Original Article
Journal of Natural Environment 75 (Special Issue): 184-197 (2023)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

مقاله کامل
نشریه محیط زیست طبیعی
دوره ۷۵، (ویژه نامه): ۱۸۴-۱۹۷ (۱۴۰۱)

ارزیابی میزان ذخیرهٔ کربن آبی در جنگل‌های مانگرو استان بوشهر (نایبند و مل‌گنزه)

محمدعلی حمزه*

پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳**

چکیده

جنگل‌های مانگرو نقش مؤثری در جذب دی‌اکسید کربن جو و مقابله با افزایش گازهای گلخانه‌ای و اثرات انسانی گرمایش جهانی دارند. هدف کلی این مطالعه برطرف کردن خلاء اطلاعاتی ذخیرهٔ کربن در جنگل‌های مانگرو استان بوشهر است. در این مطالعه، ذخیرهٔ کربن کل و یک متر فوقانی خاک و همچنین درختان جنگل‌های مانگرو استان بوشهر (نایبند و مل‌گنزه) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این کار، تعیین میزان کربن رسوبات در مغزه‌های رسوبی و اندازه‌گیری قطر تنه و ارتفاع درختان در ۱۲ ایستگاه انجام شد. پردازش تصاویر ماهواره‌ای نشان داد مساحت کلی جنگل مانگرو نایبند و مل‌گنزه به‌ترتیب ۱۴۱ و ۱۴ هکتار است که ۷۳ درصد آن را جنگل‌های متراکم تشکیل می‌دهد. نتایج نشان داد، میانگین کربن یک متر فوقانی خاک حرای نایبند و مل‌گنزه به‌ترتیب ۱۵۸ و ۱۹۰ تن بر هکتار است که در محدودهٔ میانگین جهانی مانگروهای نواحی خشک قرار دارد. میزان کل کربن در یک متر فوقانی خاک مانگروهای منطقه ۲۵۰۰۰ تن برآورد شد که ۸۹ درصد آن در مانگروهای خلیج نایبند تثبیت شده است. خاک و درختان رویشگاه‌های مانگرو نایبند و مل‌گنزه جمعاً ۵۹/۵ هزار تن کربن معادل ۲۱۸ هزار تن دی‌اکسید کربن در خود ذخیره کرده‌اند که از این میزان ۲۸/۵ هزار تن در خاک و بقیه (۳۱ هزار تن) در زی‌تودهٔ درختان مانگرو ذخیره و از جو زمین خارج شده است. برآوردها نشان می‌دهد در صورت تخریب کامل جنگل‌های حرای منطقه، بیش از ۱۵۵ هزار تن دی‌اکسید کربن وارد جو خواهد شد. بررسی میزان کربن کل عمق خاک به ما این امکان را داد که برای اولین بار میزان کربن کل رویشگاه‌های مانگرو استان بوشهر ارزیابی گردد.

کلید واژگان: بوشهر، تثبیت کربن، مانگرو، تغییراقلیم

*نویسنده مسئول mohsenarmin2007@gmail.com

مقدمه

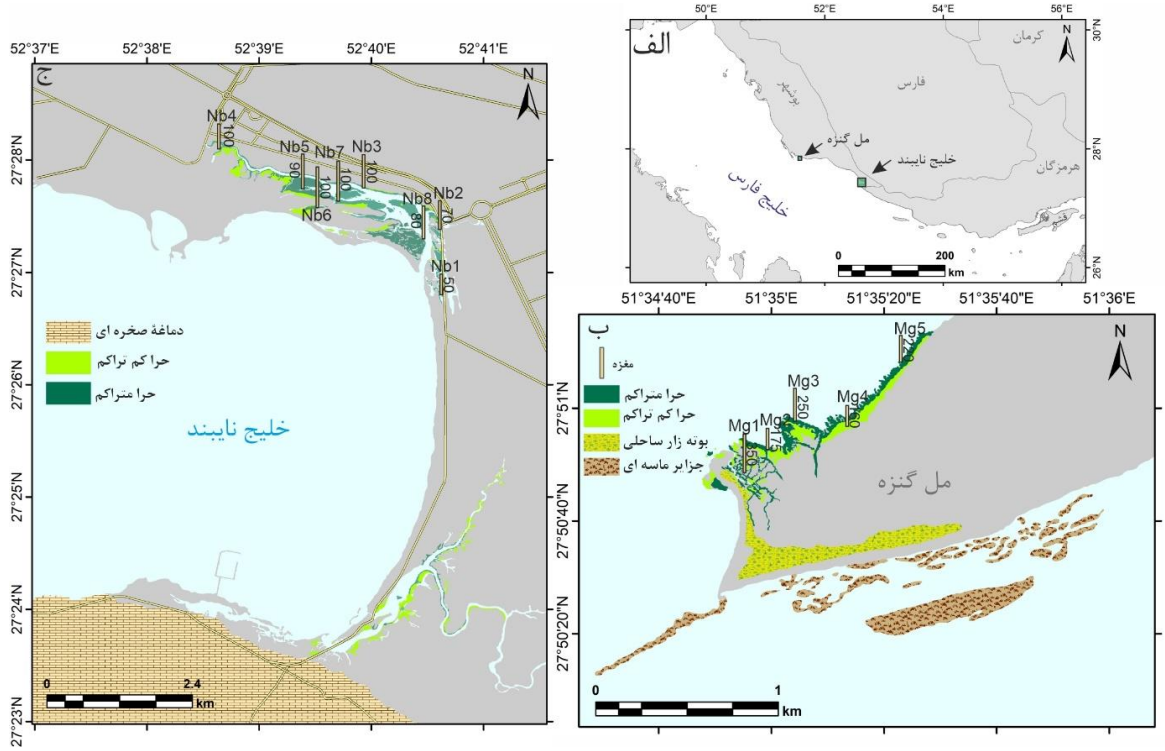
جنگل‌های مانگرو به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های منحصر به‌فرد و حساس ساحلی، خدمات بوم‌شناختی متنوع برای محیط پیرامون خود ارائه می‌کنند و از این جهت در اغلب مناطق جهان به‌عنوان مناطق حفاظت‌شده تحت مدیریت قرار می‌گیرند. این جنگل‌ها سیمای ویژهٔ نواحی ساحلی هستند که سیستم ریشه‌های آن‌ها می‌تواند موجب پایداری رسوبات شود؛ انرژی امواج را کاهش و برای تعدادی از موجودات زنده زیستگاه و پناهگاه ایجاد کند (Lee *et al*., 2019). یکی از مهم‌ترین جنبه‌های کاربردی جنگل‌های مانگرو که در یکی دو دههٔ اخیر و با توجه به افزایش نگرانی در خصوص گرمایش جهانی توجه دانشمندان را به‌خود جلب کرده است، قابلیت بسیار زیاد این زیست‌بوم‌ها در تثبیت و ذخیرهٔ دی‌اکسید کربن جو و در نتیجه تعدیل گرمایش زمین می‌باشد. "کربن آبی[1]" یک واژهٔ نسبتاً جدید است که به کربن آلی ذخیره شده در زیست‌بوم‌های ساحلی مانند مانگروها، بوته‌زارها و چمن‌زارهای ساحلی اطلاق می‌گردد (Alongi, 2012). حاصل فرآیند جذب کربن در این نواحی، کاسته شدن از آثار گلخانه‌ای مرتبط با دی‌اکسید کربن و به‌دنبال آن تعدیل تغییرات اقلیمی است. از سوی دیگر، تخریب این نواحی اثرات زیانباری از طریق آزادسازی کربن به جو و تسریع گرمایش زمین خواهند داشت (Lee et al., 2019). حدود نیمی از جذب دی‌اکسید کربن جو توسط اقیانوس‌ها صورت می‌گیرد. در این میان، جنگل‌های مانگرو با وجود اینکه کمتر از نیم درصد مساحت اقیانوس‌ها را در برمی‌گیرند، بیش از ۱۴٪ کربن آن‌ها را در خود ذخیره کرده‌اند (Alongi et al., 2016). مطالعات نشان می‌دهد توان ذخیرهٔ کربن آلی توسط مانگروها دو تا سه برابر بیش از اغلب جنگل‌های خشکی است. جنگل‌های مانگرو نواحی جنب‌حاره‌ای و حاره‌ای به‌ترتیب توان ذخیرهٔ حدود ۵۵۰ و ۹۰۰ تن بر هکتار کربن را دارند. علاوه بر این، این جنگل‌ها توانایی ذخیرهٔ کربن تا عمق چندین متر خاک خود را دارند و به‌دلیل اشباع بودن از آب و ایجاد محیطی احیایی در بستر، توان حفظ کربن در آن‌ها ده برابر بیش از جنگل‌های نواحی معتدل یا حاره‌ای است (Sanders et al., 2016).

پس از سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و تغییر کاربری زمین دومین منبع مهم آزادسازی دی‌اکسید کربن به جو است که ۸ تا ۲۰ درصد کل انتشار را در برمی‌گیرد. طی ۵۰ سال گذشته حدود یک‌سوم جنگل‌های مانگرو جهان از بین رفته‌اند. رشد جمعیت‌های ساحلی و تغییرات اقلیم جهانی به‌خصوص افزایش سطح آب اقیانوس‌ها دو عامل مهم تهدیدکنندهٔ جوامع مانگرو است (Quiros *et al*., 2021). Atwood و همکاران (۲۰۱۷)، گزارش کردند که با تخریب یک مترِ فوقانی خاک جنگل‌های مانگرو جهان چیزی حدود $۱۰^{۱۵}$ × ۲/۶ گرم کربن ($۱۰^{۱۵}$ × ۴/۴ گرم کربن وقتی با کربن موجود درختان جمع شود) آزاد می‌گردد که معادل انتشار $۱۰^{۱۵}$ × ۹/۵ دی‌اکسید کربن است (Atwood *et al*., 2017). انتشار دی‌اکسید کربن از خاک جنگل مانگرو حدود ۶٪ این نوع انتشار از خاک جنگل‌های خشکی است (Donato *et al*., 2011). بر این اساس، برنامهٔ بین‌المللی "کاهش انتشار گاز حاصل از جنگل‌زدایی و تخریب[2]" به‌عنوان راهی برای کمک به تعدیل اثرات تغییرات اقلیمی پیشنهاد شد (Donato *et a*l., 2011).

هم‌اکنون داده‌های جامعی در مورد کربن آبی از ۴۸ کشور جهان وجود دارد که حدود ۸۸٪ نواحی جنگل‌های حرا را پوشش می‌دهند، اما همچنان دادهٔ قابل اطمینانی از جنگل‌های مانگرو ایران منتشر نشده است (Atwood *et al*., 2017). این نوع مطالعات در مانگروهای کشور ما دارای قدمت کوتاهی است و محدود به چند سال اخیر می‌باشند. در حوضهٔ مطالعهٔ میزان ذخیرهٔ کربن در مانگروهای کشور با توجه به جوان بودن موضوع، تعداد

[1]Blue Carbon

[2]Reducing Emissions from Deforestation and Degradation (REDD+)



شکل ۱- نقشهٔ جنگل‌های حرای متراکم و کم تراکم خلیج نایبند و مل‌گنزه و نقاط نمونه‌برداری (طول مغزه‌ها در نقاط نمونه‌برداری آمده است)

محدودی مطالعه در حراهای خوران (Hamzeh and Alizadeh, 2022)، سیریک (Askari *et al*., 2021) انجام شده است که محدود به دو سال اخیر هستند. Mahmoudi و همکاران (۲۰۲۲) تنها مطالعهٔ پیرامون ذخیرهٔ کربن در زیست‌بوم حرا را انجام داده‌اند. اما از آنجا که در مطالعهٔ ذکر شده، تنها از ۶۰ سانتیمتر فوقانی خاک نمونه‌برداری انجام شده، برآوردی از میزان کل کربن رویشگاه مانگرو ارائه نداده است (Mahmoudi *et al*., 2022). از این‌رو، مطالعهٔ حاضر به‌منظور بررسی روند تغییرات و میزان کل ذخیرهٔ کربن آبی در کل خاک و درختان حرای رویشگاه‌ها خلیج نایبند و مل‌گنزه و شناخت عوامل زمین شیمیایی مؤثر بر آن به‌اجرا درآمد.

مواد و روش ها

جهت بررسی شرایط رویشی جنگل‌های مانگرو تصاویر زمین‌مرجع‌شدهٔ ماهواره‌ای گوگل ارث با قدرت تفکیک بسیار بالا (به‌طوری‌که تاج درختان در تصاویر قابل‌رؤیت باشد) دریافت شد. سپس این تصاویر با تعریف سیستم مختصات جغرافیایی مناسب توسط نرم‌افزار سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی مورد پردازش قرار گرفت. به‌دلیل اینکه میزان تراکم درختان مانگرو و ارتفاع آن‌ها در نواحی مختلف یک رویشگاه متفاوت است با تلفیق مطالعات و بازدیدهای میدانی و سنجش‌ازدور، محدودهٔ گسترش هرکدام جداگانه ترسیم شد و در نهایت مساحت هر محدوده با دقت بالا تعیین گردید. این تقسیم‌بندی بر اساس پوشش تاج درختان (درصد مساحتی از محدودهٔ جنگل که توسط درختان پوشیده شده) و ارتفاع درختان صورت گرفت (Elijah *et al*., 1996; Heumann 2001). بر این اساس، پوشش گیاهی مانگرو مل‌گنزه و نایبند به دو دسته مانگرو با تراکم زیاد (پوشش تاج بالای ۵۰ درصد) و مانگرو با تراکم کم (پوشش تاج زیر ۵۰ درصد) تقسیم‌بندی شد.

مطالعات میدانی: مطالعات میدانی این تحقیق شامل مطالعه و اندازه‌گیری اندازهٔ تراکم پوشش گیاهی و نمونه‌برداری مغزهٔ رسوب است. در هر ایستگاه نمونه‌برداری، یک دایره به شعاع ۷ متر در نظر گرفته شد و در مرکز هر دایره، مغزهٔ رسوبی تا حداکثر عمق خاک

جنگل مانگرو و رسیدن به رسوبات رنگ روشن ماسه‌ای توسط مغزه‌گیر اوگر[3] برداشته شد. سپس زیر نمونه‌های خاک از اعماق ۱۵-۰، ۳۰-۱۵، ۵۰-۳۰، ۷۰-۵۰، ۱۰۰-۷۰ برای یک متر فوقانی انجام گرفت. در نواحی با عمق بیشتر، فاصله بین نمونه‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Kauffman and Donato, 2012). علاوه بر این، خصوصیات رویشی تمامی درختان (شامل ارتفاع درخت و قطر تنهٔ اصلی در ارتفاع ۱/۳ متری از سطح زمین) داخل دایره اندازه‌گیری شد. از آنجاکه درختان گونهٔ حرا عموماً از سطح زمین (قبل از رسیدن به ارتفاع ۱/۳ متری) به‌صورت شاخه‌شاخه منشعب می‌شوند، قطر تمامی شاخه‌های منشعب شده در ارتفاع ذکرشده محاسبه گردید (Howard *et al*., 2014).

محاسبهٔ میزان کربن آبی

کربن آبی درختان: جهت استفاده در معادلهٔ محاسبهٔ میزان زیست‌تودهٔ درختان، میزان چگالی چوب درختان حرا بر اساس محاسبات Askari و همکاران (۲۰۲۲)، ۰/۶۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد. میزان زیست‌تودهٔ درخت روی سطح[4] (ATB) هرکدام از درختان موجود در هر دایره با استفاده از رابطهٔ کلی زیر محاسبه گردید (Komiyama et al., 2005):

$$ATB = 0.0509\times \rho \times D^2 \times H$$

که در آن ATB: زیست‌تودهٔ بخش روی سطح درخت مانگرو (کیلوگرم)، ρ: چگالی چوب (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D: قطر تنهٔ درخت در ارتفاع ۱۳۰ سانتی‌متری و H: ارتفاع درخت (متر) است (Komiyama *et al*., 2005). جهت محاسبهٔ میزان کربن موجود در هر درخت، میزان زیست‌تودهٔ محاسبه‌شده در ضریب تبدیل ارائه شده (۰/۵) ضرب گردید (Kaufman et al. 2011). برای محاسبهٔ زیست‌تودهٔ بخش زیر سطح[5] (BTB) درختان حرا میزان زیست‌تودهٔ بخش بالای سطح در ضریب ۰/۷۲۴ ضرب شد (Wang *et al*., 2014). همچنین، برای محاسبهٔ میزان کربن موجود در این بخش، میزان زیست‌تودهٔ محاسبه شده در ضریب تبدیل کربن ارائه شده (۰/۳۹) ضرب گردید (Kaufmann *et al*., 2011). در نهایت، مجموع میزان کربن محاسبه شده در تمامی درختان یک دایره به‌عنوان میزان کربن درختان مانگرو در ۰/۰۱۵۴ هکتار (مساحت دایره) به مساحت کل هر منطقه تعمیم داده شد.

در آزمایشگاه، ۱۰ سانتی‌متر مکعب رسوب توسط سرنگ برداشته شد و جهت خشک شدن در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا به وزن ثابت برسد. سپس با تقسیم اختلاف وزن ایجاد شده بر حجم اولیهٔ رسوب، مقدار چگالی خشک رسوب (گرم بر سانتی‌متر مکعب) به‌دست آمد (Howard *et al*., 2014). درصد کربن آلی رسوب توسط روش احتراق در کوره محاسبه شد (Heiri *et al*., 2001) که در آن رسوب خشک شده در مرحلهٔ قبل به مدت ۴ ساعت در کورهٔ الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و میزان اختلاف وزن محاسبه گردید. برای به‌دست آوردن میزان کربن آلی از رابطهٔ زیر که دقت بسیار و جامعیت بسیار بیشتری (۱۷۲۷ نمونه از مانگروهای ۵۲ کشور جهان) در خصوص غلظت‌های کمتر مواد آلی دارد، استفاده گردید (Ouyang and Lee, 2020):

$$\%\ C_{org} = 0.21\times \%\ LOI^{1.12}\ (R^2=0.86)$$

میزان چگالی کربن خاک با ضرب میزان درصد غلظت کربن آلی خاک در چگالی خشک خاک هر نمونه رسوب به‌دست آمد (چگالی کربن خاک (g/cm^3)=چگالی خاک خشک (g/cm^3)×درصد کربن آلی/۱۰۰). با ضرب کردن چگالی کربن در ضخامت افق خاک که نمونه از آن بخش خاک برداشته شده است، میزان چگالی کربن هر افق خاک به‌دست آمد (میزان کربن در هر بخش مغزه (g/cm^3)=چگالی کربن خاک (g/cm^3)×ضخامت افق خاک (cm)). در نهایت با جمع کردن مقادیر چگالی کربن

[3] Auger core sampler
[4] Aboveground Tree Biomass (ATB)
[5] Belowground Tree Biomass (BTB)

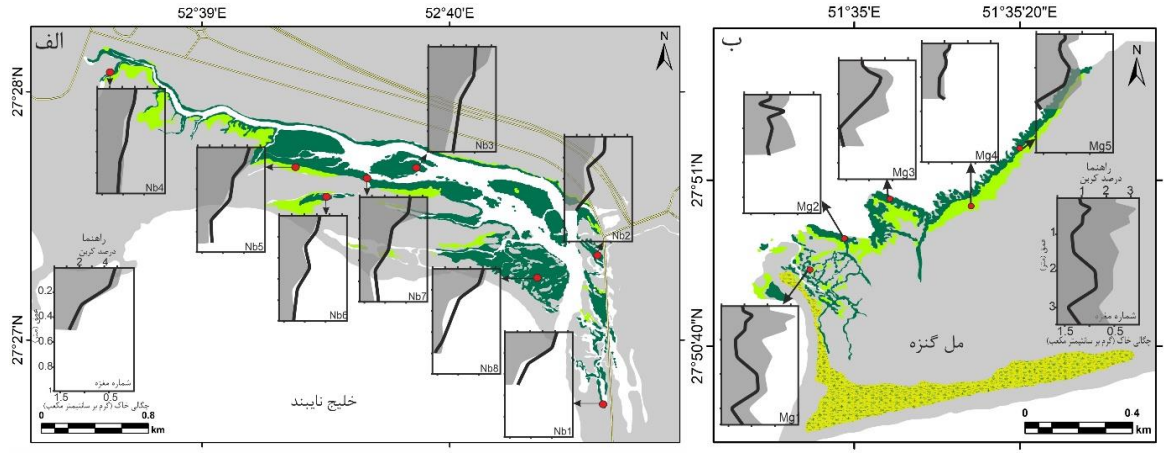
در تمام افق‌های خاک، میزان چگالی کربن کل خاک در هر ایستگاه نمونه‌برداری به‌دست آمد. میزان چگالی کربن در هر مغزه به واحد معمول تن کربن در هکتار تبدیل شد. این مقدار در مساحت هر محدوده ضرب گردید تا میزان کربن در کل خاک در نواحی مختلف به‌دست آید. این مقادیر هم برای کل ضخامت خاک و هم یک متر فوقانی آن محاسبه شد (Howard *et al*., 2014).

نتایج

جنگل‌های حرای نایبند در پهنهٔ جزرومدی نسبتاً وسیعی در بخش شمالی خلیج نایبند ایجاد شده است. این پهنهٔ جزرومدی در اثر رسوب‌گذاری ماسه‌ای–گلی به‌دلیل کاهش شدت امواج ایجاد شده است که به‌نوبهٔ خود حاصل حضور دماغهٔ موجود در بخش جنوبی خلیج است. این پهنهٔ ماسه‌ای–گلی دارای یک کانال جزرومدی اصلی و انشعابات آن است که تنها از یک مسیر با آب دریا ارتباط دارد (شکل ج ۱). مطالعات بیان داشته‌اند که مساحت کلی جنگل مانگرو خلیج نایبند ۱۴۱ هکتار است که سه‌چهارم آن (۱۰۵ هکتار) را حرای متراکم و بقیه (۳۶ هکتار) را نوع کم تراکم تشکیل می‌دهد (شکل ۱ ج).

جنگل‌های حرای مل‌گنزه شمالی‌ترین عرض جغرافیایی جنگل‌های طبیعی حرا در ایران را تشکیل می‌دهد. این منطقه شامل سواحل کم‌عمق است که جنگل‌های آن در پناه زبانهٔ ماسه‌ای پوزه‌ماشه شکل گرفته است. (شکل ۱ ب). بررسی انجام شده نشان می‌دهد که مساحت کلی جنگل مانگرو مل‌گنزه ۱۴/۲ هکتار است (یک‌دهم جنگل حرای نایبند) و ۵۸٪ آن (۸/۲ هکتار) را حرای متراکم و بقیه (۶/۰ هکتار) را حرای کم تراکم تشکیل می‌دهد. در مطالعهٔ Mahmoudi و همکاران (۲۰۲۲)، مساحت مانگرو نایبند ۱۵۸ و مل‌گنزه ۱۰/۳ هکتار برآورد شده است. در هر دو رویشگاه، جنگل‌های مانگرو متراکم اغلب در امتداد کانال جزرومدی گسترش‌یافته‌اند، درحالی‌که بخش‌های رو به خشکی میزبان حراهای کم تراکم است. سواحل جنوبی منطقهٔ مل‌گنزه به‌دلیل قرارگیری در معرض امواج بیشتر، سواحل ماسه‌ای شکل‌گرفته‌اند که در پشت آن‌ها بوته‌زارهای ساحلی گسترش دارند (شکل ۱ ب). در جدول ۱، میزان مساحت جنگل، عمق خاک، حجم خاک و در نتیجه میزان کربن ذخیره شده در خاک رویشگاه‌های حرای متراکم و کم تراکم آمده است.

کربن آبی ذخیره‌شده در خاک: طول تمامی مغزه‌های حرای نایبند کمتر از یک متر است درحالی‌که در مانگرو مل‌گنزه طول بسیاری از مغزه‌ها بیش از یک متر است. طول اغلب مغزه‌های نایبند حدود یک متر است (مغزه‌های Nb3، Nb4، Nb6 و Nb7). مغزه‌های کوچک‌تر در بخش نزدیک دهانهٔ ورودی آب حرا در جنوب و شرق منطقه واقع شده‌اند. (مغزهٔ Nb1: ۵۰ سانتی‌متر) (شکل ۱ ج). طویل‌ترین مغزهٔ برداشته شده در مل‌گنزه (Mg1، ۳/۵ متر) در بخش پهنهٔ جزرومدی نسبتاً وسیعی در بخش جنوب غربی منطقه برداشته شده است. دیگر مغزه‌ها که در نزدیکی نوار ساحلی رو به شمال برداشته شده‌اند محدودهٔ عمقی ۲ متر دارند. (شکل ۱ ب و ۲). بازهٔ تغییرات میزان چگالی خشک و درصد کربن در نایبند نسبتاً زیاد است و بین ۰/۴۹ تا ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۰/۶۱تا ۵/۳۷ درصد در نوسان است. میانگین چگالی خاک در رویشگاه‌های متراکم حرا ۱/۰۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که تقریباً مشابه بخش کم تراکم است (۱/۰۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب). از سوی دیگر، میزان درصد کربن خاک در رویشگاه کم تراکم ۲/۲٪ است که ۱۰٪ بیش از رویشگاه متراکم است (۱/۹۴٪) (شکل ۲). تغییرات چگالی و میانگین درصد کربن خاک در منطقه تغییرات معنی‌داری نشان نداد، اما میزان کربن در بخش‌های سطحی خاک افزایش چشمگیری نشان داد. میزان چگالی خشک و درصد کربن در مل‌گنزه به‌ترتیب بین ۰/۷۶تا ۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۰/۷۴ تا ۳/۱۵ درصد در نوسان است. میانگین چگالی خاک در رویشگاه‌های متراکم حرا ۱/۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب برآورد شد که مانند نایبند مشابه



شکل ۲- نمودار تغییرات درصد کربن آلی (محدودهٔ خاکستری‌رنگ) و چگالی رسوب (نمودار سیاه) در امتداد مغزه‌های رسوبی حرای نایبند (الف) و مل‌گنزه (ب) (جهت مقایسهٔ تغییرات طول مغزه و محدودهٔ تغییرات کربن و چگالی رسوب در تمامی نمودارها یکسان رسم شده است. *نکته: برای شناخت میزان همبستگی منفی بین کربن و چگالی خاک، جهت افزایش میزان کربن از چپ به راست و جهت افزایش میزان چگالی از راست به چپ رسم شده است)

بخش کم تراکم است (۱/۱۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب). همچنین میزان درصد کربن خاک در رویشگاه متراکم (۱/۶۶) و کم تراکم (۱/۷۰) نیز به یک اندازه است (شکل ۲). تغییرات چگالی و میانگین درصد کربن خاک در منطقه چندان قابل ملاحظه نیست. نکتهٔ قابل توجه، همبستگی کاملاً منفی میزان چگالی خاک و میزان کربن موجود در آن در هر دو رویشگاه است (شکل ۲).

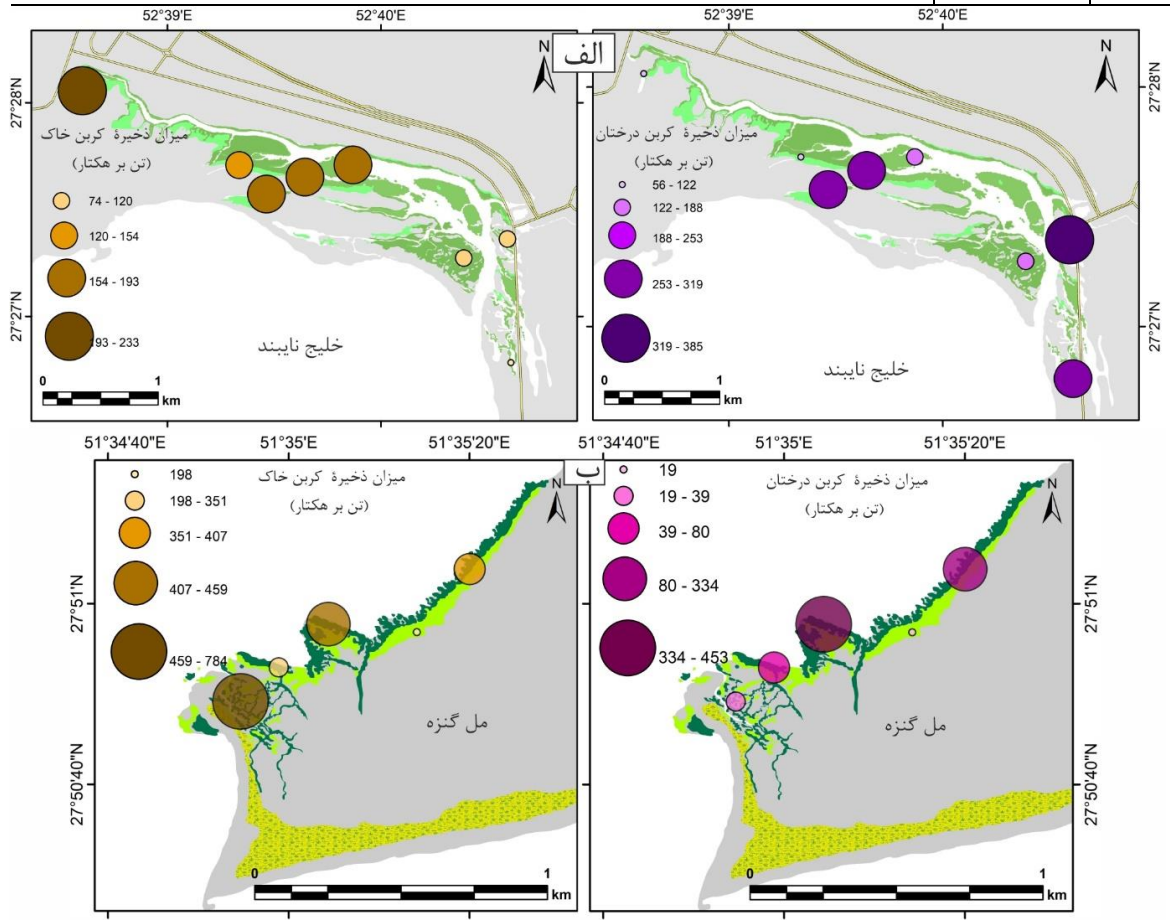
کربن آبی ذخیره‌شده در یک متر فوقانی خاک: در جدول ۱، میزان مساحت جنگل، عمق خاک، حجم خاک و در نتیجه میزان کربن ذخیره شده در خاک رویشگاه‌های حرای متراکم و کم تراکم ارائه شده است. بر اساس نتایج، در مل‌گنزه، میانگین کربن یک متر فوقانی حرای کم تراکم ۹٪ بیشتر از حرای متراکم است. اما به‌دلیل مساحت بیشتر حرای متراکم، کل کربن یک متر فوقانی خاک حرای متراکم ۱۳٪ بیشتر از حرای کم تراکم است. بیشترین میزان کربن یک متر فوقانی خاک در ایستگاه حرای کم تراکم "Mg1" دیده می‌شود که با حرکت به سمت شمال شرق از این میزان کاسته می‌شود.

کربن آبی ذخیره‌شده کل خاک: از آنجاکه ضخامت خاک در تمامی ایستگاه‌های برداشت مغزهٔ نایبند کمتر یا مساوی یک متر است، بنابراین در این منطقه کربن کل خاک و یک متر فوقانی تفاوتی با یکدیگر ندارند و به‌عنوان کربن خاک عنوان می‌شود. میانگین کربن خاک حرای کم تراکم حدود ۳۰٪ بیش از حرای متراکم است که دلیل عمدهٔ آن ضخامت بیشتر خاک در ایستگاه‌های حرای کم تراکم است. با این وجود، به‌دلیل وسعت بیشتر جنگل‌های متراکم، کل کربن خاک در این جنگل‌ها بیش از دو برابر جنگل‌های کم تراکم است. میزان کل کربن خاک حرای خلیج نایبند ۲۲۲۷۰ تن است (جدول ۱). به‌دلیل مساحت بیشتر حرای متراکم مل‌گنزه، کل کربن تمام خاک حرای متراکم ۱۳٪ بیشتر از حرای کم تراکم در این منطقه است. به‌طورکلی ۶۲۶۰ تن کربن در خاک‌های جنگل حرای مل‌گنزه ذخیره شده است که ۵۳٪ آن در حرای متراکم و ۴۷٪ بقیه در حرای کم تراکم ذخیره شده است. بر اساس شکل ۳، بیشترین میزان کربن کل خاک در ایستگاه حرای کم تراکم "Mg1" دیده می‌شود. با حرکت به سمت شمال شرق از این میزان کاسته می‌شود.

کربن آبی ذخیره‌شده در درختان حرا: متوسط ارتفاع درختان رویشگاه نایبند حدود ۲/۵ متر است. متوسط ارتفاع درختان حرا در نواحی متراکم حدود ۲/۸ متر است که ۴۰ درصد بیش از ارتفاع درختان در حراهای کم تراکم است. بیشینهٔ این ارتفاع به بیش از ۶ متر نیز می‌رسد. تعداد تنهٔ درختان شمارش شده در منطقه حدود ۳۰۰۰ تنه در هکتار است که در حراهای کم‌تراکم کمی بیشتر است که به خاطر

جدول ۱- مساحت جنگل‌های مانگرو، عمق خاک و میزان کربن ذخیره‌شده در خاک هر بخش از مانگرو مل‌گنزه و نایبند

مانگرو	زیستگاه‌ها	مساحت (هکتار)	میانگین ضخامت خاک (سانتیمتر)	حجم خاک (مترمکعب)	میانگین کربن یک متر بالایی خاک (تن بر هکتار)	میانگین کربن خاک (تن بر هکتار)	کل کربن یک متر بالایی خاک (تن)	کل کربن خاک (تن)
مل‌گنزه	حرای متراکم	۸/۱۷	۲۱۵	۱۷۵۷۴۵	۱۸۳	۴۰۶	۱۴۹۲	۳۳۱۷
	حرای کم تراکم	۵/۹۸	۲۵۵	۱۵۲۵۷۷	۲۰۱	۴۹۱	۱۲۰۵	۲۹۴۰
	کل	۱۴/۲	۲۳۱	۳۲۸۳۲۲	۱۹۰	۴۴۰	۲۶۹۸	۶۲۵۷
نایبند	حرای متراکم	۱۰۴/۶	۸۳	۸۷۱۴۰۷	۱۴۶	۱۴۵,۶	۱۵۲۲۴	۱۵۲۲۴
	حرای کم تراکم	۳۶/۳	۹۵	۳۴۵۳۵۱	۱۹۴	۱۹۳,۷	۷۰۴۳	۷۰۴۳
	کل	۱۴۱/۰	۸۶	۱۲۱۵۴۵۰	۱۵۸	۱۵۸	۲۲۲۶۷	۲۲۲۶۷



شکل ۳- تغییرات میزان ذخیرهٔ کربن خاک و درختان در مانگرو نایبند (الف) و مل‌گنزه (ب)

کم بودن تعداد ایستگاه و درنتیجه محدود بودن بازه است. اما به‌هرحال قطر تنهٔ درختان در رویشگاه متراکم ۵۰ درصد بیشتر از بخش کم تراکم است. میانگین کربن روی سطح درختان در حرای متراکم (۱۵۹ تن بر هکتار) بیش از سه برابر حرای کم تراکم (۸۸ تن بر هکتار) است. کل کربن ذخیره شده درختان حرای نایبند ۲۸۴۳۹ تن است که ۶۵٪ آن در حراهای متراکم ذخیره شده است. نقشه‌های توزیع جغرافیایی میزان کربن درختان (شکل ۳) نشان می‌دهد که میزان کربن درختان و خاک ارتباط چندانی باهم ندارند.

در رویشگاه مل‌گنزه متوسط ارتفاع درختان منطقه حدود ۲/۸ متر است. متوسط ارتفاع درختان حرا در نواحی متراکم و کم تراکم تقریباً یکسان است. بیشینهٔ این ارتفاع به ۴/۵ متر می‌رسد. تعداد تنهٔ درختان شمارش شده در منطقه حدود ۲۳۰۰ تنه در هکتار است که در حراهای متراکم تقریباً دو برابر بیشتر است. متوسط قطر تنهٔ درختان در رویشگاه متراکم ۲۵ سانتی‌متر است که ۱۰ سانتی‌متر

جدول ۲- مساحت جنگل‌های حرا، زیست‌سنجی درختان و میزان کربن آبی ذخیره شده درختان حرا مانگرو ملگنزه و نایبند (اعدادی که با خط فاصله جداشده‌اند حداقل و حداکثر و اعداد داخل پرانتز میانگین را نشان می‌دهند)

مانگرو	زیستگاه	تغییرات ارتفاع درختان (متر)	تعداد تنهٔ درختان در هر هکتار	تغییرات قطر تنهٔ درختان (سانتی متر)	میانگین کربن روی سطح (تن بر هکتار)	میانگین کربن زیر سطح (تن بر هکتار)	کربن روی سطح (تن)	کربن زیر سطح (تن)
ملگنزه	حرای متراکم	۱/۳ – ۴/۵ (۲/۷)	۳۵۰۰–۲۲۷۰ (۲۹۰۰)	۲–۶۸(۲۵)	۱۸۸	۱۰۱	۱۵۳۵	۸۲۷
	حرای کم تراکم	۱/۵ – ۴/۳ (۲/۸)	۱۲۳۰– ۱۶۷۰(۱۴۶۰)	۵–۳۰ (۱۵)	۱۸	۱۰	۱۱۰	۶۲
	کل	۱/۳ – ۴/۵ (۲/۸)	۳۵۰۰–۱۲۳۰ (۲۳۲۰)	۲–۶۸(۲۳)	۱۲۰	۶۵	۱۶۴۵	۸۸۹
نایبند	حرای متراکم	۱/۱ – ۶/۲ (۲/۸)	۴۷۴۰–۱۱۷۰ (۲۸۶۰)	۵–۶۶ (۲۸)	۱۵۹	۸۸	۱۶۶۶۵	۹۱۷۷
	حرای کم تراکم	۰/۵ – ۱/۳ (۲/۰)	۳۸۰۰–۲۴۰۰ (۳۱۰۰)	۵–۳۵ (۱۸)	۴۶	۲۶	۱۶۶۰	۹۳۷
	کل	۰/۵ – ۶/۲ (۲/۶)	۴۷۴۰–۱۱۷۰ (۲۹۵۰)	۵–۶۶ (۲۵)	۱۳۱	۷۲	۱۸۳۲۵	۱۰۱۱۴

شکل ٤- نمودار تغییرات میزان ذخیرهٔ کربن درختان (روی سطح و زیر سطح) و خاک در نواحی مختلف نمونه‌برداری در مانگرو نایبند و ملگنزه

بیشتر از بخش کم تراکم است. میانگین کربن روی سطح و زیر سطح درختان در حرای متراکم (به‌ترتیب ۱۸۸ و ۱۰۱ تن بر هکتار) بیش از ده برابر حرای کم تراکم (به‌ترتیب ۱۸ و ۱۰ تن بر هکتار) است. کل کربن ذخیره شده درختان حرای نایبند ۲۵۳۵ تن است که بیش از ۹۰ درصد آن در حراهای متراکم ذخیره شده است. نقشه‌های توزیع جغرافیایی میزان کربن درختان میزان کربن درختان در ایستگاه "Mg3" افزایش چشمگیری نشان می‌دهد (شکل ۳). براساس شکل ۴، میزان کربن موجود درختان در تمامی ایستگاه‌های حرای متراکم رویشگاه نایبند (به‌جز ایستگاه "Nb3") بیشتر از کربن موجود در خاک است. اما در نواحی کم تراکم کربن خاک به‌مراتب بیشتر از کربن

درختان است که دلیل آن اثر توأم افزایش عمق و درصد کربن خاک و همچنین کاهش کربن درختان نسبت به جنگل‌های متراکم است. میزان کربن موجود درختان ایستگاه‌های حرای متراکم مل‌گنزه بسیار بیشتر از این میزان در حراهای کم تراکم است. تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها میزان کربن خاک حرای مل‌گنزه بیش از کربن درختان است. به‌جز ایستگاه "Mg3" که این مقادیر تقریباً برابرند. اما در نواحی کم تراکم کربن خاک به‌مراتب بیشتر از کربن درختان است که دلیل آن اثر توأم افزایش عمق و درصد کربن خاک و همچنین کاهش کربن درختان نسبت به جنگل‌های متراکم است.

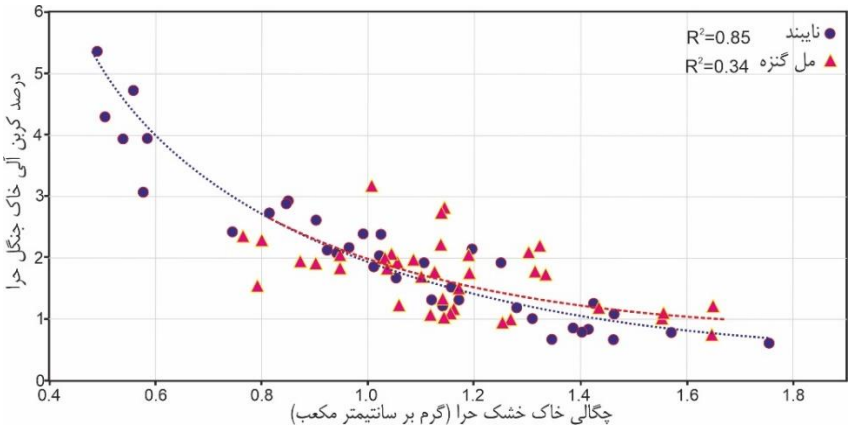
بحث و نتیجه‌گیری

فرآیندهای رسوب‌شناسی و زمین‌شیمیایی مرتبط با ترسیب کربن: زیست‌بوم مانگرو محل نمایش ارتباط نزدیک گردهمایی پوشش گیاهی و ژئومورفولوژی محیط است. خصوصیات بخش‌های مختلف رویشگاه‌های آن نقش بسیار مهمی در ترسیب کربن آلی و رسوبات معلق دارد. ازجمله عواملی که نقش مهمی در رژیم رسوب‌گذاری و ترسیب کربن در مانگروهای کشور دارند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

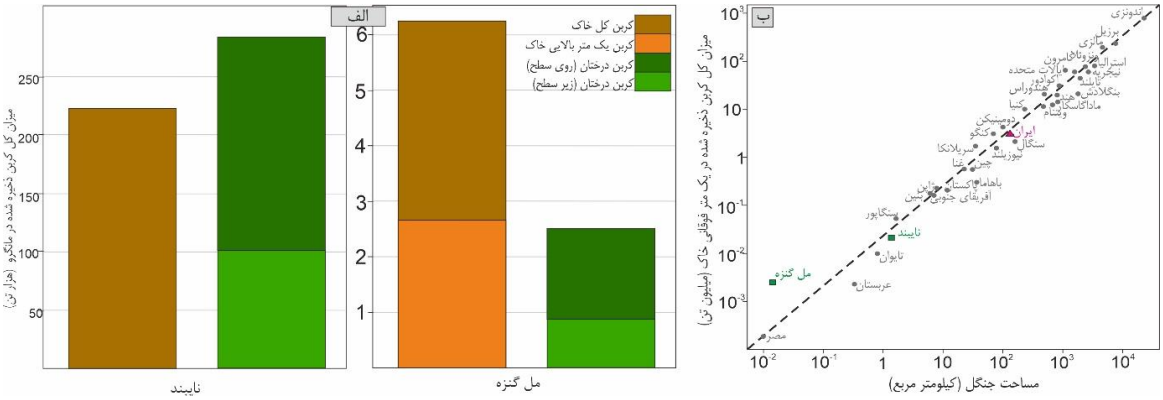
الف) زمین‌ریخت‌شناختی: مانگرو مل‌گنزه در امتداد سواحل پیشانی زبانهٔ ماسه‌ای بزرگ پوزه‌ماشه شکل گرفته است که آن را تحت تسلط دائم جریان جزرومدی قرار می‌دهد. این جریان دائمی موجب تبادل زیاد آب و رسوب با محیط پیرامون شده و موجب افزایش نرخ تجمع رسوبات معلق در نواحی کم انرژی می‌شود؛ همچنین تبادل تولیدات بیوژئوشیمیایی بین دریا و مانگرو به‌وفور صورت گیرد. این امر تأثیر زیادی برافزایش غلظت کربن آلی در این محیط دارد (Sarker *et al*., 2021). مانگرو نایبند در خورهایی ایجاد شده که به‌دلیل مسدود بودن انتهای خورها تبادل آب در آن‌ها تنها منحصر به جریان جزرومدی است و در نتیجه این تبادل محدودتر آب موجب کاهش نسبی چرخهٔ بیوژئوشیمیایی مانگرو و محیط اطراف و به‌دنبال آن کاهش غلظت کربن در رسوبات می‌گردد.

ب) واکنش متقابل ریشه‌ها و جریان‌های جزرومدی: جریان‌های جزرومدی مهم‌ترین منبع انرژی فیزیکی در حرکت رسوبات است که موجب ته‌نشست رسوبات در سمت خشکی می‌شود. در داخل محیط رویشگاه‌های مانگرو سیستم پیچیده و متراکم ریشه‌های عمودی هوایی[6] کارایی بسیار زیادی در به دام انداختن رسوبات معلق و ذرات مواد الی دارند (Sarker *et al*., 2021). علی‌رغم قدرت جریان آب برگشتی هنگام جزر، بسیاری از گلوله‌های رسوبی تشکیل شده در محل به‌دلیل کاهش قدرت حرکت آب توسط ریشه‌های متراکم در داخل شبکهٔ ریشه‌ها به دام می‌افتند (Alongi, 2012). ذرات رسوبی ریزدانه‌تر عموماً به‌دلیل توان جذب بالاتر (سطح مؤثر بیشتر) حاوی مقادیر بیشتری مواد آلی هستند (Ferreira *et a*l., 2022). این امر یکی از دلایل همبستگی منفی بین اندازهٔ ذرات یا چگالی رسوب و میزان کربن موجود در رسوبات است (شکل ۵). بخش‌هایی از جنگل که نزدیک‌تر به لبهٔ آب هستند نسبت به بخش‌های بالادست، رسوب‌گذاری و برافزایی بیشتری را تجربه می‌کنند (Hamzeh and Farahi, 2020). بنابراین میزان کربن در پیرامون این نواحی و پهنه‌های گلی بین جزرومدی بیشتر است (Sanders *et al*., 2010). بیشترین میزان نرخ تجمع کربن آلی متناظر با بیشترین نرخ رسوب‌گذاری است که در شرایط کم انرژی در مانگروهای با تراکم متوسط که چند متر دور از خط ساحلی و در پناه جنگل‌های متراکم حاشیه‌ای هستند، دیده می‌شود. از سوی دیگر افزایش ارتفاع پهنهٔ جزرومدی نسبت به بیشترین میزان مد موجب کاهش سرعت جریان جزرومدی و در نتیجه افزایش سهم ذرات ریزدانه می‌گردد در نتیجه نواحی کم تراکم‌تر که کمی دورتر از ساحل قرار دارند نیز سهم زیادی در کربن آلی این

[6] Pneumatophore



شکل ۵- نمودار همبستگی بین چگالی خشک و درصد کربن در نمونه‌های رسوب مانگروهای مل‌گنزه و نایبند



شکل ٦- الف: مقایسهٔ میزان کل کربن ذخیره شده در دو رویشگاه نایبند و مل‌گنزه. ب: نمودار میزان کربن در یک متر فوقانی خاک به ازای مساحت جنگل‌های مانگرو در نواحی مختلف جهان (Atwood *et al.*, 2017) در مقایسه با کل مانگروهای ایران (Hamzeh *et al.*, 2022)

رویشگاه‌ها دارند. ذرات ریز رسوبی (سیلت و رس) به‌دلیل سطح تماس بالا و قدرت جذب بالا) کارایی بسیار بالاتر در جذب کربن آلی به نسبت ذرات دانه درشت‌تر دارند. تجمع سریع سیلت و رس منجر به افزایش ته‌نشست کربن آلی در محیط می‌گردد بنابراین نرخ رسوب‌گذاری زیاد و سهم بالاتر سیلت و رس در رسوب موجب افزایش غلظت مواد آلی رسوب می‌شود.

میزان تثبیت دی‌اکسید کربن: در شکل (۶ الف) میزان کل کربن ذخیره شده در مانگروهای نایبند و مل‌گنزه مقایسه شده است. جنگل‌های منطقهٔ بوشهر روی‌هم تنها میزبان یک درصد از کربن آبی مانگروهای ایران هستند (نایبند: ۵۱ هزار تن و مل‌گنزه: ۸۸۰۰ تن). حراهای مل‌گنزه و نایبند به‌ترتیب ۱۹۰ و ۱۵۸ تن بر هکتار کربن را در یک متر فوقانی خود جای‌داده‌اند که از این نظر پس از حراهای رویشگاه خوران در ردهٔ دوم مانگروهای ایران قرار دارند (Hamzeh *et al.*, 2022). در رویشگاه نایبند میزان کربن موجود درختان حدود ۱/۳ برابر کربن ذخیره شده در خاک است. در رویشگاه مل‌گنزه این نسبت ۰/۳ است. در مقایسه با مانگروهای نواحی مرطوب حاره‌ای، مانگروهای مناطق گرم و خشک از زیست‌توده و بارآوری زیستی کمتری برخوردارند. درختان این نواحی دارای تراکم زیادی هستند ولی اغلب کوچک‌تر از نواحی حاره‌ای‌اند و رسوبات بستر این جنگل‌ها عموماً دانه درشت‌تر است (Alongi, 2012). بر اساس مطالعهٔ Mahmoudi و همکاران (۲۰۲۲)، میزان ذخیرهٔ کربن تنها در ۶۰ سانتی‌متری فوقانی خاک مانگرو نایبند و مل‌گنزه به‌ترتیب ۸۶۷ و ۶۱۳ تن بر هکتار است که بیشتر از برآورد این مطالعه است. این میزان ذخیرهٔ کربن معمولاً متعلق به جنگل‌های مانگرو چند گونه‌ای (۵ گونه درخت مانگرو و بیشتر) نواحی حاره‌ای بین عرض‌های صفر تا ۱۰ درجهٔ شمالی و جنوبی مانند کشورهای اندونزی،

مالزی، برزیل و استرالیا است که در آن‌ها تولیدات زیستی بسیار بیشتر نواحی خشک و نیمه‌خشک جنب حاره‌ای مانند محدودهٔ مورد مطالعه است (Atwood *et al*., 2017). Atwood و همکاران (۲۰۱۷) ، نشان دادند که مانگروهای بین عرض‌های ۲۰ و ۳۰ درجهٔ شمالی دارای کمترین ذخیرهٔ کربن آلی در خاک خود هستند (۱۵۱±۲۲۲ تن کربن بر هکتار). مقایسهٔ این اعداد با میزان کربن یک متر فوقانی خاک مانگروهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که غلظت کربن در این مانگروها در میانهٔ این بازهٔ جهانی قرار دارد. میانگین کربن خاک مانگروهای در عربستان سعودی ۷۲ تن بر هکتار است (کمترین میزان در جهان) که ۴۶٪ نایبند و ۳۸٪ مل‌گنزه است. تغییرات کل کربن یک متر فوقانی خاک در کشورهای مختلف از $۰/۰۰۰۱\times۱۰^{۱۲}$ گرم کربن در مصر تا ۸۳۱×۱۰^{۱۲} گرم کربن در اندونزی در نوسان است که وابسته به مساحت جنگل‌هاست (Atwood *et al*., 2017) (شکل ۶ ب). حرای نایبند با ۱۴۱ هکتار مساحت و میانگین ۱۵۸ گرم کربن بر هکتار در یک متر فوقانی خاک پایین‌تر از سنگاپور و بالاتر از تایوان در بخش‌های پایینی نمودار جای دارد. رویشگاه مل‌گنزه با ۱۴ هکتار مساحت و میانگین ۱۹۰ گرم کربن بر هکتار در یک متر فوقانی خاک از نظر میزان کربن تقریباً مشابه عربستان است، هرچند مساحت جنگل آن کمتر است. براساس محاسبات این مطالعه، خاک و درختان رویشگاه‌های مانگرو نایبند و مل‌گنزه $۵۹/۵\times۱۰^{۹}$ گرم کربن (۸۵٪ در نایبند و ۱۵٪ در مل‌گنزه) معادل ۲۱۸ هزار تن دی‌اکسید کربن در خود ذخیره کرده‌اند که از این میزان ۲۸/۵ هزار تن در خاک و بقیه (۳۱ هزار تن) در زیست‌تودهٔ درختان مانگرو انباشته شده است. بر اساس محاسبات Atwood و همکاران (۲۰۱۷)، در اثر تخریب رویشگاه‌های مانگرو حدود ۴۳٪ کربن یک متر فوقانی خاک به‌صورت دی‌اکسید کربن به جو بازمی‌گردد. بر این اساس با جنگل‌زدایی مانگروهای نایبند و مل‌گنزه حدود ۱۵۵ هزار تن دی‌اکسید کربن (۱۱۵ هزار تن توسط درختان شامل شاخ و برگ و ریشه و ۴۰ هزار تن توسط یک متر فوقانی خاک) وارد جو می‌گردد. باید به این نکته توجه داشت که در این مطالعه سعی شد تا با برداشت بیشترین تعداد مغزهٔ ممکن، برآورد قابل‌قبولی از میزان ضخامت خاک در نواحی مختلف و در نهایت حجم کل خاک رویشگاه های مانگرو نایبند و مل‌گنزه به‌دست آید تا با دقت قابل قبولی میزان کل کربن موجود در خاک رویشگاه‌های مذکور برآورد شود. اما با توجه به توپوگرافی ناهموار بستر رویشگاه‌ها ارزیابی کاملاً دقیق حجم خاک امکان‌پذیر نیست. علاوه بر این، با توجه به اینکه برآورد میزان درصد کربن خاک به روش سوختن مادهٔ آلی و تبدیل آن به میزان کربن با استفاده اط رابطهٔ تبدیل مادهٔ آلی خاک مانگروها به میزان کربن (R^2=0.86) به‌دست آمد، میزان تخمین ذخیرهٔ کربن با میزانی از خطا همراه خواهد بود.

در این مطالعه برای نخستین بار میزان کل کربن آبی موجود در خاک و درختان مانگرو دو رویشگاه مهم حرای استان بوشهر برآورد گردید. با توجه به اینکه این رویشگاه‌ها در منتهی‌الیه شمالی نواحی قابل رویش درختان مانگرو در جهان جای دارند (محدودهٔ عرض جغرافیایی ۲۷ درجه) میزان ذخیرهٔ کربن خاک این نواحی در محدودهٔ این میزان در مانگروهای نواحی نیمه‌خشک عرض‌های ۲۰ تا ۳۰ درجه است. به‌دلیل تبادل بیشتر تولیدات زیستی بین رویشگاه مل‌گنزه با دریا در مقایسه با محیط نیمه بستهٔ نایبند، میزان کربن موجود در خاک مانگرو مل‌گنزه ۱۵٪ بیش از این میزان در نایبند است. رویشگاه‌های نایبند و مل‌گنزه به‌ترتیب تنها ۱/۳۴ و ۰/۱۳ درصد مساحت جنگل های مانگرو کشور را به‌خود اختصاص داده‌اند در نتیجه به‌دلیل مساحت کم، تنها ۰/۶ درصد کربن آبی رویشگاه‌های کشور را در جود جای داده‌اند. از سوی دیگر، در مقایسه با دیگر رویشگاه‌های مانگرو کشور (Hamzeh *et al*., 2022)، رویشگاه‌های نایبند و مل‌گنزه با میزان ذخیرهٔ کربن ۱۵۸ و ۱۹۰ تن بر هکتار پس از رویشگاه‌های قشم و خمیر با توان ذخیرهٔ کربن ۲۷۷ و ۲۲۷ تن بر هکتار

در ردهٔ دوم مانگروهای کشور جای دارند. بنابراین می‌توان با اعمال تدابیر مدیریتی مناسب جهت حفظ و توسعهٔ جنگل‌های مانگرو در استان بوشهر گام مهمی در راستای تثبیت کربن در این نواحی برداشت.

تشکر و قدردانی

مطالعهٔ حاضر برگرفته از طرح پژوهشی بین صندوق ملی محیط زیست (کارفرما) و پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی (مجری) با عنوان "ارزیابی سلامت جنگل‌های مانگرو خلیج‌فارس و دریای عمان" به شمارهٔ ۹۳۱۰/۱۰۲۰۵۷۱/ص‌م و تاریخ ۱۳۹۹/۱۲/۱۴ است.

References

Alongi, D.M., 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. Carbon management 3(3), 313-322.

Alongi, D.M., Murdiyarso, D., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Hutahaean, A., Crooks, S., Lovelock, C.E., Howard J., Herr D., Fortes M., Pidgeon E., 2016. Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. Wetlands Ecology and Management 24(1), 3-13.

Askari, M., Homaei A., Kamrani E., Zeinali F., Andreetta A., 2021. Estimation of carbon pools in the biomass and soil of mangrove forests in Sirik Azini creek, Hormozgan province (Iran). Environmental Science and Pollution Research 29(16), 23712-23720.

Atwood, T.B., Connolly, R.M., Almahasheer, H., Carnell, P.E., Duarte, C.M., Lewis, C.J.E., Irigoien, X., Kelleway J.J., Lavery P.S., Macreadie P.I., Serrano O., 2017. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. Nature Climate Change 7(7), 523-528.

Danehkar, A., 1998. Sea sensitive areas of Iran. Journal of Environment 24, 28-38 (in Persian).

Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso D., Kurnianto S., Stidham M., Kanninen M., 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. Nature Geoscience 4 (5), 293–297.

Elijah, W., Ramsey, I., Jensen, J.R., 1996. Remote sensing of mangrove wetlands: Relating canopy spectra to site-specific data. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing 62(8), 939-948.

Ferreira, T.O., Queiroz, H.M., Nóbrega, G.N., de Souza, Júnior V.S., Barcellos, D., Ferreira, A.D., Otero, X.L., 2022. Litho-climatic characteristics and its control over mangrove soil geochemistry: A macro-scale approach. Science of the Total Environment 811, 152152.

Hamzeh, M.A., Farahi, S., 2020. Palaeoenvironmental changes in the Khuran Estuary of SE coastal Iran during the last two millennia, based on the analysis of a sediment core. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 542, 109563.

Hamzeh, M.A., Alizadeh, H., 2022. Soil and Vegetative Carbon Sequestration in Khuran Estuary Mangroves, Strait of Hormoz, During the Last 18 Centuries. Estuaries and Coasts 45(6), 1583-1595.

Hamzeh, M.A., Koochaknejad, E., Maghsudlu, A., Baskaleh, G.R., Ghaemi, M., Hamzei, S., Mehdinia, A., Aghadadashi V., 2022. Assessing the mangrove forests health in the Persian Gulf and Oman Sea. Research project. National Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences and National Environment Fund. No: 1020571/9310 (In Persian).

Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results. Journal of Paleolimnology 25, 101-110.

Heumann, B.W., 2011. Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. Progress in Physical Geography 35(1), 87-108.

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E., (eds.) 2014. Coastal blue carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA. 180 p.

Jamarani, S., Hajizadeh Zaker, N., 2016. Wave modeling in Nayband Bay. Journal of maritime transport industry 4, 51-57 (in Persian).

Kauffman, J.B., Heider, C., Cole, T.G., Dwire K.A., Donato, D.C., 2011. Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. Wetlands 31, 343-352.

Kauffman J.B., and Donato D.C., 2012. Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Working Paper 86. CIFOR, Bogor, Indonesia. 40p.

Komiyama, A., Poungparn, S., Kato, S., 2005. Common allometric equations for estimating

the tree weight of mangroves. Journal of Tropical Ecology 21, 471-477.

Lee, S.Y., Hamilton, S., Barbier, E., Primavera, J.H., Lewis, I.I.I.RR., 2019. Better restoration policies are needed to conserve mangrove ecosystems. Nature Ecology and Evolution 3, 870-872.

Mahmoudi, M., Pourebrahim, S., Khorasani, N., Danehkar, A., Etemadi, H., Tanha Ziyarati, M., Moeinaddini, M., 2022. Carbon stock in three mangrove forests in north Persian Gulf. Environmental Earth Sciences 81(1), 1-14.

Ouyang, X., Lee, S.Y., 2020. Improved estimates on global carbon stock and carbon pools in tidal wetlands. Nature Communications 11(1), 1-7.

Quiros, T.A.L., Sudo, K., Ramilo, R.V., Garay, H.G., Soniega, M.P.G., Baloloy, A., Blanco, A., Tamondong, A., Nadaoka, K., Nakaoka, M., 2021. Blue carbon ecosystem services through a vulnerability lens: opportunities to reduce social vulnerability in fishing communities. Frontiers in Marine Science 8, 671753.

Ranjbari, R., 2006. Ecological Capability Assessment of Nay Band Coastal-Marine Park in Boushehr Province for Tourism by GIS, MSc Thesis of environment, Azad University of Tehran, Science and Research Unit, 190 p.

Rashvand, S., Safyari, Sh., Rashidi, J., 2000. Investigation of mangrove communities in the Persian Gulf. Research project. Research Center for Natural Resources and Livestock Affairs of Bushehr Province. No: 74-0310-0123000-10 (in Persian).

Rashvand, S., Shirzad, N., 2013. Determining the geographical distribution and area of mangrove habitats in Bushehr province, the first national conference on sustainable agriculture and natural resources, Tehran (in Persian).

Sanders, C.J., Maher, D.T., Tait, D.R., Williams, D., Holloway, C., Sippo, J.Z., Santos, I.R., 2016. Are global mangrove carbon stocks driven by rainfall? J. Geophysical Research and Biogeoscience 121, 2600-2609.

Sarker, S., Masud-Ul-Alam, M., Hossain, M.S., Rahman Chowdhury, S., Sharifuzzaman, S.M. 2021. A review of bioturbation and sediment organic geochemistry in mangroves. Geological Journal 56(5), 2439-2450.

Wang, G., Guan, D., Zhang, Q., Peart, M.R., Chen, Y., Peng, Y., Ling, X., 2014. Spatial patterns of biomass and soil attributes in an estuarine mangrove forest (Yingluo Bay, South China). European Journal of Forest Research 133(6), 993-1005.

Zahed, M.A., Rouhani, F., Mohajeri, S., Bateni, F., Mohajeri, L., 2010. An overview of Iranian mangrove ecosystems, northern part of the Persian Gulf and Oman Sea. Acta Ecologica Sinica 30(4), 240-244.

Original Article

Journal of Natural Environment 75(Special Issue): 184-197 (2023)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

Assessing the blue carbon sequestration in the mangrove forests of Bushehr Province (Nayband and Melgonze)

Mohammad Ali Hamzeh*

Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), Tehran, Iran

*Corresponding author: hamzeh@inio.ac.ir

Abstract

Mangrove forests have an important role in carbon dioxide stabilization and modification of increasing greenhouse gases and the human effects of global warming. The main purpose of this study is to eliminate the information gap of carbon storage in the mangrove forests of Bushehr province. In this study, the total carbon storage and the top 1 m, and total soil depth of soil as well as the carbon stored in mangrove trees in the mangrove forest of Bushehr Province (Nayband and Melgonze) were evaluated. The amount of sediment carbon in sediment cores and the diameter of breast height and height of trees were measured in 12 stations in the area. Satellite imagery showed that the area of the Nayband and Melgonze mangrove forests is 141 and 14 ha, respectively, 73% of which is high-density forest. The results showed that the average carbon content of the top 1m of Nayband and Melgonze mangrove forests is 158 and 190 tons per hectare (t ha^{-1}) respectively, which is within the range of the global average in arid mangroves. The amount of carbon in the top 1m of Bushehr mangrove soil was estimated at 25000 tons, 89% of which is sequestered in Nayband mangroves. Soil and mangrove trees in the area have sequestered 59500 tonnes of carbon (equivalent to 218 tonnes of CO_2) 28500 tonnes of which is stored in soil and the rest (31000 tonnes) is sequestered by mangrove trees. Estimates show that if the mangrove forests of the area are completely deforested, more than 155000 tons of carbon dioxide will re-mineralize into the atmosphere. Evaluating the carbon content of the total soil depth enabled us to estimate the total carbon content of mangrove habitats in Bushehr province for the first time.

Keywords: Bushehr, Carbon fixation, Mangrove, Climate change