

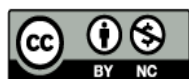
Spatiotemporal Monitoring of Changes in Mangrove Forest Cover and Chlorophyll-a Concentration in the Surrounding Waters of Mol-Gonzeh and Om-al-Gorm Island Using Satellite Data

Mohsen Shahriari Moghadam^{1✉} | Mona Izadian²

1. Corresponding Author, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: mohsen.shahriari@uoz.ac.ir
2. Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran. E-mail: izadian.mona@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type Research Article	Objective: Mangrove forests are valuable coastal ecosystems that play key ecological roles in coastal areas; therefore, long-term monitoring of these ecosystems is essential. This study aimed to investigate spatiotemporal changes in mangrove cover in Mol-Gonzeh and Om-al-Gorm Island, analyze transitions among water, bare soil, and mangrove classes, and assess trends in chlorophyll- <i>a</i> concentration. Methods: Landsat satellite imagery available in Google Earth Engine was used to assess land-cover changes. Following preprocessing, the NDVI and NDWI indices were calculated, and the imagery was classified into three classes: water, bare soil, and mangrove. A time series of chlorophyll- <i>a</i> concentration in the surrounding waters was also estimated using an empirical model reported in previous studies. To reduce the effects of seasonal variability, tidal fluctuations, and cloud cover, images from 1986–1988, 1999–2001, and 2022–2024 were averaged and represented by 1987, 2000, and 2023, respectively. Change detection was performed using ENVI software. Results: Mangrove forest area increased from 0.235 to 0.564 km ² , with the largest increase occurring between 2000 and 2023 (27.24 ha). Expansion mainly occurred through densification of existing patches in the eastern and northeastern parts of the study area. Overall classification accuracy was 90%, 89%, and 92%, respectively. Chlorophyll- <i>a</i> concentration ranged from 1.185 to 1.241 µg/L and showed an increasing trend from 2013 onward. Conclusion: Mangrove cover increased while bare-soil areas decreased. The recent increase in chlorophyll- <i>a</i> may indicate changes in the surrounding waters; however, identifying the underlying drivers requires simultaneous assessment of environmental parameters and field validation.
Article history Received: 29 April 2026 Revised: 8 June 2026 Accepted: 11 June 2026 Published: 22 June 2026	
Keywords Chlorophyll-a Google Earth Engine Landsat Mangrove Forest Mol-Gonzeh Om-al-Gorm Island	

Cite this article: Shahriari Moghadam, M., & Izadian, M. (2026). Spatiotemporal monitoring of changes in mangrove forest cover and chlorophyll-a concentration in the surrounding waters of Mol-Gonzeh and Om-al-Gorm Island using satellite data. *Ethnobiology and Biodiversity Conservation*, 3(2), 34-44. <https://doi.org/10.22091/ethc.2026.17001.1091>



پایش فضایی- زمانی تغییرات پوشش جنگل‌های مانگرو و غلظت کلروفیل a در آب‌های پیرامونی مل‌گزنه و جزیره ام‌الکرم با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

محسن شهریاری مقدم^۱ | منا ایزدیان^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: mohsen.shahriari@uoz.ac.ir

۲. گروه پژوهشی تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران. رایانامه:

izadian.mona@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله پژوهشی	هدف: جنگل‌های مانگرو از اکوسیستم‌های ارزشمند ساحلی هستند که نقشی کلیدی در مناطق ساحلی ایفا می‌کنند؛ از این رو، پایش بلندمدت آن‌ها ضروری است. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات فضایی- زمانی پوشش مانگرو در مل‌گزنه و جزیره ام‌الکرم، تحلیل جابه‌جایی میان کلاس‌های پهنه آبی، خاک و مانگرو، و ارزیابی روند تغییرات غلظت کلروفیل a انجام شد.
تاریخچه دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۹ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۱ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱	مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تغییرات پوشش اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بستر Google Earth Engine استفاده شد. پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، شاخص‌های NDWI و NDVI محاسبه و تصاویر در سه کلاس پهنه آبی، خاک و مانگرو طبقه‌بندی شدند. سری زمانی تغییرات غلظت کلروفیل a در آب‌های پیرامونی نیز با استفاده از مدل تجربی ارائه‌شده در مطالعات پیشین محاسبه شد. به منظور کاهش اثر نوسانات فصلی، جزر و مد و ابرناکی، تصاویر مربوط به دوره‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۸، ۱۹۹۹-۲۰۰۱ و ۲۰۲۲-۲۰۲۴ میانگین‌گیری شدند و به ترتیب به عنوان نماینده سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۳ در نظر گرفته شدند. آشکارسازی تغییرات در نرم‌افزار ENVI انجام شد.
کلیدواژه‌ها جزیره ام‌الکرم جنگل‌های مانگرو کلروفیل a گوگل ارث انجین لندست مل‌گزنه	نتایج: مساحت جنگل‌های مانگرو در طول دوره مطالعه از ۲۳۵/۰ به ۵۶۴/۰ کیلومتر مربع افزایش یافت و بیشترین افزایش بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳، به میزان ۲۷/۲۴ هکتار، محاسبه شد. گسترش مانگرو عمدتاً به صورت متراکم شدن لکه‌های موجود در بخش‌های شرقی و شمال شرقی منطقه مشاهده شد. صحت کلی طبقه‌بندی در سال‌های مورد بررسی به ترتیب ۰/۹۰، ۸۹ و ۹۲ درصد به دست آمد. غلظت کلروفیل a در آب‌های پیرامونی در بازه ۱/۱۸۵ تا ۱/۲۴۱ میکروگرم بر لیتر متغیر بود و از سال ۲۰۱۳ روند افزایشی نشان داد.
	نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که پوشش مانگرو طی دوره مطالعه روندی افزایشی داشته، در حالی که مساحت اراضی خاکی کاهش یافته است. افزایش غلظت کلروفیل a در سال‌های اخیر می‌تواند بیانگر تغییراتی در آب‌های پیرامونی باشد؛ با این حال، شناسایی عوامل مؤثر بر این روند مستلزم بررسی هم‌زمان پارامترهای محیطی و انجام اعتبارسنجی میدانی است.

استناد: شهریاری مقدم، محسن؛ و ایزدیان، منا (۱۴۰۵). پایش فضایی- زمانی تغییرات پوشش جنگل‌های مانگرو و غلظت کلروفیل a در آب‌های پیرامونی مل‌گزنه و جزیره ام‌الکرم با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. *زیست‌قوم‌شناسی و حفاظت تنوع زیستی*، ۳(۲)، ۳۴-۴۴.

<https://doi.org/10.22091/ethc.2026.17001.1091>



مقدمه

جنگل‌های مانگرو از مهم‌ترین اکوسیستم‌های ساحلی و بین‌کشندی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان به شمار می‌روند. این اکوسیستم‌ها در ناحیه حدواسط میان خشکی و دریا شکل گرفته‌اند و گونه‌های گیاهی آن‌ها طی فرایندهای تکاملی طولانی، توانایی سازگاری با شرایط محیطی دشواری همچون شوری بالا، کمبود اکسیژن در خاک، غرقاب‌شدن دوره‌ای و نوسانات ناشی از جزرومد را به دست آورده‌اند. از این رو، پراکنش و پایداری جوامع مانگرویی به مجموعه‌ای از عوامل محیطی، از جمله دما، شوری، فرایندهای رسوب‌گذاری، تغییرات سطح آب دریا و میزان ورود آب شیرین، وابسته است. با وجود محدودبودن سطح پوشش این جنگل‌ها در مقایسه با سایر زیست‌بوم‌ها، نقش آن‌ها در حفظ تنوع زیستی، افزایش تولید اولیه و ارائه خدمات ارزشمند اکوسیستمی بسیار چشمگیر است (Friess et al., 2019).

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری مانگروها، سیستم ریشه‌ای گسترده و پیچیده آن‌هاست که نقش مهمی در کاهش سرعت جریان آب، به‌دام‌انداختن و تثبیت رسوبات و کاهش فرسایش سواحل ایفا می‌کند. این ساختارهای ریشه‌ای همچنین با کاهش انرژی امواج و جریان‌های ناشی از طوفان، به حفاظت طبیعی از مناطق ساحلی در برابر سیلاب و پیشروی آب دریا کمک می‌کنند (Barbier, 2016). افزون بر نقش حفاظتی، محیط‌های گلی و ریشه‌های متراکم مانگروها زیستگاه مناسبی برای طیف گسترده‌ای از جانداران آبی و خشکی‌زی، از جمله ماهیان، میگوها، خرچنگ‌ها، نرم‌تنان و پرندگان، فراهم می‌کنند. بسیاری از گونه‌های آبی، مراحل حساس اولیه زندگی خود را در این زیستگاه‌ها سپری می‌کنند؛ بنابراین، کاهش سطح پوشش مانگروها می‌تواند پیامدهای مستقیمی برای تنوع زیستی و منابع شیلاتی مناطق ساحلی داشته باشد (Nagelkerken et al., 2008).

مانگروها همچنین از نظر چرخه جهانی کربن و کاهش آثار تغییرات اقلیمی اهمیت ویژه‌ای دارند. بخش قابل‌توجهی از کربن ذخیره‌شده در این اکوسیستم‌ها در زیست‌توده هوایی، ریشه‌ها و به‌ویژه رسوبات غنی از مواد آلی تجمع می‌یابد. شرایط کم‌اکسیژن و غرقابی حاکم بر خاک‌های مانگرویی، سرعت تجزیه مواد آلی را کاهش داده و زمینه ذخیره بلندمدت کربن را فراهم می‌کند. از این رو، مانگروها در زمره اکوسیستم‌های ساحلی با ظرفیت بالای ذخیره کربن قرار می‌گیرند و تخریب آن‌ها می‌تواند به آزادسازی مقادیر قابل‌توجهی از کربن ذخیره‌شده منجر شود (Donato et al., 2011).

با وجود اهمیت زیست‌محیطی و اقتصادی مانگروها، این اکوسیستم‌ها در دهه‌های اخیر تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و انسانی قرار گرفته‌اند. تغییر کاربری اراضی ساحلی، توسعه زیرساخت‌ها، آلودگی، گسترش آبی‌پروری، تغییر مسیر جریان‌های آبی، خشکسالی، افزایش دما و بالا آمدن سطح آب دریا از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییر ساختار و پراکنش مانگروها به شمار می‌روند (Friess et al., 2019). با این حال، تغییرات این اکوسیستم‌ها همواره به شکل کاهش سطح پوشش مشاهده نمی‌شود؛ زیرا در برخی مناطق، ایجاد پهنه‌های رسوبی جدید، افزایش رسوب‌گذاری یا بهبود شرایط هیدرولوژیکی می‌تواند زمینه استقرار و گسترش رویشگاه‌های جدید مانگرو را فراهم کند. از این رو، بررسی تغییرات چندزمانه مانگروها برای شناسایی الگوهای گسترش، کاهش و جابه‌جایی میان طبقات مانگرو، آب و اراضی بدون پوشش، اهمیت زیادی دارد.

مانگروهای واقع در سواحل شمالی خلیج فارس در محیطی خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند که عواملی همچون دمای بالا، بارندگی محدود و شوری زیاد، شرایط زیستی این اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. Shirmohammadi و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که تغییرات الگوی بارش و وقوع دوره‌های خشکسالی می‌تواند بر تعداد، اندازه و پیوستگی لکه‌های مانگرویی در این منطقه اثرگذار باشد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، دوره‌های مرطوب‌تر می‌تواند شرایط مناسب‌تری برای توسعه مانگرو فراهم کنند، درحالی‌که افزایش شدت و تداوم خشکسالی ممکن است به کاهش کیفیت زیستگاه و افزایش گسستگی لکه‌های مانگرو منجر شود. این موضوع، اهمیت پایش مستمر و بلندمدت رویشگاه‌های مانگرو در سواحل ایران را نشان می‌دهد.

پایش میدانی جنگل‌های مانگرو، به‌دلیل شرایط خاص محیطی، از جمله نوسانات جزرومدی، وجود بسترهای گلی و دشواری دسترسی، معمولاً با محدودیت‌های زمانی و هزینه‌ای همراه است. در چنین شرایطی، سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزاری کارآمد، امکان بررسی تغییرات مکانی و زمانی این اکوسیستم‌ها را در مقیاس‌های وسیع و دوره‌های زمانی طولانی فراهم می‌کند. در میان داده‌های ماهواره‌ای موجود، تصاویر لندست به‌دلیل برخورداری از آرشیو تاریخی طولانی، تفکیک مکانی مناسب (۳۰ متر) و دسترسی آزاد، از پرکاربردترین منابع برای پایش تغییرات مانگروها به شمار می‌روند (Giri et al., 2011; Bunting et al.,).

(2018). افزون بر این، سامانه Google Earth Engine با فراهم کردن امکان پردازش حجم زیادی از داده‌های ماهواره‌ای، حذف خودکار ابرها، محاسبه شاخص‌های طیفی و تولید سری‌های زمانی، قابلیت‌های گسترده‌ای برای مطالعات محیط‌زیستی فراهم کرده است (Gorelick et al., 2017). پژوهش‌های اخیر نیز توانایی این سامانه را در شناسایی و پایش تغییرات مانگروها تأیید کرده‌اند (Hu et al., 2020; Nguyen et al., 2024).

ارزیابی وضعیت اکوسیستم‌های مانگرو صرفاً به بررسی تغییرات پوشش گیاهی محدود نمی‌شود؛ زیرا عملکرد این جنگل‌ها ارتباط نزدیکی با شرایط زیستی و شیمیایی آب‌های پیرامونی آن‌ها دارد. کلروفیل *a* یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی زی‌توده فیتوپلانکتونی و میزان تولید اولیه در محیط‌های آبی است. تغییرات این شاخص می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند دمای آب، شوری، دسترسی به مواد مغذی، میزان کدورت و فعالیت‌های انسانی قرار گیرد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تحلیل سری‌های زمانی کلروفیل *a*، امکان بررسی تغییرات زیستی آب‌های ساحلی و ارتباط احتمالی آن‌ها با تغییرات محیطی را فراهم می‌کند (Fan et al., 2023).

بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات فضایی - زمانی پوشش جنگل‌های مانگرو و غلظت کلروفیل *a* در آب‌های پیرامونی مل‌گنزه و جزیره ام‌الکرم طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴ انجام شد. در این مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست و قابلیت‌های سامانه Google Earth Engine برای تحلیل تغییرات استفاده شد. پوشش مانگرو با بهره‌گیری از شاخص NDVI و پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص NDWI استخراج شدند و روند تغییرات مساحت مانگرو و غلظت کلروفیل *a* مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش می‌تواند در شناخت بهتر روند تغییرات این اکوسیستم، ارزیابی شرایط محیطی منطقه و ارائه اطلاعات پایه برای مدیریت و حفاظت پایدار از جنگل‌های مانگرو مل‌گنزه مؤثر باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های ماهواره‌ای

این پژوهش در جنگل‌های مل‌گنزه و جزیره ام‌الکرم، واقع در سواحل شمالی خلیج فارس و استان هرمزگان، انجام شد. این منطقه یکی از رویشگاه‌های مهم مانگرو (*Avicennia marina*) در ایران است. به‌منظور بررسی تغییرات پوشش اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 5 با سنجنده TM، Landsat 7 با سنجنده ETM+ و Landsat 8 با سنجنده OLI در فاصله زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۴ استفاده شد. تصاویر Surface Reflectance سطح ۲ از Collection 2 لندست مورد استفاده قرار گرفتند. تصاویر انتخاب‌شده دارای تفکیک مکانی ۳۰ متر و پوشش ابری کمتر از ۱۰ درصد بودند. تمامی مراحل پیش‌پردازش، از جمله اصلاحات رادیومتریکی و اتمسفری، اعمال فیلترها، ماسک ابر و بررسی عدم انطباق سری زمانی، در بستر سامانه Google Earth Engine انجام شد.

برای تفکیک پوشش‌های اصلی سطح زمین در منطقه، شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص تفاضل نرمال‌شده آب (NDWI) محاسبه شدند. سپس، با استفاده از آستانه‌های به‌دست‌آمده، تصاویر در سه کلاس پهنه آبی، خاک و مانگرو طبقه‌بندی و خروجی‌های مربوطه تهیه شدند. به‌منظور کاهش اثر تغییرات فصلی، ابرناکی و نوسانات کوتاه‌مدت، تصاویر مربوط به دوره‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۸، ۱۹۹۹-۲۰۰۱ و ۲۰۲۲-۲۰۲۴ به‌صورت میانگین زمانی ترکیب شدند و به‌ترتیب به‌عنوان نماینده سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۳ در نظر گرفته شدند. آشکارسازی تغییرات در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد.

آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی

پس از تهیه نقشه‌های پوشش سطح زمین در سامانه Google Earth Engine، برای بررسی تغییرات پوشش اراضی از نرم‌افزار ENVI نسخه ۵.۳ استفاده شد. به‌منظور بررسی تغییرات میان دوره‌های مختلف، از تکنیک آشکارسازی تغییرات استفاده شد. تغییرات میان سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۲۳ به‌صورت پیکسل‌به‌پیکسل بررسی شدند. با توجه به تفکیک مکانی ۳۰ متری تصاویر، مساحت هر پیکسل برابر با ۹۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد. همچنین، به‌منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی‌های انجام‌شده، بر اساس ماتریس خطای تولیدشده، صحت کلی طبقه‌بندی محاسبه و نتایج ارزیابی شدند.

محاسبه غلظت کلروفیل a

به منظور بررسی تغییرات زمانی غلظت کلروفیل a در پهنه آبی منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای سری زمانی Landsat شامل Landsat 5 TM، Landsat 7 ETM+ و Landsat 8 OLI در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۴ استفاده شد. برای برآورد غلظت کلروفیل a، از مدل تجربی ارائه شده در مطالعات پیشین استفاده شد. این مدل بر اساس رابطه میان غلظت کلروفیل a و نسبت بازتابندگی باند سبز به باند قرمز توسعه یافته است (Ha et al., 2017). رابطه مورد استفاده به صورت زیر است:

$$Chla = 0.8 \times \exp \left(0.35 \times \frac{\text{Green}}{\text{Red}} \right)$$

Chla: غلظت کلروفیل a ($\mu\text{g/L}$)

Green: بازتابندگی باند سبز

Red: بازتابندگی باند قرمز

تصاویر ماهواره‌ای پس از انجام پیش پردازش‌های لازم، شامل تصحیحات رادیومتریک و آماده‌سازی داده‌های بازتابندگی سطحی، برای محاسبه شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. سپس، شاخص تفاضل نرمال شده آب (NDWI) با استفاده از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک محاسبه و با اعمال آستانه ۰/۱، پهنه‌های آبی منطقه استخراج شدند. پس از جداسازی پهنه‌های آبی، مدل تخمین غلظت کلروفیل a تنها بر روی پیکسل‌های متناظر با این پهنه‌ها اعمال شد. به منظور بررسی روند تغییرات زمانی، تصاویر در بازه‌های ماهانه میانگین‌گیری شدند و سری زمانی ماهانه غلظت کلروفیل a در طول دوره مطالعه استخراج شد.

نتایج

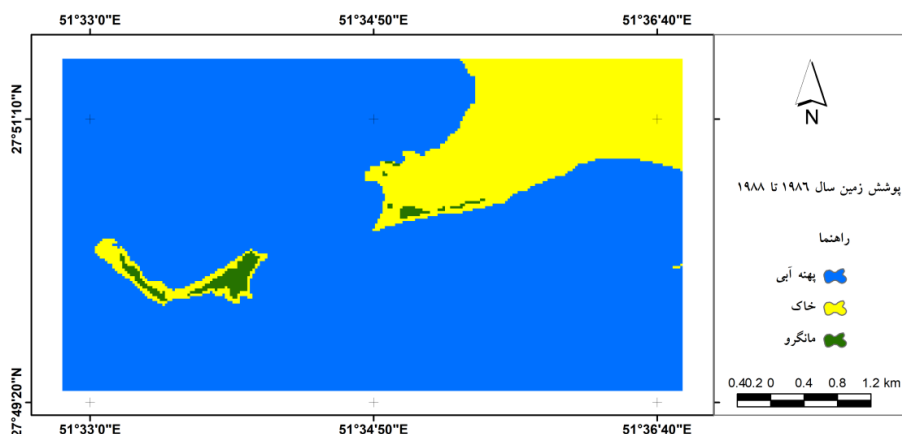
تغییرات مساحت پوشش‌های سطح زمین

نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که در تمامی سال‌های مورد بررسی، پهنه آبی بیشترین سهم از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. مساحت کل محدوده بررسی شده در هر سه مقطع زمانی تقریباً ۲۵/۴۵ کیلومترمربع بود. نقشه‌های مرکب سه ساله مربوط به دوره‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۸، ۱۹۹۹-۲۰۰۱ و ۲۰۲۲-۲۰۲۴ به ترتیب به عنوان نماینده سال‌های مرجع ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۳ در نظر گرفته شدند (جدول ۱).

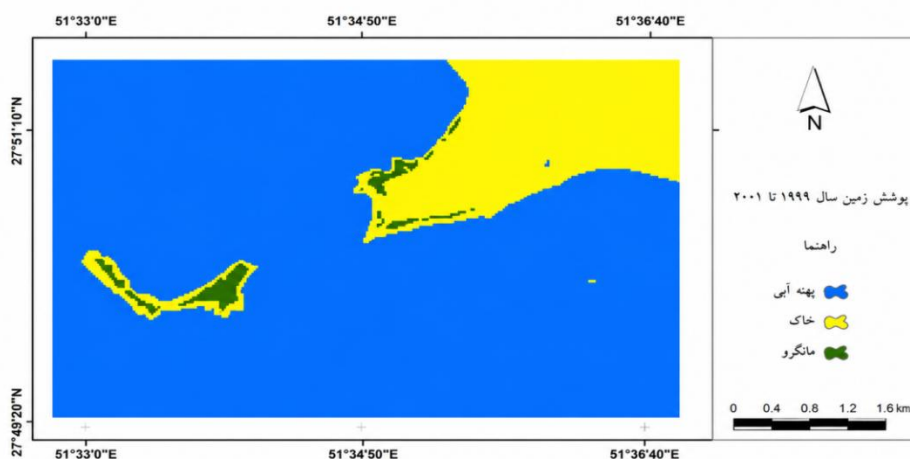
در سال ۱۹۸۷، مساحت پوشش مانگرو ۰/۲۳۵ کیلومترمربع بود که حدود ۰/۹۲ درصد از کل محدوده مورد مطالعه را تشکیل می‌داد. این مقدار در سال ۲۰۰۰ به ۰/۲۹۲ کیلومترمربع افزایش یافت و سهم مانگرو از کل محدوده به حدود ۱/۱۵ درصد رسید. در سال ۲۰۲۳ نیز مساحت مانگرو به ۰/۵۶۴ کیلومترمربع افزایش یافت و حدود ۲/۲۲ درصد از مساحت کل منطقه را دربر گرفت. در فاصله سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰، مساحت مانگرو ۵/۷ هکتار افزایش یافت که معادل ۲۴/۲۶ درصد رشد نسبت به سال ۱۹۸۷ بود. بیشترین افزایش در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ مشاهده شد؛ به طوری که مساحت مانگرو در این دوره ۲۷/۲ هکتار افزایش یافت که معادل ۹۳/۳۹ درصد رشد نسبت به سال ۲۰۰۰ است. در مجموع، پوشش مانگرو طی دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۳ حدود ۳۲/۹ هکتار افزایش یافت. بنابراین، مساحت مانگرو در پایان دوره حدود ۲/۴ برابر مقدار آن در ابتدای دوره بود (شکل‌های ۱، ۲ و ۳).

جدول ۱. مساحت کلاس‌های پوشش زمین در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۳ و میزان تغییر خالص و درصد تغییر آن‌ها در منطقه مل‌گنزه و جزیره ام‌الکرم

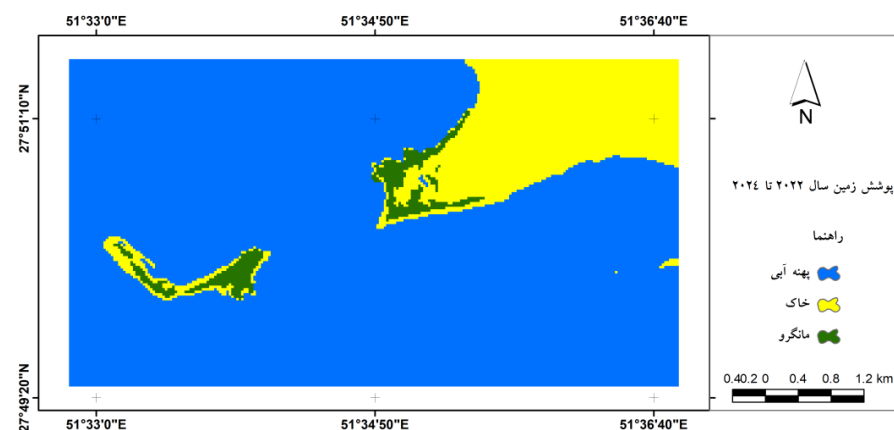
درصد تغییر	تغییر خالص ۱۹۸۷-۲۰۲۳	۲۰۲۳ (کیلومترمربع)	۲۰۰۰ (کیلومترمربع)	۱۹۸۷ (کیلومترمربع)	کلاس پوشش زمین
-۰/۱۰	-۰/۰۲۲	۲۱/۰۶۲	۲۰/۹۹۸	۲۱/۰۸۴	پهنه آبی
-۷/۴۳	-۰/۳۰۷	۳/۸۲۹	۴/۱۷۴	۴/۱۳۶	خاک
+۱۳۹/۶۷	+۰/۳۲۹	۰/۵۶۴	۰/۲۹۲	۰/۲۳۵	مانگرو



شکل ۱. پراکنش مکانی کلاس‌های پوشش زمین در منطقه مل‌گنزه و جزیره ام‌الکرم طی دوره ۱۹۸۶-۱۹۸۸



شکل ۲. پراکنش مکانی کلاس‌های پوشش زمین در منطقه مل‌گنزه و جزیره ام‌الکرم طی دوره ۱۹۹۹-۲۰۰۱



شکل ۳. پراکنش مکانی کلاس‌های پوشش زمین در منطقه مل‌گنزه و جزیره ام‌الکرم طی دوره ۲۰۲۲-۲۰۲۴

بررسی نقشه‌ها نشان داد که افزایش پوشش مانگرو عمدتاً از طریق گسترش و متراکم‌شدن لکه‌های موجود رخ داده است. در لکه‌های شرقی و شمال‌شرقی منطقه، گسترش مانگرو در حاشیه خشکی و در امتداد نواحی بین‌کشندی، در مقایسه با لکه غربی، محسوس‌تر بود. در لکه غربی نیز توسعه پوشش مانگرو بیشتر در حاشیه‌های داخلی و پیرامون ساختار هلالی شکل رویشگاه مشاهده شد.

الگوی فضایی تغییرات مانگرو

نقشه آشکارسازی تغییرات نشان داد که بخش عمده پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه در فاصله سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۳ بدون تغییر باقی مانده‌اند و تغییرات عمدتاً در نوارهای باریک ساحلی و پیرامون لکه‌های مانگرو متمرکز بوده‌اند. غالب‌ترین الگوی مشاهده‌شده در نواحی دستخوش تغییر، تبدیل کلاس خاک به مانگرو بود. این تغییر به‌ویژه در لکه شرقی منطقه به‌صورت پهنه‌ای نسبتاً پیوسته مشاهده شد، درحالی‌که در لکه غربی، تغییرات پراکنده‌تر و عمدتاً به حاشیه رویشگاه محدود بود. تبدیل میان پهنه آبی و خاک نیز در برخی بخش‌های خط ساحلی مشاهده شد، اما وسعت آن در مقایسه با تبدیل خاک به مانگرو محدودتر بود. همچنین، تغییر کلاس مانگرو به خاک یا پهنه آبی تنها در لکه‌های کوچک و پراکنده مشاهده شد. تمرکز تغییرات در مرز میان آب، خاک و مانگرو نشان می‌دهد که پویایی اصلی پوشش اراضی منطقه در محدوده بین‌کشدی و حاشیه رویشگاه‌های موجود رخ داده است (شکل ۴).

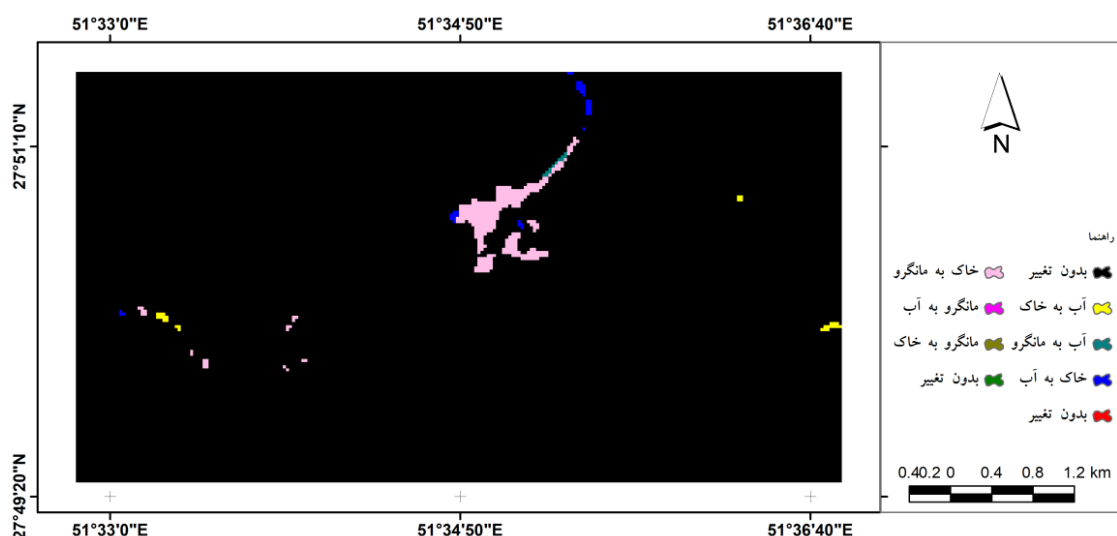
ارزیابی صحت طبقه‌بندی

صحت کلی طبقه‌بندی تصاویر مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۳ به ترتیب ۹۰، ۸۹ و ۹۲ درصد به‌دست آمد که نشان‌دهنده دقت قابل‌قبول طبقه‌بندی‌ها برای تحلیل تغییرات پوشش اراضی است.

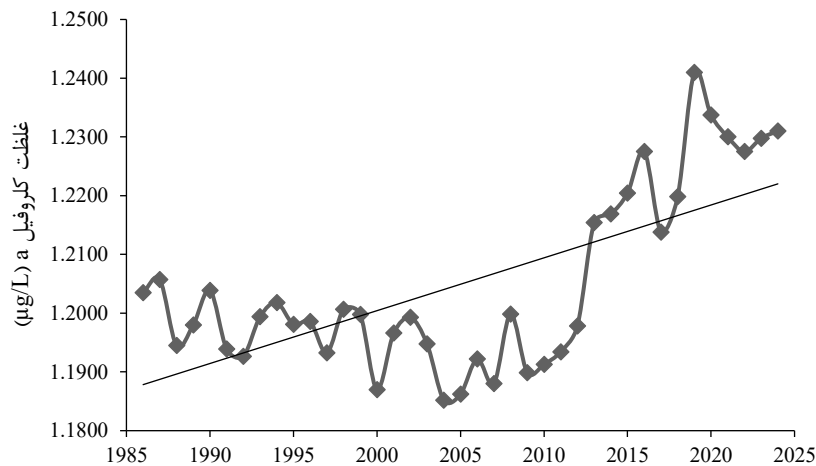
تغییرات کلروفیل a

بررسی میانگین سالانه غلظت کلروفیل a در منطقه مل‌گنزه طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۴ نشان داد که مقادیر این شاخص در بازه ۱/۱۸۵ تا ۱/۲۴۱ میکروگرم بر لیتر متغیر بوده و میانگین کل دوره برابر با ۱/۲۰۴ میکروگرم بر لیتر بوده است. کمترین مقدار کلروفیل a در سال ۲۰۰۴، با ۱/۱۸۵ میکروگرم بر لیتر، و بیشترین مقدار آن در سال ۲۰۱۹، با ۱/۲۴۱ میکروگرم بر لیتر، ثبت شد. در فاصله سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۰، غلظت کلروفیل a نوسانات محدودی داشت و میانگین این دوره برابر با ۱/۱۹۸ میکروگرم بر لیتر بود. در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲، میانگین غلظت کلروفیل a به ۱/۱۹۲ میکروگرم بر لیتر کاهش یافت و کمترین مقادیر کل دوره عمدتاً در همین بازه مشاهده شد. از سال ۲۰۱۳ به بعد، افزایش مشخصی در غلظت کلروفیل a رخ داد؛ به‌طوری‌که میانگین آن در دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ به ۱/۲۲۵ میکروگرم بر لیتر رسید. این مقدار حدود ۰/۰۲۹۸ میکروگرم بر لیتر بیشتر از میانگین دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۲ بود.

در مجموع، الگوی زمانی داده‌ها بیانگر نوسانات نسبتاً محدود غلظت کلروفیل a تا سال ۲۰۱۲ و افزایش مشخص‌تر آن از سال ۲۰۱۳ به بعد است (شکل ۵).



شکل ۴. آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی در جنگل‌های مانگرو مل‌گنزه و جزیره ام‌الکرم طی دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۳



شکل ۵. روند تغییرات میانگین سالانه غلظت کلروفیل a در آب‌های پیرامونی مل‌گنزه و جزیره ام‌النگرم

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش مانگرو در منطقه مل‌گنزه طی دوره مطالعه روندی افزایشی داشته است. غلبه تبدیل اراضی خاکی به مانگرو، همراه با پایداری بیشتر لکه‌های اولیه، نشان می‌دهد که بخش عمده این افزایش احتمالاً ناشی از استقرار پوشش‌های جدید در پهنه‌های گلی و جزرومدی مجاور بوده است. این یافته بر اهمیت شرایط محلی در تعیین روند تغییرات مانگرو تأکید دارد؛ زیرا تغییرات این اکوسیستم‌ها در مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای الزاماً یکنواخت نیست. به عبارتی، ممکن است هم‌زمان با کاهش کلی پوشش مانگرو در برخی مناطق، گسترش طبیعی یا بازایی آن در برخی رویشگاه‌ها نیز مشاهده شود.

روند افزایشی پوشش مانگرو در مل‌گنزه با یافته‌های Richards و همکاران (2020) و Bunting و همکاران (2022) هم‌خوانی دارد. این پژوهشگران، در کنار اشاره به کاهش جهانی پوشش مانگرو، افزایش یا بازایی آن را در برخی مناطق نیز گزارش کرده‌اند. Bunting و همکاران (2022) همچنین نشان دادند که سرعت کاهش جهانی پوشش مانگرو در دوره‌های اخیر کمتر شده است. در مقابل، Alharbi (2025) در سواحل دریای سرخ عربستان، کاهش تراکم مانگرو و نبود افزایش چشمگیر در مساحت آن را گزارش کرد و این تغییرات را حاصل برهم‌کنش عواملی مانند بارش، دما، شوری و فعالیت‌های انسانی دانست. تفاوت میان این نتایج نشان می‌دهد که حتی رویشگاه‌های مانگروی واقع در مناطق خشک و شور نیز، بسته به شرایط هیدرولوژیکی، فرایندهای رسوب‌گذاری و شدت مداخلات انسانی، می‌توانند واکنش‌های متفاوتی نشان دهند.

Etemadi و همکاران (2026) نیز در پارک ملی دریایی نای‌بند، با استفاده از داده‌های لندست، اندازه‌گیری‌های میدانی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، گسترش پوشش مانگرو را طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ گزارش کردند. هم‌سویی نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های نای‌بند نشان می‌دهد که گسترش مانگرو در برخی رویشگاه‌های خشک شمال خلیج فارس، حتی در شرایط وجود تنش شوری و فشارهای انسانی، امکان‌پذیر است. با این حال، مشابه‌بودن جهت تغییرات در این دو منطقه به‌تنهایی به معنای یکسان‌بودن عوامل مؤثر بر آن‌ها نیست و شرایط محلی هر رویشگاه باید به‌طور مستقل بررسی شود.

غلبه مسیر تبدیل خاک به مانگرو را می‌توان با فراهم‌شدن تدریجی شرایط مناسب در بسترهای جزرومدی مرتبط دانست. Hagger و همکاران (2022) نشان دادند که تغییرات پوشش مانگرو حاصل تعامل مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و اجتماعی، از جمله وضعیت رسوبی، رژیم جزرومد، خشکسالی، افزایش سطح آب دریا و فشارهای انسانی است. Li و همکاران (2022) نیز بر نقش ناهمواری‌های بسیار کوچک ساحلی و مناطق مستعد آب‌گرفتگی در تعیین الگوی مکانی استقرار مانگرو تأکید کردند. بر این اساس، می‌توان احتمال داد که گسترش مانگرو در مل‌گنزه با تثبیت رسوبات و مناسب‌شدن ارتفاع بخشی از پهنه‌های گلی برای جوانه‌زنی و بقای نهال‌ها ارتباط داشته باشد. با این حال، از آنجا که متغیرهایی مانند میزان رسوب‌گذاری، ارتفاع بستر، شوری و مدت‌زمان غرقاب در پژوهش حاضر به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشده‌اند، این موارد صرفاً به‌عنوان تبیین‌های احتمالی مطرح می‌شوند و نباید به‌عنوان علل قطعی و اثبات‌شده تغییرات مشاهده‌شده تلقی شوند.

از نظر روش شناختی، نتایج این پژوهش کارایی سری زمانی تصاویر لندست را در پایش بلندمدت تغییرات پوشش مانگرو نشان می‌دهد. Yang و همکاران (2024) بیان کردند که استفاده از سری‌های زمانی متراکم لندست، افزون بر تشخیص حضور یا عدم حضور مانگرو، امکان تفکیک وضعیت‌هایی مانند تخریب، بازیابی و کاهش بلندمدت پوشش را نیز فراهم می‌کند. Nguyen و همکاران (2024) نیز قابلیت Google Earth Engine و داده‌های چندزمانه را برای نقشه‌برداری و آشکارسازی تغییرات مانگرو تأیید کردند. با این وجود، Li و همکاران (2026) نشان دادند که شباهت طیفی میان پوشش مانگرو، آب‌های کم‌عمق یا راکد و بسترهای مرطوب می‌تواند موجب بروز خطا در فرایند طبقه‌بندی شود. بنابراین، بخشی از تغییرات محدود مشاهده‌شده در مرز میان آب، خاک و مانگرو ممکن است تحت تأثیر پدیده‌هایی مانند پیکسل‌های مختلط، تفاوت وضعیت جزرومد در زمان تصویربرداری و تفکیک مکانی ۳۰ متری تصاویر لندست قرار گرفته باشد.

نتایج مربوط به کلروفیل a نشان داد که پس از یک دوره نوسانات نسبتاً محدود، از حدود سال ۲۰۱۳ مقادیر بالاتری در آب‌های پیرامونی مل‌گزنه مشاهده شده است. این روند با نتایج Moradi (2020) برای کل خلیج فارس کاملاً یکسان نیست؛ بر این اساس، افزایش مشاهده‌شده در مل‌گزنه را می‌توان بخشی از ناهمگنی مکانی غلظت کلروفیل a در خلیج فارس دانست. Du و همکاران (2024) نیز در دریای بوهایی نشان دادند که در یک حوضه آبی واحد، برخی نواحی با کاهش و بخش‌های دیگری با افزایش غلظت کلروفیل a مواجه بوده‌اند. آنان دما، تابش، باد و ورودی فوسفور را از عوامل مؤثر بر این تفاوت‌های مکانی معرفی کردند.

Chowdhury و همکاران (2024) گزارش کردند که تغییرات فصلی و بین‌ساله کلروفیل a در آب‌های ساحلی می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند مواد معلق، دمای سطح آب، بارش، باد و پدیده‌های اقلیمی قرار گیرد. Fan و همکاران (2023) نیز نقش مواد مغذی، دما، بارش و تخلیه پساب را در تغییرات کلروفیل a برجسته کردند. Wang و همکاران (۲۰۲۶) نیز نشان دادند که تغییرات در رژیم کلروفیل a با تغییرات هم‌زمان دمای سطح آب، سرعت باد و میزان نیتروژن معدنی محلول ارتباط دارد. بنابراین، افزایش غلظت کلروفیل a در مل‌گزنه را نمی‌توان صرفاً به گسترش پوشش مانگرو نسبت داد؛ زیرا مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، شیمیایی و اقلیمی می‌توانند بر زی‌توده فیتوپلانکتونی و غلظت کلروفیل a تأثیرگذار باشند.

در تفسیر مقادیر کلروفیل a، محدودیت‌های مدل‌های ماهواره‌ای نیز باید مورد توجه قرار گیرد. Holbach و همکاران (2025) نشان دادند که برآورد ماهواره‌ای کلروفیل a در آب‌های ساحلی پیچیده، بدون کالیبراسیون منطقه‌ای و استفاده از داده‌های میدانی، ممکن است از دقت کافی برخوردار نباشد. همچنین، روش‌های تجربی مبتنی بر نسبت باندهای سبز و قرمز می‌توانند تحت تأثیر کدورت آب، مواد معلق و مواد آلی رنگی قرار گیرند. از این رو، برای ارزیابی قابلیت اعتماد غلظت‌های برآوردشده، اعتبارسنجی نتایج ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های میدانی ضروری است.

نتیجه‌گیری

در مجموع، مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین نشان می‌دهد که افزایش پوشش مانگرو در مل‌گزنه با روند گسترش گزارش‌شده در برخی رویشگاه‌های خشک خلیج فارس سازگار است. افزایش غلظت کلروفیل a در سال‌های اخیر نیز، به نظر می‌رسد بیش از آنکه بیانگر روندی یکنواخت در مقیاس حوضه‌ای باشد، با شرایط محلی آب‌های ساحلی مل‌گزنه ارتباط داشته باشد. با وجود قابلیت تصاویر Landsat برای بررسی تغییرات بلندمدت، تفکیک مکانی ۳۰ متر می‌تواند در محیط‌های ساحلی پیچیده، بر تفکیک دقیق مرزهای مانگرو و سایر کلاس‌های پوشش زمین اثر بگذارد. برای شناسایی دقیق‌تر عوامل مؤثر بر این تغییرات، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده متغیرهایی مانند شوری، دمای آب، مواد مغذی، کدورت، نرخ رسوب‌گذاری، ارتفاع بستر و شرایط جزر و مد به‌صورت هم‌زمان بررسی شوند. تلفیق این داده‌ها با مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالاتر می‌تواند به درک دقیق‌تر سازوکارهای گسترش مانگرو و تغییرات کلروفیل a در این منطقه کمک کند.

تشکر و قدردانی

از حمایت مالی دانشگاه زابل در قالب گرنت پژوهشی به شماره UOZ.GR.5120 تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Alharbi, B. (2025). Multi-temporal satellite image analysis for detecting the changes in mangrove vegetation between Allith and Alqahma on the Red Sea coast. *Heliyon*, 11(4), e42571. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42571>
- Barbier, E. B. (2016). The protective service of mangrove ecosystems: A review of valuation methods. *Marine Pollution Bulletin*, 109(2), 676–681. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.033>
- Bunting, P., Rosenqvist, A., Lucas, R. M., Rebelo, L.-M., Hilarides, L., Thomas, N., Hardy, A., Itoh, T., Shimada, M., & Finlayson, C. M. (2018). The Global Mangrove Watch—A new 2010 global baseline of mangrove extent. *Remote Sensing*, 10(10), 1669. <https://doi.org/10.3390/rs10101669>
- Bunting, P., Rosenqvist, A., Hilarides, L., Lucas, R. M., Thomas, N., Tadono, T., Worthington, T. A., Spalding, M., Murray, N. J., & Rebelo, L.-M. (2022). Global mangrove extent change 1996–2020: Global Mangrove Watch Version 3.0. *Remote Sensing*, 14(15), 3657. <https://doi.org/10.3390/rs14153657>
- Chowdhury, M. M., Caballero, I., de la Calle, I., & Laiz, I. (2024). Chlorophyll-a and suspended matter variability in a data-scarce coastal-estuarine ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 309, 108973. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108973>
- 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, 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Du, Y., Zhang, X., Ma, S., & Yao, N. (2024). Chlorophyll-a concentration variations in Bohai Sea: Impacts of environmental complexity and human activities based on remote sensing technologies. *Big Data Research*, 36, 100440. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2024.100440>
- Etemadi, H., Khodabakhshi, E., Abbasi, E., Haghighi, H., & Torabi Haghighi, A. (2026). Application of remote sensing and machine learning in mangrove above ground biomass estimation. *Environmental Earth Sciences*, 85, 285. <https://doi.org/10.1007/s12665-026-13016-x>
- Fan, W., Xu, Z., Dong, Q., Chen, W., & Cai, Y. (2023). Remote sensing-based spatiotemporal variation and driving factor assessment of chlorophyll-a concentrations in China's Pearl River Estuary. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1226234. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1226234>
- Friess, D. A., Rogers, K., Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Hamilton, S. E., Lee, S. Y., Lucas, R., Primavera, J., Rajkaran, A., & Shi, S. (2019). The state of the world's mangrove forests: Past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 89–115. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J. G., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using Earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Ha, N. T. T., Thao, N. T. P., Koike, K., & Nhuan, M. T. (2017). Selecting the best band ratio to estimate chlorophyll-a concentration in a tropical freshwater lake using Sentinel-2A images from a case study of Lake Ba Be (Northern Vietnam). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9), 290. <https://doi.org/10.3390/ijgi6090290>
- Hagger, V., Worthington, T. A., Lovelock, C. E., Adame, M. F., Amano, T., Brown, B. M., Friess, D. A., Landis, E., Mumby, P. J., ... & Saunders, M. I. (2022). Drivers of global mangrove loss and gain in social-ecological systems. *Nature Communications*, 13, 6373. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33962-x>
- Hagger, V., Worthington, T. A., Lovelock, C. E., Adame, M. F., Amano, T., Brown, B. M., ... & Saunders, M. I. (2022). Drivers of global mangrove loss and gain in social-ecological systems. *Nature communications*, 13(1), 6373.
- Holbach, A. M., Stæhr, S. U., Stæhr, P. A., & Markager, S. (2025). Chlorophyll-a estimations in complex coastal waters from space—A new optimization method by spatially resolved scaling factors. *Science of the Total Environment*, 1006, 180868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180868>

- Hu, L., Xu, N., Liang, J., Li, Z., Chen, L., & Zhao, F. (2020). Advancing the mapping of mangrove forests at national-scale using Sentinel-1 and Sentinel-2 time-series data with Google Earth Engine: A case study in China. *Remote Sensing*, 12(19), 3120. <https://doi.org/10.3390/rs12193120>
- Li, Y., Ma, W., Lv, S., Wang, Q., Fu, C., Shi, Y., Ren, Z., & Zhang, Y. (2026). A method for mangrove extraction integrating multi-source remote sensing data with topographic mechanism correction. *Remote Sensing*, 18(4), 567. <https://doi.org/10.3390/rs18040567>
- Moradi, M. (2020). Trend analysis and variations of sea surface temperature and chlorophyll-a in the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111267. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111267>
- Nagelkerken, I., Blaber, S. J. M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L. G., Meynecke, J.-O., Pawlik, J., Penrose, H. M., Sasekumar, A., & Somerfield, P. J. (2008). The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 155–185. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.007>
- Nguyen, M. H., Nguyen, N. T., Ryadi, G. Y. I., Nguyen, M. V., Duong, T. L., Lin, C.-H., & Nguyen, T. B. (2024). Google Earth Engine-based mangrove mapping and change detections for sustainable development in Tien Yen District, Quang Ninh Province, Vietnam. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-5-2024, 119–125. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-5-2024-119-2024>
- Richards, D. R., Thompson, B. S., & Wijedasa, L. (2020). Quantifying net loss of global mangrove carbon stocks from 20 years of land-cover change. *Nature Communications*, 11, 4260. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18118-z>
- Shirmohammadi, M., Mafi-Gholami, D., Pirasteh, S., Youssefi, F., Shen, J., Li, W., & Li, J. (2024). Assessing climatic change impacts on mangrove structural dynamics on the northern coasts of the Persian Gulf. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-3-2024, 383–386. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-3-2024-383-2024>
- Wang, M., Han, B., Guo, K., Zhang, H., Wei, J., & Yuan, Q. (2026). Spatiotemporal variability of chlorophyll-a and its influencing factors in the Bohai Sea from 2003 to 2022. *Remote Sensing*, 18(6), 922. <https://doi.org/10.3390/rs18060922>
- Yang, X., Zhu, Z., Kroeger, K. D., Qiu, S., Covington, S., Conrad, J. R., & Zhu, Z. (2024). Tracking mangrove condition changes using dense Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 315, 114461. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114461>