



پیش بینی اثرات تغییرات اقلیمی بر توزیع جنگل های مانگرو در ایران با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی

راضیه قیومی^۱، الهام ابراهیمی^{۲*}، فرهاد حسینی طایفه^۳، مصطفی کشتکار^۴

۱. دکتری بیولوژی دریا، گروه پژوهشی ارزیابی و مخاطرات محیط زیستی، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۳. استادیار گروه پژوهشی تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران

۴. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

مشخصات مقاله

چکیده

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۴ فروردین ۱۳۹۸

پذیرش: ۲۹ تیر ۱۳۹۸

دسترسی اینترنتی: ۲۰ مرداد ۱۳۹۸

واژه های کلیدی:

جنگل های مانگرو

حرا

مدل حداکثر آنتروپی

تغییر اقلیم

مدل سازی توزیع مکانی جوامع گیاهی برای پیش بینی زیستگاه های بالقوه و به منظور حفاظت از گونه ها صورت گرفته و موجب شناخت عوامل مؤثر بر توزیع آنها خواهد شد. هدف از این پژوهش مطالعه تأثیر تغییرات اقلیمی در تعیین رویشگاه های بالقوه جنگل های مانگرو ایران و مدل سازی توزیع گونه ای آن است. در این مطالعه نقاط حضور گونه حرا به عنوان گونه غالب ثبت و مدل سازی توزیع گونه ای با روش حداکثر آنتروپی در نرم افزار MaxEnt انجام شد. نتایج نشان داد مناسب ترین مناطق برای توزیع آن در شرایط اقلیم کنونی، سواحل دریای عمان و مناطق شرقی خلیج فارس حذفاصل خلیج گواتر تا سواحل شمالی جزیره قشم و خلیج نایبند در جنوب استان بوشهر هستند. در سال ۲۰۵۰ برحسب سناریوی RCP2/6 مطلوبیت زیستگاهی در سواحل شرقی خلیج فارس و برحسب سناریوی RCP8/5 مطلوبیت زیستگاهی در سواحل شرقی دریای عمان افزایش خواهد یافت. در سناریوهای فعلی و آینده، سواحل شمال استان بوشهر و استان خوزستان فاقد مطلوبیت زیستگاهی است. نتایج این پژوهش برای برنامه ریزی حفاظت و توسعه دست کاشت این جنگل ها کاربرد خواهد داشت.

* ebrahimi.iran72@gmail.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

در دو دهه اخیر با افزایش نرخ از دست دادن تنوع زیستی، بحث‌های زیادی در مجامع علمی در خصوص تنوع زیستی و اهمیت حفاظت از آن به وجود آمده است (۲۵، ۵۵ و ۵۶). حفاظت از گونه‌ها یکی از مهم‌ترین پاسخ‌های بشر به بحران تنوع زیستی است (۳۶، ۳۸ و ۴۳). اکثر موجودات زنده به دلیل شرایط اقلیمی به گرادیان‌های ارتفاعی خاصی محدود شده‌اند (۴۰) به طوری که پیش‌بینی واکنش تنوع زیستی به تغییرات اقلیمی به یک عرصه بسیار وسیع پژوهشی تبدیل شده است (۴۷، ۴۹، ۵۲ و ۵۳). تغییرات اقلیمی می‌تواند به دلیل انتخاب جهت‌دار و مهاجرت سریع، باعث کاهش تنوع ژنتیکی در جمعیت‌ها شود و بر عملکرد بوم‌سازگان و انعطاف‌پذیری آن تأثیر سوء گذارد (۲۳ و ۴۱).

مدل‌سازی توزیع گونه‌ها یک روش مدل‌سازی در علوم محیط‌زیست است که تلاش می‌کند روابط بین توزیع گونه‌ها و ویژگی‌های محیطی آن‌ها را بیان کند (۱۳). از جمله روش‌های متداول برای مدل‌سازی توزیع گونه‌ای جنگل‌ها استفاده الگوریتم بیشینه آنتروپی است. الگوریتم بیشینه آنتروپی نوعی رویه مدل‌سازی بر اساس نقاط صرفاً حضور است که در مقایسه با سایر روش‌های مدل‌سازی عملکرد بهتری در پیش‌بینی حضور گونه‌ها دارد (۴۴).

این روش فقط نیازمند نقاط حضور گونه‌ها است، که می‌توان هم متغیرهای وابسته پیوسته و هم کلاس‌بندی شده را در مدل‌سازی مورد توجه قرارداد (۵۹). همچنین تعیین اینکه کدام یک از متغیرها مهم‌ترین عوامل تشریح‌کننده نحوه توزیع گونه می‌باشند، از مهم‌ترین نقاط قوت این روش است (۲۹ و ۴۴). از جمله مطالعات صورت گرفته در کشور در خصوص اثر تغییرات اقلیمی بر توزیع جنگل‌های مانگرو می‌توان به مطالعه عرفانی و همکاران (۱۶) اشاره نمود که به بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات جهانی وسعت جنگل‌های مانگرو پرداختند و تغییرات جهانی اقلیم را بزرگ‌ترین مشکل فراروی بشر و جنگل‌های حرا ذکر کردند. مهدوی و همکاران (۱۹) روند تغییرات کیفی و کمی جنگل‌های مانگرو در منطقه

حفاظت‌شده بین قشم و بندر خمیر را بررسی کردند. خورانی و همکاران (۵) تغییرات سطح جنگل‌های حرا با توجه به نوسانات اقلیمی پرداختند. عسکری‌زاده و همکاران (۱۷) به بررسی گذشته، حال و آینده تغییرات پوشش گیاهی مراتع البرز مرکزی در ارتباط با تغییر اقلیم پرداختند.

در ایران مدل‌سازی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی برای گونه‌های جانوری کاربرد وسیعی داشته و می‌توان به مطالعات موسوی و همکاران (۲۰)، مروتی و همکاران (۱۸) که به ترتیب به مدل‌سازی زیستگاه گربه وحشی و یوزپلنگ با مدل حداکثر آنتروپی پرداختند، اشاره کرد. همچنین در خصوص مدل‌سازی توزیع گونه‌های گیاهی می‌توان به مطالعه خلاصی اهوازی و همکاران (۴) بر روی رویشگاه گونه‌های *Artemisia aucheri* و *Artemisia sieberi*، مطالعه زارع چاهوکی و عباسی (۱۱) برای تعیین رویشگاه بالقوه گونه گیاهی ارمک (*Ephedra strobilacea*) در مراتع پشتکوه استان یزد و مطالعه شمس‌آباد و همکاران (۴۸) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر گونه گیاهی *Acanthophyllum squarrosum* اشاره کرد.

جنگل‌های مانگرو با وسعت بیش از ۱۶ میلیون هکتار در زمره غنی‌ترین و حاصلخیزترین بوم‌سازگان‌های دنیا به حساب می‌آید و از مهم‌ترین زیست‌بوم‌های دریایی هستند (۳۹، ۴۴ و ۵۰) و اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی (IUCN)، ۲۲ کاربری عمده را برای این اکوسیستم‌ها تعیین کرده است (۷). سیستم ریشه‌ای جنگل‌های حرا باعث پایداری رسوبات می‌شود و اجتماعات آن‌ها انرژی امواج را کاهش داده و در نتیجه این جنگل‌ها در ایجاد جزایر، توسعه‌ی سواحل، جلوگیری از تخریب، خوردگی سواحل و فرسایش خاک نقش مؤثری دارند (۵۰).

مانگروها دارای زیتوده غنی می‌باشند که نسبت به سایر جوامع گیاهی پربارترند، بنابراین به‌عنوان یک منبع غذایی مهم در محدوده استقرار خود محسوب می‌شوند. بوم‌سازگان‌های مانگرو به‌عنوان ذخیره‌گاه، پناهگاه، محل تغذیه و رویشگاه برای بسیاری از گیاهان و حیوانات غیرآبی و آبی محسوب

می‌شوند.

مواد و روش‌ها

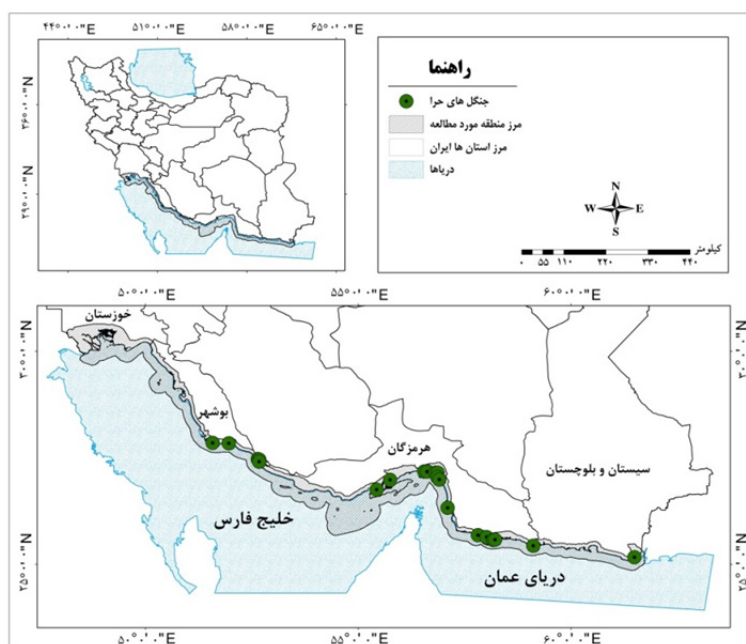
منطقه مورد مطالعه

جنگل‌های مانگرو در ایران در محدوده اراضی با عرض جغرافیایی حداقل ۲۵ درجه و طول حداقل ۵۵ درجه قرار گرفته‌اند (شکل ۱). پراکنش حرای طبیعی در ایران از شرقی‌ترین بخش دریای عمان در خلیج گواتر شروع و با حرکت به غرب خلیج فارس و زیاد شدن عرض جغرافیای در استان بوشهر و درخور مل‌گنزه در منطقه حفاظت‌شده مند پایان می‌یابد (۱۲ و ۱۵). به‌طور کلی رویشگاه‌های طبیعی مانگرو در سه استان: الف- بوشهر با وسعت ۳۲۵ هکتار، ب- هرمزگان با وسعت ۱۹۳۸۱ هکتار و ج- سیستان و بلوچستان با وسعت ۱۳۸۰ هکتار است که کلیه این مناطق جزء مناطق حساس دریایی محسوب می‌شوند و بیشترین سطح آن با گستره‌ای به وسعت ۱۲ هزار هکتار در جزیره قشم قرار دارد (۹ و ۱۵).
 ۱- بندر امام خمینی، خور غزاله بندر ماهشهر واقع در استان خوزستان؛ ۲- سواحل شهرستان ساحلی دیر، گناوه، بوشهر و عسلویه در استان بوشهر؛ ۳- غرب تا شرق استان هرمزگان و همچنین بخش‌های مختلفی از جزیره قشم؛ ۴- نوار ساحلی از خور گواتر تا خور گالک (گواتر، خور تیس، خور ناصرآباد، خور پزم، خور تنگ، خور راشدی، خور گالک، خور رایج و خور بیر) در شهرستان‌های چابهار و کنارک در استان سیستان و بلوچستان توسعه یافته‌اند (۸ و ۱۰).

جنگل‌های مانگرو محل تخم‌ریزی بسیاری از آبزیان بوده و میزان بالایی از صید به این مناطق وابسته است (۲۴، ۵۱ و ۵۴). جنگل‌های مانگرو ایران آخرین حد پراکنش این جنگل‌ها در آسیای جنوب غربی به شمار می‌آیند و شامل دو گونه حرا (*Avicennia marina*) و چنندل (*Rhizophora mucronata*) می‌باشند که در ایران به‌طور کلی به نام جنگل‌های حرا نامیده می‌شوند که گونه غالب نیز حرا است (۲۴ و ۳۱).

رویشگاه حرا در کل سواحل خلیج فارس و دریای عمان به‌صورت طبیعی و دست کاشت دیده می‌شود، اما رویشگاه چنندل به‌صورت طبیعی تنها در تالاب بین‌المللی دلتای رود گز و حرا (خور سیریک) وجد دارد و به‌صورت دست کاشت به منطقه حفاظت‌شده حرا نیز منتقل گردیده است (۲ و ۶).

هدف از مطالعه حاضر بررسی روند کاهش یا گسترش رویشگاه‌های بالقوه جنگل‌های مانگرو ایران تأثیر شرایط تغییرات اقلیمی از حال حاضر تا سال ۲۰۵۰ است. بدین منظور در این مطالعه به مدل‌سازی پتانسیل پراکنش جنگل‌های مانگرو تحت شرایط اقلیمی حاضر (۱۹۷۰-۲۰۰۰) و شرایط اقلیمی پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های GCMs برای سال ۲۰۵۰ با دو سناریو RCP2/6 و RCP8/5 و با بهره‌گیری از مدل حداکثر آنتروپی در نرم‌افزار Maxent پرداخته شد.



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه و نقاط توزیع جنگل های مانگرو در ایران

روش تحقیق

اساس درون یابی داده های هواشناسی سال های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ حاصل شده است (۳۲، ۴۵، ۵۸ و ۶۰). اما برای پیش بینی توزیع جنگل های مانگرو در شرایط اقلیمی سال ۲۰۵۰ از دو سناریوی RCP2/6 و RCP 8/5 استفاده شد. بر اساس سناریوی RCP2/6 واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می رسد. در سناریوی RCP8/5، غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰، ۲۱۰۰ ppm و اثر گازهای گلخانه ای بر واداشت های تابشی را تا ۸/۵ وات بر مترمربع تخمین زده است (۳۷). جهت پیش بینی مدل سازی توزیع گونه ای در این مطالعه از نرم افزار MaxEnt[®] 3.3.3 برای پیش بینی نواحی دارای پتانسیل توزیع گونه ای جنگل های مانگرو در حاشیه ی خلیج فارس و دریای عمان در محدوده کشور ایران استفاده شد. الگوریتم حداکثر آنتروپی نوعی رویه مبتنی بر ماشین یادگیری است که به ارزیابی احتمال توزیع مقادیر حداکثر آنتروپی متأثر از محدودیت های ناشی از متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر نحوه توزیع های مکانی گونه، می پردازد. این روش یکنواخت ترین توزیع نقطه نمونه را در مقایسه با مکان های پس زمینه با توجه به محدودیت های به دست آمده از داده ها تخمین می زند و

برای ساخت مدل های توزیع گونه ای، رابطه میان وقوع گونه با شرایط محیطی یک فرض اساسی محسوب می شود، بنابراین برای ساخت یک مدل حداقل به دو گروه از داده های ورودی نیاز داریم که این داده ها شامل داده های زیست شناختی و داده های محیطی می باشند (۳۴). در این پژوهش داده های زیست شناختی (اطلاعات حضور) مربوط به حضور جنگل های مانگرو از طریق پیمایش میدانی در سراسر منطقه مطالعاتی حداقل سواحل بندر امام خمینی در استان خوزستان و از طریق سواحل استان های بوشهر و هرمزگان تا کرانه های خلیج گواتر در شرق استان سیستان و بلوچستان و در مسیر حدود ۳۰۰۰ کیلومتری در اسفندماه سال ۱۳۹۵ گردآوری گردید. این داده ها شامل ۳۶ نقطه حضور بوده (جدول ۱) که توسط تیم مطالعاتی با سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) از هر لکه جنگلی حرا یک نقطه ثبت گردید و سپس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در قالب نقشه (شکل ۱) نمایش داده شد. داده های اقلیمی مورد استفاده از بانک داده اقلیمی (www.worldclim.org) تهیه شد. این بانک داده شامل ۱۹ متغیر آب و هوایی (جدول ۲) از کل کره زمین است که بر

مطالعه به منظور ارزیابی عملکرد مدل از سطح زیر نمودار (AUC) به دست آمده از منحنی ROC استفاده شد. سطح زیر حداکثر احتمال توزیع را پوشش می دهد (۴۴). همچنین در این نمودار این منحنی به عنوان معیاری از قدرت تشخیص نقاط حضور از نقاط عدم حضور توسط مدل عمل نموده و مستقل از تعریف آستانه های مطلوبیت است (۲۹ و ۳۰).

جدول ۱. نقاط حضور گونه حرا مورد استفاده در مدل سازی توزیع گونه ای

ردیف	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ردیف	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۶۱/۵۶۶۳۶۸۰۲	۲۵/۲۲۴۱۰۴۱۱	۱۹	۵۶/۵۲۹۷۱۴۳۳	۲۷/۱۶۹۷۷۲۷۲
۲	۵۹/۱۱۳۶۵۸۶	۲۵/۴۳۳۵۷۲۲	۲۰	۵۶/۳۹۰۹۶۸۲۸	۲۷/۱۶۳۳۶۴۰۱
۳	۵۸/۰۳۸۵۴۶۱۴	۲۵/۶۱۱۰۴۱۰۸	۲۱	۵۶/۵۷۱۴۹۸۹۸	۲۷/۱۶۳۳۶۴۰۱
۴	۵۸/۲۲۲۵۲۸۲	۲۵/۵۷۲۹۷۴۷۸	۲۲	۵۶/۵۵۲۸۶۴۱۳	۲۷/۱۷۵۰۰۴۰۲
۵	۵۸/۲۱۶۶۸۳۱۷	۲۵/۵۷۵۷۶۳۶۵	۲۳	۵۲/۶۴۳۷۰۶۹۶	۲۷/۴۶۵۴۷۸۶۷
۶	۵۸/۰۱۷۷۷۰۵۱	۲۵/۶۴۵۵۲۵۰۸	۲۴	۵۵/۷۵۷۳۳۴۸۳	۲۶/۹۸۳۴۷۸۹۸
۷	۶۱/۴۹۱۸۳۲۸	۲۵/۱۶۳۸۲۲۰۳	۲۵	۵۶/۹۳۸۲۷۷۱	۲۶/۹۹۸۰۳۵۰۹
۸	۵۷/۰۷۴۲۶۴۱۵	۲۶/۳۴۶۷۵۶۹۵	۲۶	۵۱/۹۶۰۴۷۲۲۳	۲۷/۸۴۰۰۹۷۴۱
۹	۵۷/۰۹۵۴۶۴۵۷	۲۶/۳۲۰۵۳۵۳۷	۲۷	۵۱/۵۸۴۳۴۷۷۴	۲۷/۸۴۹۱۰۱۰۲
۱۰	۵۷/۸۱۴۸۰۴۰۸	۲۵/۶۸۴۶۷۰۷۶	۲۸	۵۵/۴۳۰۳۲۳۷	۲۶/۷۴۹۰۹۰۶۵
۱۱	۵۷/۸۰۷۶۲۱۴۶	۲۵/۶۹۳۴۶۳۴۸	۲۹	۵۵/۵۶۵۰۶۴۹	۲۶/۸۶۲۸۱۰۴۱
۱۲	۵۸/۳۵۱۸۹۲۶۸	۲۵/۵۹۹۴۷۸۰۹	۳۰	۵۵/۶۹۷۱۶۰۴۶	۲۶/۸۵۴۴۸۹۳۸
۱۳	۵۶/۸۶۹۵۵۵۳۴	۲۷/۰۴۸۶۸۱۳۴	۳۱	۵۵/۶۳۹۰۵۱۸۱	۲۶/۹۷۶۱۴۳۲۸
۱۴	۵۶/۸۱۸۲۱۴۴۸	۲۷/۰۸۶۳۶۶۴۲	۳۲	۵۲/۶۷۴۰۰۹۳۴	۲۷/۴۵۶۹۳۴۵۴
۱۵	۵۶/۸۱۰۴۷۷۵۵	۲۷/۱۴۸۳۰۹۵۹	۳۳	۵۵/۷۸۹۲۸۲۴۱	۲۶/۸۱۵۵۹۱۹۹
۱۶	۵۶/۷۸۹۲۳۰۱۵	۲۷/۱۲۲۲۶۰۷	۳۴	۵۵/۷۵۶۷۷۸۲۷	۲۶/۸۹۳۴۳۴۰۷
۱۷	۵۶/۶۱۳۴۳۹۸۳	۲۷/۱۶۰۷۸۰۱۴	۳۵	۵۲/۶۷۱۶۹۷۱۲	۲۷/۴۰۰۸۱۷۲۲
۱۸	۵۶/۶۱۸۸۰۳۶۴	۲۷/۱۷۴۷۲۸۵۹	۳۶	۵۶/۹۳۶۶۰۶۶۸	۲۶/۹۹۶۷۳۴۵۹

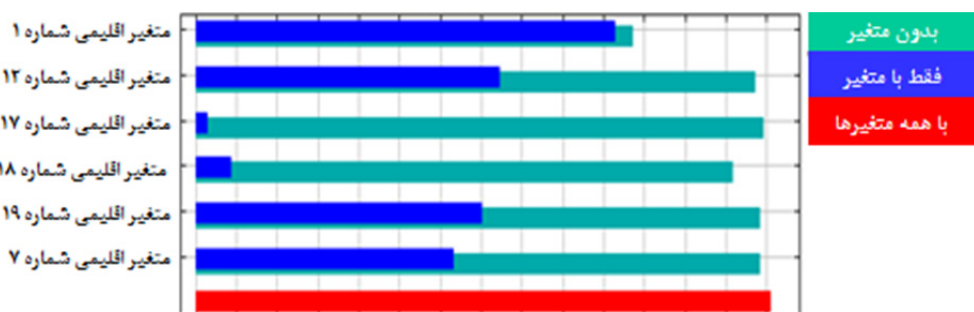
جدول ۲. متغیرهای اقلیمی مورد استفاده برای تهیه مدل توزیع گونه ای حرا

متغیر	توضیح	متغیر	توضیح
متغیر اقلیمی شمار ۱	دمای متوسط سالانه	متغیر اقلیمی شماره ۱۱	دمای متوسط سردترین فصل
متغیر اقلیمی شماره ۲	میانگین دمای روزانه	متغیر اقلیمی شماره ۱۲	بارندگی سالانه
متغیر اقلیمی شماره ۳	میانگین دمای مطلق هوا	متغیر اقلیمی شماره ۱۳	بارش مرطوب ترین ماه سال
متغیر اقلیمی شماره ۴	دمای فصلی	متغیر اقلیمی شماره ۱۴	بارش خشک ترین ماه سال
متغیر اقلیمی شماره ۵	حداکثر درجه حرارت گرم ترین ماه سال	متغیر اقلیمی شماره ۱۵	بارش فصلی
متغیر اقلیمی شماره ۶	حداقل دما در سردترین ماه سال	متغیر اقلیمی شماره ۱۶	بارش در مرطوب ترین فصل
متغیر اقلیمی شماره ۷	محدوده دمای سالانه	متغیر اقلیمی شماره ۱۷	بارش در خشک ترین فصل
متغیر اقلیمی شماره ۸	متوسط دمای فصل مرطوب	متغیر اقلیمی شماره ۱۸	بارش در گرم ترین فصل
متغیر اقلیمی شماره ۹	متوسط دمای فصل خشک	متغیر اقلیمی شماره ۱۹	بارش در سردترین فصل
متغیر اقلیمی شماره ۱۰	متوسط دمای گرم ترین فصل	-	-

نتایج

انتخاب متغیرهای اقلیمی به منظور انتخاب متغیرهای مستقل و وابسته تأثیرگذار بر توزیع جنگل های مانگرو از آزمون پیرسون با ضریب دقت ۰/۷۵ در نرم افزار R استفاده شد، نتایج حاصل از این آزمون به انتخاب متغیرهای (متغیر اقلیمی شماره ۱، متغیر اقلیمی شماره ۷، متغیر اقلیمی شماره ۱۲، متغیر

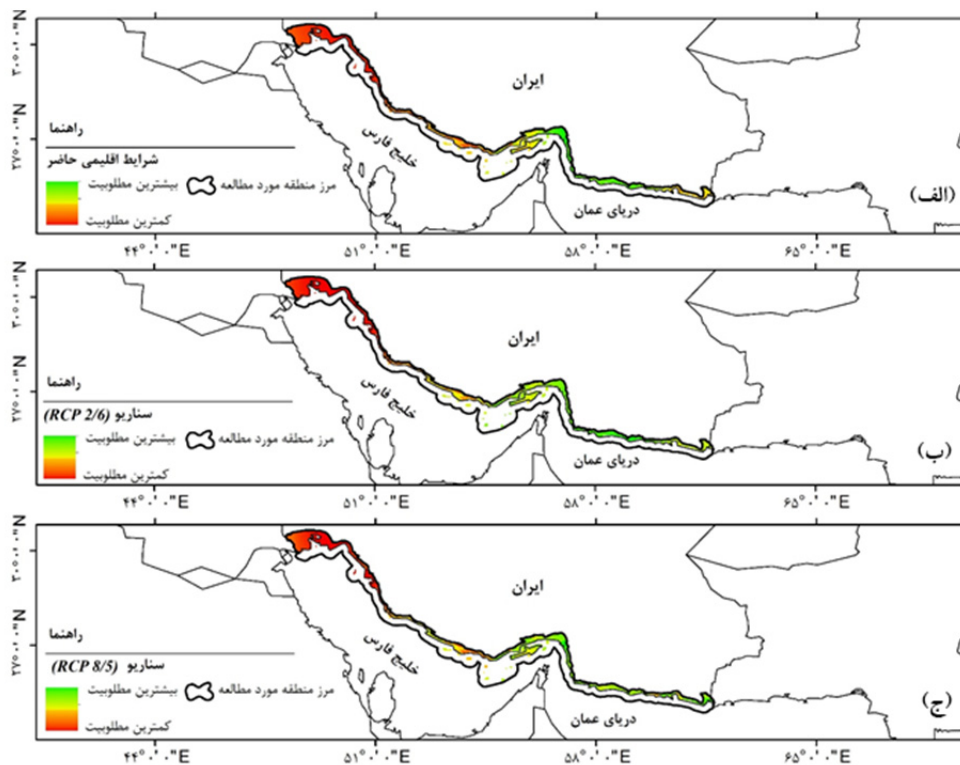
اقلیمی شماره ۱۷، متغیر اقلیمی شماره ۱۸ و متغیر اقلیمی شماره ۱۹) منجر شد که با فرمت Ascii برای ورود به نرم افزار MaxEnt آماده گردید. نتایج آزمون جک نایف نشان داد متغیر اقلیمی شماره ۱ بیشترین اهمیت و متغیر اقلیمی شماره ۱۷ کمترین اهمیت را در توزیع حرا دارد (شکل ۲).



شکل ۲. نتایج آزمون جک نایف مدل سازی توزیع حرا

الف). پتانسیل توزیع گونه‌ای جنگل های مانگرو با مدل حداکثر آنتروپی تحت سناریوی RCP2/6 و RCP8/5 طبق سناریو RCP2/6 برای سال ۲۰۵۰ سواحل شرقی خلیج فارس از حدفاصل غرب جزیره قشم و سواحل سایه خوش تا کرانه‌های خلیج گواتر شرایط زیستگاهی مطلوبی خواهند داشت. در این شرایط سواحل پیرامونی خلیج نایبند با مطلوبیت متوسط و سواحل شمالی استان بوشهر، سواحل استان خوزستان شرایط نامطلوب پیش بینی شده‌اند (شکل ۳-ب). سناریو RCP8/5 برای سال ۲۰۵۰ نشان داد خلیج چابهار و سواحل شرقی آن تا جاسک بخشی از مطلوبیت خود را از دست خواهد داد و سواحل خلیج گواتر دارای مطلوبیت بیشتری خواهد گردید. سواحل شمالی استان بوشهر و استان خوزستان همچنان فاقد مطلوبیت زیستگاهی خواهند بود و سایر سواحل در سناریو RCP8/5 تفاوت چشمگیری با سناریو RCP2/6 نخواهند داشت (شکل ۳-ج).

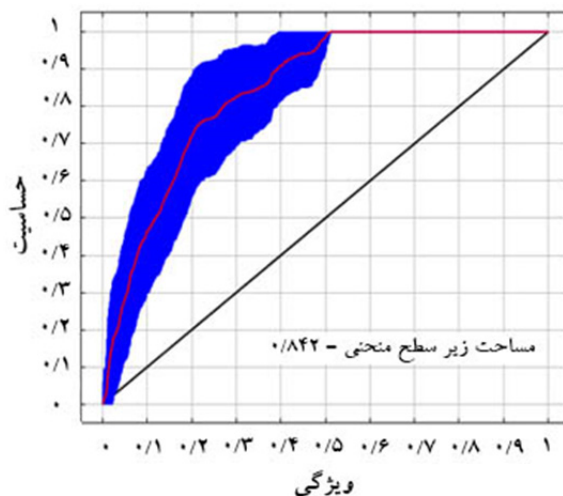
پتانسیل توزیع گونه‌ای جنگل های مانگرو با مدل حداکثر آنتروپی در شرایط اقلیمی حاضر نتایج حاصل از این مطالعه برای پیش بینی توزیع حرا با مدل حداکثر آنتروپی نشان می‌دهد که در شرایط اقلیمی حاضر بخش‌هایی از استان هرمزگان و محدوده‌ای از سیستان و بلوچستان شامل خور مرکزی جاسک، خور آبکوهی، منطقه حفاظت شده گابریک و جاسک و خور خلاصی بهترین مناطق برای توزیع حرا به شمار می‌روند. اما بخش‌های غربی حاشیه خلیج فارس و سراسر استان خوزستان فاقد پتانسیل توزیع برای این گونه هستند، همچنین نقشه پتانسیل توزیع گونه‌ای جنگل های مانگرو نشان می‌دهد در شرایط اقلیمی حاضر مناطق منتهی الیه شرقی مرز آبی جنوب کشور به طور کلی پتانسیل بیشتری برای توزیع جنگل های مانگرو دارند و منتهی الیه غربی فاقد پتانسیل برای توزیع این گونه است و به صورت کلی می‌توان این نکته را بیان نمود که حاشیه‌ی شرقی دریای عمان و خلیج فارس در جنوب ایران، منطقه مناسب تری برای توزیع حرا به حساب می‌آید (شکل ۳-ب).



شکل ۳. نقشه پتانسیل توزیع جنگل‌های مانگرو در ایران تحت شرایط تغییر اقلیم

۰/۸ بیانگر مدل خوب، بین ۰/۸ تا ۰/۹ مدل عالی و بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی بسیار عالی مدل است (۳۵). در این پژوهش منحنی ROC مربوط به مدل‌سازی پیش‌بینی پتانسیل توزیع گونه‌های جنگل‌های مانگرو $AUC=0.842$ که بیانگر قابلیت عالی مدل است (شکل ۴).

ارزیابی مدل: برای ارزیابی نتایج مدل‌سازی متغیر آماری از تحلیل منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده استفاده شد. چنانچه مساحت زیر منحنی (AUC) میزان عددی یک را نشان دهد، به معنای پیش‌بینی کامل و بدون حذف هیچ‌کدام از نقاط حضور است. اما اگر این مقدار برابر با ۰/۵ باشد، ROC نشان‌دهنده یک پیش‌بینی تصادفی است. همچنین AUC بین ۰/۷ تا



شکل ۴. منحنی پاسخ مدل‌سازی توزیع گونه‌های حرا

اقلیمی کنونی به ترتیب کمترین و بیشترین اهمیت را بر پیش بینی توزیع جنگل های مانگرو در جنوب ایران دارند (جدول ۳).

اهمیت نسبی متغیرها در مدل سازی توزیع گونه ای با روش حداکثر آنتروپی

نتایج حاصل از مدل سازی توزیع گونه ای نشان داد متغیر اقلیمی شماره ۱۷ و متغیر اقلیمی شماره ۱ در شرایط

جدول ۳. اهمیت نسبی متغیرها بر توزیع گونه ای جنگل های مانگرو

متغیر	شرایط اقلیمی حاضر
متغیر اقلیمی شماره ۱	۴۴/۱
متغیر اقلیمی شماره ۷	۴/۸
متغیر اقلیمی شماره ۱۲	۱۵/۵
متغیر اقلیمی شماره ۱۷	۱/۴
متغیر اقلیمی شماره ۱۸	۳/۷
متغیر اقلیمی شماره ۱۹	۲۷/۸

اقلیمی، بارش های جهانی ناگهان افزایش و در برخی مناطق ناگهان کاهش یابد. کاهش بارش، سطح ورودی آب شیرین رواناب و آب زیرزمینی به مانگرو را کاهش داده و باعث افزایش شوری خاک و کاهش در بهره وری، رشد و بقای بذر، و همچنین تغییر گونه ها و تبدیل آن ها به گونه های مقاوم تر به نمک می شود (۳۹).

پیشینه پژوهشی در زمینه جنگل های مانگرو در ایران نشان می دهد، اغلب مطالعات جنگل های مانگرو در زمینه زیست شناسی و بوم شناسی بوده و تعداد اندکی از پژوهش ها به بررسی اثرات اقلیم بر جنگل های مانگرو پرداخته اند. خورانی و همکاران (۵)، حجاریان (۳)، صفا ایسینی و همکاران (۱۴) پیش بینی کرده اند که در سال های آینده سطح جنگل های مانگرو افزایش خواهد یافت و برخلاف نتایج مطالعات یاد شده نتایج عرفانی و همکاران (۱۶) و مهدوی و همکاران (۱۹)، نشان داده سطح جنگل های مانگرو در اثر تغییرات اقلیمی کاهش می یابد. در مطالعه ای دیگر اعتمادی و همکاران (۱) پیش بینی کردند تفاوت دمای روز و شب تا انتهای سال ۲۱۰۰ به حداقل میزان ممکن خواهد رسید و این شرایط پروسه زیست شناختی و بوم شناختی مانگروها را تحت تأثیر قرار می دهد. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان دهنده تغییرات قابل توجهی

بحث و نتیجه گیری

مانگروهای ایران که در زمره نادرترین اراضی جنگلی مانگرو در دنیا قرار دارند در صورت نابودی، برگشت پذیری آن ها بسیار دشوار و گاهی غیرممکن است (۱). کاهش یا از بین رفتن جنگل های مانگرو علاوه بر اینکه منجر به کاهش تنوع گونه ای آبزیان، کاهش کیفیت آب و آثار نامطلوب بر زیستگاه های ساحلی خواهد شد، مقادیر قابل توجهی نیز از ذخیره کربنی آزاد کرده و سبب گرمایش جهانی و دیگر پیامدهای تغییر اقلیمی نیز می گردد (۲۶). شواهد زمین شناسی نشان داده است که مانگروها با تغییرات قبلی اقلیمی سازگاری ایجاد کرده اند (۲۱، ۳۰، ۳۳ و ۵۷). با این حال، برخی از گونه های جنگل های مانگرو در شرایطی قرار می گیرند که شامل محدودیت های تحمل پذیری بوم شناختی همراه با مرگومیر ناشی از تغییرات جزئی در رژیم ها هیدرولوژیکی یا جزر و مدی هستند (۲۲). افزایش دما منجر به منبسط شدن محدوده عرضی جنگل های مانگرو به وسیله تغییرات مکانی تالاب های نمکی و تغییر ترکیب گونه ها شده است (۲۱ و ۵۸). کاهش متوسط بارش باران نیز، تهدیدی بزرگ برای جنگل های مانگرو محسوب می شود که با سازگاری توازن خاص آب شیرین و شور همراه است. انتظار می رود در اثر تغییرات

بدون مطالعات قبلی در این مناطق به صورت جدی خودداری نمود. علاوه بر این نتایج ارزیابی عملکرد همواره میزان عددی بیش از ۰/۸ را نشان داده است که بیانگر قابلیت خیلی خوب مدل است (شکل ۳).

به طور کلی بارش و دما دو عامل مهم در تنوع گونه‌ای و پراکنش مانگروها هستند (۴۲). تحقیقات نشان داده است که درجه حرارت بر فرایندهای فیزیولوژیکی مانگروها اثر گذاشته و می‌تواند توزیع و تولیدمثل آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (۲۷ و ۲۸). همچنین با توجه به اینکه آخرین حد پراکنش جنگل‌های مانگرو در ایران قرار دارد و این جنگل‌ها در شرایط آستانه اقلیمی زیست می‌کنند، بارش و دما بیش از سایر مناطق بر آن‌ها تأثیر دارد.

در مقایسه با سایر مناطق جهان، تحقیقات بسیار کمی در مورد اثرات تغییرات آب و هوایی بر جنگل‌های مانگرو در خاورمیانه صورت گرفته است. به طور کلی در مناطق خشک مانند خاورمیانه، جنگل‌های مانگرو محدود به مناطق مصبی هستند. با توجه به کاهش میزان بارندگی در آینده و افزایش برداشت آب از رودخانه‌ها، افزایش دما و به تبع تبخیر بیشتر و افزایش شوری، احتمال دارد که جنگل‌های مانگرو در خاورمیانه در معرض خطر جدی ناشی از تغییرات اقلیمی قرار گیرد (۴۶). در واقع تغییرات اقلیمی باعث کاهش بهره‌وری، کاهش نرخ رشد، کاهش بقای بذر و نهال، رقابت بین گونه‌های مانگرو و کاهش تنوع مناطق مانگرو و نهایتاً کاهش قابل توجه در منطقه جنگل‌های مانگرو شده و نهایتاً این مناطق تبدیل به پهنه‌های گلی بسیار شور خواهند شد (۵ و ۴۶).

در این مطالعه هدف اصلی پیش‌بینی اثرات تغییرات اقلیمی بر پراکنش جنگل‌های مانگرو در ایران بوده است که تغییرات ایجاد شده در زیستگاه‌های حرا در این بازه زمانی پیش‌بینی گردید. مدل پیشینه آنتروپی بر اساس شرایط کنونی و آینده سرزمین نشان داد در میان مناطق ساحلی جنوب کشور پراکنش جنگل‌های مانگرو در سواحل دریای عمان و نیمه شرقی خلیج فارس به مراتب بیشتر از سواحل غربی خلیج فارس است. لذا با توجه به اینکه پیش‌بینی‌ها نشان داده است استان

در برخی از لکه‌های زیستگاهی جنگل‌های مانگرو در اثر تغییرات اقلیمی تا سال ۲۰۵۰ است. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در شرایط اقلیمی حاضر، مناطق بین خور خلاصی تا خور آبکوهی، حرای کولغان تا جنگل مانگرو چاخوا به عنوان بهترین مناطق برای پتانسیل توزیع جنگل‌ها مانگرو پیش‌بینی شده است، به نظر می‌رسد به دلیل مشابهت اقلیمی دما و بارندگی که دو پارامتر مهم برای پراکنش مانگرو طبق این مدل است، مدل این دو استان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان را به عنوان مناطق دارای پتانسیل زیستگاهی برای جنگل‌های مانگرو انتخاب کرده است. اما در سال ۲۰۵۰ برحسب سناریوی RCP2/6 مطلوبیت زیستگاهی در سواحل شرقی خلیج فارس و برحسب سناریوی RCP8/5 مطلوبیت زیستگاهی در سواحل خلیج گواتر افزایش می‌یابد. همچنین مدل پیشینه آنتروپی بر اساس سناریوی RCP8/5 پیش‌بینی کرده است که مطلوبیت زیستگاهی در خلیج چابهار و سواحل شرقی آن تا جاسک کاهش خواهد یافت. به طور کلی می‌توان این‌طور بیان کرد که گستره مطلوبیت جنگل‌های مانگرو برحسب شرایط اقلیمی تا سال ۲۰۵۰ به طور طولی نسبتاً افزایش و به صورت عرضی نسبتاً کاهش خواهد یافت. نکته قابل توجه در مقایسه سه مدل توزیع جنگل‌های مانگرو بر اساس شرایط اقلیمی و سناریوهای مختلف آنجاست که در هر سه مدل مذکور (شکل ۲) سواحل شمالی استان بوشهر و استان خوزستان فاقد هرگونه مطلوبیت زیستگاهی برای جنگل‌های مانگرو می‌باشند. در واقع به دلیل اینکه این قسمت از ایران خارج از عرض جغرافیایی ۳۰ درجه که بالاترین محدوده پراکنش جنگل‌های حرا است، قرار دارد، پتانسیل توزیع جنگل‌ها مانگرو را نداشته و برحسب تجربیات ناموفق ۳۰ سال گذشته، از حدود ۷ میلیون اصله نهالی که در اراضی وسیعی از استان خوزستان تحت کشت حرا قرار گرفته تنها محدوده کوچکی استقرار حرا را می‌توان دید که آن‌هم به زادآوری طبیعی نرسیده است، بنابراین این منطقه نه تنها پتانسیل توزیع طبیعی مانگرو را نداشته، بلکه در کشت دست کاشت جنگل‌های مانگرو نیز موفق نبوده و بر همین اساس و برای جلوگیری از خسارات مالی بایستی از کشت حرا

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته شده از طرح تحقیقاتی با کد ۹۵-۲ که توسط پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار حمایت مالی شده است و در اینجا نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند از پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار به خاطر تأمین مالی تشکر و قدردانی نمایند.

منابع مورد استفاده

۱. اعتمادی، ه.، م. شریفی کیا، ز. صمدی، ع. اسماعیلی ساری و ا. دانه کار. ۱۳۹۴. شبیه سازی تغییرات اقلیمی آینده در منطقه جاسک و تأثیر آن بر جنگل های حرا. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۳(۴۱): ۸۵-۹۲.
۲. پرورش، ح.، ا. پرورش و ز. پرورش. ۱۳۹۲. تعیین ظرفیت های برد فیزیکی، واقعی و مجاز برای اجرای فعالیت های قایقرانی در تالاب بین المللی حرا رود گز. نشریه اقیانوس شناسی، ۱۳(۴): ۸۵-۹۲.
۳. حجاریان، م. ۱۳۸۴. بررسی تغییرات کمی جنگل های مانگرو منطقه قشم با استفاده از عکس های هوایی و داده های ماهواره ای در یک دوره چهار ساله. پایان نامه کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج. ۱۲۴ صفحه.
۴. خلاصی اهوازی، ل.، م. زارع چاهوکی و س. ز. حسینی. ۱۳۹۴. مدل سازی پراکنش جغرافیایی رویشگاه گونه های *Artemisia aucheri* و *Artemisia sieberi* بر اساس روش های مبتنی بر حضور (MaxEnt و ENFA)، مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۶(۱): ۵۷-۷۳.
۵. خورانی، ا.، م. بی نیاز، و ح. امیری. ۱۳۹۴. تغییرات سطح جنگل های حرا با توجه به نوسانات اقلیمی (مطالعه موردی: جنگل های بین بندر خمیر و قشم)، مجله بوم شناسی آبیان، ۵(۲): ۱۰۰-۱۱۱.
۶. دانه کار، ا.، ب. محمودی، ع. تقی زاده، و ا. کامرانی. ۱۳۸۸. بررسی ساختار توده های جنگلی مانگرو در رویشگاه سیریک در استان هرمزگان. نشریه جنگل و فرآورده های چوب (منابع طبیعی ایران)، ۶۲(۴): ۳۵۹-۳۶۹.
۷. دانه کار، ا. ۱۳۷۷. مناطق حساس دریایی ایران، فصل نامه

خوزستان پتانسیل توزیع گونه ای حرا را چه در شرایط کنونی و چه در شرایط اقلیمی سال ۲۰۵۰ ندارد، بنابراین احتمالاً پروژه های کشت دست کاشت حرا نیز در این منطقه با عدم موفقیت همراه خواهد بود. علاوه بر این با توجه به اینکه پیش بینی افزایش مطلوبیت زیستگاهی در سواحل شرقی خلیج فارس از حدفاصل غرب جزیره قشم و سواحل سایه خوش تا کرانه های خلیج گواتر، برنامه ریزی های حفاظتی و همچنین کاهش و جلوگیری از توسعه کانون ها تجاری از جمله صنایع، آبی پروری، حمل نقل و امور بازرگانی در این مناطق ضروری است.

از نتایج این مطالعه می توان برداشت کرد که سواحل جاسک تا خلیج چابهار برخی استرس های اقلیمی را تجربه خواهند کرد که می تواند منجر به از بین رفتن این زیستگاه های با ارزش شود. بنابراین تغییر اقلیم منجر به چالش جدی در بقا و پایداری اکوسیستم های مانگروها خواهد بود. به طور کلی می توان به این نکته اشاره کرد که استفاده از پایگاه های داده ای اقلیمی و بررسی سناریوهای مختلف گامی مفید و مؤثر در مدل سازی توزیع گونه ای محسوب می شود که اگر همگام با توسعه مدل های توزیع گونه ای باشد، می تواند سبب ارتقاء سطح حفاظت تنوع زیستی در بوم سازگان ها شود. اما همچنان باید به این نکته توجه داشت که موضوع نوسان و تغییرات اقلیمی موضوع بسیار پیچیده ای بوده و نیاز به مطالعات متعدد و طولانی مدت با داده های جدیدتر دارد.

پیش بینی آینده تغییرات بوم سازگان ها برای هدایت اقدامات اجرایی، مدیریت منابع، حفاظت، بازسازی و استفاده پایدار از جنگل های مانگرو بسیار ضروری بوده و نتایج این مطالعه می تواند برای مطالعات کاهش اثر و سازگاری آینده زیستگاه ها و همچنین تعیین محدوده های حفاظتی و مدیریتی کارآمد جهت حفاظت از مانگروهای در سواحل دریای عمان و خلیج فارس مفید باشد.

- محیطزیست، شماره ۲۴، ۲۸-۳۸.
۸. دانه کار، ا. ه. پورباقر، ش. خلیقی، ب. محمودی، ع. داوری، ف. منصوری و م. رجایی. ۱۳۹۳. بررسی استقرار جنگل‌های دریایی حرا و ارائه راهکارهای بهبود آن در منطقه ماهشهر و بندر امام. پروژه پژوهشی دفتر پژوهش‌های پتروشیمی بندر امام خمینی. واحد اجرا دانشگاه تهران. ۱۰۰ صفحه.
۹. دانه کار، ا. ۱۳۸۵. طرح مدیریت و توسعه جنگل‌های مانگرو در استان هرمزگان. جلد اول. اداره کل منابع طبیعی استان هرمزگان: مهندسین مشاور طبیعت و منابع طبیعی. ۱۳۸ صفحه.
۱۰. دهقانی، م. م. پورهاشمی، ن. شعبانیان و خ. میرآخورلسو. ۱۳۹۳. شناسایی اراضی مستعد توسعه جنگل‌های مانگرو در منطقه هلر جزیره قشم. نشریه توسعه پایدار جنگل، ۲(۱): ۱۵۱-۱۶۵.
۱۱. زارع چاهوکی، م. و م. عباسی. ۱۳۹۵. تعیین رویشگاه بالقوه گونه گیاهی ارمک (*Ephedra strobilacea*) با استفاده از مدل آنترپپی حداکثر در مراتع پشتکوه استان یزد. مجله حفاظت زیست بومی گیاهان، ۴(۹): ۱۹۵-۲۱۲.
۱۲. زهزاد، ب. و ه. مجنونیان. ۱۳۷۶. شناسنامه منطقه حفاظت‌شده حرا، اداره کل حفاظت محیطزیست استان هرمزگان، چاپ اول، دایره سبز. ۱۴۸ صفحه.
۱۳. سرهنگ زاده، ج. ا. ر. یآوری، ح. ر. همای و ب. شمس اسفندآبادی. ۱۳۹۰. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های حیات وحش در مناطق خشک (مطالعه موردی: کل و بز در منطقه حفاظت‌شده کوه بافق)، فصلنامه علمی پژوهشی خشک بوم، ۳(۱): ۳۸-۵۰.
۱۴. صفا ایسینی، ه. ا. دانه کار و ا. کامرانی. ۱۳۸۷. بررسی نرخ رشد مانگروها در حوزة کولقان، تیاب و کلاهی در خلیج فارس. هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، سازمان بنادر و دریانوردی، ۶-۴ آذر. تهران. ۸ صفحه.
۱۵. صفیاری، ش. و م. نصوری. ۱۳۸۷. توسعه جنگل‌های مانگرو. انتشارات سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، اداره کل منابع طبیعی استان هرمزگان، ۴۹۸ صفحه.
۱۶. عرفانی، م. غ. نوری، ا. دانه کار، م. مروی مهاجر و ب. محمودی. ۱۳۸۸. بررسی پارامترهای رویشی جنگل‌های مانگرو خلیج گواتر در جنوب شرقی ایران. تاکسونومی و بیوسیستماتیک، ۱(۱): ۳۳-۴۶.
۱۷. عسکری زاده، د. ح. ارزانی، م. جعفری، ج. بذرافشان و پ. آیین کولین. ۱۳۹۷. بررسی گذشته، حال و آینده تغییرات پوشش گیاهی مراتع البرز مرکزی در ارتباط با تغییر اقلیم. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹(۳): ۱-۱۸.
۱۸. مروتی، م. کابلی، م. پناهنده، م. سرباز، م. و احمدیان، ش. ۱۳۹۶. مدل‌سازی زیستگاه یوزپلنگ آسیایی (*Acinonyx jubatus venaticus*) تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در ایران با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt. محیطزیست جانوری، ۹(۱): ۲۰-۱۳.
۱۹. مهدوی، ع. م. زبیری و م. نمیرانیان. ۱۳۸۱. بررسی روند تغییرات کمی و کیفی جنگل‌های مانگرو منطقه قشم با استفاده از عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۳. مجله منابع طبیعی ایران، ۳(۳): ۳۷۷-۳۸۷.
۲۰. موسوی، م. ح. ر. رضایی و س. نادری. ۱۳۹۷. پیش‌بینی پراکنش بالقوه گربه وحشی *Felis silvestris* با استفاده از الگوریتم حداکثر آنترپپی در ایران. محیطزیست جانوری، ۱۰(۱): ۱۹-۲۴.
21. Alongi DM. 2015. The impact of climate change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports*, 1(1): 30-39.
22. Blasco F, Saenger P, Janodet E. 1996. Mangroves as indicators of coastal change. *Catena*, 27(3-4): 167-178.
23. Danehkar A. 1998. Marine sensitive areas of Iran. *The Environment Scientific Quarterly Journal*, 24: 28-38.
24. De Palma A, Kuhlmann M, Bugter R, Ferrier S, Hoskins AJ, Potts SG, Roberts SP, Schweiger O, Purvis A. 2017. Dimensions of biodiversity loss: Spatial mismatch in land-use impacts on species, functional and phylogenetic diversity of European bees. *Diversity and Distributions*, 23(12): 1435-1446.
25. Duarte CM, Losada IJ, Hendriks IE, Mazarrasa I, Marbà N. 2013. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, 3(11): 961.
26. Duke N. 1997. Mangroves in the Great Barrier Reef World Heritage Area: current status, long-term trends, management implications and research. In: *State of the great barrier reef world heritage area workshop*. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville, pp 288-299.

27. Duke N, Ball M, Ellison J. 1998. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology & Biogeography Letters*, 7(1): 27-47.
28. Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudik M, Chee YE, Yates CJ. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1): 43-57.
29. Ellison JC, Stoddart DR. 1991. Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise: Holocene analogues and implications. *Journal of Coastal Research*: 151-165.
30. Erfani M, Nouri GR, Danehkar A, Marvi MM, Mahmoudi B. 2010. Vegetative parameters of mangrove forest on the Govater bay in southeast of Iran. *Journal of Taxonomy and Biosistematics*, 1(1): 33-46.
31. Fernández-Martínez M, Vicca S, Janssens IA, Sardans J, Luysaert S, Campioli M, Chapin III FS, Ciais P, Malhi Y, Obersteiner M. 2014. Nutrient availability as the key regulator of global forest carbon balance. *Nature Climate Change*, 4(6): 471.
32. Field CD. 1995. Impact of expected climate change on mangroves. In: *Asia-Pacific Symposium on Mangrove Ecosystems*. Springer, pp 75-81.
33. Franklin J. 2010. Moving beyond static species distribution models in support of conservation biogeography. *Diversity and Distributions*, 16(3): 321-330.
34. Giovanelli JG, de Siqueira MF, Haddad CF, Alexandrino J. 2010. Modeling a spatially restricted distribution in the Neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. *Ecological Modelling*, 221(2): 215-224.
35. Hoffmann M, Belant JL, Chanson JS, Cox NA, Lamoreux J, Rodrigues AS, Schipper J, Stuart SN. 2011. The changing fates of the world's mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1578): 2598-2610.
36. I IWG. 2013. *Climate Change 2013-The Physical Science Basis: Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
37. Jetz W, Tuanmu M, Melton F, Parmentier B, Amatulli G, Guzman A. 2016. Remote-sensing supported monitoring of global biodiversity change. In: *AGU Fall Meeting Abstracts*.
38. Kathiresan K, Bingham BL. 2001. Biology of mangroves and mangrove Ecosystems. In: *Advances in Marine Biology*, vol 40. Academic Press, pp 81-251.
39. McLeod E, Salm RV. 2006. Managing mangroves for resilience to climate change. *World Conservation Union (IUCN)*, pp 64.
40. McNab BK. 2003. Metabolism: ecology shapes bird bioenergetics. *Nature*, 426(6967): 620.
41. Meyers LA, Bull JJ. 2002. Fighting change with change: adaptive variation in an uncertain world. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(12): 551-557.
42. Ming-Gang Z, Slik JF, Ma K-P. 2016. Using species distribution modeling to delineate the botanical richness patterns and phytogeographical regions of China. *Scientific Reports*, 6: 22400.
43. Pereira HM, Ferrier S, Walters M, Geller GN, Jongman R, Scholes RJ, Bruford MW, Brummitt N, Butchart S, Cardoso A. 2013. Essential biodiversity variables. *Science*, 339(6117): 277-278.
44. Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4): 231-259.
45. Quintero I, Wiens JJ. 2013. Rates of projected climate change dramatically exceed past rates of climatic niche evolution among vertebrate species. *Ecology Letters*, 16(8): 1095-1103.
46. Raymond Ward D, Friess DA, Day RH, MacKenzie RA. 2016. Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2(4): e01211.
47. Reside AE, VanDerWal J, Moran C. 2017. Trade-offs in carbon storage and biodiversity conservation under climate change reveal risk to endemic species. *Biological Conservation*, 207: 9-16.
48. Shamsabad MM, Assadi M, Parducci L. 2018. Impact of climate change implies the northward shift in distribution of the Irano-Turanian subalpine species complex *Acanthophyllum squarrosum*. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 11(4): 566-572.
49. Skogen K, Helland H, Kaltenborn B. 2018. Concern about climate change, biodiversity loss, habitat degradation and landscape change: Embedded in different packages of environmental concern? *Journal for Nature Conservation*, 44: 12-20.
50. Spalding M, Blasco F, Field C. 1997. *World mangrove atlas*.
51. Spalding M, McIvor A, Tonneijck F, Tol S, Van Eijk P. 2014. *Mangroves for coastal defence. Guidelines for coastal managers & policy makers*. Wetlands International and The Nature Conservancy, pp 42.
52. Thom D, Rammer W, Seidl R. 2017. Disturbances catalyze the adaptation of forest ecosystems to changing climate conditions. *Global Change Biology*, 23(1): 269-282.
53. Van Oijen M, Bellocchi G, Höglind M. 2018. Effects of climate change on grassland biodiversity and productivity: the need for a diversity of models. *Agronomy*, 8(2): 14.
54. Verweij M, Nagelkerken I, De Graaff D, Peeters M, Bakker E, Van der Velde G. 2006. Structure,

- food and shade attract juvenile coral reef fish to mangrove and seagrass habitats: a field experiment. *Marine Ecology Progress Series*, 306: 257-268.
55. Waldron A, Miller DC, Redding D, Mooers A, Kuhn TS, Nibbelink N, Roberts JT, Tobias JA, Gittleman JL. 2017. Reductions in global biodiversity loss predicted from conservation spending. *Nature*, 551(7680): 364.
56. Wende W, Tucker G, Quétier F, Rayment M, Darbi M. 2018. Introduction: Biodiversity Offsets-The European Perspective on No Net Loss of Biodiversity and Ecosystem Services. In: *Biodiversity Offsets*. Springer, pp 1-3.
57. Woodroffe CD, Rogers K, McKee KL, Lovelock CE, Mendelsohn I, Saintilan N. 2016. Mangrove sedimentation and response to relative sea-level rise. *Annual Review of Marine Science*, 8: 243-266.
58. Xing X, Slabbekoorn H, Campbell J, Li F, Ma J. 2017. Distinct song parts of the endemic marsh grassbird of China vary with latitude and climate among migratory and sedentary populations. *Evolutionary Ecology*, 31(1): 63-76.
59. Zeidi JR, Javadian N, Tavakkoli-Moghaddam R, Jolai F. 2013. A hybrid multi-objective approach based on the genetic algorithm and neural network to design an incremental cellular manufacturing system. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4): 1004-1014.
60. Zhao H, Sun J, Xu X, Qin X. 2017. Stoichiometry of soil microbial biomass carbon and microbial biomass nitrogen in China's temperate and alpine grasslands. *European Journal of Soil Biology*, 83: 1-8.



Predicting the effects of climate change on the distribution of mangrove forests in Iran using the maximum entropy model

R. Ghayoumi ¹, E. Ebrahimi ^{2*}, F. Hosseini Tayefeh ³, M. Keshtkar ⁴

1. PhD in Marine Biology, Research Group of Environmental Assessment and Risk, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran
2. MSc. Graduated Research Group of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran
3. Assist. Prof. Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran
4. PhD Student of Environmental Sciences and Engineering, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 April 2019

Accepted 20 July 2019

Available online 11 August 2019

Keywords:

Mangrove forests

Avicenia marina

Maximum entropy model (MEM)

Climate change

ABSTRACT

Spatial modelling of distribution in the plant communities apply for predicting potential habitat areas and protecting species and determining the factors affecting their distribution. The study purpose is to determine the potential distribution of mangroves in Iran under climate change. In this study, occurrence records for *Avicenia marina* as dominant species were collected and MaxEnt modeling was used to predict the distribution of mangrove forests. The result showed the most suitable areas for the mangrove distribution under current climatic conditions are the Oman Sea coasts and the eastern coast of the Persian Gulf from Gwadar Bay to the northern coasts of Qeshm Island and Nayband Bay in the southern part of Bushehr Province. In the year 2050, habitat suitability based on the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, on the eastern coasts of the Persian Gulf and the Oman Sea, will increase. Both current and future climatic conditions, the northern coasts of Bushehr Province and the coasts of Khuzestan Province were not defined as suitable habitats. The results can apply for conservation plan and mangrove planting.

* Corresponding author e-mail address: ebrahimi.iran72@gmail.com