

پهنه‌بندی حساسیت رویشگاه‌های مانگرو استان هرمزگان به مخاطرات محیطی بر اساس درصد تاج‌پوشش

داوود مافی غلامی*^۱ و ابوالفضل جعفری^۲

۱- استادیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. (d.mafigholami@sku.ac.ir)
۲- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (jaafari@rifr-ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۳

چکیده

در پژوهش پیش‌رو درجه حساسیت رویشگاه‌های مانگرو استان هرمزگان بر مبنای بررسی درصد تاج‌پوشش (به‌عنوان شاخصی از مشخصه‌های ساختاری جنگل) طبقه‌بندی شد. بدین منظور با آماربرداری میدانی و ثبت قطر تاج مانگروها در قطعه‌های نمونه، درصد تاج‌پوشش در هر یک از قطعه‌های نمونه محاسبه شد. سپس، با تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه NDVI رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک، بین درصد تاج‌پوشش در قطعه‌های نمونه و NDVI متناظر هر قطعه در سطح رویشگاه‌ها رابطه رگرسیونی برقرار شد و با اجرای رابطه رگرسیونی روی نقشه NDVI هر رویشگاه، نقشه تغییرات مکانی درصد تاج‌پوشش در سطح رویشگاه‌ها تهیه شد. در آخر، با استفاده از نقشه درصد تاج‌پوشش مانگروها و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه درجه حساسیت رویشگاه‌ها در سه طبقه تاج‌پوشش کم، متوسط و زیاد تهیه شد. نتایج نشان داد که میانگین درصد تاج‌پوشش در رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک به ترتیب ۶۲، ۴۳ و ۷۱ درصد است و بر این اساس، رویشگاه‌های جاسک و تیاب به ترتیب کمترین و بیشترین درجه حساسیت را نسبت به وقوع تنش‌ها و آشفستگی‌های محیطی دارند. ویژگی‌های ژئومورفولوژیک محلی، مقدار رسوب‌گذاری، تأسیسات و سازه‌های ساحلی، شرایط اقتصادی و اجتماعی منطقه، آلاینده‌های زیست‌محیطی و بالا آمدن سطح آب دریا با تأثیر بر ساختار و رویش مانگروها می‌توانند از عوامل تفاوت در درجه حساسیت بین رویشگاه‌های مورد بررسی باشد. این پژوهش با تولید اطلاعات دقیق از درجه حساسیت رویشگاه‌های مانگرو هرمزگان توانسته است پیش‌نیازهای اولیه برای اجرای برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم و اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی و احیاء رویشگاه‌های مانگرو را فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور، مدل‌سازی، NDVI.

بر خدمات و محصولات متعدد جنگل‌های مانگرو هستند (Kristensen et al., 2008).

باتوجه به اینکه اکوسیستم‌های مانگرو همواره در معرض تهدیدهای ناشی از وقوع مخاطرات طبیعی و انسانی قرار دارند، انجام برنامه‌ریزی و فراهم آوردن ابزارهای مناسب برای کاهش اثرهای این تهدیدها ضروری است (Allen et al., 2001). دستیابی به این هدف و کمک به اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی و فراهم آوردن زیرساخت‌های مطلوب برای کاهش تهدیدها، در گرو آگاهی و کسب اطلاعات کافی و دقیق از آسیب‌پذیری این اکوسیستم‌ها نسبت به مخاطرات گوناگون است (Allen et al., 2001، Alongi, 2008). آسیب‌پذیری هر سیستمی تابعی از سه جنبه در معرض قرارگرفتن، حساسیت و توان سازشی است (Gallopın, 2006). در بین این سه بعد آسیب‌پذیری، حساسیت به‌عنوان درجه‌ای که یک سیستم توسط آشفتگی درونی یا بیرونی و یا مجموعه‌ای از آشفتگی‌ها تحت تأثیر و یا تغییر قرار می‌گیرد، تعریف شده است (Gallopın, 2006). آنچه که تعیین‌کننده مقدار حساسیت سیستم است، ویژگی‌ها و درجه توسعه ساختاری سیستم مورد نظر است. به‌نحوی که سیستم‌های دارای درجه توسعه ساختاری بیشتر، درجه حساسیت و آسیب‌پذیری کمتری نسبت به وقوع تنش‌ها و آشفتگی‌های محیطی گوناگون دارند (Gallopın, 2006). بر این اساس، در سیستم‌های طبیعی مانند اکوسیستم‌های گیاهی نیز تعیین درجه حساسیت از طریق درجه‌بندی توسعه ساختاری به‌عنوان یکی از پیش‌نیازهای اصلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری این اکوسیستم‌ها می‌تواند کمک شایانی به توسعه برنامه‌های حفاظت و حمایت و تصمیم‌گیری و ارائه راهکارهای مدیریتی موثر برای کاهش اثرهای نامطلوب ناشی از تنش‌های گوناگون وارد بر این

امروزه جنگل‌های مانگرو حدود ۱۴۶۵۰۰۰۰ هکتار از مناطق سواحل دنیا را می‌پوشانند (FAO, 2003) که ارزش خدمات اکولوژیک هر هکتار از آن‌ها ۲۰۰ تا ۹۰۰ هزار دلار برآورد شده است (UNEP-WCMC, 2006). جدای از ارزش اکولوژیک این اکوسیستم‌ها، مانگروها زیستگاه‌های مهمی هستند که با عرضه تولیدهای متنوع مانند غذا، چوب، سوخت و دارو، نقش مهمی در حفظ پایداری و معیشت جوامع انسانی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه دارند (Alongi, 2008). مانگروها به‌عنوان بستر ارزشمندی برای زندگی پرندگان، پستانداران، ماهی‌ها، خرچنگ‌ها، حلزون‌ها و خزندگان و محلی برای تجمع رسوبات و مواد غذایی و جذب و تثبیت آلاینده‌ها هستند (Manson et al., 2005). با وجود اهمیت زیاد این خدمات اکوسیستمی در تأمین نیازهای انسانی، تخریب و از بین رفتن این رویشگاه‌های منحصر به فرد ساحلی در طول سه دهه گذشته در سراسر دنیا شدت یافته است، چنان‌که تاکنون بیش از ۵۰ درصد از جنگل‌های مانگرو جهان دچار تخریب و افت کیفیت شده‌اند و این روند همچنان ادامه دارد (Giri, 2016). نتیجه مستقیم این تخریب، کاهش وسعت و سلامتی مانگروها و افزایش صدمات ناشی از وقوع فرسایش، سیل، امواج طوفانی و سونامی بر جوامع و تأسیسات انسانی در سواحل جهان است (Kathiresan and Rajendran, 2005). از بین رفتن مانگروها همچنین سبب آزادسازی مقدار عظیمی از کربن ذخیره‌شده در این اکوسیستم‌ها و به‌دنبال آن تشدید گرمایش جهانی، کاهش کیفیت آب‌های ساحلی، کاهش تنوع زیستی، تخریب زیستگاه‌های ساحلی و نابودی بخش عمده‌ای از منابع مورد نیاز جوامع انسانی خواهد شد که متکی

رویشگاه و تجزیه و تحلیل رابطه مقایر قطر و ارتفاع ثبت‌شده با تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که به‌دلیل فعالیت‌های انسانی، مانگروهای مجاور مناطق شهری و روستایی دارای ویژگی‌های ساختاری متفاوتی در سطح رویشگاه‌های گوناگون دارند.

همانند بسیاری از مانگروهای جهان، جنگل‌های مانگرو استان هرمزگان نیز در معرض تخریب ناشی از مخاطرات طبیعی و انسانی مختلفی مانند برداشت بیش از حد سرشاخه‌ها، توسعه مراکز صنعتی در محیط ساحلی و ورود فاضلاب شهری و صنعتی، ورود گونه‌های غیربومی (موش سیاه)، فعالیت‌های صیادی، و آلودگی‌های نفتی هستند. در کنار این عوامل تخریب‌کننده، وجود برخی تنش‌های محیطی مانند خشکسالی‌های پی‌درپی، کاهش تخلیه آب و رسوبات مغذی، گرمای زیاد تابستان و کمبود بارش سالانه و حتی نفوذ طوفان‌های گرمسیری (مانند گونو) مانگروهای ایران را به اکوسیستمی حساس و به‌شدت نیازمند حفاظت تبدیل کرده است (Safiari, 2018; Mafi-Gholami et al., 2015). از این‌رو، انجام فعالیت‌های حفاظتی و توسعه راهبردهای مدیریتی کارآمد که حافظ فرآیندهای اکولوژیک ضروری، تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی این جنگل‌ها باشد، ضرورتی انکارناپذیر خواهد بود. در این میان، بررسی حساسیت مانگروها به‌عنوان یکی از ارکان ارزیابی آسیب‌پذیری این جنگل‌ها، از طریق آسان کردن تفسیر و توصیف اطلاعات موجود در مورد مقدار حساسیت این اکوسیستم‌ها نسبت به وقوع انواع تنش‌ها و آشفتگی‌ها نقش مهمی در اولویت‌بندی اقدامات و سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز برای مدیریت پایدار آن‌ها دارد. بنابراین، هدف پژوهش پیش‌رو طبقه‌بندی درجه حساسیت مانگروهای استان هرمزگان از طریق نقشه‌سازی تغییرات درصد تاج‌پوشش این رویشگاه‌ها

اکوسیستم‌ها باشد (Ellison, 2015). بر این اساس، پژوهش‌های مختلف سعی در بررسی ویژگی‌های ساختاری رویشگاه‌های جنگلی کرده‌اند. در پژوهش Pellegrini et al. (2009) ویژگی‌های ساختاری مانگروهای سواحل جنوب شرقی برزیل بر اساس تغییرات قطر تنه و ارتفاع درخت بررسی شد و نتایج نشان داد که بخش‌های مختلف این رویشگاه (ساحلی و خورها) بر اساس میانگین قطر و ارتفاع درختان ثبت‌شده در قطعه‌های نمونه (وضعیت ساختاری متفاوت) دارای درجه حساسیت متفاوتی نسبت به عوامل محیطی دارند. (Cavalcanti et al. 2009) مقدار حساسیت مانگروهای حفاظت‌شده خلیج Guanabara در جنوب شرق برزیل را بر اساس درجه تراکم رویشگاه‌ها بررسی کردند و نتایج نشان داد که مانگروهای مورد بررسی بر اساس ویژگی‌های ساختاری متفاوت دارای درجه حساسیت کمتری نسبت به مانگروهای موجود در رویشگاه‌های غیر حفاظتی هستند و درجه آسیب‌پذیری تحت تأثیر مداخلات و بهره‌برداری انسانی از رویشگاه‌ها بود. (Nicolau et al. 2017) با ثبت قطر برابر سینه و ارتفاع مانگروهای پارک ملی Quirimbas در قطعه‌های نمونه زمینی و تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، نقشه تغییرات مکانی این مشخصه‌های ساختاری را در سطح رویشگاه تهیه کردند و نتایج نشان داد که بر اساس موقعیت مانگروها (حاشیه‌های روبه دریا، روبه خشکی و خورها) و مقدار دخالت انسانی، بخش‌های مختلف رویشگاه دارای ویژگی‌های ساختاری متفاوت و نیز درجه حساسیت متفاوتی نسبت به عوامل اثرگذار محیطی دارند. (Macamo et al. 2018) پویایی ویژگی‌های ساختاری در بخش‌های مختلف رویشگاه‌های مانگرو کشور موزامبیک را بررسی کردند. آماربرداری زمینی و ثبت قطر و ارتفاع مانگروها در

(به‌عنوان شاخصی از ویژگی‌های ساختاری جنگل) است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

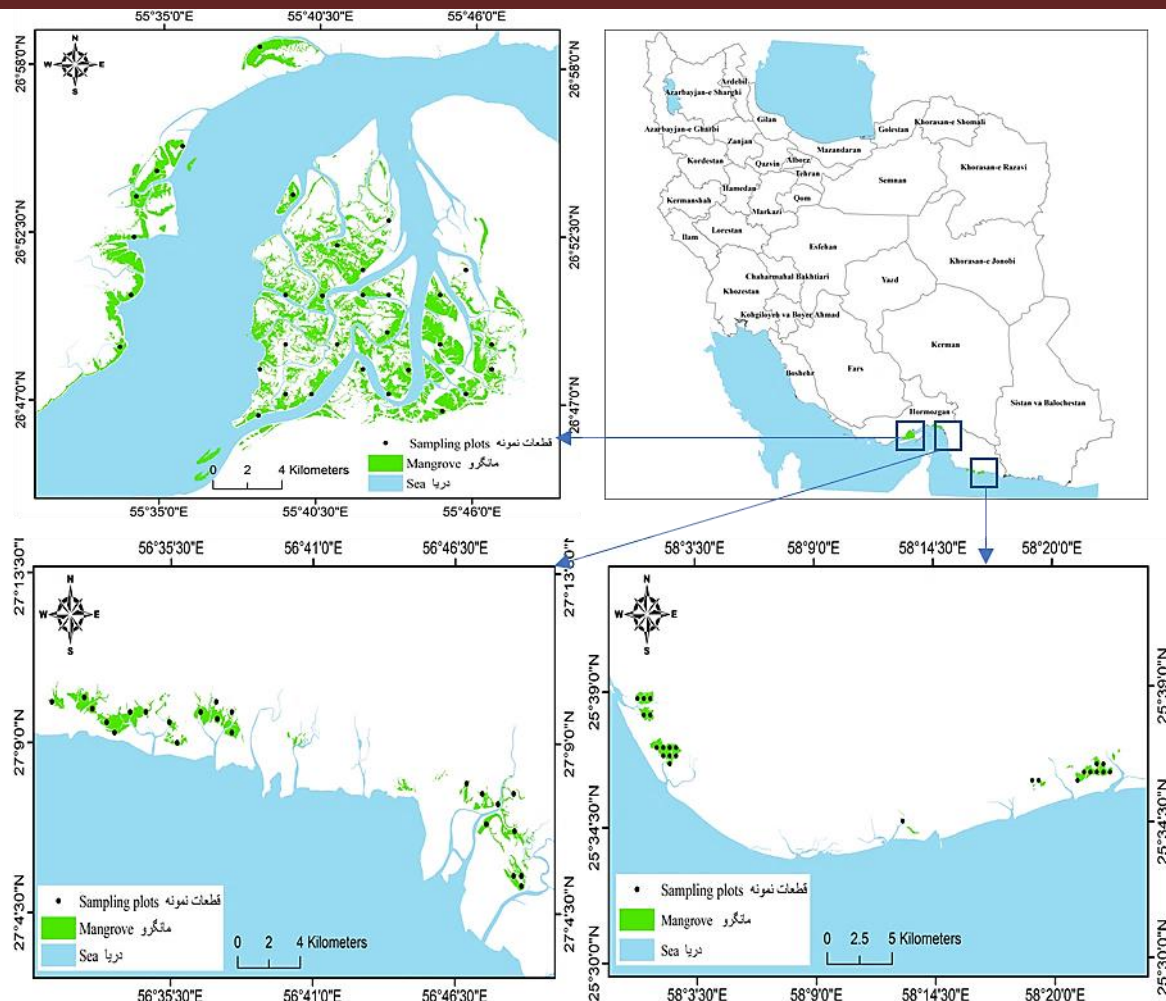
جنگل‌های مانگرو استان هرمزگان در محدوده ۲۵ درجه و ۳۴ دقیقه و ۱۳ ثانیه عرض شمالی در گابریک (شهرستان جاسک) تا ۲۷ درجه و ۱۰ دقیقه و ۵۴ ثانیه در کولغان شهرستان بندرعباس و ۵۵ درجه و ۲۲ دقیقه و ۶ ثانیه طول شرقی در شهرستان بندرلنگه تا ۵۸ درجه و ۳۴ دقیقه و ۷ ثانیه در هیمن شهرستان جاسک و در هفت شهرستان جاسک، سیریک، میناب، بندرعباس، خمیر، قشم و بندرلنگه در رویشگاه‌های مختلف گسترش دارند (شکل ۱). این جنگل‌ها با وسعتی برابر با ۱۰۰۲۵/۵۵ هکتار بیشترین وسعت این اجتماعات را در کشور (بیش از ۹۰ درصد جنگل‌های مانگرو ایران) و نیز در کل حوزه خلیج فارس و آب‌های منطقه راپمی (ROPME) (سازمان منطقه‌ای حفاظت از محیط زیست خلیج فارس و دریای عمان) دارند و متشکل از دو گونه حرا (*Avicenna marina*) و چنل (*Rhizophora macronata*) هستند (Daneshkar et al., 2013). در گستره یادشده، به‌جز رویشگاه سیریک، توده‌های طبیعی به‌طور کامل از اجتماعات خالص، نامنظم و ناهمسال درختان حرا پوشیده شده است. در رویشگاه سیریک درختان چنل به‌صورت آمیخته با درختان حرا حضور دارد. در این رویشگاه‌ها، گونه مانگرو با جوامع گیاهی هالوفیت یا شورپسند متعلق به تیره *Chenopodiaceae* همراه است که در برخی از رویشگاه‌ها مانند زون رویشگاهی قشم، گونه‌های شورپسند وسعت بیشتری دارند (Daneshkar et al., 2013). منطقه دربرگیرنده مانگروهای استان هرمزگان دارای آب و هوای گرم و

مرطوب است و میانگین بلندمدت بارش سالانه در ایستگاه‌های باران سنجی منطقه ۱۴۶ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه آن ۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است (Mafi-Gholami et al., 2020). به‌طور کلی، جنگل‌های مانگرو ایران در محدوده سواحل استان هرمزگان بر اساس موقعیت جغرافیایی، ساختار رویشگاهی و وضعیت ژئومورفولوژیکی سواحل در چهار حوزه رویشگاهی خمیر، تیاب، سیریک و جاسک تقسیم‌بندی می‌شوند. در این پژوهش، تعیین ویژگی ساختاری (با استفاده از درصد تاج پوشش) و حساسیت مانگروهای استان هرمزگان در سه رویشگاه خمیر، تیاب و جاسک با وسعتی در حدود ۸۵۰۰ هکتار انجام شد.

نقشه‌سازی درجه حساسیت مانگروها

آماربرداری زمینی و محاسبه درصد تاج‌پوشش در قطعه‌های نمونه

به‌طور کلی آنچه‌که در تعیین حساسیت اکوسیستم‌های مانگرو اندازه‌گیری می‌شود شامل مشخصه‌های توده جنگلی (ارتفاع درخت، قطر تنه، تراکم و درصد تاج‌پوشش) است که با افزایش مقدار متوسط این مشخصه‌ها (تغییرات ویژگی‌های ساختاری) از درجه حساسیت آن‌ها نسبت به تنش‌ها و آشفتگی‌های محیطی گوناگون کاسته می‌شود (Pellegrini et al., 2009). در این پژوهش، برای نقشه‌سازی مقدار حساسیت مانگروهای مورد بررسی از تغییرات درصد تاج‌پوشش رویشگاه‌ها استفاده شد، چرا که تاج‌پوشش به‌عنوان یکی از شاخص‌های اکولوژیکی، منعکس‌کننده تبادل انرژی، آب و دی‌اکسیدکربن بین رویشگاه‌های جنگلی و محیط پیرامون است و یکی از پرکاربردترین شاخص‌های ارزیابی سلامت و ویژگی‌های ساختاری اکوسیستم‌های مانگرو است (Mafi-Gholami et al., 2019; Korhonen et al., 2011).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مانگروهای مورد بررسی و پراکنش قطعه‌های نمونه در آن‌ها

Figure 1. Geographical location of the studied mangroves and distribution of sampling plots

بدین منظور در اولین مرحله اقدام به آماربرداری زمینی و ثبت قطر تاج مانگروها در رویشگاه‌های مورد بررسی شد. به‌طورکلی، انتخاب روش نمونه‌برداری بر پایه ویژگی‌های رویشی گونه‌ها، زمان، هزینه و در نهایت بر اساس هدف و ویژگی‌های موضوع مورد بررسی انجام می‌شود (Goldsmith and Harrison, 1976). در این پژوهش سعی شد تا قطعه‌های نمونه ضمن پراکنش در تمام سطح رویشگاه‌ها، دارای ابعادی متناسب با اندازه تفکیک تصویر ماهواره‌ای باشند (بر اساس قدرت تفکیک مکانی و خطای هندسی احتمالی باقی‌مانده در تصویر) تا بدین ترتیب تصویر دقیقی از تغییرات درصد تاج‌پوشش مانگروها فراهم شود (Mafi-Gholami et al., 2020). بدین منظور، بر اساس پژوهش Mafi-Gholami et al. (2019, 2020) با توجه به در نظر گرفتن گستره و موقعیت ساختارهای Tall (مانگروهای دارای قطر ارتفاع زیاد و تاج‌پوشش گسترده) و Dwarf (مانگروهای دارای قطر، ارتفاع و تاج‌پوشش کوچک‌تر) در بخش‌های روبه دریا و روبه خشکی رویشگاه‌ها، ۳۲ قطعه‌نمونه مربعی‌شکل در رویشگاه خمیر، ۲۲ قطعه نمونه در رویشگاه تیاب و ۲۰ قطعه نمونه در رویشگاه جاسک به روش سیستماتیک-تصادفی با ابعاد شبکه ۱۵۰۰×۱۵۰۰ متر و با ابعاد قطعه نمونه ۴۵×۴۵ متر (۲۰۲۵ متر مربع) (بزرگ‌تر از اندازه تفکیک زمینی ۳۰×۳۰ متر تصویر

بدین منظور در اولین مرحله اقدام به آماربرداری زمینی و ثبت قطر تاج مانگروها در رویشگاه‌های مورد بررسی شد. به‌طورکلی، انتخاب روش نمونه‌برداری بر پایه ویژگی‌های رویشی گونه‌ها، زمان، هزینه و در نهایت بر اساس هدف و ویژگی‌های موضوع مورد بررسی انجام می‌شود (Goldsmith and Harrison, 1976). در این پژوهش سعی شد تا قطعه‌های نمونه ضمن پراکنش در تمام سطح رویشگاه‌ها، دارای ابعادی متناسب با اندازه تفکیک تصویر ماهواره‌ای باشند (بر اساس قدرت تفکیک مکانی و خطای هندسی احتمالی باقی‌مانده در تصویر) تا بدین ترتیب تصویر دقیقی از تغییرات درصد تاج‌پوشش مانگروها فراهم شود

بررسی شوند. برای بررسی وضعیت هندسی داده‌ها از لایه راه‌های مربوط به نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه استفاده شد. روی هم‌گذاری لایه راه‌ها و تصویر ماهواره‌ای بیانگر تطابق هندسی بسیار خوب داده‌های ماهواره‌ای با نقشه جاده منطقه بود. از این رو برای تصاویر تصحیح هندسی انجام نشد. همچنین، از آنجایی که این پژوهش چندزمانه‌ای و چندسنجنده‌ای نبود، تصحیحات اتمسفری نیز انجام نشد. برای نقشه‌سازی دقیق‌تر محدوده مانگروها تصاویر اخذشده فاقد پوشش ابری بودند و آب دریا نیز در حالت جزر قرار داشت تا امکان تفکیک دقیق‌تر مانگروهای حاشیه‌ای از اراضی اطراف فراهم شود (Giri, 2016). در پژوهش‌های مربوط به پوشش گیاهی، نسبت‌گیری-های مختلفی از باندهای تصاویر ماهواره‌ای متداول است (Giri, 2016). در این پژوهش، برای بارزسازی تصاویر و جداسازی پوشش گیاهی مانگروها از نواحی آبی و خشکی‌های پیرامون و تهیه نقشه تغییرات درصد تاج‌پوشش مانگروها در رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک، از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) که یکی از بهترین و پرکاربردترین شاخص‌ها برای تفکیک مانگروها از مناطق دیگر و پایش تغییرات ساختاری و توان تولیدی این اکوسیستم‌ها است، استفاده شد (Armitage et al., 2015; Bihamta et al., 2019).

توسعه رابطه رگرسیونی بین درصد تاج‌پوشش و NDVI مستخرج از تصویر ماهواره‌ای

پس از تهیه نقشه NDVI رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک برای سال ۲۰۱۹، بین میانگین درصد تاج‌پوشش مانگروها در قطعه‌های نمونه و NDVI مربوط به تعداد نه پیکسل متناظر با هر قطعه نمونه رابطه رگرسیونی برقرار شد (Mafi-Gholami et al., 2019). در واقع به دلیل وجود خطای ناشی از ثبت

ماهواره لندست) برای ثبت اندازه قطر تاج با استفاده از GPS پیاده شدند. پراکنش قطعه‌های نمونه در سطح رویشگاه‌ها با استفاده از آخرین نقشه‌های تهیه‌شده از گستره رویشگاه‌های مانگرو سواحل جنوب ایران در پژوهش (Mafi-Gholami et al., 2020) بود. در سطح هر یک از قطعه‌های نمونه، اندازه دو قطر عمود برهم تاج با استفاده از متر نواری با دقت سانتی‌متر اندازه-گیری شد و بر اساس متوسط قطر تاج درختان، درصد تاج‌پوشش در قطعه‌های نمونه با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (رابطه ۱).

$$cc_i = \frac{\pi}{4} (CD_{1i} \times CD_{2i}) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه: cc_i : سطح تاج درخت به متر مربع؛ CD_{1i} و CD_{2i} قطر بزرگ و کوچک درخت i به متر است.

$$cc\% = \frac{\sum_{i=1}^n cc_i}{A} \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه: $cc\%$: درصد تاج‌پوشش در قطعه نمونه؛ cc_i : سطح تاج درخت به متر مربع و A : مساحت قطعه نمونه به متر مربع است (Asgari et al., 2013).

پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه NDVI مانگروها در رویشگاه‌های مورد بررسی

در این پژوهش، برای نقشه‌سازی تغییرات درصد تاج‌پوشش مانگروها در رویشگاه‌های مورد بررسی از تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به ماه جولای سال ۲۰۱۹ استفاده شد. تصاویر هم‌زمان با تاریخ انجام آماربرداری در سطح رویشگاه‌های مانگرو مورد بررسی بودند. اگرچه داده‌های ماهواره‌ای پیش از ارائه به کاربران در سطوح مختلفی از نظر هندسی و رادیومتری تصحیح می‌شوند، اما امکان باقی‌ماندن بعضی از خطاهای اولیه و یا ایجاد خطاهایی جدید و ناشی از فرآیند تصحیحات اولیه وجود دارد. بنابراین ضروری است که پیش از هرگونه تجزیه و تحلیل

2020). اعتبارسنجی مدل‌ها با استفاده از ضریب تبیین، خطا، اریبی و p مربوط به نمودار پراکنش داده‌های مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده درصد تاج‌پوشش انجام شد (Mafi-Gholami et al., 2020).

اعمال مدل رگرسیونی بر نقشه NDVI رویشگاه‌ها و تهیه نقشه تغییرات درصد تاج‌پوشش

در نهایت، رابطه رگرسیونی توسعه‌یافته بین تغییرات درصد تاج‌پوشش مانگروها در قطعه‌های نمونه و NDVI، بر نقشه NDVI رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک اجرا شد و بدین ترتیب نقشه تغییرات درصد تاج‌پوشش مانگروها در سطح رویشگاه‌ها برای سال ۲۰۱۹ تهیه شد.

طبقه‌بندی درجه حساسیت رویشگاه‌ها

در این مرحله، از نقشه‌های تغییرات درصد تاج‌پوشش تهیه‌شده برای هر یک از رویشگاه‌ها برای طبقه‌بندی و مقایسه درجه حساسیت آن‌ها استفاده شد. بدین منظور رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک بر اساس مقدار میانگین نقشه‌های تغییرات درصد تاج‌پوشش تهیه‌شده، در سه طبقه با درجه حساسیت کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شدند.

نتایج

نتایج محاسبه درصد تاج‌پوشش در قطعه‌های نمونه
در رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک به ترتیب قطر تاج ۴۰۳۲، ۳۰۶۹ و ۳۴۶۹ اصله درخت حرا اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری قطر تاج درختان در قطعه‌های نمونه نشان داد که مقدار متوسط این متغیر رویشی در رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک به ترتیب برابر با ۲۱۰/۳، ۱۷۸/۵ و ۳۱۵/۲ سانتی‌متر است که کمینه و بیشینه این متغیر رویشی در رویشگاه خمیر به ترتیب ۵۰۰ و ۱۱۵ سانتی‌متر، در رویشگاه تیاب به ترتیب ۴۲۵ و ۹۵ سانتی‌متر و در رویشگاه جاسک به ترتیب ۶۵۰ و

مختصات مرکز قطعات نمونه بر روی زمین و نیز خطای باقی‌مانده ناشی از تصحیح هندسی تصاویر مورد استفاده، میانگین NDVI مربوط به نه پیکسل تصویر ماهواره‌ای به‌عنوان مقدار NDVI متناظر با هر قطعه نمونه بر روی زمین در نظر گرفته شد (Heiskanen, 2006). از آنجایی‌که هدف این پژوهش، نقشه‌سازی تغییرات درصد تاج‌پوشش مانگروها در رویشگاه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بود، در اولین قدم مناسب‌ترین مدل برای برآورد این مشخصه‌های رویشی از تصویر ماهواره‌ای تهیه شد. از نظر منطقی درصد تاج‌پوشش در قطعه نمونه متغیر مستقل است که NDVI وابسته به مقدار آن هستند. با توجه به این منطقی روابط رگرسیونی بین آن‌ها ایجاد شدند که با معکوس کردن این رابطه می‌توان مقدار مشخصه رویشی (متغیر وابسته) را از NDVI متناظر به‌دست آورد. در این پژوهش از قطعه‌های نمونه برداشت‌شده در رویشگاه‌ها، حدود ۷۰ درصد (در رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک به ترتیب ۲۲، ۱۵ و ۱۴ قطعه نمونه) برای مدل‌سازی استفاده شد (Mafi-Gholami et al., 2020). بدین ترتیب، با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات (LSR)، بین NDVI و متوسط درصد تاج‌پوشش مانگروها، مدل‌های مختلف خطی (Linear)، لگاریتمی (Logaritmnic)، درجه دوم (Quadratic)، درجه سوم (Cubic)، توانی (Power) و نمایی (Exponential) توسعه داده شدند و بهترین مدل بر مبنای بیشترین مقدار ضریب تعیین اصلاح شده (R^2_{adj}) و کمترین مقدار انحراف استاندارد (SE)، خطا (RMSE) و اریبی (ME) انتخاب شد. برای اعتبارسنجی مدل‌ها، از ۳۰ درصد باقی‌مانده قطعه نمونه‌ها (در رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک به ترتیب ۱۰، ۷ و ۶ قطعه نمونه) به‌عنوان مجموعه داده‌های اعتبارسنجی استفاده شد (Mafi-Gholami et al.,)

نتایج مدل‌سازی رابطه بین درصد تاج‌پوشش در قطعه‌های نمونه و NDVI تصویر ماهواره‌ای

نتایج مدل‌سازی رابطه بین درصد تاج‌پوشش با NDVI با استفاده از ۷۰ درصد داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد که از بین انواع مدل‌های رگرسیونی توسعه یافته، مدل‌های خطی هر سه رویشگاه دارای بالاترین ضریب همبستگی تعدیل‌شده (Adj-r2) و کمترین مقدار خطا بودند (معنی‌دار آماری $P < 0.001$) (جدول ۱). بنابراین، مدل خطی برای پیش‌بینی درصد تاج‌پوشش مانگروها در سطح رویشگاه‌ها انتخاب شد.

۱۳۵ سانتی‌متر بود. بر اساس قطر تاج اندازه‌گیری شده در قطعه‌های نمونه، مقدار میانگین وسعت تاج در رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک به ترتیب ۷/۶، ۶/۵ و ۸/۵ متر مربع محاسبه شد. همچنین، نتایج نشان داد که کمینه و بیشینه مقدار مساحت تاج در رویشگاه خمیر به ترتیب ۲۱/۷ و ۰/۷ متر مربع، در رویشگاه تیاب به ترتیب ۱۸/۵ و ۰/۵ متر مربع و در رویشگاه جاسک به ترتیب ۲۳/۷ و ۱/۳ متر مربع بود. بر اساس وسعت تاج محاسبه شده در قطعه‌های نمونه، میانگین درصد تاج‌پوشش در رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک به ترتیب ۶۲، ۴۳ و ۷۱ درصد بود.

جدول ۱- مدل‌سازی رگرسیون حداقل مربعات (LSR) با استفاده از ۷۰ درصد از داده‌های اندازه‌گیری شده برای پیش‌بینی

درصد تاج‌پوشش مانگروها از NDVI استخراج شده از تصویر ماهواره لندست سال ۲۰۱۹

Table 1. LSR modeling using 70% of the observation data for predicting mangrove canopy cover from the NDVI values extracted from the Landsat satellite image 2019

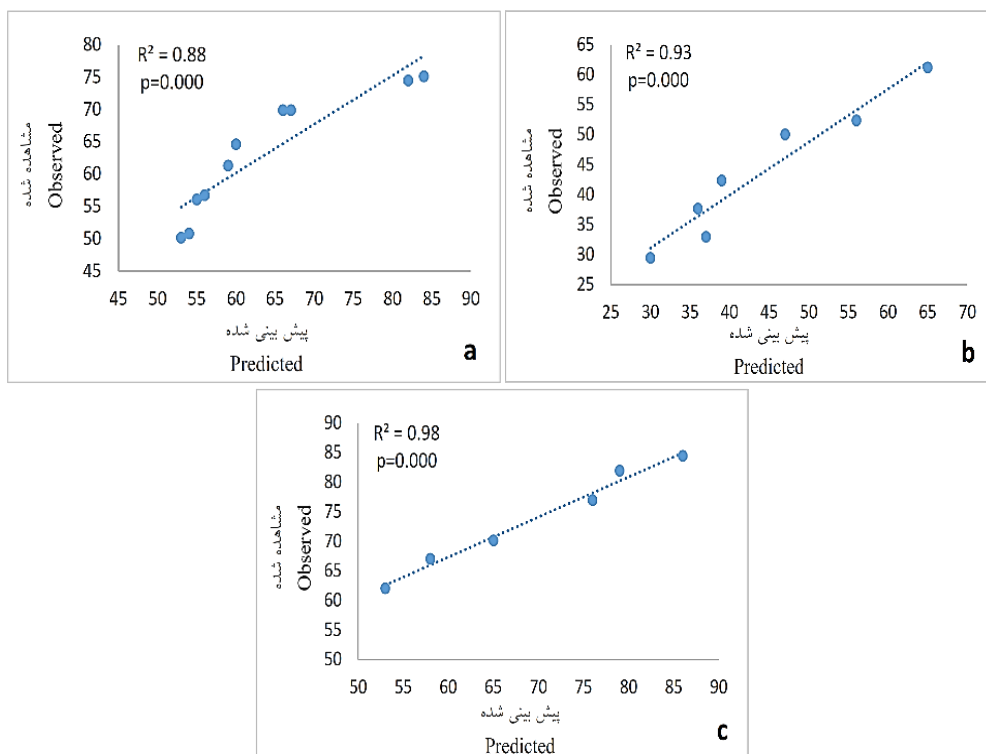
p-value	Adj-r2	ME	RMSE	SE	d	c	b	a	مدل Model	رویشگاه Habitat
0.001>	0.89	3.42	4.31	4.53	-	-	25.22	65.74	خطی Linear	خمیر Khamir
0.001>	0.87	3.59	4.49	4.89	-	-	90.47	32.44	لگاریتمی Logaritmic	
0.001>	0.85	3.80	4.68	5.12	-	-	0.473	98.81	توانی Power	
0.001>	0.84	4.11	4.75	5.25	-	-	0.954	34.43	نمایی Exponentia	
0.001>	0.80	4.20	4.80	5.89	-	-18.8	280.6	-179.11	درجه دوم Quadratic	
0.001>	0.82	4.36	4.95	5.52	-78.66	618.6	-805.7	355.6	درجه سوم Cubic	
0.001>	0.94	4.23	5.26	3.85	-	-	10.05	58.81	خطی Linear	تیاب Tiab
0.001>	0.91	4.38	5.42	4.02	-	-	91.72	25.63	لگاریتمی Logaritmic	
0.001>	0.90	4.45	5.52	4.16	-	-	0.45	90.05	توانی Power	
0.001>	0.88	4.59	5.68	4.29	-	-	0.91	28.47	نمایی Exponentia	
0.001>	0.85	4.72	5.80	4.41	-	-43.78	359.74	-242.35	درجه دوم Quadratic	
0.001>	0.86	4.91	5.96	4.35	-169.4	1082.2	-1546.4	735.77	درجه سوم Cubic	

ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

p-value	Adj-r2	ME	RMSE	SE	d	c	b	a	مدل Model	رویشگاه Habitat
0.001>	0.92	4.75	5.56	3.32	-	-	21.37	87.42	خطی Linear	
0.001>	0.90	4.85	5.68	3.56	-	-	102.38	47.37	لگاریتمی Logaritmik	
0.001>	0.88	5.01	5.82	3.89	-	-	0.56	118.63	توانی Power	جاسک
0.001>	0.86	5.21	6.01	4.11	-	-	1.10	38.53	نمایی Exponentia	Jask
0.001>	0.82	5.36	6.12	4.15	-	-33.64	333.45	-223.66	درجه دوم Quadratic	
0.001>	0.85	5.47	6.25	4.25	-128.13	888.15	-1202.9	566.16	درجه سوم Cubic	

اعتبارسنجی مدل‌های خطی انتخاب‌شده با استفاده از ۳۰ درصد از داده‌های اندازه‌گیری‌شده نشان داد که مدل‌ها از نظر آماری معنی‌دار هستند ($P < 0.001$) و با ضریب همبستگی (R^2) بزرگتر از ۰/۸۸ قابلیت زیادی در پیش‌بینی درصد تاج‌پوشش با استفاده از نقشه NDVI تهیه‌شده از تصویر ماهواره‌ای دارند (شکل ۲ a، b و c و جدول ۲).



شکل ۲- مقایسه بین ۳۰ درصد (اعتبارسنجی) مشاهده‌شده درصد تاج‌پوشش (اندازه‌گیری در قطعه نمونه) و پیش‌بینی‌شده

درصد تاج‌پوشش (مستخرج از NDVI تصویر ماهواره‌ای) در رویشگاه a: خمیر، b: تیاب و c: جاسک

Figure 2. Comparison between 30% (validation) of observed canopy percentage (measured in sample plot) and predicted canopy percentage (derived from the NDVI values of satellite image) in the a: Khamir, b: Tiab and c: Jask

جدول ۲- نتایج صحت‌سنجی بین درصد تاج پوشش مشاهده‌شده (اندازه‌گیری در قطعه نمونه) و پیش‌بینی‌شده (با استفاده از

مدل خطی رگرسیونی)

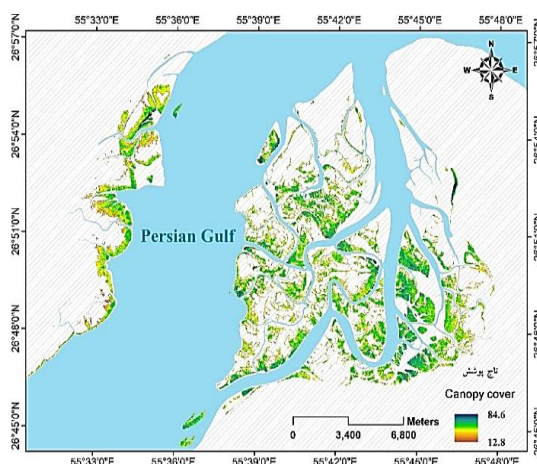
Table 2: Results of the accuracy of observed canopy percentage (measured in sample plot) and predicted canopy percentage (derived from linear regression models) in mangroves

خطا Bias	خطا Error	ضریب تبیین (R ²) Coefficient of determination (R ²)	رویشگاه Habitat
3.76	4.02	0.88	خمیر Khamir
1.30	2.75	0.93	تیاب Tiab
4.03	4.84	0.98	جاسک Jask

درصد متغیر است (شکل‌های ۳ تا ۵). تغییرات مکانی درصد تاج‌پوشش در رویشگاه‌ها نشان داد که حاشیه‌های روبه دریای رویشگاه‌ها که متشکل از فرم ساختاری Tall (مانگروهای دارای ارتفاع، قطر تنه و گستره تاج بزرگ‌تر) است، دارای بیشینه‌ی این سه متغیر هستند (شکل‌های ۳ تا ۵). در مقابل، گستره‌های روبه خشکی این رویشگاه‌ها که متشکل از فرم ساختاری Dwarf (مانگروهای دارای ارتفاع، قطر تنه و گستره تاج کوچک‌تر) هستند، کمینه‌ی درصد تاج‌پوشش را نشان می‌دهند (شکل‌های ۳ تا ۵).

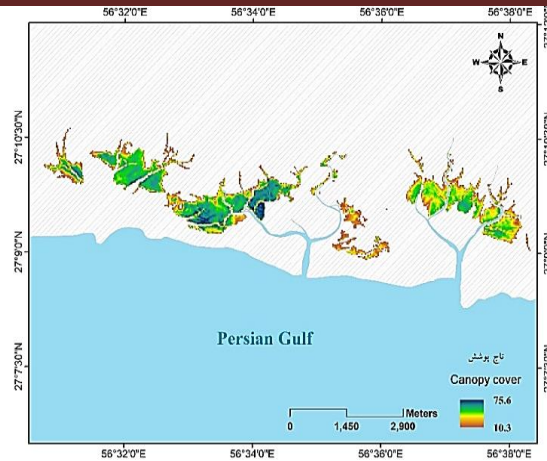
نتایج نقشه‌سازی تغییرات مکانی درصد تاج‌پوشش در رویشگاه‌ها

اجرای مدل‌سازی رگرسیونی بین درصد تاج‌پوشش با NDVI مربوط به رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک نشان داد که متناسب با تغییرات مکانی NDVI، طیفی از درصد تاج‌پوشش در سطح رویشگاه‌های مورد بررسی قابل مشاهده است. نتایج نقشه‌سازی تغییرات مکانی درصد تاج‌پوشش نشان داد که تغییرات این مشخصه در سطح رویشگاه خمیر از مقدار کمینه ۱۲/۸ تا مقدار بیشینه ۸۴/۶ درصد، در رویشگاه تیاب از مقدار کمینه ۱۰/۳ تا ۷۵/۶ درصد و در رویشگاه جاسک از مقدار کمینه ۱۳/۷ تا مقدار بیشینه ۹۲/۶



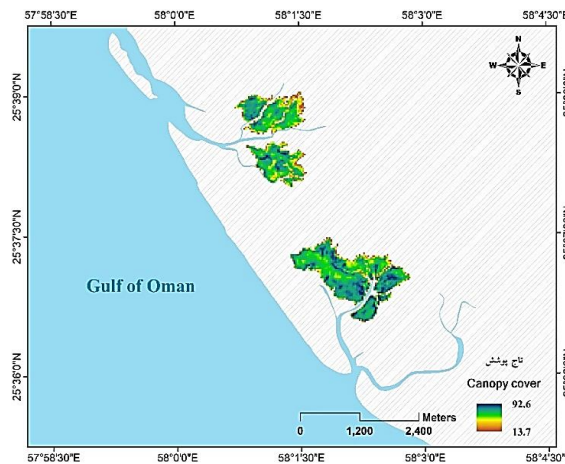
شکل ۳- تغییرات مکانی درصد تاج‌پوشش در سطح رویشگاه خمیر

Figure 3. Spatial changes in the canopy cover in the Khamir habitat



شکل ۴- تغییرات مکانی درصد تاج‌پوشش در سطح رویشگاه تیاب

Figure 4. Spatial changes in canopy cover in the Tiab habitat



شکل ۵- تغییرات مکانی درصد تاج‌پوشش در سطح رویشگاه جاسک

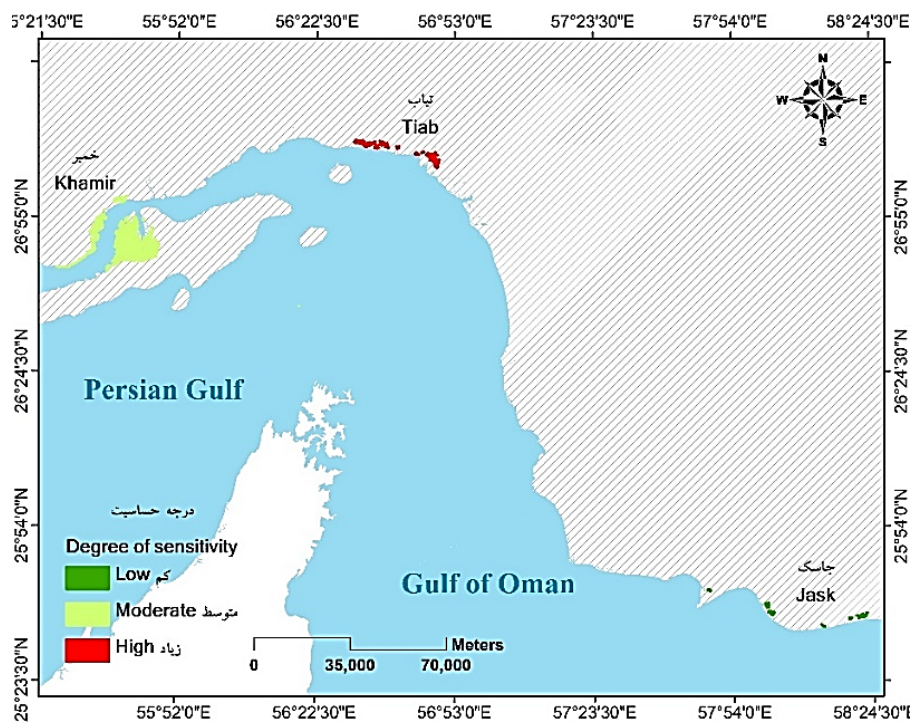
Figure 5. Spatial changes in the percentage of canopy cover in the Jask habitat

باتوجه به اینکه تعیین درجه حساسیت رویشگاه‌های جنگلی یکی از بخش‌های اصلی ارزیابی آسیب‌پذیری این اکوسیستم‌ها محسوب است (Ellison, 2015)، در این پژوهش طبقه‌بندی درجه حساسیت رویشگاه‌های مانگرو ایران در سواحل استان هرمزگان با استفاده از درصد تاج‌پوشش (به‌عنوان شاخصی از مشخصه‌های ساختاری جنگل) انجام شد (Pellegrini et al., 2009). نقشه‌سازی و محاسبه میانگین درصد تاج‌پوشش در رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک نشان داد که مقدار میانگین این مشخصه رویشی در این رویشگاه‌ها به‌ترتیب برابر با ۶۲، ۴۳ و ۷۱ درصد

نتایج طبقه‌بندی درجه حساسیت رویشگاه‌ها
طبقه‌بندی درجه حساسیت رویشگاه‌ها بر اساس نقشه تغییرات میانگین درصد تاج‌پوشش در سطح رویشگاه‌ها نشان داد که رویشگاه جاسک دارای کمترین درجه حساسیت است و در مقابل، رویشگاه تیاب دارای بیشترین درجه حساسیت در بین رویشگاه‌های مورد بررسی است. بر اساس تغییرات درصد تاج‌پوشش، رویشگاه خمیر نیز نسبت به دو رویشگاه تیاب و جاسک در طبقه با درجه حساسیت متوسط قرار گرفت (شکل ۶). بحث

آلاینده مختلفی مانند حوزه‌های نفت و گاز، تأسیسات و سازه‌های نفتی و تراکم بیشتر مسیرهای تردد و حمل و نقل مواد نفتی و غیرنفتی در معرض بیشترین حجم آلاینده‌های محیط دریایی قرار دارند که بدون شک تأثیر بسیاری در افت ساختار مانگروهای واقع در این سواحل داشته است (PGSC, 2017).

بود و بر این اساس، رویشگاه‌های جاسک و تیاب به ترتیب دارای کمترین و بیشترین درجه حساسیت نسبت به وقوع تنش‌ها و آشفته‌گی‌های محیطی بودند. البته این نتایج چندان دور از انتظار نبود، چراکه بر اساس پژوهش‌های پیشین سواحل مرکزی استان هرمزگان (سواحل تنگه هرمز) نسبت به دیگر بخش‌های ساحلی استان هرمزگان، به دلیل تمرکز منابع



شکل ۶- درجه حساسیت رویشگاه‌های خمیر، تیاب و جاسک بر اساس درصد تاج پوشش در سال ۲۰۱۹

Figure 6. Degree of susceptibility of Khamir, Tiab, Jask habitats based on the canopy cover in 2019

بیش از حد از مانگروها برای مصارف سوختی و تعلیف دام، توسعه آبی‌پروری و اثرهای تغییر اقلیم مانند بالا آمدن سطح آب دریا به عنوان برخی از عوامل اصلی اثرگذار بر افت رویش و ساختار جنگل‌های مانگرو در دیگر مناطق جهان عنوان شده‌اند (Gilman et al., 2008; Tran Thi et al., 2014). در سواحل استان هرمزگان نیز ساخت و سازه‌های بی‌رویه و توسعه روزافزون صنعتی مانند لنج‌سازی و توسعه کارخانه‌های گچ و سیمان، تهیه چوب سوختی و نیز

نتایج پژوهش‌های متعدد نشان می‌دهد که توسعه پرشتاب و بدون برنامه، ساخت و سازه‌های گوناگون در محیط‌های ساحلی از طریق ایجاد تغییر در سیستم هیدرودینامیک طبیعی و فرآیند جابجایی رسوب در سواحل، تشدید آثار مخرب ناشی از هجوم گونه‌های غیربومی و نیز برهم‌زدن چرخه طبیعی مواد غذایی سبب صدمات جبران ناپذیر به ساختار و رویش اکوسیستم‌های مختلف ساحلی شده‌اند (Dugan et al., 2018; Vaselli et al., 2008). همچنین، بهره‌برداری

مانگروهای این رویشگاه‌ها را در حاشیه‌های روبه دریا در دوره‌های زمانی قبل و بعد از انتشار آلاینده‌های نفتی از اولویت‌های پژوهشی مهمی است که لازم است در پژوهش‌های آینده بررسی شوند.

بر اساس پژوهش‌های پیشین، کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی از طریق افزایش تبخیر و ایجاد تنش شوری سبب افت ساختار و توان رویشی مانگروها می‌شود و در نهایت می‌تواند موجب تغییرات ساختاری نامطلوب (کاهش وسعت و تاج‌پوشش) و افزایش حساسیت و آسیب‌پذیری مانگروها نسبت به دیگر تنش‌های انسانی و طبیعی شود (Lovelock and Ellison, 2015; Gilman et al., 2008). پژوهش‌های Mafi-Gholami et al. (2015, 2019, 2020) نشان داد که وقوع خشکسالی‌های بلندمدت در سال‌های اخیر (پس از سال ۱۹۹۸) سبب کاهش گستره، تاج‌پوشش، توان تولیدی و سطح سلامت مانگروهای ایران در سواحل خلیج فارس و دریای عمان نسبت به دوره ترسالی (پیش از سال ۱۹۹۸) شده است. این درحالی 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 افت کیفیت ساختار مانگروهای سواحل جنوب ایران در آینده شود. علاوه بر وقوع خشکسالی، افزایش حدود ۳/۲ درجه‌ای دما در سواحل جنوب ایران (Etemadi et al., 2016) تا پایان قرن ۲۱ می‌تواند از طریق افزایش تبخیر و تعرق در سطح نواحی ساحلی سبب تشدید اثرهای نامطلوب ناشی از وقوع خشکسالی بر مانگروهای سواحل جنوب ایران شود. بر این اساس، شدت حساسیت رویشگاه‌های مانگرو ایران در آینده تحت تأثیر پیامدهای نامطلوب ناشی از تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت که سبب ایجاد طیفی از درجات حساسیت و آسیب‌پذیری در این رویشگاه‌ها

مصالح ساختمانی، توسعه آبی‌پروری، ساخت اسکله در محدوده مانگروها، سبب تخریب و افت ساختار رویشگاه‌ها شده است (Danehkar et al., 2013; Mafi-Gholami et al., 2015) و به دلیل شدت بالاتر وقوع این تنش‌ها و آشفتگی‌ها در سواحل مرکزی استان هرمزگان، رویشگاه‌های تیاب و خمیر دارای افت ساختار و رویش بیشتری نسبت به رویشگاه جاسک در سواحل دریای عمان هستند.

علاوه بر اثرهای مخرب ناشی از فعالیت‌های انسانی، پژوهش‌های متعدد نیز نشان داده‌اند است که آلودگی‌های نفتی موجب تخریب و یا تغییر ساختار افت توان رویشی مانگروها می‌شود (Lewis et al., 2016) که شدت اثر به عواملی مانند مقدار آلاینده منتشرشده، زمان در معرض قرارگیری و دامنه نوسان‌های جزر و مد بستگی دارد (Ke et al., 2005). بر این اساس، رویشگاه‌های دارای دامنه نوسانات در معرض نفوذ بیشتر آلاینده‌های نفتی قرار دارند و دچار صدمات بیشتری نسبت به رویشگاه‌های دارای دامنه نوسانات کوچک‌تر می‌شوند (Duke and Watkinson, 2002). باتوجه به اینکه رویشگاه‌های خمیر و تیاب دارای دامنه نوسانات جزر و مدی بزرگ‌تری نسبت به رویشگاه جاسک هستند (ICZM, 2017) و مقدار ورود آلاینده‌های نفتی به آب‌های ساحلی رویشگاه‌های خمیر و تیاب بیشتر از رویشگاه‌ها جاسک است (PGSC, 2017)، بنابراین شدت اثر آلاینده‌های نفتی بر رویشگاه‌های خمیر و تیاب بیشتر از رویشگاه جاسک خواهد بود و افت شدیدتر ساختار و رویش را در این دو رویشگاه نسبت به رویشگاه جاسک به دنبال خواهد داشت. این امر می‌تواند یکی از دلایل حساسیت بیشتر رویشگاه‌های خمیر و تیاب نسبت به رویشگاه جاسک باشد. تأثیر ورود آلاینده‌های نفتی بر افت ساختار

سطح کشور ضمن آماربرداری گسترده از مانگروهای استان هرمزگان و تجزیه و تحلیل تصویر ماهواره‌ای، نقشه‌سازی دقیق از تغییرات مکانی تاج‌پوشش انجام شد. نتایج این پژوهش با فراهم آوردن اطلاعات دقیق از درجه حساسیت رویشگاه‌های مانگرو استان هرمزگان می‌تواند راهنمایی برای اجرای برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم و اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی و احیاء مانگروهای این رویشگاه‌ها باشد. علاوه بر این، روش معرفی شده در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای نقشه‌سازی ویژگی‌های دیگر رویشگاه‌های مانگرو ایران استفاده شود.

References

- Allen, J. A.; Ewel, K. C.; Jack, J., Patterns of natural and anthropogenic disturbance of the mangroves on the Pacific Island of Kosrae. *Wetlands Ecology and Management* **2001**, *9* (3), 291-301.
- Alongi, D. M., Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **2008**, *76* (1), 1-13.
- Armitage, A. R.; Highfield, W. E.; Brody, S. D.; Louchouart, P., The contribution of mangrove expansion to salt marsh loss on the Texas Gulf Coast. *PloS one* **2015**, *10* (5), e0125404.
- Asgari, Y.; Zobeiri M.; Sohrabi, H., Comparison of five distance sampling methods for estimating quantitative characteristics of Zagros Forests, *Iranian Journal of Forest and Popular Research* **2013**, *21* (2), 316-328.
- Bihamta, N.; Soffianian, A. R.; Fakheran, S.; Pourmanafi, S., Incorporating CART algorithm and i for mapping Mangrove using Landsat 8 imagery, *Journal of Forest Research and Development* **2019**, *5* (4), 557-569.
- Cavalcanti, V.; Soares, M.; Estrada, G.; Chaves, F., Evaluating mangrove conservation through the analysis of forest structure data. *Journal of Coastal Research* **2009**, 390-394.
- Daneshkar, A.; Mahmoudi, B.; Sabaii, M.; Ghadirian, T.; Sharifi N.; Petrosian, H.,

خواهد شد. پژوهش‌های آینده می‌توانند با بررسی روند تغییرات رخ داده در مقدار حساسیت (تغییر در متغیرهای ساختاری یا رویشی) و آسیب‌پذیری مانگروهای ایران نسبت به وقوع خشکسالی یا افزایش دما، احتمال و نوع تغییر در مقدار آسیب‌پذیری این اکوسیستم‌ها را نسبت به تغییرات اقلیمی آینده بررسی کنند.

نتایج این پژوهش نشان داد که تجزیه و تحلیل مکانی متغیرهای رویشی مانگروها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و رویکردهای مدل‌سازی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید برای پایش و درجه‌بندی مقدار حساسیت این اکوسیستم‌ها باشد. این پژوهش برای اولین بار در

- National document of sustainable management of mangroves of Iran. Forest, Range and Watershed Management Organization of Iran, 2013, 624 p. (In Persian)
- Dugan, J. E.; Emery, K. A.; Alber, M.; Alexander, C. R.; Byers, J. E.; Gehman, A.; McLenaghan, N.; Sojka, S. E., Generalizing ecological effects of shoreline armoring across soft sediment environments. *Estuaries and coasts* **2018**, *41* (1), 180-196.
- Duke, N. C.; Watkinson, A. J., Chlorophyll-deficient propagules of *Avicennia marina* and apparent longer-term deterioration of mangrove fitness in oil-polluted sediments. *Marine pollution bulletin* **2002**, *44* (11), 1269-1276.
- Ellison, J. C., Vulnerability assessment of mangroves to climate change and sea-level rise impacts. *Wetlands Ecology and Management* **2015**, *23* (2), 115-137.
- Etemadi, H.; Samadi, S. Z.; Sharifikia, M.; Smoak, J. M., 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* **2016**, *126* (1), 35-49.
- FAO, Status and trends in mangrove area extent worldwide. By Wilkie, M.L. and Fortuna, S. Forest Resources Assessment Working Paper No. 63. Forest Resources Division. FAO, Rome, 2003.

- Gallopín, G. C., Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global environmental change* **2006**, *16* (3), 293-303.
- Gilman, E. L.; Ellison, J.; Duke, N. C.; Field, C., Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquatic botany* **2008**, *89* (2), 237-250.
- Giri, C., Observation and monitoring of mangrove forests using remote sensing: Opportunities and challenges. Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 2016.
- Goldsmith, F., Description and analysis of vegetation. *Methods in plant ecology* **1976**.
- Heiskanen, J., Estimating aboveground tree biomass and leaf area index in a mountain birch forest using ASTER satellite data. *International Journal of Remote Sensing* **2006**, *27* (6), 1135-1158.
- ICZM, Ports and Maritime Organization of Iran. Hazards Report, 2017, 256 p. (In Persian)
- Kathiresan, K.; Rajendran, N., Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine, Coastal and shelf science* **2005**, *65* (3), 601-606.
- Ke, L.; Yu, K.; Wong, Y.; Tam, N., Spatial and vertical distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in mangrove sediments. *Science of the Total Environment* **2005**, *340* (1-3), 177-187.
- Korhonen, L.; Korpela, I.; Heiskanen, J.; Maltamo, M., Airborne discrete-return LIDAR data in the estimation of vertical canopy cover, angular canopy closure and leaf area index. *Remote Sensing of Environment* **2011**, *115* (4), 1065-1080.
- Kristensen, E.; Bouillon, S.; Dittmar, T.; Marchand, C., Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review. *Aquatic botany* **2008**, *89* (2), 201-219.
- Lewis III, R. R.; Milbrandt, E. C.; Brown, B.; Krauss, K. W.; Rovai, A. S.; Beaver III, J. W.; Flynn, L. L., Stress in mangrove forests: Early detection and preemptive rehabilitation are essential for future successful worldwide mangrove forest management. *Marine Pollution Bulletin* **2016**, *109* (2), 764-771.
- Lovelock, C. E.; Ellison, J. C., Vulnerability of mangroves and tidal wetlands of the Great Barrier Reef to climate change. In: Johnson, J.E., Marshall, P.A. (Eds.), *Climate Change and the Great Barrier Reef: A Vulnerability Assessment*. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Australia, 2007, p. 237-269.
- Macamo, C. d. C. F.; Adams, J. B.; Bandeira, S. O.; Mabilana, H. A.; António, V. M., Spatial dynamics and structure of human disturbed mangrove forests in contrasting coastal communities in Eastern Africa. *Wetlands* **2018**, *38* (3), 509-523.
- Mafi-Gholami, D.; Zenner, E. K.; Jaafari, A.; Ward, R. D., Modeling multi-decadal mangrove leaf area index in response to drought along the semi-arid southern coasts of Iran. *Science of the Total Environment* **2019**, *656*, 1326-1336.
- Mafi-Gholami, D.; Zenner, E. K.; Jaafari, A., Mangrove regional feedback to sea level rise and drought intensity at the end of the 21st century. *Ecological Indicators* **2020**, *110*, 105972.
- Mafi-Gholami, D.; Feghhi, J.; Danehkar, A.; Yarali, N., Classification and Prioritization of Negative Factors Affecting on Mangrove Forests Using Delphi Method (a Case Study: Mangrove Forests of Hormozgan Province, Iran). *Advances in BioResearch* **2015**, *6* (3).
- Manson, F.; Loneragan, N.; Harch, B.; Skilleter, G.; Williams, L., A broad-scale analysis of links between coastal fisheries production and mangrove extent: a case-study for northeastern Australia. *Fisheries Research* **2005**, *74* (1-3), 69-85.
- Nicolau, D.; Macamo, C. C.; Mabilana, H. A.; Tajú, A.; Bandeira, S. O., Mangrove change detection, structure and condition in a protected area of eastern Africa: the case of Quirimbas National Park, Mozambique. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science* **2017**, *16* (1), 47-60.
- Pellegrini, J.; Soares, M.; Chaves, F.; Estrada, G.; Cavalcanti, V., A method for the classification of mangrove forests and sensitivity/vulnerability analysis. *Journal of Coastal Research* **2009**, 443-447.
- PGSC, Available from <http://www.persiangustudies.com/fa/index.asp?ppagesandid> 205. Accessed 21th September 2019. 2017.
- Safiari, S., Mangroves of Iran, *Nature of Iran* **2018**, *2* (2), 49-57. (In Persian)
- Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Marquis, M.; Averyt, K.; Tignor, M.; Miller, H.; Chen, Z., Climate change 2007: The physical science basis. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*,

-
- Cambridge University Press, Cambridge*
2007.
- Tran Thi, V.; Tien Thi Xuan, A.; Phan Nguyen, H.; Dahdouh-Guebas, F.; Koedam, N., Application of remote sensing and GIS for detection of long-term mangrove shoreline changes in Mui Ca Mau, Vietnam. *Biogeosciences* **2014**, *11* (14), 3781-3795.
- UNEP-WCMC, In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves & coral reefs. UNEP-WCMC, Cambridge, UK, 2006, 33 Pp.
- Vaselli, S.; Bulleri, F.; Benedetti-Cecchi, L., Hard coastal-defence structures as habitats for native and exotic rocky-bottom species. *Marine Environmental Research* **2008**, *66* (4), 395-403.

Mapping the sensitivity of mangroves of the Hormozgan Province to environmental hazards based on the canopy cover percentage

D. Mafi-Gholami*¹ and A. Jaafari²

1- Assistant Professor, Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, I. R. Iran. (d.mafigholami@sku.ac.ir)

2- Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (jaafari@rifr-ac.ir)

Received: 29.02.2020 Accepted: 04.05.2020

Abstract

The present study was conducted to classify the sensitivity degree of mangrove habitats of the Hormozgan province based on canopy percentage (as an indicator of the structural characteristics of forest). For this purpose, by field survey and recording of mangrove crown diameter in the sample plots, the percentage of canopy cover in each sample plot was calculated. Then, by analyzing satellite images and mapping NDVI of habitats, a regression relation was fitted between the percentage of canopy cover in the sample plots and the corresponding NDVI values at each vegetation level and by applying the regression relation on the NDVI map, canopy cover percentage spatial changes were mapped at each habitat. Finally, the map of the susceptibility of the Khamir, Tiab, and Jask habitats to three classes of low, medium and high was prepared using the mangrove canopy cover map and GIS techniques. The results showed that the average percentages of the canopy cover in the Khamir, Tiab, and Jask were 62, 43, and 71%, respectively, indicate that Jask and Tiab have the lowest and highest sensitivity to environmental stresses and disturbances, respectively. Local geomorphologic features, sediment yield, coastal installations, economic and social conditions of the area, environmental pollutants, and sea level rise are among the influencing factors that cause differences in the degree of susceptibility between habitats. This study by producing accurate information on the sensitivity of mangrove habitats of Iran, has provided preliminary prerequisites for implementing climate change adaptation programs and prioritize conservation and restoration activities of mangroves.

Keywords: Geographic Information System, Remote Sensing, Modeling, NDVI.

* Corresponding author

Tel: +989168461050