

مدل سازی مکانی زی توده مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا

داود مافی غلامی^{۱*}، ابوالفضل جعفری^۲، مریم یعقوب زاده^۳

^۱گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
^۲مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۳گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۴

چکیده

برآورد مقادیر ذخیره کربن مانگروها نقش مهمی در تهیه اطلاعات حیاتی برای توسعه برنامه های سازگاری با تغییر اقلیم و استراتژی کربن آبی در رویشگاه های ساحلی دارد. بنابراین، هدف پژوهش حاضر برآورد مقادیر ذخیره کربن مانگروها در منطقه حفاظت شده حرای استان هرمزگان بود. برای دستیابی به این هدف، پس از انجام آماربرداری میدانی و ثبت قطر در محل یقه مانگروها و استفاده از روابط آلومتریک، مقادیر زی توده روی زمینی و زیرزمینی مانگروها در محل قطعات نمونه برآورد شد. سپس با توسعه رابطه رگرسیونی بین مقادیر زی توده روی زمینی و زیرزمینی مانگروها و مقادیر شاخص پوشش گیاهی نرمال شده مستخرج از تصاویر ماهواره ای، نقشه مقادیر زی توده روی زمینی و زیرزمینی مانگروها در دو منطقه ساحلی و جزیره ای و مانگروهای بلندقد و کوتاه قد تهیه شد. نتایج نشان داد که میانگین زی توده روی زمینی در مانگروهای مناطق ساحلی و جزیره ای منطقه حفاظت شده حرا به ترتیب برابر با ۶۱/۲ تن در هکتار و ۵۶/۱ تن در هکتار و میانگین زی توده زیرزمینی نیز به ترتیب برابر با ۱۵/۶ و ۱۲/۵ تن در هکتار بود و اختلاف معنی دار بین مقادیر این دو متغیر در دو زون منطقه حفاظت شده وجود داشت ($P < 0.002$). وسعت مانگروهای بلندقد در منطقه ساحلی (۵۹ درصد) بیشتر از وسعت مانگروهای کوتاه قد (۴۱ درصد) بود و در قسمت جزیره ای وسعت مانگروهای بلندقد (۴۴ درصد) کمتر از وسعت مانگروهای کوتاه قد (۵۶ درصد) بود. مقدار زی توده کل در مانگروهای بلندقد در هر دو منطقه ساحلی و جزیره ای به ترتیب در حدود ۷/۵ و ۸ برابر مقدار این متغیر در مانگروهای کوتاه قد بود. نتایج این پژوهش می تواند برای تهیه برنامه های سازگاری با تغییر اقلیم رویشگاه های مانگرو مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: آماربرداری میدانی، روابط آلومتریک، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور

مقدمه

در بین زیرسیستم‌های طبیعی واقع در سواحل جهان، مانگروها با داشتن وسعتی در حدود ۱۴/۸ میلیون هکتار (FAO, 2020)، منشأ طیف متنوعی از کارکردهای بوم‌شناختی و اقتصادی بوده (Duke *et al.*, 2007) و نقش قابل توجهی در پایداری بوم‌سازگان‌های ساحلی دارند تا جایی که مجموع ارزش اقتصادی این اکوسیستم‌ها در حدود ۱۸۱ میلیارد دلار برآورد شده است (Alongi, 2022). این جنگل‌ها با داشتن میزان تولید خالص اولیه‌ای در حدود ۲ تن در هکتار در سال، سبب ذخیرهٔ مقادیر قابل توجهی از کربن در محیط‌های ساحلی جهان می‌شوند (Chumra *et al.*, 2003)، بنابراین نقش مهمی در چرخهٔ عناصر غذایی در اکوسیستم‌های ساحلی و نیز چرخهٔ جهانی کربن بر عهده دارند (Kristensen *et al.*, 2008). این درحالی است که از بین رفتن مانگروها سبب آزادسازی مقادیر زیادی از کربن ذخیره شده در این اکوسیستم‌ها و به‌دنبال آن تشدید گرمایش جهانی و سایر پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم می‌گردد که کاهش کیفیت آب‌های ساحلی، کاهش تنوع زیستی، تخریب زیستگاه‌های ساحلی و نیز نابودی بخش عمده‌ای از منابع مورد نیاز جوامع انسانی را در پی خواهد داشت (Kristensen *et al.*, 2008). بر این اساس، نیاز است تا با انجام مطالعات دقیق اطلاعات ضروری جهت توسعهٔ برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم را برای این جنگل‌ها فراهم نمود (Osland *et al.*, 2017). در این راستا، یکی از مهمترین پیش‌نیازها برای توسعهٔ برنامه‌های سازگاری و اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی برای کاهش آسیب‌پذیری مانگروها نسبت به پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم، بررسی و تعیین مقادیر ترسیب کربن این جنگل‌ها در رویشگاه‌های موجود در سواحل گوناگون جهان است (Ray *et al.*, 2011; Hutchison *et al.*, 2014; Mafi-Gholami *et al.*, 2019; 2020) که توسعهٔ استراتژی‌های کربن آبی را در سواحل گوناگون جهان به‌دنبال دارد (McLeod *et al.*, 2011).

در میان رویشگاه‌های جنگلی ایران، جنگل‌های مانگرو با قرار گرفتن در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان در معرض تخریب ناشی از عوامل طبیعی و انسانی مختلفی مانند خشکسالی و کاهش آب شیرین ورودی به ساحل از حوزه‌های آبریز بالادستی، آلودگی‌های نفتی، افزایش دمای هوا و بهره‌برداری‌های انسانی قرار دارند (Mafi-Gholami *et al.*, 2015a,b, 2017, 2019, 2020). وقوع عوامل مخرب ذکرشده و تشدید آن‌ها در دهه‌های اخیر سبب افت ساختار و توان تولیدی این رویشگاه‌ها شده و افزایش آسیب‌پذیری این رویشگاه‌ها به سایر پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم را به‌دنبال داشته است (Mafi-Gholami *et al.*, 2019, 2020). این در حالی است که بررسی ویژگی‌های ساختاری و توان تولیدی مانگروها در رویشگاه‌های مختلف از پیش نیازهای اصلی تهیه و اجرای برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم در این رویشگاه‌ها است (Ellison, 2015).

مانگروهای منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ حرا، با قرار گرفتن در محدودهٔ آبی میان جزیرهٔ قشم و سواحل شهرستان خمیر، دارای تفاوت‌های ساختاری، ویژگی‌های زمین ریخت‌شناختی، میزان بارندگی و ورود آب شیرین از حوزه‌های آبریز، پویایی رسوب‌گذاری و نوسانات تراز جزر و مدی است (Danekar *et al.*, 2008; Safari, 2018) و این عوامل سبب تفاوت در نرخ تغییرات مرزهای رو به دریا و خشکی و سطح آسیب‌پذیری بخش‌های مختلف این رویشگاه نسبت به پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم (خشکسالی، بالا آمدن سطح آب دریا) شده است (Mafi-Gholami *et al.*, 2016). بدون شک، تفاوت ویژگی‌های رویشگاهی و نیز شدت وقوع متفاوت مخاطرات محیطی در مناطق ساحلی و جزیره‌ای منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ حرا می‌تواند بر سطح ساختار و توان تولیدی و نیز میزان آسیب‌پذیری مانگروهای آن نسبت به مخاطرات محیطی گوناگون اثرگذار باشد. بنابراین هدف این پژوهش نیز بررسی توان تولیدی در دو منطقهٔ ساحلی و جزیره‌ای منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ حرا (به‌ویژه بررسی توان تولیدی مانگروهای کوتاه‌قد (Dwarf) (مانگروهای با

دو منطقه ساحلی و جزیره‌ای را نشان می‌دهد.

برآورد زی‌توده روی زمینی و زیرزمینی در محل قطعات

نمونه: برای برآورد مقادیر زی‌توده روی زمینی و زیرزمینی درختان حرا، ابتدا قطر در محل یقه درختان در تعداد ۳۵ قطعه نمونه با ابعاد ۳۰×۳۰ متر در سال ۲۰۱۹ اندازه‌گیری شد (منطبق با اندازه پیکسل تصویر ماهواره لندست) و تعداد قطعات نمونه در نظر گرفته در نتیجه ترسیم شبکه آماربرداری با ابعاد ۲۵۰ × ۲۵۰ متر بود که به‌روش منظم تصادفی در تمام سطح منطقه، پراکنش داده شده بود (Mafi-Gholami et al., 2020). براین اساس، تعداد ۲۰ قطعه نمونه در مانگروهای منطقه جزیره‌ای و تعداد ۱۵ قطعه نمونه نیز در مانگروهای بخش ساحلی منطقه حفاظت شده قرار گرفت. بر اساس روش Clough و همکاران (۱۹۹۷)، در زمینه برآورد زی‌توده گونه حرا، قطر برابر سینه جست‌های تمامی درختان با استفاده از متر نواری با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس، مقادیر زی‌توده روزمینی (Above Ground Biomass, AGB) و زیرزمینی (Below Ground Biomass, BGB) درختان حرا با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد (Rozainah et al., 2018; Mafi-Gholami et al., 2020):

رابطه ۱

$$AGB = 0.308 \times D^{2.11}$$

رابطه ۲

$$BGB = 1.28 \times D^{1.17}$$

که D: قطر یقه درخت است. در نهایت مقدار زی‌توده روزمینی و زیرزمینی در سطح هر قطعه نمونه از مجموع زی‌توده درختان محاسبه گردید.

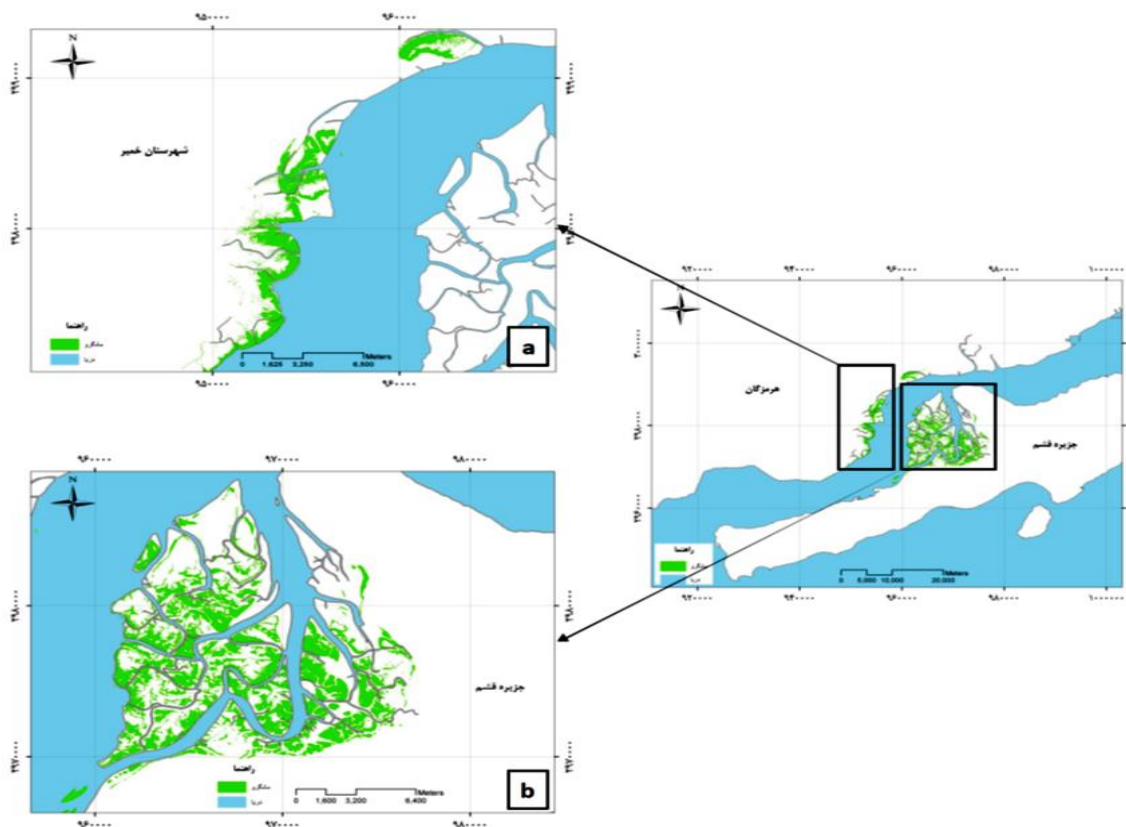
نقشه‌سازی مقادیر زی‌توده روزمینی و زیرزمینی در

مناطق ساحلی ساحلی و جزیره‌ای: پس از قرار دادن مقادیر قطر هر درخت در روابط آلومتریک ذکرشده، مقادیر زی‌توده روزمینی و زیرزمینی درخت با یک‌دیگر جمع شدند و مقدار زی‌توده هر درخت حرا در هر یک از قطعات نمونه محاسبه شد. برای مدل‌سازی رابطه بین مقادیر زی‌توده در قطعات نمونه و تصویر ماهواره‌ای و نقشه‌سازی تغییرات

ارتفاع کمتر از یک متر و در گستره‌های رو به خشکی) و بلندقد (Tall) (مانگروهای با ارتفاع بیشتر از یک متر و در حاشیه‌های رو به دریا) است. برای دستیابی به این هدف از داده‌های زمینی حاصل از آماربرداری‌های گستره میدانی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. بر اساس مطالب ذکر شده، سوالات اساسی پژوهش به این صورت بیان می‌شود که چه تفاوتی بین زی‌توده مانگروهای مناطق ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا وجود دارد؟ تغییرات مکانی زی‌توده روی زمینی و زیرزمینی در مانگروهای کوتاه‌قد و بلندقد در مناطق ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا چگونه است؟

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد مطالعه شامل مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا در حد فاصل میان جزیره قشم و شهرستان خمیر در استان هرمزگان است که دارای وسعتی در حدود ۷۰۶۱ هکتار (Mafi-Gholami et al., 2021) است. در منطقه حفاظت شده حرا، اجتماعات مانگرو در شهرستان خمیر در دو رویشگاه جزیره مردو و خمیر-شتگان پراکنده شده است و در جزیره قشم در کرانه ساحلی شمال‌غربی جزیره و جزیره‌های رسوبی خورخوران پراکنش دارد (Danehkar et al., 2005). مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا متشکل از اجتماعات خالص، نامنظم و ناهمسال حرا است و از نظر رسوب‌شناختی وضعیت مشابهی بین رویشگاه‌های مختلف مانگرو در منطقه حفاظت شده حرا دیده می‌شود؛ چنانکه در خاک سطحی به‌طور عمده دارای بافت لومی و در خاک تحتانی دارای بافت لومی-رسی تا لومی-رسی-سیلتی هستند (Danehkar et al., 2005). در این مطالعه، بررسی مقادیر زی‌توده مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا در دو منطقه ساحلی (شامل مانگروهای جزیره مردو و خمیر-شتگان) و جزیره‌ای (شامل مانگروهای شمال غرب جزیره قشم و خورخوران) انجام گرفت. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و گستره مانگروهای منطقه ساحلی (a) و جزیره‌ای (b)، منطقه حفاظت شده حرا

نمونه) برای توسعه رابطه رگرسیونی میان میان مقادیر زی توده روی زمینی و زیرزمینی مانگروها و تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده استفاده شد (Powell *et al.*, 2010; Mafi-Gholami *et al.*, 2019, 2020). سپس، از ۳۰ درصد باقی مانده قطعات نمونه (۱۰ قطعه نمونه) به عنوان مجموعه داده‌های اعتبارسنجی برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد و اعتبارسنجی مدل‌های توسعه یافته نیز با استفاده از مقادیر R^2 و P متعلق به نمودار پراکنش مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده زی توده روی زمینی و زیرزمینی انجام شد (Powell *et al.*, 2010; Mafi-Gholami *et al.*, 2019, 2020). در نهایت، مدل رگرسیونی مربوط به رابطه میان تغییرات مقادیر زی توده روزمینی و زیرزمینی مانگروها در قطعه نمونه‌ها و مقادیر شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده در سال ۲۰۱۹ روی نقشه شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده منطقه اجرا شد و بر این اساس نقشه تغییرات زی توده روزمینی و زیرزمینی مانگروها در سطح مانگروهای مناطق ساحلی و

زی توده روزمینی و زیرزمینی مانگروها در سطح منطقه حفاظت شده حرا در سال ۲۰۱۹، از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) که یکی از پرکاربردترین مناسب ترین شاخص های گیاهی برای مطالعات زمانی تغییرات ساختار و توان تولیدی مانگروها است، استفاده شد بدین منظور، از تصویر ماهواره لندست مربوط به ماه فوریه (منطبق با تاریخ اجرای آماربرداری زمینی و نیز جهت جلوگیری از تأثیر تغییرات ریخت شناختی ناشی از تغییرات فصل های سال) با ردیف: ۱۵۶ و گذر: ۴۳ استفاده گردید. پس از تهیه نقشه شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده رویشگاه در سال ۲۰۱۹، مقدار شاخص متناظر با هر قطعه، نمونه زمینی استخراج گردید و برای توسعه رابطه بین مقادیر زی توده روی زمینی و زیرزمینی مانگروها و مقدار شاخص متناظر در تصویر ماهواره ای استفاده شد. در این پژوهش، از میان قطعات نمونه برداشت شده، حدود ۷۰ درصد (۲۵ قطعه

جدول ۱- نتایج مدل‌سازی رگرسیون حداقل مربعات جهت پیش‌بینی مقادیر زی‌توده مانگروه‌ها با استفاده از مقادیر شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده

| p-value | Adj-r ² | SE | b | a | |
|---------|--------------------|--------|----------|----------|------------------|
| <۰/۰۰۱ | ۰/۹۸ | ۴۲۴۹/۳ | -۱۳۶۸۹/۶ | ۴۶۹۴۵/۶۳ | زی‌توده روزمینی |
| <۰/۰۰۱ | ۰/۹۸ | ۸۶۲/۴ | -۱۷۸۲/۷۷ | ۷۷۹۵/۹۵ | زی‌توده زیرزمینی |

روی‌زمینی و زیرزمینی مانگروه‌ها در این دو منطقه قرار داده شد و ضمن استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS، مقادیر میانگین زی‌توده روزمینی و زیرزمینی مانگروه‌ها در سطح گستره‌های مانگروه‌های کوتاه‌قد و بلندقد در هر یک از بخش‌های ساحلی و جزیره‌ای محاسبه گردید و در نهایت مقدار متوسط زی‌توده کل مانگروه‌ها در هر یک از مانگروه‌های بلندقد و کوتاه‌قد و برای هر بخش محاسبه و با یک‌دیگر مقایسه گردید.

نتایج

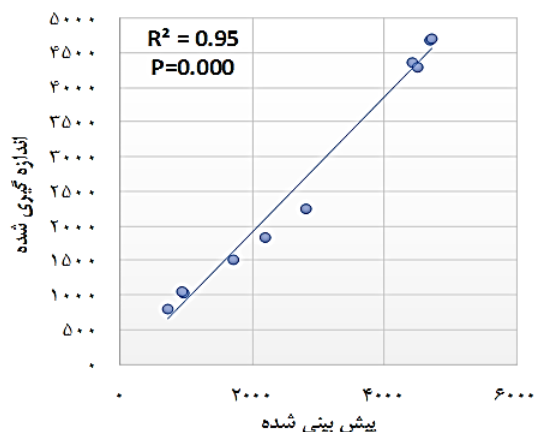
تحلیل مقادیر قطر درختان ثبت شده در قطعات نمونه در مانگروه‌های منطقه حفاظت شده حرا: همان‌طور که بیان شد، از تعداد ۳۵ قطعه نمونه‌برداری، به ترتیب ۲۰ و ۱۵ قطعه نمونه در مانگروه‌های نقاط ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا قرار داشتند. نتایج تجزیه و تحلیل فرم‌های آماربرداری نشان داد که مقادیر قطری ۶۳۰ و ۷۱۴ اصله درخت حرا به ترتیب در مانگروه‌های بخش‌های ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده اندازه‌گیری شد. بر اساس مقادیر قطری ثبت شده، حداقل و حداکثر قطر اندازه‌گیری شده در مانگروه‌های ساحلی به ترتیب ۷ سانتی‌متر و ۸۷/۸ سانتی‌متر و در مانگروه‌های جزیره‌ای ۵/۲ سانتی‌متر و ۸۷/۲ سانتی‌متر بود.

نقشه‌سازی تغییرات زی‌توده روزمینی و زیرزمینی در سطح مانگروه‌های منطقه حفاظت شده حرا: نتایج مدل‌سازی رابطه میان مقادیر زی‌توده روزمینی و زیرزمینی مانگروه‌های منطقه حفاظت شده حرا با مقادیر شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده متناظر با قطعات نمونه با استفاده از دو سوم داده‌های مشاهداتی (۷۰ درصد) نشان داد که مدل

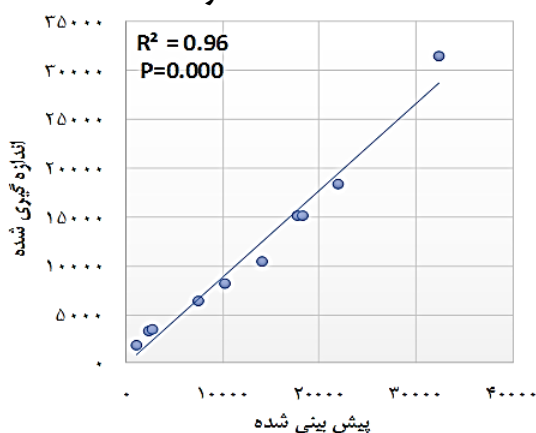
جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا تهیه شد و مقدار متوسط زی‌توده کل مانگروه‌ها در هر یک از مناطق محاسبه و با یک‌دیگر مقایسه شد. در نهایت معنی‌دار بودن تفاوت میانگین مقادیر زی‌توده روزمینی و زیرزمینی مانگروه‌ها در مناطق ساحلی و جزیره‌ای با استفاده از آزمون t بررسی شد.

برآورد مقادیر زی‌توده روزمینی و زیرزمینی و زی‌توده در مانگروه‌های کوتاه‌قد و بلندقد در مناطق ساحلی و جزیره‌ای:

برای برآورد مقادیر زی‌توده روزمینی و زیرزمینی و نیز مجموع ذخیره کربن درختان حرا در مانگروه‌های کوتاه‌قد و بلندقد در هر یک از ناطق ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا، ابتدا لازم است تا نقشه گستره این مانگروه‌ها در هر یک از نقاط با استفاده از تصویر ماهواره‌ای تهیه شود. برای دستیابی به این هدف، با استفاده از نقشه شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده ذخیره‌گاه و تعداد ۳۵ نقطه برداشت زمینی از موقعیت مانگروه‌های کوتاه‌قد و بلندقد و اجرای روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال، نقشه‌های گستره این مانگروه‌ها در سطح هر یک از مناطق ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا تهیه شد. بر اساس مطالعه Eslami-Andargoli و همکاران (۲۰۱۰) و Mafi-Gholami و همکاران (۲۰۱۷)، ضمن استفاده از تعداد ۵۰ قطعه نمونه زمینی (با ابعاد ۳۰ × ۳۰ متر) و اجرای روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده، صحت‌سنجی نقشه‌های گستره مانگروه‌های کوتاه‌قد و بلندقد در سطح هر یک از نقاط ساحلی و جزیره‌ای انجام شد و دقت کاربر، دقت تولیدکننده، دقت کلی و ضریب کاپا برای نقشه‌های تهیه شده محاسبه شد. در نهایت نقشه‌های تهیه شده از گستره مانگروه‌های کوتاه‌قد و بلندقد در سطح هر یک از بخش‌های ساحلی و جزیره‌ای روی نقشه‌های تغییرات زی‌توده



شکل ۲- مقایسه بین ۳۰ درصد (اعتبارسنجی) مقادیر اندازه گیری و پیش بینی شده زی توده زیرزمینی مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا

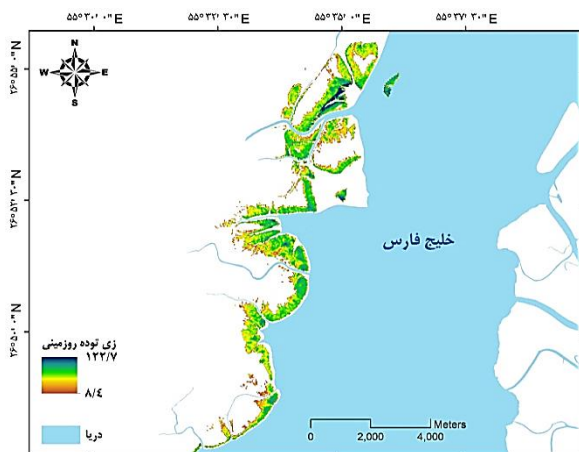


شکل ۳- مقایسه میان ۳۰ درصد (اعتبارسنجی) مقادیر اندازه گیری و پیش بینی شده زی توده روزمینی مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا

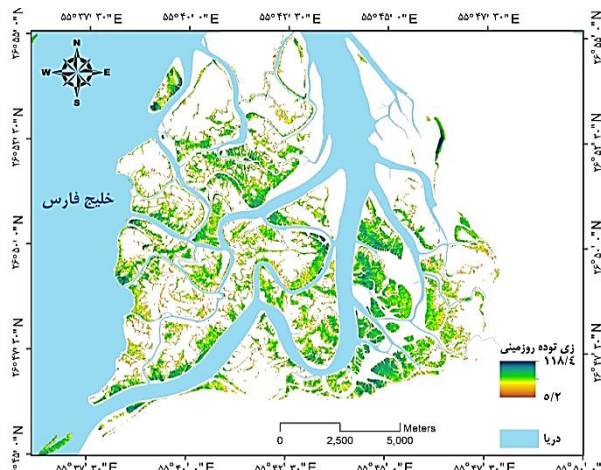
زی توده روزمینی و زیرزمینی مانگروها در سطح منطقه وجود دارد. براساس نتایج، محدوده تغییرات مقادیر زی توده روزمینی در مانگروهای ساحلی از مقدار حداقل ۸/۴ تن در هکتار تا مقدار حداکثر ۱۲۲/۷ تن در هکتار و در مانگروهای جزیره‌ای از مقدار حداقل ۵/۲ تن در هکتار تا مقدار حداکثر ۱۱۸/۴ تن در هکتار متغیر است (شکل‌های ۴ و ۵). همچنین، نقشه‌سازی تغییرات مکانی زی توده زیرزمینی مانگروها در سطح مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا نیز نشان داد که محدوده تغییرات مقادیر این متغیر رویشگاهی در منطقه ساحلی از مقدار حداقل ۵/۱ تن در هکتار تا مقدار حداکثر ۳۰/۳ تن در هکتار و در منطقه جزیره‌ای از مقدار حداقل ۳/۱ تن در هکتار تا مقدار حداکثر ۲۷/۵ تن در هکتار متغیر است (شکل‌های ۶ و ۷). همچنین، مقادیر متوسط زی توده روزمینی در منطقه ساحلی و جزیره‌ای به ترتیب برابر

رگرسیون خطی توسعه یافته از نظر آماری معنی دار است ($P < 0.001$) و مقادیر ضریب همبستگی تعدیل شده (Adj- R^2) در مدل توسعه یافته بزرگتر از ۰/۹۷ است (جدول ۱). نتایج اعتبارسنجی مدل توسعه یافته با استفاده از یک سوم داده‌های مشاهداتی (۳۰ درصد) نشان داد که مدل با داشتن ضریب همبستگی (R^2) بزرگتر از ۰/۹۵ دارای عملکرد بسیار خوبی در پیش بینی زی توده مانگروها با استفاده از مقادیر شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده بود (شکل‌های ۲ و ۳).

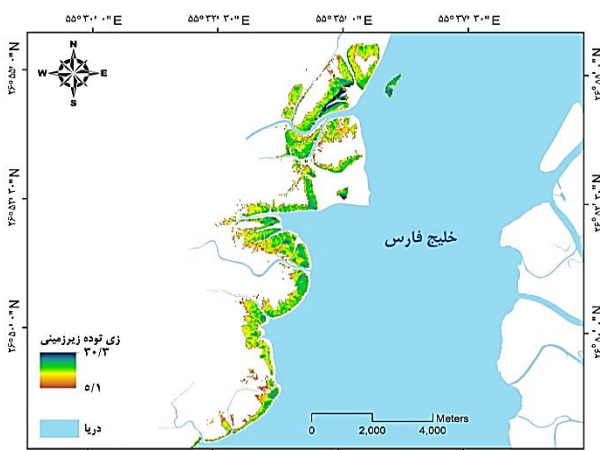
اجرای مدل رگرسیونی روی نقشه شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا در سال ۲۰۱۹ نشان داد که در انطباق با تغییرات مکانی، مقادیر این شاخص در بخش‌های مختلف منطقه حفاظت شده (مناطق ساحلی و جزیره‌ای)، طیفی از تغییرات مقادیر



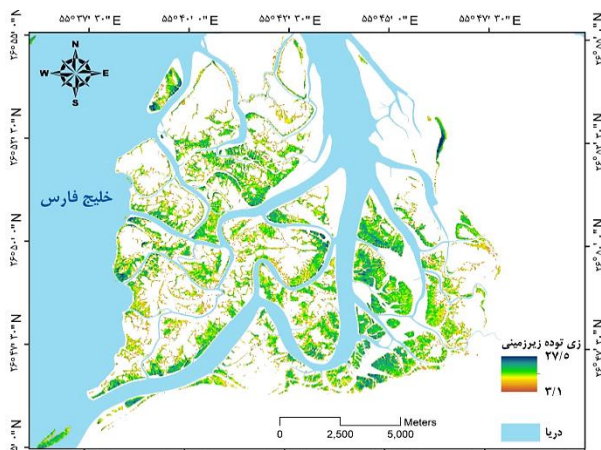
شکل ۴- تغییرات مقادیر زی توده روزمینی در بخش ساحلی منطقه حفاظت شده حرا



شکل ۵- تغییرات مقادیر زی توده روزمینی در بخش جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا



شکل ۶- تغییرات مقادیر زی توده زیرزمینی در بخش ساحلی منطقه حفاظت شده حرا



شکل ۷- تغییرات مقادیر زی توده زیرزمینی در بخش جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا

مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا نشان داد که دقت کلی نقشه‌های تهیه شده بیشتر از ۹۲ بود. همچنین، نتایج نشان داد که مقدار دقت کاربر و دقت تولیدکننده برای نقشه‌های تولید شده بیشتر از ۸۷ بودند که نشان‌دهنده دقت مناسب طبقه‌بندی‌های انجام شده برای نقشه‌سازی گستره این مانگروها در سطح منطقه حفاظت شده حرا بود. براساس نقشه‌های تهیه شده، از مجموع وسعت مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا در سال ۲۰۱۹ که برابر با ۷۰۶۱/۰۴ هکتار بود، مانگروهای بلندقد و کوتاه‌قد به ترتیب ۲۹۴۲/۲۴ هکتار (۴۲ درصد) و ۴۱۱۸/۸ هکتار (۵۸ درصد) از گستره منطقه را در بر داشتند. بررسی وسعت مانگروهای بلندقد و کوتاه‌قد در

با ۶۱/۲ تن در هکتار و ۵۶/۱ تن در هکتار و مقادیر متوسط زی‌توده زیرزمینی نیز به ترتیب برابر با ۱۵/۶ تن در هکتار و ۱۲/۵ برآورد شد. نتایج بررسی تفاوت میانگین مقادیر زی‌توده روزمینی و زیرزمینی مانگروهای ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا با استفاده از آزمون t مستقل نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان مقادیر زی‌توده این دو بخش وجود دارد ($P < 0.02$).

نتایج برآورد مقادیر زی‌توده روزمینی، زیرزمینی و زی‌توده کل درختی در مانگروهای بلندقد و کوتاه‌قد در نقاط ساحلی و جزیره‌ای: نتایج دقت‌سنجی نقشه‌های تهیه شده از مانگروهای بلندقد و کوتاه‌قد در سطح

جدول ۲ - مقادیر میانگین زی توده مانگروه‌های بلندقد و کوتاه‌قد در بخش‌های ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا

| منطقه | ساحلی | | جزیره‌ای | | مانگرو |
|----------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------|
| | زی توده روزمینی (تن در هکتار) | زی توده کل (تن در هکتار) | زی توده روزمینی (تن در هکتار) | زی توده کل (تن در هکتار) | |
| بلندقد | ۱۱۰/۸ | ۲۲/۸ | ۱۰۱/۴ | ۱۳۳/۶ | ۱۲۲ |
| کوتاه‌قد | ۱۱/۵ | ۸/۴ | ۱۰/۸ | ۱۹/۹ | ۱۵/۱ |

براساس مقادیر قطری ثبت شده برای درختان حرا در سطح نقاط ساحلی و جزیره‌ای و تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، مقادیر زی توده روزمینی و زیرزمینی مانگروها در نقاط ساحلی و جزیره‌ای به ترتیب برابر با ۷۶/۸ تن در هکتار و ۶۸/۶ تن در هکتار برآورد گردید (میانگین ۷۲/۷ تن در هکتار در سطح منطقه حفاظت شده حرا). نتایج به دست آمده در زمینه برآورد مقادیر زی توده درختی مانگروها در این مطالعه با نتایج مطالعات انجام شده توسط محققین در سایر رویشگاه‌های مانگرو ایران قابل مقایسه است.

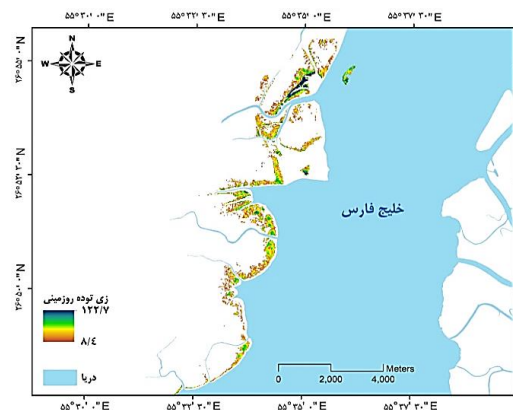
در مطالعه انجام شده توسط Khaleghi و همکاران (۲۰۱۸)، مقدار زی توده درختی مانگروه‌های خلیج گواتر برابر با ۵۴/۱ تن در هکتار برآورد شده است و مقدار همین متغیر در مطالعه انجام شده توسط Khodabakhshi Karlai (۲۰۱۸)، در خلیج نابیند برابر با ۵۴ تن کربن در هکتار گزارش شده است و این نتایج نشان دهنده بیشتر بودن مقدار ذخیره کربن درختی در مانگروه‌های منطقه حفاظت شده حرا در استان هرمزگان نسبت به مانگروه‌های خلیج گواتر استان سیستان و بلوچستان و خلیج نابیند استان بوشهر است.

نتایج این مطالعه با نتایج دیگر پژوهش‌های انجام شده روی مانگروه‌های سواحل جنوبی خلیج فارس نیز قابل مقایسه است. به عنوان مثال در مطالعه انجام شده توسط Cusack و همکاران (۲۰۱۸)، مقدار ذخیره کربن آلی درختی در مانگروه‌های سواحل خلیج فارس در کشور عربستان برابر با ۸۱ تن در هکتار و در مطالعه انجام شده توسط Schile و همکاران (۲۰۱۷) در رویشگاه‌های مانگرو موجود در سواحل کشور امارات برابر با ۶۲/۳ تن در هکتار برآورد شده است و این نتایج نشان دهنده کمتر بودن مقدار ذخیره کربن درختی

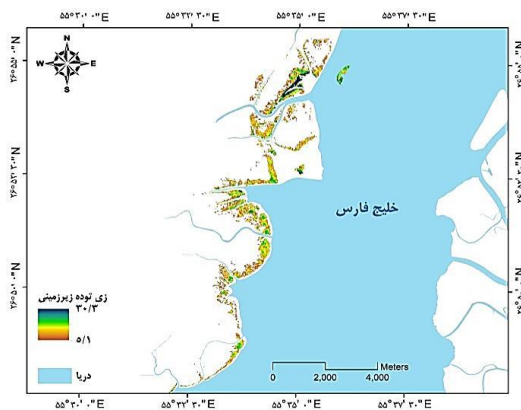
سطح هر یک از نقاط ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا نشان داد که از وسعت ۴۲۴۹/۹ هکتاری جزیره‌ای، مانگروه‌های بلندقد و کوتاه‌قد به ترتیب ۱۸۷۸/۸ هکتار (۴۴ درصد) و ۲۳۷۱/۱ هکتار (۵۶ درصد) را شامل می‌شوند و در بخش ساحلی که دارای وسعت ۲۸۱۱/۱ هکتار بود، مانگروه‌های بلندقد و کوتاه‌قد به ترتیب ۱۶۴۷/۷ هکتار (۵۹ درصد) و ۱۱۶۲/۴ هکتار (۴۱ درصد) را دربرداشتند. شکل‌های ۸ تا ۱۵ تغییرات مکانی مقادیر زی توده روی زمینی و زیرزمینی درختی مانگروها در سطح گستره‌های مانگروه‌های بلندقد و کوتاه‌قد بخش‌های ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، مقادیر حداقل و حداکثر زی توده روزمینی و زیرزمینی درختی در مانگروه‌های بلندقد و کوتاه‌قد بخش ساحلی بیشتر از جزیره‌ای منطقه حفاظت شده است و مقادیر میانگین متغیرهای ذکر شده نیز از این تفاوت پیروی می‌کند (شکل‌های ۸ تا ۱۵ و جدول ۲). همچنین، مقایسه مقادیر زی توده بین مانگروه‌های بلندقد و کوتاه نیز نشان می‌دهد که مقادیر میانگین زی توده روزمینی و زیرزمینی و زی توده کل مانگروه‌های بلندقد در نقاط ساحلی و جزیره‌ای بیشتر از مقادیر این متغیر در مانگروه‌های کوتاه‌قد است (جدول ۲).

بحث و نتیجه‌گیری

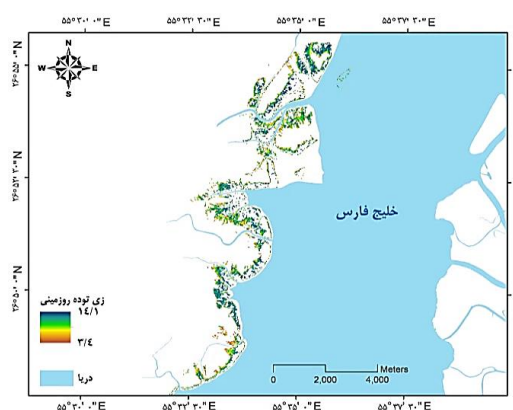
برآورد مقادیر ذخیره کربن مانگروها نقش مهمی در تهیه اطلاعات ضروری برای توسعه برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم و استراتژی کربن آبی در سواحل گوناگون بر عهده دارد. در این راستا، در مطالعه حاضر، مقادیر زی توده مانگروها در منطقه حفاظت شده حرای استان هرمزگان برآورد گردید.



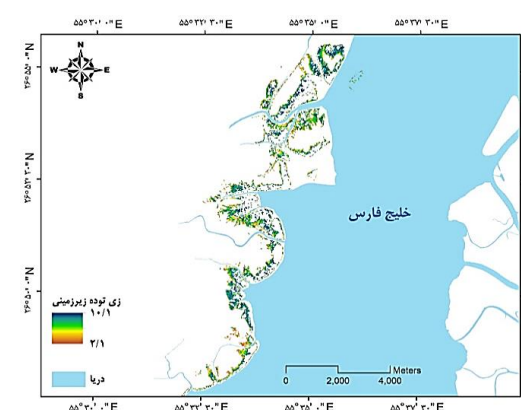
شکل ۸- تغییرات مقادیر زی توده روی‌زمینی مانگروهای بلندقد در بخش ساحلی منطقه حفاظت شده حرا



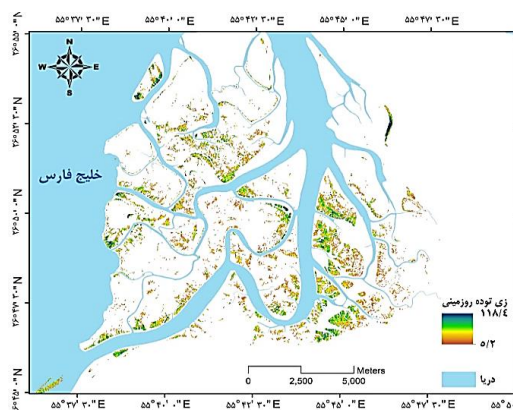
شکل ۹- تغییرات مقادیر زی‌توده زیرمینی مانگروهای بلندقد در بخش ساحلی منطقه حفاظت شده حرا



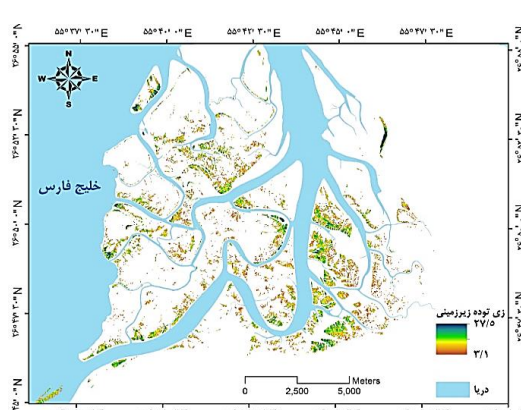
شکل ۱۰- تغییرات مقادیر زی‌توده روی‌زمینی مانگروهای کوتاه‌قد در بخش ساحلی منطقه حفاظت شده حرا



شکل ۱۱- تغییرات مقادیر زی‌توده زیرمینی مانگروهای کوتاه‌قد در بخش ساحلی منطقه حفاظت شده حرا



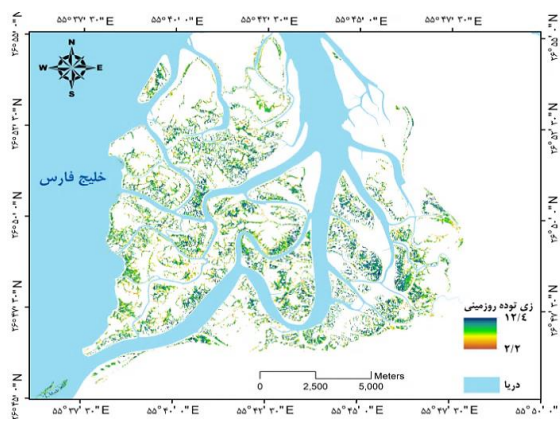
شکل ۱۲- تغییرات مقادیر زی‌توده روی‌زمینی مانگروهای بلندقد در بخش جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا



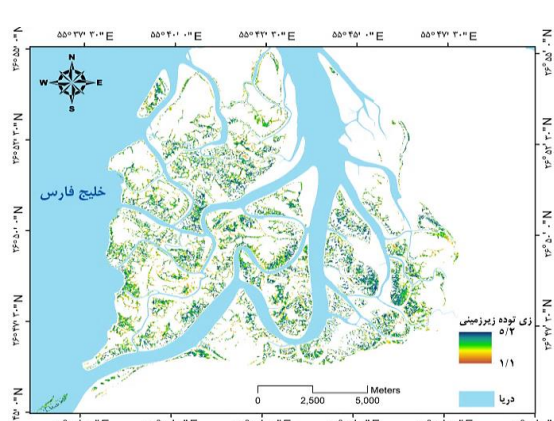
شکل ۱۳- تغییرات مقادیر زی‌توده زیرمینی مانگروهای بلندقد در بخش جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا

ویژگی‌های زمین ریخت‌شناختی محلی و فرآیندهای آب‌شناختی سطحی و زیرسطحی و نیز وضعیت زمین‌شناختی خشکی‌های بالادستی و اثر آن بر نرخ رسوب‌گذاری محیط ساحلی، وجود تأسیسات و سازه‌ها و احداث آن‌ها در مناطق ساحلی، مسائل اجتماعی و اقتصادی، تفاوت در ویژگی‌های اقلیمی میان رویشگاه‌های گوناگون (مقادیر بارندگی و دمای

مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا در ایران نسبت به مانگروهای سواحل کشور عربستان و بیشتر بودن آن نسبت به مانگروهای سواحل کشور امارات است. دلیل تفاوت بین مقادیر ذخیره کربن آلی در مانگروهای سواحل شمالی خلیج فارس در ایران با سواحل جنوبی آن در دیگر کشورهای منطقه می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی مانند تفاوت در



شکل ۱۴- تغییرات مقادیر زی توده روی زمینی مانگروه‌های کوتاه‌قد در بخش جزیره‌های منطقه حفاظت شده حرا



شکل ۱۵- تغییرات مقادیر زی توده زیرمینی مانگروه‌های کوتاه‌قد در بخش جزیره‌های منطقه حفاظت شده حرا ۱

مانگروها) متفاوتی هستند که در این میان نرخ فرسایش بستر مانگروها در بخش جزیره‌های منطقه حفاظت شده بیشتر از نرخ فرسایش در بخش ساحلی آن است. در واقع بزرگتر بودن انرژی و ارتفاع امواج در بخش جزیره‌ای نسبت به بخش ساحلی و در کنار آن، بیشتر بودن نرخ بالا آمدن نسبی تراز آب دریا نسبت به نرخ رسوب‌گذاری در بخش جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا نسبت به بخش ساحلی می‌تواند از دلایل بیشتر بودن نرخ فرسایش و پس‌روی مانگروها در حاشیه‌های رو به دریای بخش جزیره‌ای نسبت به ساحلی است (Mafi-Gholami et al., 2021). با توجه به استقرار مانگروهای بلندقد در حاشیه‌های رو به دریا و استقرار مانگروهای کوتاه‌قد در گستره‌های رو به خشکی نقاط ساحلی و جزیره‌ای، بیشتر بودن نرخ فرسایش و کاهش گستره‌های رو به دریا (خشک‌شدن و افتادن مانگروهای بلندقد) در بخش جزیره‌ای منطقه حفاظت شده نسبت به بخش ساحلی می‌تواند یکی از دلایل کمتر بودن گستره مانگروهای بلندقد جزیره‌ای نسبت به بخش ساحلی در منطقه حفاظت شده باشد که در نهایت سبب کمتر بودن زی‌توده درختی در بخش جزیره‌ای نسبت به منطقه ساحلی شده است. پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات تکمیلی آینده رابطه میان تغییرات وسعت و گستره مانگروهای بلندقد و کوتاه‌قد با تغییرات نرخ بالا آمدن تراز آب دریا و میزان رسوب‌گذاری در بستر ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا مورد بررسی قرار گیرد و تأثیر آن بر تغییرات مقادیر زی‌توده درختی منطقه حفاظت شده در

هوای متفاوت)، متفاوت بودن شدت و طول مدت وقوع خشکسالی (تفاوت در شوری محیط)، آلاینده‌ها و پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم مانند بالا آمدن سطح آب دریا در سواحل شمالی خلیج فارس نسبت به سواحل جنوبی آن باشد (Nguyen et al., 2013; Ward et al., 2016; Kamruzzaman et al., 2017; Mafi-Gholami et al., 2019, 2020).

همان‌طور که نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار زی‌توده روی زمینی و زیرمینی مانگروهای بخش ساحلی منطقه حفاظت شده حرا نسبت به بخش جزیره‌ای آن بیشتر است و اختلاف معنی‌داری میان مقدار این متغیر در مانگروهای این دو بخش منطقه حفاظت شده وجود دارد. بررسی گستره مانگروهای بلندقد و کوتاه‌قد در منطقه حفاظت شده حرا نشان داد که وسعت مانگروهای بلندقد ساحلی بیشتر از مانگروهای کوتاه‌قد بود و در مقابل، در بخش جزیره‌ای وسعت مانگروهای بلندقد کمتر از مانگروهای کوتاه‌قد بود. با توجه به اینکه مقدار ذخیره کربن درختی در مانگروهای بلندقد به میزان قابل توجهی بیشتر از مقدار این متغیر در مانگروهای کوتاه‌قد بود، بنابراین مقدار ذخیره کربن درختی مانگروهای ساحلی منطقه حفاظت شده حرا بیشتر از بخش جزیره‌ای آن بود. در این راستا، در پژوهش Mafi-Gholami و همکاران (۲۰۱۶)، مانگروهای بخش‌های ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا دارای نرخ فرسایش و رسوب‌گذاری (پیش‌روی و پس‌روی

دهه‌های گذشته نشان داده شود.

شده حرا می‌شود و نتیجه آن تشدید افت ساختاری و کاهش نرخ رویش مانگروهای بلندقد (در حاشیه رو به دریا) در بخش جزیره‌ای در مقایسه با مانگروهای بلندقد در بخش ساحلی منطقه حفاظت شده حرا خواهد بود (Ke *et al.*, 2002). این امر می‌تواند از دلایل کمتر بودن گستره مانگروهای بلندقد و نیز کمتر بودن میزان ذخیره کربن درختی در بخش جزیره‌ای نسبت به بخش ساحلی منطقه حفاظت شده حرا باشد.

در نهایت می‌توان گفت که نتایج حاصل از این پژوهش با برآورد مقادیر کربن ذخیره شده در مانگروهای ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا اطلاعات ضروری برای تهیه برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم را برای این منطقه حفاظت شده فراهم نموده است. در این پژوهش برای اولین بار در سطح کشور ضمن انجام آماربرداری گسترده از مانگروهای منطقه حفاظت شده حرا و نیز تجزیه و تحلیل تصویر ماهواره‌ای، ضمن تهیه نقشه گستره مانگروهای بلندقد و کوتاه‌قد، مقادیر دقیق زی‌توده مانگروهای بخش‌های ساحلی و جزیره‌ای منطقه حفاظت شده حرا برآورد شد که نتیجه آن اطلاعات ضروری برای اجرای فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری این منطقه نسبت به مخاطرات محیطی چندانگانه و مدیریت و حفاظت مؤثر آن را فراهم نموده است. روش استفاده شده در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای نقشه‌سازی زی‌توده مانگروها در سایر رویشگاه‌های کشور استفاده شود.

پژوهش‌های موجود نشان می‌دهد که ورود مقادیر قابل توجهی از مواد نفتی در دهه‌های گذشته به آب‌های منطقه خلیج فارس و دریای عمان به دلیل سبب افزایش قابل توجه با آلودگی در این ناحیه شده است که بدون شک بر تغییرات گستره، توان تولیدی و ویژگی‌های ساختاری مانگروهای سواحل خلیج فارس و دریای عمان اثرگذار بوده است (PGSC, 2017)؛ چنانچه بررسی‌ها نشان داده که آلودگی‌های نفتی از طریق کاهش نرخ رویش، خشکیدگی برگ‌ها، کاهش جوانه‌زنی بذرها و افت رویش و خشک شدن نهال‌ها و در نهایت کاهش تراکم ریشه‌های هوایی مانگروها سبب افت گستره و از بین رفتن رویشگاه‌های این گونه‌های گیاهی می‌شوند (Lewis *et al.*, 2016). وجود دامنه‌های جزر و مدی بزرگ‌تر در برخی از رویشگاه‌ها سبب تشدید نفوذ مواد نفتی در رویشگاه‌های مانگرو شده و کاهش گستره و میزان رویش آن‌ها را در پی دارد و بر این اساس، رویشگاه‌هایی که دارای دامنه نوسان‌های جزر و مدی بزرگ‌تری هستند از درجه تخریب و افت گستره بیشتری نسبت به رویشگاه‌های دارای دامنه نوسان‌های جزر و مدی کوچک‌تر برخوردار هستند (Ke *et al.*, 2002) که بیشتر بودن دامنه نوسان‌های جزر و مدی در بخش جزیره‌ای نسبت به ساحلی (به‌علت ویژگی‌های زمین ریخت‌شناختی متفاوت) (Mafi-Gholami *et al.*, 2021) سبب بیشتر بودن میزان نفوذ آلاینده‌های نفتی و نیز ماندگاری بیشتر آن در رسوبات بخش جزیره‌ای نسبت به بخش ساحلی در منطقه حفاظت

References

- Alongi, D.M., 2021. Responses of mangrove ecosystems to climate change in the Anthropocene. In *Mangroves: Ecology, biodiversity and management* (pp. 201-224). Springer, Singapore.
- Chmura, G.L., Anisfeld, S.C., Cahoon, D.R., Lynch, J.C., 2003. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles* 17(4), 111.
- 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.
- Cusack, M., Saderne, V., Arias-Ortiz, A., Masque, P., Krishnakumar, P.K., Rabaoui, L., Elyas, A.A., 2018. Organic carbon sequestration and storage in vegetated coastal habitats along the western coast of the Arabian Gulf. *Environmental Research Letters* 13(7), 074007.
- Danehkar, A., Hasheni, A., Varasteh, R., Fadakar, S., Sharifipour, R., 2008. The

- spatial analysis of environmental sensitivity of coastal areas in Hormozgan province. The Department of the Environment, Hormozgan Province. 180 p. (In Persian)
- Duke, N.C., Meynecke, J.O., Dittmann, S., Ellison, A.M., Anger, K., Berger, U., Koedam, N., 2007. A world without mangroves? *Science* 317(5834), 41-42.
- Ellison, J.C., 2015. Vulnerability assessment of mangroves to climate change and sea-level rise impacts. *Wetlands Ecology and Management* 23(2), 115-137.
- Eslami-Andargoli, L., Dale, P.E.R., Sipe, N., Chaseling, J., 2010. Local and landscape effects on spatial patterns of mangrove forest during wetter and drier periods: Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 89(1), 53-61.
- FAO. 2020 Global Forest Resources Assessment 2020 (Rome: FAO) (available at: <https://doi.org/10.4060/ca8753en>)
- Hutchison, J., Manica, A., Swetnam, R., Balmford, A., Spalding, M., 2014. Predicting global patterns in mangrove forest biomass. *Conservation Letters* 7(3), 233-240.
- Kamruzzaman, M., Ahmed, S., Osawa, A., 2017. Biomass and net primary productivity of mangrove communities along the Oligohaline zone of Sundarbans, Bangladesh. *Forest Ecosystems* 4(1), 1-9.
- Ke, L., Wong, T.W., Wong, Y.S., Tam, N.F., 2002. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination in a mangrove swamp in Hong Kong following an oil spill. *Marine Pollution Bulletin* 45(1-12), 339-347.
- Khaleghi, M., Sawari, A., Safahiyeh, A., Hamidianpour, M., Ghaemmaghmo, S., 2021. Estimation of carbon production and storage of mangrove forests of Gwadar; Gulf of Oman using the PnET-CN model. *Journal of Marine Science and Technology* 23(3), 183-193. (In Persian)
- Khodabakhshi Karlai, A., 2018. Evaluation of the temporal and spatial changes of Iran's mangroves and the estimation of aboveground biomass of mangroves of Nayband using Landsat images. Master's thesis, Persian Gulf University, Faculty of Marine Science and Technology, 110 p. (In Persian)
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., Marchand, C., 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review. *Aquatic Botany* 89(2), 201-219.
- Lewis III, R.R., Milbrandt, E.C., Brown, B., Krauss, K.W., Rovai, A.S., Beever III, J.W., Flynn, L.L., 2016. Stress in mangrove forests: early detection and preemptive rehabilitation are essential for future successful worldwide mangrove forest management. *Marine Pollution Bulletin* 109(2), 764-771.
- Mafi-Gholami, D., Baharlouii, M., Mahmoudi, B., 2016. Monitoring the rate of progression and regression in mangrove forests using remote sensing and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) (case study: Hara Biosphere Reserve). *Environment Studies* 43(4), 633-646. (In Persian)
- Mafi-Gholami, D., Fegghi, J., Danehkar, A., Yarali, N., 2015a. 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* 6(3), 121-135.
- Mafi-Gholami, D., Fegghi, J., Danehkar, A., Yarali, N., 2015b. Prioritizing stresses and disturbances affecting mangrove forests using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). Case study: mangrove forests of Hormozgan Province, Iran. *Advances in Environmental Sciences* 7(3), 442-459.
- 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., 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., 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.
- McLeod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm,

- R., Björk, M., Duarte, C.M., Silliman, B.R., 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(10), 552-560.
- Nguyen, H.H., McAlpine, C., Pullar, D., Johansen, K., Duke, N.C., 2013. The relationship of spatial-temporal changes in fringe mangrove extent and adjacent land-use: Case study of Kien Giang coast, Vietnam. *Ocean & Coastal Management* 76, 12-22.
- Osland, M.J., Feher, L.C., Griffith, K.T., Cavanaugh, K.C., Enwright, N.M., Day, R.H., Rogers, K., 2017. Climatic controls on the global distribution, abundance, and species richness of mangrove forests. *Ecological Monographs* 87(2), 341-359.
- Persian Gulf Studies Center (PGSC), 2017. Available online: <http://www.persiangulfstudies.com/fa/index.asp?p=pages&id=205>.
- 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.
- Ray, R., Ganguly, D., Chowdhury, C., Dey, M., Das, S., Dutta, M. K., & Jana, T.K., 2011. Carbon sequestration and annual increase of carbon stock in a mangrove forest. *Atmospheric Environment* 45(28), 5016-5024.
- Rozainah, M.Z., Nazri, M.N., Sofawi, A.B., Hemati, Z., Juliana, W.A., 2018. Estimation of carbon pool in soil, above and below ground vegetation at different types of mangrove forests in Peninsular Malaysia. *Marine Pollution Bulletin* 137, 237-245.
- Safari, J., 2018. Investigation and mapping of structural changes of mangroves in two coastal and island vegetation forms in the Hara Biosphere Reserve. Master's thesis, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University. 85 p. (In Persian)
- Safiari, S., 2016. Mangrove forests of Iran. *Iranian Nature* 2(2), 49-57. (In Persian)
- Schile, L.M., Kauffman, J.B., Crooks, S., Fourqurean, J.W., Glavan, J., Megonigal, J.P., 2017. Limits on carbon sequestration in arid blue carbon ecosystems. *Ecological Applications* 27(3), 859-874.
- Ward, R.D., Friess, D.A., Day, R.H., MacKenzie, R.A., 2016. Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability* 2(4), e01211.

Spatial modeling of biomass of mangroves in the Hara protected area

Davood Mafi-Gholami^{*1}, Abolfazl Jaafari², Maryam Yaghoubzadeh³

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

³Department of Environmental Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

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

Abstract

The estimation of mangrove carbon stocks is crucial for providing vital information for the development of climate change adaptation programs and blue carbon strategies in coastal ecosystems. Therefore, the aim of this study was to estimate the carbon storage of mangroves in the Hara protected area of Hormozgan province. For this purpose, after field surveys and recording the diameter at the mangroves' collar, the above-ground and below-ground biomass was estimated using allometric equations. Then, a regression was fitted between the above-ground and below-ground biomass and the normalized vegetation index (NDVI) extracted from the satellite images to develop a map of the above-ground and below-ground biomass of mangroves in two coastal and island zones and tall and dwarf mangroves structures. The results showed that the average above-ground biomass in the coastal and island zones of the Hara protected area was 61.2 and 56.1 t/ha, respectively, and the average underground biomass was 15.6 and 12.5 t/ha, respectively. There was a significant difference between the values of these two biomasses in the two zones. The extent of tall mangroves in the coastal zone (59%) was greater than dwarf mangroves (41%), and in the island zone, the extent of tall mangroves (44%) was less than dwarf mangroves (56%). The amount of total biomass in tall mangroves in both zones was about 7.5 and 8 times greater than the value of this variable in dwarf mangroves, respectively. The results of this study can be used to prepare climate change adaptation plans for mangrove habitats.

Keywords: Field survey, Allometric equations, Geographic Information System, Remote Sensing