



دانشگاه گنبدکاووس

نشریه "حفظ از زیست‌بوم گیاهان"

دوره هشتم، شماره شانزدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

نقشه‌سازی ویژگی‌های ساختاری فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای مانگروها در ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا

جواد صفری^۱، داود مافی غلامی^{۲*}، ابوالفضل جعفری^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۲استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۳استادیار مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مرتع کشور، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مرتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

چکیده

با توجه به اهمیت وجود اطلاعات کافی و دقیق از ویژگی‌های ساختاری مانگروها برای احیاء و توسعه این رویشگاه‌ها، پژوهش پیش‌رو به تجزیه‌وتحلیل و نقشه‌سازی ویژگی‌های ساختاری مانگروهای ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا پرداخته است. بدین منظور با آماربرداری (۳۲ قطعه نمونه با ابعاد 45×45 متر) و ثبت مقادیر قطر تنه در محل یقه، ارتفاع درخت و قطر و ارتفاع تاج در قطعات نمونه و نیز تجزیه‌وتحلیل رابطه میان مقادیر این مشخصه‌ها با تصاویر ماهواره لندست ۸ سال ۲۰۱۹، ویژگی‌های ساختاری فرم‌های رویشگاهی ذخیره‌گاه نقشه‌سازی شد. نتایج نشان داد که بین میانگین قطر تنه در محل یقه، ارتفاع درخت، ارتفاع تاج، قطر تاج و مساحت تاج در فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. نتایج نقشه‌سازی تغییرات مکانی مشخصه رویشی قطر درختان نشان داد که مقادیر قطر درختان از ۷ تا $82/3$ سانتی‌متر در فرم رویشگاهی جزیره‌ای و از $7/5$ تا $86/2$ سانتی‌متر در فرم رویشگاهی ساحلی و ارتفاع درختان نیز از $115/3$ تا $648/1$ تا $648/6$ سانتی‌متر در فرم رویشگاهی جزیره‌ای و از $121/2$ تا $675/5$ سانتی‌متر در فرم رویشگاهی ساحلی متغیر بود. همچنین، نتایج نشان داد که بهدلیل تمرکز فرم ساختاری مانگروهای بلندقد و کوتاقد در گستره‌های رویدریا و خشکی ذخیره‌گاه، به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر مشخصه‌های رویشی در این حاشیه‌های ذخیره‌گاه قرار دارند. نتایج این پژوهش با نقشه‌سازی مکانی ویژگی‌ها و درجه توسعه ساختاری فرم‌های رویشگاهی ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا، اطلاعات ضروری و موردنیاز برای اولویت‌بندی مکانی برنامه‌های حفاظت و احیاء این رویشگاه را فراهم کرده است.

واژه‌های کلیدی: آماربرداری زمینی، مانگرو، گستره رویدریا، گستره خشکی، گستره رویدریا

*نویسنده مسئول: mafigholami@aku.ac.ir

مقدمه

به رغم داشتن طیف گسترده‌ای از عملکردهای اکولوژیک، خدماتی و حفاظتی، جنگل‌های مانگرو ایران در معرض تخریب ناشی از مخاطرات طبیعی و انسانی مختلفی مانند خشکسالی‌های پی‌درپی، بالا آمدن سطح آب دریا، برداشت بیش از حد سرشاخه‌ها، گردشگری بدون برنامه، توسعه سازه‌های ساحلی و معدن کاری، توسعه آبزی‌پروری، ورود گونه‌های غیربومی (موش سیاه)، بهره‌برداری بیش از حد از آبیان، ورود فاضلاب شهری و صنعتی به درون این جنگل‌ها و آводگی‌های نفتی قرار دارند (Mafi-Gholami et al., 2017). وجود این تنش‌ها و آشفتگی‌های طبیعی و انسانی سبب ایجاد تغییرات نامطلوب در رشد و توسعه مانگروها و همچنین برهم خوردن پویایی فرا آیند رسوبی سواحل ایران شده است که افزایش آسیب‌پذیری جنگل‌های مانگرو را به دنبال داشته است (دانه‌کار و همکاران، ۱۳۸۵)؛ بنابراین، برنامه‌ریزی و تهیه ابزارهای مناسب برای حفاظت و احیاء مانگروهای ایران امری ضروری است که دستیابی به آن نیازمند وجود آگاهی و اطلاعات کافی و دقیق از ویژگی‌های ساختاری این رویشگاه‌ها است. در میان رویشگاه‌های مانگرو ایران، ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا با وسعت ۸۵۶۸ هکتار (۸۵ درصد مساحت مانگروهای ایران) از مهم‌ترین حوزه‌های رویشگاهی مانگروها در ایران است که به دلیل اهمیت بین‌المللی به عنوان بخشی از شبکه جهانی انسان و زیست‌کرده (Man & Biosphere) محسوب می‌شود (صفیاری، ۱۳۹۶). ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا بر اساس موقعیت جغرافیایی، ساختار رویشگاهی و وضعیت ژئومورفولوژیکی به دو بخش ساحلی (محدوده شهرستان خمیر) و جزیره‌ای (محدوده جزیره قشم) تقسیم‌بندی می‌شوند (Danehkar, 2001). بر اساس پژوهش‌های موجود، بین فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا از نظر ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، پویایی رسوب‌گذاری و نوسان‌های تراز جزر و مدى تفاوت‌هایی وجود دارد (مافلی غلامی و همکاران، ۱۳۹۶). چنانچه پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در دهه‌های گذشته، میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در بخش‌های مختلف ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا متفاوت بوده است به‌طوری‌که سبب تفاوت در نرخ پسروی و پیشروی و میزان آسیب‌پذیری بخش‌های مختلف ذخیره‌گاه نیز بر اساس ویژگی‌های رویشی مانگروها (قطیر، همکاران، ۱۳۹۶). در بین بخش‌های مختلف ذخیره‌گاه نیز بر اساس ویژگی‌های رویشی مانگروها (قطیر، ارتفاع، تاج پوشش و...) دو ساختار متفاوت از مانگروها را می‌توان شناسایی نمود. بر این اساس که در حاشیه‌های روبروی خورهای رویشگاه، مانگروهای دارای ارتفاع، قطر و تاج پوشش بزرگ‌تر (ملقب به ساختارهای Tall) و در گستره‌های روبروی خشکی مانگروهای دارای مقادیر ارتفاع، قطر و تاج پوشش کوچک‌تر قرار دارند (ملقب به ساختارهای Dwarf) (Naidoo, 2010). وجود خشکسالی‌ها و کاهش بارندگی در دهه‌های گذشته سبب شده است تا بخش‌های مختلف ذخیره‌گاه دچار کاهش وسعت، کاهش توان تولیدی، افزایش تکه‌تکه شدگی و کاهش یکپارچگی شوند (Mafi-Gholami et al., 2017).

(2019). وجود این تفاوت‌ها در وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری، تغییرات گستره و یکپارچگی و آسیب‌پذیری در بخش‌های مختلف ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا می‌تواند سبب ایجاد تفاوت بیشتر در ساختار ذخیره‌گاه در فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای و نیز تشدید میزان آسیب‌پذیری این رویشگاه نسبت به مخاطرات محیطی گوناگون مانند خشک‌سالی، طوفان‌ها و بالا آمدن سطح آب دریا شود. با این وجود، تاکنون پژوهش مدونی باهدف بررسی و نقشه‌سازی ویژگی‌های ساختاری مانگروهای فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای این ذخیره‌گاه انجام‌شده است. البته مطالعات گوناگونی جهت بررسی ویژگی‌های ساختاری مانگروهای ایران در رویشگاه‌های مختلف انجام‌شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات انجام‌شده توسط دانه‌کار و جلابی (۱۳۸۳) (بررسی ساختار جنگل‌های حرا در حوزه خمیر و قشم)، صقا ایسینی و همکاران (۱۳۸۵) (بررسی ساختار جنگل‌های حرا در حوزه کولقان، تیاب و کلاهی) عرفانی و همکاران (۱۳۸۸) (بررسی ساختار جوامع گیاهی مانگرو خلیج گواتر)، محمودی و دانه‌کار (۱۳۸۸) (بررسی ساختار رویشگاه‌های مانگرو استان هرمزگان) اشاره نمود. هرچند که در این مطالعات ویژگی‌های ساختاری رویشگاه‌های مانگرو ایران موربد بررسی و تجزیه و تحلیل کمی قرار گرفته است، اما آنچه در میان از اهمیت بالایی برخوردار است، نقشه‌سازی مکانی تغییرات ساختاری این رویشگاه‌ها است که می‌تواند ضمن تعیین درجه توسعه ساختاری آن‌ها (Pellegrini et al., 2009) اطلاعات ضروری جهت اولویت‌بندی برنامه‌های حفاظت و احیای رویشگاه‌ها را در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان قرار دهد؛ بنابراین، هدف پژوهش پیش‌رو تجزیه و تحلیل ویژگی‌های ساختاری فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا و نقشه‌سازی تغییرات ساختار در سطح این فرم‌های رویشگاهی با استفاده از آماربرداری گستره میدانی و بررسی تصاویر ماهواره‌ای است.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا که مشتمل بر خورها و جزایر رسوی شمال غربی جزیره قشم است، با مساحت ۸۵۶۸ هکتار در محدوده جغرافیایی $43^{\circ} ۴۳'$ تا $۲۶^{\circ} ۵۹'$ عرض شمالی و $۳۲^{\circ} ۵۵'$ تا $۴۸^{\circ} ۵۵'$ طول شرقی و در حدفاصل اراضی ساحلی بخش بندر خمیر از شهرستان بندرعباس تا اراضی ساحلی دهستان‌های لافت و طبل از شهرستان قشم قرار گرفته است. بدلیل اهمیت این منطقه، در سال ۱۹۷۵ میلادی تحت عنوان تالاب بین‌المللی به کنوانسیون رامسر و در سال ۱۹۷۶ میلادی به عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا به شبکه جهانی انسان و زیست‌کرده پیوست (صفیاری، ۱۳۹۶). ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا متشکل از اجتماعات خالص حرا (*Avicennia marina*) است که در دو فرم رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای قرار گرفته‌اند.

روش آماربرداری: در این پژوهش بهدلیل استفاده همزمان از تصاویر ماهواره‌ای لازم بود تا قطعه‌های نمونه ضمن پراکنش در تمام سطح ذخیره‌گاه دارای ابعادی متناسب با اندازه تفکیک تصویر ماهواره‌ای باشند تا تصویر دقیقی از تغییرات متغیرهای رویشی در سطح ذخیره‌گاه فراهم شود بنابراین، در این پژوهش با در نظر گرفتن گستره و موقعیت ساختارهای Tall و Dwarf در بخش‌های روبه‌دریا و روبه خشکی ذخیره‌گاه و برای ثبت مشخصه‌های رویشی مانگروها، از روش سیستماتیک تصادفی و شبکه آماربرداری با ابعاد 1500×1500 متر به عنوان روش نمونه‌برداری و از قطعه‌های مربعی شکل با ابعاد 45×45 متر (2025 مترمربع) به عنوان واحد نمونه‌برداری استفاده شد (Mafi-Gholami et al., 2020). بر این اساس، تعداد 32 قطعه‌نمونه مربعی که در تمام بخش‌های فرم‌های رویشگاهی ساحلی (15 قطعه‌نمونه) و جزیره‌ای (17 قطعه‌نمونه) ذخیره‌گاه پراکنده بودند (با توجه به گستره و موقعیت ساختارهای Tall و Dwarf در بخش‌های روبه‌دریا و روبه خشکی ذخیره‌گاه)، با استفاده از GPS پیاده شدن. درواقع، هنگام برآورده مشخصه‌های جنگل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، ابعاد قطعه‌نمونه باید بر اساس قدرت تفکیک مکانی و خطای هندسی احتمالی باقی‌مانده در تصویر باشد (Zhang et al., 2014؛ بنابراین، ابعاد قطعه‌های نمونه با توجه به اندازه تفکیک زمینی تصویر ماهواره لندست 8 (باقدرت تفکیک زمینی 30 متر)، 45×45 متر در نظر گرفته شد. در سطح هر یک از قطعه‌های نمونه مشخصه‌های رویشی همه درختان شامل قطر و ارتفاع درخت، ارتفاع تاج و دو قطر عمود بر هم تاج اندازه‌گیری شد. با توجه به فرم پرورشی شاخه زاد گونه حررا، مطابق با روش پیشنهادی کلوق و همکاران (1997) (Clough et al., 1997)، قطر هر یک از جست‌ها در ارتفاع 10 تا 15 سانتی‌متری بالای یقه اندازه‌گیری شد. درنهایت، تجزیه و تحلیل‌های آماری شامل بررسی همبستگی بین مشخصه‌های رویشی با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون و معنی‌داری تفاوت بین مشخصه‌های رویشی فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای با استفاده از آزمون t در محیط نرم‌افزار XLSTAT انجام شد.

تهیه نقشه تغییرات قطر و ارتفاع مانگروها در سطح ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا: در این پژوهش، برای نقشه‌سازی تغییرات مشخصه‌های رویشی قطر و ارتفاع مانگروها در سطح فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا از تصویر ماهواره لندست 8 مربوط به ماه ژانویه سال 2019 (با ردیف: 41 و گذر: 41) که همزمان با تاریخ آماربرداری در سطح ذخیره‌گاه بود، استفاده شد. برای بررسی وضعیت هندسی تصاویر از لایه راه‌های مربوط به نقشه‌های توپوگرافی رقومی $1:25000$ منطقه استفاده شد. روی‌هم‌گذاری لایه راه‌ها و تصویر ماهواره‌ای بیانگر تطابق هندسی بسیار خوب داده‌های ماهواره‌ای با نقشه جاده منطقه بود. از این‌رو تصحیح هندسی انجام نشد. همچنین، از آنجایی که این پژوهش چند زمانه‌ای و چندسنجنده‌ای نبود، بنابراین تصحیحات اتمسفری ضرورتی نداشت. همچنین،

برای نقشه‌سازی دقیق‌تر محدوده مانگروها تصویر اخذشده فاقد پوشش ابری بود و آب دریا نیز در حالت جزر قرار داشت تا بدین ترتیب تفکیک دقیق‌تر مانگروهای حاشیه‌ای از اراضی اطراف امکان‌پذیر شود (Giri, 2016). از انجام نسبت‌گیری‌ها، عمل در این پژوهش بهمنظور بازسازی تصاویر و جداسازی پوشش گیاهی مانگروها از نواحی آبی و خشکی‌های پیرامون و تهیه نقشه تغییرات مشخصه‌های رویشی مانگروها در بخش‌های مختلف ذخیره‌گاه، از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (Normalized Difference Vegetation Index) که یکی از بهترین و پرکاربردترین شاخص‌ها برای شناسایی سریع و ساده مانگروها از سایر مناطق است، استفاده شد (Giri, 2016).

توسعه رابطه رگرسیونی بین متغیرهای رویشی قطر تن و ارتفاع درختان با مقادیر NDVI: پس از تهیه نقشه NDVI ذخیره‌گاه برای سال ۲۰۱۹، بین میانگین قطر و ارتفاع مانگروها در قطعه‌های نمونه و مقادیر NDVI مربوط به ۹ پیکسل متناظر با هر قطعه‌نمونه چند رابطه رگرسیونی برازش داده شد. از آنجایی که یکی از اهداف این پژوهش، نقشه‌سازی تغییرات مشخصه‌های رویشی قطر و ارتفاع مانگروها در سطح ذخیره‌گاه زیست‌کرده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بود، در اولین قدم مناسب‌ترین مدل برای برآورد این مشخصه‌های رویشی از تصویر ماهواره‌ای تهیه شد. در این پژوهش از ۳۲ قطعه‌نمونه برداشت شده، ۲۲ قطعه‌نمونه (۷۰ درصد) برای مدل سازی استفاده شد (Powell et al., 2010). بدین ترتیب، با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات (LSR)، بین مقادیر NDVI و مقادیر متوسط قطر و ارتفاع و درصد تاج‌پوشش مانگروها، مدل‌های مختلف خطی (Linear)، لگاریتمی (Logarithmic)، معکوس (Inverse)، درجه دوم (Quadratic)، درجه سوم (Cubic)، توانی (Power) و نمایی (Exponential) تهیه شد و بر اساس بیشترین مقدار ضریب تعیین اصلاح شده (R^2_{adj}) و کمترین مقدار انحراف استاندارد (SE)، مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. هرچند که مدل‌های آماری بر اساس آماره‌هایی مانند R^2_{adj} و SE ارزیابی می‌شوند، اما ضرورت دارد که مدل‌های اعتبارسنجی شوند تا از توافق‌های اتفاقی جلوگیری شود (Powell et al., 2010). در این پژوهش، اعتبارسنجی مدل‌ها با استفاده از قطعه‌نمونه‌هایی که برای توسعه مدل‌ها استفاده نشده بودند (۳۰ درصد باقی‌مانده، ۱۰ قطعه‌نمونه) انجام شد. بر اساس روش پیشنهادی مافی غلامی و همکاران (Mafi-Gholami et al., 2020)، مدل‌ها با استفاده از مقادیر R^2 و p مربوط به نمودار پراکنش داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده متغیرهای رویشی اعتبارسنجی شدند.

اجرای مدل رگرسیونی روی نقشه NDVI ذخیره‌گاه زیست‌کرده حر: در نهایت، رابطه رگرسیونی توسعه داده شده بین تغییرات قطر، ارتفاع و درصد تاج‌پوشش مانگروها در قطعه‌های نمونه و مقادیر NDVI

روی نقشه NDVI بخش‌های ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه اجرا شد و بدین ترتیب نقشه تغییرات قطر، ارتفاع و درصد تاجپوشش مانگروها در سطح ذخیره‌گاه برای سال ۲۰۱۹ تهیه شد.

نتایج

نتایج بررسی مشخصه‌های رویشی در فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا: همان‌طور که بیان شد، از مجموع ۳۲ قطعه‌نمونه، ۱۵ قطعه‌نمونه در فرم رویشگاهی ساحلی و ۱۷ قطعه‌نمونه در فرم رویشگاهی جزیره‌ای قرار داشتند. بر اساس نتایج به دست آمده، در قطعه‌نمونه‌های فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای به ترتیب مشخصه‌های رویشی ۱۸۹۰ و ۲۱۴۲ اصله درخت حرا اندازه‌گیری شد. بر این اساس، تراکم درختان در هکتار در دو فرم رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای به ترتیب ۷۱۷ و ۷۷۲ اصله در هکتار بود که بیانگر تراکم بیشتر درختان در فرم رویشگاهی ساحلی ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا است. در هر دو فرم رویشگاهی ذخیره‌گاه، پراکنش درختان در طبقات قطری بیانگر ناهمسال بودن توده‌های حرا است. بررسی پراکنش درختان در طبقه‌های قطری در سطح فرم‌های رویشگاهی جزیره‌ای و ساحلی ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا نشان می‌دهد که در فرم رویشگاهی جزیره‌ای بیشترین تعداد درختان در طبقه قطری ۶-۱۰ سانتی‌متر و در فرم رویشگاهی ساحلی در طبقات قطری ۱۱-۱۵ سانتی‌متر قرار داشتند (جدول ۱).

جواب صفری و همکاران

جدول ۱- مشخصه‌های رویشی اندازه‌گیری شده در فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا

رویشگاهی	پارامتر آماری	غم	مشخصه رویشی	ارتفاع درخت	قطر تنه	ارتفاع تاج	قطر تاج	مساحت تاج
ساحلی	میانگین	اشتباه معیار	۸/۹	۲۳۵/۲	۲۵۰/۷	۱۵/۲	۳۰۱/۳	
	حداکثر		۱۹/۶	۵۵۰	۵۹۰	۸۸/۲	۶۸۰/۳	
	حداقل		۱۰/۴	۱۱۵	۱۱۰	۷/۱	۱۵۰	
	حدود اعتماد		۰/۳۰	۹/۶	۹/۰۰	۰/۵۷	۱۱/۷	
	درصد اشتباہ		۹/۵	۲۵۵/۴	۲۶۹/۵	۱۶/۴	۳۲۵/۷	
	میانگین		۸/۳	۲۱۵	۲۳۱/۸	۱۴/۰۲	۲۷۶/۹	
	حداکثر		۷/۰۴	۸/۶	۷/۵	۷/۸	۸/۰۹	
	حداقل		۵/۸	۱۸۵/۱	۱۵۲/۵	۱۰/۳	۲۰۰/۳	
جزیره‌ای	میانگین	اشتباه معیار	۲۳/۷	۵۰۰	۵۵۰	۸۷/۸	۶۵۶/۸	
	حداکثر		۰/۳۳	۹۵	۱۰۰	۵	۱۳۰	
	حدود اعتماد		۰/۴۵	۱۵/۶	۱۳/۶	۰/۹۰	۱۵/۰۹	
	درصد اشتباہ		۶/۸	۲۱۸/۹	۱۸۱/۹	۱۲/۲	۲۳۴/۹	
	میانگین		۴/۸	۱۵۱/۳	۱۲۳/۱	۸/۳	۱۶۵/۸	
	حداکثر		۷/۷	۸/۴	۸/۹	۸/۸	۷/۹	
	حداقل							
	درصد اشتباہ							

نتایج تفاوت بین مقادیر متوسط مشخصه‌های رویشی درختان حرا در فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای: بررسی اختلاف میان مقادیر متوسط مشخصه‌های رویشی اندازه‌گیری شده در قطعه‌های نمونه در فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای با استفاده از آزمون t نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین مقادیر میانگین همه مشخصه‌های رویشی در دو فرم رویشگاهی ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج آزمون t بین مقادیر میانگین مشخصه‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا

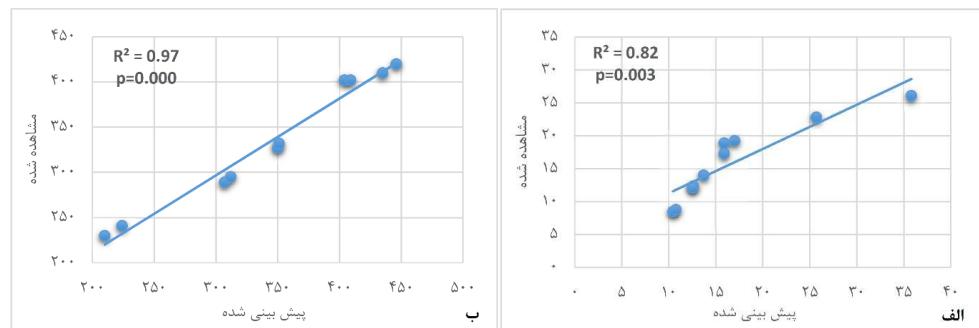
p-value	فرم رویشگاهی جزیره‌ای	فرم رویشگاهی ساحلی	
۰/۰۱۹	۱۰/۳	۱۵/۲۱	قطر درخت (سانتی‌متر)
۰/۰۰۰	۲۰۰/۳	۳۰۱/۳	ارتفاع درخت (سانتی‌متر)
۰/۰۰۰	۱۵۲/۵	۲۵۰/۷	ارتفاع تاج درخت (سانتی‌متر)
۰/۰۲۹	۵/۸	۸/۹	مساحت تاج درخت (مترمربع)
۰/۰۱۵	۱۸۵/۱	۲۳۵/۲	قطر تاج درخت (سانتی‌متر)

نتایج مدل‌سازی رابطه بین مقادیر مشخصه‌های رویشی درختان حرا در قطعه‌های نمونه و مقادیر **NDVI**: نتایج مدل‌سازی رابطه بین متغیرهای قطر و ارتفاع درخت با مقادیر NDVI با استفاده از ۷۰ درصد داده‌های مشاهداتی نشان داد که همه مدل‌ها از نظر آماری معنی‌دار هستند ($p < 0.001$) و مقادیر ضریب همبستگی تعدیل شده (Adj- r^2) آن‌ها بزرگ‌تر از ۰/۸۵ است (جدول ۳).

جدول ۳- مدل‌سازی رگرسیون حداقل مربعات (LSR) برای پیش‌بینی مقادیر مشخصه‌های رویشی مانگروها از مقادیر NDVI

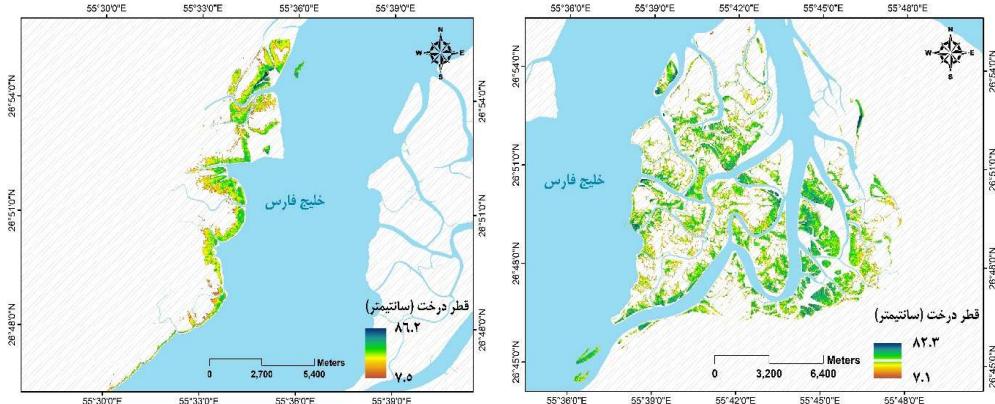
p-value	Adj-r ²	SE	b	a	
<۰/۰۰۱	۰/۸۵	۲/۳۹	۲/۲۹	۳۲/۶۴	قطر درخت
<۰/۰۰۱	۰/۹۷	۱۴/۹	۳۶/۷	۵۳۷/۸	ارتفاع درخت

اعتبارسنجی مدل‌ها نشان داد که همه مدل‌های توسعه‌یافته با ضریب همبستگی (R^2) بزرگ‌تر از ۰/۸۲ قابلیت بالایی برای پیش‌بینی قطر و ارتفاع درخت با استفاده از NDVI دارند (شکل ۱ الف و ب).



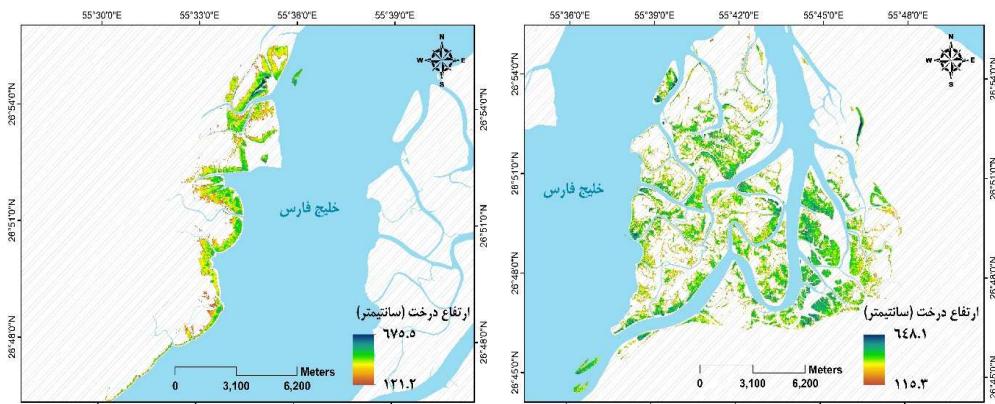
شکل ۱- مقایسه بین ۳۰ درصد (اعتبارسنجی) مقادیر مشاهده شده (اندازه گیری در قطمه نمونه) و پیش‌بینی شده الف: قطر درخت و ب: ارتفاع درخت (مستخرج از مقادیر NDVI تصویر ماهواره‌ای)

نتایج نقشه‌سازی تغییرات مکانی قطر و ارتفاع درختان مانگرو در فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای: اجرای مدل‌سازی رگرسیونی رابطه بین قطر و ارتفاع درخت با مقادیر NDVI بر روی نقشه NDVI ذخیره‌گاه نشان داد که متناسب با تغییرات مکانی مقادیر NDVI در گستره‌های مختلف مربوط به فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای زیست‌کره حرا، طیفی از مقادیر متغیرهای رویشی موردمطالعه در سطح ذخیره‌گاه قابل مشاهده است. نقشه‌سازی تغییرات مکانی قطر نشان داد که مقادیر این مشخصه در سطح ذخیره‌گاه از حداقل ۷ سانتی‌متر تا حداکثر $82/3$ سانتی‌متر در فرم رویشگاهی جزیره‌ای و از حداقل $7/5$ سانتی‌متر تا حداکثر $86/2$ سانتی‌متر در فرم رویشگاهی ساحلی متغیر است. بررسی تغییرات مکانی مشخصه ارتفاع در سطح ذخیره‌گاه نیز نشان داد که این مشخصه در فرم رویشگاهی جزیره‌ای از حداقل $115/3$ سانتی‌متر تا حداکثر $648/1$ سانتی‌متر و در فرم رویشگاهی ساحلی از حداقل $121/2$ سانتی‌متر تا حداکثر $675/5$ سانتی‌متر متغیر بود. بررسی تغییرات مکانی مقادیر مشخصه‌های قطر و ارتفاع درخت در هر دو فرم رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه نشان می‌دهد که گستره‌های رویدریای این فرم‌های رویشگاهی که متشکل از فرم ساختاری Tall (مانگروهای دارای ارتفاع، قطر درخت و گستره تاج بزرگتر)، دارای مقادیر حداکثری از این سه مشخصه هستند (شکل‌های ۲ تا ۵). در مقابل، گستره‌های رویه خشکی فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه که متشکل از فرم ساختاری Dwarf (مانگروهای دارای ارتفاع، قطر درخت و گستره تاج کوچکتر) هستند، مقادیر حداقلی از قطر و ارتفاع درخت را نشان می‌دهند (شکل‌های ۲ تا ۵).



شکل ۳- تغییرات قطر درخت در فرم رویشگاهی ساحلی

شکل ۲- تغییرات قطر درخت در فرم رویشگاهی جزیره‌ای



شکل ۵- تغییرات مقادیر ارتفاع درختان در فرم رویشگاهی ساحلی

شکل ۴- تغییرات مقادیر ارتفاع درختان در فرم رویشگاهی جزیره‌ای

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس پژوهش‌های پیشین، رویشگاه‌های مانگرو با درجه توسعه ساختاری بیشتر (مقادیر مشخصه‌های رویشی بیشتر)، حساسیت زیستمحیطی بیشتری نیز دارند (Pellegrini et al., 2009). مقایسه نتایج این پژوهش در زمینه مقادیر مشخصه‌های رویشی متوسط قطر درخت و متوسط ارتفاع درختان با پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهد که مقادیر متوسط ارتفاع درختان در ذخیره‌گاه زیست کره حرا به ترتیب $12/7$ و $250/6$ سانتی‌متر، در حوزه رویشگاهی تیاب به ترتیب $10/5$ و $190/4$ سانتی‌متر (صفا ایسینی و همکاران، ۱۳۸۵) و در حوزه رویشگاهی جاسک به ترتیب $19/2$ و $283/7$

سانتی متر (تیاب و همکاران، ۱۳۹۴) است. بر اساس این نتایج، حوزه رویشگاههای جاسک بیشترین مقادیر این دو مشخصه رویشی را در بین حوزه‌های رویشگاهی موجود در سواحل استان هرمزگان دارد که بیانگر درجه توسعه ساختار بالاتر آن نسبت به دو رویشگاه دیگر است. بررسی مقادیر متوسط مشخصه‌های قطر درخت، ارتفاع درختان و تراکم در هکتار در ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا نشان داد که مقادیر این سه مشخصه در فرم رویشگاهی ساحلی ذخیره‌گاه به ترتیب $۱۵/۲$ ، $۳۰/۱/۳$ و ۷۷۲ سانتی متر و $۲۰۰/۰/۳$ سانتی متر و $۱۰/۰/۳$ اصله در هکتار و در فرم رویشگاهی جزیره‌ای ذخیره‌گاه به ترتیب $۲۰۰/۰/۳$ ، $۲۰/۰/۳$ و ۷۱۷ اصله در هکتار بود که بیانگر درجه توسعه ساختاری بالاتر فرم رویشگاهی ساحلی نسبت به فرم رویشگاهی جزیره‌ای در ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا است. بررسی مقادیر تراکم درختان در هکتار در ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا نشان داد که مقدار متوسط این متغیر در ذخیره‌گاه ۷۴۵ اصله در هکتار است. پژوهش‌های انجام شده در رویشگاههای دیگر مانگرو استان هرمزگان نشان می‌دهد که مقدار تراکم درختان در هکتار در دو رویشگاه تیاب و جاسک به ترتیب $۱۰/۱۴/۷$ و ۱۳۵۳ اصله در هکتار است (صفا ایسینی و همکاران، ۱۳۸۵؛ تیاب و همکاران، ۱۳۹۴). این مقایسه نشان می‌دهد که تراکم درختان در حوزه‌های رویشگاهی استان هرمزگان از سواحل خلیج فارس به سمت سواحل دریای عمان افزایش می‌یابد به‌نحوی که ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا (حوزه رویشگاهی خمیر) و حوزه رویشگاهی جاسک به ترتیب دارای کمترین و بیشترین تراکم درختان در هکتار در بین رویشگاههای موجود در طول سواحل استان هرمزگان هستند. نتایج پژوهش مافی غلامی و همکاران (۲۰۱۷) (Mafi-Gholami et al., 2017) نشان داد که در دوره زمانی پس از سال ۱۹۹۸، رویشگاههای مانگرو موجود در سواحل خلیج فارس در معرض وقوع خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید قرار گرفتند که باعث کاهش گستره، تاجپوشش، توان تولیدی و افت سطح سلامت این رویشگاهها نسبت به دوره زمانی قبل از سال ۱۹۹۸ (دوره تراسالی) شده است. بر این اساس، کاهش مقادیر بارندگی و وقوع خشکسالی در سال‌های اخیر می‌تواند سبب کاهش مقادیر متغیرهای رویشی در ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا شده باشد. این در حالی است که با توجه به پیش‌بینی‌های موجود مبنی بر کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی در خاورمیانه در دهه‌های آینده (Barlow et al., 2016)، افت شدیدتر میزان رویش و توان تولیدی مانگروهای سواحل جنوب ایران دور از انتظار نخواهد بود. علاوه‌بر وقوع خشکسالی‌های شدید در سال‌های اخیر، افزایش $۱/۴$ درجه‌ای دمای کره زمین (Szulejko et al., 2017) و افزایش $۳/۲$ درجه‌ای در سواحل جنوب ایران (Etemadi et al., 2016) تا پایان قرن ۲۱ می‌تواند با افزایش تبخیر و تعرق در سطح نواحی ساحلی و حوضه‌های آبریز بالادستی مانگروها سبب تشدید اثرات نامطلوب ناشی از وقوع خشکسالی بر مانگروهای سواحل جنوب ایران (به‌ویژه مانگروهای ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا) شود.

نتایج پژوهش پیش رو نشان داد که بین مقادیر میانگین مشخصه‌های رویشی در دو فرم رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست کرده حرا باهم تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۲). ویژگی‌های ژئومورفولوژیک محلی و دینامیک‌های هیدرولوژیک آب سطحی و زیرزمینی و نیز وضعیت زمین‌شناسی خشکی‌های بالادست و تأثیر آن بر مقدار رسوب‌گذاری ساحلی، وجود تأسیسات و سازه‌های ساحلی و یا احداث آن‌ها، مسائل اقتصادی و اجتماعی، تفاوت ویژگی‌های اقلیمی بین رویشگاه‌های مختلف، آلینده‌ها و اثرات تغییر اقلیم مانند بالا آمدن سطح آب دریا می‌توانند از عوامل ایجاد تفاوت بین مقادیر متغیرهای رویشی در رویشگاه‌های مانگرو مناطق مختلف (در مقیاس محلی و در سطح یک رویشگاه) باشند (Gilman et al., 2007). نتایج پژوهش بهارلویی و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که بین فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست حرا نرخ متفاوتی از فرسایش و رسوب‌گذاری (پیشروی و پسروی مانگروها) وجود دارد، به طوری که مشخص شد فرم رویشگاهی جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست کرده حرا دارای نرخ فرسایش بیشتری نسبت به فرم رویشگاهی ساحلی آن است. عواملی مانند ارتفاع و انرژی بیشتر امواج و نیز بیشتر بودن نرخ افزایش سطح آب دریا نسبت به نرخ رسوب‌گذاری در فرم رویشگاهی جزیره‌ای نسبت به فرم رویشگاهی ساحلی می‌تواند از دلایل بیشتر بودن نرخ فرسایش بستر و پسروی مانگروهای حاشیه روبه‌دریایی فرم رویشگاهی جزیره‌ای نسبت به فرم رویشگاهی ساحلی در ذخیره‌گاه زیست کرده حرا باشد (مافنی غلامی، ۱۳۹۴). با توجه به اینکه فرم ساختاری Tall در رویشگاه‌های مانگرو در حاشیه‌های روبه‌دریا و فرم ساختاری Dwarf در گستره‌های روبه خشکی این رویشگاه‌ها قرار دارند، فرسایش بیشتر و افت گستره‌های روبه‌دریا (افتادن و خشک شدن مانگروهای فرم ساختاری Tall در اثر فرسایش بستر) در فرم رویشگاهی جزیره‌گاه زیست کرده حرا نسبت به فرم رویشگاهی ساحلی می‌تواند یکی از دلایل کمتر بودن درجه توسعه ساختاری و مقادیر مشخصه‌های رویشی اندازه‌گیری شده در فرم رویشگاهی جزیره‌ای نسبت به فرم رویشگاهی ساحلی باشد. پژوهش‌های آینده می‌توانند رابطه بین تغییرات گستره فرم‌های ساختاری Tall و Dwarf با نرخ بالا آمدن سطح آب دریا و مقدار رسوب‌گذاری در بستر این فرم‌ها در دو فرم رویشگاهی جزیره‌ای و ساحلی ذخیره‌گاه زیست کرده حرا را بررسی کنند تا تأثیر آن‌ها بر تغییرات مقادیر متغیرهای رویشی مربوط به این بخش‌های ذخیره‌گاه در طول زمان مشخص شود.

بر اساس پژوهش‌های پیشین، بخش عمده استفاده مستقیم جوامع ساحلی ایران، بهره‌برداری و استفاده از سرشاخه‌های مانگروها است که برای تغذیه دام استفاده می‌شود. در رویشگاه‌های مانگرو استان هرمزگان نیز هرس سرشاخه‌ها برای تعلیف دام متداول است و از این‌رو نقش مهمی در اقتصاد جوامع ساحلی این استان دارند (دانه‌کار و همکاران؛ ۱۳۸۵، ۱۳۸۸، ۱۳۹۱). بر اساس گزارش‌های اداره کل منابع طبیعی استان هرمزگان، اطلاعات موجود در سند مانگروهای ایران (دانه‌کار و همکاران،

(۱۳۹۱) و گفتگو با افراد محلی، مانگروهای ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا در معرض بهره‌برداری بی‌رویه قرار دارند و بهدلیل دسترسی آسان‌تر از بخش روبه‌دریا، عمدۀ بهره‌برداری‌ها از حاشیه روبه‌دریای رویشگاه‌ها انجام می‌شود (مافی غلامی، ۱۳۹۴). با توجه به قرارگیری فرم ساختاری Tall در حاشیه روبه‌دریای مانگروها، تمرکز بالای بهره‌برداری از گستره‌های روبه‌دریایی فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه می‌تواند سبب افت ساختار و کاهش وسعت فرم ساختاری Tall (افزایش سهم فرم ساختاری Dwarf در رویشگاه) در این بخش‌های ذخیره‌گاه شود که در مجموع سبب کاهش گستره، میزان ذخیره کردن و توان تولیدی رویشگاه می‌شود. پژوهش مافی غلامی (۱۳۹۴) نشان داد که بر اساس گستره و نقاط بهره‌برداری و چرای دام، فرم رویشگاهی جزیره‌ای در ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا نسبت به فرم ساحلی آن در معرض بهره‌برداری قطع و سرشاخه‌زنی مانگروها در گستره‌های روبه‌دریا قرار دارد که می‌تواند از دلایل تغییر ویژگی‌های ساختاری و کمتر بودن مقادیر میانگین متغیرهای رویشی در فرم رویشگاهی جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا نسبت به فرم رویشگاهی ساحلی آن باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که تجزیه‌وتحلیل مکانی متغیرهای رویشی مانگروها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به عنوان ابزار مفیدی برای پایش و شناسایی بخش‌های حساس رویشگاه مورداستفاده قرار گیرد؛ چنانکه در سایر مطالعات انجام‌شده نیز توان و کارایی بالای تصاویر ماهواره‌ای در نقشه‌سازی ساختار و نیز پایش تغییرات بلندمدت سطح سلامت و توان تولیدی مانگروها نشان داده شده است (Mafi-Gholami et al., 2020). این پژوهش برای اولین بار در سطح کشور ضمن آماربرداری گستره از مانگروهای ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا و تجزیه‌وتحلیل تصویر ماهواره‌ای، نقشه‌سازی دقیق از تغییرات مکانی مقادیر متغیرهای رویشی در فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه انجام شد. نتایج این پژوهش با فراهم آوردن اطلاعات دقیق از وضعیت ساختاری فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا و تشریح عوامل محیطی مؤثر بر افت ساختار و توان رویشی مانگروهای این رویشگاه می‌تواند کمک شایانی به اجرای اقدامات حفاظتی و احیاء مانگروهای این رویشگاه کند. درنهایت پیشنهاد می‌شود تا با استفاده از روش بکار رفته در این مطالعه و ضمن بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای باقدرت تفکیک بالاتر (همانند کوئیک برد) ضمن نقشه‌سازی دقیق‌تر خصوصیات ساختاری مانگروها، میزان تغییرات گستره‌های فرم‌های ساختاری Tall و Dwarf در فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا در طول زمان مورد پایش قرار گیرد و تأثیر تغییرات اقلیمی بر گستره این فرم‌های ساختاری و خصوصیات ساختاری و زیتدۀ ذخیره‌گاه موردنرسی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود تا مطالعات آینده تغییرات رخداده در متغیرهای رویشی و ساختاری فرم‌های رویشگاهی ساحلی و جزیره‌ای ذخیره‌گاه زیست‌کرده حرا در مواجه با شدت‌های متفاوت فعالیت صیادی در طول زمان موردنرسی قرار دهند.

منابع

- بهارلویی، م.، مافی غلامی، د.، محمودی، ب. ۱۳۹۶. بررسی میزان فرسایش و رسوب گزاری مانگروهای ایران در طول سواحل خلیج فارس و دریای عمان. دانشگاه شهرکرد-دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۴۵ ص.
- تیاب، ز.، دانه کار، ا.، نجفی، ک.، نادریان، ن.، شریفی، ک.، طبیبی، ا. ۱۳۹۴. بررسی جنگل‌های مانگرو منطقه حفاظت‌شده گابریگ، جاسک شرقی و غربی (استان هرمزگان) بر اساس ساختار رویشگاه، اقیانوس‌شناسی، ۱۱۱-۱۰۵: ۱۹.
- دانه کار، ا.، محمودی، ب.، سعید صباحی، م.، قدیریان، ط.، اسدالهی، ز.، شریفی، ن.، پتروسیان، م. ۱۳۹۱. سند ملی برنامه مدیریت پایدار جنگل‌های مانگرو ایران. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، اداره کل جنگل‌های خارج از شمال، مهندسین مشاور پایداری طبیعت و منابع، ۶۲۴ ص.
- دانه کار، ا.، جلالی، س. ۱۳۸۳. بررسی ساختار جنگل‌های حرا در حوزه خمیر و قشم (استان هرمزگان) با استفاده از آماربرداری به روش ترانسکت، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۶۷: ۱۸-۲۴.
- دانه کار، ا.، محمودی، ب.، هاشمی، ا. ۱۳۸۵. طرح مدیریت و توسعه جنگل‌های مانگرو استان هرمزگان، اداره کل منابع طبیعی استان هرمزگان، ۳۲۵ ص.
- دانه کار، ا.، محمودی، ب.، تقی زاده، ع.، کامرانی، ا. ۱۳۸۸. بررسی ساختار توده‌های جنگلی مانگرو در رویشگاه سیریک در استان هرمزگان، جنگل و فرأورده‌های چوب، ۶۲(۴): ۳۵۹-۳۶۹.
- صفا ایسینی، م.، دانه کار، ا.، کامرانی، ا. ۱۳۸۵. بررسی ساختار جنگل‌های حرا در حوزه کولقان، تیاب و کلاهی در تنگه هرمز، علوم محیطی، ۱۱: ۱-۱۰.
- صفیاری، ش. ۱۳۹۶. جنگل‌های حرا ایران، طبیعت ایران، ۲(۲): ۴۹-۵۷.
- عرفانی، م.، نوری، غ.، دانه کار، ا.، مردمی مهاجر، م.، محمودی، ب. ۱۳۸۸. بررسی پارامترهای رویشی جنگل‌های مانگرو خلیج گواتر در جنوب شرقی ایران، مجله تاکسونومی و بیوپستماتیک، ۱: ۳۳-۴۶.
- مافی غلامی، د. ۱۳۹۴. ارزیابی آسیب‌پذیری مانگروها به منظور مدیریت پایدار آن‌ها (مطالعه موردی مانگروهای استان هرمزگان). دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، رساله دکتری جنگل‌داری، ۵۱۰ ص.
- مافی غلامی، د.، بهارلویی، م.، محمودی، ب. ۱۳۹۶. پایش نرخ پیشروی و پسروی در جنگل‌های مانگرو با استفاده از سنجش از دور و سامانه تجزیه و تحلیلی رقومی خط ساحلی (DSAS) (مطالعه موردی: ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا)، محیط‌شناسی، ۴۳(۴): ۶۳۳-۶۴۶.
- محمودی، ب.، دانه کار، ا. ۱۳۸۸. بررسی ساختار رویشگاه‌های مانگرو در استان هرمزگان. سومین همایش ملی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۵۹-۶۵.
- Barlow, W., Zaitchik, B., Paz, S., Balck, E., Evans, J., Hoell, A. 2016. A review of drought in the Middle East and southwest Asia. Climate, 29 (3): 8547-8574.
- Clough, B. F., Dixon, P., Dalhaus, O. 1997. Allometric relationships for estimating biomass in multi-stemmed mangrove trees. Australian Journal of Botany, 45(6), 1023-1031.

- Danehkar, A. 2001. Mangroves forests zonation in Gaz and Harra international wetlands. *The Environment Scientific Quarterly Journal*, 34: 43-49.
- 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(1-2): 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.
- Giri, C. 2016. Observation and Monitoring of Mangrove Forests Using Remote Sensing: Opportunities and Challenges. *Remote Sensing*, 8(9): 58-67.
- Mafi-Gholami, D., Mahmoudi, B., Zenner, E.K. 2017. An analysis of the relationship between drought events and mangrove changes along the northern coasts of the Persian Gulf and Oman Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199: 141-151.
- Mafi-Gholami, D., Zenner, E.K., Jaafari, A. 2020. Mangrove regional feedback to sea level rise and drought intensity at the end of the 21st century. *Ecological Indicators*, 110: 105972.
- 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.
- Naidoo, G. 2010. Ecophysiological differences between fringe and dwarf *Avicennia marina* mangroves. *Trees*, 24(4): 667-673.
- Pellegrini, J.A.C., Soares, M.L.G., Chaves, F.O., Estrada, G.C.D., Cavalcanti, V.F. 2009. A method for the classification of mangrove forests and sensitivity/vulnerability analysis. *Journal of Coastal Research*, 443-447.
- Powell, S.L., Cohen, W.B., Healey, S.P., Kennedy, R.E., Moisen, G.G., Pierce, K.B., Ohmann, J.L. 2010. Quantification of live aboveground forest biomass dynamics with Landsat time-series and field inventory data: a comparison of empirical modeling approaches. *Remote Sensing of Environment*, 114(5): 1053-1068.
- Szulejko, J.E., Kumar, P., Deep, A., Kim, K.H. 2017. Global warming projections to 2100 using simple CO₂ greenhouse gas modeling and comments on CO₂ climate sensitivity factor. *Atmospheric Pollution Research*, 8(1): 136-140.
- Zhang, G., Ganguly, S., Nemani, R.R., White, M.A., Milesi, C., Hashimoto, H., Wang, W., Saatchi, S., Yu, Y., Myneni, R.B. 2014. Estimation of forest aboveground biomass in California using canopy height and leaf area index estimated from satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 151: 44-56.