





## Sustainable Development of Geographical Environment

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



### The trend of land use changes and the level of ecological risk in the Hara Protected Area

Sobhani<sup>1</sup> , P., Danehkar<sup>1\*</sup> , A.,

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

#### ARTICLE INFO

##### Keywords:

- Hara
- Habitat
- Spatial-temporal
- Landscape
- Protected Area

Original Article

##### Article history:

Received: 26/08/2023

Accepted: 21/10/2023

#### ABSTRACT

Human activities have caused significant changes in the structure and function of natural ecosystems and increased ecological risk. In the present study, the trend of land use changes from 1989 to 2021 was evaluated, and then the ecological risk was estimated using the risk index. To monitor the landscape pattern changes, the indicators of Fragmentation (Fi), Separation (Si), Disturbance (Di), Fractal Dimension (FDi), and Vulnerability (Vi) were also investigated. The results revealed that the tidal zones have the highest increasing trend and the water areas have the highest decreasing trend. Also, the results of ecological risk indicate that due to population growth, economic development, and human activities, especially tourism, amount of ecological risk has increased in very high classes with 0.18% and high with 0.23%, respectively. The evaluation of Fi, Si, Di, FDi, and Vi indices also showed that the most changes were related to mangrove forests and the distance between small forest patches increased. According to the results, human activities development and the lack of proper planning have been the main factors of increasing land use changes and ecological risk in the area. Accordingly, continuous monitoring of human activities is necessary to prevent the increase of ecological risk and the reduction of habitat quality in the Hara protected area.



Copyright: © 2023 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:

Sobhani, P. and Danehkar, A., (2024). The trend of land use changes and the level of ecological risk in the Hara Protected Area, *Sustainable Development of Geographical Environment*: Vol. 5, No. 9, (1-19).  
DOI: 10.48308/SDGE.2023.232851.1147

\* Corresponding author E-mail address: ([danehkar@ut.ac.ir](mailto:danehkar@ut.ac.ir))

## Extended abstract

### Background and purpose

Monitoring the trend of long-term Land Use (LU) changes in Protected Areas (PAs) and ecological risk assessment is one of the appropriate management methods for prevention of habitat destruction and threats in these areas. The Hara Protected Area (PA) is known as the largest natural habitat in the Persian Gulf and in terms of diversity in habitat form, there are three types of deltaic, island and coastal types with dense, low and thin covers. This area is also rich in flora and fauna and pristine natural landscapes. Therefore, it is necessary to control the process of changes caused by various human activities development and also to assess the ecological risk level caused by these activities. In this regard, the main research questions are: 1) What is the trend of LU changes in the studied area? 2) What is the ecological risk in this area? 3) Considering land use changes trend and ecological risk in the area, what is the status of the landscape pattern indicators?

### Methodology

In this study, from the topographic map of the studied area (on a scale of 1:25000) and satellite images of Landsat TM in 1989 and 1999, Landsat ETM+ in 2009 and OLI\_TIRS in 2021 to evaluate LU changes and habitat integrity was used. In order to classify the images, the random forest algorithm was used and the accuracy of the classification was also evaluated using the overall accuracy obtained from the confusion matrix.

To obtain the ecological risk index, distance sampling method was used in time scale. The studied area was divided into ecological risk assessment units with an area of 10 \* 10 km. Then, based on the number of lost (damaged) landscape indicators in each year, ecological risk level was calculated and the obtained results were assigned to evaluation areas as the central pixel. In addition to measuring ecological risk level, from the landscape Separation index (Si) to

show the degree of dispersion of patches, from the landscape Fragmentation index (Fi) to check the integrity of the habitat, the Fractal Dimension index (FDi) and Vulnerability (Vi) were also used to measure the geometric order and complexity of the patches.

### Findings and discussion

Human activities development has caused significant changes in the structure and function of the natural ecosystems of the land. Therefore, it is necessary to continuously monitor and understand the spatial-temporal dynamics of LU changes and the resulting ecological risk. Among the LU classes in the area, tidal zones have the most increasing trend, and water areas show a decreasing trend. The results of the ecological risk assessment also indicate that due to population growth, economic development, and human activities, especially tourism, ecological risk level has increased in very high and high levels classes. Fi, Si, Di, FDi, and Vi indices evaluation, also indicated that most changes are related to mangrove forests and the distance between small forest patches has increased.

### Conclusion

According to the results, the mangrove forests of the Hara PA have experienced many changes in terms of size and quality over time, and despite their high importance, their distribution and expansion are decreasing due to human activities. In line with these changes, the landscape pattern of the Hara PA has also been affected and its quality has decreased. Accordingly, continuous control and monitoring of human activities to prevent the increase of ecological risk and the reduction of habitat quality in the PAs is essential, and according to the protection approaches, any indiscriminate and unplanned exploitation is prohibited in these areas.

**Keywords:** Hara, Habitat, Spatial-temporal, Landscape, Protected Area.





## روند تغییرات کاربری اراضی و میزان ریسک اکولوژیک در منطقه حفاظت شده حرا

پروانه سبحانی<sup>۱</sup>، افشین دانه کار<sup>۱\*</sup>

۱. گروه محیط زیست، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، کرج، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

فعالیت‌های انسانی باعث تغییرات چشم‌گیری در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های طبیعی و افزایش ریسک اکولوژیک شده است. در مطالعه حاضر، به ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ پرداخته شد و سپس ریسک اکولوژیک با استفاده از شاخص ریسک مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین به منظور پایش تغییرات الگوی سیمای سرزمین، شاخص‌های از هم‌گسیختگی (Fi)، جدادگی (Si)، آشفستگی (Di)، بعد فراکتال (FDi) و آسیب‌پذیری (Vi) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پهنه‌های جزر و مدی دارای بیش‌ترین روند افزایشی و پهنه‌های آبی بیش‌ترین روند کاهش را داشته است. همچنین نتایج ریسک اکولوژیک حاکی از آن است که به دلیل رشد جمعیت، توسعه اقتصادی و فعالیت‌های انسانی به‌ویژه گردش‌گری، میزان ریسک اکولوژیک به ترتیب در طبقات خیلی زیاد با مقدار ۰/۱۸ درصد و زیاد با ۰/۲۳ درصد افزایش داشته است. ارزیابی شاخص‌های Fi، Si، Di، FDi و Vi نیز نشان داد که بیش‌ترین تغییرات مربوط به جنگل‌های مانگرو بوده و فاصله لکه‌های جنگلی با اندازه کوچک افزایش یافته است. مطابق با نتایج، توسعه فعالیت‌های انسانی و فقدان برنامه‌ریزی صحیح، عامل اصلی افزایش تغییرات کاربری اراضی و ریسک اکولوژیک در منطقه بوده است. بر این اساس پایش مستمر بر فعالیت‌های انسانی برای پیش‌گیری از افزایش ریسک اکولوژیک و کاهش کیفیت زیستگاه در منطقه حفاظت شده حرا ضروری است.

### واژه‌های کلیدی:

- حرا
- زیستگاه
- سیمای سرزمین
- فضای- زمانی
- منطقه حفاظت شده

مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹



Copyright: © 2023 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:

سبحانی، پ. و دانه کار، ا. (۱۴۰۲). روند تغییرات کاربری اراضی و میزان ریسک اکولوژیک در منطقه حفاظت شده حرا، توسعه پایدار محیط جغرافیایی: سال ۵، شماره ۹، (۱-۱۹).  
DOI: 10.48308/SDGE.2023.232851.1147

## مقدمه

افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی منجر به تهدید اکوسیستم‌های طبیعی، به‌ویژه مناطق تحت حفاظت شده است (Huang et al, 2020; Nunes et al, 2016; Sobhani et al, 2021; Leirpoll et al, 2021). از طرفی توسعه بی‌رویه فعالیت‌های انسانی و روند تغییرات کاربری اراضی، تهدید زیستگاه و ریسک اکولوژیک را در این مناطق افزایش داده است (Kleeman et al, 2017; Tuffour-Mills, 2020). به‌عبارت دیگر ریسک اکولوژیک، عوامل تهدیدکننده زیستی هستند که عناصر محیط‌زیستی یک اکوسیستم را براساس میزان حساسیت و ارزش‌های زیستی آن تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (Glenn et al, 2019). از این‌رو، این تحولات سریع و تغییرات گسترده، چالش‌های عمده‌ای را برای حفاظت و مدیریت پایدار سرزمین به‌دنبال داشته است (Ait El Haj et al, 2023). روند تغییرات فضایی- زمانی کاربری‌های اراضی منشأ بسیاری از پیامدهای محیط زیستی از جمله ریسک اکولوژیک است (Mousavi et al, 2014; Sobhani and Danehkar, 2023). این تغییرات شامل دخالت‌های مستقیم و غیرمستقیم انسان است که می‌تواند بیش از نیمی از سطح اکوسیستم‌های طبیعی را تحت‌تأثیر قرار دهد. کاربری‌های اراضی در طول زمان در حال تغییرند و این تغییرات منجر به تخریب زیستگاه و نابودی اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه مناطق حساس زیستی می‌شود (Akbari et al, 2016). بنابراین برای کنترل و حفاظت از این مناطق بکر زیستی در برابر بحران ریسک اکولوژیک، شناخت و ارزیابی دقیق فرآیند و تغییرات ایجاد شده در مقیاس فضایی- زمانی ضروری است (Resende et al, 2021; Sobhani et al, 2021). مناطق تحت حفاظت نشان‌دهنده با ارزش‌ترین نمونه‌های برگزیده و متنوعی از زیستگاه‌ها و رویشگاه‌ها در شرایط طبیعی هستند که حفاظت از آن‌ها مرکزیت فعالیت‌های محیط زیستی را تشکیل می‌دهد. این مناطق به‌منظور حفظ ذخایر ژنتیکی گونه‌های گیاهی و جانوری، زیستگاه‌های بکر و برجسته، منظره‌های مهم و بین‌المللی و همچنین برای استفاده‌های علمی، آموزشی و تفریحی احداث شده‌اند (Borrini-Feyerabend et al, 2004; Mukul, 2007). یکی از مهم‌ترین اهداف مدیریتی این مناطق، حفظ شرایط طبیعی و از همه مهم‌تر، حذف بهره‌برداری‌های بی‌رویه‌ای است که منجر به تغییر در ساختار و عملکرد آن می‌شود. به عبارت دیگر مناطق حفاظت شده یکی از مهم‌ترین ابزارهای حفظ تنوع زیستی و خدمات اکوسیستم هستند که لزوم حفظ و بهره‌برداری بهینه از منابع آن‌ها از جمله ضرورت‌های توسعه پایدار محسوب می‌شود (مجنونیان، ۱۳۸۲؛ Wang et al, 2011). با توجه به اهمیت و نقش مناطق تحت حفاظت به‌عنوان عمده‌ترین ذخایر ژنتیکی و سرمایه‌های ملی، مدیران و برنامه‌ریزان ملزم به دریافت اطلاعاتی دقیق از وضع موجود جهت اتخاذ تصمیمی صحیح هستند. بنابراین، پایش روند تغییرات مناطق حفاظت شده در بلندمدت و ارزیابی ریسک اکولوژیک، یکی از روش‌های مدیریتی مناسب و پیش‌گیری از روند تخریب و تهدید زیستگاه در این مناطق است (Jones et al, 2009; Wang et al, 2009; Wolf et al, 2023). در حقیقت ارزیابی ریسک اکولوژیک در مناطق حفاظت شده با هدف درک چگونگی تغییرات، تأثیرشان بر طبیعت، فرآیندهای بازسازی و احیای آن در مقیاس فضایی- زمانی بسیار مهم است (Ansari and Golabi, 2019). ریسک اکولوژیک یکی از روش‌هایی است که خطرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی یا مخاطرات محیطی را به منظور دستیابی به مدیریتی متناسب با ریسک، برای کاهش خطرات و پیامدهای آن تا رسیدن به سطح قابل قبولی از ریسک مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Zhang et al, 2022). سوالات این تحقیق عبارتند از: روند تغییرات کاربری‌های اراضی در محدوده مورد مطالعه چه وضعیتی دارد؟ میزان ریسک اکولوژیک در این منطقه چقدر است؟ با توجه به روند تغییرات کاربری اراضی و ریسک اکولوژیک در منطقه، شاخص‌های الگوی سیمای سرزمین چگونه است؟

## مبانی نظری و پیشینه

در راستای اهمیت روند تغییرات مناطق تحت حفاظت و ارزیابی ریسک اکولوژیک در این مناطق، مطالعاتی صورت گرفته است که می‌توان به مطالعه نیک‌اندیش و همکاران (۱۳۹۸)، در ارزیابی مخاطرات ریسک محیط زیستی جهت توسعه

پایدار در پارک ملی و منطقه حفاظت شده در اشاره کرد. همان‌طور که نتایج نشان داد، عمده‌ترین ریسک اکولوژیک در این منطقه ناشی از شکار غیرمجاز، و کم‌ترین ریسک مربوط به آتش‌سوزی است. در مطالعه‌های دیگر، لی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، به ارزیابی ریسک اکولوژیک و شناسایی منطقه حفاظتی در یک میراث فرهنگی حفاظت شده در کشور چین پرداختند. نتایج نشان داد که میزان دسترسی به منطقه و توسعه فعالیت‌های انسانی منجر به افزایش تغییرات و ریسک اکولوژیک شده است و همچنین از نظر آماری تفاوت معناداری در وضعیت حفاظتی منطقه و میزان ریسک اکولوژیک وجود دارد. لی و همکاران همکاران (۲۰۲۳)، نیز ارزیابی ریسک اکولوژیک و بهینه‌سازی الگوی سیمای سرزمین در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که عوامل انسانی تأثیرات بیش‌تری بر افزایش روند تغییرات ریسک اکولوژیک، نسبت به مخاطرات طبیعی در منطقه داشته است. مطابق با مطالعات صورت گرفته فعالیت‌های انسانی عمده‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روند افزایش ریسک اکولوژیک در مناطق تحت حفاظت بوده است، به‌طوری که با گسترش جمعیت و توسعه تقاضای انسانی، میزان تغییرات و مخاطرات اکولوژیک در این مناطق افزایش یافته است. منطقه حفاظت شده حرا به‌عنوان بزرگ‌ترین رویشگاه طبیعی در حوزه خلیج فارس شناخته شده است. رویشگاه‌های مانگرو در این منطقه، از نظر تنوع در فرم رویشگاه، دارای سه تیپ دلتایی (سواحل بخش خمیر)، جزیره‌ای (جزایر پراکنده ترعه‌خوران) و ساحلی (سواحل و جزایر مرتبط با کرانه‌های شمال غربی جزیره قشم) با پوشش‌های پرتراکم کم‌تراکم و تنک می‌باشند. این منطقه همچنین از غنای بالای گیاهی و جانوری و چشم‌اندازهای بکر طبیعی برخوردار است. از این رو کنترل روند تغییرات ناشی از توسعه انواع فعالیت‌های انسانی به‌ویژه احداث اسکله‌ها، بنادر تجاری و گردش‌گری، سرشاخه‌زنی، توسعه بی‌رویه گردش‌گری در این منطقه و همچنین ارزیابی میزان ریسک اکولوژیک ناشی از این فعالیت‌ها، امری ضروری است. در مطالعه حاضر با توجه به توسعه تغییرات کاربری اراضی ناشی از گسترش فعالیت‌های فیزیکی و اقتصادی در منطقه حفاظت شده حرا و کاهش رویشگاه‌های مانگرو در این منطقه، منجر به ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی و ریسک اکولوژیک در این مطالعه شده است. در این راستا با توجه به میزان تغییرات رخ داده در منطقه طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱، وضعیت الگوی سیمای سرزمین براساس شاخص‌های از هم‌گسیختگی، جداشدگی، آشفستگی، بعد فراکتال و آسیب‌پذیری (Vi, FDi, Di, Si, Fi) نیز مورد بررسی قرار گرفت. کاربری اراضی شامل انواع بهره‌برداری از زمین به‌منظور رفع نیازهای گوناگون انسان است، که اطلاع از نسبت کاربری‌ها در یک محیط طبیعی از جمله مناطق تحت حفاظت و نحوه تغییرات آن در گذر زمان، یکی از مهم‌ترین موارد برنامه‌ریزی در این مناطق است (Fitrian and Boro, 2022). از آنجایی که جنگل‌های مانگرو به‌عنوان منابع مهم طبیعی استان هرمزگان می‌باشند، بررسی تغییرات کاربری اراضی در این رویشگاه‌ها از نقش بسیار مهمی در حفظ اکوسیستم‌های ساحلی برخوردار است (خورانی و همکاران، ۱۳۹۴). این مطالعه تکمیل‌کننده سایر مطالعات صورت گرفته در راستای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و میزان ریسک اکولوژیک در یک بازه زمانی بلندمدت در منطقه است و همچنین تأثیر این دو عامل تهدیدکننده بر وضعیت شاخص‌های الگوی سیمای سرزمین در منطقه حفاظت شده حرا را مورد بررسی قرار می‌دهد.

## روش‌شناسی

طی سال‌های اخیر، با استفاده از قابلیت داده‌های چند طیفی سنجش از دور و توسعه فرآیند پردازش تصاویر رقومی، امکان تحلیل پوشش و 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 تهیه نقشه کاربری اراضی و همچنین بررسی روند تغییرات ریسک اکولوژیک طی یک دوره ۳۰ ساله به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به‌شرح زیر اقدام شد: در ادامه به‌منظور بررسی میزان تغییرات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM سال ۱۹۸۹ و ۱۹۹۹، لندست ETM+ سال ۲۰۰۹ و OLI\_TIRS سال ۲۰۲۱، مطابق جدول ۱ استفاده شد (U.S. Geological

(Survey (USGS)). قابل ذکر است که علت انتخاب بازه‌های زمانی نامبرده، به دلیل توسعه پنج ساله بعد از انقلاب، رشد جمعیت، افزایش تقاضا و گسترده شدن فعالیت‌های انسانی در این دوره و شروع مطالعات محیط‌زیستی در کشور بوده که تصاویر از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ انتخاب و بررسی شده است. همچنین تهیه تصاویر، در اردیبهشت ماه، زمان پوشش سبز غالب و زمان گل‌دهی رویشگاه‌های مانگرو بوده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده در محدوده مورد مطالعه

| ردیف | گذر | مبنا     | تاریخ تصویربرداری | نوع سنجنده          | تصویر   |
|------|-----|----------|-------------------|---------------------|---------|
| ۳۵   | ۱۶۴ | WGS 1984 | ۱۹۸۹/۴/۲۱         | L5-TM               | LANDSAT |
| ۳۵   | ۱۶۴ | WGS 1984 | ۱۹۹۹/۴/۲۱         | L5-TM               |         |
| ۳۵   | ۱۶۴ | WGS 1984 | ۲۰۰۹/۴/۲۱         | L7-ETM <sup>+</sup> |         |
| ۳۵   | ۱۶۴ | WGS 1984 | ۲۰۲۱/۴/۲۱         | L8, OLI-TIRS        |         |

(U.S. Geological Survey (USGS): (ماخذ)

### فرآیند پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

- **تصحیح هندسی:** در مطالعه حاضر، به‌منظور تصحیح هندسی از روش نقطه‌گذاری با GPS استفاده شد (Aber et al, 2010)، از این‌رو داده‌های GPS در طی مطالعات میدانی به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی صورت گرفت. جمع‌آوری نقاط کنترل زمینی از طریق مطالعات میدانی و نمونه‌برداری به روش تصادفی و در اندازه‌های ثابت انجام گردید. مکان‌یابی نقاط GPS نیز بر روی موزائیکی از تصاویر با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به ثبت رسید. تصاویر به کار رفته در این تحقیق، به روش استفاده از نقاط کنترل زمینی (۳۰ نقطه در هر محدوده مطالعاتی) و معادلات نمونه‌گیری مجدد، تصحیح شده است. برای تبدیل مختصات تصویر تصحیح شده به تصویر تصحیح نشده از توابع چند جمله‌ای درجه اول و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش پیکسل‌های تصویر تصحیح نشده نیز از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. در این روش از مقدار نزدیک‌ترین پیکسل در تصویر ورودی، به‌عنوان مقدار جدید برای پیکسل خروجی استفاده می‌شود که از نظر محاسباتی سریع است و مقادیر اصلی پیکسل را حفظ می‌نماید (Chavez, 1996; Li et al, 2018). از این‌رو با استفاده از نقاط به دست آمده از GPS یا نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مقادیر خطاها<sup>۲</sup> برای سنجنده‌های TM و ETM<sup>+</sup> به ترتیب برابر با ۰/۴۷ و ۰/۵۲ پیکسل بوده که بسیار مطلوب است.

- **تصحیح رادیومتریک:** در طی این پژوهش از تصحیحات رادیومتریک نسبی برای کاهش اثرات اتمسفریک در بین تصاویر چند زمانه استفاده شد. یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریک نسبی، کاهش تیرگی پدیده‌ها است. در حالت ایده‌آل پدیده‌های تیره رنگ دارای تابش صفر در همه طول موج‌ها می‌باشند. اثر اتمسفری تابش انحرافی به‌صورت یک مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌شود. به همین دلیل جهت حذف خطای رادیومتریک بایستی ارزش پیکسل‌های هر باند از حداقل DN مربوط به هر باند کم شود (Dewa and Danoedoro, 2017). برای انجام تصحیح رادیومتری، مطابق با رابطه ۱، ارزش‌های رقومی باید به تابش طیفی تبدیل شوند.

$$L = Gain \times DN + Offset \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن L تابش طیفی ( $Wem^{-2} Ster^{-1} \mu m^{-1}$ ) ارزش رقومی پیکسل (۰ تا ۲۵۵) و Gain و Offset ضرایب کالیبراسیون سنجنده می‌باشند. در ادامه به منظور تبدیل مقدار تابش طیفی به بازتاب طیفی، رابطه ۲ مورد استفاده قرار گرفت (Juan et al, 2010).

$$p = \frac{\pi L d^2}{ESUN \cos(SZ)} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن p بازتاب طیفی بدون واحد بین صفر تا یک،  $\pi = ۳/۱۴$ ، L تابش طیفی سنجنده،  $d^2$  مجذور فاصله زمین تا خورشید، ESUN ارتفاع خورشید و SZ زاویه خورشید در هنگام تابش در زمان ضبط تصاویر ماهواره‌ای است. در تبدیل مقادیر تابش طیفی به بازتاب طیفی، آثار مربوط به تغییر شرایط نوردهی، فصل، عرض جغرافیایی، شرایط آب و هوایی بر

روی تصاویر حذف می‌شود و نتیجه حاصل شده نسبتاً استاندارد است، که مستقیماً جهت مقایسه بازتاب پدیده‌های بین تصاویر مختلف و یک تصویر در زمان‌های متفاوت قابل کاربرد است (Yu et al, 2019). بر این اساس در مطالعه حاضر از روش کاهش تیرگی پدیده در نرم‌افزار ENVI استفاده شد. این فرآیند به منظور کاهش اثرات پخش اتمسفری بر روی تصویر انجام گرفت، تا ارزش پیکسل‌های تیره در تصویر کاهش داده شود و فرآیند طبقه‌بندی از صحت بالاتری برخوردار شود. در مطالعه حاضر از شاخص  $^{*}NDVI$ ، برای تهیه پوشش‌های مانگرو از سایر طبقات کاربری اراضی، مطابق رابطه ۳، استفاده شد. این شاخص، یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها بر روی داده‌های سنجش از راه دور می‌باشد که در این رابطه، R و NIR به ترتیب موج‌های قرمز مرئی و مادون قرمز نزدیک هستند (Shimu et al, 2019). شاخص NDVI مقادیر نرمال شده بین -۱ و +۱ را شامل می‌شود، به طوری که 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.

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad \text{رابطه ۳}$$

علاوه بر این، به منظور تفکیک طبقات کاربری اراضی موجود و همچنین استخراج پهنه‌های آبی از سایر پوشش‌ها (به‌ویژه پوشش‌های جنگلی مانگرو) از شاخص  $^{*}NDWI$  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 ۴، محاسبه می‌شود (Zurmure et al, 2021).

$$NDWI = \frac{(G - NIR)}{(G + NIR)} \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه فوق، G نشان‌دهنده باند سبز و NIR باند مادون قرمز نزدیک است. همچنین به منظور جداسازی پهنه‌های جزر و مدی و گل‌آلود از شاخص  $^{*}NTDI$  استفاده شد. با توجه به این‌که آب‌های صاف و زلال در محدوده باندهای سبز و به ویژه باند قرمز بازتاب بسیار ضعیفی (کم‌تر از ۱۰ درصد) دارند، بنابراین می‌توان از این باندها برای برآورد و بررسی پهنه‌های گلی و جزر و مدی که فاقد شفافیت هستند، استفاده کرد (Lacaux et al, 2007). این شاخص با استفاده از رابطه ۵، قابل محاسبه است.

$$NTDI = \frac{(R - G)}{(R + G)} \quad \text{رابطه ۵}$$

در ادامه برای تعدیل اثر خاک و تفکیک پوشش‌های جنگلی مانگرو از شاخص SAVI بهره گرفته شد. این شاخص از باندهای قرمز و مادون قرمز به منظور استخراج پوشش گیاهی استفاده می‌کند. شاخص SAVI از ضریبی به نام تعدیل کننده اثر خاک بهره می‌برد که موجب می‌شود این شاخص اثر خاک را کاهش دهد. ضریب L رابطه معکوسی با میزان تراکم پوشش گیاهی دارد و بین صفر و یک است. در این رابطه هر چه میزان پوشش گیاهی بیش‌تر شود L به صفر نزدیک‌تر خواهد بود و بالعکس. شاخص SAVI با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود (Xia et al, 2020).

$$SAVI = (1 + L) * \left[ \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} \right] \quad \text{رابطه ۶}$$

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی: از طریق بازبینی میدانی از محدوده مورد مطالعه، نقشه‌های رقومی کاربری اراضی در دسترس، و قابلیت تصاویر مورد استفاده در استخراج اطلاعات به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه کاربری اراضی اقدام شد. بر این اساس طبقات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه شامل جنگل‌های مانگرو، پهنه جزر و مدی، اراضی لخت و پهنه‌های آبی است. در مطالعه حاضر، به منظور طبقه‌بندی تصاویر از روش الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد. این الگوریتم که اغلب به منظور طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در توان تفکیک‌های مکانی مختلف به کار 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 Jonah, 2015). روش جنگل تصادفی یک روش طبقه‌بندی نظارت شده است، که در آن مجموعه‌ای از درخت‌ها به منظور تصمیم‌گیری و طبقه‌بندی استفاده می‌شود. در این روش ابتدا تعدادی

درخت تصمیم‌گیری که نسبت به هم بیش‌ترین تمایز را دارند تشکیل، و در مورد هر یک از این درخت‌ها روند مربوط به تصمیم‌گیری به صورت جداگانه انجام می‌شود، سپس با توجه به نتایج به دست آمده از بین درخت‌های تعریف شده، کلاسی که بیش‌ترین رأی به آن تعلق گرفته است به عنوان کلاس برنده مورد انتخاب قرار می‌گیرد. جنگل تصادفی یکی از روش‌های یادگیری ماشینی است که به دلیل سرعت بالای آن در مورد داده‌هایی با حجم بالا و عدم نیاز آن به داده‌های آموزشی زیاد مورد توجه قرار گرفته است (Akar and Gunger, 2012; Boston et al, 2022).

#### پایش تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی دقت

بارسازی و پایش تغییرات در حقیقت کشف تغییرات به وجود آمده در یک مکان می‌باشد که در فرآیند سنجش از دور این عمل با استفاده از تصاویر دو یا چند زمانه انجام می‌شود. از این‌رو در این مطالعه، به روش مقایسه تغییرات کاربری‌ها پس از طبقه‌بندی در طی سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۱ 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 ۸۰۰ نمونه، که از مجموعه نمونه‌برداری شده، ۴۰۰ نمونه به منظور آموزش الگوریتم و ۴۰۰ نمونه برای ارزیابی طبقه‌بندی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت پس از پایان مرحله طبقه‌بندی تصاویر، از روش صحت کلی به منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی، استفاده گردید.

#### ارزیابی ریسک اکولوژیک

به منظور به دست آوردن شاخص ریسک اکولوژیک از روش نمونه‌برداری فاصله‌ای، در مقیاس زمانی استفاده شد. از این‌رو محدوده مورد مطالعه به واحدهای ارزیابی ریسک اکولوژیک به مساحت  $10 * 10$  کیلومتر تقسیم‌بندی شدند (Zhang and Yu et al, 2018; Zhang et al, 2020). سپس براساس تعداد شاخص‌های از دست رفته (آسیب‌دیده) سیمای سرزمین در هر سال، میزان ریسک اکولوژیک محاسبه و نتایج به دست آمده به عنوان پیکسل مرکزی، به مناطق ارزیابی اختصاص یافت. بر این اساس در مطالعه حاضر، ارزیابی ریسک اکولوژیک براساس شاخص آشفستگی سیمای سرزمین و شاخص آسیب‌پذیری در محدوده مورد مطالعه محاسبه گردید. این شاخص براساس تغییرات کاربری اراضی، میزان تخریبات، آسیب‌پذیری اکوسیستم‌ها و ارتباط بین الگوهای سیمای سرزمین و ریسک اکولوژیک را نمایان می‌سازد. همچنین لازم به ذکر است که انتخاب شاخص‌های مورد مطالعه و سایر مطالعات مشابه، انجام شده است (Xie et al, 2013; Zeng and Liu, 1999; Jin et al, 2019; Zhang et al, 2020; Wang et al, 2020; Li et al, 2020). از این‌رو برای محاسبه میزان شاخص ریسک اکولوژیک می‌توان از رابطه ۷، استفاده نمود.

$$ERI = \sum_{i=1}^N \frac{AK_i}{AK} \times D_i \times V_i \quad (\text{رابطه ۷})$$

در رابطه فوق؛  $k$ : واحد مساحت،  $i$ : تیپ (نوع) سیمای سرزمین،  $N$ : تعداد کل ترکیب سیمای سرزمین،  $AK_i$ : مساحت منظر  $i$  در  $k$  نمونه برداشت شده در واحد سطح،  $AK$ : مساحت کل نمونه  $K$ ،  $D_i$ : شاخص آشفستگی<sup>۷</sup> سیمای سرزمین تیپ  $i$  و  $V_i$ : شاخص آسیب‌پذیری سیمای سرزمین. در جدول ۲، مفاهیم و شاخص‌های محاسباتی سیمای سرزمین نمایش داده شده است. در این مطالعه علاوه بر سنجش میزان ریسک اکولوژیک، از شاخص جداسازی سیمای سرزمین  $(S_i)^8$  برای نشان دادن درجه پراکندگی لکه‌ها براساس مطالعه Fang و همکاران (۲۰۱۸)، استفاده شد. از شاخص جداسازی منظر نیز برای روشن شدن تأثیر تداخلات خارجی بر ساختار شبکه محیطی، و شاخص بعد فراکتالی  $(FD_i)^9$  برای بررسی نظم هندسی و پیچیدگی شکل لکه‌ها استفاده شده است (Gong et al, 2015; Lin et al, 2019; Zeng and Liu, 1999; Zhang et al, 2018; Ling et al, 2014; Zhang et al, 2020; Chen et al, 2020). حساسیت برای هر یک از طبقات کاربری اراضی، از شاخص آسیب‌پذیری چشم‌انداز  $(V_i)^{10}$  با توجه به میزان تأثیرگذاری در برابر اختلالات خارجی ناشی از توسعه فعالیت‌های انسانی (درجه آسیب‌پذیری از زیاد به کم) استفاده گردید.



جدول ۲: مفاهیم و روش‌های محاسبه شاخص‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین

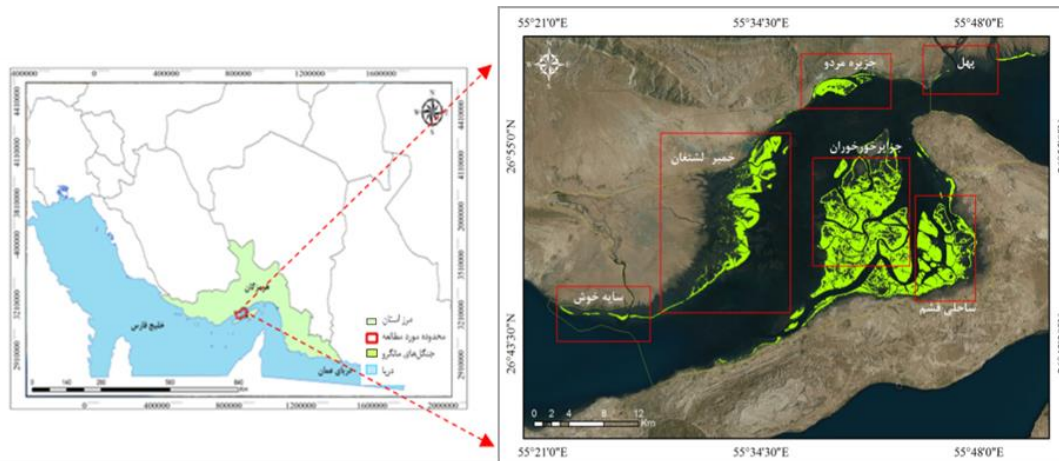
| شاخص  | علامت اختصاری | روش محاسبه  | مفاهیم شاخص‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین  |
|---|---------------|---|---|
| شاخص از هم‌گسیختگی سیمای سرزمین <sup>۱۱</sup> | $F_i$         | $F_i = \frac{n_i}{A_i}$   | نشان‌دهنده میزان تکه تکه شدن و کاهش پیوستگی سیمای سرزمین است. بر این اساس در معادله رو به رو $n_i$ تعداد لکه‌ها، $A_i$ مساحت سیمای سرزمین تیپ $i$ و $F_i$ درجه از هم‌گسیختگی سیمای سرزمین است.  |
| شاخص جداسازی/تفکیک سیمای سرزمین <sup>۱۲</sup> | $S_i$         | $S_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_i}{A_i}} \times \frac{A}{A_i}$     | $S_i$ نشان‌دهنده میزان تفکیک و جداسازی لکه‌ها از هم است، که هر چه مقدار آن بیشتر باشد توزیع فضایی سیمای سرزمین $i$ پیچیده‌تر و درجه تفکیک آن بیشتر است. در این معادله $n_i$ نشان‌دهنده تعداد لکه‌ها و $A_i$ مساحت سیمای سرزمین تیپ $i$ است.   |
| شاخص بعد فراکتالی سیمای سرزمین <sup>۱۳</sup>  | $FD_i$        | $FD_i = \frac{2 \ln \left( \frac{P_i}{4} \right)}{\ln A_i}$         | دامنه $FD_i$ بین ۱ تا ۲ است، که هر چه مقدار آن بیشتر باشد پیچیدگی لکه‌های سیمای سرزمین افزایش می‌یابد. هنگامی که $FD_i = 1/5$ است لکه‌ها در حالت حرکت تصادفی (براونی) و با ثبات ضعیف می‌باشند؛ و زمانی که $FD_i > 1/5$ است لکه‌ها پیچیده‌تر می‌شوند. بر این اساس در معادله رو به رو $P_i$ محیط سیمای سرزمین نوع $i$ را نشان می‌دهد. |
| شاخص آشفتگی سیمای سرزمین <sup>۱۴</sup>        | $D_i$         | $D_i = aF_i + bS_i + cFD_i$   | $D_i$ نشان‌دهنده میزان تداخلات سیمای سرزمین را براساس فعالیت‌های انسانی نشان می‌دهد و هم‌چنین در معادله رو به رو $a + b + c$ نشان‌دهنده وزن لکه‌ها می‌باشند که جمع آن‌ها برابر با یک است.   |
| شاخص آسیب‌پذیری سیمای سرزمین <sup>۱۵</sup>    | $V_i$         | ۴- پهناهای آبی، ۳- جنگل‌های مانگرو، ۲- پهنا جزر و مدی، ۱- اراضی لخت | $V_i$ نشان‌دهنده میزان حساسیت و درجه آسیب‌پذیری سیمای سرزمین می‌باشد. بر این اساس $V_i$ طبقات کاربری/ پوشش اراضی در هر یک از محدوده‌های مورد مطالعه از زیاد به کم شامل طبقات روبه‌رو است.   |

(ماخذ: Zhang et al, 2020)

### محدوده مورد مطالعه

منطقه حفاظت شده حرا، به عنوان بزرگ‌ترین رویشگاه طبیعی حرا در حوزه خلیج فارس و یکی از مناطق تحت حفاظت استان هرمزگان است و مساحتی بالغ بر ۸۶،۲۵۸ هکتار دارد که در حوزه سه شهرستان خمیر، قشم و بندرلنگه واقع شده و در برگیرنده ۶ رویشگاه قابل تفکیک (پهل، مردو، خمیر- لشتگان، سایه خوش، ساحل قشم و خورخوران) است. رویشگاه‌های حرا در این حوزه حد فاصل 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 شده است. از نظر اقلیمی میزان متوسط بارندگی سالانه در این منطقه، ۱۳۹/۴ میلی‌متر و دی ماه پر باران‌ترین ماه (۵۶/۸ میلی‌متر) و اردیبهشت ماه فاقد بارش یا کم‌بارش‌ترین ماه سال است. هم‌چنین دارای متوسط دمای ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به ترتیب مرداد با متوسط دمای ۳۴/۲۱ و دی با متوسط دمای ۱۸/۴۴ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به بازه‌های دمایی، نوسان دما در این محدوده حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد است، به این ترتیب در بازه زمانی ۲۵ سال اخیر، منطقه فاقد یخبندان و دمای زیر صفر بوده است. هم‌چنین، بیش‌ترین متوسط رطوبت نسبی در این منطقه مربوط به ماه‌های اسفند و شهریور (بیش‌تر از ۷۱ درصد) و کم‌ترین رطوبت نسبی در ماه آذر (حدود ۶۴ درصد) قابل مشاهده است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۱). به این ترتیب، اقلیم مطلوب آسایش گردشگری در این منطقه شامل ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین است، هم‌چنین به دلیل شرایط آب‌وهوایی، فصل زمستان بیشترین تعداد گردشگر را به

خود اختصاص داده است (سبحانی و دانه‌کار، ۱۴۰۱). از طرفی، این منطقه به دلیل چشم‌اندازهای بکر و مناظر طبیعی ویژه، مورد توجه بسیاری از گردش‌گران و طبیعت‌گردان قرار گرفته است. علاوه بر این محدوده مورد مطالعه، از نظر تنوع زیستی یکی از کانون‌های مهم زیستی کشور و در حوزه خلیج فارس محسوب می‌شود و از غنای گونه‌ای بالایی برخوردار است (سبحانی و دانه‌کار، ۱۴۰۲). شکل ۱، موقعیت محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

## یافته‌ها

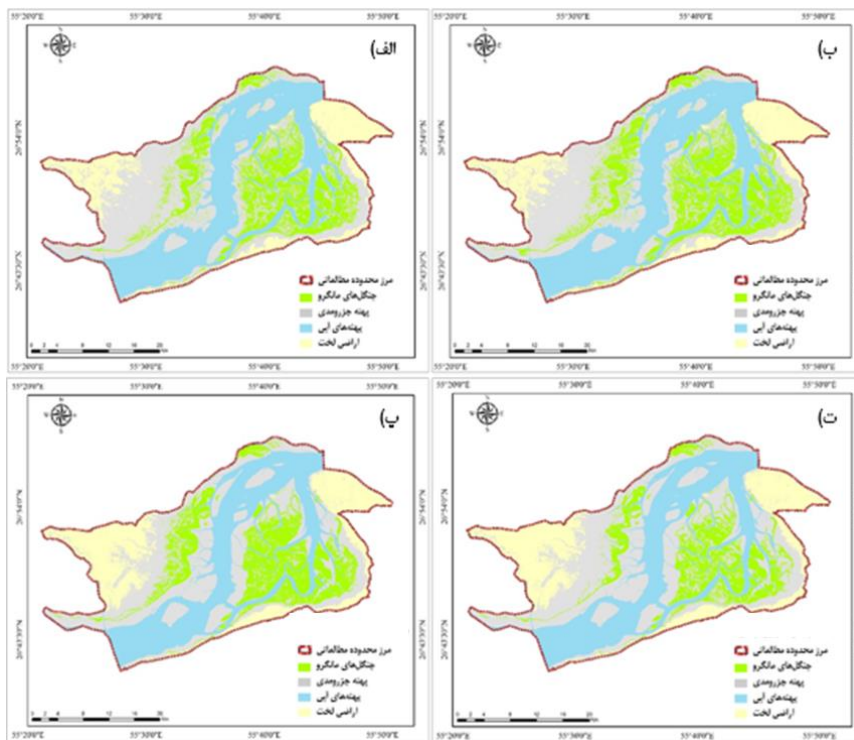
میزان تغییرات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه: مطابق نتایج به دست آمده، مقادیر صحت کلی طی سال‌های مورد مطالعه به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۸۸، ۰/۹۳ و ۰/۹۶ می‌باشند (جدول ۳). از این‌رو نتایج حاکی از آن است که مقادیر به دست آمده از مطلوبیت بالایی برخوردار بوده و در سطح قابل قبولی است. در ادامه، مطابق با جدول ۴ و شکل ۲، به بررسی و تحلیل نقشه کاربری اراضی منطقه به شرح زیر پرداخته شد. با توجه به نتایج به دست آمده، در بین کاربری‌های موجود، پهنه‌های جزر و مدی از بیش‌ترین روند افزایشی با مساحت ۳۹/۰۲۳ هکتار (۴۵/۲۳ درصد) در سال ۲۰۲۱ در مقایسه با سال ۱۹۸۹ با ۳۵/۸۸۷ هکتار (۴۱/۶۰ درصد) برخوردار بوده است. در حالی که در طی سال‌های مورد مطالعه پهنه‌های آبی با مساحت ۲۲/۹۳۴ هکتار (۲۶/۵۸ درصد) در سال ۲۰۲۱ به نسبت سال ۱۹۸۹ با مساحت ۲۷/۴۳۶ هکتار (۳۱/۸۰ درصد) بیش‌ترین روند کاهشی را داشته‌اند. جنگل‌های مانگرو نیز در بین سایر کاربری‌های این منطقه، با مساحت ۷/۰۱۲ هکتار (۸/۱۲ درصد) در سال ۲۰۲۱ در مقایسه با سال ۱۹۸۹ با مساحت ۷/۷۰۹ هکتار (۸/۹۳ درصد) کاهش یافته است. در نهایت اراضی لخت با مساحت ۱۷/۲۸۷ هکتار (۲۰/۰۴ درصد) در سال ۲۰۲۱ به نسبت سال ۱۹۸۹ با مساحت ۱۵/۲۲۴ هکتار (۱۷/۶۴ درصد) روند افزایشی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی نتایج به دست آمده حاکی از آن است که رویشگاه‌های مانگرو در منطقه حفاظت شده حرا، از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ روند کاهشی را تجربه کرده است که این کاهش، بیش‌تر طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۱ قابل مشاهده است.

جدول ۳: ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده

| سال  | صحت کلی (درصد) |
|------|----------------|
| ۱۹۸۹ | ۰/۹۴           |
| ۱۹۹۹ | ۰/۸۸           |
| ۲۰۰۹ | ۰/۹۳           |
| ۲۰۲۱ | ۰/۹۶           |

جدول ۴: مساحت و درصد تغییرات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱)

| اختلاف روند تغییرات<br>۲۰۲۱-۱۹۸۹ | ۲۰۲۱  |       | ۲۰۰۹  |       | ۱۹۹۹  |       | ۱۹۸۹  |       | سال  | طبقات کاربری اراضی |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------|
|                                  | مساحت | درصد  | مساحت | درصد  | مساحت | درصد  | مساحت | درصد  |      |                    |
| هکتار                            | هکتار | درصد  | هکتار | درصد  | هکتار | درصد  | هکتار | درصد  |      |                    |
| ۷۷۰۹                             | ۸/۹۳  | ۷۷۰۹  | ۷۴۱۸  | ۸/۶۹  | ۷۴۱۸  | ۷۵۰۳  | ۸/۹۳  | ۷۷۰۹  | ۱۹۸۹ | جنگل‌های مانگرو    |
| ۳۵۸۸۷                            | ۴۱/۶۰ | ۳۵۸۸۷ | ۳۸۲۵۰ | ۴۱/۸۸ | ۳۸۲۵۰ | ۳۶۱۲۸ | ۴۱/۶۰ | ۳۵۸۸۷ | ۱۹۸۹ | پهنه جزر و مدی     |
| ۱۵۲۲۴                            | ۱۷/۶۴ | ۱۵۲۲۴ | ۱۶۳۴۱ | ۱۸/۴۶ | ۱۶۳۴۱ | ۱۵۹۳۱ | ۱۷/۶۴ | ۱۵۲۲۴ | ۱۹۸۹ | اراضی لخت          |
| ۲۷۴۳۶                            | ۳۱/۸۰ | ۲۷۴۳۶ | ۲۴۳۴۷ | ۳۰/۹۴ | ۲۴۳۴۷ | ۲۶۶۹۴ | ۳۱/۸۰ | ۲۷۴۳۶ | ۱۹۸۹ | پهنه‌های آبی       |
| ۸۶۲۵۸                            | ۱۰۰   | ۸۶۲۵۸ | ۸۶۲۵۸ | ۱۰۰   | ۸۶۲۵۸ | ۸۶۲۵۸ | ۱۰۰   | ۸۶۲۵۸ | ۱۹۸۹ | جمع کل             |



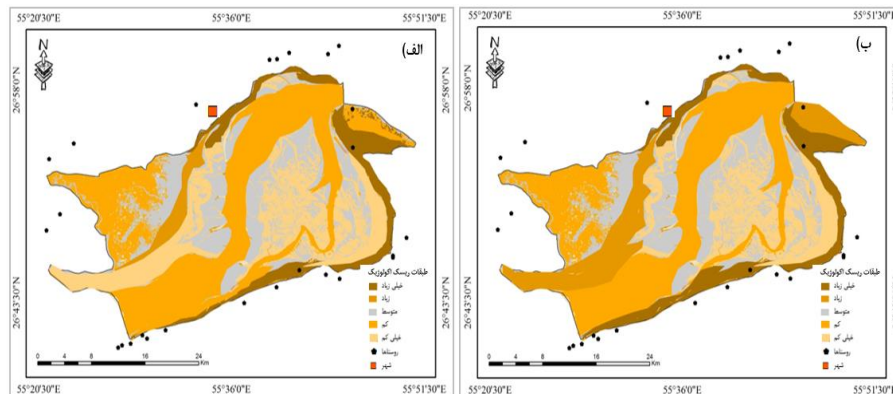
شکل ۲: نقشه تغییرات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه طی سال‌های: الف) ۱۹۸۹، ب) ۱۹۹۹، پ) ۲۰۰۹، ت) ۲۰۲۱

#### میزان ریسک اکولوژیک در محدوده مورد مطالعه

طبقات ریسک اکولوژیک در این منطقه شامل پنج طبقه خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم است (جدول ۵ و شکل ۳). مطابق نتایج، ارزیابی روند تغییرات ریسک اکولوژیک طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۹، ۰/۰۹ درصد به طبقه خیلی زیاد، ۰/۱۴ درصد به طبقه زیاد، ۰/۱۳ درصد به طبقه متوسط، ۰/۰۴- درصد به طبقه کم و ۰/۰۹ درصد به طبقه خیلی کم اختصاص یافته است. علاوه بر این در این منطقه طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۱، روند تغییرات ریسک اکولوژیک از خیلی زیاد تا خیلی کم به ترتیب شامل ۰/۱۸ درصد، ۰/۲۳ درصد، ۰/۰۶ درصد، ۰/۰۶- درصد و ۰/۴۱- درصد می‌باشد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱، میزان ریسک اکولوژیک در طبقه خیلی زیاد و زیاد از روند افزایشی برخوردار بوده است. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که در طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۹، میزان ریسک اکولوژیک در طبقه زیاد دارای بیش‌ترین روند افزایشی، و در مقابل طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۱، طبقه خیلی کم دارای بیش‌ترین روند کاهشی است.

جدول ۵: درصد تغییرات ریسک اکولوژیک در محدوده مورد مطالعه (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱)

| طبقات ریسک (%) | ۱۹۸۹  | ۱۹۹۹  | ۲۰۰۹  | ۲۰۲۱  | ۱۹۸۹-۱۹۹۹ | ۲۰۰۹-۲۰۲۱ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| خیلی زیاد      | ۷/۱۴  | ۷/۲۳  | ۷/۸۵  | ۸/۰۳  | ۰/۰۹      | ۰/۱۸      |
| زیاد           | ۳۳/۷۲ | ۳۳/۸۶ | ۳۳/۹۲ | ۳۴/۱۵ | ۰/۱۴      | ۰/۲۳      |
| متوسط          | ۲۸/۳۲ | ۲۸/۴۵ | ۲۹/۲۶ | ۲۹/۳۲ | ۰/۱۳      | ۰/۰۶      |
| کم             | ۸/۲۲  | ۸/۱۸  | ۷/۱۲  | ۷/۰۶  | -۰/۰۴     | -۰/۰۶     |
| خیلی کم        | ۲۲/۱۸ | ۲۲/۲۷ | ۲۱/۸۵ | ۲۱/۴۴ | ۰/۰۹      | -۰/۴۱     |



شکل ۳: میزان تغییرات ریسک اکولوژیک در محدوده مورد مطالعه طی سال‌های (الف) ۱۹۸۹-۱۹۹۹ و (ب) ۲۰۰۹-۲۰۲۱

روند تغییرات شاخص‌های الگوی سیمای سرزمین

همان‌طور که نتایج نشان داد (جدول ۶)، تغییرات شاخص‌های  $V_i$ ،  $FD_i$ ،  $D_i$ ،  $S_i$ ،  $F_i$  (به ترتیب از هم‌گسیختگی، جدادشگی، آشفستگی، بعد فراکتال و آسیب‌پذیری) در سطح طبقات جنگل‌های مانگرو و پهنه‌های آبی از روند افزایشی برخوردار است، در حالی که این شاخص‌ها در طبقات جزر و مدی و اراضی لخت روند کاهشی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، نتایج حاکی از آن است که بیش‌ترین تغییرات شاخص‌های الگوی سیمای سرزمین در بین جنگل‌های مانگرو است، و از این‌رو فاصله لکه‌های جنگلی با اندازه کوچک افزایش یافته است. مطابق با نتایج، در این منطقه هم‌چنین بیش‌ترین میزان آسیب‌پذیری مربوط به پهنه‌های آبی است.

جدول ۶: میزان تغییرات شاخص‌های الگوهای سیمای سرزمین در محدوده مورد مطالعه (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱)

| طبقات           | سال  | هکتار | درصد  | لکه‌ها | $F_i$  | $S_i$  | $D_i$  | $FD_i$ | $V_i$  |
|-----------------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| جنگل‌های مانگرو | ۱۹۸۹ | ۲۲۶۰۳ | ۲۹/۳۸ | ۶۳۲    | ۰/۵۹۷۵ | ۳/۲۴۷۶ | ۱/۶۶   | ۰/۴۴۷۵ | ۰/۰۴۳۸ |
|                 | ۱۹۹۹ | ۲۲۵۱۲ | ۲۹/۲۷ | ۶۴۰    | ۰/۵۹۸۲ | ۳/۲۴۸۸ | ۱/۷۱   | ۰/۴۴۸۲ | ۰/۰۴۴۲ |
|                 | ۲۰۰۹ | ۲۲۳۳۵ | ۲۹/۰۴ | ۶۵۵    | ۰/۶۷۲۱ | ۳/۲۵۱۵ | ۱/۷۵   | ۰/۴۴۹۸ | ۰/۰۴۵۷ |
|                 | ۲۰۲۱ | ۲۱۹۵۵ | ۲۸/۵۵ | ۷۲۶    | ۰/۶۷۰۸ | ۳/۲۵۴۱ | ۱/۷۸   | ۰/۴۵۱۲ | ۰/۰۴۶۰ |
| پهنه جزر و مدی  | ۱۹۸۹ | ۴۵    | ۰/۰۵  | ۱۴۵    | ۰/۳۴۵۵ | ۰/۹۸۷۱ | ۱/۴۸   | ۰/۲۹۵۶ | ۰/۰۱۸۵ |
|                 | ۱۹۹۹ | ۵۲    | ۰/۰۶  | ۱۳۶    | ۰/۳۴۲۳ | ۰/۹۸۶۲ | ۱/۳۲   | ۰/۲۹۴۲ | ۰/۰۱۷۶ |
|                 | ۲۰۰۹ | ۶۱    | ۰/۰۷  | ۱۲۸    | ۰/۳۴۱۵ | ۰/۹۸۵۰ | ۱/۲۶   | ۰/۲۹۳۵ | ۰/۰۱۶۷ |
| اراضی لخت       | ۲۰۲۱ | ۷۵    | ۰/۰۹  | ۱۳۸    | ۰/۳۴۰۲ | ۰/۹۸۴۶ | ۱/۱۸   | ۰/۲۹۱۸ | ۰/۰۱۵۸ |
|                 | ۱۹۸۹ | ۲۹۵۱  | ۸۰/۸۴ | ۱۳۴    | ۰/۲۸۹۰ | ۰/۹۷۶۳ | ۱/۴۸   | ۰/۳۲۴۵ | ۰/۰۱۷۲ |
|                 | ۱۹۹۹ | ۲۹۵۲  | ۸۰/۸۷ | ۱۲۸    | ۰/۲۸۸۵ | ۰/۹۷۵۴ | ۱/۴۵   | ۰/۳۲۳۸ | ۰/۰۱۶۹ |
|                 | ۲۰۰۹ | ۲۹۵۳  | ۸۱    | ۱۱۶    | ۰/۲۸۷۲ | ۰/۹۷۵۵ | ۱/۴۲   | ۰/۳۲۲۲ | ۰/۰۱۶۴ |
| پهنه‌های آبی    | ۲۰۲۱ | ۲۹۷۲  | ۸۱/۴۲ | ۱۰۵    | ۰/۲۸۵۴ | ۰/۹۷۴۱ | ۱/۳۴   | ۰/۳۲۱۵ | ۰/۰۱۵۴ |
|                 | ۱۹۸۹ | ۱۷۳۲  | ۴/۸۴  | ۱۶۳    | ۰/۱۸۹۸ | ۱/۲۸۳۲ | ۱/۵۵   | ۰/۵۵۹۸ | ۰/۰۵۱۲ |
|                 | ۱۹۹۹ | ۱۴۸۳  | ۴/۱۴  | ۱۶۷    | ۰/۱۸۹۹ | ۱/۲۸۴۰ | ۱/۶۳   | ۰/۵۶۰۲ | ۰/۰۵۴۵ |
|                 | ۲۰۰۹ | ۶۵۳   | ۱/۸۲  | ۱۶۸    | ۰/۱۸۹۹ | ۱/۲۸۴۴ | ۱/۶۸   | ۰/۵۶۴۲ | ۰/۰۵۶۲ |
| ۲۰۲۱            | ۵۹۴  | ۱/۶۵  | ۱۷۴   | ۰/۱۹۰۵ | ۱/۲۸۵۱ | ۱/۷۱   | ۰/۵۶۵۱ | ۰/۰۵۸۳ |        |

## بحث و نتیجه‌گیری

توسعه فعالیت‌های انسانی باعث تغییرات چشم‌گیری در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های طبیعی سرزمین شده است. بنابراین پایش مداوم و درک پویایی مکانی-زمانی از تغییرات کاربری اراضی و ریسک اکولوژیک ناشی از آن امری ضروری است (Guo et al, 2022). هم‌چنین ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و ریسک اکولوژیک در مناطق تحت حفاظت می‌تواند به حفاظت از این مناطق و کنترل و مدیریت بر توسعه فعالیت‌های بی‌رویه انسانی توسط مدیران و تصمیم‌گیرندگان کمک نماید (Cuenca et al, 2016; Leberger et al, 2019). بر این اساس در مطالعه حاضر به ارزیابی روند تغییرات کاربری‌های اراضی طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ پرداخته شد و سپس میزان ریسک اکولوژیک با استفاده از شاخص ریسک مورد ارزیابی قرار گرفت. هم‌چنین به منظور ارزیابی میزان تغییرات الگوی سیمای سرزمین، روند تغییرات شاخص‌های الگوی سیمای سرزمین طی این سال‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که در بین طبقات کاربری‌های اراضی موجود در منطقه، پهنه‌های جزر و مدی از بیش‌ترین روند افزایشی در سال ۲۰۲۱ در مقایسه با سال ۱۹۸۹، برخوردار است. در حالی‌که طی این سال‌ها، پهنه‌های آبی بیش‌ترین روند کاهشی را داشته است. در ادامه جنگل‌های مانگرو و اراضی لخت، به ترتیب روند تغییرات کاهشی و افزایشی را در این منطقه نشان می‌دهند. به‌طور کلی نتایج به دست آمده حاکی از روند افزایشی تغییرات کاربری اراضی در طی سال‌های مورد مطالعه، به دلیل رشد فعالیت‌های انسانی از جمله توسعه ساخت و سازها و زیرساخت‌ها به ویژه بنادر و اسکله‌های تجاری و گردش‌گری (اسکله بندر خمیر، اسکله گورزین، اسکله لافت، اسکله سهیلی، اسکله طبل، اسکله دهخدا و اسکله گوران) در این منطقه است. هم‌چنین به دلیل وابستگی معیشتی جوامع محلی به این منطقه منجر به گسترش فعالیت‌هایی هم‌چون سرشاخه‌زنی برای تعلیف دام (شتر)، صید و آبی‌پروری، برداشت عسل و توسعه فعالیت‌های گردشگری به‌ویژه قایق‌سواری در اسکله‌ها و بنادر شده است. این نتایج در سایر مطالعات (صفری و همکاران، ۱۳۹۸؛ مافی غلامی و همکاران، ۱۳۹۷؛ قدرتی شجاعی، ۱۳۹۸؛ لقایی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Mafi-Gholami and Jafari, 2022) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. نتایج به دست آمده حاکی از افزایش روند تغییرات رویشگاه‌های مانگرو، در منطقه حفاظت شده حرا است. به همین ترتیب در مطالعات منگیست<sup>۱۶</sup> و همکاران (۲۰۲۳) و جمال فاروک<sup>۱۷</sup> و همکاران (۲۰۲۲) نیز، تغییرات کاربری اراضی عمده‌ترین عامل در کاهش جنگل‌های مانگرو شناخته شده است. این نتایج نشان داد که توسعه فعالیت‌های انسانی منجر به اثرات نامطلوبی بر اکوسیستم‌های جنگلی و هم‌چنین افزایش روند تغییرات کاربری اراضی در منطقه شده است. در این مطالعه، نتایج ارزیابی ریسک اکولوژیک نشان داد که در طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۹، میزان ریسک در طبقه زیاد دارای بیش‌ترین روند افزایشی، و در مقابل طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۱، طبقه خیلی کم دارای بیش‌ترین روند کاهشی بوده است. بر این اساس، نتایج حاکی از آن است که طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ به دلیل رشد جمعیت، توسعه اقتصادی و فعالیت‌های انسانی به‌ویژه گردش‌گری در این منطقه، میزان ریسک اکولوژیک در طبقات خیلی‌زیاد و زیاد از روند افزایشی برخوردار بوده است. یافته‌های این تحقیق در سایر مطالعات نیز مورد تأیید قرار گرفته است. در مطالعات لبرگر<sup>۱۸</sup> و همکاران (۲۰۱۹)، کوئنکا<sup>۱۹</sup> و همکاران (۲۰۱۶) و دای<sup>۲۰</sup> و همکاران (۲۰۱۱)؛ نتایج نشان داد که روند افزایش تغییرات کاربری اراضی در راستای رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های انسانی منجر به افزایش ریسک اکولوژیک در اکوسیستم‌های طبیعی و مناطق تحت حفاظت شده است. در مطالعه‌ای دیگر زنگنه اسدی و همکاران (۱۳۹۸)، در ارزیابی تغییرات سطح جنگل‌های مانگرو منطقه حفاظت شده خورخوران بیان کردند که عواملی چون افزایش دما و بالارفتن سطح آب دریاها، افزایش رسوبات رودخانه در محل پایاب‌های منطقه، زمینه را برای تغییرات جنگل‌های مانگرو فراهم نموده است، لذا هرگونه طرح تأسیساتی و زیربنایی باید با رعایت ملاحظات محیط زیستی و اکولوژیکی در این منطقه صورت گیرد. در ادامه، ارزیابی شاخص‌های  $Vi$  و  $FDi$ ،  $Di$ ،  $Si$ ،  $Fi$  نشان داد که طی سال‌های مورد مطالعه، این شاخص‌ها در سطح طبقات جنگل‌های مانگرو و پهنه‌های آبی از روند افزایشی برخوردار بوده است، در حالی که در طبقات جزر و مدی و اراضی لخت روند کاهشی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، نتایج حاکی از آن است که بیش‌ترین تغییرات شاخص‌های الگوی سیمای

سرزمین در بین پهنه‌های جنگل‌های مانگرو می‌باشد، و از این‌رو فاصله لکه‌های جنگلی با اندازه کوچک افزایش یافته است. هم‌چنین در این منطقه، بیش‌ترین میزان آسیب‌پذیری به پهنه‌های آبی اختصاص یافته است. در این راستا مطالعات باتر<sup>۲۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) و زومر<sup>۲۲</sup> و همکاران (۲۰۰۱)، نشان داد که افزایش روند تغییرات منجر به تبدیل اراضی جنگلی به غیرجنگلی شده است و به دنبال آن کاهش پیوستگی پهنه‌ها و هم‌چنین کیفیت زیستگاه جنگلی قابل مشاهده است. هم‌چنین در مطالعه مصطفی‌زاده و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی شاخص امنیت بوم‌شناختی در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل با استفاده از شاخص‌های تکه‌شدگی<sup>۲۳</sup>، شاخص بزرگ‌ترین لکه<sup>۲۴</sup>، تراکم حاشیه<sup>۲۵</sup> و تراکم لکه<sup>۲۶</sup>، و شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین براساس معیارهای گسستگی<sup>۲۷</sup> پرداخته شده است. نتایج و یافته‌های این پژوهش‌ها می‌توانند در برنامه‌ریزی کاربری اراضی، ارزیابی اثرات بوم‌شناختی، مدیریت و حفاظت از منابع حوضه کاربرد چشم‌گیری داشته باشد. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که چگونه روند تغییرات کاربری اراضی و توسعه فعالیت‌های انسانی می‌تواند منجر به تغییرات طیف گسترده‌ای از شاخص‌های الگوی سیمای سرزمین و در نهایت افزایش ریسک اکولوژیک شود. مطابق این نتایج، توسعه فعالیت‌های انسانی و فقدان برنامه‌ریزی صحیح، عمده‌ترین عامل افزایش روند تغییرات کاربری اراضی و ریسک اکولوژیک در منطقه بوده است. این جنگل‌ها با گذشت زمان تغییرات زیادی را از نظر وسعت و کیفیت تجربه کرده‌اند و با وجود اهمیت بالا، توزیع و گسترش آن‌ها به دلیل فعالیت‌های انسانی در حال کاهش است. جنگل‌های مانگرو در معرض ریسک‌های طبیعی و انسانی مختلفی مانند بالا آمدن سطح آب دریاها، افزایش دمای هوا، خشک‌سالی، توسعه شهری، زیرساخت‌ها و گردش‌گری، آبی‌پروری، چرای حیوانات، انواع آلودگی‌ها و برداشت بی‌رویه از این جنگل‌ها قرار دارند. هم‌چنین یکی از عوامل اصلی افزایش ریسک اکولوژیک در منطقه، توسعه اسکله‌ها در نواحی ساحلی است. به این ترتیب از مهم‌ترین تهدیدهای اسکله‌ها برای بوم‌سازگان می‌توان به آلودگی نفتی (ناشی از نشت سوخت و روغن در زمان سوخت‌گیری قایق‌ها)، افزایش فلزات سنگین در رسوبات (به علت ورود مواد تشکیل‌دهنده سوخت به آب)، آلودگی هوا و افزایش مواد مغذی به آب اشاره نمود. هم‌چنین در راستای این تغییرات، الگوی سیمای سرزمین منطقه حفاظت شده حرا نیز تحت‌تأثیر قرار گرفته و کیفیت آن کاهش یافته است. بر این اساس کنترل و پایش مستمر بر فعالیت‌های انسانی به منظور پیش‌گیری از افزایش ریسک اکولوژیک و کاهش کیفیت زیستگاه در مناطق تحت حفاظت امری ضروری است. بدین معنا که مطابق با رویکردهای حفاظتی، هرگونه بهره‌برداری بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی در این مناطق ممنوع است.

## سپاسگزاری

این مقاله با همکاری و مساعدت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF)، برگرفته شده از طرح شماره ۴۰۰۵۹۷۲ به انجام رسیده است.

## پی‌نوشت

- 1- Li
- 2- RMS
- 3- Normalized difference vegetation Index
- 4- Normalized difference water index
- 5- Normalized difference turbidity index
- 6- Soil adjusted vegetation index
- 7- Disturbance index
- 8- Separation index
- 9- Fractal dimension index
- 10- Vulnerability index
- 11- Landscape fragmentation
- 12- Landscape separation
- 13- Landscape fractal dimension

- 14- Landscape disturbance
- 15- Landscape vulnerability
- 16- Mengist
- 17- Jamal Faruque
- 18- Leberger
- 19- Cuenca
- 20- Dai
- 21- Batar
- 22- Zomer
- 23- Splitting index (SPLIT)
- 24- Large patch index (LPI)
- 25- Edge total (ET)
- 26- Patch density (PD)
- 27- DIVISION

### حامی مالی

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

### سهام نویسندگان در پژوهش

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

### تضاد منافع

نویسنده (نویسندگان) اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

### منابع

- زنگنه-اسدی، م.ع.، تقوی مقدم، ا. و اکبری، ا.، ۱۳۹۸. ارزیابی تغییرات و تعیین سطح جنگل‌های مانگرو منطقه حفاظت شده خورخوران با تاکید بر هیدروپدینامیک تنگه هرمز، علوم و تکنولوژی محیط زیست: ۲۱(۸۵)، ۲۲۶-۲۱۳.  
<https://doi.org/10.22034/JEST.2019.22974.3203>
- خورانی، ا.ا.، بی نیاز، م. و امیری، ح.، ۱۳۹۴. تغییرات سطح جنگل‌های حرا با توجه به نوسانات اقلیمی (مطالعه موردی: جنگل‌های بین بندر خمیر و قشم)، بوم‌شناسی آذربایجان: ۵(۲)، ۱۰۰-۱۱۱.  
<https://www.magiran.com/paper/1634097>
- سبحانی، پ. و دانه کار، ا.، ۱۴۰۱. بررسی شرایط اقلیم گردشگری در جنگل‌های مانگروی ایران با استفاده از شاخص اقلیم آسایش گردشگری (TCI) و شاخص اقلیم تعطیلات (HCI)، محیط‌زیست طبیعی: ۷۵، ۲۹-۴۵.  
<https://doi.org/10.22059/JNE.2022.351668.2494>
- سبحانی، پ. و دانه کار، ا.، ۱۴۰۲. مروری بر مطالعات سیمای طبیعی و محدوده‌های مدیریتی جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم، طبیعت ایران: ۸ (۴-۴۱)، ۹۷-۱۱۲.  
<https://doi.org/10.22092/irm.2019.120092>
- صفری، ج.، مافی غلامی، د. و محمودی، ب.ع.، ۱۳۹۸. نقشه‌برداری فضایی تغییرات ساختاری حرا با استفاده از ماهواره لندست ۸ در ذخیره گاه زیست کره حرا، دومین همایش ملی منابع طبیعی و توسعه پایدار در زاگرس، ۷.  
<https://elmnet.ir/article/20953676-12461>
- قدرتی شجاعی، م.، طاهری میرقائد، ع.، مشهدی فراهانی، م.، دلفان، ن. و ویجت، م.، ۱۳۹۸. تعیین نقش تولیدات اولیه گیاه حرا *Avicenia marina* در تغذیه گونه *Thryssa setirostris* در بوم سازگان مانگروی ذخیره گاه زیستکره حرا به کمک ایزوتوپ‌های پایدار کربن. علوم و فنون شیلات: ۸ (۳)، ۱۷۵-۱۸۱.  
<https://jfst.modares.ac.ir/article-6-40613-fa>
- لقایی، ج.ع.، منوری، م. و رئیسی، ب.، ۱۳۸۸. برنامه‌ریزی و زون‌بندی ذخیره‌گاه زیستکره حرا براساس معیارهای بین‌المللی با تأکید بر جزیره قشم (با استفاده از GIS)، انسان و محیط زیست: ۷ (۱)، ۳۹-۳۰.  
[https://he.srbiau.ac.ir/article\\_6511.html](https://he.srbiau.ac.ir/article_6511.html)
- مافی غلامی، د.، بهارلویی، م. و محمودی، ب.، ۱۳۹۷. پایش فرسایش و برافزایش در جنگل‌های حرا با استفاده از سنجش از دور و سامانه تجزیه و تحلیل رقمی خط ساحلی (DSAS) (مطالعه موردی: ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا)، محیط‌شناسی: ۴۳ (۴)، ۶۳۳-۶۴۶.  
 JES.2018.225288.1007381/10.22059. ۶۴۶

مجنونیان، ه.، ۱۳۸۲. راهنمای برنامه‌ریزی پارک‌های ملی، برنامه‌ریزی تمرین و فرآیند آماده‌سازی برای طرح مدیریت پارک ملی تهران، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، ۲۰۱ ص. <https://www.doe.ir/portal/file/?254949/a9r67.tmp.pdf>

مصطفی زاده، ر.، بابایی، ل.، علایی، ن. و حزباوی، ز.، ۱۴۰۱. شاخص امنیت بوم‌شناختی در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل، علمی پژوهش‌های محیط زیست، ۱۳ (۲۶)، ۱۸۹-۲۰۹. <https://doi.org/10.22034/EIAP.2023.169991>

نیک اندیش، ا.، دشتی، س. و سبزیبایی، غ.ر.، ۱۳۹۸. ارزیابی مخاطرات محیط زیستی در جهت توسعه پایدار در پارک‌های ملی و مناطق حفاظت شده (مطالعه موردی: پارک ملی و منطقه حفاظت شده دز)، جغرافیا و مخاطرات محیطی: ۲۹، ۴۳-۶۳. [GEO.V0I0.69860/10.22067](https://doi.org/10.22067/GEO.V0I0.69860/10.22067)

- Aber, J.S., Marzolf, I. and Ries, J.B., 2010. Image Processing and Analysis (Chapter 11). Small-Format Aerial Photography Principles, Techniques and Geoscience Applications: 159-181. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53260-2.10011-0>.
- Ait El Haj, F., Ouadif, L. and Akhssas, A., 2023. Simulating and predicting future land-use/land cover trends using CA Markov and LCM models. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering: 7, 100342. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100342>.
- Akar, O. and Gungor, O., 2012. Classification of Multispectral Images Using Random Forest Algorithm, Journal of Geodesy and Geoinformation: 1(2), 105-112. <https://doi.org/10.9733/jgg.241212.1>.
- Ansari, A. and Golabi, M.H., 2019. Using Ecosystem Service Modeler (ESM) for Ecological Quality, rarity, and Risk Assessment of the wild goat habitat, in the Haftad-Gholleh protected area, International Soil and Water Conservation Research: 346-353. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.08.004>
- Batar, A.K., Watanabe, T. and Kumar, A., 2017. Assessment of land-use/land-cover change and forest fragmentation in the Garhwal Himalayan Region of India. Environments: 4, 34. <https://doi.org/10.3390/environments4020034>.
- Borrini-Feyerabend, G., Pimbert, M., Farvar, M.T., Kothari, A. and Renard, Y., 2004. Sharing Power: Learning by doing in co-management of natural resources throughout the world, Cenesta, Tehran: IIED and IUCN CEESP/CMWG.
- 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 Sens: 14, 3396. <https://doi.org/10.3390/rs14143396>.
- Breiman, L., 2001. Random Forest, Machine Learning: 45(1), 5-32. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Chapman, P.M., 2016. Ecological Risk and Weight of Evidence Assessments. Marine Ecotoxicology, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803371-5.00009-6>.
- Chavez, P.S., 1996. Image-based atmospheric Corrections-Revisited and improved. Photogram. Eng. Remote Sens: 62, 1025-1036. 0099-1112/96/6209-1025\$3.00/0
- Chen, J., Dong, B., Li, H., Zhang, Sh., Peng, L., Fang, L., Zhang, Ch. and Li, Sh., 2020. Study on landscape ecological risk assessment of Hooded Crane breeding and overwintering habitat. Environmental Research: 187, 109649. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109649>.
- Cuenca, P., Arriagada, R. and Echeverría, C., 2016. How much deforestation do protected areas avoid in tropical Andean landscapes? Environ. Sci. Policy: 56, 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.014>.
- Dai, L., Wang, Y., Lewis, B.J., Xu, D., Zhou, L., Gu, X. and Jiang, L., 2011. The trend of land-use sustainability around the Changbai Mountain Biosphere Reserve in Northeastern China: 1977-2007. Int. J. Sustain. Dev. World Ecol: 19, 369-377. <https://doi.org/10.1080/13504509.2012.675599>.
- Dewa, R.P. and Danoedoro, P., 2017. The effect of image radiometric correction on the accuracy of vegetation canopy density estimate using several Landsat-8 OLI's vegetation indices: A case study of Wonosari area, Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science: 54, 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012046>.
- 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>.
- Elhag, M., Gitas, I., Othman, A., Bahrawi, J. and Gikas, P., 2019. Assessment of water quality parameters using temporal remote sensing spectral reflectance in arid environments. Saudi Arabia. Water: 11, 556. <https://doi.org/10.3390/w11030556>.
- Fang, X.D., Hou, X.Y., Li, X.W., Hou, W., Nakaoka, M. and Yu, X.B., 2018. Ecological connectivity between land and sea: A review. Ecol. Res: 33, 51-61. <https://doi.org/10.1007/s11284-017-1549-x>.



- Fitrian, E.B. and Boro, W.G., 2022. Analysis of Land Use Land Cover Change in Protected Areas Against Spatial Planning in East Luwu. *Earth and Environmental Science*: 1097, 012061. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1097/1/012061>.
- Gong, J., Yang, J.X. and Tang, W.W., 2015. Spatially explicit landscape-level ecological risks induced by land use and land cover change in a national ecologically representative region in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*: 12(11), 14192-14215. <https://doi.org/10.3390/ijerph121114192>
- Guo, H., Cai, Y., Li, B., Tang, Y., Qi, Z., Huang, Y. and Yang, Zh., 2022. An integrated modeling approach for ecological risks assessment under multiple scenarios in Guangzhou, China. *Ecological Indicators*: 142, 109270. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109270>.
- Huang, B., Hu, X.P., Fuglstad, G.A., Zhou, X., Zhao, W.W. and Cherubini, F., 2020. Predominant regional biophysical cooling from recent land cover changes in Europe. *Nat. Commun*: 11, 1-13. <https://hdl.handle.net/11250/3012242>.
- Jamal Faruque, Md., Vekerdy, Z., Yeasir Hasan, Md., Islam, K.Z., Young, B., Tofayal Ahmed, M., Monir, M.D., Shovon, Sh.M., Kakon, J.F. and Kundu, P., 2022. Monitoring of land use and land cover changes by using remote sensing and GIS techniques at human-induced mangrove forests areas in Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*: 25, 100699. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100699>.
- Jin, X., Jin, Y. and Mao, X., 2019. Ecological risk assessment of cities on the Tibetan Plateau based on land use/land cover changes—Case study of Delingha City. *Ecol. Indic*: 101, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.050>
- Jones, D.A., Hansen, A.J., Bly, K., Doherty, K., Verschuyt, J.P., Paugh, J.I., Carle, R. and Story, S.J., 2009. Monitoring land use and cover around parks: A conceptual approach. *Remote Sensing of Environment Journal*: 113, 1346-1356. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.08.018>.
- Kamusoko, C. and Jonah, J., 2015. Simulating Urban Growth Using a Random Forest-Cellular Automata (RF-CA) Model, *International Journal of Geo-Information*: 4 (2), 447-470. <https://doi.org/10.3390/ijgi4020447>.
- Juan, C., Jiménez-Munoz, J., Sobrino, A., Mattar, C. and Franch, B., 2010. Atmospheric correction of optical imagery from MODIS and Reanalysis atmospheric products. *Remote Sensing of Environment*: 114, 2195-2210. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.022>.
- Kleeman, J., Baysal, G., Bulley, H.N.N. and Furst, C., 2017. Assessing driving forces of land use and land cover change by a mixed-method approach in North-Eastern Ghana, West Africa. *J. Environ. Manag*: 196, 411-442. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.053>.
- Lacaux, J.P., Tourre, Y.M., Vignolles, C., Ndione, J.A. and Lafaye, M., 2007. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote Sens. Environ*: 106, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.012>.
- Leberger, R., Rosa, I.M., Guerra, C.A., Wolf, F. and Pereira, H.M., 2019. Global patterns of forest loss across IUCN categories of protected areas. *Biol. Conserv*: 241, 108299. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108299>.
- Leirpoll, M.E., Naess, J.S., Cavalett, O., Dorber, M., Hu, X. and Cherubini, F., 2021. Optimal combination of bioenergy and solar photovoltaic for renewable energy production on abandoned cropland. *Renew. Energ*: 168, 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.159>.
- Li, L., Feng, R. and Xi, J., 2021. Ecological Risk Assessment and Protection Zone Identification for Linear Cultural Heritage: A Case Study of the Ming Great Wall. *Int. J. Environ. Res. Public Health*: 18 (21), 11605. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111605>.
- Li, Sh., He, W., Wang, L., Zhang, Z., Chen, X., Lei, T., Wang, Sh. and Wang, Sh., 2023. Optimization of landscape pattern in China Luojiang Xiaoxi basin based on landscape ecological risk assessment, *Ecological Indicators*: 146, 109887. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109887>.
- Li, W., Wei, W. and Boni, L., 2018. Geometric Correction Algorithm for Hyperspectral Images based on GPS, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, ISSN: 2319-7064. <https://doi.org/10.21275/SR20331142109>.
- Li, Z., Jiang, W., Wang, W., Chen, Z., Ling, Z. and Lv, J., 2020. Ecological risk assessment of the wetlands in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Ecol. Indic*: 117, 106677. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106677>.
- Lin, Y.Y., Hu, X.S., Zheng, X.X., Hou, X.Y., Zhang, Z.X. and Zhou, X.N., 2019. Spatial variations in the relationships between road network and landscape ecological risks in the highest forest coverage region of China. *Ecological Indicators*: 96, 392-403. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.016>.

- Ling, Y., Zhang, Z., Zhao, X., Liu, B., Wang, X. and Zuo, L., 2014. Spatio-temporal process of unused land resources in China and its ecological effects, In 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS, 2665-2668. <https://doi.org/10.1002/ldr.4794>.
- Mafi-Gholami, D. and Jafari, A., 2022. Monitoring changes in the integrity of mangroves in the mangrove biosphere reserve in the face of changes in rainfall and the occurrence of drought. *Journal of Marine Science and Technology*. <https://doi.org/10.22113/jmst.2022.223331.2359>.
- Mengist, W., Soromessa, T. and Feyisa, G.L., 2023. Forest fragmentation in a forest Biosphere Reserve: Implications for the sustainability of natural habitats and forest management policy in Ethiopia. *Resources, Environment and Sustainability*: 8, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100058>.
- Mukul, S.A., 2007. Biodiversity conservation strategies in Bangladesh: The state of protected areas, *Tigerpaper*: 34, 28-32.
- Nunes, J.R., Loures, L., Lopez-Pineiro, A., Loures, A. and Vaz, E., 2016. Using GIS towards the characterization and soil mapping of the caia irrigation perimeter. *Sustainability*: 8, 368. <https://doi.org/10.3390/su8040368>.
- Resende, F.M., Cimon-Morin, J., Poulin, M., Meyer, L., Joner, D.C. and Loyola, R., 2021. The Importance of Protected Areas and Indigenous Lands in Securing Ecosystem Services and Biodiversity in the Cerrado. *Ecosyst. Serv.*: 49, 101282. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101282>.
- Sobhani, P., Esmailzadeh, H., Barghjelveh, S., Sadeghi, S.M.M. and Marcu, M.V., 2021a. Habitat Integrity in Protected Areas Threatened by LULC Changes and Fragmentation: A Case Study in Tehran Province, Iran. *Land*: 11, 6. <https://doi.org/10.3390/land11010006>.
- Sobhani, P., Esmailzadeh, 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. 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*: 20, 100293. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100293>.
- Shimu, S., Aktar, M., Afjal, M., Nitu, A., Uddin, M. and Al Mamun, M., 2019. NDVI -based change detection in Sundarban Mangrove Forest using remote sensing data. In *Proceedings of the 2019 4th International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, Khulna, Bangladesh: 1-5. <https://doi.org/10.1109/EICT48899.2019.9068819>.
- Tuffour-Mills, D., Antwi-Agyei, Ph. and Addo-Fordjour, P., 2020. Trends and drivers of land cover changes in a tropical urban forest in Ghana, *Trees, Forests and People*, 2, 100040. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100040>.
- Wang, E., Song, J.P. and Xu, T., 2011. From “spatial bond” to “spatial mismatch”: An assessment of changing jobs-housing relationship in Beijing, *Habitat International*: 35, 398-409. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2010.11.008>
- Wang, G., Yu, Q., Yang, D., Zhang, Q.B., Yue, D.P. and Liu, J.H., 2020. Hierarchical ecological network structure based on complex network analysis. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach*: 50, 258-266. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2019.07.028>
- Wang, Y.Q., 2009. Remote sensing of land-cover changes and landscape context of the national parks: A case study of the Northeast Temperate Network, *Remote Sensing of Environment Journal*: 113, 1453-1461. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.017>.
- Wang, Y., Bonyng, 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>.
- Wolf, I.D., Sobhani, P. and Esmailzadeh, H., 2023. Assessing Changes in Land Use/Land Cover and Ecological Risk to Conserve Protected Areas in Urban–Rural Contexts. *Land*: 12, 231. <https://doi.org/10.3390/land12010231>.
- Xia, Q., Qin, C.Z., Li, H., Huang, C., Su, F.Z. and Jia, M.M., 2020. Evaluation of submerged mangrove recognition index using multi-tidal remote sensing data. *Ecol. Indic*: 113, 106196. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106196>.
- Xie, H., Wang, P. and Huang, H., 2013. Ecological Risk Assessment of Land Use Change in the Poyang Lake Eco-economic Zone, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*: 10, 328-346. <https://doi.org/10.3390/ijerph10010328>.
- Yu, L., Tian, Y. and Wu, W., 2019. A Dark Target Detection Method Based on the Adjacency Effect: A Case Study on Crack Detection. *Sensors (Basel)*: 19(12), 2829. <https://doi.org/10.3390/s19122829>. PMID: 31242615; PMCID: PMC6630261.

- Zeng, H. and Liu, G.J., 1999. Analysis of regional ER based on landscape structure, China Environ. Sci: 19, 454-457. <https://doi.org/10.3321/j.issn.1000-6923.%1999.05.017>.
- Zhang, F., Yu, S., Jiang, A. and Wang, D., 2018. ER assessment due to land use/cover changes (LULC) in Jinghe county, Xinjiang, China from 1989 to 2014 based on landscape patterns and spatial statistics. Environ. Earth Sci: 77, 491. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7676-z>
- Zhang, M., Zhang, C., Al Kafy, A.A. and Tan, S., 2022. Simulating the Relationship between Land Use/Cover Change and Urban Thermal Environment Using Machine Learning Algorithms in Wuhan City, China. Land: 11, 14. <https://doi.org/10.3390/land11010014>.
- Zhang, W., Chang, W.J., Zhu, Z.C. and Hui, Z., 2020. Landscape ER assessment of Chinese coastal cities based on land use change. Appl. Geogr: 117, 102174. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102174>.
- Zomer, R.J., Ustin, S.L. and Carpenter, C.C., 2001. Land cover change along tropical and subtropical riparian corridors within the Makalu Barun National Park and Conservation Area, Nepal. Mt. Res. Dev: 21, 175-183. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2001\)021\[0175:LCCATA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2001)021[0175:LCCATA]2.0.CO;2).
- 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://igarss2021.com/view\\_paper](https://igarss2021.com/view_paper).