

بررسی در معرض قرار گرفتن جنگل‌های مانگرو سواحل جنوب ایران به مخاطرات چندگانه

داود مافی‌غلامی^{۱*}، ابوالفضل جعفری^۲

^۱گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
^۲مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۴

چکیده

طبقه‌بندی شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در سطح رویشگاه‌های مانگرو یکی از پیش‌نیازهای اصلی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری و توسعه و برنامه‌ریزی راهبردهای مدیریتی برای به حداقل رساندن اثرات مخرب ناشی از وقوع مخاطرات چندگانه بر این رویشگاه‌ها است. هدف این تحقیق نیز نقشه‌سازی و طبقه‌بندی شدت وقوع سه نوع مخاطره محیطی شامل خشکسالی، تندباد و پسروری مرز رو به دریا مانگروهای نایبند، تیاب و گواتر در طول سواحل خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد. بدین منظور استفاده از سری زمانی بلند مدت مقادیر بارندگی ماهانه، سرعت باد روزانه و تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه‌های شدت وقوع هر یک از مخاطرات محیطی در سطح رویشگاه‌ها با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. در نهایت، نقشه‌های مخاطرات پس از استانداردسازی با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه پهنه‌بندی شدت قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی چندگانه در سطح مانگروها تهیه شد. نتایج نشان داد که مقدار نمایه در معرض قرار گرفتن در سطح رویشگاه‌ها از ۲ تا ۴/۶ متغیر بود و از سواحل خلیج فارس به سمت سواحل دریای عمان افزایش می‌یابد؛ چنان‌که رویشگاه نایبند در سواحل غربی خلیج فارس (سواحل استان بوشهر) و رویشگاه گواتر در سواحل شرقی دریای عمان (سواحل استان سیستان و بلوچستان) به ترتیب در معرض کمترین و بیشترین شدت وقوع مخاطرات محیطی مورد بررسی قرار داشتند. نتایج این مطالعه اطلاعات حیاتی برای اجرای فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری رویشگاه‌های مانگرو مورد مطالعه را فراهم می‌سازد.

کلید واژگان: آسیب‌پذیری، بالا آمدن سطح آب دریا، مانگرو، ایران

مقدمه

تالاب‌های ساحلی، مانگروها و علفزارهای دریایی با قرار گرفتن در ناحیه‌ی حدواسط میان خشکی و دریا منشاء خدمات اکوسیستمی منحصر به فردی هستند. از میان این اکوسیستم‌های ساحلی گوناگون، مانگروها با شرایطی مانند دماهای بالا و تغییرات قابل توجه شوری، سازش یافته‌اند (Safiari, 2016). جنگل‌های مانگرو یکی از بوم‌سازگان‌های مقاوم به شوری هستند که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ درجه‌ی شمالی و جنوبی توسعه یافته‌اند و با قرار گرفتن این جنگل‌ها در مناطق جزرومدی سواحل اقیانوسی، به‌عنوان از متمایزترین بوم‌سازگان‌های گیاهی شناخته شده‌اند (Ellison, 2015). امروزه با وجود اهمیت بالای خدمات اکوسیستمی فراهم‌شده توسط مانگروها، تاکنون بیش از ۵۰ درصد از این رویشگاه‌های جنگلی جهان دچار تخریب و افت کیفیت شده‌اند و این روند همچنان ادامه دارد (Alongi, 2015; Ellison, 2015). تخریب و از بین رفتن مانگروها سبب آزادسازی مقادیر عظیمی از کربن ذخیره شده در این اکوسیستم‌ها می‌شود که بروز تغییرات شدید در اقلیم منطقه، تشدید گرمایش جهانی، کاهش کیفیت آب‌های ساحلی، کاهش تنوع زیستی، تخریب زیستگاه‌های ساحلی و نیز نابودی بخش عمده‌ای از منابع مورد نیاز جوامع انسانی را به‌دنبال خواهد داشت (Ellison, 2015). با توجه به اینکه مانگروها همواره در معرض وقوع مخاطرات طبیعی و انسانی مختلف قرار دارند، انجام برنامه‌ریزی و فراهم آوردن ابزارهای مناسب برای جلوگیری یا کاهش اثرات این مخاطرات ضروری به‌نظر می‌رسد (Mafi-Gholami et al., 2020). دستیابی به این هدف وابسته به شناخت و اطلاعات کافی و دقیق درباره‌ی آسیب‌پذیری این اکوسیستم‌ها نسبت به وقوع مخاطرات گوناگون است (Ellison, 2015; Alongi et al., 2015). در واقع انجام ارزیابی آسیب‌پذیری از طریق تعیین شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه مؤثر بر مانگروها (در معرض قرارگیری) از مهمترین ابزارهای

موجود برای ارائه راهکارهای مدیریتی مؤثر برای کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تنش‌های گوناگون و نیز دستیابی به هدف حفاظت از این اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود (Mafi-Gholami et al., 2021). بر اساس تعاریف موجود، آسیب‌پذیری سیستم‌ها، تابعی از سه بعد در معرض قرار گرفتن (Exposure)، حساسیت (Sensitivity) و توان سازشی (Adaptive capacity) است که در تلفیق با یکدیگر سبب ایجاد آسیب‌پذیری سیستم‌ها می‌شوند (Reckien, 2018; Ford et al., 2018). در میان این ابعاد، در معرض قرار گرفتن به‌عنوان درجه، طول مدت و گستره‌ای است که یک سیستم در تماس و یا تحت تأثیر آشفتگی‌ها یا تنش‌های محیطی قرار گرفته است (Adger et al., 2018) و در ارتباط با رویشگاه‌های مانگرو نیز شدت، طول مدت گستره وقوع مخاطرات محیطی، شکل دهنده بعد در معرض قرار گرفتن این اکوسیستم‌ها در فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری است. باوجود تخریب روزافزون مانگروهای جهان، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری و قرار گرفتن این اکوسیستم‌ها در معرض مخاطرات چندگانه انجام نشده است. Ellison (۲۰۱۵)، اقدام به ارزیابی آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های مانگرو نسبت به بالا آمدن تراز آب دریا نموده است و انجام ارزیابی آسیب‌پذیری با تلفیق سه جنبه از جمله در معرض قرار گرفتن، حساسیت و توان سازشی انجام شده است (Ellison, 2015). در همین راستا، Herrera-Silveira و Cinco-Castro (۲۰۲۰)، نیز با بهره‌گیری از رویکرد یکپارچه و متغیرهای ارائه شده توسط Ellison (۲۰۱۵)، اقدام به ارزیابی آسیب‌پذیری مانگروهای خلیج مکزیکو نمودند. اما در مطالعات ذکر شده، اجرای فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری مانگروها تنها با در نظر گرفتن پیامدهای ناشی از افزایش تراز آب دریا انجام شده است. در سایر مطالعات انجام شده نیز، ارزیابی آسیب‌پذیری و در معرض قرار گرفتن مانگروها تنها با در نظر گرفتن تک مخاطراتی مانند افزایش تراز آب دریا، افزایش دمای هوا یا خشکسالی انجام شده است (Gilman et al., 2007;)

کیفیت مانگروهای ایران شده و آن‌ها را به اکوسیستمی آسیب‌پذیر و به شدت نیازمند حفاظت تبدیل کرده است (Etemadi *et al.*, 2016; Mafi-Gholami *et al.*, 2021). با وجود اثرات فوق، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تعیین احتمال وقوع و پهنه‌بندی شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در رویشگاه‌های مانگرو ایران در طول سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان و شیب تغییرات متغیرهای محیطی در استان‌های بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان انجام نشده است. بنابراین، هدف این مطالعه نقشه‌سازی وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در رویشگاه‌های نایبند (استان بوشهر)، تیاب (استان هرمزگان) و گوآتر (استان سیستان و بلوچستان) است. براساس مطالب ذکر شده، فرضیه پژوهش به این صورت بیان می‌شود که نقشه‌سازی شدت وقوع انواع مخاطرات محیطی چندگانه در رویشگاه‌های مانگرو می‌تواند ضمن شناسایی رویشگاه‌هایی که در معرض بیشترین شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه هستند، اطلاعات ضروری برای توسعه راهبردهای مدیریتی حفاظت از آن‌ها را فراهم آورد. همچنین، سوالات پژوهش به این صورت مطرح می‌شوند که با توجه به وجود طیف متفاوتی از وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در طول سواحل خلیج فارس و دریای عمان، کدام یک از رویشگاه‌های مانگرو نایبند، تیاب و گوآتر در معرض بیشترین شدت وقوع مخاطرات محیطی قرار دارند؟

مواد و روش‌ها

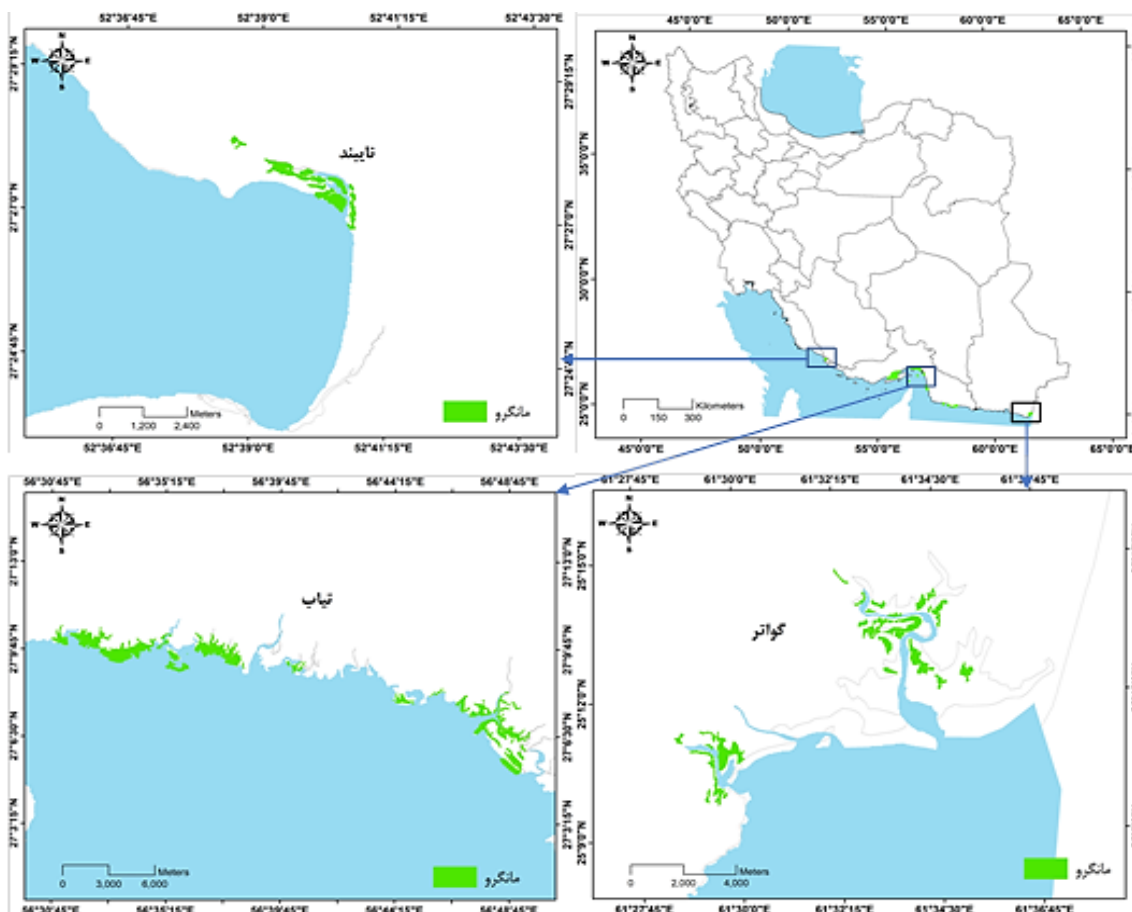
منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های مانگرو ایران در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان در عرض‌های جغرافیایی ۲۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۲۷ درجه شمالی و ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۶۵ درجه طول شرقی گسترده شده‌اند و حد نهایی گسترش آن‌ها در عرض جغرافیایی ۲۸ درجه است (Safiari, 2016).

شکل ۱، پراکنش رویشگاه‌های مانگرو نایبند^۱، تیاب^۲ و

Ellison and Zouh, 2012; Ellison, 2015; Lovelock *et al.*, 2015). این در حالی است که مانگروها تقریباً به صورت دائمی و همزمان در معرض مخاطرات چندگانه محیطی قرار دارند که به لحاظ خصوصیاتشان در طول زمان و مکان متنوع هستند (Halpern *et al.*, 2007; Mafi-Gholami *et al.*, 2015). بر این اساس، بررسی تک تنش-تک پیامد یا تعداد محدودی از مخاطرات محیطی در فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری مانگروها تصویر دقیقی از میزان آسیب‌پذیری سیستم‌ها را در جهان واقعی نشان نمی‌دهد (Ellison, 2015) بنابراین نیاز است تا فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری با بررسی و نقشه‌سازی مخاطرات چندگانه محیطی در مانگروها انجام شود (Herrera-Silveira and Castro, 2020). این در حالی است که مطالعات آسیب‌پذیری اکوسیستم‌ها با بکارگیری طیف گسترده‌ای از داده‌ها و اطلاعات کمی و کیفی انجام شوند که دارای عدم قطعیت و ماهیت متفاوتی هستند و در این میان، منطق فازی امکان تلفیق این داده‌ها و اطلاعات را فراهم آورده و نقش مهمی در دستیابی به نتایج قابل تفسیر و افزایش دقت و صحت تصمیم‌گیری از سوی مدیران منابع طبیعی بر عهده دارد (Balteiro and Romero, 2008; Wu *et al.*, 2008; Mafi-Gholami *et al.*, 2021). مانگروهای ایران در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان، به عنوان یکی از مهمترین زیستگاه‌های مانگرو در خاورمیانه، دارای اهمیت قابل توجهی در سطح بین‌الملل هستند (Danehkar, 2001). علی‌رغم این اهمیت، مانگروهای ایران در معرض طیفی از مخاطرات طبیعی و انسانی گوناگون مانند خشکسالی، افزایش دمای هوا و گرمای زیاد تابستان، طوفان‌ها، فعالیت‌های صیادی، بالا آمدن سطح آب دریا، ورود گونه‌های غیر بومی (موش سیاه)، ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی و آلودگی‌های نفتی قرار دارند (Mafi-Gholami *et al.*, 2020, 2021). وقوع همزمان این تنش‌ها و آشفتگی‌ها سبب تخریب و کاهش

²Tiab

¹Nayband



شکل ۱- رویشگاه‌های مانگرو نایبند، تیاب و گواتر در استان‌های بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان

منطقه دربرگیرنده مانگروهای ایران دارای آب و هوای گرم و مرطوب بوده و میانگین طولانی مدت بارش سالانه در ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه، در حدود ۱۴۶ میلی‌متر بوده و دمای متوسط سالانه آن ۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Etemadi *et al.*, 2016). گرم‌ترین ماه سال تیر با دمای متوسط ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال، دی با دمای متوسط ۱۸/۱ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر و حداقل مطلق دما نیز به ترتیب برابر ۴۸ و ۷/۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است (Daneshkar *et al.*, 2016).

تهیه نقشه ریسک خشکسالی در سطح رویشگاه‌ها: در این مطالعه، برای بررسی تغییرات زمانی خشکسالی از سری زمانی ۳۴ ساله (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۸) داده‌های بارندگی

گواتر^۳ را در طول سواحل جنوبی ایران نشان می‌دهد. مناطق پراکنش آن‌ها از شرق ایران در ناحیه عمان قرار دارد که در امتداد جنگل‌های پاکستان وارد ایران شده و در خلیج گواتر تشکیل جوامع جنگلی داده‌اند. این جوامع به صورت نواری باریک و لکه‌ای امتداد یافته و دوباره در بندرهای سیریک^۴ و جاسک^۵ در حاشیه خورها مستقر و انبوه شده و سپس تا کولغان^۶، تیاب و کلاهی^۷ پیش‌رفته و به صورت جوامع جنگلی بزرگ در نواحی مذکور تشکیل شده‌اند (Daneshkar *et al.*, 2016). جوامع جنگلی در جزیره قشم و بندر خمیر^۸ به صورت انبوه استقرار یافته و سپس به طرف غرب خلیج فارس گرایش پیدا می‌کنند که تا خلیج نایبند و دیر در استان بوشهر ادامه دارند (Daneshkar, 2001).

^۶Koulaghan
^۷Kolahi
^۸Khamir

^۳Gwadar
^۴Sirik
^۵Jask

که در این رابطه: SPI_j مقادیر SPI منفی در طول دوره زمانی ز است.

در نهایت با استفاده از مقادیر بزرگی وقوع خشکسالی محاسبه شده برای هر یک از ایستگاه‌ها و با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه فازی خطر وقوع خشکسالی در سطح رویشگاه‌های مانگرو مورد مطالعه تهیه شد.

تهیه نقشه ریسک تندبادها (بادهای مخرب) در سطح

رویشگاه‌ها: براساس مطالعات انجام شده در زمینه اثرات نامطلوب ناشی از وزش بادهای پرسرعت بر ساختار و عملکرد مانگروها در جهان (Smith *et al.*, 2009; Das and Crépin, 2013; Jiang *et al.*, 2014) و به منظور پهنه‌بندی و تعیین احتمال وقوع وزش بادهای دارای اثرات مخرب بر مانگروها، سرعت‌های باد بزرگتر و مساوی ۱۰/۸ متر بر ثانیه (حد پایین طبقه شش مقیاس بوفورت) که می‌تواند دارای اثرات نامطلوب بلندمدت بر مانگروها باشد، مورد بررسی و نقشه‌سازی قرار گرفتند. بدین منظور، سری زمانی ۲۰ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۹) داده‌های سه ساعته سرعت باد مربوط به ۸ ایستگاه سینوپتیک از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد. انتخاب ایستگاه‌های مورد نظر بر مبنای پراکنش مناسب در سطح منطقه و مجاورت با رویشگاه‌های مانگرو بود. سرعت باد در محاسبات آماری باد، به‌عنوان یک متغیر تصادفی پیوسته مورد نظر است که می‌تواند تمام مقادیر واقع در یک فاصله را اختیار کند (Karsli and Gecit, 2003; Elsaraiti, and Merabet, 2021). اما در عمل، برداشت‌های سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی با فواصل زمانی سه ساعته انجام می‌گیرد که تابع چنین احتمالی، یک تابع گسسته است و برآورد احتمال وقوع سرعت‌های مختلف باد با خطای زیادی همراه خواهد بود. از این‌رو، نیاز است تا نمودار توزیع فراوانی سرعت‌های مختلف باد یک منطقه با یک تابع توزیع پیوسته جایگزین شود تا بتوان مقادیر واقعی احتمال وقوع سرعت‌های مختلف را محاسبه نمود. مطالعات مختلف نشان داده است که از میان

ماهانه مربوط به ۱۶ ایستگاه سینوپتیک که دارای پراکنش مناسب در سطح حوضه‌های آبریز بالادستی و نواحی ساحلی دربرگیرنده مانگروها بودند، استفاده شد. داده‌های بارندگی مورد نیاز از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تعیین احتمال وقوع و تغییرات زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی در سواحل جنوبی ایران از نمایه شاخص بارش استاندارد (Standardized Precipitation Index (SPI) استفاده شد. مقدار شاخص با مقیاس‌های زمانی مختلف بیان‌کننده مقیاس زمانی اثرات خشکسالی روی منابع آبی است (Tamassoki *et al.*, 2014). مقادیر SPI با مقیاس‌های زمانی کوتاه (۱ تا ۳ ماهه) نشان‌دهنده تغییرات در رطوبت خاک است که در بخش کشاورزی اهمیت دارد و مقادیر SPI با مقیاس‌های زمانی بلندتر (۶ ماهه، یکساله و بیشتر) نشان‌دهنده تغییرات بلندمدت در مقادیر آب‌های جاری سطحی و زیرزمینی و ذخایر و منابع آبی است که در زمینه تأثیر تغییرات بارندگی بر اکوسیستم‌های طبیعی و مدیریت منابع آب در سکونتگاه‌های انسانی دارای اهمیت است (Wu *et al.*, 2008). باتوجه به اینکه توان مانگروها برای مقابله با شوری بالای آب وابسته به بارندگی رخ داده در سواحل و نیز میزان آب‌های شیرین سطحی مربوط به حوضه‌های آبریز بالادستی آن است، بنابراین در این مطالعه، تغییرات مقادیر SPI یکساله مربوط به ماه سپتامبر در ایستگاه‌های سینوپتیک، بررسی شد.

برای نقشه‌سازی خطر وقوع خشکسالی در سطح نواحی ساحلی و حوضه‌های آبریز بالادستی رویشگاه‌های مانگرو، تمامی مقادیر منفی SPI در طول دوره ۳۴ ساله با استفاده از رابطه ۱ با یکدیگر جمع شدند (Mafi-Gholami *et al.*, 2021) و بزرگی وقوع خشکسالی (Drought Magnitude) در هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب محاسبه شد:

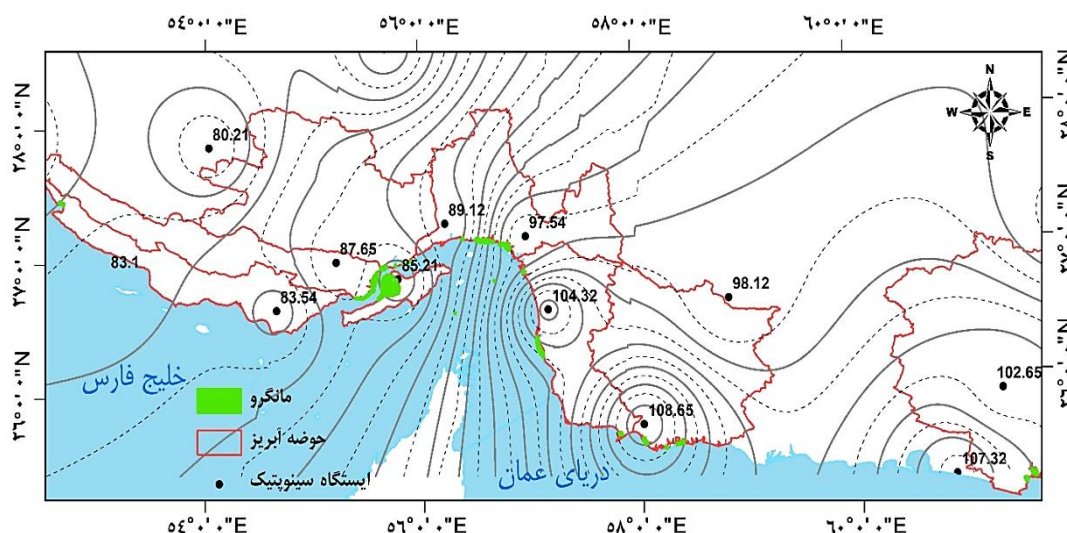
رابطه ۱

$$\text{Drought Magnitude} = -\left(\sum_{j=1}^x \text{SPI}_j\right)$$

از تصاویری استفاده شد که سطح آب دریا در حالت جزر قرار داشت و اصلاحات مورد نیاز برای تصاویر انجام شد. به طور کلی، با توجه به توان تفکیک تصاویر مورد استفاده و بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط Gilman و همکاران (۲۰۰۷)، Ellison و Zouh (۲۰۱۲) و Tran Thi و همکاران (۲۰۱۴)، لبه تاج پوشش بسته مانگروها به عنوان مرز رو به دریای این رویشگاهها در نظر گرفته شد. به منظور جداسازی پوشش گیاهی مانگروها از محیط پیرامون و ترسیم مرز رو به دریای این رویشگاهها، از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) که یکی از بهترین و کاربردیترین شاخصهای مورد استفاده در تفکیک مانگروها از سایر مناطق است، استفاده شد (Vo *et al.*, 2013; Mafi-Gholami *et al.*, 2020). تعیین نرخ پیشروی و پسروی مانگروها بر اساس اندازه‌گیری تغییرات موقعیت مرز رو به دریای مانگروها نسبت به یک خط مبنا در طی زمان است و آنچه که نمایان‌کننده این تغییرات است، مجموعه ترانسکت‌هایی است که از خط مبنا به صورت عمود بر مرز رو به دریای مانگروها، ترسیم می‌شوند. در این مطالعه مجموعه‌ای از ترانسکت‌ها که دارای فاصله ۳۰ متری از یکدیگر بودند، با استفاده از نرم‌افزار تجزیه و تحلیل رقومی خط ساحلی (Digital Shoreline Analysis System (DSAS)) نسبت به مرز رو به دریای مانگروها ترسیم شدند. خط مبنای مورد استفاده می‌تواند براساس نظر کاربر و یا از طریق ترسیم بافر برای خطوط مرزی مانگروها در یکی از سال‌های مورد نظر، ترسیم شود (Ellison and Zhou, 2012; Sarwar *et al.*, 2013). در این مطالعه ضمن در نظر گرفتن جهت کلی هر یک از رویشگاهها و نیز با استفاده از بافر ترسیم شده برای مرز مانگروها در تصاویر سال ۲۰۰۰، خط مبنای مورد استفاده به صورت دستی ترسیم گردید و ترانسکت‌ها به صورت عمود بر این خط مبنا ترسیم شدند. در این مطالعه برای برآورد دقیق نرخ پیشروی و پسروی مرز رو به دریای مانگروها، رویشگاههای نایبند، تیاب، و گواتر

توابع احتمالی مختلف، تابع توزیع احتمال ویبول (Weibul) برای تجزیه و تحلیل پیش‌بینی مقادیر احتمال وقوع سرعت‌های مختلف باد و در مناطق گوناگون بهترین کاربرد را دارد (Weisser, 2003; Suwarno *et al.*, 2021; Wang and Okaze, 2022). در این مطالعه نیز به منظور برآورد مقادیر احتمال وقوع هر یک از سرعت‌های مشخص باد از تابع ویبول استفاده شد. پس از محاسبه احتمال وقوع، برای هر یک از ایستگاه‌ها مقدار میانگین تمامی سرعت‌های باد بزرگتر و مساوی ۱۰/۸ متر بر ثانیه در طول دوره ۲۰ ساله محاسبه گردید و در احتمال وقوع محاسبه شده برای آن ایستگاه ضرب گردید. در نهایت با استفاده از مقادیر احتمال وقوع محاسبه شده برای هر یک از ایستگاهها و با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه فازی ریسک وزش بادهای مخرب در سطح رویشگاههای مورد مطالعه تهیه شد.

تهیه نقشه ریسک پیشروی و پسروی مانگروها در سطح رویشگاهها: به طور کلی، تجزیه و تحلیل مکانی یکی از ابزارهای مناسبی است که با شناسایی و سنجش تغییرات مرزهای مانگروها در طول زمان می‌تواند نقش مهمی را در برنامه‌ریزی و انجام اقدامات حفاظتی مؤثر و کاهش آسیب‌پذیری مانگروها نسبت به مخاطرات طبیعی و انسانی داشته باشد (Shearman *et al.*, 2013; Ellison and Zouh, 2010). بنابراین در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰ و نرم‌افزار ArcGIS برای تجزیه و تحلیل نرخ پیشروی و پسروی مرز رو به دریای مانگروها در رویشگاههای نایبند، تیاب، و گواتر در طول یک دوره ۳۵ ساله استفاده شد. انتخاب سال‌های مورد نظر براساس پراکنش مناسب در طول دوره زمانی بود (Ellison and Zouh, 2012). با توجه به اینکه وجود پوشش ابری سبب کاهش کیفیت تصاویر و ایجاد خطا در تشخیص پدیده‌های موجود در تصاویر می‌شود، بنابراین با بررسی تعداد زیادی از تصاویر موجود در آرشیو ماهواره لندست، تصاویر فاقد پوشش ابر استفاده شد. همچنین برای تعیین دقیق مرز مانگروها (تأثیر مد بر مانگروهای کوتاه قد)



شکل ۲- تغییرات مکانی بزرگی وقوع خشکسالی (محاسبه شده با استفاده از SPI) در سطح مناطق ساحلی

مرحله، نقشه در معرض قرار گرفتن (ریسک مخاطرات محیطی چندگانه) در سطح رویشگاه‌های مورد مطالعه با جمع خطی نقشه‌های استاندارد شده مخاطرات در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد (Mafi-Gholami et al., 2021).

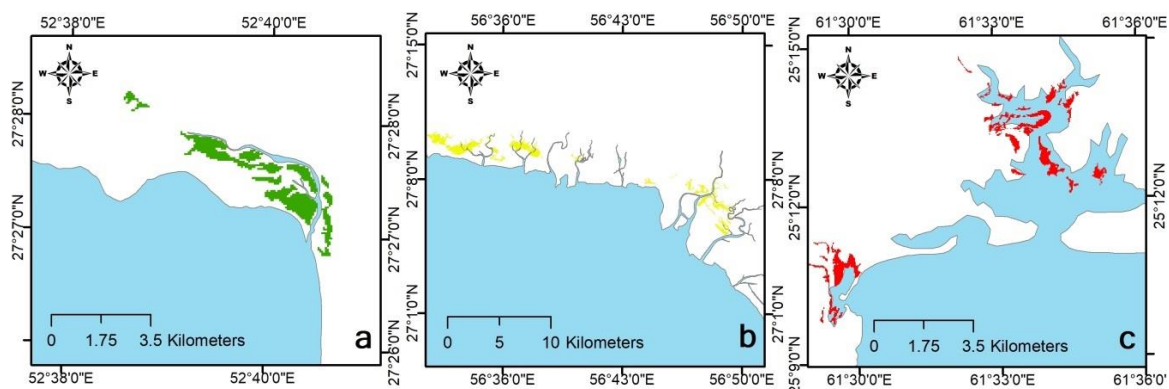
نتایج

محاسبه و نقشه‌سازی تغییرات بزرگی وقوع خشکسالی در سطح حوضه‌های آبریز بالادستی و نواحی ساحلی در برگرفته رویشگاه‌های مانگرو نشان داد که مقدار این متغیر از بخش غربی سواحل خلیج فارس (مانگروه‌های نایبند) به سمت سواحل دریای عمان (مانگروه‌های تیاب و گوآتر) به تدریج افزایش می‌یابد (شکل ۲).

بر اساس نتایج، رویشگاه گوآتر دارای بزرگ‌ترین مقدار بزرگی وقوع خشکسالی در طول دوره ۳۴ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۸) بود (مقدار بزرگی برابر با ۱۰۹/۸) و در مقابل کوچک‌ترین مقدار بزرگی وقوع خشکسالی در سطح مانگروه‌های نایبند (۸۱/۷) رخ داده است (شکل ۲). نتایج نقشه‌سازی فاری خطر وقوع خشکسالی در سطح رویشگاه‌های مانگرو مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که بیان شد، مقادیر خطر وزش بادهای مخرب با سرعت‌های بزرگتر و مساوی ۱۰/۸ متر بر ثانیه برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک مجاور رویشگاه‌های

به ترتیب در سطح ۳، ۷، و ۲ لکه رویشگاهی بررسی شدند. به طور کلی، محاسبه نرخ فرسایش و رسوب‌گذاری و یا همان پیشروی و پسروی با استفاده از روش‌های آماری مختلفی انجام می‌شود که از میان آن‌ها نرخ رگرسیون خطی (Linear Regression Rate: LRR)، به دلیل بررسی تغییرات خطوط ساحلی و مرز رو به دریای مانگروها در زمان‌های مختلف (بیش از ۲ دوره زمانی) بیشترین کاربرد را داشته است (Sarwar et al., 2013; Tran Thi et al., 2014; Mafi-Gholami and Baharlouii, 2019b). در این روش، نرخ متوسط پیشروی و پسروی مرز رو به دریای مانگروها براساس برازش خط رگرسیونی حداقل مربعات نسبت به موقعیت این مرز و خط مبنای سال ۲۰۰۰ برآورد می‌شود. مقادیر مثبت محاسبه شده، توسط تجزیه و تحلیل رقومی خط ساحلی نشان‌دهنده پیشروی و مقادیر منفی نشان‌دهنده پسروی مرز رو به دریای مانگروها در دوره زمانی مورد نظر است. پس از محاسبه نرخ پیشروی و پسروی مرز رو به دریای مانگروها با استفاده از روش آماری نرخ رگرسیون خطی برای هر یک از رویشگاه‌های نایبند، تیاب و گوآتر، نقشه فازی خطر پسروی (فرسایش) مرز رو به دریای مانگروها در سطح رویشگاه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد.

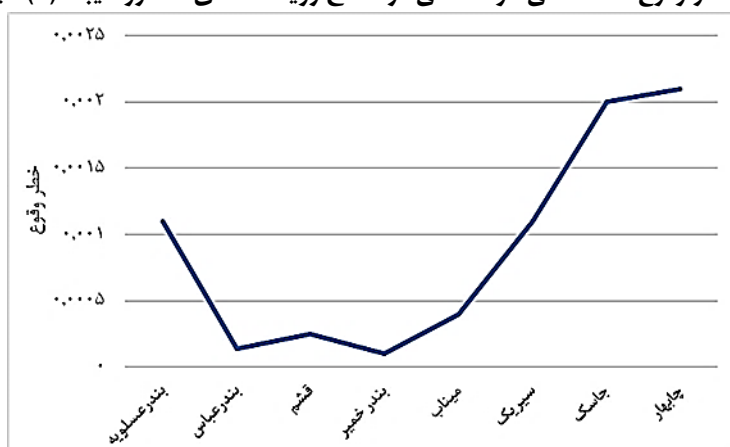
نقشه‌سازی در معرض قرار گرفتن مانگروها: در این



خطر وقوع خشکسالی هواشناسی



شکل ۳- نقشه فازی خطر وقوع خشکسالی هواشناسی در سطح رویشگاه‌های مانگرو نایبند (a)، تیاب (b) و گواتر (c)



شکل ۴- تغییرات خطر وقوع وزش بادهای مخرب در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در طول سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان

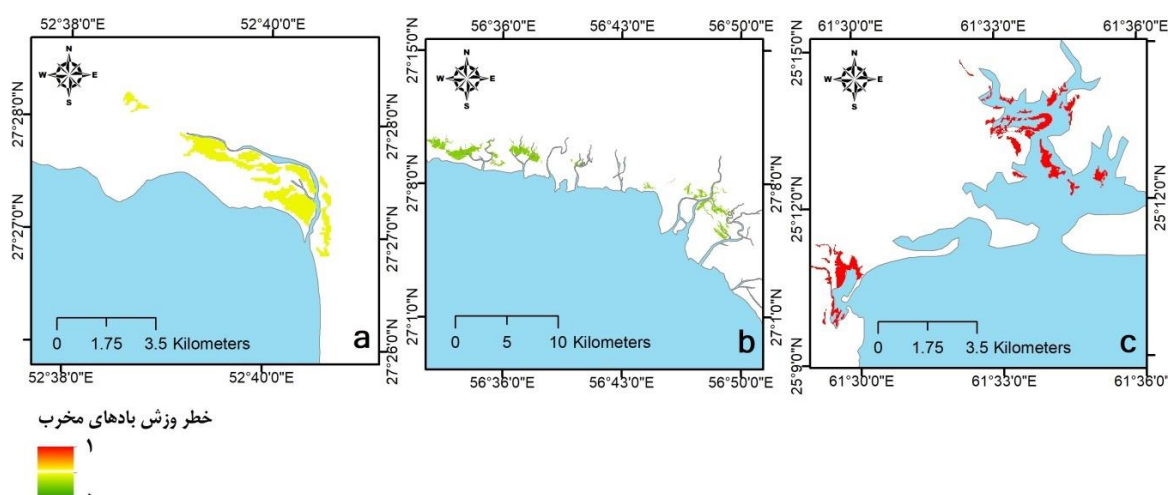
مانگروها از طریق ترسیم ترانسکت‌های عمود بر مرز رو به دریای استخراج شده از مانگروها در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰ و محاسبه نرخ رگرسیون خطی انجام شد. شکل ۶ نمونه مرزهای مستخرج مانگروها و ترانسکت‌های ترسیم شده برای برآورد میزان پسروری مانگروها در رویشگاه تیاب را نشان می‌دهد.

نتایج بررسی نرخ پسروری و پیشروی مرز رو به دریای مانگروها نشان داد که در سطح هر یک از رویشگاه‌ها، نرخ‌های متفاوتی از پسروری (فرسایش) و پیشروی (رسوب‌گذاری) در طول دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰) رخ داده است (جدول ۱). بر اساس نتایج جدول ۱، متوسط نرخ پیشروی و پسروری در رویشگاه نایبند در طول دوره مورد مطالعه برابر با ۰/۰۹- متر در سال بوده است که نشان‌دهنده

مانگرو محاسبه شد. بر اساس نتایج، دامنه تغییرات خطر وزش بادهای مخرب در سطح ایستگاه‌های سینوپتیک و رویشگاه‌های مجاور آن‌ها از ۰/۰۱۰ تا ۰/۰۲۸ متغیر است و با حرکت از سواحل خلیج فارس به سمت سواحل دریای عمان بر ریسک وزش بادهای مخرب افزوده می‌شود؛ چنان‌که رویشگاه گواتر در سواحل دریای عمان در معرض بیشترین ریسک وزش بادهای مخرب قرار دارد (شکل ۴). نتایج نقشه‌سازی فازی خطر وزش بادهای مخرب در سطح رویشگاه‌های مانگرو مورد مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است بر اساس مقادیر خطر محاسبه شده برای وزش بادهای مخرب، قرارگیری مانگروهای مورد مطالعه در معرض وقوع این مخاطره محیطی در مانگروهای گواتر بیشتر از مانگروهای نایبند و تیاب است. محاسبه نرخ پسروری

جدول ۱ - تغییرات نرخ پسروری مرز رو به دریای مانگروها در سطح رویشگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰)

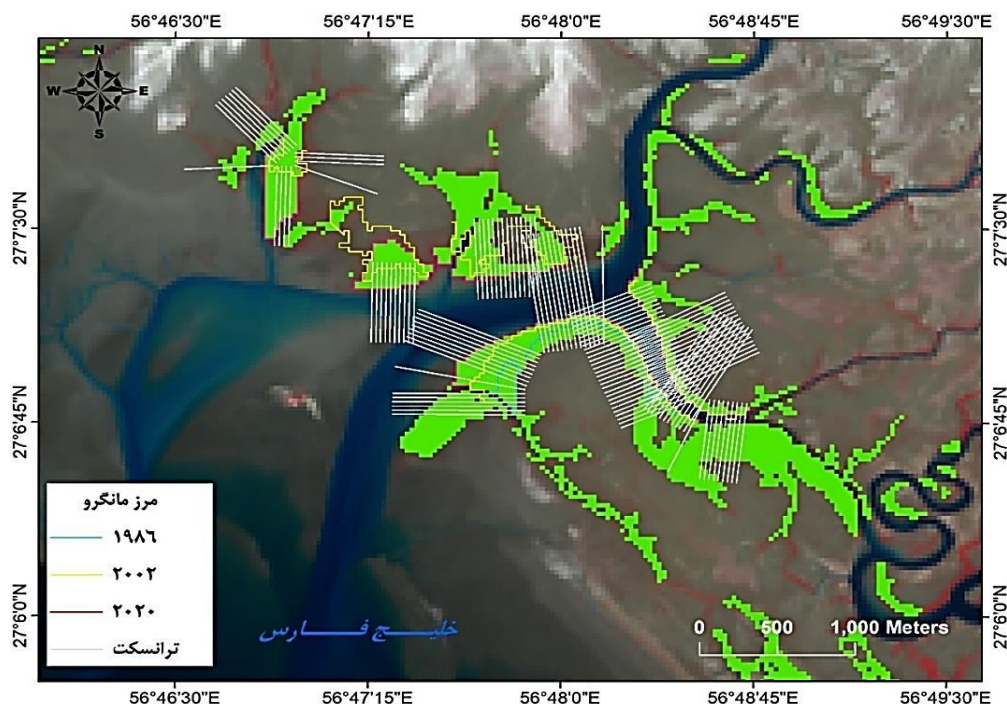
رویشگاه	شماره لکه	متوسط نرخ پسروری	متوسط نرخ پسروری	متوسط نرخ پسروری و پسروری
نابیند	۱	-۰/۲۳	-۰/۱۰۷	-۰/۰۹
	۲	-۰/۳۰	-۰/۱۰۲	
	۳	-۰/۳۲	-۰/۰۹۹	
تیاب	۱	-۰/۳۱	-۰/۰۸۹	-۰/۲۳
	۲	-۰/۳۶	-۰/۰۱۴۲	
	۳	-۰/۴۶	-۰/۰۱۸۲	
	۴	-۰/۴۹	-۰/۰۸۱	
	۵	-۰/۵۶	-۰/۰۱۶	
	۶	-۰/۸	-۰/۱۰۹	
	۷	-۰/۷۱	-۰/۱۰۱	
گوآتر	۱	-۰/۶۴	-۰/۰۱۴	-۰/۳۵
	۲	-۰/۸۲	-۰/۰۳۶	



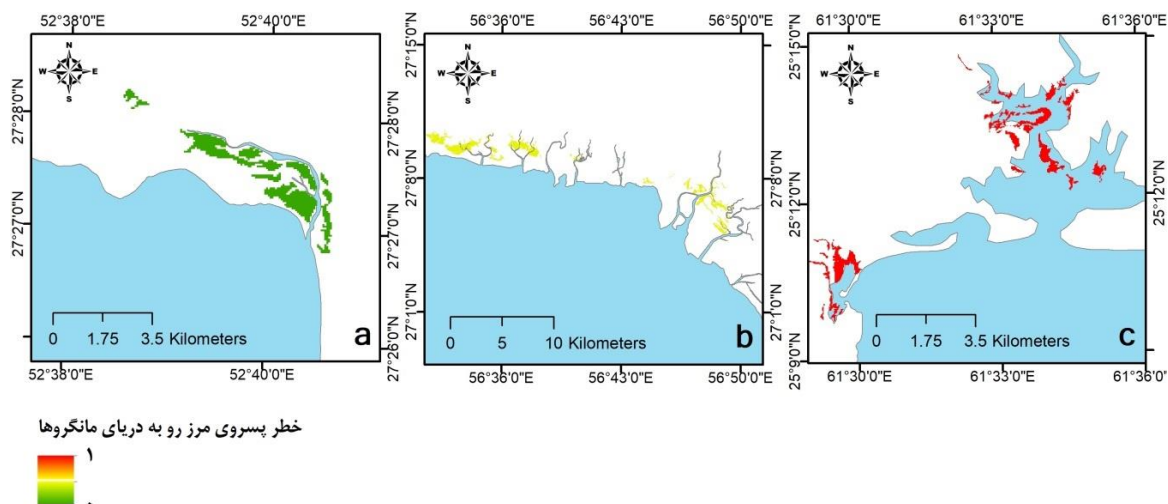
شکل ۵- نقشه فازی خطر وزش بادهای مخرب در سطح رویشگاه‌های مانگرو نابیند (a)، تیاب (b) و گوآتر (c)

۰/۲۳- متر در سال است که نشان‌دهنده فرسایش و پسروری این رویشگاه در طول دوره ۳۵ ساله است. نتایج برآورد پسروری و پسروری در لکه‌های رویشی رویشگاه تیاب نیز نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار نرخ پسروری (فرسایش) در این رویشگاه به ترتیب برابر با ۰/۳۱- متر در سال و ۰/۸۰- متر در سال و کمترین و بیشترین مقدار نرخ پسروری (رسوب‌گذاری) نیز به ترتیب برابر با ۰/۱۶+ متر در سال و ۰/۱۰۹+ متر در سال بود. همچنین محاسبه نرخ پسروری و پسروری مرز رو به دریا در رویشگاه گوآتر نشان داد که متوسط نرخ این دو متغیر در این رویشگاه برابر با

غالب بودن فرآیند پسروری (فرسایش) در این رویشگاه است. نتایج برآورد نرخ پسروری و پسروری در لکه‌های رویشی رویشگاه نابیند نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار نرخ پسروری به ترتیب برابر با ۰/۲۳- متر در سال و ۰/۳۲- متر در سال و کمترین و بیشترین مقدار نرخ پسروری نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۹۹+ و ۰/۱۰۷+ متر در سال بود. برآورد نرخ پسروری و پسروری در رویشگاه تیاب در طول دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰) نشان داد که بر اساس متوسط نرخ پسروری و پسروری محاسبه شده در سطح لکه‌های رویشگاهی، متوسط نرخ پسروری و پسروری مرز رو به دریا در این رویشگاه برابر با



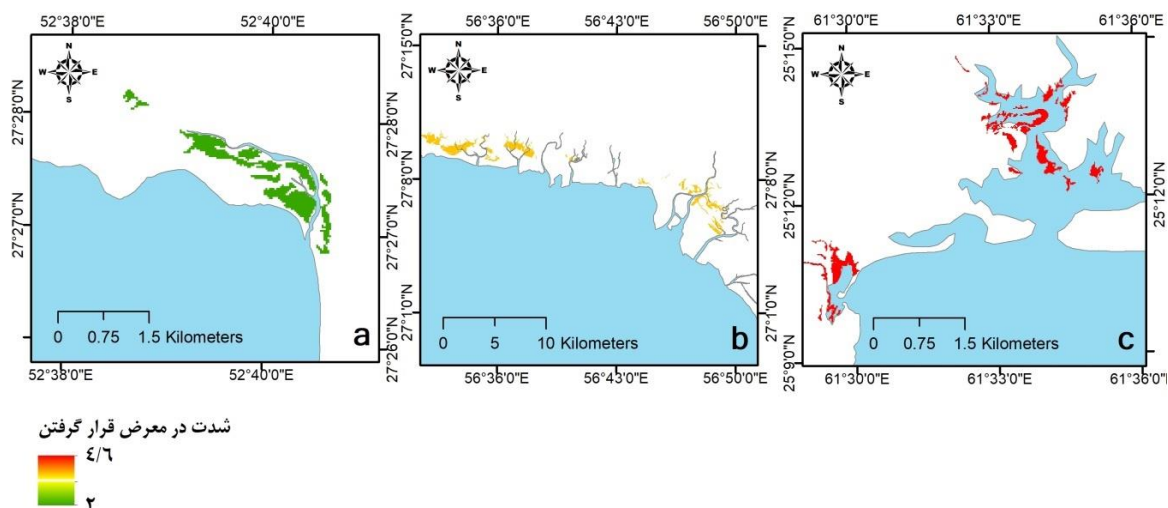
شکل ۶- ترانسکت‌ها و مرزهای مستخرج رو به دریای مانگروها در رویشگاه تیاب



شکل ۷- نقشه فازی خطر پسروی مرز رو به دریای مانگروها در سطح رویشگاه‌های مانگرو نایبند (a)، تیاب (b) و گواتر (c)

نرخ پسروی مرز رو به دریا را در میان رویشگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰) داشتند (به ترتیب با متوسط نرخ پسروی برابر با ۰/۳۵- متر در سال و ۰/۰۹- متر در سال). نتایج نقشه‌سازی فازی خطر پسروی مرز رو به دریای مانگروها در سطح رویشگاه‌های مانگرو مورد مطالعه بر اساس مقادیر LRR (جدول ۱)، در شکل ۷ نشان داده شده است. شکل ۸، تلفیق نقشه‌های مخاطرات محیطی و تهیه نقشه قرار گرفتن رویشگاه‌ها در معرض وقوع

۰/۳۵- متر در سال در طول دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۰) بود که نشان‌دهنده غالب بودن فرآیند پسروی (فرسایش) در این رویشگاه در طول این دوره بود. همان‌طور که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، نرخ پسروی مرز رو به دریای مانگروها در رویشگاه‌های مورد مطالعه از سواحل خلیج فارس به سمت سواحل دریای عمان افزایش می‌یابد؛ چنان‌که رویشگاه گواتر (در شرقی‌ترین سواحل دریای عمان) و نایبند (در سواحل غربی خلیج فارس) به ترتیب بیشترین و کمترین



شکل ۸- سطح قرارگیری رویشگاه‌های مانگرو در معرض وقوع مخاطرات محیطی چندگانه (نابیند (a)، تیاب (b) و گوآتر (c))

تغییرات رخ داده در ساختار و عملکرد این رویشگاه‌ها در پاسخ به وقوع این پدیده نامطلوب ناشی از تغییرات اقلیمی را شناسایی نمود. نتایج حاصل از شناخت می‌تواند ضمن کمک به موفقیت برنامه‌های حفاظت و توسعه رویشگاه‌های مانگرو و به‌عنوان بخشی از فرآیند مدیریت یکپارچه ناحیه، به رفع نیازمندی‌های مدیریتی، سازمانی و قانونی کمک نماید (Gilman *et al.*, 2007; Eslami-Aandargoli *et al.*, 2009). نتایج نشان داد که در سواحل دریای عمان در مقایسه با سواحل خلیج فارس، کاهش مقادیر بارندگی و وقوع خشکسالی‌ها از شدت بیشتری برخوردار بوده است. پژوهش‌های Mafi-Gholami و همکاران (۲۰۱۹a) و (۲۰۲۰) نشان داد که وقوع خشکسالی‌های بلندمدت در سال‌های اخیر سبب کاهش گستره، تاج پوشش، توان تولیدی و سطح سلامت مانگروهای ایران در سواحل خلیج فارس و دریای عمان شده است. این در حالی است که برخی پیش‌بینی‌ها بیانگر کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی‌های شدیدتر در منطقه خاورمیانه در دهه‌های آینده هستند (Solomon *et al.*, 2007) که می‌تواند سبب افزایش سطح در معرض قرارگرفتن و آسیب‌پذیری مانگروهای سواحل جنوب ایران نسبت به مخاطرات محیطی چندگانه در آینده شود. علاوه بر وقوع خشکسالی، افزایش حدود ۳/۲ درجه‌ای دما در سواحل جنوب ایران (Etemadi *et al.*, 2016) تا

مخاطرات محیطی چندگانه را نشان می‌دهد. براساس نتایج، مقدار این نمایه از ۲ تا ۴/۶ در سطح رویشگاه‌های مورد مطالعه متغیر است. بر این اساس، رویشگاه‌های نابیند و گوآتر در سواحل خلیج فارس و دریای عمان به‌ترتیب در معرض کمترین و بیشترین شدت وقوع مخاطرات محیطی قرار دارند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، نقشه قرار گرفتن رویشگاه‌های نابیند، تیاب و گوآتر در معرض وقوع سه نوع مخاطره محیطی شامل خشکسالی هواشناسی، بادهای مخرب و پسروری مرز رو به دریای مانگروها تهیه شد. نتایج نشان داد که مانگروهای واقع در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان در معرض طیفی از خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید در دهه‌های اخیر قرار گرفته است. این در حالی است که به‌دلیل رابطه بسیار نزدیکی که میان شرایط رویشگاهی مانگروها و وقوع بارندگی وجود دارد؛ هر گونه تغییر در الگوهای بارندگی و جریانات آبی سطحی حوضه‌های آبریز بالادستی تأثیر قابل توجهی بر رشد و پراکنش مکانی مانگروها خواهد داشت (Field, 1995; Ellison, 2015). در واقع با تجزیه و تحلیل و پهنه‌بندی شدت وقوع خشکسالی در سطح رویشگاه‌های مانگرو می‌توان ضمن شناسایی رویشگاه‌هایی که در معرض بیشترین شدت وقوع خشکسالی قرار دارند،

پایان قرن ۲۱ می‌تواند از طریق افزایش تبخیر و تعرق در سطح نواحی ساحلی سبب تشدید اثرات نامطلوب ناشی از وقوع خشکسالی بر مانگروهای سواحل جنوب ایران شود. بر این اساس، شدت در معرض قرارگیری رویشگاه‌های مانگرو ایران در آینده تحت تأثیر پیامدهای نامطلوب ناشی از تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت که سبب ایجاد طیفی از درجات آسیب‌پذیری در این رویشگاه‌ها خواهد شد. پژوهش‌های آینده می‌توانند با پیش‌بینی شدت وقوع خشکسالی و افزایش دما در آینده در سطح مانگروهای ایران، ضمن پیش‌بینی میزان قرارگیری این رویشگاه‌ها در معرض مخاطرات ناشی از تغییر اقلیم، سطح آسیب‌پذیری این اکوسیستم‌ها را در آینده بررسی کنند. تحت تأثیر وقوع طوفان‌ها و تندبادها، صدمات گوناگونی با شدت‌های مختلف بر رویشگاه‌های مانگرو وارد می‌آید؛ تا جایی که در اثر وقوع طوفان‌های شدید، رویشگاه‌های مانگرو دچار مرگ گروهی و یا لکه‌ای درختان و نهال‌ها می‌شوند (Jiang et al., 2014). نتایج محاسبه فراوانی وقوع وزش بادهای با سرعت بزرگتر و مساوی ۱۰/۸ متر بر ثانیه با استفاده از تابع ویبول نشان داد که احتمال وقوع وزش بادهایی با این سرعت از سواحل خلیج فارس به سمت سواحل دریای عمان، دارای روند کلی افزایش تدریجی است؛ به نحوی که در ایستگاه سینوپتیک چابهار، بالاترین خطر وقوع وزش بادهای با سرعت بزرگتر و مساوی ۱۰/۸ متر بر ثانیه در بین ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی مشاهده شد. در واقع، این نتایج نشان می‌دهد که در آب‌های کرانه‌ای دریای عمان، بادهای با سرعت بزرگتر از ۱۰/۸ متر بر ثانیه با فراوانی بیشتری نسبت به آب‌های کرانه‌ای خلیج فارس می‌وزند و این امر سبب شده تا رویشگاه گواتر در معرض بیشترین خطر وقوع وزش این بادهای مخرب قرار گیرد که بر افزایش آسیب‌پذیری این رویشگاه نسبت به وقوع سایر تنش‌ها و آشفستگی‌های محیطی اثرگذار خواهد بود. مطالعات انجام شده در سطح بین‌الملل و در سایر رویشگاه‌های مانگرو جهان نیز نشان داد که رژیم‌های بادی پرسرعت در طول یک دوره طولانی مدت و به صورت تنشی

مزم، با ایجاد تغییرات ریخت‌شناختی نامطلوب و نیز ایجاد تفاوت‌های درون گونه‌ای در جوامع درختی، اثرات مخربی را بر ساختار و فرآیندهای اکولوژیک این رویشگاه‌ها وارد نموده‌اند (Doyle and Girod, 1997; Lagomasino et al., 2021; Vizcaya-Martínez et al., 2022). علاوه بر اثرات مخرب ناشی از وزش تندبادها در بلندمدت بر رویشگاه‌های مانگرو، مطالعات مختلف نشان می‌دهد که وقوع طوفان (با سرعت‌های بیشتر از ۳۰ متر بر ثانیه) سبب تخریب گسترده در مانگروها شده و تغییرات ساختاری و عملکردی نامطلوبی را در این رویشگاه ایجاد می‌کند؛ به طوری که بازیابی و احیای مجدد این گونه‌های گیاهی نیازمند گذشت دوره‌های طولانی (تا حدود ۱۰ سال) پس از وقوع این رویداد مخرب اقلیمی است (Smith et al., 2016; Long et al., 2009). بنابراین بررسی دقیق‌تر ریسک وزش بادهای مخرب بر رویشگاه‌های مانگرو نیازمند تلفیق نتایج حاصل از بررسی ریسک بلندمدت و مقطعی وزش بادهای پرسرعت و مخرب در سطح رویشگاه‌های مانگرو خواهد بود. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات آینده، نقشه‌سازی ریسک قرارگیری مانگروهای ایران در معرض وزش بادهای مخرب با توجه به بررسی احتمال و شدت وقوع بادهای طوفانی در سطح سواحل خلیج فارس و دریای عمان صورت گیرد؛ چرا که پیش‌بینی‌های موجود در زمینه پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم نشان‌دهنده افزایش سرعت و احتمال وقوع بادهای پرسرعت و مخرب در سطح نواحی ساحلی جهان است (Solomon et al., 2007) و این امر در آینده می‌تواند اثرات وزش بادهای مخرب بر رویشگاه‌های مانگرو ایران را (به‌ویژه در سواحل دریای عمان) تشدید نموده و میزان تاب‌آوری این اکوسیستم را نسبت به مخاطرات محیطی گوناگون کاهش دهد.

نتایج این تحقیق نشان داد که رویشگاه‌های مانگرو مورد مطالعه، با توجه به وضعیت دینامیک سواحل، دارای نرخ پیشروی و پسروی گوناگونی هستند. بر اساس نتایج، متوسط نرخ فرسایش و یا پسروی در رویشگاه‌های مانگرو مورد

Von Storch *et al.*, 2009; Etemadi *et al.*, 2016;)
 که سبب افزایش نرخ از بین رفتن و
 تبدیل اکوسیستم‌های مانگرو و جایگزین شدن آن‌ها با سایر
 اکوسیستم‌های ساحلی (همانند علفزارهای شورپسند) در
 مناطق گوناگون جهان خواهد شد (Lovelock *et al.*,
 2015; Mafi-Gholami *et al.*, 2020). در سواحل شمالی
 خلیج فارس و دریای عمان نیز این افزایش شدت وقوع
 مخاطرات در آینده پیش‌بینی شده است (Barlow *et al.*,
 2016; Mafi-Gholami *et al.*, 2019) که در زمینه
 تغییرات مقادیر بارندگی و وقوع خشکسالی در انطباق با
 بدبینانه‌ترین سناریوی اقلیمی (RCP 8.5) است (شدت آن
 در سواحل دریای عمان بیشتر خواهد بود) (Mafi-Ghlami
et al., 2020). این افزایش شدت و احتمال وقوع مخاطرات
 محیطی سبب افزایش در معرض قرار گرفتن و تشدید
 آسیب‌پذیری مانگروهای سواحل شمالی خلیج فارس و
 دریای عمان در آینده خواهد شد که سطح بالاتری از
 آسیب‌پذیری را برای مانگروهای سواحل دریای عمان نسبت
 به مانگروها سواحل خلیج فارس ایجاد خواهد نمود. بر این
 اساس، پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات تکمیلی آینده خطر
 بالا آمدن سطح آب دریا نیز در معرض قرار گرفتن
 مانگروهای ایران مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس مطالعات
 موجود، عواملی مانند کاهش حجم آب شیرین ورودی به
 سواحل در اثر تغییرات کاربری/پوشش اراضی حوضه‌های
 آبریز بالادستی مانگروها نیز از طریق کاهش مقدار مواد
 مغذی ورودی به ساحل و افزایش شوری و سولفات در بستر
 مانگروها نقش قابل ملاحظه‌ای در تعیین گستره و توان
 تولیدی مانگروها دارد (Bazrafshan *et al.*, 2016;)
 (Pirasteh *et al.*, 2021). این در حالی است که مطالعات
 موجود نشان‌دهنده تغییرات نامطلوب در کاربری/پوشش
 اراضی حوضه‌های آبریز بالادست مانگروها در سواحل
 شمالی خلیج فارس و دریای عمان است که سبب بر هم
 خوردن رژیم هیدرولوژیک و کاهش حجم و زمان‌بندی مقدار
 آب شیرین ورودی به این سواحل در گذشته شده است

مطالعه از ۰/۰۹- متر در سال در رویشگاه نایبند تا ۰/۳۵-
 در رویشگاه گواتر متغیر بود. این نتایج با نتایج حاصل از
 تحقیقات مشابه انجام شده در مانگروهای سایر مناطق جهان
 قابل مقایسه است. نتیجه مطالعه انجام شده توسط Ellison
 و Zouh (۲۰۱۲) روی مانگروها در کامرون نشان داده که
 در یک دوره ۳۲ ساله (۱۹۷۵-۲۰۰۷)، مانگروهای این
 منطقه دارای میانگین نرخ پسروری ۳- متر در سال بودند. در
 مطالعه انجام شده توسط Tran Thi و همکاران (۲۰۱۴)،
 میانگین نرخ پسروری مانگروهای ویتنام و در طول یک دوره
 ۵۱ ساله (۲۰۱۱-۱۹۵۳) برابر با ۳۳/۲۴- متر در سال برآورد
 شد. این نتایج نشان‌دهنده نرخ پسروری کمتر مانگروهای
 مورد مطالعه در سواحل خلیج فارس و دریای عمان در
 مقایسه با مانگروهای مطالعه شده در سایر مناطق جهان
 است. البته وجود دینامیک رسوبی متفاوت در محیط ساحلی
 و نیز وجود سایر عوامل ایجادکننده فرسایش مانند احداث
 تأسیسات و سازه‌های ساحلی، مسائل اقتصادی و اجتماعی و
 نیز خصوصیات اقلیمی مناطق گوناگون می‌تواند از دلایل
 عمده ایجاد تفاوت در پسروری مناطق گوناگون باشد.

نتایج نقشه‌سازی و تلفیق خطر وقوع سه نوع مخاطره
 محیطی شامل خشکسالی هواشناسی، تندباد و پسروری مرز
 رو به دریا در سطح رویشگاه‌های مانگرو مورد مطالعه در
 طول سواحل خلیج فارس و دریای عمان نشان داد که میزان
 قرارگیری در معرض مخاطرات چندگانه از سواحل خلیج
 فارس به سمت سواحل دریای عمان افزایش می‌یابد. در واقع
 نتایج نشان داد که شدت وقوع سه مخاطره خشکسالی
 هواشناسی، تندباد و پسروری مرز رو به دریای مانگروها از
 سواحل خلیج فارس به سمت سواحل دریای عمان افزایش
 می‌یابد؛ به نحوی که مقدار نمایه در معرض قرار گرفتن در
 مانگروهای گواتر (سواحل دریای عمان) به حداکثر مقدار
 خود می‌رسد. این در حالی است که مطالعات موجود،
 نشان‌دهنده افزایش شدت وقوع مخاطرات ناشی از تغییر اقلیم
 همانند طوفان‌ها، خشکسالی‌ها و بالا آمدن سطح آب دریا در
 سطح جهان؛ به‌ویژه در عرض‌های جغرافیایی پایین است

شدت بالای خشکسالی در سطح حوضه‌های آبریز بالادستی رویشگاه‌های مانگرو (کاهش حجم آب شیرین ورودی به سواحل) و نیز پسروری مرز رو به دریای مانگروها (فرسایش بستر)، راهبردهای مدیریتی و طرح‌های سازگاری در این رویشگاه‌ها باید با تمرکز بر فعالیت‌های انسانی در سطح حوضه‌های آبریز بالادستی مانگروها به‌منظور محدود نمودن این فعالیت‌ها و جلوگیری از تغییرات کاربری/پوشش اراضی این حوضه‌ها تنظیم شود. این راهبردها با هدف حفظ مقادیر کافی از حجم رواناب سطحی و رسوبات ورودی به محیط مانگروها و حفظ همگامی این رویشگاه‌ها با بالا آمدن تراز آب دریا است. هر چند که وقوع پسروری مرز رو به دریای مانگروهای نایبند، تیاب و گواتر نشان‌دهنده عدم همگامی آن‌ها با نرخ فعلی بالا آمدن تراز آب دریا است (به‌ویژه در مانگروهای گواتر)، اما توان این رویشگاه‌ها در مهاجرت به سمت اراضی بالادست در مواجهه با بالا آمدن تراز آب دریا نیز نامشخص است. بر این اساس، برنامه‌ریزی و منطقه‌بندی کاربری اراضی در سطح ناحیه ساحلی کشور باید بر مبنای وضع قوانینی انجام شود که مانع از توسعه و استقرار زیرساخت‌ها و تأسیسات در اراضی بالادستی مجاور رویشگاه‌های مانگروها شوند.

سپاسگزاری

این مطالعه بخشی از نتایج طرح پژوهشی به‌شماره ۹۸۰۲۱۵۸۴ است که با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور اجرا شده است. بدین‌وسیله نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌کنند.

References

Adger, W.N., de Campos, R.S., Mortreux, C., 2018. Mobility, displacement and migration, and their interactions with vulnerability and adaptation to environmental risks. In *Routledge handbook of environmental displacement and migration*. pp: 29-41. Routledge.

Alongi, D.M., 2015. The impact of climate

change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports* 1(1), 30-39.

Balteiro, L.D., Romero, C., 2008. Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment. *Forest Ecology and Management* 255, 3222-3241.

Barlow, M., Zaitchik, B., Paz, S., Black, E., Evans, J., Hoell, A., 2016. A review of

(Mafi-Gholami *et al.*, 2020). بر این اساس، مطالعات آینده تأثیر تغییرات رخ داده در مقدار آب شیرین ورودی بر ساختار و توان تولیدی مانگروهای مورد مطالعه نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های محاسبه نمایه در معرض قرار گرفتن مانگروهای ایران مورد توجه قرار گیرد. از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به استفاده از تصاویر ماهواره لندست با توان تفکیک 30×30 متر برای محاسبه نرخ پسروری مرز رو به دریای مانگروها اشاره نمود که این امر می‌تواند از دقت نتایج برآورد شده بکاهد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات آینده با دسترسی به تصاویر با توان تفکیک بالاتر (همانند تصاویر ماهواره‌ای کوئیک برد و یا تصاویر پهپاد) اقدام به پایش و برآورد نرخ تغییرات مرز رو به دریای مانگروها در رویشگاه‌های مختلف نمود. ارزیابی آسیب‌پذیری مانگروها از طریق شناسایی و نقشه‌سازی تنش‌های چندگانه و تلفیق آن با درجه حساسیت و توان سازگاری این رویشگاه‌ها نقش مهمی در تنظیم راهبردهای مدیریتی و برنامه‌ریزی مؤثر برای حفاظت و توسعه این رویشگاه‌ها دارد (Ellison, 2015).

مطالعه حاضر به‌عنوان نخستین قدم در اجرای فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری مانگروهای ایران بر بعد در معرض قرار گرفتن رویشگاه مانگرو متمرکز گردید. پیشنهاد می‌گردد تا در مطالعات آینده، اجرای فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری این رویشگاه‌ها با تلفیق دو بعد حساسیت (درجه‌ای که مانگروها در مواجهه با یک مخاطره تحت تأثیر قرار گرفته یا دچار تغییر می‌شوند) و توان سازشی (محدوده‌ها و حدود آستانه وقوع مخاطرات محیطی که مانگروها توان بازایی در برابر آن را دارند) انجام شود. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر مبنی بر

change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports* 1(1), 30-39.

Balteiro, L.D., Romero, C., 2008. Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment. *Forest Ecology and Management* 255, 3222-3241.

Barlow, M., Zaitchik, B., Paz, S., Black, E., Evans, J., Hoell, A., 2016. A review of

- drought in the Middle East and southwest Asia. *Journal of Climate* 29(23), 8547-8574.
- Bazrafshan, A., Ahmadi, S., Khorani, A., 2016. Effects of Runoff and Sediment from Upland Catchment on Mangrove Forests Area (Case Study: Gabric-Hormozgan). *Environmental Erosion Research Journal* 6(1), 88-102.
- Cinco-Castro, S., Herrera-Silveira, J., 2020. Vulnerability of mangrove ecosystems to climate change effects: The case of the Yucatan Peninsula. *Ocean & Coastal Management* 192, 105196.
- Danehkar, A., 2001. Mangroves forests zonation in Gaz and Harra international wetlands. *The Environment Science Quarterly Journal* 34, 43-49.
- Danehkar, A., Mahmoudi, B., Hashemi, A., 2016. Mangrove forest management and development plan of Hormozgan province, Hormozgan province general directorate of natural resources. 243 p. (In Persian)
- Das, S., Crépin, A.S., 2013. Mangroves can provide protection against wind damage during storms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 134, 98-107.
- Doyle, T.W., Girod, G.F., 1997. The frequency and intensity of Atlantic hurricanes and their influence on the structure of south Florida mangrove communities. In *Hurricanes*. pp: 109-120. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ellison, J.C., 2015. Vulnerability assessment of mangroves to climate change and sea-level rise impacts. *Wetlands Ecology and Management* 23(2), 115-137.
- Ellison, J.C., Zouh, I., 2012. Vulnerability to climate change of mangroves: assessment from Cameroon, Central Africa. *Biology* 1(3), 617-638.
- Elsaraiti, M., Merabet, A., 2021. A comparative analysis of the arima and lstm predictive models and their effectiveness for predicting wind speed. *Energies* 14(20), 6782.
- Eslami-Andargoli, L., Dale, P.E.R., Sipe, N., Chaseling, J., 2009. Mangrove expansion and rainfall patterns in Moreton Bay, southeast Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85(2), 292-298.
- Etemadi, H., Samadi, S.Z., Sharifikia, M., Smoak, J.M., 2016. Assessment of climate change downscaling and non-stationarity on the spatial pattern of a mangrove ecosystem in an arid coastal region of southern Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 126(1), 35-49.
- Gilman, E. Ellison, J. Sauni, I., Tuaumu, S., 2007. Trends in surface elevations of American Samoa mangroves. *Wetlands Ecology and Management* 15(5), 391-404.
- Halpern, B.S., Selkoe, K.A., Micheli, F., Kappel, C.V., 2007. Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. *Conservation Biology* 21(5), 1301-1315.
- Jiang, J., DeAngelis, D.L., Anderson, G.H., Smith, T.J., 2014. Analysis and simulation of propagule dispersal and salinity intrusion from storm surge on the movement of a marsh-mangrove ecotone in South Florida. *Estuaries and Coasts* 37(1), 24-35.
- Karsli, V.M., Gecit, C., 2003. An investigation on wind power potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey. *Renewable Energy* 28(5), 823-830.
- Lagomasino, D., Fatoyinbo, T., Castañeda-Moya, E., Cook, B.D., Montesano, P. M., Neigh, C.S., Morton, D.C., 2021. Storm surge and ponding explain mangrove dieback in southwest Florida following Hurricane Irma. *Nature Communications* 12(1), 1-8.
- Long, J., Giri, C., Primavera, J., Trivedi, M., 2016. Damage and recovery assessment of the Philippines' mangroves following Super Typhoon Haiyan. *Marine Pollution Bulletin* 109(2), 734-743.
- Lovelock, C.E., Cahoon, D.R., Friess, D.A., Guntenspergen, G.R., Krauss, K.W., Reef, R., Triet, T., 2015. The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature* 526(7574), 559-563.
- Mafi-Gholami, D., Pirasteh, S., Ellison, J.C., Jaafari, A., 2021. Fuzzy-based vulnerability assessment of coupled social-ecological systems to multiple environmental hazards and climate change. *Journal of Environmental Management* 299, 113573.
- Mafi-Gholami, D., Zenner, E.K., Jaafari, A., Bui, D.T., 2020. Spatially explicit predictions of changes in the extent of mangroves of Iran at the end of the 21st century. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 237, 106644.
- Mafi-Gholami, D., Zenner, E.K., Jaafari, A., Ward, R.D., 2019. Modeling multi-decadal mangrove leaf area index in response to drought along the semi-arid southern coasts of Iran. *Science of the Total Environment* 656, 1326-1336.
- Mafi-Gholami, D., Baharlouii, M., 2019. Monitoring long-term mangrove shoreline changes along the northern coasts of the Persian Gulf and the Oman Sea. *Emerging Science Journal* 3(2), 88-100.
- Mahendra, R.S., Mohanty, P.C., Bisoyi, H., Kumar, T.S., Nayak, S., 2011. Assessment

- and management of coastal multi-hazard vulnerability along the Cuddalore-Villupuram, east coast of India using geospatial techniques. *Ocean & Coastal Management* 54(4), 302-311.
- Pirasteh, S., Zenner, E.K., Mafi-Gholami, D., Jaafari, A., Kamari, A.N., Liu, G., Li, J., 2021. Modeling mangrove responses to multi-decadal climate change and anthropogenic impacts using a long-term time series of satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 102, 102390.
- Safiari, S. H., 2016. Mangrove forests in Iran. *Nature of Iran* 2(2), 42-57. (In Persian)
- Sarwar, M., Mahabub, G., Woodroffe, C.D., 2013. Rates of shoreline change along the coast of Bangladesh. *Journal of Coastal Conservation* 17(3), 515-526.
- Shearman, P., Bryan, J., Walsh, J.P., 2013. Trends in deltaic change over three decades in the Asia-Pacific region. *Journal of Coastal Research* 29(5), 1169-1183.
- Smith, T.J., Anderson, G.H., Balentine, K., Tiling, G., Ward, G.A., Whelan, K.R., 2009. Cumulative impacts of hurricanes on Florida mangrove ecosystems: sediment deposition, storm surges and vegetation. *Wetlands* 29(1), 24-34.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Averyt, K., Marquis, M. (Eds.), 2007. *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4)*. Cambridge University Press.
- Suwarno, I.Y., Irwanto, M., Hiendro, A., 2021. Analysis of wind speed characteristics using different distribution models in Medan City, Indonesia. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems* 2088(8694), 1103.
- Tamassoki, E., Soleymani, Z., Bahrami, F., Abbasgharemani, H., 2014. A survey of drought and variation of vegetation by statistical indexes and remote sensing (Case study: Jahad forest in Bandar Abbas). In *IOP conference series: Earth and Environmental Science* 20(1), 012033. IOP Publishing.
- Telewski, F.W., 2006. A unified hypothesis of mechanoperception in plants. *American Journal of Botany* 93(10), 1466-1476.
- Tran Thi, V., Tien Thi Xuan, A., Phan Nguyen, H., Dahdouh-Guebas, F., Koedam, N., 2014. Application of remote sensing and GIS for detection of long-term mangrove shoreline changes in Mui Ca Mau, Vietnam. *Biogeosciences* 11(14), 3781-3795.
- Vizcaya-Martínez, D.A., Flores-de-Santiago, F., Valderrama-Landeros, L., Serrano, D., Rodríguez-Sobreyra, R., Álvarez-Sánchez, L.F., Flores-Verdugo, F., 2022. Monitoring detailed mangrove hurricane damage and early recovery using multisource remote sensing data. *Journal of Environmental Management* 320, 115830.
- Vo, Q.T., Oppelt, N., Leinenkugel, P., Kuenzer, C., 2013. Remote sensing in mapping mangrove ecosystems-An object-based approach. *Remote Sensing* 5(1), 183-201.
- Wang, W., Okaze, T., 2022. Statistical analysis of low-occurrence strong wind speeds at the pedestrian level around a simplified building based on the Weibull distribution. *Building and Environment* 209, 108644.
- Weisser, D., 2003. A wind energy analysis of Grenada: an estimation using the 'Weibull' density function. *Renewable Energy* 28(11), 1803-1812.
- Williams, R.J., Meehan, A.J., 2004. Focusing management needs at the sub-catchment level via assessments of change in the cover of estuarine vegetation, Port Hacking, NSW, Australia. *Wetlands Ecology and Management* 12(5), 499-518.
- Wolf, J., Woolf, D., Bricheno, L., 2020. Impacts of climate change on storms and waves relevant to the coastal and marine environment around the UK. *MCCIP Science Review* 132-157.
- Wu, H., Soh, L.K., Samal, A., Chen, X.H., 2008. Trend analysis of streamflow drought events in Nebraska. *Water Resources Management* 22(2), 145-164.
- Wu, C., Liu, G., Huang, C., Liu, Q., Guan, X., 2018. Ecological vulnerability assessment based on fuzzy analytical method and analytic hierarchy process in Yellow River Delta. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(5), 855.

Investigating the exposure of mangrove forests of the southern coast of Iran to multiple hazards

Davood Mafi-Gholami*¹, Abolfazl Jaafari²

¹Department of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

²Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

*Corresponding author: d.mafigholami@sku.ac.ir

Abstract

Classifying the severity of multiple environmental hazards at the level of mangrove habitats is one of the main prerequisites for assessing vulnerability and developing and planning management strategies to minimize the harmful effects of environmental hazards on these habitats. The aim of this study was to map and classify the intensity of occurrence of three types of environmental hazards, including drought, high-speed wind and seaward edge retreat in Nayband, Tiab and Gwadar mangrove habitats along the coasts of the Persian Gulf and Gulf of Oman. To this end, using the long-term time series of monthly rainfall values, daily wind speed and Landsat satellite images, maps of the severity of occurrence of each of the environmental hazards were prepared in each habitat using the functions available in ArcGIS software. Finally, the standardized hazard maps were combined and a map of the intensity of exposure to multiple environmental hazards was prepared throughout the mangroves. The results showed that the amount of exposure index at the level of the habitats varied from 2 to 4.6 and increases from the coasts of the Persian Gulf to the coasts of the Gulf of Oman; So, Nayband habitat on the western coast of Persian Gulf (coasts of Bushehr province) and Gwadar habitat on the eastern coast of the Gulf of Oman (coasts of Sistan and Baluchistan province) were subjected to the lowest and highest severity of environmental hazards, respectively. The results of this study have provided crucial information for assessing the vulnerability and resiliency of the studied mangrove habitats.

Keywords: Vulnerability, Sea level rise, Mangrove, Iran