

بررسی تأثیر پارامترهای محیطی بر اکوسیستم‌های مانگرو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

مرتضی شریف^۱، سارا عطارچی^{۲*}

^۱دانش آموخته رشته سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، شوشتر

^۲استادیار و عضو هیئت علمی گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

چکیده

جنگل‌های مانگرو طی دو دهه اخیر در پی تغییرات الگوهای پارامترهای اقلیمی با چالش‌های جدی مواجه شده‌اند. از این رو، پایش و بررسی مداوم این اکوسیستم‌ها در سطوح محلی و منطقه‌ای به منظور اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی و فراهم کردن زیرساخت‌های مطلوب برای کاهش و یا جلوگیری از این تنش‌ها ضروری است. برای این هدف در این تحقیق، تغییرات جنگل‌های مانگرو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (لندست ۸)، داده‌های هیبریدی و هواشناسی از ایستگاه‌های زمینی هواشناسی در سطح منطقه خلیج فارس و دریای عمان بین سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۳ ارزیابی شد. نتایج مطالعه حاکی از روند افزایش دمای سطح آب دریای عمان با ۰/۱۲ و خلیج فارس با ۰/۲ °C است. شوری سطح دریای عمان با روند سریع‌تری نسبت به خلیج فارس در حال افزایش است. در صورتی که متوسط شوری در خلیج فارس بیشتر است. از طرف دیگر، بر اساس شاخص NDVI سرعت تغییرات میزان کلروفیل گیاهان در اکوسیستم‌های مانگرو سواحل خلیج فارس بیشتر از دریای عمان مشاهده شد. میزان همبستگی بدست آمده بین NDVI با دمای هوا، بارش و دمای سطح آب نشان داد که این عوامل بیشترین تأثیرگذاری را بر روند تغییرات جنگل‌های مانگرو در کرانه‌های عمان و خلیج فارس داشته‌اند. با این حال، در مناطق مختلف این تأثیرپذیری متفاوت بود. مانگروهای واقع در منطقه قشم بیشترین تأثیرپذیری (با $R^2 = 0/8$) برای دمای هوا و $R^2 = 0/3$ با دمای سطح دریا) را از این عوامل داشته‌اند. سپس، جنگل‌های مانگرو در سواحل بوشهر بیشترین همبستگی را با این پارامترها نشان داده‌اند. اما این همبستگی در اکوسیستم‌های مانگرو سواحل چابهار کمتر بود.

کلمات کلیدی: جنگل‌های مانگرو، شوری سطح دریا، دمای سطح دریا، خلیج فارس، NDVI

۱ مقدمه

جهانی حدود ۶/۴ درصد کاهش یافته و در سطح قاره آسیا (با ۶/۳۳۰ میلیون هکتار) ۱۲/۳ درصد کاهش یافته که نشان می‌دهد در آسیا این اکوسیستم گیاهی با چالش‌های جدی‌تری روبرو است (FAO, 2020).

با توجه به مطالعات گذشته عمده تغییرات رخ داده شامل تخریب توسط انسان، تغییرات دما، شوری و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای است (Alongi and Daniel, 2008). به عنوان مثال، مطالعات بلندمدت بر روی این اکوسیستم گیاهی نشان می‌دهد که تغییر در میزان بارندگی و سطح تراز دریاها می‌تواند تأثیرات زیادی بر گستره جنگل‌های مانگرو داشته است (Eslami et al., 2009; Lovelock et al., 2017). این جنگل‌ها در دوره‌هایی که سطح دریا بالا و بارندگی زیاد است گسترش می‌یابد و زمانی که سطح دریا پایین است و بارندگی کاهش می‌یابد، به سمت دریا

اکوسیستم‌های مانگرو یکی از پربرازده‌ترین اکوسیستم‌های ماندابی روی زمین به شمار می‌روند که فرصت زیستگاهی منحصر به فردی را برای بسیاری از گونه‌های آبرزی و همچنین خدمات اکوسیستمی برای انسان فراهم می‌کند (Carugati et al., 2018). این اکوسیستم‌های گیاهی ماندابی به دلیل تأثیرات مستقیم انسانی و تغییرات اقلیم با سرعت نگران‌کننده‌ای در حال کاهش و تخریب جدی هستند (Alongi et al., 2000; Alongi and Daniel, 2008; Cassata and Lindsay, 2015). بر اساس آخرین آمارهای جهانی سازمان فائو جنگل‌های مانگرو در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۴/۷۸۶ میلیون هکتار تخمین زد شده که از این میزان حدود ۵/۵۵۰ میلیون هکتار در آسیا قرار دارد (FAO, 2020). این میزان به نسبت سال ۱۹۹۰ (۱۵/۸۰۰ میلیون هکتار) در سطح

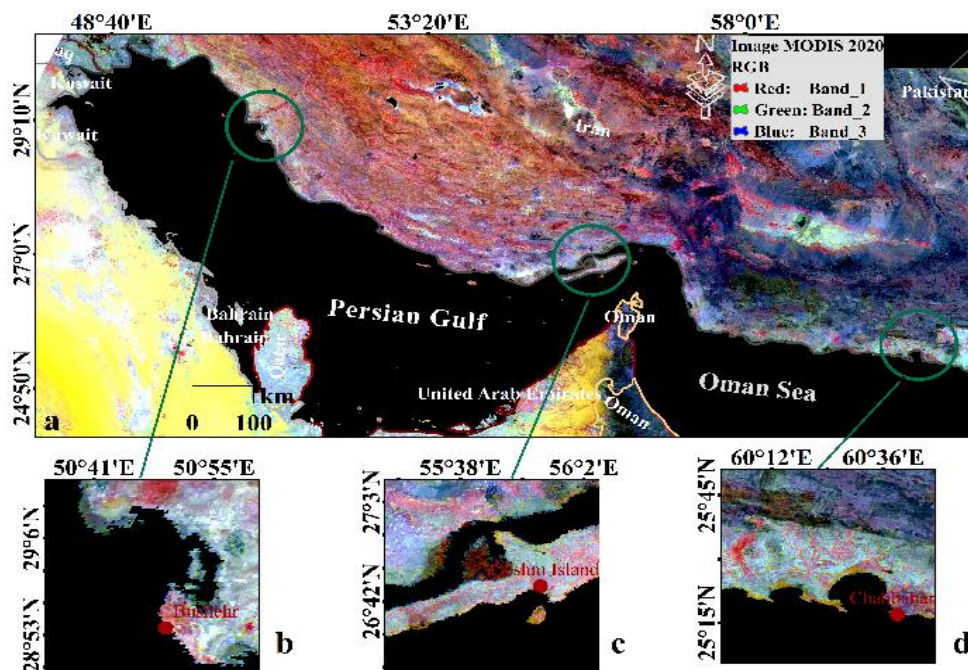
از جمله زیستگاه‌های مناسب گیاهان مانگرو به شمار می‌رود، انتخاب شد و تأثیرات پارامترهای اتمسفری و نوسانات پارامترهای شوری و دمای سطح دریای عمان و خلیج فارس بر شرایط اکوسیستم‌های گیاهی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور از شاخص گیاهی NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) استخراج شده از تصاویر سنجنده SSI (Operational Land Imager)، داده‌های شوری سطح دریا (SST-sea) و دمای سطح دریا (surface temperature) از مجموعه داده‌های هیبریدی HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model)، پارامترهای بارش و دمای هوا از طریق سایت سازمان هواشناسی ایران (<https://data.irimo.ir>) گردآوری شد. محدوده زمانی تحقیق با توجه به زمان همپوشانی تصاویر سنجنده OLI و داده‌های HYCOM از ۲۰۱۳ تا دسامبر ۲۰۲۰ انتخاب شده است.

۲..... داده‌ها و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در شکل ۱، موقعیت سه منطقه مورد مطالعه در دریای عمان و خلیج فارس که اکوسیستم‌های مانگرو را در کرانه‌های خود جای داده، بر روی ترکیب رنگی کاذب (باندهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و آبی) تصویر سنجنده مودیس نشان داده شده است. در این محدوده جغرافیایی ۹ کشور با خلیج فارس و دریای عمان هم مرز هستند که شامل کشورهای ایران، عراق، عمان، قطر، بحرین، امارات متحده عربی، کویت، عربستان و پاکستان می‌باشند. این کشورها در مجموع ۲۸۰ هزار هکتار از جنگل‌های مانگرو را در خود جای داده‌اند (FAO, 2015a). سهم ایران با ۱۹/۲۳۴ هزار هکتار حدود ۱۵٪ از مساحت این اکوسیستم گیاهی در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان است (FAO, 2015b). در این مطالعه، سه منطقه مهم اکوسیستم‌های گیاهی مانگرو واقع در عرض‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۲۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی در محدوده بندر بوشهر (شکل ۱، b)، عرض‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۲۷ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی در محدوده جزیره قشم (شکل ۱، c) و عرض‌های جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ۲۵

منقبض می‌شود (Eslami et al., 2009). نوسانات در بخش‌های استوایی اقیانوس آرام، می‌تواند منجر به تغییرات شدید در سطح دریا شود. در طول ال‌نینو، بادهای ضعیف استوایی باعث می‌شود که ترموکلاین در منطقه گرمسیری غربی اقیانوس آرام تشکیل شود و وجود آب خنک باعث کاهش سطح دریا بین ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌شود (Hamlington et al., 2016)، در حالی که سطح دریا در بخش‌های شرقی بالاتر است. اما در مرحله لانینا، این الگوها معکوس می‌شوند. این نوسانات سطح دریا با تغییرات آب و هوایی تشدید نیز خواهند شد (Cai et al., 2012; Moon et al., 2015; Widlansky et al., 2015). بنابراین، احتمالاً نوسانات طغیان جزر و مدی و تغییر شوری خاک در بخش‌های اکوسیستم‌های مانگرو سبب شکل‌گیری شرایط نامطلوبی برای رشد گیاهان ماندابی خواهند بود (Lovelock et al., 2015; Lovelock et al., 2017). تغییرات بارش، دما، تبخیر و در نتیجه آنها تغییرات میزان شوری آب و خاک، می‌تواند منجر به تخریب و تغییر در ترکیب و رشد گونه‌های گیاهی مانگرو شود (Alongi et al., 2000). گرچه مطالعات صورت گرفته در بخش‌های جداگانه از جنگل‌های مانگرو در ایران حاکی از افزایش مساحت آنها است (Khoorani et al., 2015; Mafi et al., 2017; Milani et al., 2013)، اما این مطالعات در دوره‌های کوتاه مدت صورت گرفته و اکثر آنها مربوط به قبل از سال ۲۰۱۴ است. با وجود سطح گسترده اکوسیستم گیاهی مانگرو در ایران، تا کنون مطالعه‌ای در زمینه تعیین مقدار تغییرات ناشی از تأثیر مستقیم تنش‌های افزایش شوری و دمای سطح دریا در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان طی سالهای ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ به صورت جامع صورت نگرفته است. روند سرعت تغییرات اقلیمی بویژه در دهه اخیر در نتیجه تغییرات در الگوهای بارش، دمای هوا، دمای سطح دریاها، تغییرات تراز آبی دریاها و افزایش شوری دریاها در سطح جهانی و به دنبال آن افزایش تبخیر ناشی از آن، می‌تواند چالش جدی را برای این اکوسیستم‌های گیاهی به همراه داشته است. از این رو، انجام مطالعات در مورد این اکوسیستم‌های گیاهی که تحت تأثیر شدید هر دو اکوسیستم خشکی و دریایی هستند، بسیار ضروری است. در این تحقیق، سه منطقه از اکوسیستم‌های گیاهی مانگرو در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان واقع در کشور ایران که



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه کشورهای حوزه خلیج فارس و دریای عمان (a)، محدوده اکوسیستم های مانگرو در نوار ساحلی پوشهر (b)، حرا (c) و بندر چابهار (d)، تصویر ترکیب رنگی کاذب از سنجنده مودیس (RGB: NIR, Red, Blue)

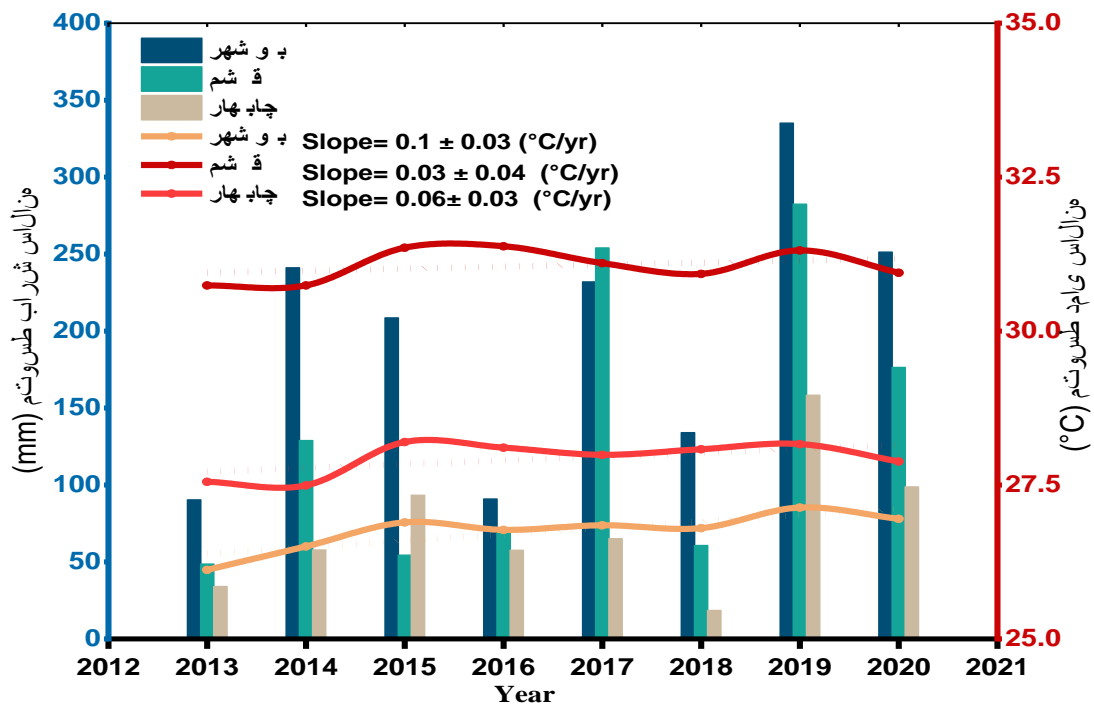
جهانی HYCOM که دارای دقت مکانی $1/12$ درجه ای هستند (Garraffo et al., 2020)، تهیه شد. واحد شوری سطح دریا در این داده ها (Practical Salinity Unit) Psu است. این داده ها به صورت ساعتی توسط وزارت نیروی دریایی آمریکا تهیه و معمولاً پس از ۴۸ ساعت از زمان آنالیز اولیه قابل دسترس خواهند بود. این داده ها به صورت روزانه از طریق پلتفرم گوگل ارث انجین فراخوانی و سپس میانگین ماهانه و سالانه آن ها در بازه ۲۰۱۳-۲۰۲۰ محاسبه شد. این داده ها از طریق سایت (HYCOM.org) و در فرمت های مختلف داده ای به صورت رایگان در دسترس کاربران قرار داده شده است. پردازش های اولیه این تحقیق در پلتفرم گوگل ارث انجین (Google Earth Engine) انجام گرفته است. سپس، نتایج بدست آمده مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. این پلتفرم که قادر به پردازش طیف وسیعی از تصاویر ماهواره ای است (Ghorbanian et al., 2017; Gorelick et al., 2020)، در سال (دسامبر ۲۰۱۰) راه اندازی شد و روز به روز در حال گسترش است. چرا که، سبب دسترسی و کاهش زمان پردازش داده های ماهواره ای می شود (Gorelick et al., 2017)، همچنین با در اختیار قرار دادن تصحیحات یکسان تصاویر ماهواره

درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی (شکل ۱، d)، در محدوده بندرچابهار از کرانه های دریای عمان، مورد بررسی قرار گرفته است. در این مناطق، بیشترین پوشش های مانگرو قرار دارد. آب و هوای کرانه های خلیج فارس و دریای عمان عمدتاً گرم مرطوب است. متوسط دمای سالانه بین 26°C تا 29°C و متوسط بارش سالانه بین ۷۱ تا ۲۷۰ میلی متر متغیر است (بر اساس میانگین داده های هواشناسی بین سال های ۲۰۲۰-۲۰۱۳). داده های تحقیق در این تحقیق با استفاده از محصول تصحیح شده بازتابندگی سطح (Surface Reflectance) سنجنده OLI ماهواره لندست، شاخص NDVI محاسبه شد. این شاخص که از نسبت تفاضل باندهای قرمز (محدوده ۷۰۰-۶۲۰ نانومتر) و مادون قرمز نزدیک (۱۳۰۰-۷۰۰ نانومتر) به جمع این باندها بدست می آید (Argenti et al., 2013; Knyazikhin et al., 2013)، از جمله پرکاربردترین شاخص های طیفی گیاهی برای بررسی اکوسیستم های گیاهی مانگرو به شمار می آید (Seto and Michail, 2007; Vo et al., 2013; Lovelock et al., 2017; Castillo et al., 2021). از این شاخص برای بررسی روند تغییرات کلروفیل گیاهان مانگرو استفاده شد. پارامترهای شوری و دمای سطح دریا (SSS & SST) نیز از طریق داده های مدل

۲-۲- روش تحقیق

به منظور بررسی تأثیر گذاری چهار پارامتر دمای هوا، بارش، دما و شوری سطح آب بر اکوسیستم گیاهی مانگرو در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان سه منطقه مهم که از جمله رویش گاه‌های این گیاهان به شمار می‌روند، انتخاب شد (شکل ۱). برای روند تغییرات ابتدا داده‌های مورد استفاده تحقیق به صورت روزانه از طریق پلتفرم گوگل ارث انجین با توجه به موقعیت نمونه‌های واقعیت زمینی از درختان مانگرو (تعداد ۵۰ نمونه برای جنگل‌های مانگرو در هر سه منطقه مورد مطالعه) و همچنین پیکسل‌هایی که در داده‌های هیبریدی مربوط به دو پارامتر دما و شوری سطح آب دریای عمان و خلیج فارس به این مناطق کمترین فاصله را داشته‌اند انتخاب شد. سپس مقادیر بدست آمده به میانگین ماهانه و سالانه تبدیل شد. انتخاب نمونه‌های واقعیت زمینی درختان مانگرو برای برآورد میزان NDVI آنها از طریق پلتفرم گوگل ارث انجین انتخاب شد. انتخاب این نمونه‌های از پوشش گیاهی مانگرو با توجه به تصاویر گوگل ارث که در بستر پلتفرم ارث انجین قرار داده شده است و دارای قدرت تفکیک مکانی بالایی هستند، از طریق تشخیص چشمی صورت گرفته است.

ای سبب شده است که اختلاف نتایج در مطالعات متعدد بر روی یک پدیده یکسان به حداقل ممکن برساند. ۲-۳- داده‌های هواشناسی مناطق مورد مطالعه در تحقیق حاضر داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های زمینی که کمترین فاصله را به مناطق مورد مطالعه داشته‌اند، از طریق سایت سازمان هواشناسی ایران (<https://data.irimo.ir>) تهیه و پردازش شد (شکل ۲). ایستگاه هواشناسی بندر بوشهر به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به اکوسیستم گیاهان مانگرو در این سواحل (شکل ۱، b)، ایستگاه هواشناسی جزیره قشم برای مانگروهای حرا (شکل ۱، c)، همچنین ایستگاه بندر چابهار برای اکوسیستم مانگرو در این منطقه انتخاب شد (شکل ۱، d). متوسط بارندگی (بین سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۳) در ایستگاه بوشهر ۱۹۸ میلی‌متر، قشم ۱۳۴ میلی‌متر و بندر چابهار ۷۳ میلی‌متر محاسبه شد. (شکل ۲). متوسط دمای سالانه نیز به ترتیب برای بوشهر ۲۶/۸، قشم ۳۱، چابهار ۲۷/۹ درجه سانتی‌گراد بود. با این حال، سرعت روند افزایش دما در بوشهر با ۰/۱ درجه سانتی‌گراد بیشترین میزان در این دوره زمانی بوده است. روند سرعت افزایش دما در چابهار ۰/۰۶ درجه سانتی‌گراد و جزیره قشم ۰/۰۳ درجه سانتی‌گراد (در ۸ سال مورد مطالعه) محاسبه شد (شکل ۲).



شکل ۲. مقادیر دما و بارش در نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی مناطق مورد مطالعه

و دریایی نظیر دما، شوری، تبخیر و یا سیکلون‌های دریایی در سیطره دریاها و اقیانوس‌های جهانی شود. در این مطالعه، ابتدا متوسط مقادیر دمای سطح دریا، شوری سطح دریا و NDVI برای هر منطقه از جنگل‌های مانگرو بدست آمد که نتایج تحقیق نشان داد، متوسط دمای سطح دریا در بخش‌هایی از خلیج فارس بویژه در جزیره قشم که گیاهان مانگرو منطقه حرا در آن قرار دارند (نزدیک به 8°C) نسبت به دو منطقه دیگر ($7-6^{\circ}\text{C}$) در دوره مورد مطالعه بیشتر است (شکل ۳، a). در صورتی که میزان شوری سطح آب در بخش‌های سواحل بوشهر واقع در خلیج فارس با $20/1$ PSU نسبت به دو منطقه سواحل چابهار (با $16/7$ PSU) و منطقه حرا در جزیره قشم (با $17/6$ PSU) بیشتر بود (شکل ۳، b). میزان NDVI پوشش گیاهی نیز برای هر سه منطقه با $0/57$ برای گیاهان مانگرو در منطقه حرا، $0/5$ اکوسیستم گیاهی مانگرو در سواحل بوشهر و $0/43$ در سواحل چابهار مشاهده شد (شکل ۳، c). این نتایج حاکی از شرایط بهتر اکوسیستم گیاهی مانگرو در منطقه حرا است. در صورتی که در این منطقه میانگین دمای هوا و دمای سطح دریا بیشتر است.

در شکل ۴، a وضعیت پوشش گیاهی در نواحی جنوب ایران بویژه در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان نشان داده شده است. گرچه متوسط NDVI اکوسیستم گیاهی مانگرو در منطقه حرا بالاتر است (شکل ۴، c)، اما سرعت روند تغییرات در این منطقه با $0/01$ - (در سال) کاهشی بود (شکل ۵، a). روند تغییرات در دو منطقه دیگر با $0/005$ - در سواحل بوشهر (شکل ۵، a) و $0/003$ - در سواحل چابهار بدست آمد (شکل ۴، d). بیشترین روند افزایش دمای سطح دریا با $0/2^{\circ}\text{C}$ در سال در سواحل بوشهر مشاهده شد (شکل ۵، c). سپس، منطقه چابهار با $0/12^{\circ}\text{C}$ و منطقه قشم با $0/1^{\circ}\text{C}$ (در سال) روند تغییرات دمای سطح دریا را داشته‌اند (شکل ۵، c). روند افزایش دمای سطح آب در دریای عمان و خلیج فارس که در مطالعات (Hosseini et al., 2021; Ramak et al., 2022) نیز مشاهده شده است، از جمله چالش‌های جدی برای اکوسیستم‌های مانگرو به شمار می‌رود که این افزایش دما می‌تواند متأثر از نوسانات جهانی اقیانوس‌ها است (Gandomkar et al., 2020). شاخص گیاهی NDVI (شکل ۵، a)، در طول دوره مورد مطالعه در سالهای ۲۰۱۴-۲۰۱۵ برای هر

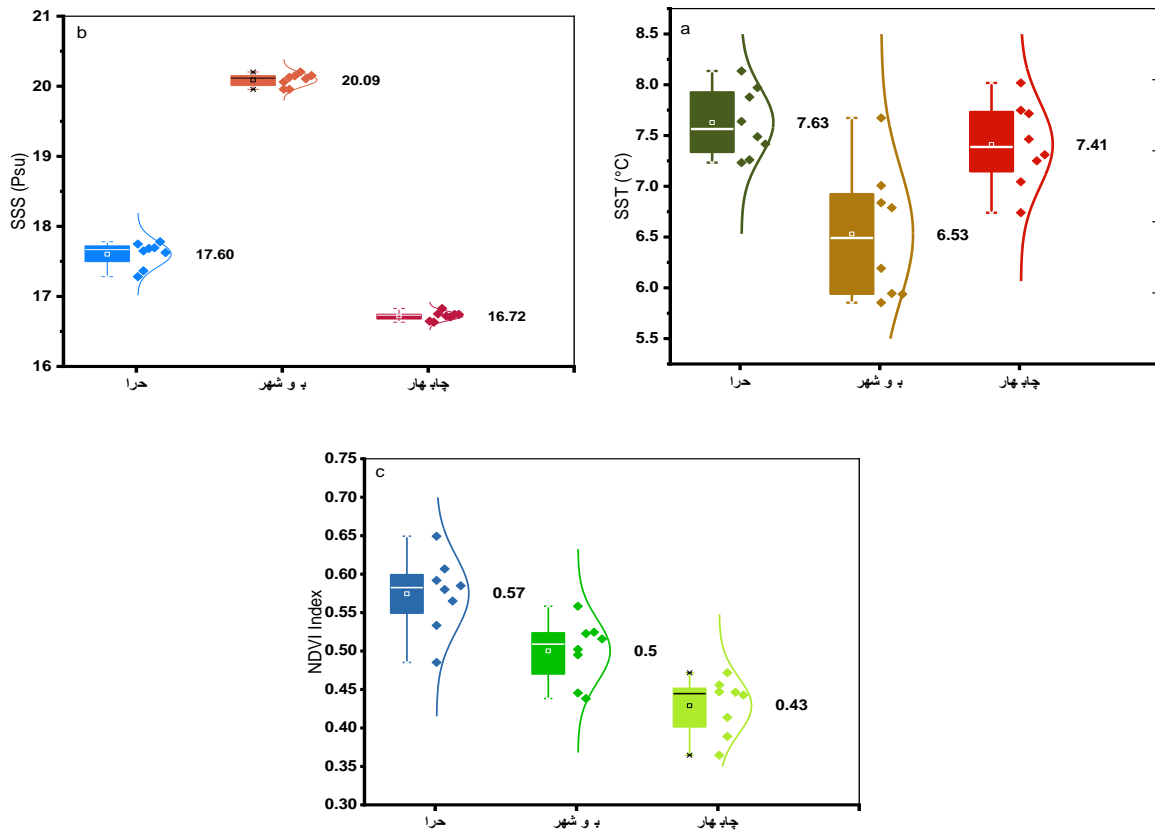
سپس مقادیر هر پارامتر برای روزهایی که تصاویر ماهواره‌ای آنها موجود بود، گردآوری شد. سپس میانگین‌های ماهانه و سالانه هر پارامتر بدست آمد. در نهایت با استفاده از رگرسیون خطی همبستگی تغییرات پوشش گیاهی مانگرو بررسی شد

۳ نتایج و بحث

جریان‌های جزر و مدی سواحل دریای عمان و خلیج فارس، جنگل‌های مانگرو را با فشارهای ناشی از تغییرات در اقیانوس و محیط‌های خشکی مجاور کرده است (Lovelock et al., 2017). در حالی که افزایش سطح دریا به دلیل گرم شدن آب و هوا تهدید قابل توجهی برای بسیاری از جنگل‌های مانگرو محسوب می‌شود (Lovelock et al., 2015).

کاهش میزان ورودی آب‌های شیرین که از طریق رودخانه‌ها وارد اکوسیستم‌های مانگرو می‌شود از جمله تهدیدهای دیگر برای این گیاهان در مناطق همجوار خشکی و بویژه با شرایط اقلیم خشک است. این مسئله با کاهش آب‌های شیرین و افزایش شوری آب دریا که وارد این اکوسیستم‌های ماندابی می‌شود و در نتیجه افزایش شوری در لایه‌های منفذی خاک را به دنبال دارد (Lovelock et al., 2015; Lovelock et al., 2017)، سبب کاهش ظرفیت جذب آب و حذف نمک توسط ریشه‌های درختان مانگرو می‌شوند (Alongi and Daniel, 2015; Lovelock et al., 2015; Lovelock et al., 2017). تغییرات در بیلان آبی رودخانه‌های مهمی همچون اروندرود که از دجله و فرات و کارون تشکیل شده، سبب تاثیر بر اکوسیستم‌های گیاهی مانگرو در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان می‌شود. تغییرات تنش‌های شوری با افزایش نوسانات در دیگر پارامترهای فیزیکی دریاها و همچنین تنش‌های ناشی از خشکسالی‌ها، حد تحمل این اکوسیستم‌های گیاهی را در مقابل تنش‌های موجود کاهش داده است (Lovelock et al., 2009). با تداوم این چالش‌ها یکی از منابع مهم ذخیره کربن جهانی با تهدید جدی رو برو خواهد شد. با این حال، واکنش گیاهان به تغییرات پارامترهای اتمسفری در مناطق مختلف می‌تواند متفاوت است. از این رو، بررسی‌های جداگانه می‌تواند باعث درک بهتری در چگونگی روند تغییرات این گیاهان و همچنین میزان واکنش آنها به پارامترهای هواشناسی

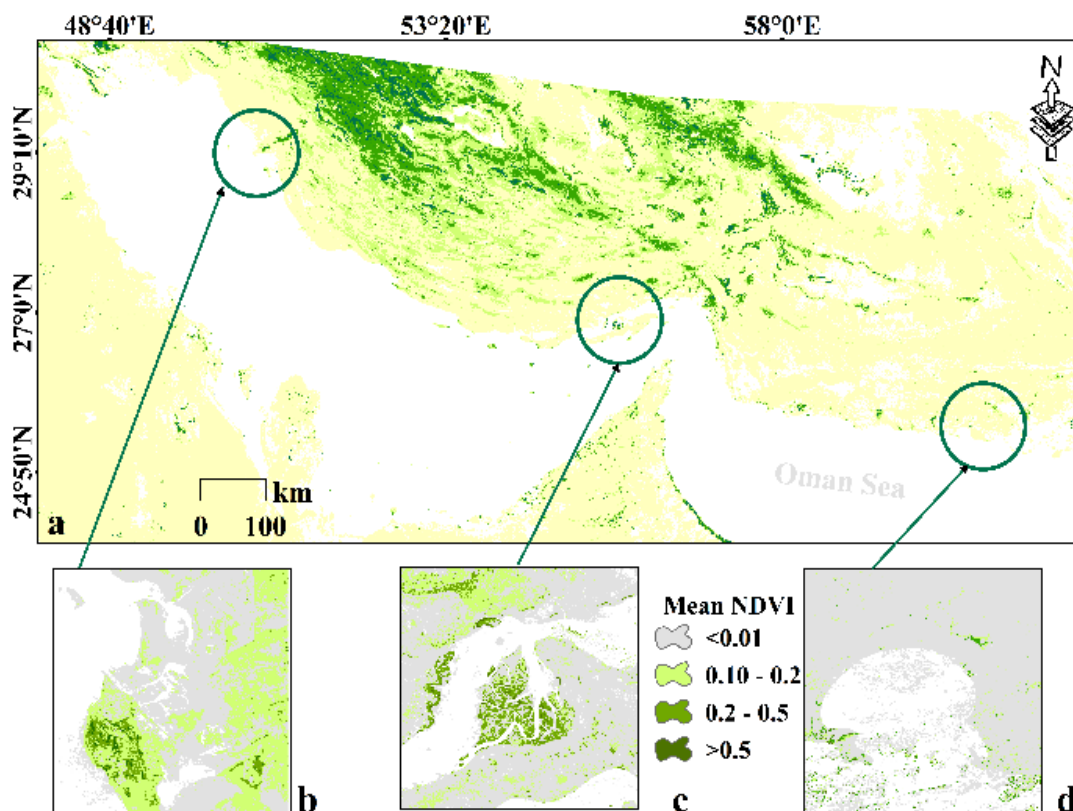
سه منطقه و در سال ۲۰۱۹ برای دو منطقه بوشهر و حرا کاهش شدید داشته است.



شکل ۳. متوسط میزان دمای سطح آب (a)، شوری سطح آب (b) و میزان NDVI (c) در سواحل بوشهر، منطقه حرا، چابهار در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان

سواحل کشورهای عربی مشاهده شد (شکل ۶، b). شرایط دریای عمان هم از لحاظ شوری و هم دمای سطح آب دریا وضعیت بهتری نسبت به خلیج فارس نشان می‌دهد که این مسئله می‌تواند به دلیل پیوستن این دریا به آب‌های آزاد است. همچنین خلیج فارس با توجه به شرایط توپوگرافی و محاط آن یک دریای نیمه محصور به شمار می‌رود (Lorenz et al., 2020). به این خاطر، بخش عمده کنترل ورودی و خروجی میزان شوری در خلیج فارس که عمدتاً از اقیانوس هند وارد آن می‌شود به شرایط جوی تنگه هرمز وابسته است (Pous et al., 2015; Lorenz et al., 2020). از طرف دیگر دما و شوری خلیج فارس با تغییرات فصلی، تغییر می‌کند و سبب افزایش شوری به سمت بخش‌های شمال غربی آن می‌شود (Lorenz et al., 2020). قرار گرفتن صنایع پتروشیمی، پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌هایی که در پیرامون خلیج فارس قرار دارند، نیز در بهم زدن تعادل شوری که در

در سال ۲۰۱۷ در منطقه چابهار NDVI کاهش داشته و سپس از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ روند افزایشی دارد، در صورتی که دو منطقه دیگر در سال ۲۰۱۹ کاهش داشته‌اند. این تغییرات با پیک‌های افزایش دمای سطح دریا در دو منطقه چابهار و حرا (از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ و همچنین سال ۲۰۱۹) همسو است (شکل ۵، c). اما در منطقه بوشهر روند افزایش دمای سطح بین سالهای ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ با روند کاهشی NDVI که در سال ۲۰۱۹ به پایین‌ترین میزان رسیده است وابسته بوده است. متوسط دامنه تغییرات شوری نشان می‌دهد که به جز منطقه حرا نوسانات شوری سطح دریا کمتر مشاهده شد (شکل ۵، b). در شکل ۶، a متوسط دمای سطح دریای عمان و خلیج فارس و متوسط شوری سطح آب بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۲۰ نشان داده شده است. متوسط دمای بیش از ۲۷°C از لحاظ مکانی در پیرامون منطقه قشم قرار دارد. در صورتی که بیشترین میزان شوری در سواحل غربی خلیج فارس و بویژه

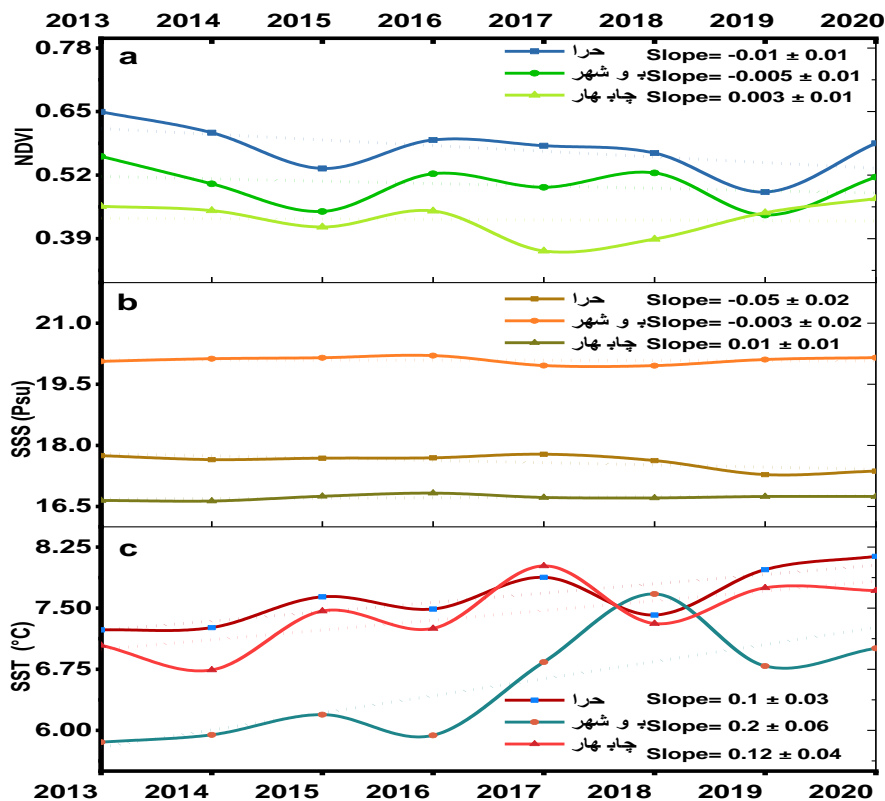


شکل ۴. متوسط سالانه NDVI اکوسیستم گیاهی مانگرو در سواحل خلیج فارس و دریای عمان (a)، بخش سواحل بوشهر (b)، سواحل قشم در منطقه حرا (c) و سواحل چابهار (d)

شد. کمترین همبستگی نیز با میزان شوری سطح دریا بدست آمد که با توجه به میزان شوری پایین تر در این سطح دریای عمان منطقی به نظر می‌رسد.

مطالعات (Hosseini et al., 2020) نیز حاکی از تأثیر پذیری بالای اکوسیستم‌های گیاهی در هر سه استان سیستان و بلوچستان، هرمزگان و بوشهر در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان از پارامترهای جوی است. با این حال، تفاوت در میزان تأثیرپذیری از پارامترهای جوی در مناطق مختلف و گونه‌های گیاهی مختلف متفاوت خواهد بود (Blumstein et al., 2020; Burdon and Jiasui, 2020)، که در این مطالعه به خوبی قابل مشاهده است. با سازگاری اکوسیستم گیاهی منطقه به شرایط دمایی و دیگر پارامترها، تأثیرپذیری از تغییرات آن‌ها کاهش می‌یابد (Kijowska et al., 2020). این سازگاری پس از تخریب و از بین بردن بسیاری از گونه‌های گیاهی که در برابر تنش‌های محیطی تحمل پذیری کمتری نشان می‌دهند، رخ خواهد داد.

پیرامون خلیج فارس قرار دارند، نیز در به هم زدن تعادل شوری و دمای سطح بسیار حائز اهمیت هستند. با توجه به روند تغییرات هر چهار پارامتر بارش، دمای هوا، دما و شوری سطح دریا و همچنین تغییرات میزان NDVI در مناطق مورد مطالعه، میزان همبستگی و تأثیرگذاری هر پارامتر با استفاده از رگرسیون خطی بدست آمد. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، به ترتیب پارامتر دمای هوا با $R^2=0/8$ ، بارش با $R^2=0/6$ ، میزان شوری با $R^2=0/4$ و دمای سطح دریا با $R^2=0/33$ بیشترین همبستگی را با تغییرات NDVI در اکوسیستم مانگرو واقع در بخش‌های سواحل قشم داشته‌اند. در منطقه اکوسیستم مانگرو واقع در سواحل بوشهر نیز به ترتیب دمای هوا با $R^2=0/4$ ، بارش با $R^2=0/24$ ، دمای سطح دریا با $R^2=0/1$ و سپس شوری سطح دریا که با $R^2=0/04$ کمترین همبستگی را نشان داده‌اند. اما برای اکوسیستم‌های سواحل چابهار بیشترین همبستگی ابتدا با دمای هوا با $R^2=0/2$ و سپس دمای سطح دریای عمان با $R^2=0/2$ مشاهده



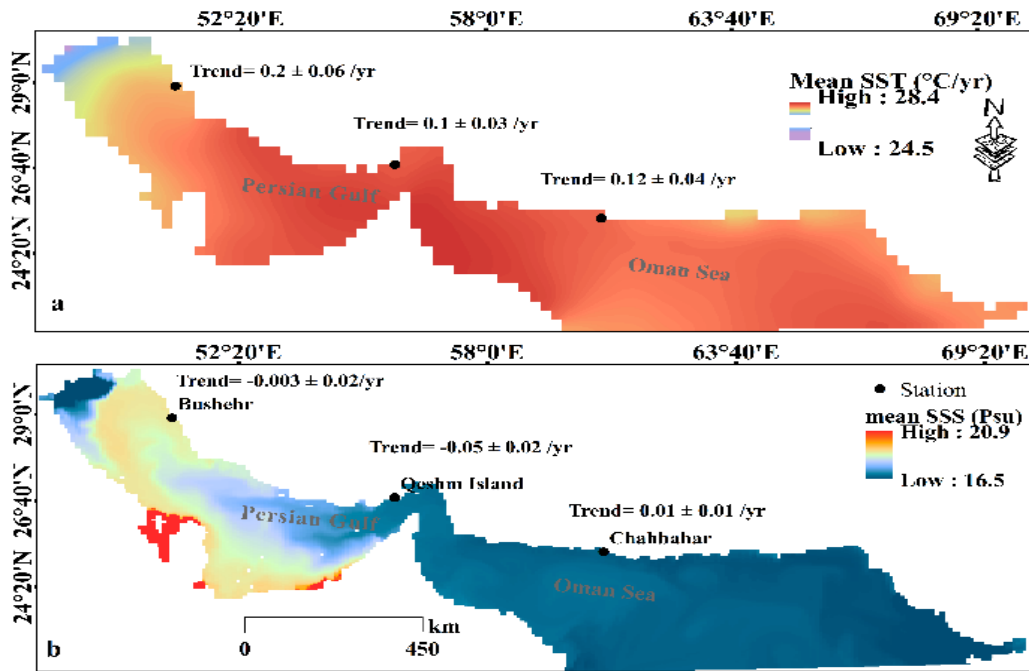
شکل ۵. روند تغییرات NDVI (a)، شوری سطح دریا (b) و دمای سطح آب (c) در خلیج فارس و دریای عمان برای مناطق مورد مطالعه

است که می‌تواند از جمله دلایل همبستگی بالا ($R^2=0/4$) با کاهش NDVI اکوسیستم‌های مانگرو در اکوسیستم جنگل‌های مانگرو در منطقه سواحل بوشهر است. در سطح کل منطقه، روند متوسط NDVI بدست آمده کاهشی بود. تحمل پذیری کمتری نشان می‌دهند، رخ خواهد داد این تغییرات با توجه به سرعت روند افزایش دمای هوا، دما و شوری سطح دریا، قابل توجه است. به طور کلی، نتایج بدست آمده حاکی از تأثیرگذاری متفاوت پارامترهای بررسی شده در اکوسیستم‌های مانگرو در مناطق مختلف بود. این تأثیرگذاری می‌تواند به دلیل سازگاری اکوسیستم‌های مانگرو در منطقه چابهار با دو پارامتر بارش و دمای هوا است. در این خصوص می‌توان کاهش متوسط شوری آب دریا را یکی از پارامترهای محیطی مؤثر در تغییرات کلروفیلی جنگل‌های مانگرو برشمرد که تأیید این نظریه در هر سه محدوده مورد مطالعه مستلزم مطالعه مستقلی است.

۴ نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق، بررسی تأثیرگذاری پارامترهای جوی دما و بارش، همچنین دما و شوری سطح دریا در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۳ بر روی اکوسیستم‌های گیاهی مانگرو در کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان است.

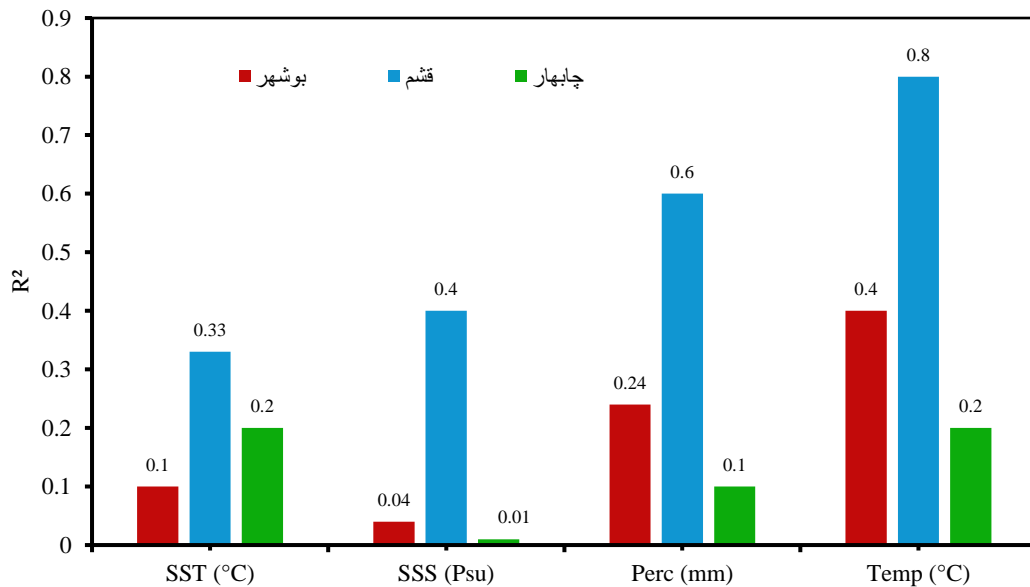
از این رو، سه منطقه مهم که از جمله زیستگاه‌های مهم مانگرو در این سواحل به شمار می‌روند، شامل مناطقی در سواحل بوشهر، جنگل‌های حرا در منطقه قشم در کرانه‌های خلیج فارس و منطقه چابهار واقع در سواحل دریای عمان انتخاب شد. نتایج بدست آمده حاکی از روند سرعت افزایش تغییرات دمای سطح خلیج فارس با $0/2^{\circ}\text{C}$ در سال در بخش‌های غربی آن و سپس منطقه قشم با $0/1^{\circ}\text{C}$ و سطح دریای عمان با $0/12^{\circ}\text{C}$ در سال است. در سواحل بوشهر سرعت بیشتر روند افزایشی تغییرات دمای هوا نسبت به دو منطقه دیگر، حاکی از گرمتر شدن هوا در این منطقه



شکل ۶. متوسط روند تغییرات سالانه دمای سطح دریا (a) و شوری سطح دریا (b) بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۲۰

سطح جهانی، یک چالش جدی در این منطقه است، از این رو، در مطالعات آینده توجه به این امر ضروری است. انجام اینگونه مطالعات با توجه به گسترش روزافزون تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند کمک کننده مناسبی در راستای پایش تغییرات کاهش سطح و محتوای کلروفیل جنگل‌های مانگرو است.

با توجه به سخت بودن شرایط کار میدانی در این گونه مناطق ماندابی، به ویژه شرایط باتلاقی که در اکوسیستم‌های جنگلی مانگرو حاکم است، برای مدیریت مناطق مورد نظر می‌توان پس از بررسی ساختار، پوشش‌های مانگرو را از نظر تراکم و درصد پوشش گیاهی ناحیه‌بندی و پایش کرد. همچنین افزایش دما و شوری آب دریا با توجه به روند افزایشی آنها در



شکل ۷. همبستگی NDVI اکوسیستم‌های مانگرو در سه منطقه مورد مطالعه با پارامترهای جوی و دما و شوری سطح دریا عمان و خلیج فارس

۵ منابع

- Cai, Wenju, Matthieu Lengaigne, Simon Borlace, Matthew Collins, Tim Cowan, Michael J. McPhaden, Axel Timmermann, Scott Power, Josephine Brown, Christophe Menkes, Arona Ngari, Emmanuel M. Vincent, and Matthew J. Widlansky. 2012. "More Extreme Swings of the South Pacific Convergence Zone Due to Greenhouse Warming." *Nature* 488(7411):365–69.
- Carugati, Laura, Beatrice Gatto, Eugenio Rastelli, Marco Lo Martire, Caterina Coral, Silvestro Greco, and Roberto Danovaro. 2018. "Impact of Mangrove Forests Degradation on Biodiversity and Ecosystem Functioning." *Scientific Reports* 8(1):13298.
- Cassata, Laura, and Lindsay B. Collins. 2008. "Coral Reef Communities, Habitats, and Substrates in and near Sanctuary Zones of Ningaloo Marine Park." *Journal of Coastal Research* 241:139–51.
- Castillo, Yoisy Belen, Kunhyo Kim, and Hyun Seok Kim. 2021. "Thirty-Two Years of Mangrove Forest Land Cover Change in Parita Bay, Panama." *Forest Science and Technology* 1–13.
- Eslami-Andargoli, L., Per Dale, N. Sipe, and J. Chaseling. 2009. "Mangrove Expansion and Rainfall Patterns in Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85(2):292–98.
- FAO. 2015a. "Global Forest Resources Assessment 2015." *Food and Agriculture Organization*.
- FAO. 2015b. "Global Forest Resources Assessment 2015, (Iran Report)." *Forestry Department of FAO* 73.
- FAO. 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020*. FAO.
- Gandomkar, Amir, Amir Azhdari, and Keyvan Kabiri. 2020. "Detection of the Effects of Thermal Anomalies Caused by Large-Scale Atmospheric-Oceanic Signals on the Bleaching Events of the Persian Gulf Coral Reefs TT." *JOC* 11(43):61–70. (in Persian)
- Garraffo, Zulema D., James A. Cummings, Yan Hao Shastri Paturi, Dan Iredell, Todd Spindler, Bhavani Balasubramanian, Ilya Rivin, Hae-Cheol Kim, and Avichal Mehra. 2020. "RTOFS-DA: Real Time Ocean-Sea Ice Coupled Three Dimensional Variational Global Data Assimilative Ocean Forecast System." *Research Activities in Earth System Modelling, Ed. E. Astakhova (Geneva: World Climate Research Programme)*.
- Ghorbanian, Arsalan, Mohammad Kakoeei, Meisam Amani, Sahel Mahdavi, Ali Mohammadzadeh, and Mahdi Hasanlou. 2020. "Improved Land Cover Map of Iran Using Sentinel Imagery within Google Earth Engine and a Novel Automatic Workflow for Land Cover Classification Using Migrated Training Samples." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 167:276–88.
- Gorelick, Noel, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau, and Rebecca Moore. 2017. "Google Earth Engine: Planetary-Scale
- حسینی، سید ع، غلامی، ح، اسماعیل پور، ی، سردا، آ، ۱۴۰۰، اثرگذاری سنجه‌های اقلیمی بر روند تغییر پوشش گیاهی با رویکرد تخریب سرزمین در بخش‌هایی از آبخیز خلیج فارس و دریای عمان، پژوهش‌های آبخیزداری، دوره ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صفحه ۷۴–۹۴.
- رامک، ح، سیوف جهرمیف م، اکبریف پ، ۱۴۰۰، ردیابی توده آب خلیج فارس با استفاده از ویژگی‌های دما و شوری سطحی. نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی، جلد ۱۲، شماره ۴۸، زمستان ۱۴۰۰، صفحه ۲۸–۱۳.
- مافی غلامی، د، بهارلویی، م، محمودی، ب، ۱۳۹۶، بررسی تغییرات گستره جنگل‌های مانگرو با استفاده از (RS and GIS) بررسی موردی: مانگروهای استان هرمزگان، فصلنامه علوم محیطی، جلد ۱۵، شماره ۲، صفحه ۹۲–۷۵.
- گندمکار، ا، اژدری، م، خ، کبیری، ک، ۱۳۹۹، آشکارسازی تأثیرات آنومالی‌های حرارتی ناشی از سیگنال‌های کلان‌مقیاس جوی-اقیانوسی در رخدادهای سفیدشدگی آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس، نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی، جلد ۱۱، شماره ۴۳، پاییز ۱۳۹۹، صفحه ۷۰–۶۱.
- Alongi, D. ..., F. Tirendi, and B. .. Clough. 2000. "Below-Ground Decomposition of Organic Matter in Forests of the Mangroves *Rhizophora Stylosa* and *Avicennia Marina* along the Arid Coast of Western Australia." *Aquatic Botany* 68(2):97–122.
- Alongi, Daniel M. 2008. "Mangrove Forests: Resilience, Protection from Tsunamis, and Responses to Global Climate Change." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76(1):1–13.
- Alongi, Daniel M. 2015. "The Impact of Climate Change on Mangrove Forests." *Current Climate Change Reports* 1(1):30–39.
- Argenti, Fabrizio, Alessandro Lapini, Tiziano Bianchi, and Luciano Alparone. 2013. "A Tutorial on Speckle Reduction in Synthetic Aperture Radar Images." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* 1(3):6–35.
- Blumstein, Meghan, Andrew Richardson, David Weston, Jin Zhang, Wellington Muchero, and Robin Hopkins. 2020. "A New Perspective on Ecological Prediction Reveals Limits to Climate Adaptation in a Temperate Tree Species." *Current Biology* 30(8):1447–53.
- Burdon, Jeremy J., and Jiasui Zhan. 2020. "Climate Change and Disease in Plant Communities." *PLoS Biology* 18(11):e3000949.

- Ruth Reef, Kerry Lee Rogers, Megan L. Saunders, Frida Sidik, Andrew Swales, Neil Saintilan, Le Xuan Thuyen, and Tran Triet. 2015. "The Vulnerability of Indo-Pacific Mangrove Forests to Sea-Level Rise." *Nature* 526(7574):559-63.
- Lovelock, Catherine E., Ilka C. Feller, Ruth Reef, Sharyn Hickey, and Marilyn C. Ball. 2017. "Mangrove Dieback during Fluctuating Sea Levels." *Scientific Reports* 7(1):1680.
- Mafi Gholami, Davood, Masoumeh Baharlouii, and Beytollah Mahmoudii. 2017. "Mapping Area Changes of Mangroves Using RS and GIS (Case Study: Mangroves of Hormozgan Province)." *Environmental Sciences* 15(2):75-92. (in Persian)
- Milani, Alireza Salehipour, Razyeh Lak, and Mansour Jafar Beiglu. 2013. "Monitoring the Area and Distribution of Mangrove Forests in the Southern Coasts of Iran." *Journal of Environmental Treatment Techniques* 1(3):137-46.
- Moon, Jae-Hong, Y. Tony Song, and HuiKyo Lee. 2015. "PDO and ENSO Modulations Intensified Decadal Sea Level Variability in the Tropical Pacific." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 120(12):8229-37.
- Pous, Stéphane, Pascal Lazure, and Xavier Carton. 2015. "A Model of the General Circulation in the Persian Gulf and in the Strait of Hormuz: Intraseasonal to Interannual Variability." *Continental Shelf Research* 94:55-70.
- Ramak, Hoseyn, Maryam Soyufjahromi, and Parasto Akbari. 2022. "Persian Gulf Water Mass Tracking by Surface Temperature and Salinity Properties TT." *JOC* 12(48):13-28. (in Persian)
- Seto, Karen C., and Michail Fragkias. 2007. "Mangrove Conversion and Aquaculture Development in Vietnam: A Remote Sensing-Based Approach for Evaluating the Ramsar Convention on Wetlands." *Global Environmental Change* 17(3-4):486-500.
- Vo, Quoc Tuan, Natascha Oppelt, Patrick Leinenkugel, and Claudia Kuenzer. 2013. "Remote Sensing in Mapping Mangrove Ecosystems—An Object-Based Approach." *Remote Sensing* 5(1):183-201.
- Extreme Sea Level Seesaws in the Tropical Pacific." *Science Advances*
- Geospatial Analysis for Everyone." *Remote Sensing of Environment* 202:18-27.
- Hamlington, B. D., S. H. Cheon, P. R. Thompson, M. A. Merrifield, R. S. Nerem, R. R. Leben, and K. - Y. Kim. 2016. "An Ongoing Shift in Pacific Ocean Sea Level." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 121(7):5084-97.
- Hosseini, Seyed Ali Reza, Hamid Gholami, Yahya Esmailpoor, and Artemi Cerda. 2021. "Effect of the Climatic Parameters on the Trend of Vegetative Land Cover Changes with Land Degradation Approach in the Persian Gulf and Oman Sea Watershed." *Watershed Management Research Journal* 34(3):74-94. (in Persian)
- Khoorani, A., M. Bineiaz, and H. R. Amiri. 2015. "Mangrove Forest Area Changes Due to Climatic Changes (Case Study: Forest between the Port and the Khamir Island)." *J. Aquat. Ecol* 5:100-111.
- Kijowska-Oberc, Joanna, Aleksandra M. Staszak, Jan Kamiński, and Ewelina Ratajczak. 2020. "Adaptation of Forest Trees to Rapidly Changing Climate." *Forests* 11(2):123.
- Knyazikhin, Y., M. A. Schull, P. Stenberg, M. Mottus, M. Rautiainen, Y. Yang, A. Marshak, P. Latorre Carmona, R. K. Kaufmann, P. Lewis, M. I. Disney, V. Vanderbilt, A. B. Davis, F. Baret, S. Jacquemoud, A. Lyapustin, and R. B. Myneni. 2013. "Hyperspectral Remote Sensing of Foliar Nitrogen Content." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(3):E185-92.
- Lorenz, Marvin, Knut Klingbeil, and Hans Burchard. 2020. "Numerical Study of the Exchange Flow of the Persian Gulf Using an Extended Total Exchange Flow Analysis Framework." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 125(2):e2019JC015527.
- Lovelock, Catherine E., Maria Fernanda Adame, Vicki Bennion, Matthew Hayes, Ruth Reef, Nadia Santini, and Donald R. Cahoon. 2015. "Sea Level and Turbidity Controls on Mangrove Soil Surface Elevation Change." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 153:1-9.
- Lovelock, Catherine E., Marilyn C. Ball, Katherine C. Martin, and Ilka C. Feller. 2009. "Nutrient Enrichment Increases Mortality of Mangroves" edited by R. Thompson. *PLoS ONE* 4(5):e5600.
- Lovelock, Catherine E., Donald R. Cahoon, Daniel A. Friess, Glenn R. Guntenspergen, Ken W. Krauss,