

انتخاب نواحی مناسب برای کاشت حرا *Avicennia marina* در منطقه ساحلی بوشهر با استفاده از روش بهترین- بدترین و تصمیم‌گیری چندمعیاره

محمد گلستانی^۱ و فاضل امیری^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۲)

چکیده

این مطالعه به منظور شناسایی مناطق مستعد کاشت حرا در خور سلطانی در ساحل شهر بوشهر انجام شد. معیارهای مؤثر جهت کاشت و توسعه حرا در این مطالعه شامل ویژگی‌های زمین (کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، هدایت الکتریکی خاک، بافت خاک، و نوع خاک)، آب دریا (دامنه جزر و مد، موج، pH، هدایت الکتریکی، و شوری) و اقلیم (دما، رطوبت نسبی، بارش، حداقل و حداکثر دمای مطلق) است. با استفاده از یک شبکه آماربرداری سیستماتیک- تصادفی، نقاط نمونه‌گیری مشخص و ۱۰ نمونه آب و خاک برداشت و متغیرهای فیزیکی و شیمیایی آنها اندازه‌گیری شد. نقشه‌های موضوعی معیارها تهیه و از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مدل‌سازی و تحلیل فضایی و تلفیق لایه‌ها استفاده شد. با استفاده از نظر کارشناسان و تحقیقات گذشته و با کمک روش دلفی، ارجحیت معیار تعیین شده و معیارها با روش بهترین- بدترین (Best-Worst method) وزن‌دهی شدند. با روی هم‌گذاری معیارهای وزن‌داده‌شده با روش وزن‌دهی افزودنی ساده (WLC = Weighted Linear Combination)، مکان‌های مناسب کاشت و توسعه گونه حرا به طبقات نامناسب، نسبتاً مناسب و مناسب طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد ۲۴ درصد از مناطق (۱۸/۲۵ هکتار) در محدوده مناسب، ۲۴/۳ درصد (۱۸/۵ هکتار) در محدوده نسبتاً مناسب، و ۵۱/۸ درصد (۳۹/۴ هکتار) در طبقه نامناسب برای کاشت این گونه قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: مانگرو، مکان‌یابی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، روش بهترین- بدترین، ارزیابی چندمعیاره، خور سلطانی، منطقه ساحلی شهری

۱. گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر.

۲. گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: famiri@iaubushehr.ac.ir

مقدمه

یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، تعدادی گزینه با توجه به تعدادی شاخص ارزیابی می‌شود تا بهترین گزینه انتخاب شود. بر اساس روش بهترین-بدترین که توسط رضایی (۲۶) ارائه شده، بهترین و بدترین شاخص توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسه زوجی بین هر کدام از این شاخص‌ها (بهترین و بدترین) و دیگر شاخص‌ها صورت می‌گیرد. سپس یک مسئله حداکثر-حداقل برای مشخص کردن وزن شاخص‌های مختلف، فرمول‌بندی و حل می‌شود. همچنین در این روش رابطه‌ای برای محاسبه نرخ سازگاری به منظور بررسی اعتبار مقایسات در نظر گرفته شده است. از جمله ویژگی‌های برجسته این روش نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه آن است که به داده‌های مقایسه‌ای کمتری نیاز دارد، و همچنین به مقایسه‌ای استوارتر منجر می‌شود، بدین معنا که جواب‌های قابل اطمینان‌تری ارائه می‌کند (۶).

صفیاری (۲۹) مهم‌ترین عوامل طبیعی مؤثر بر توسعه جنگل‌های مانگرو را رژیم جزر و مدی، منابع آب شیرین، جنس بستر، زهکشی، شوری آب، شیب زمین، کاربری زمین، اقلیم، عرض جغرافیایی، بافت خاک، رطوبت خاک، غلظت مواد آلی و معدنی و هدایت الکتریکی خاک بیان کرده است. آندون پتروسیان و همکاران (۳) سه معیار و نه زیرمعیار برای فرایند مکان‌یابی پهنه‌های توسعه جنگل‌های مانگرو شناسایی کردند و پس از غربال‌کردن معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده با استفاده از روش دلفی، به ترتیب ویژگی‌های فیزیکی بستر، ویژگی‌های شیمیایی بستر، جزر و مد موج، دمای هوا، کیفیت آب، نوع اقلیم و میزان بارش را به‌عنوان معیارهای با اهمیت در مکان‌یابی معرفی کردند. دهقانی و همکاران (۱۱) در شناسایی اراضی مستعد توسعه جنگل‌های مانگرو در منطقه هلر جزیره قشم، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد و توسعه حرا را فاکتورهای جزر و مد، درصد اشباع خاک، هدایت الکتریکی خاک، pH و بافت خاک، منیزیم، سدیم، نسبت جذب سدیم و میزان سدیم تبادل‌ی خاک معرفی کردند. ناگلرکن و همکاران (۲۲) فاکتورهای درجه حرارت، شکل و خصوصیات ساحل، شوری آب و جزر و مد را

با توجه به تخریب بسیاری از رویشگاه‌های مانگرو دنیا، توجه به حفاظت و توسعه این جنگل‌ها در خارج از گستره‌های پراکنش طبیعی به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. بررسی‌ها نشان داده که توسل به چنین مدیریتی نه تنها سبب کاهش عوارض بهره‌برداری از جنگل‌های مانگرو و بهینه‌شدن تولیدات می‌شود بلکه بهترین زمینه اقتصادی را برای یک مدت طولانی بدون تخریب اکوسیستم و خطر از دست دادن تنوع ژنتیکی فراهم می‌کند (۳۱). مدیریت بوم‌سازگان جنگل‌های مانگرو مبتنی بر اقدامات مربوط به عملیات حفاظت، احیاء و توسعه رویشگاه‌های موجود است (۱۹). امروزه حساسیت‌ها و توجه‌های بین‌المللی در مورد مانگروها، دولت را بر آن داشته تا برنامه‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی مختلفی را برای احیاء این بوم‌سازگان‌ها از طریق کمک به تجدید حیات آن‌ها، تهیه نموده و اجرا کند (۱۱، ۱۵ و ۲۹). به‌طور کلی اهداف چنین برنامه‌هایی اغلب توسعه‌ای و حفاظتی بوده و سعی در بازگرداندن اکوسیستم به حالت طبیعی آن دارند.

مطالعات انتخاب مکان مناسب برای کاربری‌های مختلف با روش حذف مناطق نامناسب انجام می‌شود. سپس وزن عوامل ترجیحی با توجه به تأثیر آنها و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP = Analytic Hierarchy Process)، مدل جمع وزن‌دار (WSM = Weighted Sum Model)، مدل ارزیابی تولید وزنی تجمعی (Weighted Aggregated Sum Product Technique for WASPAS = Assessment Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)، روش آنتروپی، ارزیابی بر اساس فاصله از راه‌حل متوسط (TOPSIS Evaluation based on Distance from Average)، فرآیند سلسله‌مراتبی فازی (Fuzzy EDAS = Solution)، فازی (FAHP = Analytic Hierarchy Process)، فازی TOPSIS و غیره تخمین زده می‌شود. در نهایت، تجزیه و تحلیل پوشش وزنی در محیط GIS برای تولید نقشه مکان‌های مناسب انجام می‌شود. در روش بهترین-بدترین (BWM = Best-Worst Method) به‌عنوان

داد که بهترین شرایط برای استقرار این گونه در دامنه pH آب بین ۰/۹ تا ۸/۳، دامنه pH خاک بین ۷/۴ تا ۸/۵ و دامنه شوری آب بین ۲۴ تا ۳۵ گرم بر لیتر و جنس خاک لومی ماسه‌ای، رسی لومی و رسی لومی ماسه‌ای است. بیگرو همکاران (۴) معیارهای تنظیم‌کننده (مانند شوری آب و خاک، میزان سولفید و pH)، پارامترهای منابع (مانند مواد غذایی خاک، نور و فضا) و پارامترهای تناوبی آب (مانند مدت زمان، فراوانی و عمق آب-گرفتگی) را مهم‌ترین پارامترها در استقرار گونه حرا معرفی کردند. ناظم و همکاران (۲۳) در خصوص کاشت حرا به‌منظور احیای زمین‌های کشاورزی شور و اشباع از آب، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب و خاک شامل pH، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، اکسیژن محلول و درصد شوری را در زیستگاه طبیعی حرا در پاکستان در نظر گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد با وجود اختلاف در ویژگی‌های آب و خاک، تفاوت معنی‌داری در پارامترهای رویشی در دو محیط وجود ندارد و در مناطق با نمک بالا، اشباع از آب و غیرقابل تحمل برای سایر گونه‌ها، حرا یکی از معدود گونه‌هایی است که بقا می‌یابد.

کارکردها و ارزش‌های غیرقابل‌جانشینی جنگل‌های مانگرو مانند محافظت از نواحی ساحلی و حفاظت از سیستم‌های طبیعی و چشم‌اندازها (۱۱) از یک‌سو و اهمیت آنها از نظر زیستگاهی از سوی دیگر، ضرورت انجام این تحقیق را بیش از پیش آشکار می‌کند. توسعه و کاشت گونه حرا در مکان و زیستگاه مناسب آن در سواحل محدوده‌های شهری، ضمن جلب مشارکت عمومی در حفاظت از آن و برانگیختن حس زیباشناختی عمومی، به‌عنوان یک سپر حفاظتی در نگهداشت و صیانت از سواحل بسیار مفید است. با توجه به پتانسیل سواحل شهر بوشهر، این مطالعه می‌تواند در راستای توسعه و کاشت این گونه کلیدی اهمیت داشته باشد. با توجه به موارد اشاره‌شده، این تحقیق در راستای پتانسیل‌سنجی و شناسایی اراضی مستعد کشت درختان حرا در منطقه ساحلی شهر بوشهر انجام شد تا مناطق مناسب برای کاشت گونه حرا شناسایی شده و امکان توسعه جنگل‌کاری‌های مانگرو در منطقه مورد مطالعه با استفاده

از شرایط و عوامل مؤثر در پراکنش و استقرار مانگروها معرفی کردند. کمالی و هاشم (۱۷) طول و عرض جغرافیایی، رطوبت و درجه حرارت هوا، جزر و مد، دسترسی آسان به آب شیرین دائمی، نوع خاک (بافت خاک و عناصر تشکیل‌دهنده آن، شوری و اسیدیته) را از عوامل مؤثر بر شکل‌گیری مانگروها بیان کرده‌اند. نتایج این بررسی نشان داد که استقرار موج‌شکن در منطقه‌ای با رژیم جزر و مدی تقریباً منظم و با دامنه پیشینه ۳/۲ متر، شیب ملایم یک درصد و در مواجهه مستقیم با امواج با ارتفاع کمتر از یک متر، سبب استقرار مجدد جنگل‌های مانگرو با درصد زیادی از گونه حرا شده است. شهادت‌حسین و همکاران (۳۰) با در نظر گرفتن معیارهای بافت خاک، اسیدیته، شوری، ناحیه جزر و مدی و الگوی کاربری اراضی و وزن‌دهی به هر معیار، نقشه اراضی مناسب برای کاشت گونه‌های مانگرو را تهیه کردند. سیمارد و همکاران (۳۲) فاکتور دما را یکی از فاکتورهای مؤثر بر حرا در طبیعت معرفی نموده و بیان کردند حرا در مواجهه با دمای کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد از طریق کاهش نرخ فتوسنتز و کاهش رشد نهال حساسیت نشان می‌دهد. فریس (۱۳) در راهنمای احیای زمین جهت کشت گونه حرا بیان کرد که پارامترهای خاک شامل بافت، تراکم، درصد سنگلاخی‌بودن، pH، هدایت الکتریکی، میزان سولفید آهن، میزان مواد آلی و معدنی مغذی، نسبت کربن به نیتروژن و میزان رطوبت خاک اهمیت بسیاری در استقرار موفق این گونه در یک منطقه دارد. گیلمن و ایلسن (۱۴) در بررسی فواید کاربرد اصول کم‌هزینه در استقرار مجدد جنگل‌های مانگرو در آمریکا، عوامل مهم تعیین‌کننده در استقرار مجدد و معرفی موفق گونه مانگرو در یک منطقه را شامل فراوانی و عمق آب‌گرفتگی، انرژی امواج، میزان شوری و pH آب و خاک، نوع و بافت خاک، مواد غذایی خاک و شیب دانستند. بهلا و همکاران (۵) با بررسی زیستگاه گونه مانگرو در سواحل هند، ضمن اشاره به اهمیت عناصر موجود در خاک در موفقیت کاشت درختان مانگرو، پارامترهای شوری، pH آب و خاک و بافت خاک را به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر جوامع مانگرو (که دارای درصد زیادی از گونه‌های حرا هستند) دانستند. نتایج نشان

از روش بهترین - بدترین (BWM) فراهم شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

خور سلطانی با وسعت حدود ۷۶ هکتار در موقعیت $52^{\circ} 40'$ تا 50° تا $50^{\circ} 54' 40''$ طول شرقی و $28^{\circ} 55' 20''$ تا $56^{\circ} 40'$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه، پوشش دست‌کاشت مانگرو در خور سلطانی در ورودی شهر بوشهر است. این خور در اثر فعل و انفعالات جزر و مدی و به‌صورت طبیعی ایجاد شده که در ابتدا از عمق $3/5$ تا 10 متر برخوردار بوده است. طول این خور تا خور پودر (محل اسکله‌های منطقه دوم دریایی، صدرا، و کشتی‌سازی شهید محلاتی) 3500 متر است.

میانگین دمای سالیانه منطقه 24 درجه سانتی‌گراد، میزان رطوبت نسبی آن بین $65-75$ درصد، میزان متوسط بارندگی سالیانه 220 میلی‌متر، متوسط شیب منطقه کمتر از 5 درصد و متوسط ارتفاع کمتر از 4 متر است (۲). تمام محدوده دشت‌های ساحلی منطقه در هنگام جزر و مدهای بلند در زیر آب قرار می‌گیرد. خاک منطقه مورد مطالعه آبرفتی بوده و حاصل فرسایش اراضی مجاور و رسوب‌گذاری است. خاک‌های این منطقه جزء خاک‌های با شوری بالا بوده و دارای واحدهای زمین‌شناسی سابخا (Sabkha) می‌باشد که این واحدها به سمت دریا گسترش دارند و لایه رسی غیرقابل نفوذ، قطعات بلوری گچ را در حدود 20 سانتی‌متری سطح خاک به‌وجود آورده است. علاوه بر آب دریا، این اراضی در عرصه‌های نزدیک ساحل به‌وسیله باران‌های زمستانی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. اراضی سابخا جزء اراضی غیرقابل توسعه برای رشد گیاهان به‌شمار می‌آیند. این اراضی کیلومترها در حاشیه دریا گسترش دارند. در این اراضی، خاک فاقد زهکشی مناسب بوده و نمک، آب‌شویی نمی‌شود. بر روی این اراضی، سابقه رویش هیچ پوشش گیاهی وجود نداشته و میزان شوری بیش از دامنه تحمل گیاهان شورروی مانند *Avicennia marina* و *Salicornia herbacea* است و سایر هالوفیت‌ها نیز در این اراضی به‌صورت طبیعی وجود ندارد. تنها

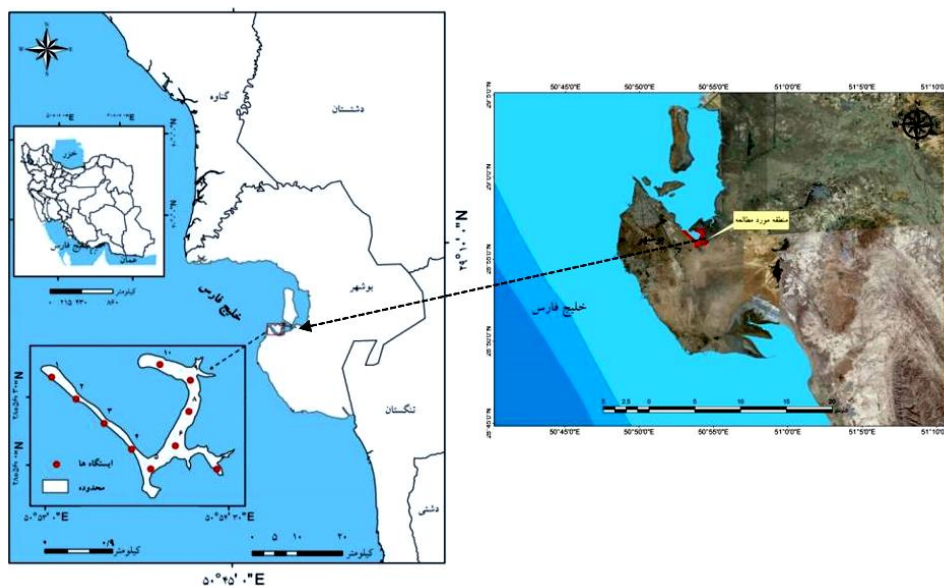
پوشش منطقه، پوشش پفکی تجمع جلبک‌های Stramatolik بر روی سطح خاک بوده که این جلبک‌ها با مد و آب‌گیر شدن منطقه، فعالیت خود را آغاز می‌کنند.

داده‌های مورد استفاده

منابع اطلاعات اولیه مورد استفاده در این مطالعه شامل تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (۲۲ مرداد ۱۳۹۸)، نقشه‌های رقومی $1:25000$ به‌عنوان داده پایه برای تعیین مرز منطقه، مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب، داده‌های آماری از گزارش‌های منتشر شده، داده‌های میدانی برداشت‌شده با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (گارمین مدل GPS-MAP 78s با دقت مکانی یک متر) جهت ارزیابی نقشه واقعیت زمینی، نقشه کاربری اراضی و نقشه بولین جهت اعتبارسنجی نقشه مکان‌یابی تولید شده و همچنین لایه‌های اطلاعاتی معیارهای مؤثر شامل ویژگی‌های آب (دامنه جزر و مد، موج، pH آب، هدایت الکتریکی و شوری آب)، ویژگی‌های زمین (کاربری اراضی، عرض جغرافیایی، شیب، ارتفاع، هدایت الکتریکی خاک، بافت خاک و نوع خاک)، و اقلیم (متوسط بارش سالیانه، رطوبت نسبی، متوسط دمای سالیانه، حداقل دمای مطلق و حداکثر دمای مطلق)، به‌منظور مکان‌یابی مناطق مستعد توسعه و گسترش جنگل‌های مانگرو می‌باشد.

روش تحقیق

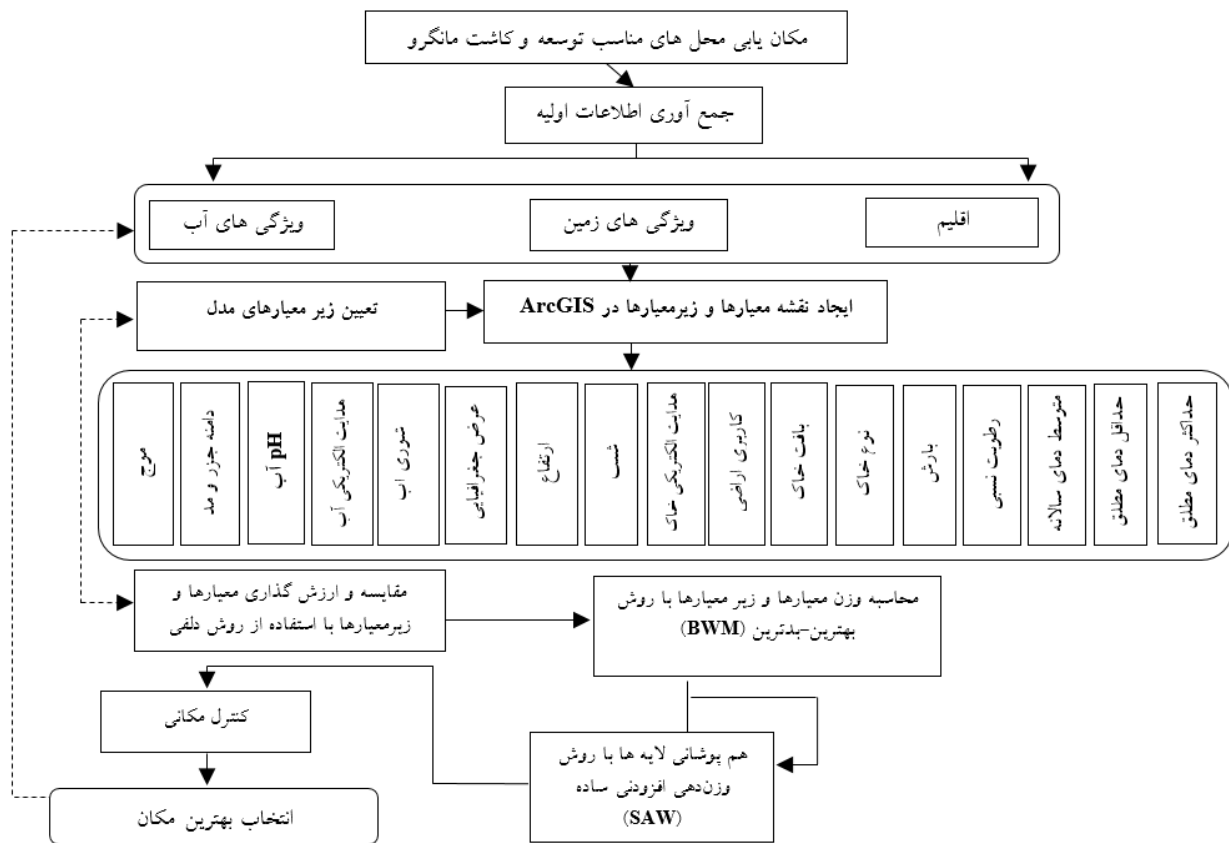
جهت انتخاب منطقه مناسب کاشت گونه *Avicennia marina* سه معیار و ۱۷ زیرمعیار شامل ویژگی‌های آب (دامنه جزر و مد، موج، pH آب، هدایت الکتریکی و شوری آب) (۱، ۴، ۵، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۳، ۲۵ و ۳۶)، ویژگی‌های زمین (کاربری اراضی، عرض جغرافیایی، شیب، ارتفاع، هدایت الکتریکی خاک، بافت خاک و نوع خاک) (۴، ۵، ۱۶، ۱۷، ۲۳، ۲۵ و ۳۶)، و اقلیم (متوسط بارش سالیانه، رطوبت نسبی، متوسط دمای سالیانه، حداقل دمای مطلق و حداکثر دمای مطلق) (۲۵، ۳۵ و ۳۶) انتخاب شد (جدول ۱). لایه‌های اطلاعاتی این معیارها تهیه شده و با تلفیق نقشه معیارها، نقشه نهایی مکان‌های مناسب کاشت و توسعه مانگرو تهیه شد (شکل ۲). ابتدا نقاط



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده جزر و مدی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. طبقات نقشه معیارها و زیرمعیارها در مکان‌یابی محل کاشت حرا

طبقات نقشه معیارها و زیرمعیارها			معیارها	زیرمعیارها
				ویژگی‌های زمین
				کاربری اراضی
اراضی شهری، اراضی نظامی	اراضی بایر (متروکه)	خور، دلتا، مصب		شیب (درصد)
>۲	۱-۲	۰-۱		ارتفاع (متر)
>۴	۱-۳	۰-۱		بافت خاک
سبک	متوسط	سنگین		نوع خاک
ماسه‌ای	رسی - شنی	لومی - رسی - شنی		هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس/متر)
>۴۶	۳۶-۴۶	<۳۶		ویژگی‌های آب
				جزر و مد (سانتی‌متر)
خارج از محدوده جزر و مدی	>۱۸ و <۱۵	۱۵-۱۸		موج
زیاد	-	کم		شوری (ppt)
<۱۵ و >۵۵	۳۸-۵۵	۲۸-۳۸		هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس/متر)
>۴۶	۳۶-۴۶	<۳۶		pH
>۱۰	۸/۵-۱۰	۶/۱-۸/۵		اقلیم
				بارش (متوسط سالیانه به میلی‌متر)
<۲۰۰	>۲۰۰۰	۲۰۰-۲۰۰۰		رطوبت نسبی سالیانه (درصد)
<۶۵	>۷۵	۶۵-۷۵		دما (متوسط سالیانه به درجه سانتی‌گراد)
<۰ و >۳۸	۲۵-۳۸	۲۲-۲۵		دما (حداقل مطلق به درجه سانتی‌گراد)
<۱۲	۲۲-۲۵	۱۲-۲۲		دما (حداکثر مطلق به درجه سانتی‌گراد)
>۳۸	۳۵-۳۸	۳۰-۳۵		



شکل ۲. مراحل تهیه و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه نهایی مکان‌های مناسب توسعه و کاشت مانگرو

ساله (۱۳۹۸-۱۳۸۸) تهیه شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره لندست ۸ با ترکیب رنگی ۷۴۲ (سال ۲۰۱۹) پس از پردازش تصویر و اعمال طبقه‌بندی نظارت‌نشده، به‌دست آمده و با اعمال نقاط کنترل زمینی در هر کلاس کاربری، نقشه کاربری‌ها با استفاده از بارزسازی تصویر و تفسیر بصری (۲۸)، در چهار طبقه اراضی شهری، اراضی نظامی، اراضی بایر (متروکه)، خور، دلتا و مصب تهیه شد و در ادامه با توجه به طبقات ارائه‌شده در جدول ۱ طبقه‌بندی شد. اعتبار نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصویر گوگل ارث (Google Earth™) و ۸۴ نقطه کنترل زمینی که به‌صورت سیستماتیک-تصادفی با استفاده از GPS-MAP 78s با دقت مکانی یک متر برداشت شد و با استفاده از ماتریس خطا (Confusion Matrix) ارزیابی شد (۳۴). ماتریس خطا حاصل مقایسه نقطه‌به‌نقطه نقاط واقعیت زمینی با نقاط متناظر در نتایج طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی

نمونه‌برداری بر روی نقشه مشخص شد و در هر ایستگاه، نمونه‌های آب و خاک در سه نقطه (بالاترین مد، پایین‌ترین جزر و خط ساحل) تهیه شد. با استفاده از لوله پولیکا نمونه‌های رسوب از نقاط مورد نظر برداشت شد. نمونه‌برداری از آب ایستگاه‌ها به‌وسیله بطری‌های مخصوصی که مشخصات نقطه نمونه‌برداری بر روی آن درج شده بود انجام شده و مشخصات شیمیایی آب در آزمایشگاه تعیین شد.

از میان عوامل مؤثر بر استقرار *Avicennia marina* عرض جغرافیایی ۲۸ درجه حد نهایی پراکنش جنگل‌های مانگرو است (۲۱). این عرض جغرافیایی در محدوده استان بوشهر که این تحقیق در آن انجام شده قرار دارد. به‌دلیل اینکه کل منطقه در عرض جغرافیایی مناسب برای استقرار این گونه قرار داشت، این معیار در مطالعه در نظر گرفته نشد. داده‌های اقلیم منطقه با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک بوشهر در دوره زمانی ده-

نقطه نمونه برداری شده (شکل ۱)، نقشه درون‌یابی تهیه شده و سپس با استفاده از تابع خطی کاهشی، نقشه فازی این لایه تهیه شد (با افزایش هدایت الکتریکی، مطلوبیت کاهش می‌یابد) (جدول ۱). مقایسه زوجی بین پارامترها با توجه به قضاوت ۲۰ کارشناس به روش دلفی انجام شد (۳) و بر اساس آن، میزان اهمیت و وزن هر کدام از زیرمعیارها و معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین (BWM) تعیین شد (جدول ۲).

مراحل روش بهترین-بدترین (BWM)

مرحله اول: مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری تعیین می‌شود. در این مرحله، معیارهای $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ که برای دستیابی به یک تصمیم در خصوص مکان مناسب کاشت حرا مورد استفاده قرار می‌گیرند، در نظر گرفته می‌شود.

مرحله دوم: بهترین (مطلوب‌ترین، مهم‌ترین) و بدترین (کم-اهمیت‌ترین، ناپسندترین) معیار تعیین می‌شود.

مرحله سوم: برتری بهترین معیار نسبت به سایر معیارها با استفاده از اعداد بین ۱ تا ۹ مشخص می‌شود. بردار بهترین معیار نسبت به سایر معیارها به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$AB = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (1)$$

در این رابطه؛ a_{Bj} برتری بهترین معیار B را برای معیار j نشان می‌دهد. بدیهی است که رابطه ۲ برقرار است.

$$a_{BB}=1 \quad (2)$$

مرحله چهارم: برتری تمام معیارها نسبت به بدترین معیار با استفاده از اعداد بین ۱ تا ۹ مشخص شد. بردار برتری سایر معیارها به بدترین معیار با استفاده از رابطه ۳ تعیین شد.

$$Aw = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw})^T \quad (3)$$

در این رابطه؛ a_{Bj} برتری معیار j را بر بدترین معیار یعنی W نشان می‌دهد. بدیهی است که رابطه ۴ برقرار است.

$$a_{ww}=1 \quad (4)$$

مرحله پنجم: بهینه‌ترین اوزان را پیدا می‌کنیم $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$. وزن بهینه برای معیارها، وزنی است که در

$$\text{آن، برای هر زوج } \frac{W_j}{W_w} \text{ و } \frac{W_b}{W_j} \text{ رابطه ۵ برقرار باشد.}$$

تطبیق داده شده بر روی تصویر گوگل ارث است. نقاط برداشت زمینی به صورت ستون‌ها و نقاط انتخاب شده بر روی نتایج طبقه‌بندی تطبیق داده شده بر روی تصویر گوگل ارث به صورت سطرها در ماتریس خطا آورده شد. تعداد نقاطی که به صورت صحیح طبقه‌بندی شده‌اند بر روی قطر اصلی قرار گرفت و عناصر غیرقطری، مجموعه خطاها است. بر مبنای ماتریس خطا، برای بیان صحت نقشه کاربری اراضی تولید شده از پارامترهای صحت کلی و ضریب کاپا، صحت کاربر و صحت تولید کننده، خطای حذف (Omission Error) و خطای اضافه (Commission Error) استفاده شد.

نقشه لایه جزر و مد با درون‌یابی نقاط نمونه برداری شده با استفاده از تابع گوسین (Gaussian) فازی تهیه شد (دامنه مناسب بین ۱۸-۱۵ متر بوده و با فاصله گرفتن بیشتر از ۱۸ و کمتر از ۱۵ متر، از میزان مطلوبیت کاسته می‌شود). لایه دامنه شوری (دامنه مناسب بین ۲۸-۳۸ ppt - یک جزء از هزار - بوده و با فاصله گرفتن بیشتر از ۳۸ و کمتر از ۲۸ از میزان مطلوبیت کاسته می‌شود)، هدایت الکتریکی، pH آب (دامنه مناسب بین ۶/۱-۷/۹ بوده و با فاصله گرفتن بیشتر از ۷/۹ و کمتر از ۶/۱ از مطلوبیت آن کاسته می‌شود) و لایه موج با استفاده از درون‌یابی نقاط نمونه برداری شده با کمک تابع خطی (Linear) از نوع کاهشی فازی تهیه شد (۲۴ و ۳۰). برای تولید لایه بافت خاک ابتدا مقادیر کیفی به کمی تبدیل شد (بافت متوسط امتیاز ۳، بافت سبک امتیاز ۲ و بافت سنگین امتیاز ۱) و درون‌یابی انجام شده و نقشه درون‌یابی شده با استفاده از تابع خطی از نوع افزایشی، فازی شد. نقشه شیب با به‌کارگیری مدل رقومی ارتفاع (DEM) و با استفاده از توابع تحلیل مکانی (Spatial Analyst Tools) تابع Surface در محیط ArcGIS تهیه شد. برای استخراج نقشه هیپسومتری از DEM منطقه استفاده شد که نشان می‌دهد ارتفاع در محدوده منطقه مورد مطالعه بین ۰ تا ۴ متر در نوسان است. لایه ارتفاع و شیب با استفاده از تابع خطی کاهشی فازی شد (با افزایش ارتفاع و شیب منطقه، مطلوبیت کاهش می‌یابد). برای تولید لایه هدایت الکتریکی خاک با استفاده از ۱۰

جدول ۲. شاخص سازگاری برای مقایسه معیارها (۲۷)

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	a_{BW}
۵/۲۳	۴/۴۷	۳/۷۳	۳/۰۰	۲/۳۰	۱/۶۳	۱/۰۰	۰/۴۴	۰/۰۰	شاخص سازگاری

اولویت بهترین معیار نسبت به بدترین معیار هستند. از آنجا که مقدار ξ را به دست آورد. با استفاده از شاخص سازگاری جدول ۲ و رابطه آن، مقدار نرخ سازگاری محاسبه می‌شود. این نرخ سازگاری در بازه [۰ ۱] قرار می‌گیرد و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد مقایسات از سازگاری و ثبات بیشتری برخوردارند. هرچه این نرخ به یک نزدیک‌تر باشد مقایسات از سازگاری و ثبات کمتری برخوردارند (۲۶ و ۲۷).

$$\text{نرخ سازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}} \quad (۹)$$

این مدل توسط برنامه نوشته شده در نرم‌افزار لینگو (LINGO) حل شد.

تلفیق لایه‌ها با روش وزن‌دهی افزودنی ساده

برای اعمال وزن‌ها در لایه‌ها و تلفیق آنها ابتدا از روش هم‌پوشانی شاخص (Index Overlay) و سپس برای تهیه نقشه‌های نهایی، از روش وزن‌دهی افزودنی ساده (Simple Additive Weighting) استفاده شد (رابطه ۱۰). نقشه نهایی مکان‌یابی محل مناسب کاشت در ۳ کلاس مساوی (Equal Intervall) تهیه و در ۳ کلاس اهمیت (نامناسب، نسبتاً مناسب، و مناسب) طبقه‌بندی شد.

$$\sum w_j = 1 \quad \text{و} \quad A_i = \sum_{j=1}^n W_j \times X_{ij} \quad (۱۰)$$

در این رابطه؛ W_j وزن شاخص j ام، و X_{ij} مقداری است که مکان i ام به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر این مقدار می‌تواند بیانگر درجه مناسب بودن مکان i ام در ارتباط با شاخص j ام باشد. n تعداد کل شاخص‌ها بوده و A_i مقداری است که در نهایت به مکان i ام تعلق می‌گیرد (۱۸ و ۲۴).

$$\frac{W_b}{W_j} = a_{Bj} \quad \text{و} \quad \frac{W_j}{W_w} = a_{jw} \quad (۵)$$

برای برقراری این شرایط برای تمام j ها، حداکثر تفاوت‌های مطلق یعنی $\left| \frac{W_b}{W_j} - a_{Bj} \right|$ و $\left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right|$ برای تمام j ها باید حداقل باشد. با در نظر گرفتن منفی نبودن مقادیر و شرایط جمع اوزان، رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{W_b}{W_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right| \right\} \quad (۶)$$

s. t.

$$\sum w_j = 1$$

$$W_j \geq 0, \text{ for all } j$$

برای تمام j ها

رابطه ۶ می‌تواند به مسئله زیر (رابطه ۷) تبدیل شود.

$$\min \xi \quad (۷)$$

s. t .

$$\left| \frac{W_b}{W_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi \quad \text{برای تمام } j \text{ها}$$

$$\left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right| \leq \xi \quad \text{برای تمام } j \text{ها}$$

$$\sum w_j = 1$$

$$W_j \geq 0, \text{ for all } j$$

برای تمام j ها

با حل مسئله بالا، اوزان بهینه ($w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$) و ξ^* محاسبه می‌شود. در ادامه با استفاده از ξ^* ، نسبت سازگاری تعیین می‌شود. هرچه مقدار ξ^* بزرگتر باشد، مقدار نسبت سازگاری بیشتر شده رفته و مقایسات از قابلیت اطمینان کمتری برخوردار است. مقایسه، زمانی به صورت کامل سازگار است که رابطه ۸ برای تمام j ها برقرار باشد.

$$a_{BW} = a_{jw} \times a_{Bj} \quad (۸)$$

در این رابطه؛ a_{Bj} ، a_{jw} و a_{BW} به ترتیب اولویت‌های بهترین معیار نسبت به معیار j ، اولویت معیار j نسبت به بدترین معیار، و

ارزیابی صحت نقشه مکان‌یابی تولیدشده

ارزیابی صحت نقشه نهایی مکان‌یابی، با هم‌پوشانی (Overlay) نقشه تولیدی حاصل از مکان‌یابی و نقشه واقعیت زمینی (تهیه-شده با استفاده از تصویر گوگل ارث Google Earth™ و کنترل زمینی با روش بولین) با فرمت رستری با استفاده از دستور کراس Cross انجام شد. پیکسل‌ها در موقعیت‌های مشابه در هر دو نقشه مقایسه شدند. مقادیر پیکسل‌ها در نقشه تولیدی مکان-یابی (به‌عنوان ورودی اول) و در نقشه واقعیت زمینی (به‌عنوان ورودی دوم) ذخیره شد. خروجی دستور Cross، نقشه و جدول حاصل از تلفیق است که نتایج جدول ترکیبی در دو کلاس وجود و عدم وجود حرا، با روش آزمون میانگین دو گروه مستقل (Independent Sample T Test) در سطح ۵ درصد ($p < 0/05$) در نرم‌افزار IBM SPSS 24 ارزیابی شد (۱۸).

نتایج

نتایج ماتریس خطای نقشه کاربری اراضی به‌دست آمده از مقایسه پیکسل به پیکسل واقعیت‌های زمینی با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی، در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که صحت کلی نقشه تولید شده (Overall Accuracy)، به‌معنای تعداد نقاطی که به‌درستی طبقه‌بندی شده، ۸۲/۷۵ درصد است. میزان صحت برای هریک از کلاس‌های کاربری بر اساس خطای Commission با عنوان صحت کاربر (User Accuracy) و خطای Omission با عنوان صحت تولیدکننده (Producer Accuracy) ارزیابی شد. نتیجه ماتریس خطا نشان داد که صحت کاربر و صحت تولیدکننده نقشه کاربری اراضی به‌ترتیب ۸۸/۵ و ۷۹/۳ درصد است. صحت کاربر عبارت است از احتمال نقاط طبقه‌بندی شده به‌طور صحیح، و صحت تولیدکننده نیز عبارت است از احتمال آنکه یک نقطه برداشت شده، بر روی نقشه کاربری تولید شده و تطبیق داده شده بر روی تصویر گوگل ارث، با آن کلاس خاص مرتبط باشد. عامل دیگری که در زمینه اعتبارسنجی نقشه کاربری مورد بررسی قرار گرفت،

پارامتر کاپاست. ضریب کاپا برعکس روش صحت کلی، میزان صحت را بر اساس تمام نقاطی که درست و غلط طبقه‌بندی شده‌اند محاسبه می‌کند. مقدار ضریب کاپای نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۰/۷۴ به‌دست آمد.

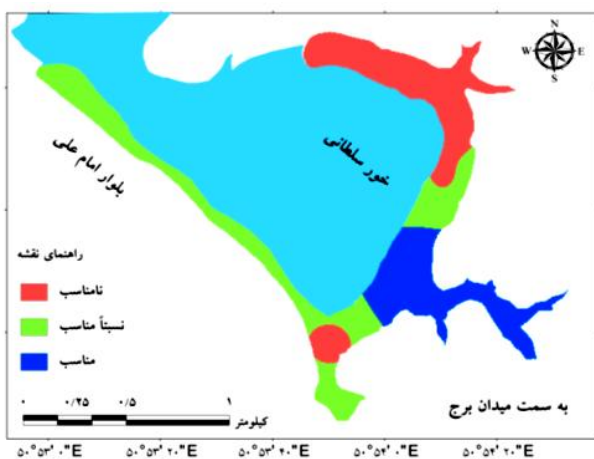
نتایج مقایسه زوجی زیرمعیارها و معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین (BWM) نشان داد که از نظر معیار ویژگی‌های زمین در نرخ ناسازگاری ۰/۰۳۲، گزینه کاربری اراضی با وزن ۰/۲۹۲ و هدایت الکتریکی با وزن ۰/۰۶۴ به-ترتیب بیشترین و کمترین درجه اهمیت را داشتند. جزر و مد با وزن ۰/۴۰۷ و هدایت الکتریکی با وزن ۰/۰۹۲ به‌ترتیب بیشترین و کمترین درجه اهمیت را در معیار ویژگی‌های آب در نرخ ناسازگاری ۰/۰۳۷ داشتند. دمای هوا با درجه اهمیت ۰/۵۶۳ از بین گزینه‌های معیار اقلیم، بیشترین اهمیت را در بین زیرمعیارهای مؤثر در مکان‌یابی داشت. مقایسه وزن معیارها نشان داد که ویژگی‌های زمین با وزن ۰/۶۶۷ بیشترین و اقلیم با وزن ۰/۰۸۳ کمترین اهمیت را در بین معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی کشت حرا در منطقه مورد مطالعه دارد (جدول ۴).

میزان بارش در منطقه مورد مطالعه در همه نقاط یکسان و برابر با ۲۲۷ میلی‌متر به‌دست آمد. میانگین رطوبت نسبی و دمای هوای منطقه به‌ترتیب ۶۴ درصد و ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. کل مساحت منطقه در شرایط اقلیمی مناسب برای استقرار حرا قرار دارد. کاربری اراضی نشان داد که اراضی مانداب، مسیل، آبراهه، و بوته‌زار که برای کاشت حرا مناسب هستند ۵۲/۱۴ هکتار (۶۳ درصد) از سطح منطقه، اراضی بایر (متروکه) که برای کاشت حرا نسبتاً مناسب هستند ۲۴/۰۲ هکتار (۲۹ درصد) و اراضی شهری و نظامی ۶/۸ هکتار (۸ درصد) از سطح ۷۶/۱۷ هکتاری منطقه را شامل می‌شوند (جدول ۵). مناطق با ویژگی مناسب از نظر معیار زمین در امتداد خط ساحل با شیب کمتر از ۲ درصد و ارتفاع کمتر از ۳ متر قرار دارد (شکل ۳). این مناطق در اراضی با کاربری مانداب، مسیل، آبراهه، و بوته‌زار واقع شده است (جدول ۵). ۳۸ درصد از اراضی منطقه با کاربری مانداب، مسیل، آبراهه، و بوته‌زار

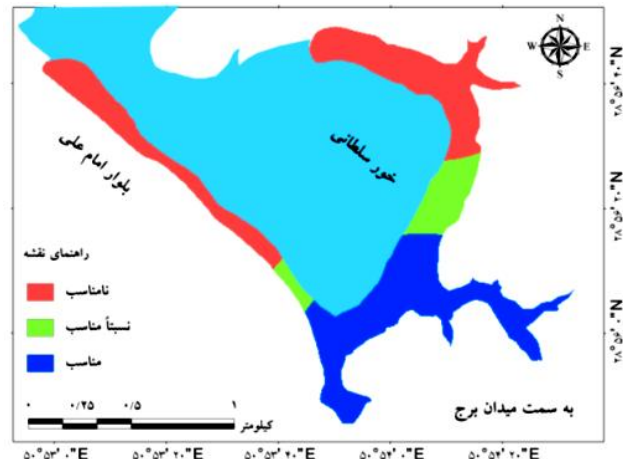
جدول ۳. نتایج ماتریس اعتبارسنجی نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی

طبقات کاربری	نقاط برداشت زمینی			جمع
	خور، دلتا، مصب	اراضی بایر (متروکه)	اراضی شهری، اراضی نظامی	
نقشه کاربری تطبیق داده شده بر روی تصویر Google Earth™	خور، دلتا، مصب	۴	۲	۳۰
	اراضی بایر (متروکه)	۲۳	۱	۲۶
	اراضی شهری، اراضی نظامی	۴	۲۵	۳۱
جمع	۳۰	۲۹	۲۸	۸۷
Overall Accuracy = ۸۲/۷۵٪	صحت تولیدکننده = ۷۹/۳٪		Kappa = ۰/۷۴	

صحت کاربر = ۸۸/۵٪
Commission Error = ۱۱/۵٪



ب) معیار ویژگی‌های آب



الف) معیار ویژگی‌های زمین

شکل ۳. نقشه شایستگی معیارهای مؤثر در کاشت حرا (رنگی در نسخه الکترونیکی)

لایه‌های وزندهی شده اقلیم، ویژگی‌های زمین و ویژگی‌های آب به‌دست آمد که در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج تلفیق نهایی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در مدل نشان می‌دهد که ۲۴ درصد از سطح منطقه (۱۸/۲۵ هکتار)، از پتانسیل مناسب برای کاشت حرا برخوردار است. مساحت و درصد مساحت طبقات شایستگی مکان‌های مناسب برای کاشت حرا در جدول ۶ و موقعیت مکانی مناطق در شکل ۴ ارائه شده است.

نتایج ارزیابی صحت نقشه تولیدشده

ارزیابی صحت نقشه مکان‌یابی تولیدشده در مقایسه با نقشه واقعیت زمینی (شکل ۵) با استفاده از آزمون آماری T

ساحلی، از نظر کیفیت خاک در طبقه شایستگی مناسب قرار گرفت (جدول ۵). ۲۹/۵ درصد از اراضی که در کاربری مانداب، مسیل، آبراهه، و بوته‌زار قرار گرفته‌اند تحت پوشش جزر و مد آب دریا، برای کاشت حرا مناسبند. حدود ۱۸/۵ درصد از اراضی به‌دلیل تغییر در خط ساحلی و ساخت‌وساز در منطقه جذر و مدی، مناسب کاشت حرا هستند (جدول ۵، شکل ۳). از میان سه معیار مؤثر بر مکان‌یابی محل کاشت حرا، محدودکننده‌ترین عامل ویژگی‌های آب منطقه است.

نقشه نهایی تلفیق معیارها

طبقه‌بندی مناطق مساعد برای کاشت حرا پس از تلفیق

جدول ۴. نتایج ماتریس مقایسه زوجی و وزن زیرمعیارها و معیارهای مدل

معیار ویژگی های زمین	کاربری اراضی	بافت خاک	هدایت الکتریکی	نوع خاک	شیب	ارتفاع	وزن
کاربری اراضی	۱	۲	۴	۲	۲	۲	۰/۲۹۲
بافت خاک	۱/۲	۱	۳	۲	۲	۲	۰/۱۶۱
هدایت الکتریکی	۱/۴	۱/۳	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۰/۰۶۴
نوع خاک	۱/۲	۱/۲	۲	۱	۱	۱	۰/۱۶۱
شیب	۱/۲	۱/۲	۲	۱	۱	۱	۰/۱۶۱
ارتفاع	۱/۲	۱/۲	۲	۱	۱	۱	۰/۱۶۱

نرخ سازگاری = ۰/۰۳۲

معیار ویژگی های آب	جزر و مد	شوری	هدایت الکتریکی	pH	موج	وزن
جزر و مد	۱	۳	۴	۳	۲	۰/۴۰۷
شوری	۱/۳	۱	۲	۱	۱/۳	۰/۱۴۸
هدایت الکتریکی	۱/۴	۱/۲	۱	۱	۱/۲	۰/۰۹۲
pH	۱/۳	۱	۱	۱	۱/۲	۰/۱۲۳
موج	۱/۲	۳	۲	۲	۱	۰/۲۲۲

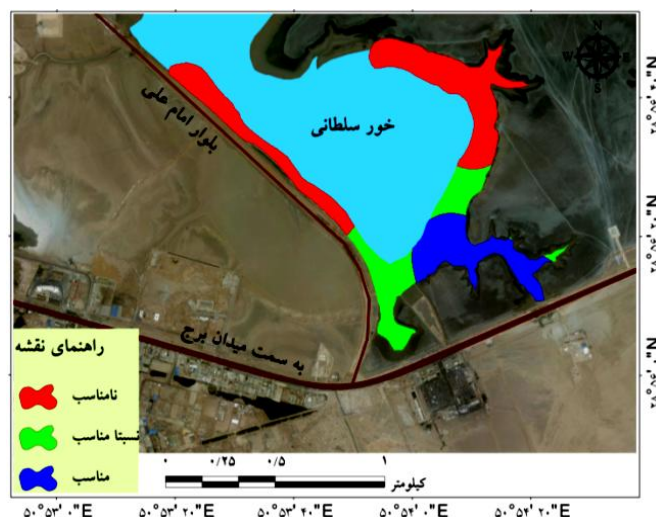
نرخ سازگاری = ۰/۰۳۷

معیار اقلیم	بارش	رطوبت نسبی	دمای هوا	وزن
بارش	۱	۳	۱/۲	۰/۳۱۲
رطوبت نسبی	۱/۳	۱	۱/۴	۰/۱۲۵
دمای هوا	۲	۴	۱	۰/۵۶۳

نرخ سازگاری = ۰/۰۶۲

معیارها	ویژگی های زمین	ویژگی های آب	اقلیم	وزن
ویژگی های زمین	۱	۳	۷	۰/۶۶۷
ویژگی های آب	۱/۳	۱	۴	۰/۲۵۰
اقلیم	۱/۷	۱/۴	۱	۰/۰۸۳

نرخ سازگاری = ۰/۰۸۳

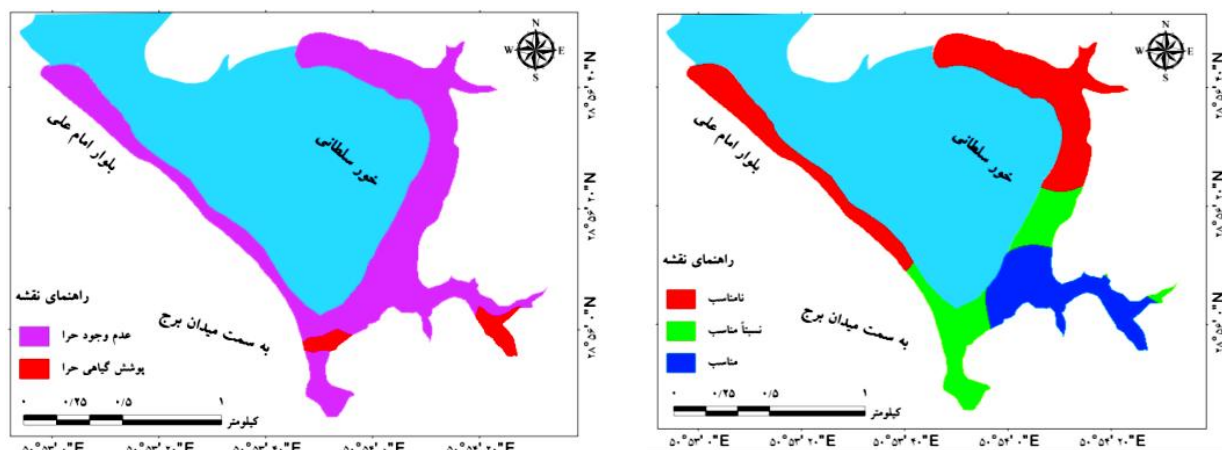


شکل ۴. مکان های مناسب کاشت حرا در منطقه مورد مطالعه (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۵. مساحت و درصد مساحت طبقات شایستگی کاربری اراضی برای کاشت حرا از نظر معیارهای مختلف

معیارها زیرمعیارها	مناسب ^a		نسبتاً مناسب ^b		نامناسب ^c	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
معیار ویژگی‌های زمین	۳۴/۲	۴۴/۲	۱۶	۲۰/۷	۲۷/۱	۳۵/۱
کاربری اراضی	۵۲/۱۴	۶۳	۲۴/۰۲	۲۹	۶/۸	۸
شیب	۵۲/۱۴	۶۸/۵	۷/۷	۱۰/۱	۱۶/۳۲	۲۱/۴
ارتفاع	۱۳/۴۳	۱۷/۶۳	۱۷/۰۳	۲۲/۳۶	۴۵/۷۰	۶۰
بافت خاک	۲۸/۳۲	۳۷/۲	۲۳/۲۶	۳۰/۵	۲۴/۵۸	۳۲/۳
نوع خاک	۳۱/۳۳	۴۱/۱	۵/۶۵	۷/۴	۳۹/۱۷	۵۱/۴
هدایت الکتریکی	۲۷/۷۵	۳۶/۴۴	۱۸/۱۷	۲۳/۸۶	۳۰/۲۳	۳۹/۷
معیار ویژگی‌های آب	۲۴/۱۵	۳۱/۷۱	۲۰/۱۴	۲۶/۴۴	۳۱/۸۸	۴۱/۸۵
جزر و مد	۱۸/۵	۲۴	۲۶/۹۷	۳۵	۳۰/۷۰	۴۰
موج	۲۹/۵۶	۳۸/۸۱	۱۹/۲۳	۲۵/۲۵	۲۷/۳۷	۳۵/۹۳
شوری	۱۸/۲۵	۲۳/۹۶	۱۸/۴۹	۲۴/۲۷	۳۹/۴۲	۵۱/۷۶
هدایت الکتریکی	۲۷/۷۵	۳۶/۴۴	۱۸/۱۷	۲۳/۸۶	۳۰/۲۳	۳۹/۷
pH	۲۶/۶۸	۳۵/۰۳	۱۷/۸۲	۲۳/۴۰	۳۱/۶۶	۴۱/۵۶
معیار اقلیم	۷۶/۱۷	۱۰۰	-	-	-	-
بارش	۷۶/۱۷	۱۰۰	-	-	-	-
رطوبت نسبی سالیانه	۷۶/۱۷	۱۰۰	-	-	-	-
دمای متوسط سالیانه	۷۶/۱۷	۱۰۰	-	-	-	-
حداقل مطلق دما	۷۶/۱۷	۱۰۰	-	-	-	-
حداکثر مطلق دما	۷۶/۱۷	۱۰۰	-	-	-	-

^a بسیار مناسب؛ با کمترین زمان و سرمایه‌گذاری، امکان توسعه و کاشت حرا در این مناطق وجود دارد.
^b مناطقی که تاحدودی مناسب است و قبل از شروع توسعه و کاشت حرا به عملیات آماده‌سازی نیاز دارد.
^c مناطق نامناسب؛ این مناطق برای توسعه و کاشت حرا مناسب نیستند و در ارزیابی حذف شده‌اند.



شکل ۵. نقشه مکان‌یابی محل کاشت حرا و نقشه بولین واقعیت زمینی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۶. مساحت و درصد مساحت مناطق مساعد برای کاشت حرا

شایستگی	مناسب	نسبتاً مناسب	نامناسب
مساحت (هکتار)	۱۸/۲۵	۱۸/۵	۳۹/۴
مساحت (درصد)	۲۴	۲۴/۳	۵۱/۸

یک زمان محدود و خشک بودن سایر ماه‌ها شرایط نامساعدی را برای رشد و توزیع جنگل‌های مانگرو ایجاد می‌کند. با توجه به مطالعات صورت گرفته در این زمینه، استان بوشهر از جمله استان‌های کم بارش کشور است و این عامل در توسعه جنگل‌های حرا هم اثر مستقیم و هم اثر غیرمستقیم دارد (۲۹). دمای هوا عامل بسیار مهمی در استقرار مانگرو است به نحوی که مناطقی که در آنها دمای سالانه هوا بالا و دامنه تغییرات دمایی کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد است برای رشد مانگروها مطلوب است. در محدوده مورد مطالعه، میانگین دمای سالانه هوا ۲۴ درجه است که با توجه به مطالعات گذشته که دمای مناسب برای مانگروها را بین ۲۲ تا ۲۵ درجه معرفی کرده‌اند (۲۴)، دمای هوای مناسب برای توسعه مانگرو در بوشهر وجود دارد. چهار فاکتور آب‌وهوایی که به طور مستقیم بر روی اکوسیستم‌های مانگرو اثر می‌گذارند شامل دمای هوا، یخبندان، بارندگی و مانسون و طوفان هستند. به طور کلی گونه‌های مانگرو در مناطق استوایی و نیمه‌استوایی و مرطوب که دمای سالانه بالا و دامنه تغییرات دمایی اندک است، یافت می‌شوند (۱۰). اقلیم یکی از عوامل مهم در پراکنش و استقرار مانگروها به شمار می‌رود، به نحوی که مانگروها به نوار ساحلی مناطق گرمسیری و نیمه-گرمسیری محدود شده‌اند. نامساعد بودن اقلیم عاملی است که موجب تغییر و از بین رفتن مانگروها می‌شود. گونه‌های بردبار مانند حرا *Avicennia marina* دوباره به سرعت مجتمع می‌شوند، اما این موضوع در مورد گونه‌های دیگر از جنس‌های *Rhizophora*، *Sonneratia*، *Ceriops* و *Aegiceria* صدق نمی‌کند. تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی در نیمکره شمالی، سبب شده که وسعت و ترکیب جنگل‌های مانگرو در این مناطق دستخوش تغییرات اساسی شود. وسعت زیاد پهنه‌های گلی بین مناطق جزر و مدی

نمونه‌های مستقل نشان داد با توجه به مقدار آماره $T(0/013)$ و $p\text{-value}(0/991)$ ، دو نقشه از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند (جدول ۷).

بحث

پوشش گیاهی در نوار ساحلی شهر بوشهر به دلیل غرقابی بودن این نواحی و شرایط خشک آب و هوایی، تنوع کمی دارد. در سال‌های گذشته، اداره کل منابع طبیعی در ورودی شهر به صورت الگویی اقدام به کاشت نهال‌های حرا نموده که در حال حاضر این نهال‌ها به صورت درختچه‌هایی در این محیط‌های شور استقرار یافته‌اند. با توجه به پروژه گسترش کاشت و توسعه گونه حرا در نوار ساحلی بوشهر، هدف از این مطالعه، شناسایی مناطق مستعد کاشت و توسعه حرا در خور سلطانی به عنوان منطقه الگویی با در نظر گرفتن معیارهای مؤثر جهت کاشت و توسعه این گونه - شامل ویژگی‌های زمین (کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، هدایت الکتریکی خاک، بافت خاک، و نوع خاک)، آب دریا (دامنه جزر و مد، موج، pH، هدایت الکتریکی، و شوری) و اقلیم (دما، رطوبت نسبی، بارش، حداقل و حداکثر دمای مطلق) - است.

معیار اقلیم شامل زیرمعیارهای بارش، دمای هوا و رطوبت نسبی است. میزان، مدت و توزیع بارندگی در توسعه گیاهان و جانوران تأثیرگذار است. هرچند جنگل‌های مانگرو به طور مستقیم تحت تأثیر بارندگی نیستند، اما به سبب شستشوی نمک از خاک، بارندگی به طور غیرمستقیم در استقرار مانگروها تأثیر دارد (۸). در مناطقی که میزان بارندگی اندک است، گیاهان ضعیف و پراکنده و کوتاه‌قد می‌شوند. بارندگی، غلظت نمک را در گیاه و رسوب تنظیم می‌کند و منبعی از آب شیرین را برای گونه‌های مانگرو فراهم می‌آورد. در عین حال بارندگی زیاد در

جدول ۷. نتایج میزان صحت نقشه شایستگی مکان‌یابی حرا و مقایسه با نقشه واقعیت زمینی

آزمون میانگین دو گروه مستقل (Independent sample t test)					
Mean Difference	p-value	df	t	Sig.	F
۰/۵۱۵	۰/۹۹۱	۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰	۴۲/۳۹
۰/۵۱۵	۰/۹۹۱	۱/۶۲	۰/۰۱۳		

ادامه جدول ۷.

آزمون میانگین دو گروه مستقل (Independent sample t test)			
95% Confidence Interval of the Difference		Std. Error Difference	
Upper	Lower		
۱۶۹/۷۸	-۱۶۸/۷۵	۳۹/۳۴	با فرض مساوی بودن واریانس‌ها
۲۱۳/۹۴	-۲۱۲/۹۱		با فرض مساوی نبودن واریانس‌ها

مانگرو به‌عنوان یک عامل محدودکننده مطرح است. داس و کرپین (۹) در بررسی اثر امواج ناشی از باد و طوفان بیان کردند که چنانچه امواج ناشی از باد و طوفان بیشتر از حد معمول اتفاق بیفتد و یا با شدت زیاد ایجاد شود موجب تخریب گونه‌های مانگرو می‌شود. کلیه تعاریفی که از مانگروها بیان شده آنها را گیاهانی متعلق به پهنه جزر و مدی می‌دانند. سواحل با دامنه جزر و مدی وسیع می‌توانند در گسترش حضور جنگل‌های مانگرو نقش داشته باشند. وقتی دامنه جزر و مدی وسیع می‌شود مناطق زیر پوشش جزر و مدی گسترده می‌شود که البته این امر به شیب منطقه بستگی دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از گزینه جزر و مد در این تحقیق، حدود ۲۴ درصد از مناطق به‌عنوان مناطق مناسب، ۳۵ درصد نسبتاً مناسب و ۴۰ درصد به‌عنوان مناطق نامناسب تعیین شد. در گزینه جزر و مد، ساخت و سازها در بیشتر نقاط نمونه‌برداری باعث ازبین‌رفتن محدوده جزر و مدی و تبدیل شدن آن به دیواره شده که می‌توان از آن به‌عنوان عامل محدودکننده نام برد.

مانگروها در شرایط با شوری اندک، انبوه‌تر می‌شوند و در شوری بین ۵ تا ۳۰ ppt مستقر می‌شوند (۱۶). بررسی‌ها نشان داده که در شوری زیاد، مانگروها انرژی بیشتری برای حفظ آب و غلظت مناسب یون صرف می‌کنند، بنابراین انرژی کمتری

در مناطق نیمه‌خشک ممکن است محدوده‌ای را برای انطباق و سازگاری گونه‌های مانگرو مهیا سازد و بعید نیست که تنوع زیستی در جنگل‌های مانگرو در عرض‌های جغرافیایی بالاتر افزایش یابد (۳۳).

جنگل‌های مانگرو به‌عنوان یک اکوسیستم ساحلی، بسیار تحت تأثیر ویژگی‌های آب دریا هستند. زیرمعیارهای این معیار که بر این جنگل‌ها مؤثر است شامل موج، جزر و مد و کیفیت آب دریا است (۳۰). مانگروها در جایی مستقر می‌شوند که مصون از اثرات امواج باشند. بنابراین نخستین شرط برای رویش مانگروها، وجود منطقه آرام با حداقل حرکت آب است. عدم وجود تلاطم و موج به این معنی است که آب، فاقد انرژی جنبشی لازم برای جابجایی ذرات بوده و در نتیجه، ذرات ریز می‌توانند ته‌نشین شده و در کف بستر انباشته شوند. ته‌نشینی رسوبات اجازه می‌دهد که انباشت گل فراهم‌شده و خاک تحت-الارض مانگروهای مردابی که عموماً گلی است شکل بگیرد (۱۲). در این مطالعه در مناطقی که ساحل به‌وسیله عواملی مانند ساخت جاده و پارک تخریب‌شده، محدوده جزر و مدی از بین رفته و در هنگام جزر نیز آب به دیواره ساخت‌وسازها برخورد می‌کند. موجی که بر اثر باد و طوفان‌های شدید به‌وجود می‌آید با توجه به موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه، برای درختان

تراز دریا وجود دارد. به محض بالا رفتن آب دریا، فرسایش ساحلی و شدت جریان‌های ساحلی افزایش خواهد یافت و خطوط ساحلی به عقب کشیده خواهند شد. بالا آمدن سطح آب دریا موجب عقب‌نشینی جنگل‌های مانگرو در بسیاری از مناطق می‌شود، اما متأسفانه در برخی از این مناطق، سکونتگاه‌های انسانی به عنوان سد و مانعی در مسیر حرکت آنها قرار داشته و عاملی محدودکننده به‌شمار می‌آیند. بالا آمدن سطح آب دریا برای بسیاری از مانگروها مخرب است، به‌ویژه اکوسیستم‌های جزیره‌ای مانگرو با ارتفاع کم و مناطقی که رسوب کمی دارند بیشترین آسیب‌پذیری را در مقابل بالا آمدن سطح آب دریاها دارند. اکوسیستم‌هایی که رسوب زیادی دارند به مانگروها اجازه می‌دهند تا به سمت خشکی حرکت کنند و به این ترتیب از اثر بالا آمدن سطح آب دریاها کاسته می‌شود (۱۷). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از گزینه ارتفاع از سطح دریا، حدود ۱۸ درصد مناطق به‌عنوان مناطق مناسب، ۲۲ درصد نسبتاً مناسب و ۶۰ درصد به‌عنوان مناطق نامناسب تعیین شد. مانگروها مناطق کم-شیب و مسطح با دامنه جزر و مدی وسیع و فعالیت کم امواج را ترجیح می‌دهند و ساختار این جنگل‌ها متأثر از نقش شیب بر دامنه جزر و مدی است (۲۰). بدیهی است هرچه شیب کاهش یابد، جزر و مد مناطق وسیع‌تری را تحت پوشش قرار می‌دهد و گستره حضور مانگروها افزایش می‌یابد. هر افزایش یا کاهش در شیب منطقه می‌تواند مسیر و میزان جریان آب را تغییر داده و سبب تغییر محل حضور مانگروها شود (۱۴). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از گزینه شیب، حدود ۶۸ درصد مناطق به‌عنوان مناطق مناسب، ۱۰ درصد نسبتاً مناسب و ۲۱ درصد به‌عنوان مناطق نامناسب تعیین شد. از ویژگی‌های شیمیایی خاک که بر حضور جنگل‌های حرا مؤثر است می‌توان به pH و شوری خاک اشاره کرد. میزان pH خاک از طریق تغییر میزان دسترس‌پذیری عناصر ضروری مانند آلومینیوم (که میزان زیاد آن برای مانگرو سم محسوب می‌شود) بر روی رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد. با این حال گونه‌های مختلف مانگرو قدرت تحمل خاک با دامنه pH متفاوتی دارند. گونه حرا قدرت تحمل

برای رشد و تولیدات اولیه باقی می‌ماند. همچنین شوری بالا کاهش‌دهنده سطح برگ، افزایش‌دهنده فشار اسمزی شیره گیاهی، افزایش‌دهنده نسبت مساحت به وزن برگ و کاهش-دهنده میزان پتاسیم، نیتروژن و فسفر است (۱۴). بر اساس مطالعات انجام‌شده، مقدار درصد شوری آب دریا برای رشد بیشینه گونه حرا حداکثر ۵۰ درصد است (۲۹). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از گزینه شوری آب دریا، حدود ۲۳/۹ درصد مناطق به‌عنوان منطقه مناسب، ۲۴/۲ درصد نسبتاً مناسب و ۵۱/۷ درصد به‌عنوان منطقه نامناسب تعیین شد. pH آب بر روی رشد مانگروها مؤثر است و بیان شده که مانگروها دارای بیشترین رشد در pH=۶ و بیشترین رشد ساقه در pH=۱۰ هستند و در pH آب کمتر از ۶ رشد دانه‌های مانگرو به تعویق می‌افتد (۵). به‌علاوه میزان pH آب، بسیاری از فعالیت‌های زیستی و شیمیایی آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. pH آب با فصل رابطه داشته و در فصول خشک افزایش می‌یابد (۱۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از گزینه pH آب، حدود ۳۵ درصد مناطق به‌عنوان مناطق مناسب، ۲۳ درصد نسبتاً مناسب و ۴۱/۵ درصد به‌عنوان مناطق نامناسب تعیین شد.

در معیار ویژگی‌های زمین، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زمین مورد توجه قرار گرفت (۳). منظور از ویژگی‌های فیزیکی، کاربری اراضی، نوع و بافت خاک، ارتفاع از سطح دریا و شیب است. بافت و نوع خاک از عوامل مهم و مؤثر بر اکوسیستم مانگروها محسوب می‌شود. مانگروها از نظر دانه‌بندی، خاک‌های سنگین و ریزدانه را می‌طلبند (۲۹)، اما ممکن است در سواحل شنی و صخره‌ای نیز دیده شوند. در دلتاهای رودخانه‌های بزرگ گرمسیری، جایی که غنی‌ترین جنگل‌های مانگرو دیده می‌شود و یا حتی در خورهای کم‌عمق بدون ورودی آب شیرین، مانگروها در سطوحی با کمی ارتفاع استقرار می‌یابند (۷). فعالیت‌های انسانی نه‌تنها به‌طور مستقیم، بلکه به‌طور غیرمستقیم (مثلاً از طریق بالا رفتن سطح آب دریا) نیز بر این زیستگاه‌ها اثرگذار است. ارتباط مستقیمی بین تغییرات اقلیمی و اکوسیستم‌های مانگرو از طریق تغییر در سطح

مناطق با شیب نزدیک به صفر، خورهای ساحلی و مناطق جزر و مدی با میانگین عمق ۱ متری در مد کامل هستند. بر این اساس بیشتر مناطق مستعد احیا در جنوب و جنوب‌شرقی منطقه مورد بررسی قرار دارند. به‌طور کلی اکوسیستم‌های مانگرو نسبت به انواع گوناگونی از آشفته‌گی‌ها و استرس‌های محیطی بسیار آسیب‌پذیر هستند. آنها گیاهانی حساس به تشکیل لجن یا رسوب‌گذاری شدید، ایستابی، آبیگری آب‌های سطحی و مهم‌تر از همه نفت و آلودگی صنایع هستند. این فعالیت‌ها جذب اکسیژن را از طریق تنفس کاهش داده و موجب افزایش نرخ مرگ و میر مانگروها می‌شود. شوری بالای ۹۰ ppt در نتیجه کاهش جریان آب شیرین و تغییر الگوهای تراز آب ناشی از احداث سدها، لایروبی و غیره موجب از بین رفتن مانگروها می‌شود.

مهم‌ترین دلیل افزایش وسعت مناطق نامناسب جهت ایجاد جنگل‌های حرا در منطقه مورد مطالعه را می‌توان افزایش ساخت‌وساز از جمله ساخت دهکده گردشگری و تأثیرات مخرب آن مانند لایروبی، از بین رفتن منطقه جزر و مدی و ایجاد دیواره و ساخت جاده در غرب منطقه دانست. در ایستگاه‌های شرقی، عدم آب‌گرفتگی و صورت‌نپذیرفتن جزر و مد کامل، باعث افزایش شوری خاک شده که می‌تواند به‌عنوان عامل محدودکننده در استقرار و کاشت حرا به‌شمار آید.

خاک با pH بین ۶ تا ۸/۵ را دارد و در خاک با $pH=8/7$ و $5/5$ به بیشترین رشد خود می‌رسد (۱۶). با توجه به نتایج به‌دست آمده از گزینه pH خاک، حدود ۳۵ درصد مناطق به‌عنوان مناطق مناسب، ۲۴ درصد نسبتاً مناسب و ۴۱ درصد به‌عنوان مناطق نامناسب تعیین شد. به‌طور کلی، نتایج تحقیق نشان داد که ساخت و سازهای ساحلی، توسعه مناطق مسکونی، اسکله‌ها و صنایع مختلف ساحلی در جوار خور سلطانی از عوامل محدودکننده توسعه و کاشت حرا محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مکان‌های کاشت و توسعه پوشش‌های گیاهی مانگرو در منطقه مورد مطالعه به ۳ طبقه تقسیم شد. مناطقی که بیشترین ارزش وزنی را داشتند به‌عنوان مناطق دارای بهترین کیفیت (مناسب) شناسایی شدند و سایر مناطق به‌عنوان مناطق با کیفیت خوب (نسبتاً مناسب) و کیفیت بد (نامناسب) جهت احیای بیولوژیک پوشش‌های مانگرو در منطقه تشخیص داده شدند. مناطق مناسب و نسبتاً مناسب مساحتی بالغ بر ۱۸/۲۵ هکتار (معادل ۲۴ درصد) از کل مساحت منطقه را شامل می‌شود. این محدوده‌ها به‌طور عمده در جنوب و جنوب‌شرقی خور سلطانی قرار دارند. مناطقی که در بازدید میدانی به‌عنوان مناطق مستعد احیای بیولوژیک معرفی شده‌اند به‌طور عمده شامل

منابع مورد استفاده

1. Akram, A., A. Alfarhan, E. Robinson and I. Aldjain. 2008. Pattern of survival and mortality of mangrove populations grown at Al-Jubail area (Saudi Arabia) of the Arabian Gulf. *American Journal of Agricultural and Biological Science* 3(3): 610-616.
2. Amiri, F. and T. Tabatabaie. 2020. The influence of green spaces on land surface temperature and humidity of the surrounding environment in Bushehr city. *Environmental Sciences* 18(3): 134-160. (In Farsi)
3. Andon Petrosian, H., A. Danehkar, S. Ashrafi and J. Fegghi. 2013. Application of delphi method for prioritization of Mangrove afforestation site selection criteria (case study: Grey Mangroves on north part of Persian Gulf, Iran). *Environment and Development Journal* 4(7): 37-48. (In Farsi)
4. Berger, U., V. H. Rivera-Monroy, T. W. Doyle, F. Dahdouh-Guebas, N. C. Duke, M. L. Fontalvo-Herazo, H. Hildenbrandt, N. Koedam, U. Mehlig, C. Piou and R. R. Twilley. 2008. Advances and limitations of individual-based models to analyze and predict dynamics of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany* 89(2): 260-274. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.015>.
5. Bhalla, R., S. Ram and V. Srinivas. 2008. Studies on vulnerability and habitat restoration along the coromandel coast. Publication of UNDP/UNTRS & FERAL, India.
6. Brunelli, M. and J. Rezaei. 2019. A multiplicative best-worst method for multi-criteria decision making. *Operations Research Letters* 47(1): 12-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.orl.2018.11.008>.

7. Dahdouh-Guebas, F. and N. Koedam. 2008. Long-term retrospection on mangrove development using transdisciplinary approaches: A review. *Aquatic Botany* 89(2): 80-92. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.03.012>.
8. Das, G. K. 2013. Characteristics of mangrove substrate sediments of sunderbans. *Reason- A technical journal*, Vol. XII: 7-18.
9. Das, S. and A. S. Crépin. 2013. Mangroves can provide protection against wind damage during storms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 134: 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.09.021>.
10. Dehghani, M., P. Farshchi, A. Danekar, M. Karami and A. Aleshikh. 2010. Recreation value of hara biosphere reserve using willingness-to-pay method. *International Journal of Environmental Research* 4(2): 271-280. <https://doi.org/10.22059/IJER.2010.19>.
11. Dehghani, M., M. Pourhashemi, N. Shabanian and Kh. Mirakhorlou. 2014. Identification of suitable sites for development of mangrove forests in Holor region, Qeshm Island. *Forest Sustainable Development* 1(2): 151-165. (In Farsi)
12. Ellison, A. M. 2008. Mangrove ecology-applications in forestry and coastal zone management. *Aquatic Botany* 89(2): 77-89.
13. Friess, D. A. 2017. Mangrove rehabilitation along urban coastlines: a singapore case study. *Regional Studies in Marine Science* 16: 279-289. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.09.013>.
14. Gilman, E. and J. Ellison. 2007. Efficacy of alternative low-cost approaches to mangrove restoration, American Samoa. *Estuaries and Coasts* 30(4): 641-651. <https://doi.org/10.1007/BF02841961>.
15. Jafarnia, Sh., J. Oladi and O. Karami. 2013. Application of GIS-AHP in land evaluation for mangrove forest development in Qeshm Island based on physical-chemical water and soil characteristics. *Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science)* 4(1): 79-91. (In Farsi)
16. Joshi, H. and M. Ghose. 2003. Forest structure and species distribution along soil salinity and pH gradient in mangrove swamps of the Sunderbans. *Tropical Ecology* 44(2): 195-204.
17. Kamali, B. and R. Hashim. 2011. Mangrove restoration without planting. *Ecological Engineering* 37(2): 387-391. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.025>.
18. Kaur, L., M. S. Rishi, G. Singh and S. Nath Thakur. 2020. Groundwater potential assessment of an alluvial aquifer in yamuna sub-basin (Panipat region) using remote sensing and GIS techniques in conjunction with analytical hierarchy process (AHP) and catastrophe theory (CT). *Ecological Indicators* 110: 105850. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105850>.
19. Leo, K. L., C. L. Gillies, J. A. Fitzsimons, L. Z. Hale and M. W. Beck. 2019. Coastal habitat squeeze: a review of adaptation solutions for saltmarsh, mangrove and beach habitats. *Ocean & Coastal Management* 175: 180-190.
20. Lewis, R. R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering* 24(4): 403-418. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.10.003>.
21. Li, W., H. El-Askary, M. A. Qurban, J. Li, K. P. ManiKandan and T. Piechota. 2019. Using multi-indices approach to quantify mangrove changes over the Western Arabian Gulf along Saudi Arabia coast. *Ecological Indicators* 102: 734-745. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.047>.
22. Nagelkerken, I., S. J. M. Blaber, S. Bouillon, P. Green, M. Haywood, L. G. Kirton, J. O. Meynecke, J. Pawlik, H. M. Penrose, A. Sasekumar and P. J. Somerfield. 2008. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. *Aquatic Botany* 89(2): 155-185. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.007>.
23. Nazim, K., M. Ahmed, M. U. Khan, N. Khan, M. Wahab and M. F. Siddiqui. 2010. An assessment of the use of *Avicennia marina* forsk vierh. to reclaim water logged and saline agricultural land. *Pakistan Journal of Botany* 42(4): 2423-2428.
24. Omo-Irabor, O. O., S. B. Olobaniyi, J. Akunna, V. Venus, J. M. Maina and C. Paradzayi. 2011. Mangrove vulnerability modelling in parts of Western Niger Delta, Nigeria using satellite images, GIS techniques and Spatial Multi-Criteria Analysis (SMCA). *Environmental Monitoring and Assessment* 178(1): 39-51. doi:10.1007/s10661-010-1669-z.
25. Rakotomavo, A. and F. Fromard. 2010. Dynamics of mangrove forests in the mangoky river delta, madagascar, under the influence of natural and human factors. *Forest Ecology and Management* 259(6): 1161-1169. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.002>.
26. Rezaei, J. 2015. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega* 53: 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>.
27. Rezaei, J. 2016. Best-worst multi-criteria decision-making method: some properties and a linear model. *Omega* 64: 126-130. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>.
28. Rokni, K. and T. A. Musa. 2019. Normalized difference vegetation change index: a technique for detecting vegetation changes using Landsat imagery. *Catena* 178: 59-63.
29. Safiari, Sh. 2017. Mangrove forests in Iran. *Journal of Iran Nature* 2(2): 49-57. (In Farsi).
30. Shahadat Hossain, M. S., C. K. Lin and M. Z. Hussain. 2003. Remote sensing and GIS applications for suitable

- mangrove afforestation area selection in the coastal zone of Bangladesh. *Geocarto International* 18(1): 61-65. <https://doi.org/10.1080/10106040308542264>.
31. Sharma, S., R. A. MacKenzie, T. Tieng, K. Soben, N. Tulyasuwan, A. Resanond, G. Blate and C. M. Litton. 2020. The impacts of degradation, deforestation and restoration on mangrove ecosystem carbon stocks across Cambodia. *Science of The Total Environment* 706: 135416. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135416>.
 32. Simard, M., L. Fatoyinbo, C. Smetanka, V. H. Rivera-Monroy, E. Castañeda-Moya, N. Thomas and T. Van der Stocken. 2019. Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nature Geoscience* 12(1): 40-45. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0279-1>.
 33. Singh, H. 2003. Vulnerability and adaptability of tidal forests in response to climate change in India. *Indian Forester* 129(6): 749-756.
 34. Tilahun, A. and B. Teferie. 2015. Accuracy assessment of land use land cover classification using Google Earth. *American Journal of Environmental Protection* 4(4): 193-198.
 35. Wang'ondu, V., J. G. Kairo, J. Kinyamario, F. Mwaura, J. Bosire, F. Dahdouh-Guebas and N. Koedam. 2010. Phenology of *Avicennia marina* (forsk.) vierh. in a disjunctly-zoned mangrove stand in Kenya. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science* 9(2): 135-144.
 36. Zaldívar-Jiménez, M. A., J. A. Herrera-Silveira, C. Teutli-Hernández, F. A. Comín, J. L. Andrade, C. C. Molina and R. P. Ceballos. 2010. Conceptual framework for mangrove restoration in the Yucatán peninsula. *Ecological Restoration* 28(3): 333-342.

Suitable Site Selection for *Avicennia marina* Plantation in the Coastal Region of Bushehr, using Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method

M. Golestani¹ and F. Amiri^{2*}

(Received: August 05-2020; Accepted: May 12-2021)

Abstract

This study was conducted to identify suitable sites for planting *Avicennia marina* in Soltani Khore of the urban coast of Bushehr. The most effective criteria for *Avicennia marina* planting include land characteristics (i.e. land use, slope, elevation, soil electrical conductivity, soil texture, and soil type), seawater (i.e. tidal range, wave, acidity, electrical conductivity, and salinity), and climate (i.e. temperature, relative humidity, precipitation, absolute minimum and maximum temperatures) were considered. Ten soil and water samples were collected, using a systematic-random sampling network and their physicochemical variables were measured. The thematic maps of the criteria were prepared and the geographic information system was used to analyse and present spatial data. Using expert opinions and literature review, the priority of the criteria was determined by Delphi method and the criteria were weighted by the Best-Worst method (BWM). Based on the overlay of weighting criteria, using Weighted Linear Combination (WLC), suitable sites for planting and development of *Avicennia marina* were classified as suitable, relatively suitable and not suitable. The results showed that 24% (18.25 ha) of the total areas were suitable, 24.3% (18.5 ha) of the land was relatively suitable, and 51.8% (39.4 ha) was not suitable for planting and development of *Avicennia marina* species.

Keywords: *Avicennia marina*, Site selection, GIS, Best-Worst method (BWM), Multi-criteria evaluation, Soltani Khore, Urban coastal zone

1. Department of Natural Resources, Islamic Azad University, Bushehr Branch, Bushehr, Iran.

2. Associate professor, Department of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Bushehr Branch, Bushehr, Iran.

*: Corresponding Author, Email: famiri@iaubushehr.ac.ir