

## Modeling the distribution of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. in the Khamir and Qeshm mangrove forests, Iran, using maximum entropy (MaxEnt)

P. Sobhani<sup>1</sup> and A. Danehkar<sup>2\*</sup>

1- Postdoctoral Researcher, Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

2\*- Corresponding author, Prof., Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran  
Email: danehkar@ut.ac.ir

Received: 20.12.2023

Accepted: 31.1.2024

### Abstract

**Background and objectives:** In recent decades, the Khamir and Qeshm mangrove forests in southern Iran have suffered significant destruction due to various human activities, including the construction of docks, commercial and tourism ports, deforestation, and unplanned tourism development. These forests, which provide valuable ecosystem services, have faced indiscriminate and unplanned development, as well as insufficient attention from local communities. Therefore, understanding the spatial distribution of plant species in this area is crucial for effective planning and enhancing the protection of these valuable biological resources. This study aims to identify suitable areas and model the presence of the mangrove tree species *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. in the Khamir and Qeshm mangrove forests to facilitate the restoration and proper distribution of this species.

**Methodology:** The habitat suitability map for *A. marina* was prepared using MaxEnt modeling. A total of 234 points were randomly recorded using the Global Positioning System (GPS). To investigate the spatial distribution of *A. marina*, various environmental factors affecting its geographical distribution were analyzed using ArcGIS 10.8 software to generate maps and environmental variables. The environmental variables were selected based on theoretical foundations, previous studies, and expert opinions. The model included 18 climatic variables and 5 physical variables affecting the distribution of *A. marina*. The physical variables included maximum wave height, beach slope, tidal fluctuations, water salinity, and beach material (sandy-gravel, muddy, back beach (sand material)). All layers were prepared in ASCII format with a cell size of 1 km, and MaxEnt 3.4.4 software was used for modeling.

**Results:** The area under the curve (AUC) obtained from the MaxEnt algorithm indicated excellent predictive power for the presence of *A. marina* in the study area, demonstrating the model's ability to distinguish between suitable and unsuitable areas. The overlap of training and test data also confirmed the model's accuracy. The contribution analysis of each environmental variable in the model showed that maximum wave height, annual average temperature, tidal fluctuations, and water salinity were the most influential variables. Specifically, maximum wave height and annual average temperature had the largest influence on the distribution of *A. marina*, while the minimum temperature of the coldest month had the least effect. The response curves indicated that maximum wave height (1 to 2 m) and average annual temperature (26.8°C) were the most important independent variables, with an inverse relationship to the probability of *A. marina* presence. As wave height and average annual temperature increased, the probability of species presence decreased. The suitability map for *A. marina* in the Khamir and Qeshm mangrove forests showed that the highest suitability was in areas with minimal wave height and less exposure to tidal fluctuations. Favorable areas for the presence and development of *A. marina* included the northern areas of Khorkhoran Islands, Mardove Island, and the northeast of the Khamir-Lashtghan habitat. In general, the species was more dispersed in areas with low wave height and minimal water level fluctuations.

**Conclusion:** The study provides key information on the impact of environmental variables on the distribution of *A. marina*, offering an important strategy for protecting the biodiversity and valuable resources of the species in the Khamir and Qeshm mangrove forests. The suitability map serves as essential information for planting and reviving these natural habitats.

**Keywords:** Environmental variable, Khamir and Qeshm, mangrove forest, modeling.



## مدل‌سازی پراکنش حرا (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) در جنگل‌های ماندابی خمیر و قشم با استفاده از مدل بیشینه آنتروپی (MaxEnt)

پروانه سبحانی<sup>۱</sup> و افشین دانه‌کار<sup>۲\*</sup>

۱- پژوهشگر پسادکتری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: danehkar@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۹

### چکیده

سابقه و هدف: طی دهه‌های اخیر، جنگل‌های مانگرو (Mangrove forests) خمیر و قشم به علت روند تغییرات ناشی از توسعه انواع فعالیت‌های انسانی (از جمله احداث اسکله‌ها، بنادر تجاری و گردشگری، سرشاخه‌زنی و توسعه بی‌برنامه گردشگری) در حال تخریب هستند. از طرفی، این جنگل‌ها در کنار خدمات ارزنده بوم‌سازگانی با توسعه بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی و نیز کم‌توجهی جوامع محلی مواجه شده است، بنابراین درک پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی در این منطقه، اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی صحیح و افزایش حفاظت از این ذخایر ارزشمند زیستی دارد. به این منظور هدف از پژوهش پیش‌رو، شناسایی مناطق مناسب و مدل‌سازی حضور حرا (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم به منظور احیا و پراکنش مناسب این گونه درختی است.

مواد و روش‌ها: در پژوهش پیش‌رو، نقشه مطلوبیت رویشگاه حرا با استفاده از مدل‌سازی MaxEnt تهیه شد. بدین ترتیب، ۲۳۴ نقطه تصادفی با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد. به منظور بررسی پراکنش مکانی حرا، برخی عوامل محیطی مؤثر بر انتشار جغرافیایی این گونه ارزیابی شد. در این راستا از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 برای تولید نقشه‌ها و متغیرهای محیطی استفاده شد. متغیرهای محیطی براساس مبانی نظری، پژوهش‌های پیشین و نیز نظر متخصصان و کارشناسان انتخاب شدند. ۱۸ متغیر اقلیمی و پنج متغیر فیزیکی مؤثر بر پراکنش حرا به عنوان متغیرهای محیطی در مدل MaxEnt استفاده شدند. متغیرهای فیزیکی شامل بیشینه ارتفاع موج، شیب ساحل، نوسان‌های جزرومدی، شوری آب و جنس کرانه (شنی - ماسه‌ای، گلی و پس‌کرانه‌ای (شنی)) بودند. همه لایه‌ها با مرز و اندازه یکسان به فرمت ASCII و با اندازه سلول یک کیلومتر تهیه شدند. پس از آماده‌سازی لایه‌ها از نرم‌افزار MaxEnt 3.4.4 برای انجام مدل‌سازی و پیش‌بینی استفاده شد.

نتایج: سطح زیرمنحنی به‌دست‌آمده براساس الگوریتم بیشینه آنتروپی قدرت پیش‌بینی عالی را برای حضور حرا در منطقه نشان داد. بر اساس نتایج، مدل بیشینه آنتروپی با قابلیت عالی می‌تواند مناطق مطلوب و نامطلوب را از یکدیگر تفکیک کند. همچنین، همپوشانی داده‌های تعلیمی و آزمون نیز تأییدکننده نتایج مدل است. سهم تأثیرگذاری هر یک از متغیرهای محیطی در مدل نشان داد که بیشترین اثرگذاری در بین این متغیرها به بیشینه ارتفاع موج، درجه‌حرارت متوسط سالانه، نوسان‌های جزرومدی و شوری آب تعلق داشتند. به‌طورکلی، دو متغیر بیشینه ارتفاع موج و درجه‌حرارت متوسط سالانه، بیشترین سهم را در پراکنش حرا به‌خود اختصاص دادند، درحالی‌که متغیر کمینه درجه‌حرارت سردترین ماه سال، کمترین اثر را در بین متغیرهای محیطی مورد مطالعه داشت. مطابق نتایج به‌دست‌آمده از منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی، بیشینه ارتفاع موج (یک تا دو متری) و درجه‌حرارت متوسط سالانه (۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد) مهم‌ترین متغیرهای مستقل مدل هستند که رابطه آن‌ها با احتمال حضور حرا معکوس است. به این معنی که با افزایش ارتفاع موج و درجه‌حرارت متوسط سالانه، احتمال حضور این گونه در منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. در نهایت، نقشه مطلوبیت حضور حرا در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم نشان داد که بیشینه مطلوبیت حضور این گونه در منطقه مورد مطالعه به نواحی با کمینه ارتفاع موج و در معرض نوسان‌های کمتر جزرومد تعلق دارد. همچنین، پهنه‌های مطلوب برای حضور و توسعه حرا در رویشگاه‌های مانگرو خمیر و قشم شامل نواحی شمالی جزایر خورخوران، جزیره مردو و شمال‌شرق رویشگاه خمیر - لشتگان هستند. به‌طورکلی، این گونه اغلب در مناطقی پراکنش دارد که ارتفاع موج و نوسان‌های سطح آب اندک است.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، اطلاعات کلیدی و مهمی را در راستای سطح تأثیرپذیری حرا نسبت به متغیرهای محیطی نشان می‌دهد. این آگاهی، یک راهبرد مهم برای حفاظت از تنوع زیستی و ذخایر ارزشمند این گونه درختی در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم است. از طرفی، نقشه مطلوبیت حضور حرا به‌عنوان اطلاعات پایه برای کاشت و یا احیا رویشگاه‌های طبیعی آن از اهمیت ویژه و کاربردی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: جنگل مانگرو، خمیر و قشم، متغیر محیطی، مدل‌سازی.

## مقدمه

تغییر اقلیم، تخریب و تکه‌تکه شدن زیستگاه، بهره‌برداری بیش‌ازحد از جنگل‌های مانگرو (Mangrove forests)، هجوم گونه‌های گیاهی بیگانه و آفات و امراض از عوامل مهم انقراض گونه‌های گیاهی در سراسر جهان هستند (Adla *et al.*, 2023; Akram *et al.*, 2022). با توجه به رشد جمعیت و افزایش اثرات ناشی از توسعه فعالیت‌های انسانی، آگاهی از پراکنش گونه‌های گیاهی و عوامل تأثیرگذار بر آن‌ها از اهمیت بسزایی در بهره‌برداری پایدار و حفاظت از بوم‌سازگان‌های طبیعی برخوردار است (Rudianto *et al.*, 2020). درک روابط گونه‌ها با عوامل محیطی و پیش‌بینی تغییرات آن‌ها، یکی از چالش‌های اساسی بوم‌شناسان در بوم‌سازگان طبیعی و به‌ویژه جنگل‌های مانگرو است (Wen *et al.*, 2023). بدین ترتیب تعیین وضعیت پراکنش، توزیع و زیستگاه‌های تحت اشغال گونه‌های مانگرو می‌تواند نقش مهمی در احیا و مدیریت آن‌ها داشته باشد (Erfanifard & Lotfi Nasirabad, 2023).

اگرچه خدمات بوم‌سازگانی حاصل از جنگل‌های مانگرو بسیار ارزشمند هستند (Behrouzi Khorgou *et al.*, 2022)، اما کمبود اطلاعات و عدم دسترسی به آن‌ها سبب آگاهی کم و درک اندک ما از عملکرد و ویژگی‌های ساختاری این رویشگاه‌های طبیعی شده است (Rivera-Monroy *et al.*, 2022). از این رو، مدل‌های پراکنش گونه‌های گیاهی (Species Distribution Models) با هدف

شناسایی مناطق مستعد برای اولویت‌بندی حفاظت و نیز جنگل‌کاری، حائز اهمیت زیادی هستند. در این راستا پراکنش جغرافیایی هر گونه، تحت تأثیر عواملی مانند آشیان بوم‌شناختی آن، قدرت پراکنش و رقابت‌های بین‌گونه‌ای قرار دارد. مدل‌های پراکنش گونه‌ای نیز اغلب بر متغیرهای محیطی تمرکز دارند (Worthington *et al.*, 2020). تاکنون، روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای معرفی شده‌اند. اغلب این روش‌ها وابسته به نقاط حضور و عدم حضور گونه و متغیرهای زیستگاهی (شامل شرایط اقلیمی (ویژگی‌های دما و بارش)، ویژگی‌های فیزیکی‌وشیمیایی آب و نیز مؤلفه‌های اقیانوسی ساحل مانند بیشینه ارتفاع موج، شیب ساحل، نوسان‌های جزرومدی، شوری آب و جنس کرانه) هستند که تداعی‌کننده عناصر آشیان بوم‌شناختی آن گونه هستند (Hu *et al.*, 2020). در این راستا برای حفظ بوم‌سازگان مانگرو در سطح جهان به سیاست‌های احیای بهتری نیاز است (Lee *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020). اگرچه دیدگاه‌های متفاوتی در مورد اهداف احیای جنگل‌های مانگرو در اسناد مختلف ارائه شده است، اما احیای مانگروها در مقیاس ملی و سامانمند (Systematic) با استفاده از روش‌ها و مدل‌های مختلف، امری ضروری است (Paulson Institute, 2020). در این راستا، الگوریتم‌های مدل‌سازی بی‌شماری مانند CLIMEX، GARP، بیشینه آنتروپی (MaxEnt) و BIOMAPPER برای بررسی پاسخ‌های محیط زیستی، نیازهای بوم‌شناختی

می‌توان به ارزیابی مطلوبیت زیستگاه برای اولویت‌بندی احیای جنگل‌های مانگرو در هند اشاره کرد (Sahana et al., 2022). نتایج پژوهش مذکور نشان داد که مناطقی جنگلی با پوشش کمتر از ۷۵ درصد و نیز با توسعه اندک فعالیت‌های انسانی از قابلیت زیادی برای احیا و توزیع این رویشگاه‌های طبیعی برخوردار هستند. بررسی کارایی ابزارها و مدل‌های موجود در طرح‌های احیای جنگل‌های مانگرو نشان داد که متداول‌ترین رویکرد مدل‌سازی، وضوح مکانی-زمانی و کاربرد آن‌ها در تصمیم‌گیری است که می‌تواند در دقت نتایج تأثیرگذار باشد (Rivera-Monroy et al., 2022). مدل‌سازی توزیع جنگل‌های مانگرو با استفاده از مدل‌های سیستمی حاکی از اثرگذاری شاخص‌های متعدد در مدل‌سازی و پیش‌بینی تخریب و احیا این بوم‌سازگان‌ها بود (Yando et al., 2021). نقشه‌سازی پتانسیل احیای جنگل‌های مانگرو براساس مدل‌های توزیع گونه‌ای در کشور چین نشان داد که مدل MaxEnt از کارایی زیادی نسبت به مدل GARP در پیش‌بینی توزیع بالقوه مانگروها برخوردار است (Hu et al., 2020). همچنین، متغیر دما به‌عنوان مهم‌ترین عامل محیطی برای تعیین توزیع مانگروها در مقیاس‌های گسترده معرفی شد. مدل‌سازی توزیع گونه‌ها برای پیش‌بینی توزیع جغرافیایی بوم‌سازگان مانگرو در مکزیک حاکی از آن بود که این مدل‌ها، اهمیت زیادی در تخمین پراکنش بالقوه مانگروها دارند (Rodríguez-Medina et al., 2020). در این پژوهش، اقلیم و به‌ویژه دما، مؤثرترین متغیرهای محیطی بر توزیع مانگروها گزارش شدند.

براساس پژوهش‌های صورت‌گرفته، مدل‌سازی پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی به‌منظور پیش‌بینی زیستگاه‌های بالقوه و نیز حفاظت از گونه‌های گیاهی

و مناطق توزیع، پیش‌بینی کیفیت زیستگاه و شبیه‌سازی توزیع مکانی گونه‌های گیاهی و الگوی مکانی تنوع گیاهان تحت تأثیر عوامل محیطی وجود دارند. این الگوریتم‌ها، متغیرهای قابل‌پیش‌بینی و ارتباط آن‌ها با متغیر پاسخ را تعیین می‌کنند. همچنین، آن‌ها مطلوبیت زیستگاه را برای یک گونه خاص در مناطق پراکنش آن‌ها پیش‌بینی می‌کنند (Sahana et al., 2022).

یکی از مدل‌های قوی در بررسی نحوه پراکنش گونه‌ها، الگوریتم بیشینه آنتروپی (Maximum Entropy (MaxEnt)) است. این الگوریتم در مدل MaxEnt متأثر از محدودیت‌های ناشی از متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر نحوه توزیع مکانی گونه‌ها است (Phillips et al., 2017). در واقع مدل MaxEnt، محل حضور گونه را براساس متغیرهای محیطی در منطقه مورد نظر بررسی می‌کند. سپس، این مدل در سراسر منطقه مورد مطالعه از اصول بیشینه آنتروپی برای تولید نقشه پیش‌بینی تناسب رویشگاه در مناطقی که نمونه‌برداری نشده‌اند، استفاده می‌کند. مدل MaxEnt کاربرد زیادی در ارزیابی نیاز بوم‌شناختی، پاسخ‌های محیط زیستی و مطلوبیت رویشگاه گونه‌های مختلف دارد (Qin et al., 2017; Alatawi et al., 2020; Holder et al., 2020).

آگاهی از پویایی و پراکنش مکانی گونه‌های مانگرو، یک راهبرد مهم برای حفاظت از این رویشگاه‌های طبیعی است (Sobhani & Danehkar, 2023c). مدل‌سازی پراکنش جنگل‌های مانگرو، یکی از روش‌های مهم در این زمینه است که با استفاده از شاخص‌های مناسب به تشخیص روابط متغیرهای مختلف محیط زیستی و ارزیابی مطلوبیت زیستگاه برای گونه مورد نظر می‌پردازد (Kaky & Gilbert, 2016; Spiers et al., 2018). با توجه به اهمیت این موضوع، پژوهش‌هایی در این راستا صورت گرفته است. از آن جمله

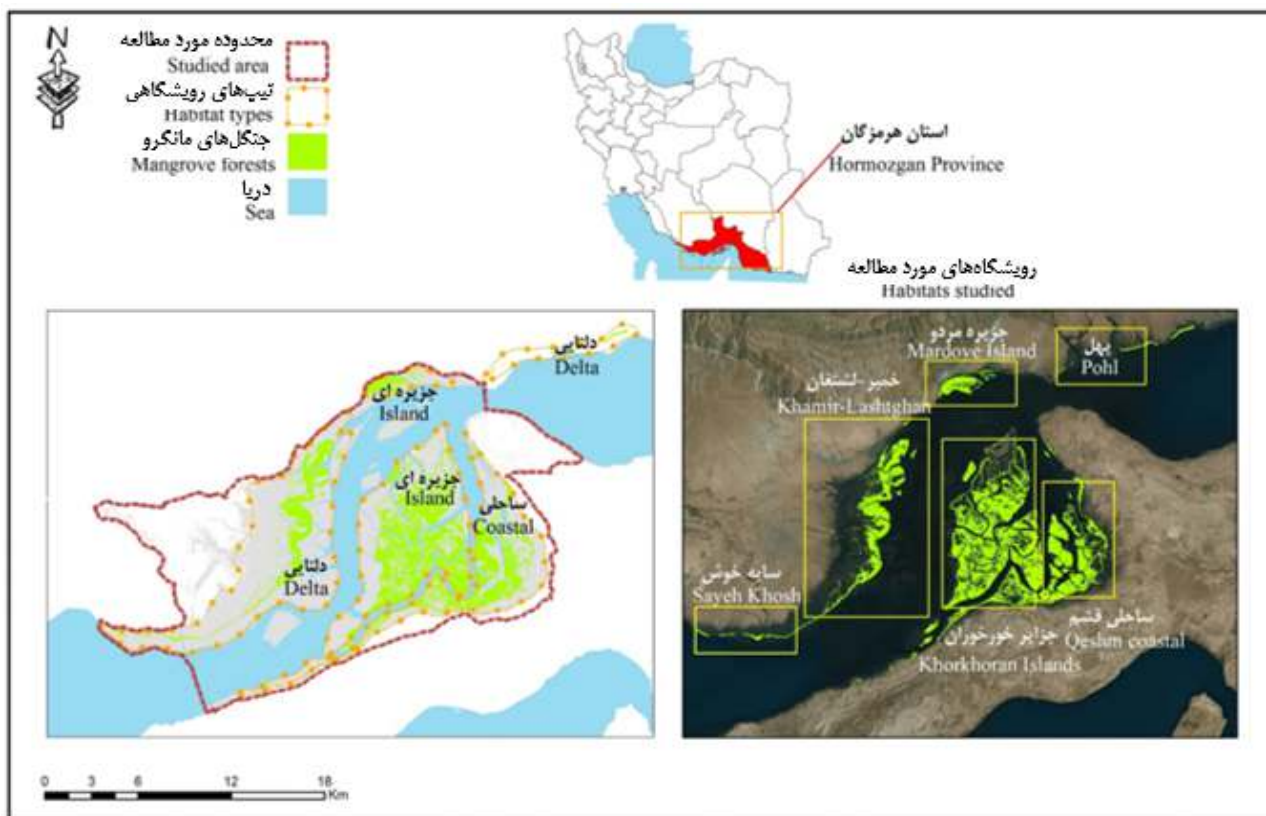
شناسایی و مدل‌سازی مناطق مناسب برای احیا و پراکنش حرا در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم با استفاده از مدل MaxEnt است. نتایج این پژوهش، اطلاعات کلیدی و مهمی را در مورد دامنه تحمل‌پذیری حرا نسبت به متغیرهای محیطی تأثیرگذار فراهم می‌کنند. همچنین، این یافته‌ها می‌توانند در اتخاذ تصمیم‌های مناسب مدیریتی برای اولویت‌بندی مناطق حفاظتی و انجام اقدام‌های اصلاحی و حفاظتی در طرح‌های کاشت و احیا مؤثر باشند. براین اساس، اصلی‌ترین سؤال‌های پژوهش پیش‌رو عبارت‌اند از: (۱) عمده‌ترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر توزیع حرا در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم کدام هستند؟ (۲) آیا مدل MaxEnt از کارایی لازم در آشکارسازی پراکنش حرا برخوردار است؟ (۳) کدام یک از متغیرها، بیش‌ترین اهمیت را در ساخت مدل مذکور دارند؟

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم با شش رویشگاه قابل تفکیک شامل پهل، مردو، خمیر - لشتگان، سایه‌خوش، ساحل قشم و خورخوران در سه تیپ رویشگاهی دلتایی، ساحلی و جزیره‌ای است (شکل ۱). این منطقه با موقعیت جغرافیایی ۲۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۴۷ ثانیه تا ۲۷ درجه و یک دقیقه و دو ثانیه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۲۳ دقیقه و ۴۶ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۵۴ دقیقه و یک ثانیه طول شرقی و مساحت ۸۶۲۵۸ هکتار در استان هرمزگان قرار گرفته است.

برپایه خصوصیات بوم‌شناختی انجام می‌شود، بنابراین مدل‌سازی مکانی زیستگاه گونه‌های گیاهی برای نشان دادن تأثیر عوامل بوم‌شناختی بر پراکنش آن‌ها امری ضروری است. نتیجه مدل‌سازی مذکور، تهیه نقشه‌های دقیق پوشش گیاهی و مدیریت مناسب زیست‌بوم‌های طبیعی است. متأسفانه طی دهه‌های اخیر، جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم به‌علت تغییرات ناشی از توسعه انواع فعالیت‌های انسانی به‌ویژه احداث اسکله‌ها، بنادر تجاری و گردشگری، سرشاخه‌زنی و توسعه بی‌برنامه گردشگری در این منطقه در حال تخریب هستند (Sobhani & Danehkar, 2023a). از طرفی، آن‌ها در کنار خدمات ارزنده بوم‌سازگانی با توسعه بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی و نیز کم‌توجهی جوامع محلی مواجه شده‌اند (Sobhani & Danehkar, 2024). بنابراین درک پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی در این منطقه از اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی صحیح و افزایش حفاظت از این ذخایر ارزشمند زیستی برخوردار است. پژوهش‌های بوم‌شناختی و آگاهی از نیاز رویشگاهی گونه‌های مختلف، نقش مهمی در تولید اطلاعات پایه دارند. این پژوهش‌ها، بستر مناسبی برای شناسایی مناطق مستعد جنگل‌کاری و برنامه‌ریزی‌های آینده فراهم می‌کنند. باتوجه‌به غنای زیاد درخت حرا (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم به‌عنوان بزرگ‌ترین رویشگاه طبیعی در حوضه خلیج فارس، شناسایی مناطق مناسب برای حضور این گونه و احیا و بازسازی آن امری ضروری است. در این راستا، هدف از پژوهش پیش‌رو،



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در ایران

Figure 1. Geographical location of the study area in Iran

#### روش پژوهش

در پژوهش پیش‌رو از نرم‌افزار MaxEnt برای مدل‌سازی و تهیه نقشه مطلوبیت رویشگاه حرا استفاده شد. انتخاب تعداد حضور در الگوریتم بیشینه آنتروپی به عوامل متعددی از جمله شیب، ارتفاع از سطح دریا و نیز شرایط ویژه گونه مورد بررسی و آشیان بوم‌شناختی آن بستگی دارد. براساس پژوهش Hirzel و همکاران (۲۰۰۲)، ۲۰ تا ۳۰ نقطه حضور نتایج مشابه و قابل‌اعتمادی را معادل با ۱۰۰ نقطه حضور ارائه می‌دهند. بدین ترتیب، ۲۳۴ نقطه به صورت تصادفی با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد. به منظور بررسی پراکنش مکانی حرا، برخی عوامل محیطی مؤثر بر انتشار جغرافیایی این گونه ارزیابی شد. در این راستا از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 برای تولید نقشه‌ها و متغیرهای محیطی استفاده شد. در این پژوهش، متغیرهای محیطی

جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم (منطقه حفاظت‌شده حرا) به‌عنوان بزرگ‌ترین رویشگاه طبیعی این گونه در حوضه خلیج فارس با مساحتی بیشتر از  $7058/16$  هکتار در کرانه ساحلی سه شهرستان خمیر، قشم و بندرلنگه توزیع شده‌اند (Sobhani & Danehkar, 2023c). گونه غالب گیاهی در این منطقه، اجتماع‌های خالص، ناهمسال و ناهمگن حرا است. حدود ۳۲ درصد از این توده‌ها، متراکم، ۵۸ درصد کم‌تراکم و بیشتر از ۱۰ درصد تنک هستند (Danehkar *et al.*, 2019; Sobhani & Danehkar, 2023c). علاوه بر این، محدوده مورد مطالعه، غنای گونه‌ای زیادی از نظر جانوران همزیست (مهره‌دار و بی‌مهره) دارد. همچنین، جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم به‌عنوان یکی از مکان‌های یرتقاضای طبیعت‌گردی ساحلی شناخته شده است (Sobhani & Danehkar, 2023b).

گرفته است. ورودی این مدل شامل داده‌های حضور گونه و متغیرهای محیطی مورد بررسی است. آنتروپی بیشینه از هر دو دسته داده‌های پیوسته و طبقه‌بندی شده و نیز اثر متقابل بین متغیرها استفاده می‌کند. بدین ترتیب، مدل MaxEnt بین نقاط حضور گونه و متغیرهای محیطی، بهترین تابع توزیع را براساس مفهوم بیشینه آنتروپی تعیین می‌کند. سپس، این مدل تابع مذکور را در سرتاسر منطقه مورد مطالعه تعمیم می‌دهد و نقشه گونه هدف را تولید می‌کند (Ahmadi et al., 2023). در پژوهش پیش‌رو برای مدل‌سازی و تهیه نقشه رویشگاه از ۷۵ درصد نقاط حضور در اجرای مدل آموزش و ۲۵ درصد برای آزمون مدل استفاده شد. در این راستا، مدل ۱۰ بار اجرا شد. این روش برای ارزیابی کیفیت کلی مدل تحلیل سطح زیرمنحنی (Area Under the Curve (AUC)) انجام گرفت و برای همه متغیرهای مورد بررسی در مدل، منحنی پاسخ ایجاد شد.

براساس مبانی نظری، سوابق پژوهش‌های پیشین و نیز نظر متخصصان و کارشناسان انتخاب شدند (Petrosian et al., 2016; Danehkar et al., 2019; Al-Qathanin & Alharbi, 2020; Aljahdali et al., 2021; Mirzaeizadeh et al., 2023). متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل شامل ۱۸ متغیر اقلیمی و پنج متغیر فیزیکی مؤثر بر پراکنش حرا هستند (جدول ۱). بیشینه ارتفاع موج، شیب ساحل، نوسان‌های جزرومدی، شوری آب و جنس کرانه (شنی-ماسه‌ای، گلی و پس‌کرانه‌ای (شنی))، متغیرهای فیزیکی مورد استفاده در مدل را تشکیل دادند. بدین ترتیب همه لایه‌ها با مرز و اندازه یکسان به فرمت ASCII و با اندازه سلول یک کیلومتر تهیه شدند. پس از آماده‌سازی لایه‌ها از نرم‌افزار MaxEnt 3.4.4 برای انجام مدل‌سازی استفاده شد.

#### فرایند مدل‌سازی

آنتروپی بیشینه برای مدل‌سازی و پیش‌بینی توزیع بالقوه گونه‌ها استفاده می‌شود که از ماشین‌های آموزشی نشئت

جدول ۱- متغیرهای محیطی استفاده‌شده در مدل‌سازی پراکنش حرا در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم

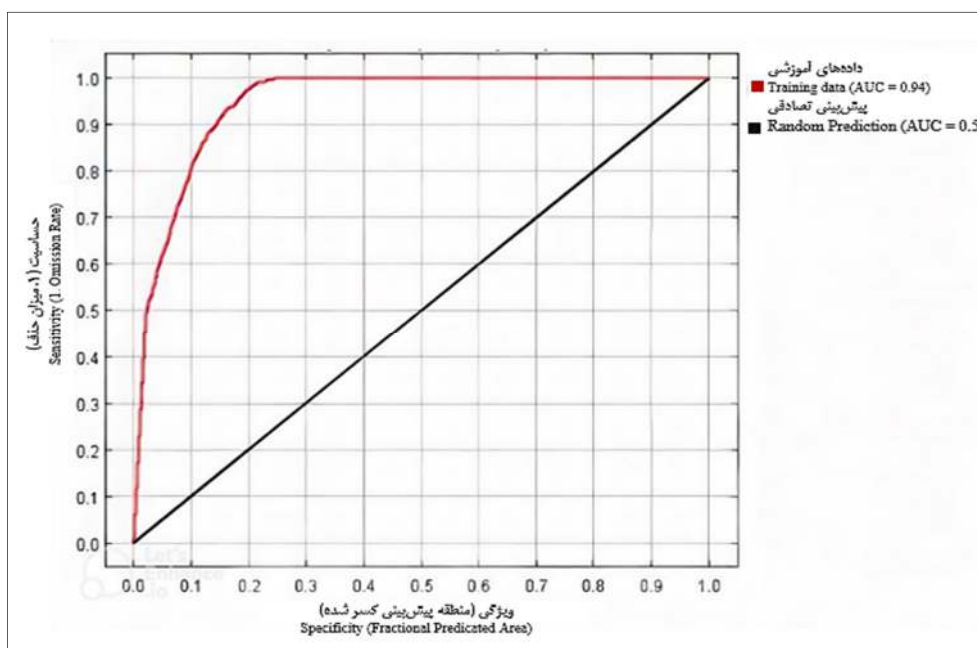
**Table 1. Environmental variables used for modeling of *A. marina* distribution in the Khamir and Qeshm mangrove forests**

No.	Code	Variable	Unit	Source
1	Bio1	Average annual temperature	C <sup>0</sup>	
2	Bio2	Average daily temperature range	C <sup>0</sup>	
3	Bio3	Isothermal (Bio2/Bio7) × 100	C <sup>0</sup>	
4	Bio4	Seasonal temperature (standard deviation × 100)	C <sup>0</sup>	
5	Bio5	Maximum temperature of the hottest month of the year	C <sup>0</sup>	
6	Bio6	Minimum temperature of the coldest month of the year	C <sup>0</sup>	
7	Bio7	Average degree of the wettest season	C <sup>0</sup>	
8	Bio8	Average temperature of the driest season	C <sup>0</sup>	
9	Bio9	Average temperature of the hottest season of the year	C <sup>0</sup>	<a href="http://www.worldclim2.org">www.worldclim2.org</a>
10	Bio10	Average temperature of the coldest season of the year	C <sup>0</sup>	
11	Bio11	Annual rainfall	mm	
12	Bio12	Precipitation of the wettest month	mm	
13	Bio13	Rainfall of the driest month	mm	
14	Bio14	Seasonal rainfall	mm	
15	Bio15	Rainfall in the wettest season of the year	mm	
16	Bio16	Rainfall in the driest season of the year	mm	
17	Bio17	Rain in the hottest season of the year	mm	
18	Bio18	Precipitation is the coldest season of the year	mm	
19	Wave height	Maximum wave height	m	
20	Coastal slope	Beach slope	Percent	
21	Tidal fluctuations	Tidal fluctuations	Degree	Iczm Hormozgan
22	Water salinity	Water salinity	Gram per liter	(Danehkar et al., 2019)
23	Beach material	Beach material (Sandy-gravel, muddy, back beach (sand material))	-	

## نتایج

سطح زیرمنحنی در این پژوهش برابر با ۰/۹۴ به دست آمد، بنابراین براساس الگوریتم بیشینه آنتروپی، مدل مذکور به‌طور معنی‌داری ( $P=0.01$ ) قدرت پیش‌بینی عالی را برای حضور حرا در منطقه ارائه کرده است. به‌عبارت دیگر، این مدل به‌خوبی می‌تواند مناطق مطلوب و نامطلوب را از یکدیگر تفکیک کند. علاوه‌براین، همپوشانی داده‌های تعلیمی و آزمون، تأییدکننده نتایج مدل است (شکل ۲). جدول ۲ بیانگر سهم تأثیرگذاری هریک از متغیرها در مدل‌سازی است. در بین متغیرهای مورد مطالعه، بیشترین سهم و تأثیرگذاری به‌ترتیب مربوط به "بیشینه ارتفاع موج"، "درجه حرارت متوسط سالانه"، "نوسان‌های جزرومدی" و "شوری آب" هستند. به‌طورکلی، دو متغیر "بیشینه ارتفاع موج" و "درجه حرارت متوسط سالانه" بیشتر از نیمی از درصد سهم کل متغیرها (۵۷ درصد) را به‌خود اختصاص داده‌اند و دارای بیشترین سهم در پراکنش حرا در منطقه هستند.

به‌منظور استفاده از مدل در پیش‌بینی حضور گونه لازم است که مدل ارزیابی و اعتبارسنجی شود تا مقدار صحت آن معلوم شود. شاخص AUC و عامل دریافت‌کننده (Receiver Operating Characteristic (ROC)) که برابر با احتمال تشخیص میان نقاط حضور و عدم حضور توسط یک مدل است، به‌عنوان بهترین استاندارد ارزیابی در مدل‌های پراکنش گونه، کاربرد فراوانی دارند (Duan *et al.*, 2014). AUC بین صفر تا یک تغییر می‌کند که چنانچه این مقدار کمتر از ۰/۵ باشد، بیانگر تصادفی بودن مدل است. اگر این مقدار برابر یک باشد، حاکی از آن است که مدل به بهترین شکل، نقاط حضور و عدم حضور گونه را از یکدیگر تفکیک کرده است. بدین ترتیب، سطح زیرمنحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ بیانگر مدلی خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ مدلی عالی و بیشتر از ۰/۹ نشان‌دهنده قدرت تشخیص بسیار عالی مدل است (Elith *et al.*, 2006). همچنین، در پژوهش پیش‌رو برای تعیین و ارزیابی اهمیت متغیرهای محیطی از آزمون جک‌نایف (Jackknife) بهره گرفته شد.



شکل ۲- منحنی ROC و مقدار AUC مدل پراکنش حرا در منطقه خمیر و قشم

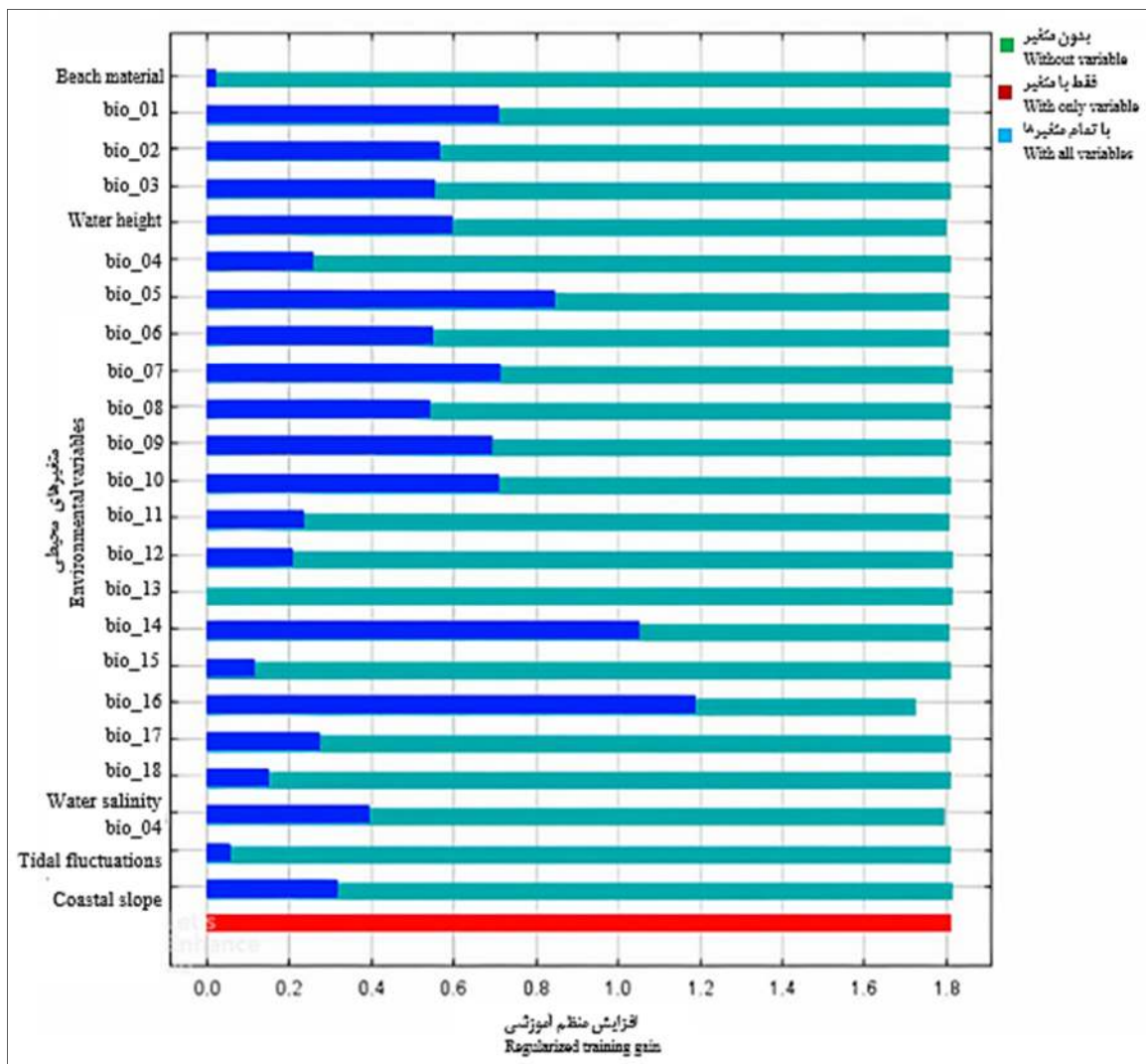
Figure 2. ROC curve and AUC value of *A. marina* distribution model in the Khamir and Qeshm mangrove forests



جدول ۲- سهم تأثیرگذاری هریک از متغیرهای محیطی در مدل پراکنش حرا

Table 2- The contribution of each environmental variable in the *A. marina* distribution model

Variable	Importance percentage	Variable	Importance percentage
Average annual temperature	23	Rainfall of the driest month	0.54
Average daily temperature range	1	Seasonal rainfall	1.58
Isothermal (Bio2/Bio7) ×100	2.14	Rainfall in the wettest season of the year	0.96
Seasonal temperature (standard deviation x 100)	1.15	Rainfall in the driest season of the year	0.76
Maximum temperature of the hottest month of the year	1.93	Rain in the hottest season of the year	0.76
Minimum temperature of the coldest month of the year	0.4	Precipitation is the coldest season of the year	0.64
Average degree of the wettest season	0.98	Maximum wave height	34
Average temperature of the driest season	1.2	Beach slope	5.2
Average temperature of the hottest season of the year	1.2	Tidal fluctuations	9.13
Average temperature of the coldest season of the year	1	Water salinity	7.04
Annual rainfall	0.87	Beach material (Sandy-gravel, muddy, back beach (sand material))	3.11
Precipitation of the wettest month	0.62		



شکل ۳- نتایج اهمیت متغیرهای محیطی براساس آزمون جک‌نایف

توضیح هر متغیر مربوط به کدهای محور عمودی در جدول ۱ آمده است.

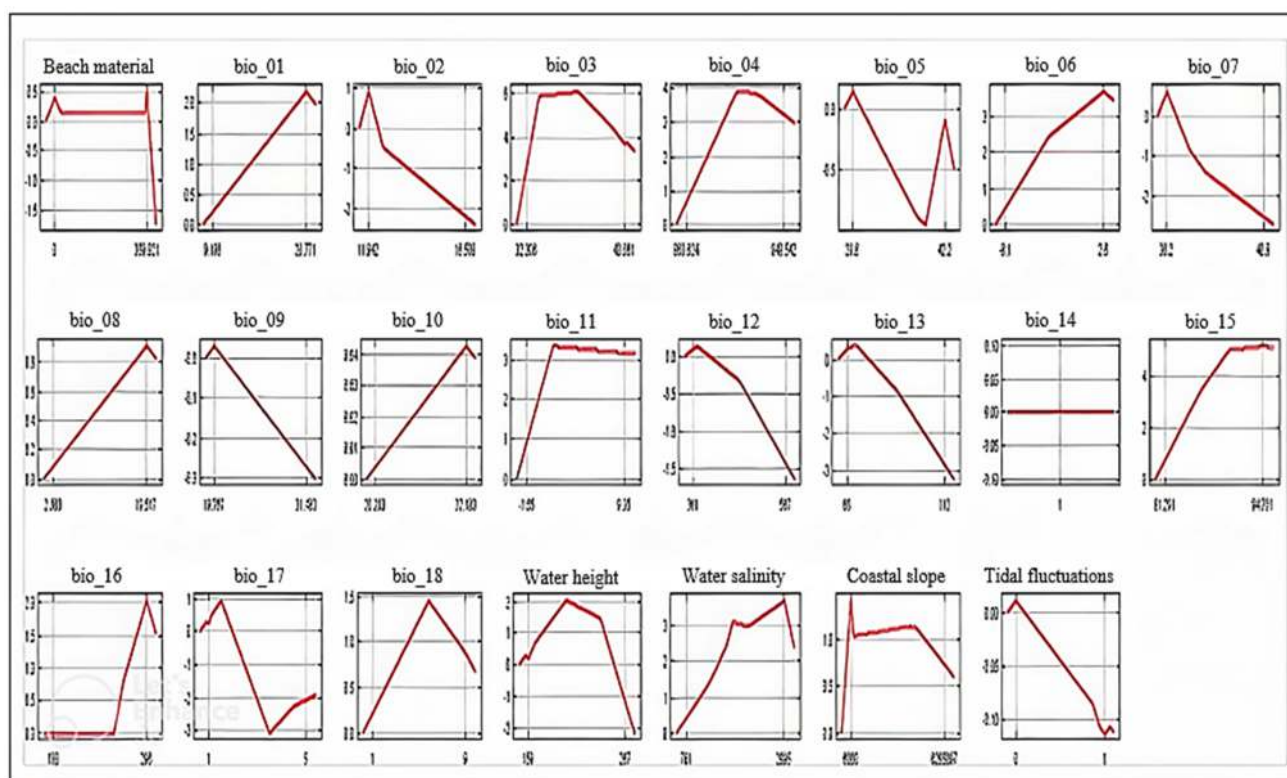
Figure 3. Environmental variables importance measured using the Jackknife test (The abbreviations were described in Table 1.)

درجه‌حرارت متوسط سالانه (۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد)، مهم‌ترین متغیرهای مستقل مدل هستند که رابطه آن‌ها با احتمال حضور حرا معکوس است. بدین معنا که با افزایش ارتفاع موج و درجه‌حرارت متوسط سالانه، احتمال حضور گونه در منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد، درحالی‌که کمینه درجه‌حرارت سردترین ماه سال، کمترین اهمیت را در پراکنش و احتمال حضور حرا در منطقه دارد.

پس از شناسایی متغیرهای تأثیرگذار و بررسی منحنی‌های پاسخ، نقشه پتانسیل حضور حرا در منطقه خمیر و قشم تهیه شد (شکل ۵). سپس، مقدار آستانه حضور این گونه براساس نواحی مطلوب و نامطلوب بررسی شد و نقشه مطلوبیت رویشگاه در دو طبقه پهنه‌های مطلوب و نامطلوب برای حضور و عدم حضور گونه تهیه شد (شکل ۶).

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، اهمیت متغیرهای محیطی در توسعه مدل پراکنش گونه با استفاده از آزمون جک‌نایف تعیین شد. این منحنی، نتایج را در سه حالت مختلف شامل بدون متغیر خاص، فقط با یک متغیر خاص و با همه متغیرها نمایش می‌دهد (شکل ۳). مطابق نتایج این تحلیل، "بیشینه ارتفاع موج" متغیری است که حذف آن، بیشترین کاهش را در AUC ایجاد می‌کند. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که مهم‌ترین متغیرها که بیشترین سهم را در پیش‌بینی مدل دارند، شامل "بیشینه ارتفاع موج"، "درجه‌حرارت متوسط سالانه"، "نوسان‌های جزرومدی" و "شوری آب" هستند.

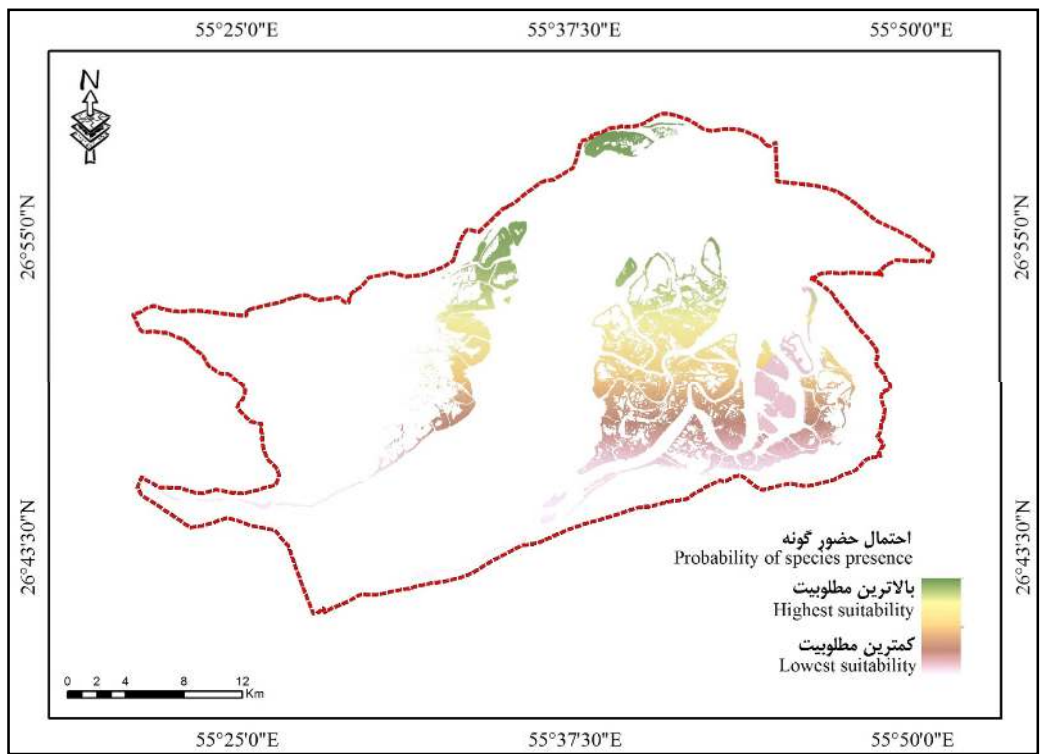
در پژوهش پیش‌رو، منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی نیز بررسی شدند (شکل ۴). براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشینه ارتفاع موج (یک تا دو متری) و



شکل ۴- منحنی پاسخ حرا نسبت به متغیرهای محیطی در منطقه مورد مطالعه

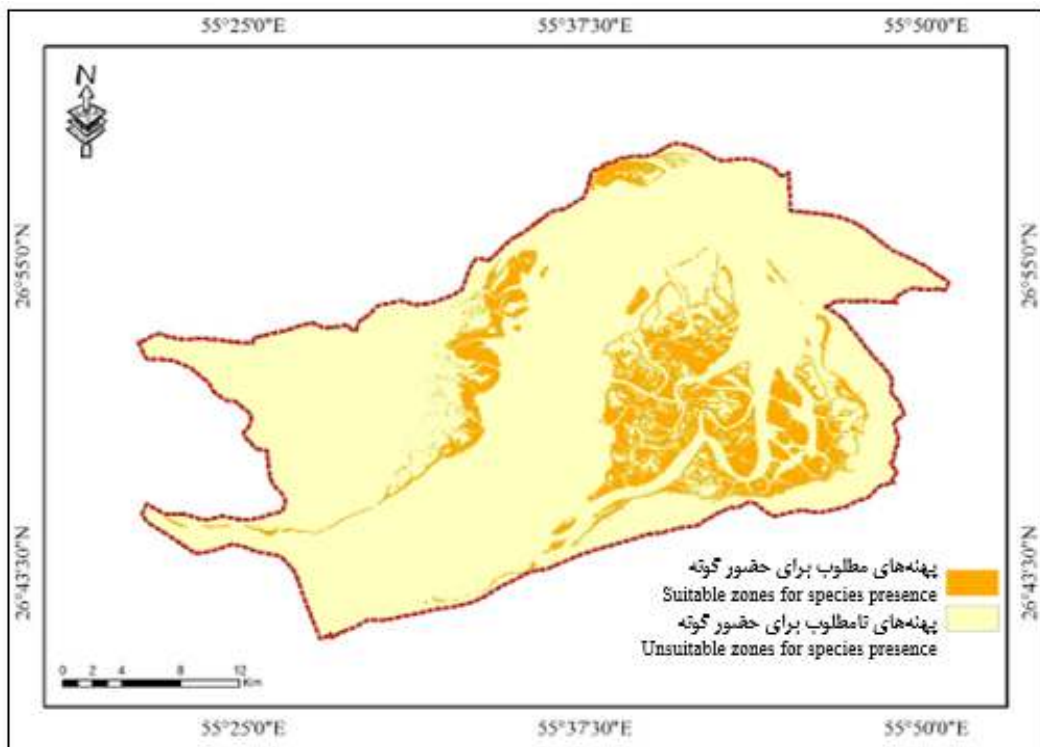
توضیح هر متغیر مربوط به عنوان هر نمودار در جدول ۱ آمده است.

Figure 4. The *A. marina* response curve to environmental variables (The abbreviations were described in Table 1.)



شکل ۵- نقشه مطلوبیت رویشگاه حرا در منطقه مورد مطالعه

Figure 5. The *A. marina* habitat suitability map in The study area



شکل ۶- نقشه مطلوبیت زیستگاه و حد آستانه در منطقه مورد مطالعه

Figure 6. The habitat suitability and threshold limit map in the study area

می‌تواند مناطق مطلوب و نامطلوب را از یکدیگر تفکیک کند. علاوه بر این، همپوشانی داده‌های تعلیمی و آزمون نیز تأییدکننده نتایج مدل است. این نتایج با یافته‌های گزارش شده توسط Mirjalili و همکاران (۲۰۲۱) و Mirzaeizadeh و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارند. براساس یافته‌های پژوهش‌های مذکور، مدل MaxEnt، عملکرد مناسبی در مدل‌سازی پراکنش گز پرشاخه (*Tamarix ramosissima* Ledeb) و بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) دارد که نشان‌دهنده تطابق زیاد این مدل با واقعیت زمینی است. پیش‌بینی اثرات تغییرات اقلیمی بر توزیع جنگل‌های مانگرو در ایران با استفاده از مدل MaxEnt نشان داد که این مدل، دقت زیادی در پیش‌بینی توزیع گونه‌های گیاهی در بوم‌سازگان طبیعی دارد (Ghayoumi et al., 2019).

سهم تأثیرگذاری هریک از متغیرهای محیطی در مدل به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین اثرگذاری در بین ۲۳ متغیر محیطی مورد مطالعه به بیشینه ارتفاع موج، دامنه درجه‌حرارت متوسط سالانه، نوسان‌های جزرومدی و شوری آب تعلق دارد. به‌طورکلی، دو متغیر بیشینه ارتفاع موج و دامنه درجه‌حرارت متوسط سالانه، بیشترین سهم را در پراکنش حرا به‌خود اختصاص داده‌اند، درحالی‌که کمینه درجه‌حرارت سردترین ماه سال، کمترین اثر را در بین متغیرهای محیطی مورد مطالعه داشت. نتایج تحلیل آزمون جک‌نایف نشان داد که حذف متغیر بیشینه ارتفاع موج سبب بیشترین کاهش در AUC می‌شود، بنابراین بیشینه ارتفاع موج، تأثیرگذارترین متغیر بر حضور حرا در محدوده مورد مطالعه است. در پژوهش‌های Petrosian و همکاران (۲۰۱۶) و Danehkar و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیشینه ارتفاع موج به‌عنوان عمده‌ترین متغیر تأثیرگذار بر پراکنش حرا در جنگل‌های مانگرو ایران گزارش شد.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، بیشینه مطلوبیت حضور گونه در منطقه مورد مطالعه، متعلق به نواحی با کمینه ارتفاع موج و در معرض نوسان‌های جزرومد کمتر آب است. این مناطق شامل رویشگاه‌های واقع در شمال و مرکز محدوده مورد مطالعه است. مطابق با شکل ۶، پهنه‌های مطلوب برای حضور و توسعه حرا در رویشگاه‌های مانگرو خمیر و قشم شامل نواحی شمالی جزایر خورخوران، جزیره مردو و شمال‌شرق رویشگاه خمیر- لشتگان هستند.

## بحث

پراکنش گونه‌های گیاهی در عرصه‌های طبیعی براساس خصوصیات و دامنه بردباری آن‌ها به مجموعه‌ای از عوامل محیطی وابسته است. شناخت این عوامل تأثیرگذار می‌تواند در شناسایی مکان‌های بالقوه توزیع گونه و نیز احیا و حفاظت آن‌ها در بوم‌سازگان طبیعی کمک کند (Rahman et al., 2021; Sabbar & Al-Saadi, 2023). بنابراین درک روابط گونه‌ها با عوامل محیطی و پیش‌بینی تغییرات آن‌ها، یکی از اقدام‌های اساسی برای حفاظت از گونه‌های گیاهی است. از این رو در پژوهش پیش‌رو، پراکنش حرا و امکان‌سنجی توسعه این گونه درختی در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم با استفاده از مدل MaxEnt مدل‌سازی شد. بدین ترتیب ۲۳ متغیر محیطی شامل متغیرهای اقلیمی و فیزیکی به‌عنوان متغیرهای مستقل و نقاط حضور حرا به‌عنوان متغیر پاسخ بررسی شدند. برای ارزیابی مدل از معیار AUC و برای بررسی اهمیت متغیرهای محیطی نیز از آزمون جک‌نایف بهره گرفته شد.

سطح زیر منحنی به‌دست‌آمده براساس الگوریتم بیشینه آنتروپی به‌طور معنی‌داری قدرت پیش‌بینی عالی را برای حضور حرا در منطقه مورد مطالعه ارائه کرده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که مدل مذکور با قابلیت تفکیک زیاد

سبب پایداری محیط می‌شود و شرایط محیط‌زیستی مناسبی را برای استقرار حرا فراهم می‌کند. به علاوه، زمانی که ارتفاع موج زیاد است، حجم آب تخلیه شده بر جنگل‌های مانگرو افزایش می‌یابد. این فرایند نیز با اثرات منفی بر حرا همراه است. در راستای این نتایج، Nasouri و Safiari (۲۰۰۸) و Krauss و Osland (۲۰۲۰) بیان کردند که امواج قوی، اثرات مخربی بر کیفیت و کمیت دلناها دارند. در نتیجه، عدم تشکیل دلنا و تخریب آن به واسطه امواج به طور غیرمستقیم سبب تخریب رویشگاه‌های مانگرو می‌شود.

نتایج به دست آمده در پژوهش پیش‌رو، اطلاعات کلیدی و مهمی را در راستای سطح تأثیرپذیری حرا نسبت به متغیرهای محیطی نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های محدود و هزینه زیاد دسترسی به اطلاعات، نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در تنظیم راهبرد حفاظت از تنوع زیستی و ذخایر ارزشمند گونه مذکور در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم به کار گرفته شود. از طرفی، نقشه مطلوبیت حضور حرا به عنوان اطلاعات پایه‌ای برای کاشت و احیا رویشگاه‌های طبیعی از اهمیت ویژه و کاربردی برخوردار است. با این وجود، شرایط محیطی و یافته‌های تجربی موجود از رویشگاه‌های منطقه مورد مطالعه نیز می‌توانند بر پراکنش و توزیع این گونه مؤثر باشند و نتایج قابل اطمینان‌تری از پراکنش گونه هدف در اختیار ما قرار دهند.

### سپاسگزاری

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

مطابق نتایج به دست آمده از منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی، بیشینه ارتفاع موج و درجه حرارت متوسط سالانه، مهم‌ترین متغیرهای مستقل مدل هستند که رابطه آن‌ها با احتمال حضور حرا معکوس است. بدین معنا که با افزایش ارتفاع موج و درجه حرارت متوسط سالانه، احتمال حضور این گونه در منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. در این راستا Khoodrani و همکاران (۲۰۱۵) همبستگی معنی‌داری را بین افزایش دما و تغییرات سطح جنگل‌های مانگرو گزارش کردند. Gillis و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان کردند که اثرات متقابلی بین دما و سطح جنگل‌های مانگرو وجود دارد. به طوری که این متغیر اقلیمی می‌تواند بر جریان‌های آب و توزیع بالقوه گونه‌های مانگرو در رویشگاه‌های طبیعی مؤثر باشد. همچنین، بررسی تأثیر تغییرات اقلیم بر جنگل‌های مانگرو نشان داد که این اثرات همچون افزایش متوسط درجه حرارت و امواج سهمگین سبب تخریب جنگل‌های مانگرو می‌شوند (Delfan & Ghodrati, 2021).

نقشه نهایی مطلوبیت حضور حرا در جنگل‌های مانگرو خمیر و قشم به عنوان یکی از یافته‌های پژوهش پیش‌رو می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان در برنامه‌ریزی برای حفاظت و احیا رویشگاه‌های تخریب شده در این منطقه کمک کند. مطابق نتایج، بیشترین مطلوبیت حضور حرا در منطقه مورد مطالعه به نواحی با کمینه ارتفاع موج و در معرض نوسان‌های جزرومد کمتر تعلق دارد. همچنین، پهنه‌های مطلوب برای حضور و توسعه حرا در رویشگاه‌های مانگرو خمیر و قشم شامل نواحی شمالی جزایر خورخوران، جزیره مردو و شمال شرق رویشگاه خمیر- لشتگان هستند. به طور کلی، این گونه اغلب در مناطقی پراکنش دارد که ارتفاع امواج و نوسان‌های سطح آب اندک است. زیرا ارتفاع کم



## منابع مورد استفاده

- Hirzel, A.H., Hausser, J., Chessel, D. and Perrin, N., 2002. Ecological niche factor analysis: how to compute habitat suitability maps without absence data? *Ecology*, 83(7): 2027-2036.
- Holder, A.M., Markarian, A., Doyle, J.M. and Olson, J.R., 2020. Predicting geographic distributions of fishes in remote stream networks using maximum entropy modeling and landscape characterizations. *Ecological Modelling*, 433: 109231.
- Hu, W., Wang, Y., Zhang, D., Yu, W., Chen, G., Xie, T., ... and Chen, B., 2020. Mapping the potential of mangrove forest restoration based on species distribution models: A case study in China. *Science of The Total Environment*, 748: 142321.
- Kaky, E. and Gilbert, F., 2016. Using species distribution models to assess the importance of Egypt's protected areas for the conservation of medicinal plants. *Journal of Arid Environments*, 135: 140-146.
- Khorani, A., Biniaz, M. and Amiri, H.R., 2015. Investigating the changes of mangrove forests between Khamir port and Gheshmislend and its correlation with climatic elements. *Journal of Aquatic Ecology*, 5(2): 100-111 (In Persian with English summary).
- Krauss, K.W. and Osland, M.J., 2020. Tropical cyclones and the organization of mangrove forests: a review. *Annals of Botany*, 125(2): 213-234.
- Lee, S.Y., Hamilton, S., Barbier, E.B., Primavera, J. and Lewis, R.R., 2019. Better restoration policies are needed to conserve mangrove ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 3(6): 870-872.
- Mirjalili, S.A., Jaberlansar, Z. and Ghavampour, M.A., 2022. Modeling the distribution of *Tamarix ramosissima* Ledeb. in Isfahan Province based on Maximum Entropy Model (MAXENT). *Journal of Arid Biome*, 11(2): 45-55 (In Persian with English summary).
- Mirzaeizadeh, V., Mahdavi, A., Naji, H. and Ahmadi, H., 2023. Modeling the distribution of species *Pistacia atlantica* in Ilam Province using MaxEnt Methods. *Ecology of Iranian Forests*, 10(20): 129-139 (In Persian with English summary).
- Paulson Institute, 2020. Research report on mangrove protection and restoration strategy in China. Available at: <https://paulsoninstitute.org.cn/wpcontent/uploads/2020/06/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%BA%A2%E6%A0%91%E6%9E%97%E4%BF%9D%E6%8A%A4%E4%B8%8E%E6%81%A2%E5%A4%8D%E6%88%98%E7%95%A5%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%8A%A5%E5%91%8A%E2%80%94%E6%91%98%E8%A6%81%E7%89%88.pdf>
- Petrosian, H., Daneh Kar, A., Ashrafi, S. and Feghhi, J., 2016. Investigating environmental factors for locating mangrove ex-situ conservation zones using GIS spatial techniques and the logistic regression algorithm in mangrove forests in Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(5): 2097-2106.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Dudík, M., Schapire, R.E. and Blair, M.E., 2017. Opening the black box: An open source release of Maxent. *Ecography*, 40(7): 887-893.
- Qin, A., Liu, B., Guo, Q., Bussmann, R.W., Ma, F., Jian, Z. and Pei, S., 2017. Maxent modeling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of *Thuja sutchuenensis* Franch., an extremely endangered conifer from southwestern China. *Global Ecology and Conservation*, 10: 139-146.
- Rahman, A.U., Khan, S.M., Ahmad, Z., Alamri, S., Hashem, M., Ilyas, M., and Shahab Ali, S., 2021. -Impact of multiple environmental factors on species abundance in various forest layers using an integrative modeling approach. *Global Ecology and Conservation*, 29: e01712.
- Rivera-Monroy, V.H., Zhao, X., Wang, H. and Xue, Z.G., 2022. Are existing modeling tools useful to evaluate outcomes in
- Adla, K., Dejan, K., Neira, D. and Dragana, Š., 2022. Degradation of ecosystems and loss of ecosystem services: 281-327. In: Prata, J.C., Ribeiro, A.I. and Rocha-Santos, T. (Eds.). *One Health: Integrated Approach to 21st Century Challenges to Health*. Academic Press, London, United Kingdom, 350p.
- Ahmadi, M., Hemami, M.R., Kaboli, M. and Shabani, F., 2023. MaxEnt brings comparable results when the input data are being completed; Model parameterization of four species distribution models. *Ecology and Evolution*, 13(2): e9827.
- Akram, H., Hussain, S., Mazumdar, P., Chua, K.O., Butt, T.E. and Harikrishna, J.A., 2023. Mangrove health: A review of functions, threats, and challenges associated with mangrove management practices. *Forests*, 14(9): 1698.
- Alatawi, A.S., Gilbert, F. and Reader, T., 2020. Modelling terrestrial reptile species richness, distributions and habitat suitability in Saudi Arabia. *Journal of Arid Environments*, 178: 104153.
- Aljahdali, M.O., Alhassan, A.B. and Zhang, Z., 2021. Environmental factors causing stress in *Avicennia marina* mangrove in Rabigh Lagoon along the red sea: based on a multi-approach study. *Frontiers in Marine Science*, 8: 646993.
- Al-Qthanin, R.N. and Alharbi, S.A., 2020. Spatial structure and genetic variation of a mangrove species (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh) in the Farasan Archipelago. *Forests*, 11(12): 1287.
- Behrouzi Khorgou, S., Parvaresh, H., Moslehi, M. and Khalil Ariya, A., 2022. Effects of desalination sewage on some vegetative characteristics of grey mangrove seedlings (*Avicennia marina* Forssk. Vierh). *Iranian Journal of Forest*, 14(3): 329-340 382p (In Persian with English summary).
- Danehkar, A., Azizi Jalilian, M., Lotfikhah, S., Frouzd, M., Davar, L., Samadi, B., ... and Khodam Astaneh Hossein. A.R., 2019. Action plan for the integrated management of the coastal area of Bandar Khmer city. Review plan of studies of integrated management of coastal areas of Hormozgan province, Ports and Maritime Organization, Iran Structural Consulting Engineers, Tehran, 382p (In Persian with English summary).
- Delfan, N. and Ghodrati Shojaei, M., 2021. A review of the impacts of climate change on mangrove ecosystems. *Iranian Journal of Biology*, 5(10): 111-116 (In Persian with English summary).
- Duan, R.Y., Kong, X.Q., Huang, M.Y., Fan, W.Y. and Wang, Z.G., 2014. The predictive performance and stability of six species distribution models. *PloS ONE*, 9(11): e112764.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A. and Zimmermann, N., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2): 129-151.
- Erfanifard, Y. and Lotfi Nasirabad, M., 2023. Mapping mangrove forest extent in Iran using Sentinel-2 imagery. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 31(2): 98-112 (In Persian with English summary).
- Ghayoumi, R., Ebrahimi, E., Hosseini Tayefeh, F. and Keshtkar, M., 2019. Predicting the effects of climate change on the distribution of mangrove forests in Iran using the maximum entropy model. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(2): 34-47 (In Persian with English summary).
- Gillis, L.G., Hortua, D.A.S., Zimmer, M., Jennerjahn, T.C. and Herbeck, L.S., 2019. Interactive effects of temperature and nutrients on mangrove seedling growth and implications for establishment. *Marine Environmental Research*, 151: 104750 (In Persian with English summary).

- Sobhani, P. and Danehkar, A., 2023c. Natural features and management areas of Khamir and Gheshm mangrove forests. *Journal of Iran Nature*, 8(4): 97-112 (In Persian with English summary).
- 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*, 5(9): 1-19 (In Persian with English summary).
- Spiers, J.A., Oatham, M.P., Rostant, L.V. and Farrell, A.D., 2018. Applying species distribution modelling to improving conservation based decisions: a gap analysis of Trinidad and Tobago's endemic vascular plants. *Biodiversity and Conservation*, 27: 2931-2949 (In Persian with English summary).
- Wang, W., Fu, H., Lee, S.Y., Fan, H. and Wang, M., 2020. Can strict protection stop the decline of mangrove ecosystems in China? From rapid destruction to rampant degradation. *Forests*, 11(1): 55.
- Wen, D., Hong, M., Wang, H., Cao, Q., Zhou, W., Wang, X. and Zhang, Y., 2023. Spatiotemporal dynamics and potential restoration of mangroves in Circum-Xinying-Bay region, Hainan Province, China. *Journal of Sea Research*, 193: 102368.
- Worthington, T.A., Andradi-Brown, D.A., Bhargava, R., Buelow, C., Bunting, P., Duncan, C., ... and Spalding, M., 2020. Harnessing big data to support the conservation and rehabilitation of mangrove forests globally. *One Earth*, 2(5): 429-443.
- Yando, E.S., Sloey, T.M., Dahdouh-Guebas, F., Rogers, K., Abuchahla, G.M.O, Cannicci, S., ... and Friess, D.A., 2021. Conceptualizing ecosystem degradation using mangrove forests as a model system. *Biological Conservation*, 263: 109355.
- mangrove restoration and rehabilitation projects? A minireview. *Forests*, 13(10): 1638.
- Rodríguez-Medina, K., Yañez-Arenas, C., Peterson, A. T., Euán Ávila, J. and Herrera-Silveira, J., 2020. Evaluating the capacity of species distribution modeling to predict the geographic distribution of the mangrove community in Mexico. *PloS One*, 15(8): e0237701.
- Rudianto, R., Bengen, D.G. and Kurniawan, F., 2020. Causes and effects of mangrove ecosystem damage on carbon stocks and absorption in East Java, Indonesia. *Sustainability*, 12(24): 10319.
- Sabbar, A.A. and Al-Saadi, S.A.A.M., 2023. The effect of environmental variables on the distribution of some submerged aquatic plants eastern Al-Hammar and Al-Chebiyesh. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1215(1): 012025.
- Safiari, Sh. and Nasouri, M., 2008. *Mangrove Forests Development. Hormozgan Natural Resources and Watershed Administration, Forests, Range and Watershed Management Organization, Tehran, Iran, 498p* (In Persian with English summary).
- Sahana, M., Arendran, G. and Sajjad, H., 2022. Assessment of suitable habitat of mangrove species for prioritizing restoration in coastal ecosystem of Sundarban Biosphere Reserve, India. *Scientific Reports*, 12(1): 20997.
- Sobhani, P. and Danehkar, A., 2023a. Assessment of environmental hazards and vulnerability of Hara protected area using DPSIR model. *Environmental Hazards Management*, 10(3): 215-232 (In Persian with English summary).
- Sobhani, P. and Danehkar, A., 2023b. Estimation of nature tourism carrying capacity in the mangrove forests of Khamir and Qeshm. *Iranian Journal of Forest*, 15(4): 377-392 (In Persian with English summary).