with Random Forest Algorithm. Also, in order to predict the changes in the future, a CA-Markov model was used for the year 2050. According to the results, the highest increase was attributed to man-made lands in 2007 (588.02 ha) compared to 2022 (773.81 ha) and the lowest changing trend was attributed to access channel in 2007 (17.57 ha) compared to 2022 (11.85 ha). The results of the CA-Markov model also indicated that man-made forest will have the highest increasing trend among existing land uses in 2050 (422.48 ha) compared to 2022 (403.03 ha) and agricultural lands will have the highest decreasing trend in 2050 (48.667 ha) compared to 2022 (92.707 ha). Also in 2050, man-made lands, vegetation, bare lands, sea sides and man-made forest displayed an increasing trend and seaside, agricultural lands, the main branch of water (Sefidrood), access channel and water area displayed a decreasing one. Therefore, in order to minimize the adverse effects of these changes and to control them in the future, it is required to use integrated management in the correct utilization of this precious resource. The findings of this study can help stakeholders to develop appropriate strategies in this wetland ecosystem.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Citation: Soleymani Asl, E.; Alizadeh Shabani, A.; Danehkar, A. & Sobhani, P. (2024). Investigating and Predicting Trend of Land Cover/Land Use Changes in Coastal Habitat of Kiashahr Lagoon. *Sustainable Development of Geographical Environment*. Vol. 6, No. 11, (101-116).
https://doi.org/10.48308/sdge.2024.236577.1209

* Corresponding Author's Email: danehkar@ut.ac.ir

Vol. 6, No. 11, Autumn & Winter 2024-25

Shahid Beheshti University

Sustainable Development of Geographical Environment

Journal homepage: https://egsdejournal.sbu.ac.ir

SDGE

Extended Abstract

Background and purpose

Coastal wetlands are transitional land-to-sea ecosystems that provide a wide range of benefits from ecosystem services, especially in supporting livelihood opportunities for vatious wildlife species. However, due to human activities, wetlands are continuously being degraded worldwide. The degradation and loss of these natural ecosystems threaten most of the natural resources used by local communities and wildlife-dependent resources. Any change in wetland ecosystems can also affect adjacent, upstream, and downstream ecosystems. For this purpose, examining the extent of changes in these areas is one of the main effective methods to prevent the degradation and loss of these sensitive areas. Therefore, the present study examined the extent of changes in land cover and use around the Kiashahr Lagoon in Boujagh National Park, one of the country's important bird areas and one of Iran's important sites in the Ramsar Convention.

Methodology

In this study, the trend of land cover/use changes was examined over 15 years. Landsat 5 (TM) satellite images for 2007 and Landsat 8 (OLI-TIRS) for 2014 and 2022 were classified and analyzed in the Google Earth Engine (GEE) web-based system. For classification, the Random Forest (RF) algorithm was used due to its remarkable accuracy and precision compared to other classification methods. Due to the maximum growth and density of vegetation in the region, satellite images were selected from May to August. In this study, NDVI and NDWI indices were used to better distinguish vegetation and water areas. Finally, validation was performed using the overall accuracy method and the kappa coefficient. The final result included 10 classes of water area, waterside, seaside, the main branch (Sefidrud), access channel, vegetation, hand-planted forest, agricultural land, bare land, and man-made land. To predict and model the changing trend for the year 2050, a combined Markov chain and autonomous cell (CA-Markov) model was used in the Idrisi Terr Set software.

Findings and discussion

According to the results of the changes between 2007 and 2022, the highest increase was related to man-made lands by 25.5 percent and the highest decrease was related to agricultural lands by 98.3 percent, the main reasons for which are the conversion of agricultural land to man-made land and the development of human activities in this area. Likewise, the waterside decreased by 81.3 percent, the water area by 68.2 percent, the main branch (Sefidrud) by 0.42 percent, and the access channel by 0.16 percent in 2022 compared to 2007. These results can indicate the development of human activities and industrialization as well as the trend of climate change in this region during the studied years, which has led to a decrease in the level of water resources, including waterside, seaside, and the main branch (Sefidrud). The forecast results of the CA-Marcove model also showed that by 2050, the highest increase trend among existing land cover/uses will be in hand-planted forests at 0.57 percent. This is while agricultural land will have the largest decline with 1.15 percent.

Conclusion

Based on the results, continued land cover/use changes in Kiashahr Lagoon could lead to the destruction and extinction of the region's biodiversity. Given the importance of this area as part of a national park and a highly sensitive coastal marine habitat, minimizing these adverse effects and controlling them in the coming years requires appropriate and integrated planning for the proper exploitation of this natural resource. It is worth noting that the findings of this study could provide an opportunity to advance optimal solutions for the protection of Kiashahr Lagoon and the restoration of this wetland ecosystem, and to further control and monitor human activities in this sensitive coastal area.

Keywords: Land Use/ Land Cover Changes, Landsat Satellite, Markov Chain and Cellular Automata Model (CA-Markov), Kiashahr Lagoon.

توسعه پایدار محیط جغرافیایی
Journal homepage: https://egsdejournal.sbu.ac.ir
SDGE
Shahid Beheshti University

بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات پوشش/ کاربری‌های اراضی در زیستگاه ساحلی کولاب کیاشهر[1]

الناز سلیمانی اصل [1] ، افشین علیزاده شعبانی [1] ، افشین دانه‌کار [*1] ، پروانه سبحانی [2]

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

اطلاعات مقاله

واژه‌های کلیدی:
- تغییرات پوشش/کاربری اراضی
- تصاویر ماهواره‌ای لندست
- مدل زنجیره‌ای مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov)
- کولاب کیاشهر

مقاله: پژوهشی
(مستخرج از رساله دکترا)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱

چکیده

یکی از مهمترین تهدیدات انسانی، تغییرات پوشش/کاربری اراضی بوده که منجر به نابودی تنوع زیستی به خصوص در زیستگاه‌های تالابی شده است. لذا در مطالعه حاضر به بررسی این تغییرات در کولاب بندر کیاشهر طی سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تحت سامانه گوگل ارث انجین و طبقه‌بندی تصاویر به روش جنگل تصادفی پرداخته شد. به‌منظور پیش‌بینی روند تغییرات آتی در منطقه، از مدل ترکیبی CA-Markov برای سال ۲۰۵۰ استفاده شد. مطابق نتایج، بیشترین روند افزایشی به اراضی انسان‌ساخت در سال ۲۰۰۷ (۵۸۸/۰۲ هکتار) در مقایسه با سال ۲۰۲۲ (۷۷۳/۸۱ هکتار) و کمترین روند تغییرات به کانال دسترسی (۱۷/۵۷ هکتار) در سال ۲۰۰۷ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ (۱۱/۸۵ هکتار) اختصاص یافت. نتایج مدل CA-Markov نیز نشان داد که جنگل‌های دست‌کاشت در بین کاربری‌های موجود در سال ۲۰۵۰ (۴۲۲/۴۸ هکتار) در مقایسه با سال ۲۰۲۲ (۴۰۳/۰۳ هکتار) بیشترین روند افزایشی و اراضی کشاورزی در سال ۲۰۵۰ (۶۶۷/۴۸ هکتار) در مقایسه با سال ۲۰۲۲ (۷۰۷/۹۲ هکتار) بیشترین روند کاهشی را خواهند داشت. همچنین در سال ۲۰۵۰ اراضی انسان‌ساخت، پوشش گیاهی، اراضی بایر، دریاکنار و جنگل دست‌کاشت روند افزایشی و آب کرانه، اراضی کشاورزی، شاخابه اصلی (سفیدرود)، کانال دسترسی و پهنه آبی روند کاهشی را نشان می‌دهند. لذا ضروری است جهت به حداقل رساندن اثرات نامطلوب ناشی از این تغییرات و کنترل تداوم آن در آینده، مدیریتی یکپارچه جهت بهره‌وری هر چه صحیح‌تر از این منبع طبیعی اتخاذ شود. همچنین یافته‌های این مطالعه می‌تواند به ذینفعان در توسعه راهبردهای مناسب و احیای این زیست‌بوم تالابی کمک نماید.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

استناد: سلیمانی اصل، ا.؛ علیزاده شعبانی، ا.؛ دانه‌کار، ا. و سبحانی، پ. (۱۴۰۳). بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات پوشش/ کاربری‌های اراضی در زیستگاه ساحلی کولاب کیاشهر. *توسعه پایدار محیط جغرافیایی*، دوره ٦، شماره ١١، (١١٦-١٠١).
https://doi.org/10.48308/sdge.2024.236577.1209

* رایانامه نویسنده مسئول: (danehkar@ut.ac.ir)

[1] . این مقاله مستخرج از پایان نامه نویسنده اول بوده که به راهنمایی اساتید محترم به انجام رسیده است.

مقدمه

تالاب‌ها به دلیل عملکردهای بوم‌شناختی چندگانه، جزو مهم‌ترین زیستگاه‌های حیات‌وحش در هر کشوری محسوب می‌شوند که با ذخیره آب، غذا و برخورداری از تنوع زیستی بالا، خدمات متعددی به مردم و به‌ویژه حاشیه‌نشینان عرضه می‌کنند (Alikhani, et al., 2021). از طرفی دیگر تالاب‌ها به عنوان مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های طبیعی، در بقای بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری و به‌ویژه پرندگان بومی شناخته شده‌اند (Zhang, et al., 2020). در این میان تالاب‌های ساحلی با ارائه خدمات اکوسیستمی متنوع هم‌چون ذخیره و تصفیه آب، تولید مواد غذایی، ایجاد عوامل حفاظتی در برابر سیلاب و ذخیره کربن هوا، منبع بسیار ارزشمندی هستند که به تأمین نیازها و رفاه انسانی کمک می‌کنند (Xu, et al., 2020). امروزه تغییرات اقلیم و فعالیت‌های بشری در تالاب‌های سراسر جهان منجر به کاهش حجم آب و افزایش تغییرات پوشش/کاربری اراضی در این مناطق شده است. همچنین افزایش روزافزون جمعیت و شهرنشینی در سطح جهان به دلیل افزایش فشار بر عرصه‌های طبیعی و بهره‌وری‌های بی‌رویه و غیراصولی از اراضی، به عنوان عمده‌ترین تهدیدات در اکوسیستم‌های تالابی شناخته شده است (Sahana, et al., 2022). تبدیل و از بین رفتن تالاب‌های ساحلی، رودخانه‌ای و مردابی به اراضی هم‌چون کشاورزی، شهری و صنعتی، تأثیرات قابل توجهی بر جمعیت و تنوع پرندگان آبزی داشته است به‌طوری‌که نیمی از حیات‌وحش تهدید شده و در معرض انقراض قرار گرفته‌اند (Musasa, et al., 2023). ازاین‌رو تالاب‌ها و حیات‌وحش آن‌ها به عنوان یکی از در معرض خطرترین اکوسیستم‌های جهان محسوب می‌شوند که به دلیل فشارهای انسانی، تنوع زیستی آن‌ها رو به کاهش است (Assefa and Eneyew, 2021).

از مهم‌ترین پیش‌نیازهای اساسی برای بهینه‌سازی استفاده از اراضی و میزان بهره‌وری از منابع زیستی درک اطلاعات مربوط به کاربری اراضی و آگاهی از تغییرات آن‌ها در طول زمان است (Sobhani, et al., 2021/a; Castro and Lechthaler, 2022). این امر می‌تواند به پایش و کنترل مناطقی که تحت تأثیر تهدیدات محیط زیستی هستند کمک نماید (Sobhani and Daneh Kar, 2024). بنابراین درک روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مختلف می‌تواند به مدیریت مؤثر این مناطق و کاهش پیامدهای محیط زیستی کمک نماید (Sobhani and Esmaeilzadeh, 2021). بدین‌ترتیب با بررسی روند تغییرات بوم‌سازگان تالابی می‌توانیم پیش‌بینی بهتری از آینده آن‌ها داشته باشیم. در این راستا، سوالات تحقیق عبارتند از: طی سال‌های مورد مطالعه (۲۰۰۷-۲۰۲۲) توسعه فعالیت‌های انسانی تا چه میزان منجر به تغییرات کاربری اراضی در این منطقه شده است؟ کدامیک از طبقات کاربری اراضی بیشترین روند تغییرات را در این سال‌ها نشان می‌دهد؟ با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل مارکوف و زنجیره‌های خودکار، روند تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۵۰ چه وضعیتی خواهد داشت؟

مبانی نظری و پیشینه

تغییرات کاربری اراضی که شامل دخالت‌های مستقیم و غیرمستقیم انسان می‌شود، می‌تواند حدود نیمی از سطح زمین را تحت تغییرات جدی قرار دهد (Xie, et al., 2024; Sobhani and Danehkar, 2023). ازاین‌رو، کاربری اراضی همواره یکی از مهمترین عواملی است که انسان می‌تواند محیط زیست خود را تحت تأثیر قرار دهد و اطلاع از چگونگی این تغییرات نقش بسزایی در مدیریت و برنامه‌ریزی سرزمین دارد (Nuissl and Siedentop, 2021; Sobhani and Danehkar, 2025). همچنین در استقرار کاربری‌ها و توسعه فعالیت‌ها، لزوم بهره‌برداری بهینه از منابع سرزمین همراه با حفاظت اصولی و جلوگیری از تخریب آن‌ها، با هدف نیل به توسعه پایدار امری ضروری است (Sobhani and Esmaeilzadeh, 2021). با توجه به اهمیت این موضوع مطالعات متعددی در این خصوص صورت گرفته است که می‌توان به مطالعه Sibanda and Tsuyuki (2022) در بررسی تغییرات پوشش/کاربری اراضی منطقه Hurungwe زیمبابوه طی سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست اشاره کرد. نتایج به‌دست

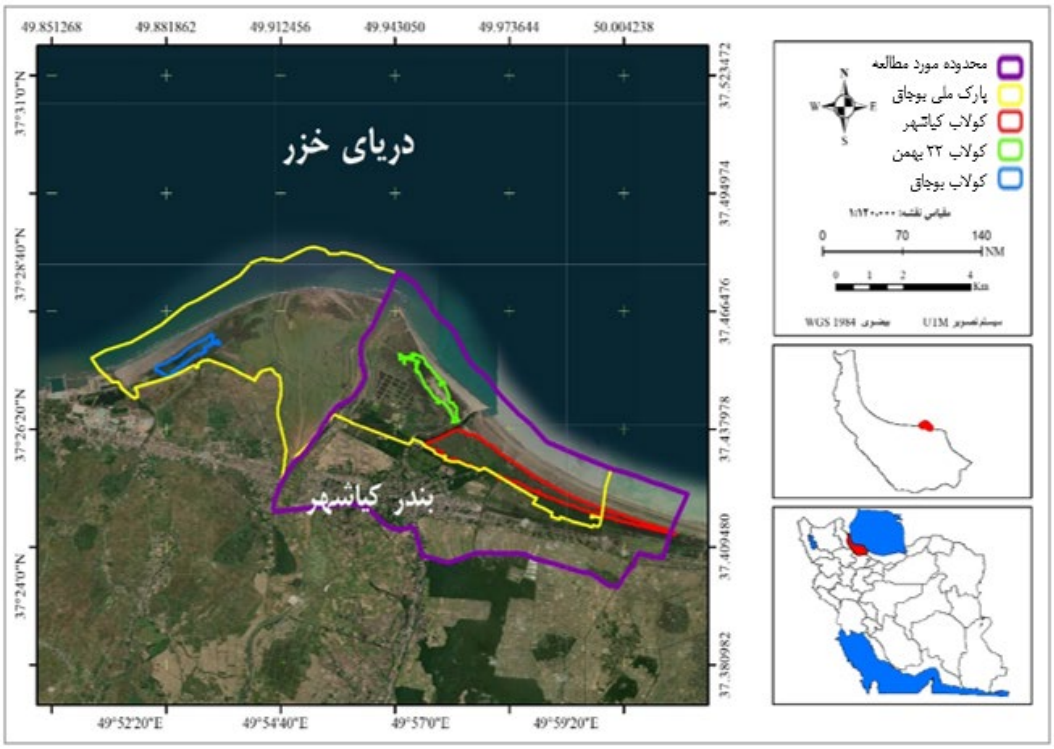
آمده نشان داد که سطح جنگل‌ها و درختچه‌ها در این منطقه روند کاهشی داشته است و زمین‌های زراعی، پهنه‌های آبی و زمین‌های بایر نیز روند افزایشی را نشان می‌دهند. همچنین نتایج پیش‌بینی مدل CA-Markov حاکی از آن است که تا سال ۲۰۳۰، حدود ۷ درصد از اراضی جنگلی کاهش می‌یابد و به زمین‌های زراعی، بوته‌زارها و سکونتگاه‌ها تبدیل خواهد شد. در مطالعه‌ای دیگر تغییرات پوشش/کاربری اراضی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در منطقه Koah Nheaek با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی شده است.. مطابق نتایج به‌دست آمده، اراضی جنگلی بیشترین روند کاهشی را طی سال‌های مورد مطالعه داشته است، در حالی‌که درختچه‌های چوبی، علفزار، باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی روند افزایشی را نشان می‌دهند. همچنین نتایج پیش‌بینی حاکی از تخریب ۱۶ درصدی اراضی جنگلی در این منطقه است (Teck, et al., 2023). در پژوهشی دیگر تغییرات کاربری اراضی حوزه گرگان رود طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سامانه تحت وب گوگل ارث انجین ارزیابی شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین تغییرات مساحت کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۷ مربوط به زمین‌های زراعی و کمترین میزان در سال ۱۳۷۹ مربوط به پهنه‌های آبی است (Mohammadi, et al., 2023). Moghani Rahimi and Mazidi (2024) نیز به بررسی تغییرات تالاب هورالعظیم با استفاده از تصاویر لندست ۸ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که وسعت محدوده از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ روند کاهشی داشته است. همچنین نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر حاکی از کاهش پوشش‌های گیاهی و منابع آبی و افزایش اراضی بایر و شوره‌زار در دوره‌های مورد بررسی است. مطابق مطالعات صورت گرفته، طی دهه‌های اخیر روند تغییرات تالاب‌ها و پوشش گیاهی آن‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. از این‌رو، روند پایش تغییرات پوشش/کاربری اراضی به منظور مدیریت و کنترل این تغییرات از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا زیستگاه ساحلی کولاب کیاشهر نیز از این امر مستثنی نیست و با توجه به تغییرات ایجاد شده در این منطقه، بررسی و پایش این تغییرات امری ضروری است. مطابق مستندات موجود در کنوانسیون رامسر، کولاب بندرکیاشهر و دهانه سفیدرود، پس از سال ۱۳۷۱ با احداث بندر صیادی، دو نیمه شد و بعد از گذشت چند سال جبهه غربی کولاب رو به خشکی گذاشته است. همچنین با توجه به توسعه شهرنشینی و روند تغییرات اقلیمی سطح تراز آب دریا و پهنه‌های آبی در این منطقه کاهش یافته است (Bagherzadeh Karimi and Rouhani Rankouhi, 2007). با توجه به بررسی‌های صورت گرفته تا کنون مطالعاتی بر روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی کولاب ساحلی کیاشهر در بلندمدت و همچنین پیش‌بینی روند این تغییرات طی سال‌های آتی انجام نشده است. ازاین‌رو در مطالعه حاضر به دلیل ضرورت بررسی کمی این تغییرات در سال‌های گذشته و پیش‌بینی وضعیت آتی این بوم‌سازگان منحصربفرد، تغییرات پوشش/کاربری اراضی در زیستگاه ساحلی کولاب کیاشهر طی سال‌های ۲۰۰۷ ، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ و همچنین پیش‌بینی روند این تغییرات در سال ۲۰۵۰ بررسی شده است. بدین‌ترتیب مطالعه حاضر تکمیل کننده سایر مطالعات از نظر بررسی کمی روند تغییرات بلندمدت پوشش/کاربری اراضی در زیستگاه تالاب ساحلی کیاشهر و همچنین پیش‌بینی تغییرات در سال‌های آتی (تا سال ۲۰۵۰) است.. همچنین نتایج این مطالعه می‌تواند به تصمیم سازان و برنامه‌ریزان در کنترل روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی، نظارت بر فعالیت‌های بی‌رویه انسانی و کند نمودن روند ناپایداری در این منطقه کمک نماید.

روش‌شناسی

محدوده مورد مطالعه

کولاب کیاشهر در استان گیلان، شهرستان آستانه اشرفیه، بخش و دهستان کیاشهر واقع شده است. این کولاب در منتهی‌الیه شانه رسوبی شرق دلتای سفیدرود در داخل پارک ملی ساحلی-دریایی بوجاق (به‌عنوان یکی از ۲۶ سایت کشور در فهرست تالاب‌های بین‌المللی کنوانسیون رامسر) دارای مساحتی برابر با ۲۱۶ هکتار است (Bagherzadeh Karimi and Rouhani Rankouhi, 2007). کولاب بندرکیاشهر و دهانه سفیدرود در تاریخ ۱۳۵۴/۰۶/۲۳ به مساحت

۵۰۰ هکتار در فهرست تالاب‌های بین‌المللی کنوانسیون رامسر به ثبت رسید (Feizizade and Hajimirrahimi, 2009). این کولاب از شمال به دریای خزر، از جنوب به شهر بندر کیاشهر و روستای امیرکیاسر، نهالستان‌های صنوبر و پارک جنگلی و از شرق به آبگیرهای کوچک و بزرگ و تاسیسات صدا و سیما و از غرب به کانال دسترسی بندرگاه صیادی کیاشهر محدود می‌شود. از مهم‌ترین گونه‌های جانوری این کولاب می‌توان به گروهی از پرندگان مهاجر زمستان‌گذران شامل پلیکان‌ها، فلامینگوها، غازها و قوها، کنار آبزی‌های مهاجر، کاکایی‌ها و پرستوهای دریایی اشاره نمود. این کولاب همچنین توسط سازمان بین‌المللی حیات پرندگان به عنوان زیستگاه با اهمیت پرندگان تشخیص داده شده است. علاوه براین، کولاب بندرکیاشهر یکی از مقاصد اصلی گردشگری در پارک ملی بوجاق است که به دلیل دارا بودن مکان‌هایی مناسب جهت تخم‌ریزی ماهیان و زادآوری و زمستان‌گذرانی انواع پرندگان آبزی، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (Reihanian, et al., 2012). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه، (سال ۱۴۰۳)

روش

طی سال‌های اخیر، با استفاده از قابلیت داده‌های چند طیفی سنجش از دور و توسعه فرآیند پردازش تصاویر رقومی، امکان تحلیل پوشش/کاربری اراضی فراهم شده است (Wang, et al., 2003). این فناوری به کمک تصاویر ماهواره‌ای منبع مهمی از داده‌های مربوط به کاربری اراضی را فراهم می‌سازد که می‌تواند در پایش تغییرات آن‌ها، با سرعت و دقتی بالا به‌گونه‌ای مؤثر مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس در این مطالعه به‌منظور بررسی روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی طی یک دوره ۱۵ ساله (سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲) از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM سال ۲۰۰۷ و OLI_TIRS برای سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱، مطابق جدول ۱ در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین (GEE)[1] استفاده شد (U.S. Geological Survey (USGS)). تصاویر منتخب مربوط به اواخر ماه می تا آگوست سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱ با توجه به رشد حداکثری پوشش گیاهی و زمان پوشش سبز غالب گونه‌های گیاهی منطقه است.

در مطالعه حاضر از شاخص NDVI[۲] برای تمایز و تفکیک پوشش گیاهی از سایر طبقات کاربری اراضی، مطابق رابطه ۱ استفاده شد. این شاخص، یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها بر روی داده‌های سنجش از راه دور است که در این رابطه، R و NIR به‌ترتیب موج‌های قرمز مرئی و مادون قرمز نزدیک هستند. شاخص NDVI مقادیر نرمال شده بین ۱- و ۱+ را شامل می‌شود، به‌طوری‌که مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم به دلیل انعکاس نسبتاً بالایی در محدوده مادون قرمز نزدیک و انعکاس کم در محدوده قرمز مرئی، مقادیر بالای NDVI را دارند (Shimu et al., 2019).

رابطه ۱)
$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

علاوه بر این، به‌منظور تفکیک طبقات کاربری اراضی موجود و همچنین استخراج پهنه‌های آبی از سایر پوشش‌ها (به‌ویژه پوشش‌های گیاهی) از شاخص NDWI [۳] استفاده شد (Du et al., 2016). در این شاخص، ارزش‌های بالای صفر نشان‌دهنده پهنه‌های آبی و ارزش‌های مساوی و پایین‌تر از صفر نشان‌دهنده پهنه‌های غیرآبی است. شاخص NDWI مطابق با رابطه ۲، محاسبه می‌شود (Zurmure et al., 2021). در این رابطه، G نشان‌دهنده باند سبز و NIR باند مادون قرمز نزدیک می‌باشد.

رابطه ۲)
$$NDWI = (G - NIR) / (G + NIR)$$

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی

از طریق بازدیدهای میدانی از محدوده مورد مطالعه و قابلیت تصاویر مورد استفاده در استخراج اطلاعات به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی در طی سال‌های مورد مطالعه اقدام شد. لازم به ذکر است که در مطالعه حاضر با توجه به استفاده از سامانه تحت وب GEE نیازی به تصحیح تصاویر مورد مطالعه وجود ندارد و به‌طور مستقیم به طبقه‌بندی تصاویر پرداخته شد. بر این اساس طبقات پوشش/کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه به ۱۰ طبقه شامل پهنه آبی، آب کرانه، دریاکنار، شاخابه اصلی (سفیدرود)، کانال دسترسی، پوشش گیاهی، جنگل دست‌کاشت، اراضی کشاورزی، اراضی لخت و اراضی ساخته‌شده طبقه‌بندی شد. در مطالعه حاضر به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر از روش الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد. این الگوریتم که اغلب به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در توان تفکیک‌های مکانی مختلف به‌کار گرفته می‌شود، نتایج آن از دقت و صحت قابل توجهی در مقایسه با الگوریتم‌های متداول طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبانی و شبکه‌های عصبی را نشان داده است و معرف روش‌های جدید طبقه‌بندی ترکیبی می‌باشد (Breiman, 2001; Kamusoko and Gamba, 2015). روش جنگل تصادفی یک روش طبقه‌بندی نظارت شده و یکی از روش‌های یادگیری ماشین است، که در آن مجموعه‌ای از درخت‌ها به‌منظور تصمیم‌گیری و طبقه‌بندی استفاده می‌شود. این روش به‌دلیل سرعت بالا در مورد داده‌هایی با حجم زیاد و عدم نیاز به داده‌های آموزشی فراوان مورد توجه قرار گرفته است (Akar and Gunger, 2012; Boston et al., 2022).

بارزسازی و پایش تغییرات در حقیقت کشف تغییرات به‌وجود آمده در مکانی است که در فرآیند سنجش از دور این عمل با استفاده از تصاویر دو یا چند زمانه انجام می‌گردد. از این‌رو در این مطالعه، به روش مقایسه تغییرات کاربری‌ها پس از طبقه‌بندی در طی سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ پرداخته شد. همچنین با استفاده از نمونه‌های تعلیمی برداشت شده برای هر کلاس، به طبقه‌بندی تصاویر به روش جنگل تصادفی اقدام گردید. نقاط نمونه‌برداری شده برای هر سال ۱۰۰۰ نمونه، که از مجموعه نمونه‌برداری شده، ۵۰۰ نمونه به‌منظور آموزش الگوریتم و ۵۰۰ نمونه برای ارزیابی طبقه‌بندی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت پس از پایان مرحله طبقه‌بندی تصاویر، از روش صحت کلی به‌منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی و ضریب کاپا استفاده شد. این روش دقت را بر اساس تعداد نمونه‌هایی (پیکسل‌هایی) که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند محاسبه می‌شود. به‌عبارت دیگر تعداد نمونه‌هایی که برای هریک از کلاس‌های مذکور

به درستی طبقه‌بندی شده‌اند به تمامی تعداد نمونه‌های تست شده (بررسی شده) تقسیم می‌شوند (رابطه ۳).

رابطه ۳) صحت کلی = تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده / تعداد کل نمونه‌ها × ۱۰۰

پیش‌بینی روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی

مدل زنجیره‌ای مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov)

امروزه تغییرات و تبدیل پوشش/کاربری اراضی به عنوان یک عامل تهدید در زیستگاه‌های ساحلی کشور شناخته شده است (Sobhani and Daneh Kar, 2024). ازاین‌رو، پایش این تغییرات از طریق تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌بینی و ارزیابی پتانسیل آن‌ها از طریق مدل‌سازی می‌تواند به برنامه‌ریزان محیط زیست و مدیران منابع طبیعی برای تصمیمات آگاهانه‌تر کمک نماید (Sobhani, et al., 2021/b). بر این اساس در مطالعه حاضر به‌منظور فراهم‌سازی این اطلاعات با توجه به مرور منابع مرتبط و بررسی‌های انجام شده، با استفاده از مدل مارکوف به پیش‌بینی روند تغییرات آتی پوشش/کاربری اراضی موجود در محدوده مورد مطالعه برای سال ۲۰۵۰ اقدام شد. زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار به عنوان ابزاری به توصیف تغییرات و فرآیندهای بوم‌سازگان طبیعی در آینده می‌پردازد. همچنین این مدل تغییرات کاربری‌ها را از یک دوره به دوره دیگر مورد تفسیر قرار می‌دهد و از آن به عنوان مبنایی در نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌نماید که این فرآیند با استفاده از یک ماتریس احتمال انتقال، از زمان ۱ به زمان ۲ صورت می‌گیرد (Arkhi and Esfahani, 2019). بر این اساس در این مطالعه پس از پایش روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی از طریق تصاویر ماهواره‌ای طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۲، نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی هر یک تهیه شد. در ادامه به منظور پیش‌بینی روند تغییرات احتمالی در سال ۲۰۵۰ از آنالیز زنجیره مارکوف به‌منظور تعیین احتمال تغییر هر طبقه کاربری به دیگر طبقات کاربری موجود با استفاده از نرم‌افزار Idrisi Terr Set ۲۰۲۰ اقدام گردید. اجرای آنالیز زنجیره مارکوف در این مطالعه به دو منظور صورت گرفت: ۱) تهیه ماتریس اول (ماتریس احتمال انتقال) جهت کالیبراسیون مدل از طریق شبیه‌سازی نقشه پوشش/کاربری اراضی سال ۲۰۲۲ با استفاده از نقشه‌های سال ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ و ۲) تهیه ماتریس دوم به منظور پیش‌بینی نقشه تغییرات پوشش/کاربری اراضی در سال ۲۰۵۰ از طریق نقشه شبیه‌سازی شده در سال ۲۰۲۲ (برابر با یک دوره ۲۸ ساله) می‌باشد. علاوه‌براین، به منظور سنجش صحت مدل‌سازی به مقایسه نقشه شبیه سازی شده ۲۰۲۲ با نقشه واقعی آن اقدام شد. از آن‌جایی که معمول‌ترین پارامترهای برآورد دقت، صحت کلی و ضریب کاپا می‌باشد (Lu et al., 2004)، ازاین‌رو، در این مطالعه سنجش صحت اطلاعات از طریق صحت کلی و ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نقشه شبیه‌سازی شده پوشش/کاربری اراضی با استفاده از مدل مارکوف در سال ۲۰۵۰ با توجه به صحت اطلاعات بررسی شده حاصل شد. مطابق با احتمال فرمول نیز، به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مدل زنجیره مارکوف از رابطه ۴ استفاده شد (Sang, et al., 2011).

رابطه ۴) $$S_{(t+1)} = P_{ij} * S_{(t)}$$

در این رابطه $S_{(t)}$ و $S_{(t+1)}$ حالت‌های سیستم در زمان t و t+1 می‌باشند و P_{ij} ماتریس احتمال انتقال در این حالت‌ها می‌باشد که از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

رابطه ۵) $$\begin{pmatrix} P_{11} & \cdots P_{1n} \\ \vdots & \ddots \ \vdots \\ P_{n1} & \cdots P_{nn} \end{pmatrix} P_{ij} \geq 0, \sum_{j=1}^{n} P_{ij} = 1, j = 1,\ldots,\ldots,n$$

در ادامه از مدل سلول‌های خودکار استفاده شد که در این مدل، فضا به‌صورت یک شبکه تعریف می‌گردد که به هر خانه یک سلول گفته می‌شود. سلول‌های خودکار در زمان‌های گسسته به‌طور هم‌زمان و بر طبق یک قانون محلی به هنگام می‌شوند که مقدار هر سلول بر اساس مقادیر سلول‌های همسایه و خود آن سلول تعیین می‌گردد (Aslami, et

al., 2015). ازاین‌رو مدل سلول‌های خودکار را می‌توان از رابطه ۶ محاسبه نمود (Sang, et al., 2011).

$$S\left(t,t+1\right)=f\left(S\left(t\right),N\right)$$ رابطه ۶)

در این رابطه S مجموعه‌ای از حالت‌های سلولی، N زمینه سلولی، t و t+1 نشان‌دهنده تغییرات حالت در زمان‌های مختلف و f یک تابع انتقال را در حالت‌های سلولی و فضای محلی نشان می‌دهد.

یافته‌ها

تحلیل روند تغییرات پوشش/کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه

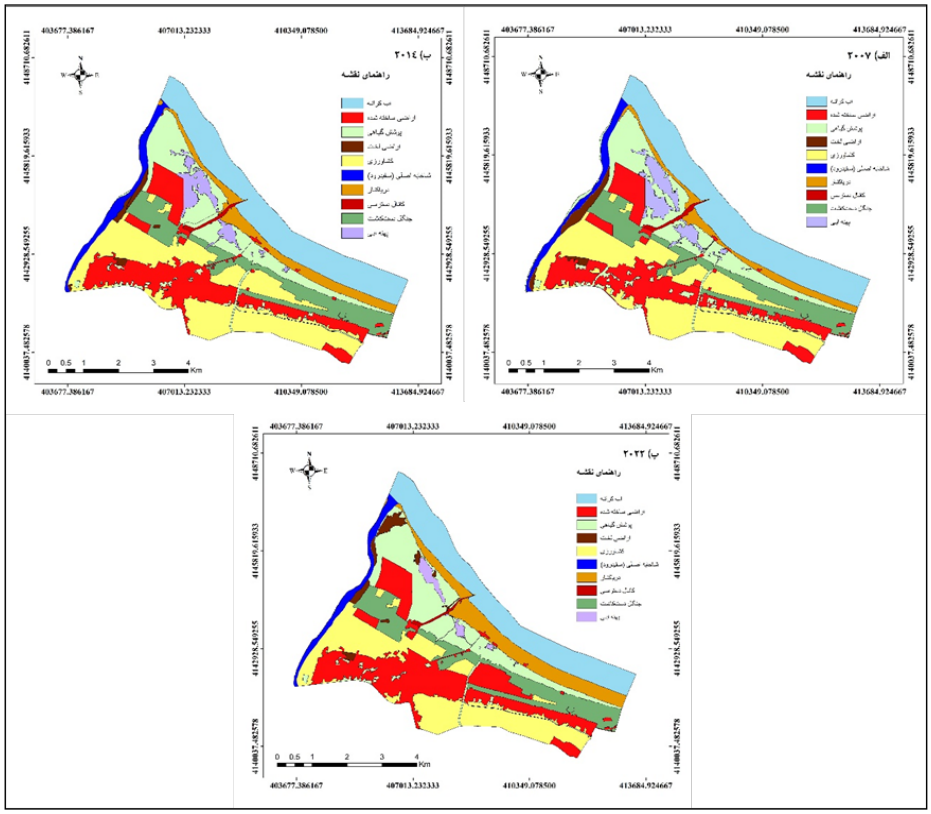
با توجه به نتایج به‌دست آمده، میزان صحت کلی در محدوده مورد مطالعه به‌ترتیب در طی سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۲ برابر است با ۰/۹۰، ۰/۹۳و ۰/۹۸ و ضریب کاپا ۰/۸۵، ۰/۸۸ و ۰/۹۱ می‌باشد (جدول ۱). ازاین‌رو نتایج حاکی از آن است که مقادیر به‌دست آمده از مطلوبیت بالایی برخوردار بوده و در سطح قابل قبولی است. پس از بررسی و تحلیل نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی تهیه شده، مساحت و درصد هر یک مطابق جدول و شکل ۲ مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین روند افزایشی مربوط به اراضی انسان ساخت در سال ۲۰۰۷ با مساحت ۵۸۸/۰۲ هکتار (۱۶/۶۴ درصد) در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۷۷۳/۸۱ هکتار (۲۱/۸۹ درصد) می‌باشد. در حالی‌که کمترین روند تغییرات به کانال دسترسی با مساحت ۱۷/۵۷ هکتار (۰/۵ درصد) در سال ۲۰۰۷ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۱۱/۸۵ هکتار (۰/۳۴ درصد) اختصاص یافته است. همچنین بر اساس نتایج به‌ترتیب کاربری‌هایی هم‌چون اراضی کشاورزی با مساحت ۸۴۸/۷۱ هکتار (۲۴/۰۲ درصد) در سال ۲۰۰۷ به ۷۰۷/۹۲ هکتار (۲۰/۰۴ درصد) در سال ۲۰۲۲، آب کرانه با مساحت ۷۳۹/۹۰ هکتار (۲۰/۹۴ درصد) در سال ۲۰۰۷ به ۶۰۵/۴۱ هکتار (۱۷/۱۳ درصد) در سال ۲۰۲۲، پهنه آبی با مساحت ۱۳۷/۶۴ هکتار (۳/۹۰ درصد) در سال ۲۰۰۷ به ۴۳/۱۰ هکتار (۱/۲۲ درصد) در سال ۲۰۲۲ و در نهایت شاخابه اصلی سفیدرود با مساحت ۱۰۸/۱۰ هکتار (۳/۰۶ درصد) در سال ۲۰۰۷ به ۹۳/۲۰ هکتار (۲/۶۴ درصد) در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است. در مقابل اراضی انسان ساخت با مساحت ۵۸۸/۰۲ هکتار (۱۶/۶۴ درصد) در سال ۲۰۰۷ به مساحت ۷۷۳/۸۱ هکتار (۲۱/۸۹ درصد) در سال ۲۰۲۲، دریاکنار با مساحت ۱۴۵/۰۹ هکتار (۴/۱۱ درصد) در سال ۲۰۰۷ به مساحت ۲۹۷/۷۸ هکتار (۸/۴۳ درصد) در سال ۲۰۲۲، پوشش گیاهی با مساحت ۵۰۸/۶۳ هکتار (۱۴/۳۹ درصد) در سال ۲۰۰۷ به مساحت ۵۳۳/۷۸ هکتار (۱۵/۱۱ درصد) در سال ۲۰۲۲، اراضی لخت با مساحت ۴۳/۸۷ هکتار (۱/۲۴ درصد) در سال ۲۰۰۷ به مساحت ۶۳/۷۲ هکتار (۱/۸۰ درصد) در سال ۲۰۲۲ و کانال دسترسی با مساحت ۱۷/۵۷ هکتار (۰/۵ درصد) در سال ۲۰۰۷ به مساحت ۱۱/۸۵ هکتار (۰/۳۴ درصد) در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است. به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که محدوده ساحلی کولاب کیاشهر، در طی این سال‌ها تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته است و تمامی طبقات پوشش/کاربری اراضی موجود در این منطقه، روند افزایشی و یا کاهشی را نشان می‌دهند. همچنین مطابق نتایج، به جز اراضی کشاورزی که به اراضی انسان ساخت تبدیل شده است، سایر کاربری‌ها هم‌چون آب کرانه، شاخابه اصلی سفیدرود، کانال دسترسی و پهنه آبی که از روند کاهنده‌ای در منطقه برخوردارند، به اراضی لخت یا همان پهنه‌های خشکی تبدیل شده است.

جدول ۱. ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده

سال	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا (٪)
۲۰۰۷	۰/۹۰	۰/۸۵
۲۰۱۴	۰/۹۳	۰/۸۸
۲۰۲۲	۰/۹۸	۰/۹۱

جدول ۲. روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲

ردیف	طبقات	۲۰۰۷		۲۰۱٤		۲۰۲۲		۲۰۲۲-۲۰۰۷		تبدیل کاربری‌ها
		هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	
۱	آب کرانه	۷۳۹/۹۰	۲۰/۹۴	۷۰۱/۸۹	۱۹/۸۶	۶۰۵/۴۱	۱۷/۱۳	-۱۳۴/۴۹	-۳/۸۱	اراضی لخت (پهنه‌های خشکی)
۲	اراضی انسان ساخت	۵۸۸/۰۲	۱۶/۶۴	۶۲۶/۴۰	۱۷/۷۳	۷۷۳/۸۱	۲۱/۸۹	۱۸۵/۶	۵/۲۵	-
۳	پوشش گیاهی	۵۰۸/۶۳	۱۴/۳۹	۵۰۶/۷۶	۱۴/۳۴	۵۳۳/۷۸	۱۵/۱۱	۲۵/۱۵	۰/۷۲	-
۴	اراضی لخت	۴۳/۸۷	۱/۲۴	۴۷/۹۸	۱/۳۶	۶۳/۷۲	۱/۸۰	۱۹/۸۵	۰/۵۶	-
۵	اراضی کشاورزی	۸۴۸/۷۱	۲۴/۰۲	۸۱۴/۳۹	۲۳/۰۵	۷۰۷/۹۲	۲۰/۰۴	-۱۴۰/۷۹	-۳/۹۸	اراضی ساخته‌شده
۶	شاخابه اصلی(سفیدرود)	۱۰۸/۱۰	۳/۰۶	۱۰۶/۲	۳/۰۱	۹۳/۲۰	۲/۶۴	-۱۴/۹	-۰/۴۲	اراضی لخت (پهنه‌های خشکی)
۷	دریاکنار	۱۴۵/۰۹	۴/۱۱	۲۰۷/۶۲	۵/۸۸	۲۹۷/۷۸	۸/۴۳	۱۵۲/۶۹	۴/۳۲	-
۸	کانال دسترسی	۱۷/۵۷	۰/۵	۱۵/۷۷	۰/۴۵	۱۱/۸۵	۰/۳۴	-۵/۷۲	-۰/۱۶	اراضی لخت (پهنه‌های خشکی)
۹	جنگل دست‌کاشت	۳۹۵/۸۸	۱۱/۲۰	۳۹۷/۴۸	۱۱/۲۵	۴۰۳/۰۳	۱۱/۴۱	۷/۱۵	۰/۲۱	-
۱۰	پهنه آبی	۱۳۷/۶۴	۳/۹۰	۱۰۸/۸۹	۳/۰۸	۴۳/۱۰	۱/۲۲	-۹۴/۵۴	-۲/۶۸	اراضی لخت (پهنه‌های خشکی)
	مجموع	۳۵۳۳/۴۴	۱۰۰	۳۵۳۳/۴۴	۱۰۰	۳۵۳۳/۴۴	۱۰۰	-	-	-



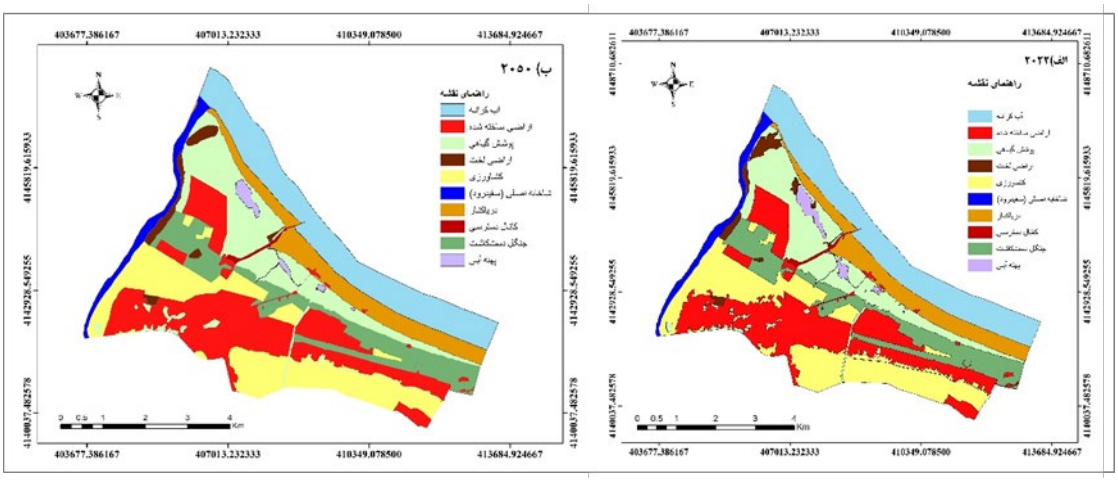
شکل ۲. نقشه تغییرات پوشش/کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه طی سال‌های: الف) ۲۰۰۷، ب) ۲۰۱٤ و پ) ۲۰۲۲

پیش‌بینی روند تغییرات پوشش/کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه

پس از بررسی روند تغییرات پوشش/کاربری‌های اراضی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲، به پیش‌بینی و شبیه‌سازی روند تغییرات احتمالی در سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل مارکوف پرداخته شد (جدول ۳). در این مطالعه اعتبارسنجی مدل از طریق مقایسه نقشه شبیه‌سازی شده در سال ۲۰۲۲ با نقشه واقعی تهیه شده برای همان سال صورت گرفت (شکل ۳). علاوه‌براین دقت تغییرات پیش‌بینی شده از طریق تجزیه و تحلیل تفاوت بین نقشه‌های کاربری اراضی پیش‌بینی شده و واقعی در سال ۲۰۲۲ و استفاده از ضریب کاپا به عنوان ابزاری معتبر جهت ارزیابی نقشه‌های تهیه شده محاسبه گردید. مطابق نتایج، ضریب کاپا به‌دست آمده برابر با ۰/۸۱ می‌باشد که صحت مدل در این مطالعه را تأیید می‌نماید. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد در کولاب کیاشهر جنگل‌های دست‌کاشت در بین کاربری‌های اراضی موجود با مساحت ۴۲۲/۴۸ هکتار (۱۱/۹۸ درصد) در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۴۰۳/۰۳ هکتار (۱۱/۴۱ درصد) بیشترین روند افزایشی را دارا می‌باشد. در حالی‌که اراضی کشاورزی با مساحت ۶۶۷/۴۸ هکتار (۱۸/۸۹ درصد) در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۷۰۷/۹۲ هکتار (۲۰/۰۴ درصد) بیشترین روند کاهشی را داشته است. همچنین آب کرانه‌ای با مساحت ۵۹۴/۷۴ هکتار (۱۶/۸۳ درصد) در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۰ با مساحت ۶۰۵/۴۱ هکتار (۱۷/۱۳ درصد) کاهش یافته است. شاخابه اصلی سفیدرود نیز با ۸۹/۵۶ هکتار (۲/۵۳ درصد) در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۹۳/۲ هکتار (۲/۶۴ درصد) روند کاهشی را نشان می‌دهد. کانال دسترسی نیز با مساحت ۸/۳۲ هکتار (۰/۲۳ درصد) در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۱۱/۸۵ هکتار (۰/۳۴ درصد) کاهش یافته است. همچنین پهنه آبی با مساحت ۳۳/۵۶ هکتار (۰/۹۴ درصد) در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۴۳/۱۰ هکتار (۱/۲۲ درصد) روند کاهشی را نشان می‌دهد. در مقابل پوشش گیاهی با مساحت ۵۴۶/۱۴ هکتار (۱۵/۴۵ درصد) در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۵۳۳/۶۲ هکتار (۱۵/۱۱ درصد) از روند افزایشی برخوردار است. همچنین اراضی لخت با مساحت ۷۴/۲۶ هکتار (۲/۱۰ درصد) در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۶۳/۷۲ هکتار (۱/۸ درصد) افزایش داشته است. دریاکنار نیز با مساحت ۳۰۸/۴۶ هکتار (۸/۷۲ درصد) در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۲۹۷/۷۸ هکتار (۸/۴۳ درصد) روند افزایشی را نشان می‌دهد. در نهایت جنگل‌های دست‌کاشت نیز با مساحت ۴۲۲/۴۸ هکتار (۱۱/۹۵ درصد) در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۴۰۳/۰۳ هکتار (۱۱/۴۱ درصد) افزایش یافته است.

جدول ۳. پیش‌بینی روند تغییرات پوشش/کاربری‌های اراضی با استفاده از مدل CA-Markov (طی سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۵۰)

ردیف	سال / طبقات	مساحت واقعی پوشش/کاربری‌های اراضی ۲۰۲۲		مساحت شبیه‌سازی شده پوشش/کاربری‌های اراضی ۲۰۲۲		مساحت پیش‌بینی شده پوشش/کاربری‌های اراضی ۲۰۵۰		اختلاف روند تغییرات ۲۰۵۰-۲۰۲۲		روند کاهشی/ افزایشی
		هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	
۱	آب کرانه	۶۰۵/۴۱	۱۷/۱۳	۶۰۵/۳۳	۱۷/۱۳	۵۹۴/۷۴	۱۶/۸۳	-۱۰/۶۷	-۰/۲۹	-
۲	اراضی انسان‌ساخت	۷۷۳/۸۱	۲۱/۸۹	۷۷۳/۷۴	۲۱/۸۹	۷۸۸/۴۴	۲۲/۳۱	۱۴/۶۳	۰/۴۱	+
۳	پوشش گیاهی	۵۳۳/۷۸	۱۵/۱۱	۵۳۳/۶۸	۱۵/۱۱	۵۴۶/۱۴	۱۵/۴۵	۱۲/۵۲	۰/۳۴	+
۴	اراضی لخت	۶۳/۷۲	۱/۸۰	۶۳/۷۲	۱/۸۰	۷۴/۲۶	۲/۱۰	۱۰/۵۴	۰/۳۰	+
۵	اراضی کشاورزی	۷۰۷/۹۲	۲۰/۰۴	۷۰۷/۹۸	۲۰/۰۴	۶۶۷/۴۸	۱۸/۸۹	-۴۰/۴۴	-۱/۱۴	-
۶	شاخابه اصلی (سفیدرود)	۹۳/۲۰	۲/۶۴	۹۳/۲	۲/۶۴	۸۹/۵۶	۲/۵۳	-۳/۶۴	-۰/۱۰	-
۷	دریاکنار	۲۹۷/۷۸	۸/۴۳	۲۹۷/۸	۸/۴۳	۳۰۸/۴۶	۸/۷۲	۱۰/۶۸	۰/۲۹	+
۸	کانال دسترسی	۱۱/۸۵	۰/۳۴	۱۱/۸۶	۰/۳۴	۸/۳۲	۰/۲۳	-۳/۵۳	-۰/۱۰	-
۹	جنگل دست‌کاشت	۴۰۳/۰۳	۱۱/۴۱	۴۰۳/۰۳	۱۱/۴۱	۴۲۲/۴۸	۱۱/۹۵	۱۹/۴۵	۰/۵۴	+
۱۰	پهنه آبی	۴۳/۱۰	۱/۲۲	۴۳/۱	۱/۲۲	۳۳/۵۶	۰/۹۴	-۹/۵۴	-۰/۲۷	-
	مجموع	۳۵۳۳/۴۴	۱۰۰	۳۵۳۳/۴۴	۱۰۰	۳۵۳۳/۴۴	۱۰۰	-	-	-



شکل ۳. نقشه پیش‌بینی تغییرات پوشش/ کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه: الف) ۲۰۲۲ و ب) ۲۰۵۰

بحث و نتیجه گیری

تغییرات پوشش/کاربری اراضی ناشی از توسعه فعالیت‌های انسانی (جنگل‌زدایی، توسعه اراضی کشاورزی، ایجاد واحدهای صنعتی، توسعه بنادر و اسکله‌ها)، یکی از مهم‌ترین تهدیدات شناخته شده در بوم‌سازگان تالابی هستند (Kundu, et al., 2024; Musasa, et al., 2023). این تغییرات منجر به نابودی تنوع زیستی و کاهش سطح خدمات اکوسیستمی در این زیست‌بوم‌های طبیعی و منحصربفرد شده است. بر این اساس، در مطالعه حاضر به بررسی تغییرات مکانی-زمانی پوشش/کاربری‌های اراضی کولاب کیاشهر طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۲ پرداخته شد. علاوه‌براین، به‌منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات آتی پوشش/کاربری‌های اراضی موجود برای سال ۲۰۵۰، از مدل ترکیبی سی ا مارکوف استفاده شد.

مطابق نتایج، در بین طبقات پوشش/کاربری‌های اراضی موجود در منطقه، بیشترین روند افزایشی مربوط به اراضی انسان ساخت در سال ۲۰۰۷ با مساحت ۵۸۸/۰۲ هکتار (۱۶/۶۴ درصد) در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۷۷۳/۸۱ هکتار (۲۱/۸۹ درصد) می‌باشد. در حالی‌که کمترین روند تغییرات به کانال دسترسی با مساحت ۱۷/۵۷ هکتار (۰/۵ درصد) در سال ۲۰۰۷ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۱۱/۸۵ هکتار (۰/۳۴ درصد) اختصاص یافته است. نتایج به دست آمده حاکی از افزایش توسعه شهرنشینی و روند ساخت و ساز در طی این سال‌ها می‌باشد که در نتیجه منجر به افزایش اراضی انسان ساخت در این منطقه شده است. همچنین بر اساس نتایج به‌ترتیب کاربری‌هایی هم‌چون اراضی کشاورزی با مساحت ۸۴۸/۷۱ هکتار (۲۴/۰۲ درصد) در سال ۲۰۰۷ به ۷۰۷/۹۲ هکتار (۲۰/۰۴ درصد) در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است که از دلایل آن می‌توان به تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی انسان ساخت و توسعه فعالیت‌های انسانی در این منطقه اشاره نمود. در این راستا، نتایج مطالعه Mohebbi, et al., (2023) نیز مؤید یافته‌های این مطالعه می‌باشد.

علاوه‌براین، نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، حاکی از آن است که آب کرانه با مساحت ۷۳۹/۹۰ هکتار (۲۰/۹۴ درصد) در سال ۲۰۰۷ به ۶۰۵/۴۱ هکتار (۱۷/۱۳ درصد) در سال ۲۰۲۲، پهنه آبی با مساحت ۱۳۷/۶۴ هکتار (۳/۹۰ درصد) در سال ۲۰۰۷ به ۴۳/۱۰ هکتار (۱/۲۲ درصد) در سال ۲۰۲۲ و در نهایت شاخابه اصلی سفیدرود با مساحت ۱۰۸/۱۰ هکتار (۳/۰۶ درصد) در سال ۲۰۰۷ به ۹۳/۲۰ هکتار (۲/۶۴ درصد) در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است. بدین ترتیب نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در طی این سال‌ها با توجه به توسعه فرآیندهای انسانی و صنعتی شدن و همچنین روند تغییرات اقلیمی در منطقه، منجر به کاهش سطح منابع آبی از جمله آب کرانه، پهنه آبی و شاخابه اصلی

سفیدرود شده است. در این راستا مطالعه Li, et al., (2022) و Becer and Odioko (2019) نیز نشان داد که در زیست بوم‌های تالابی به دلیل توسعه اراضی انسان ساخت و همچنین فعالیت‌های کشاورزی منجر به کاهش سطح منابع آبی در این مناطق شده است. در مطالعه‌ای دیگر Xiong, et al., (2023) بیان کردند که توسعه فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیم که از عمده‌ترین عوامل تهدیدکننده زیست‌بوم‌های ساحلی و کاهش پهنه‌های آبی در مناطق تالابی می باشد. به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که محدوده ساحلی کولاب کیاشهر در طی سال‌های مورد مطالعه (۲۰۲۲-۲۰۰۷) از روند تغییرات قابل ملاحظه‌ای (روند تغییرات کاهشی/افزایشی) برخوردار بوده است.

نتایج پیش‌بینی مدل مارکوف نیز نشان داد که در کولاب کیاشهر جنگل‌های دست کاشت در بین کاربری‌های اراضی موجود با مساحت ۴۲۲/۴۸ هکتار (۱۱/۹۸ درصد) در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۴۰۳/۰۳ هکتار (۱۱/۴۱ درصد) بیشترین روند افزایشی را دارد. در حالی‌که اراضی کشاورزی با مساحت ۶۶۷/۴۸ هکتار (۱۸/۸۹ درصد) در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ با مساحت ۷۰۷/۹۲ هکتار (۲۰/۰۴ درصد) بیشترین روند کاهشی را خواهد داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان نمود که در محدوده کولاب کیاشهر به دلیل وجود پارک ملی ساحلی-دریایی بوجاق و وضعیت حفاظتی آن، از محدودیت‌های زیستی و حساسیت‌های اکولوژیک بالایی برخوردار است که منجر به کاهش سطح اراضی کشاورزی و توسعه جنگل‌های دست‌کاشت و پوشش‌های گیاهی در این منطقه خواهد شد. با این وجود اراضی انسان ساخت به دلیل افزایش جمعیت و توسعه فعالیت‌های انسانی در این منطقه از روند افزایشی برخوردار خواهد بود. در این راستا Akbarzadeh, et al. (۲۰۱۷)، در مطالعه تغییرات پوشش/کاربری اراضی به این نتیجه رسیدند که در منطقه حفاظت شده قلارنگ اراضی انسان ساخت با توجه به افزایش توسعه شهرنشینی و فعالیت‌های انسانی افزایش یافته است. علاوه‌براین مطابق نتایج، سطح منابع آبی از جمله آب کرانه، پهنه آبی و شاخابه اصلی سفیدرود با گذشت زمان و تداوم توسعه فعالیت‌های انسانی و اراضی انسان ساخت کاهش خواهد یافت. در مقابل اراضی لخت (پهنه‌های خشکی) در این منطقه روند افزایشی را نشان می‌دهند. در مطالعه‌ای Azareh, et al. (۲۰۲۱) به پیش‌بینی روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی در حوزه آبریز بختگان مهارلو پرداختند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که پهنه‌های آبی در این محدوده روند کاهشی داشته است، در حالی‌که اراضی خشک و بایر روند افزایشی را نشان می‌دهد.

مطابق نتایج به‌دست آمده، تداوم افزایش تغییرات پوشش/کاربری‌های اراضی در کولاب کیاشهر منجر به نابودی و انقراض تنوع زیستی در این منطقه می‌شود. بنابراین، به حداقل رساندن اثرات نامطلوب ناشی از این تغییرات و همچنین کنترل تداوم آن در سال‌های آتی، نیازمند برنامه‌ریزی مناسب و مدیریتی یکپارچه در بهره‌وری صحیح از این منابع طبیعی است. همچنین یافته‌های این مطالعه می‌تواند به ذینفعان در ایجاد فرصتی برای توسعه راهبردهای مناسب در راستای حفاظت از کولاب کیاشهر و احیای این زیست‌بوم تالابی کمک نماید. کولاب کیاشهر به‌عنوان یکی از کولاب‌های اقماری پارک ملی بوجاق به سبب دارا بودن اهمیت حفاظتی و این‌که تنها پارک ملی خطه ساحلی شمال کشور در حوزه هیرکانی محسوب می‌شود، باید مورد توجهی ویژه و همچنین کنترل و نظارت بر فعالیت‌های بی‌رویه انسانی و روند تغییرات پوشش/کاربری اراضی قرار گیرد.

سپاسگزاری

از همه کسانی که در این تحقیق نگارندگان را یاری کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

پی نوشت

1. Google Earth Engine (GEE)
2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
3. Normalized Difference Vegetation Index (NDWI)

حامی مالی: بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش: همه نویسندگان، در بخش‌های نگارش و تنظیم مقاله حاضر نقش و سهم برابر دارند.

تضاد منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Akar, O. and Gungor, O. 2012. Classification of Multispectral Images Using Random Forest Algorithm, Journal of Geodesy and Geoinformation, 1(2),105-112. http://dx.doi.org/10.9733/jgg.241212.1

Akbarzadeh, M., Akbarzadeh, P., Gholami, H. and Shariat Panahi, F. 2017. Evaluating the trend of land use changes in the Qalarang Protected Area of Ilam using remote sensing images. Third National Conference on Soil Conservation and Watershed Management, 10-11 June 2018: 237 – 249. https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2020.341865.1416 **(In Persian).**

Alikhani, S., Nummi, P. and Ojala, A. 2021. Urban wetlands: A review on ecological and cultural values, Water, 13(22), 3301. https://doi.org/10.3390/w13223301

Arkhi, S. and Esfahani, M. 2019. Forecasting land use changes using multi-temporal images and the Markov chain model (Case Study: Ilam city), Journal of Geography and Territorial Spatial Arrangement (GTSA), 9(30), 95-112. https://doi.org/10.22111/gaij.2019.4529 **(In Persian).**

Aslami, F., Ghorbani, A., Sobhani, B. and Panahandeh, M. 2015. Comparing artificial neural network, support vector machine and object-based methods in preparation land use/cover maps using landSat-8 images, Journal of RS and GIS Techniques in Natural Resources, 6(3), 1-14. https://journals.iau.ir/article_516792.html **(In Persian).**

Assefa, W. W., Eneyew, B. G. and Wondie, A. 2021. The impacts of land-use and land-cover change on wetland ecosystem service values in peri-urban and urban area of Bahir Dar City, Upper Blue Nile Basin, Northwestern Ethiopia, Ecological Processes, 10(1), 39. http://dx.doi.org/10.1186/s13717-021-00310-8

Azareh, A., Sardooi, E. R., Gholami, H., Mosavi, A., Shahdadi, A. and Barkhori, S. (2021). Detection and prediction of lake degradation using landscape metrics and remote sensing dataset. Environmental Science and Pollution Research, 28, 27283-27298. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12522-8

Bagherzadeh Karimi, M. and Rouhani Rankouhi, M. 2007. Guide to Iran's Wetlands: Registered in the Ramsar Convention, Publisher Roozeno, Tehran, 182 pages. **(In Persian).**

Becer, Z. and Odioko, E. 2019. Impacts of Human Activities on Wetlands and the Way Forward. Conference: 1th International Congress of the Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology-2019 At: Antalya – Turkey, 633-640. https://www.researchgate.net/publication/343162327_Impacts_of_Human_Activities_on_Wetlands_and_the_Way_Forward

Boston, T., Van Dijk, A., Larraondo, P.R. and Thackway, R. 2022. Comparing CNNs and Random Forests for Landsat Image Segmentation Trained on a Large Proxy Land Cover Dataset, Remote Sensing 14(14), 3396. https://doi.org/10.3390/rs14143396

Breiman, L. 2001. Random Forest, Machine Learning, 45(1), 5-32 pp. https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324

Castro, L. M. and Lechthaler, F. 2022. The contribution of bio-economic assessments to better informed land-use decision making: An overview. Ecological Engineering, 174, 106449. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106449

Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W. and Li, X. 2016. Water bodies' mapping from

Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. Remote Sens: 8, 354-373. https://doi.org/10.3390/rs8040354

Feizizade, B. and Hajimirrahimi, M. 2009. Revealing of land use changes using the object-oriented classification method (case study: Andisheh Town), Journal of Survey, 19(7). magiran.com/p594968 (In Persian).

Kamusoko, C. and Gamba, J. 2015. Simulating Urban Growth Using a Random Forest-Cellular Automata (RF-CA) Model, International Journal of Geo-Information, 4(2), 447-470. http://dx.doi.org/10.3390/ijgi4020447

Kundu, S., Kundu, B., Rana, N. K. and Mahato, S. 2024. Wetland degradation and its impacts on livelihoods and sustainable development goals: An overview, Sustainable Production and Consumption, 419-434. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.024

Li, Z., Ma, L., Gou, D., Hong, Q., Fai, L. and Xiong, B. 2022. The impact of urban development on wetland conservation, Sustainability, 14(21), 13747. http://dx.doi.org/10.3390/su142113747

Lu, D., Mausel, P., Batistella, M. and Moran, E. 2004. Comparison of land-cover classification methods in the Brazilian Amazon basin, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70(7), 723-731. http://dx.doi.org/10.14358/PERS.70.6.723

Mohammadi, P., Ebrahimi, K. and Bazrafshan, J. 2023. Investigation of land use changes in Gorganrood catchment using Google Earth Engine platform, Iranian Journal of Watershed Management Science, 21(2), 11-19. 20.1001.1.20089554.1402.17.60.1.3 **(In Persian).**

Mohebbi, N., Nouri, J., Khorasani, N. and Riazi, B. 2023. Assessing the Components of Social Sustainability in the Identification of Key Sustainable Development Strategies for Wetland Ecosystems by Stressors Risk Analysis, Human and Environment, 21(2), 91-107. https://sanad.iau.ir/Journal/he/Article/847921 **(In Persian).**

Moghani Rahimi, F. and Mazidi, A. 2024. Studying and Monitoring Changes in Horul Azim Wetland Using Landsat 8 Images, The Journal of Geography and Environmental Sustainability (GES), 14(1), 13-33. https://civilica.com/doc/1961403 **(In Persian).**

Musasa, T., Muringaniza, K. C. and Mhlanga, E. D. 2023. Perspective Chapter: The Impact of Human Activities on Wetlands' Provisioning and Cultural Services in Epworth, Zimbabwe, In Urban Horticulture-Sustainable Gardening in Cities. IntechOpen. http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.1001064

Nuissl, H. and Siedentop, S. 2021. Urbanisation and land use change. Sustainable land management in a European context: a co-design approach, 75-99. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50841-8_5

Reihanian, A., Mahmood, N. Z. B., Kahrom, E. and Hin, T. W. 2012. Sustainable tourism development strategy by SWOT analysis: Boujagh National Park, Iran, Tourism management perspectives, 4, 223-228. https://doi.org/10.1016/j.tmp.2012.08.005

Sahana, M., Saini, M., Areendran, G., Imdad, K., Sarma, K. and Sajjad, H. 2022. Assessing Wetland ecosystem health in Sundarban Biosphere Reserve using pressure-state-response model and geospatial techniques, Remote Sensing Applications: Society and Environment 26, 100754. http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100754

Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D. and Yun, W. 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model, Mathematical and Computer Modelling, 54(4), 938-943. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019

Sibanda, S. and Tsuyuki, S. 2022. Identifying the rates and drivers of spatiotemporal patterns of land use and land cover changes in the Hurungwe District, Zimbabwe: A GIS and remote sensing approach, Journal of Geographic Information System, 14(6), 652-679. https://doi.org/10.4236/jgis.2022.146037

Shimu, S. A., Aktar, M., Afjal, M. I., Nitu, A. M., Uddin, M. P. and 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. https://doi.org/10.1109/EICT48899.2019.9068819

Sobhani, P. and Esmaeilzadeh, H. 2021. Evaluation and Analysis of Land Use Change Trends in Protected Areas (Case Study: Lar National Park), Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, 13(2), 75-92. https://doi.org/10.52547/gisj.13.2.75 **(In Persian).**

Sobhani, P., Esmaeilzadeh, H. and Mostafavi, H. 2021b. Simulation and impact assessment of future land use and land cover changes in two protected areas in Tehran, Iran, Sustainable Cities and Society, 75, 103296. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103296

Sobhani, P., Esmaeilzadeh, H., Barghjelveh, S., Sadeghi, S. M. M. and Markov, M. V. 2021a. Habitat integrity in protected areas threatened by LULC changes and fragmentation: A case study in Tehran province, Iran, Land, 11(1), 6. https://doi.org/10.3390/land11010006

Sobhani, P. and Danehkar, A. 2023. 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. and Danehkar, A. 2024. Land Use Changes Modeling and Predictions Using CA-ANN Hybrid Model in Khamir and Qeshm Mangrove Forests, Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, Published online on May 19, 1403. https://doi.org/10.48308/gisj.2024.233850.1189 **(In Persian).**

Sobhani, P. and Danehkar, A. 2024. The trend of land use changes and the level of ecological risk in the Hara Protected Area, Journal of Sustainable Development of Geographical Environment (SDGE), 5(9), 1-19. https://doi.org/10.48308/sdge.2023.232851.1147 **(In Persian).**

Sobhani, P. and Danehkar, A. 2025. Land Use Changes Modeling and Predictions Using CA-ANN Hybrid Model in Khamir and Qeshm Mangrove Forests. Iranian Journal of Remote Sensing & GIS. 2025, 16 (4), 95-114. https://doi.org/ 10.48308/GISJ.2024.233850.1189 **(In Persian).**

Teck, V., Poortinga, A., Riano, C., Dahal, K., Legaspi, R. M. B., Ann, V. and Chea, R. 2023. Land use and land cover change implications on agriculture and natural resource management of Koah Nheaek, Mondulkiri province, Cambodia, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 29, 100895. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100895

Wang, Y., Bonynge, G., Nugranad, J., Traber, M., Ngusaru, A., Tobey, J., Hale, L., Bowen, R. and Makota, V. 2003. Remote sensing of mangrove changes along the Tanzania coast, Marine Geodesy, 26, 35-48. https://doi.org/10.1080/01490410306708

Xie, H., Sun, Q. and Song, W. 2024. Exploring the Ecological Effects of Rural Land Use Changes: A Bibliometric Overview. Land, 13(3), 303. https://doi.org/10.3390/land13030303#cite

Xiong, Y., Mo, S., Wu, H., Qu, X., Liu, Y. and Zhou, L. 2023. Influence of human activities and climate change on wetland landscape pattern—A review, Science of the Total Environment, 879, 163112. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163112

Xu, X., Chen, M., Yang, G., Jiang, B. and Zhang, J. 2020. Wetland ecosystem services research: A critical review, Global Ecology and Conservation, 22, e01027. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01027

Zhang, C., Wen, L., Wang, Y., Liu, C., Zhou, Y. and Lei, G. 2020. Can constructed wetlands be wildlife refuges? A review of their potential biodiversity conservation value, Sustainability, 12(4), 1442. https://doi.org/10.3390/su12041442

Zurmure, N., Sawant, S., Shindikar, M. and Lele, N. 2021. Mapping the spatio-temporal changes in mangrove vegetation along Thane Creek, India, In Proceedings of the 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels, Belgium, 7557–7560. https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9554105