



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



استفاده از شاخص شناسایی مانگرو در تهیه نقشه جنگل های مانگرو با استفاده از تصاویر

ماهواره سنتینل-۲ در سامانه Google Earth Engine

مژده میرکی^۱، هرمز سهرابی^{۱*}، سیما صادقی^۱، پرویز فاتحی^۲، Markus Immitzer^۳

۱. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
۲. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. موسسه ژئوماتیک، دانشگاه منابع طبیعی و علوم زیستی، وین (BOKU)، اتریش.

نویسنده مسئول، پست الکترونیک: hsohrabi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۵

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2022.318177.2456

چکیده

پیشرفت در سنجش از دور امکان نقشه برداری سریع مانگرو را با نیاز کمتر به کارهای فشرده زمینی، پردازش های پیچیده و سنگین و تکنیک های طبقه بندی وابسته به مهارت فراهم می کند. در این پژوهش، با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ به تهیه نقشه جنگل های مانگرو استان هرمزگان در سه زیست بوم قشم، خمیر و سیریک در سامانه Google Earth Engine (GEE) پرداخته شد. بدین منظور تمام مراحل تهیه نقشه این جنگل ها، در GEE انجام شد. به این منظور از تصاویر تصحیح شده Level-2A استفاده شد. سپس به منظور کاهش خطا، پیکسل های ابری با تابع maskS2clouds از تصاویر حذف شدند. همچنین از شاخص جدید شناسایی جنگل های مانگرو (MMRI) و شاخص های طیفی مرسوم برای بارزسازی تمایز طیفی پوشش مانگرو از اطراف استفاده شد. برای طبقه بندی تصویر مناطق مورد مطالعه از سه کلاس برای پوشش زمین شامل: مانگرو و غیر مانگرو (خشکی) و دریا (آب) استفاده شد. طبقه بندی براساس الگوریتم جنگل تصادفی انجام شد و ارزیابی صحت در نرم افزار R بر اساس روش اعتبارسنجی K-fold مورد بررسی قرار گرفت. نتایج طبقه بندی در سایت قشم با صحت کلی و کاپای ۰/۷۱ و ۰/۹۸٪ و در بین سه زیست بوم بالاترین صحت را داشت. در سایت خمیر و سیریک صحت کلی به ترتیب برابر ۰/۹۷٪ و مقدار کاپای ۰/۷۱ و ۰/۷۰٪ بود. شاخص MMRI مهمترین متغیر در طبقه بندی در قشم و خمیر بود در حالی که در سیریک شاخص SAVI مهمترین شاخص طیفی در تهیه نقشه پوشش مانگرو بود. صحت کلی بالای ۰/۹۵٪ در هر سه سایت نشان می دهد ترکیب داده های سنتینل-۲ با استفاده از شاخص های مناسب در GEE رهیافت موثری برای تولید نقشه جنگل های مانگرو است.

واژگان کلیدی: مانگرو، طبقه بندی جنگل تصادفی، شاخص شناسایی مانگرو، سنتینل-۲، شاخص های طیفی.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



۱. مقدمه

جنگل‌های مانگرو یکی از اصلی‌ترین زیست‌بوم‌های ساحلی در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان را تشکیل می‌دهند که از نظر بیولوژیکی از تنوع و اهمیت بالایی برخوردار هستند (Zuhair et al., 2015; Nāsi et al., 2015). مساحت کل این جنگل‌ها در دنیا نزدیک به ده میلیون هکتار و بیشترین پراکنش آن‌ها در سواحل رودخانه‌ها و دریاچه‌های مناطق نیمه استوایی است. مساحت جنگل‌های مانگرو در ایران در حدود ۲۰۰۰۰ هکتار است و از دو گونه انحصاری حرا (*Avicennia marina*) و چنل (*Rhizophora mucronata*) تشکیل شده‌است (Yaghoubzadeh et al., 2020; Safiari, 2018). به‌طور خاص، جنگل‌های مانگرو نقش مهمی در حفاظت از جامعه ساحلی در برابر طوفان و سونامی، تثبیت خط ساحلی، تصفیه آب دریا و سکونت جانوران، ارزش‌گذاری برای اهداف زیبایی و ظرفیت قابل توجه برای جداسازی و ذخیره مقدار زیادی کربن، هم در رسوبات ساحلی و هم در زیتوده روی‌زمینی ایفا می‌کند.

علی‌رغم اهمیت اکولوژیکی این جنگل‌ها، طی دهه‌های اخیر بین ۳۰ تا ۶۰ درصد از جنگل‌های مانگرو در جهان به دلیل فشارهای ناشی از افزایش جمعیت و گسترش زمین‌های کشاورزی و توسعه صنعتی و شهری تخریب شده‌اند (Nāsi et al., 2015; Li et al., 2019a; Wang et al., 2019; Jones et al., 2020; Nilmini Wijeyaratne and Liyanage, 2020). از این رو با توجه به اهمیت خاص جنگل‌های مانگرو تهیه نقشه پراکنش آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است چرا که اطلاعات مهمی را در اختیار مدیران حفاظتی، دانشمندان و سایر ذینفعان در نظارت بر پویایی این جنگل‌ها قرار می‌دهد (Hu et al., 2020). این مناطق عمدتاً متراکم‌اند، به‌علاوه از آنجایی که در مناطق جزر و مدی قرار دارند به دلیل دسترسی دشوار؛ آماربرداری به روش سنتی از این جنگل‌ها معمولاً طولانی و پرهزینه است. بنابراین، تهیه نقشه جنگل‌های مانگرو با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی همراه با داده‌های سنجنش از دور، یک روش ایده‌آل و مقرون به صرفه تلقی می‌شود (Giri et al., 2016; Li et al., 2019a; Wang et al., 2020; Ghorbanian et al., 2021).

در سال‌های اخیر ماهواره سنتینل-۲ با سنجنده MSI (Multispectral Instrument) با توان تفکیک ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر و تفکیک زمانی ۲-۵ روز، می‌تواند قابلیت بالایی در انجام نظارت پایدار و دقیق بر جنگل‌های مانگرو را فراهم کند (Li et al., 2019a; Hu et al., 2020). تصاویر ماهواره سنتینل-۲ (MSI) با ۱۳ باند طیفی، در مقایسه با تصاویر ماهواره لندست ۸ (باتوان تفکیک مکانی ۳۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روز) که معمولاً در استخراج نقشه جنگل‌های مانگرو در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود، بهبود آشکاری در تفکیک مکانی و زمانی دارد. با توجه به این موضوع که داده‌های ماهواره‌ای رایگان از طریق سامانه گوگل ارث انجین (GEE: Google Earth)

(Engine) قابل پردازش می‌باشند، می‌توانند چالش‌های مربوط به حجم گسترده داده پردازش شده در نقشه‌برداری از مناطق بزرگ را تسهیل کنند (Hu et al., 2020).

در زمینه تهیه نقشه جنگل‌های مانگرو با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel-2 در GEE، پژوهش‌های بسیاری در جهان صورت گرفته است، چنان‌که Hu et al. (2020) به نقشه‌برداری از جنگل‌های مانگرو در مقیاس ملی با استفاده از داده‌های سری زمانی Sentinel-1 و Sentinel-2 با سامانه GEE در کشور چین پرداختند. آن‌ها دریافتند که Sentinel-2، با صحت کلی ۰/۸۹ در آشکارسازی جنگل‌های مانگرو موثرتر از Sentinel-1 با صحت کلی ۰/۸۸ است. همچنین، ترکیبی از تصاویر SAR و MSI با صحت کلی (۰/۹۴) توانست بیش از ۲۰۰۰۰ هکتار از جنگل‌های مانگرو در چین را شناسایی کند. Cissell et al. (2021) به نقشه‌برداری از جنگل‌های مانگرو در سواحل کارائیب آمریکای مرکزی با استفاده از سامانه GEE و تصاویر Sentinel-2 پرداختند. یافته‌های این پژوهش در مقایسه با نقشه‌های موجود قبلی با تفکیک مکانی بزرگ‌تر به طور قابل توجهی متفاوت بود، و این مشخصه بر اهمیت نقشه‌برداری با وضوح بالا برای حفاظت مداوم از این جنگل‌ها تأکید می‌کند. Ghorbanian et al. (2021) به نقشه‌برداری از جنگل‌های مانگرو با استفاده از تصاویر Sentinel-1 و Sentinel-2 و الگوریتم جنگل تصادفی در سامانه GEE پرداختند. در این پژوهش، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 و Sentinel-2 برای ایجاد نقشه دقیق زیست‌بوم‌های مانگرو از منطقه حفاظت شده مانگرو، قشم، ایران، با تفکیک مکانی ۱۰ متر در GEE استفاده شد. در همین راستا، ۸۶ داده Sentinel-1 و ۴۱ داده Sentinel-2 سال ۲۰۱۹، برای بازیابی فصلی راداری استفاده شد. پس از آن، ویژگی‌های فصلی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی طبقه‌بندی شدند، و در نتیجه نقشه دقیقی از زیست‌بوم مانگرو با دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۲ به دست آمد. در پژوهشی دیگر Li et al. (2019a) به نقشه‌برداری گونه‌های مانگرو با تصاویر Sentinel-2 در سامانه GEE پرداختند. در این پژوهش برای نشان دادن سیر تکاملی گونه‌های مانگرو از تصاویر سری زمانی Sentinel-2 در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ با استفاده از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شده و سپس امکان طبقه‌بندی گونه‌های مانگرو بر پایه فنولوژی را با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در GEE انجام دادند. دقت کلی و ضریب کاپا در طبقه‌بندی به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۸۴ به‌دست آمد.

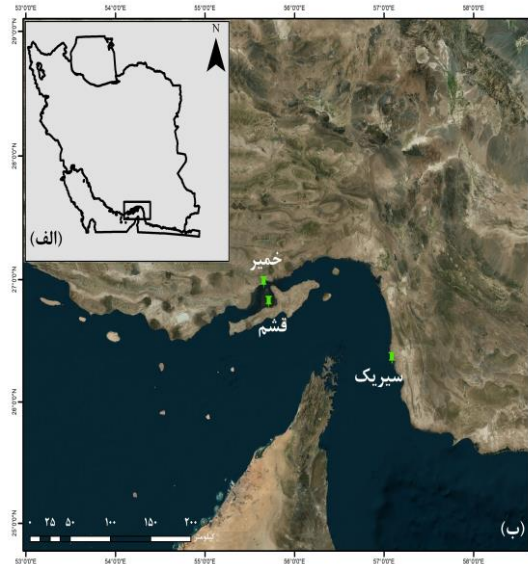
به‌طور کلی به دلیل تشابه امضای طیفی و بافت مشابه جنگل-های مانگرو، نقشه‌برداری از جنگل‌های مانگرو با تصاویر در دسترس همچنان به عنوان یک چالش باقی مانده است (Li et al., 2019b) و شباهت طیفی بین جنگل‌های مانگرو و سایر پوشش‌های زمین، شناسایی دقیق مانگروها را در تصاویر دشوار می‌کند (Hu et al., 2020). در اکثر پژوهش‌ها تشخیص گونه‌های مانگرو با استفاده از

بوده و هدف ایجاد کنتراست بالاتر پوشش مانگرو از طبقه زمین و دریا می‌باشد، در تحقیق حاضر به منظور تسهیل تهیه نقشه پوشش گیاهی مانگرو از تصاویر سنتینل-۲ در سامانه GEE با استفاده از شاخص شناسایی مانگرو (MMRI) در کنار شاخص‌های طیفی مرسوم استفاده شد.

۲. مواد و روش‌ها

با توجه به این مهم که مجموعه جنگل‌های مانگرو به عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره مانگرو در استان هرمزگان واقع است، منطقه‌های مورد پژوهش در سه سایت در مجموع با مساحت ۱۵۰۰۰ هکتار در استان هرمزگان مورد مطالعه قرار گرفت. زیست‌بوم اول قسمتی از جنگل‌های مانگرو در جزیره قشم با مساحت ۱۲۳۰۰ هکتار، زیست‌بوم دوم، جزیره مردو در بندر خمیر با مساحت ۷۰۰ هکتار و زیست‌بوم سوم در رویشگاه سیریک با مساحت ۲۰۰۰ هکتار انتخاب شد که موقعیت جغرافیایی سه رویشگاه در شکل ۱ نشان داده شده است.

شاخص‌های پوشش گیاهی کلاسیک، مانند شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI)، برای تفسیر چشمی و طبقه‌بندی پرداخته شده است (Diniz et al., 2019). پژوهش‌های نیز با هدف توسعه شاخص‌هایی خاص جهت نقشه‌برداری از پوشش‌های مانگرو انجام شده است. در همین راستا Baloloy et al. (2020) از شاخص پوشش گیاهی مانگرو (Mangrove Vegetation Index: MVI) برای جداسازی گونه‌های مانگرو از گونه‌های گیاهی غیرمانگرو با توجه به تفاوت میزان سبزی و رطوبت آن‌ها نسبت به هم استفاده کردند. همچنین Diniz et al. (2019) از شاخص شناسایی مانگرو (Modular Mangrove Recognition Index: MMRI) برای نقشه‌برداری پوشش مانگرو استفاده کردند. این شاخص تفاوت پوشش حرا را نسبت به غیرمانگرو افزایش می‌دهد. بنابراین با توجه به اینکه قبلاً در جنگل‌های مانگرو استان هرمزگان از شاخص‌های مانگرو برای نقشه‌برداری این زیست‌بوم استفاده نشده است و در محدوده مناطق مورد مطالعه نیز تنها پوشش گیاهی موجود، پوشش مانگرو



شکل ۱- (الف): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، (ب): موقعیت سه زیست‌بوم مانگرو در جزیره قشم، بندر خمیر و سیریک
 Fig. 1- Location of the study area in Iran (a), location of three mangrove sites on Qeshm, Khamir, and Sirik (b)

جزیره در عرض جغرافیایی $26^{\circ} 58' 39''$ شمالی و طول جغرافیایی 55° شرقی، قرار دارد. جنگل‌های مانگرو در خور آذینی در شهرستان سیریک، واقع در جنوب شرقی تنگه هرمز با موقعیت جغرافیایی 26° شمالی و $51^{\circ} 57'$ شرقی، تنها رویشگاه چنل (*Rhizophora mucronata*) در ساحل جنوبی ایران است. شکل ۲ نمایی از جنگل‌های مانگرو در زیست‌بوم‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. تصاویر ماهواره سنتینل-۲، از مجموعه داده‌های GEE که سطح جنگل‌های مانگرو در جزیره قشم، بندر خمیر و خور آذینی در سیریک را پوشش می‌داد، انتخاب شد.

جنگل‌های مانگرو جزیره قشم در حدفاصل دلتای رودخانه مهران و گورزین در دامنه شمالی جزیره قشم قرار گرفته است که خورهای اصلی، فرعی و آبراهه‌ها جوامع آن را از یکدیگر تفکیک کرده است. گونه غالب این جنگل‌ها، حرا (*Avicennia Marina*) است که قادر به رشد در رسوبات فاقد اکسیژن می‌باشد (Ghorbanian et al., 2021). همچنین خاک بستر آن گل‌آلود، غرقابی و شور است (شکل ۲). این جنگل‌ها تقریباً در عرض جغرافیایی $26^{\circ} 50'$ شمالی و طول جغرافیایی $44^{\circ} 55'$ شرقی، قرار دارند. جزیره مردو یکی از ده‌ها جزیره پوشیده از درخت‌های خالص حرا بندرخمیر است که به دلیل نزدیکی به نوار ساحلی دارای آسان‌ترین مسیر دسترسی نیز هست. مرکز



شکل ۲- نمایی از جنگل‌های مانگرو

Fig. 2- The mangrove forests landscape

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{SAVI} = (1 + L) * \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red} + L} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{MMRI} = \frac{\text{MNDWI} - \text{NDVI}}{\text{MNDWI} + \text{NDVI}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

نمونه‌های تعلیمی تصادفی ایجاد می‌شوند. الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی برای اجرا به چند پارامتر از جمله تعداد درختان و تعداد ویژگی‌های پیش‌بینی کننده نیاز دارد و با حداقل تنظیمات برای

پارامترها، به محاسبات و زمان اجرای کمتر نسبت به سایر طبقه‌بندی‌ها نیاز دارد، همچنین دارای دقت طبقه‌بندی بالایی در مدل‌های پیچیده است. در فرآیند طبقه‌بندی، تعداد بسیاری درخت تصمیم با نمونه‌های تصادفی انتخاب شده در طبقه‌بندی رشد می‌یابد و پدیده طبقه‌بندی نشده با توجه به ویژگی‌های همراه خود در یک طبقه قرار خواهند گرفت (Li et al., 2019a). این امر با عبور دادن پدیده از میان درختان تصمیم انجام خواهد شد به گونه‌ای که تعلق آن به یکی از طبقه‌ها در میان درختان تصمیم به رای گذاشته شود و جنگل، پدیده به رای گذاشته شده را به طبقه‌ای که دارای بیشترین رای درختان تصمیم است اختصاص می‌دهد. در این روش علاوه بر تشکیل درختان با استفاده از یک دسته نمونه تصادفی، برای رشد هر درخت نیز تعدادی از متغیرها در هر گره به طور تصادفی انتخاب می‌شوند (Hu et al., 2020; Sheikhi et al., 2020).

برای طبقه‌بندی تصویر از سه کلاس موضوعی شامل: مانگرو، غیر مانگرو (خشکی) و دریا (آب) استفاده شد (Diniz et al., 2019). در این پژوهش در مجموع ۵۶۲ پیکسل با پراکنش یکنواخت در مناطق مورد مطالعه به عنوان داده آموزشی مدل (۳۲۹ پیکسل برای زیست‌بوم قشم، ۹۰ پیکسل برای بندر خمیر و ۱۴۳ پیکسل برای خور آذینی سیریک) به عنوان ورودی الگوریتم طبقه‌بندی جنگل

۴۳

تمام مراحل انجام کار، از جمله پیش‌پردازش، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت در GEE انجام شد. در ابتدا، تصاویرهای با پیکسل-های ابری بیشتر از ده درصد با استفاده از الگوریتم maskS2clouds حذف گردید. در این پژوهش بر اساس مجموعه داده‌های سامانه (GEE)، میان تصاویر ماهواره سنتینل-۲ با سطح تصحیحات Level-2A در فصل تابستان به دست آمد و چهار شاخص طیفی با روابط (۱-۴) محاسبه شد.

شاخص MMRI با الهام از شاخص تفاوت خشکسالی نرمال شده (NDDI: Normalized Difference Drought Index) توسعه داده شده است. از آنجایی که مقادیر NDVI و NDWI بین -۱ و ۱ هستند، استفاده مستقیم از NDDI منجر به یک حد ریاضی تعریف‌نشده، $-\infty$ تا $+\infty$ می‌شود. بنابراین، شاخص MMRI از قدر مطلق هر شاخص در یک ساختار تفاوت نرمال شده استفاده می‌کند. این شاخص ترکیبی از دو شاخص کلاسیک پوشش گیاهی و شاخص آب است که بازسازی پوشش حرا را افزایش می‌دهد (Diniz et al., 2019).

جنگل تصادفی (Random Forest) یک الگوریتم طبقه‌بندی غیر پارامتری است که از یک مجموعه درختان تصمیم تشکیل شده است که طی دهه‌های گذشته به طور مکرر به دلیل عملکرد و دقت بالای طبقه‌بندی، در زمینه سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته است (Li et al., 2019a; Miraki et al., 2020; Daryaei et al., 2020). در این الگوریتم، درختان جنگل توسط مجموعه‌ای از

al, 2017). ارزیابی مدل با استفاده از معیارهای صحت تولید کننده، صحت کاربر، صحت کلی و کاپا محاسبه شد.

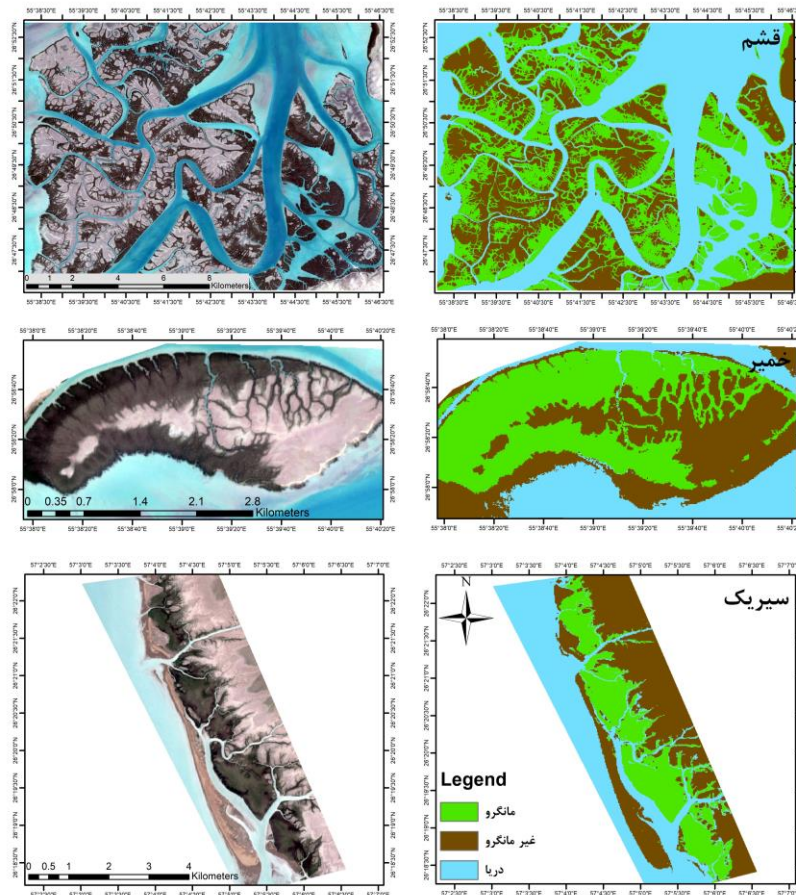
۳. نتایج

شکل ۳ نقشه سه زیست‌بوم مانگرو با تصاویر ماهواره سنتینل-۲ با استفاده از طبقه‌بندی جنگل تصادفی در سامانه GEE را نشان می‌دهد که مناطق جنگلی مانگرو در آن دقیقاً به تصویر کشیده شده است.

جدول ۱ صحت تولید کننده و صحت کاربر برای کلاس‌های طبقه‌بندی مانگرو، غیرمانگرو و دریا را نشان می‌دهد. سایت قشم با صحت کلی و کاپای ۹۸٪ و ۰/۷۳ در بین سه زیست‌بوم بالاترین صحت را ارائه داد. سایت خمیر و سیریک صحت کلی برابر ۹۷٪ و مقدار کاپای ۰/۷۱ و ۰/۷۰ را به ترتیب نشان دادند. بیشترین صحت تولید کننده برای کلاس مانگرو مربوط به سایت خمیر با مقدار ۱۰۰٪ بود. البته در دو سایت قشم و سیریک نیز با اختلاف بسیار کم مقدار صحت تولیدکننده ۹۹٪ به دست آمد. مقدار صحت کاربر و صحت تولیدکننده برای دو کلاس دیگر نیز بالای ۹۰٪ به دست آمد.

تصادفی استفاده شد. تفکیک پیکسل‌های آموزشی به ازای کلاس‌های مانگرو، غیر مانگرو و دریا در جدول ۱ قابل مشاهده است. در فرآیند اجرا، الگوریتم جنگل تصادفی مقادیر بازتاب طیفی باندهای Red, Green, Blue, Red Edge, NIR, SWIR و شاخص‌های NDVI, NDWI, SAVI و MMRI مورد استفاده در این تحقیق را در هر پیکسل آموزشی مورد بررسی قرار می‌دهد. سپس، براساس این‌که آن پیکسل با امضای طیفی کدام کلاس طبقه‌بندی مطابقت بیشتری دارد آن را به کلاس مانگرو، غیر مانگرو و دریا اختصاص می‌دهد.

یکی از مراحل مهم پس از طبقه‌بندی تصاویر، ارزیابی طبقه‌های حاصل است (Bihamta et al., 2019). برای ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی جنگل تصادفی از روش اعتبارسنجی K-fold استفاده شد. به این صورت که مقدار K برابر ۱۰ در نظر گرفته شد و کل داده‌های آموزشی به طور تصادفی به ۱۰ زیرنمونه با حجم برابر تفکیک گردید. در هر بار اجرا، تعداد K-۱ از این زیرنمونه‌ها به عنوان داده آموزشی و یک زیرنمونه به عنوان داده اعتبارسنجی تعیین شد و این پروسه برای دستیابی به یک مدل مناسب، ۱۰ بار تکرار گردید (Nevalainen et



شکل ۳- نقشه نهایی زیست‌بوم‌های مانگرو. از بالا به پایین قشم، خمیر و سیریک

Fig. 3- Final map of mangrove ecosystems. From up to down Qeshm, Khamir, and Sirik

جدول ۱- ماتریس خطا (محور عمودی: نمایش واقعیت زمینی و محور افقی: نمایش طبقه‌بندی)

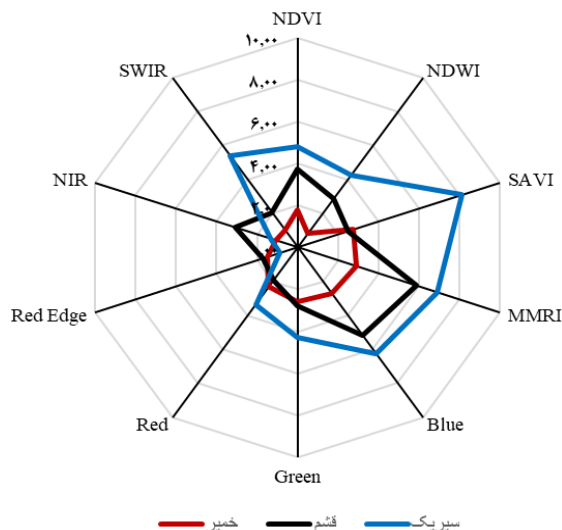
Table 1- Confusion matrices (Columns: ground truth and rows: classification results)

		M	N-M	W	S	UA
Qeshm	M	158	0	0	158	1.00
	N-M	2	107	1	110	0.97
	W	0	3	58	61	0.95
	S	160	110	59		OA=0.98
	PA	0.99	0.97	0.98		K=0.73
Khamir	M	42	0	0	42	1.00
	N-M	0	33	1	34	0.97
	W	0	2	12	14	0.86
	S	42	35	13		OA=0.97
	PA	1.00	0.94	0.92		K=0.71
Sirik	M	72	0	1	73	0.99
	N-M	0	46	1	47	0.98
	W	1	1	21	23	0.91
	S	73	47	23		OA=0.97
	PA	0.99	0.98	0.91		K=0.70

M: Mangrove, N-M: Non-Mangrove, W: Water, S: Sum, PA: Producer's Accuracy, UA: User's Accuracy, OA: Overall Accuracy, K: Kappa.

SAVI و باند آبی، هر دو به مقدار یکسان ۲/۷ قرار داشتند. اما در سیریک شاخص SAVI با مقدار ۸/۱۲ مهمترین متغیر و بعد از آن شاخص MMRI، باند آبی و SWIR، به ترتیب با مقادیر ۶/۸، ۶/۲ و ۵/۴ قرار داشتند.

بر اساس شکل ۴ در جزیره قشم شاخص MMRI با مقدار ۵/۸ مهمترین متغیر در طبقه‌بندی جنگل تصادفی شناخته شد. بعد از آن باند آبی، شاخص NDVI و باند NIR قرار داشتند. در بندر خمیر نیز شاخص MMRI با مقدار ۲/۹ مهمترین متغیر و بعد از آن شاخص



شکل ۴- اهمیت باندها و شاخص‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی جنگل تصادفی در سه زیست‌بوم قشم، خمیر و سیریک

Fig. 4- Importance of bands and indices used in the random forest classification in the Qeshm, Khamir, and Sirik sites

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه جداسازی جنگل‌های مانگرو از سایر پوشش‌های زمین انجام شد. فرآیند تهیه نقشه با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی به دست آمده از باندهای تصاویر سنتینل-۲ انجام شد. مراحل اولیه مطالعه با استفاده از تصاویر تصحیح شده Level-2A شروع شد. سپس به منظور کاهش خطا، پیکسل‌های ابری با توابع مربوطه از تصاویر حذف شدند.

چنانچه در شکل ۴ قابل مشاهده است شاخص MMRI در سایت قشم و خمیر که متشکل از گونه خالص حرا بودند مهمترین متغیر در تمایز بین پیکسل‌های مانگرو از پیکسل‌های غیر مانگرو بوده است. چنان‌که قبلاً اشاره شد این شاخص ترکیبی از دو شاخص کلاسیک پوشش گیاهی و آب می‌باشد که استفاده از آن کنتراست پوشش مانگرو را افزایش داده و تهیه نقشه این پوشش با صحت بالاتری انجام می‌گیرد (Diniz et al., 2019). اما در سایت سیریک که شامل دو گونه حرا و چندل می‌باشد، شاخص SAVI اهمیت بالاتری نسبت به شاخص MMRI ارائه داد. در واقع زیست بوم‌های مانگرو به طور معمول در مناطق جزر و مدی قرار دارند. بنابراین، با بازسازی تفاوت طیفی بین خاک و گل ولای با پوشش گیاهی نرخ تهیه نقشه افزایش پیدا خواهد کرد. شاخص SAVI اثر خاک زمینه را کاهش داده و بازتاب گیاهان با درصد پوشش کمتر را بیشتر نشان می‌دهد. در این تحقیق ضریب تصحیح اثرات زمینه خاک، ۰/۵ در نظر گرفته شد. طبق فرمول این شاخص، پوشش بیشتر ضریب کمتری نسبت به پوشش کم می‌گیرد. پس تغییر در مقدار ضریب تصحیح نیز، بر افزایش یا کاهش صحت تهیه نقشه مانگرو تأثیرگذار می‌باشد. احتمالاً استفاده از شاخص‌های مناسب دلیل تشخیص پیکسل‌های مانگرو از غیرمانگرو با صحت کاربر و تولیدکننده ۱ باشد. Baloloy et al. (2020) و Diniz et al. (2019) نیز نشان دادند که با استفاده از شاخص‌های خاص مانگرو، نقشه‌برداری از درختان مانگرو با صحت بالاتری قابل انجام است. دلیل صحت پایین‌تر کلاس آب نیز احتمالاً به دلیل کم عمق بودن آب در منطقه جزر و مدی و اشتباه آن به عنوان کلاس غیرمانگرو را می‌توان نام برد.

در کنار استفاده از شاخص مناسب برای بازسازی پوشش مانگرو، تصاویر ماهواره سنتینل-۲ نیز با تفکیک مکانی مناسب فرصتی برای تولید نقشه جنگل‌های مانگرو با تفکیک مکانی بالا را فراهم می‌کند، زیرا اغلب نقشه جنگل‌های مانگرو به طور عمده از تصاویر ۳۰ متری ماهواره لندست تهیه شده است. تفکیک مکانی این تصاویر نسبت به دقت مشخصه‌های جنگل‌های مانگرو بزرگ هستند و اغلب درختانی که دارای اندازه کوچک هستند در نظر گرفته نمی‌شوند (Hu et al., 2020). اگرچه می‌توان از تصاویر ماهواره‌ها با تفکیک مکانی بالا (> ۱ متر) (به عنوان مثال: Worldview،

Quick bird و عکس‌های هوایی) برای شناسایی در جنگل‌های مانگرو استفاده کرد، اما نقشه‌برداری جنگل‌های مانگرو در مقیاس بزرگ بر اساس در دسترس بودن داده و حجم بالای این داده‌ها، هزینه بالایی دارند، بنابراین استفاده از این داده‌ها دارای محدودیت هستند.

پردازش و طبقه‌بندی مبتنی بر سامانه GEE نیز به طور موثر با استفاده از داده‌های سنتینل-۲ برای تهیه نقشه جنگل‌های مانگرو بسیار مفید می‌باشد. در طی مراحل پردازش تصویر، GEE تمام داده‌ها را از آژانس فضایی اروپا همگام سازی و پیکسل‌های دارای ابر را به راحتی حذف و سپس شاخص‌های پوشش گیاهی با کیفیت بالا را با استفاده از کدهای ساده ایجاد می‌کند. علاوه بر این، بسیاری از پردازش‌ها و روش‌های طبقه‌بندی می‌توانند بر روی بستر محاسبات ابری GEE انجام شوند، بدون این که تحت رایانه‌های محلی یا نرم افزارهای دیگر قرار گیرند. بنابراین استخراج اطلاعات از داده‌های سنجش از دور به سادگی قابل انجام می‌باشد (Li et al., 2019a). Ghorbanian et al. (2021)، Cissell et al. (2021) و Li et al. (2019a) نیز در زمینه بررسی جنگل‌های مانگرو با استفاده از GEE نتایج قابل قبولی ارائه دادند. این مطالعه امکان‌سنجی و قابلیت اطمینان تهیه نقشه از جنگل‌های مانگرو در استان هرمزگان را با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel-2 بر اساس داده‌های GEE و محاسبه شاخص شناسایی مانگرو و شاخص‌های طیفی کلاسیک نشان داد.

در واقع، نقشه‌های با وضوح بالا در ارزیابی استراتژی‌های حفاظت و احیاء زیست‌بوم‌های مانگرو و نظارت بر تغییرات آن‌ها در طول زمان بسیار حائز اهمیت می‌باشد. همچنین توزیع مکانی و مساحت جنگل‌های مانگرو در مقیاس بزرگ و کمبود نقشه جنگل-های مانگرو با وضوح بالا و دقت مناسب یکی از دلایل اصلی عدم قطعیت زیاد در برآورد ذخیره کربن است. در این پژوهش، با محاسبه شاخص شناسایی مانگرو و استفاده از GEE و تصاویر ماهواره Sentinel-2 به تهیه نقشه این جنگل‌ها با صحت کلی ۹۸٪ و کاپای ۰/۷۳ پرداخته شد. این سطح از دقت با توجه این که قابلیت دسترسی به جوامع جنگلی مانگرو به دلیل قرار گرفتن این جنگل‌ها در مناطق جزر و مدی دشوار است و با توجه به هزینه کم مطالعاتی و محاسبات سریع، کارایی بالای این روش را نشان می‌دهد.

۵. تشکر و قدردانی

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور که این تحقیق به عنوان بخشی از طرح شماره ۹۹۰۲۵۴۶۳ با عنوان «برآورد کربن اندوخته در روی زمین و خاک جنگل‌های مانگرو در خلیج فارس با استفاده از داده‌های زمینی و تصویربرداری پهپاد» مورد حمایت این صندوق انجام شده است، قدردانی می‌شود.

References:

- Baloloy, B., Blanco, A., Raymund Rhommel, C., and Nadaoka, K., 2020. Development and application of a new mangrove vegetation index (MVI) for rapid and accurate mangrove mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166, pp. 95–117. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.001>.
- Bihamta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., and Pourmanafi, S., 2019. Integration of CART algorithm and vegetation indices in preparing mangrove forest land map using Landsat 8 image. *Forest Research and Development*, 5(4), pp. 557-569. doi: 10.30466/JFRD.2019.120794.
- Cissell, R., Canty, W., Steinberg, K., and Simpson T., 2021. Mapping National Mangrove Cover for Belize Using Google Earth Engine and Sentinel-2 Imagery. *Applied Sciences*, 11(9), p. 4258. <https://doi.org/10.3390/APP11094258>.
- Daryaei, A., Sohrabi, H., Atzberger, C., and Immitzer, M., 2020. Fine-scale detection of vegetation in semi-arid mountainous areas with focus on riparian landscapes using Sentinel-2 and UAV data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, pp. 105686. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105686>.
- Diniz, C., Cortinhas, L., Nerino, G., Rodrigues, J., Sadeck, L., Adami, M., and Souza-Filho, M., 2019. Brazilian mangrove status: Three decades of satellite data analysis. *Remote Sensing*, 11(7), p. 808. <https://doi.org/10.3390/RS11070808>.
- Ghorbanian, A., Zaghian, S., Asiyabi, M., Amani, M., Mohammadzadeh, A., and Jamali, S., 2021. Mangrove Ecosystem Mapping Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Satellite Images and Random Forest Algorithm in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(13), pp. 2565. <https://doi.org/10.3390/RS13132565>.
- Giri, C., 2016. Observation and Monitoring of Mangrove Forests Using Remote Sensing: Opportunities and Challenges. *Remote Sensing*, 8, pp. 783. <https://doi.org/10.3390/RS8090783>.
- Hu, L., Xu, N., Liang, Z., Chen, L., and 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), p. 3120. <https://doi.org/10.3390/RS12193120>.
- Jones, R., Raja Segaran, R., Clarke, D., Waycott, M., Goh, S., and Gillanders, M., 2020. Estimating mangrove tree biomass and carbon content: a comparison of forest inventory techniques and drone imagery. *Frontiers in Marine Science*, 6, p. 784. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2019.00784/BIBTEX>.
- Li, H., Jia, M., Zhang, R., Ren, Y., and Wen, X., 2019a. Incorporating the plant phenological trajectory into mangrove species mapping with dense time series Sentinel-2 imagery and the Google Earth Engine platform. *Remote Sensing*, 11(21), pp. 2479. <https://doi.org/10.3390/rs11212479>.
- Li, Z., Zan, Q., Yang, Q., Zhu, D., Chen, Y., and Yu, S., 2019b. Remote estimation of mangrove aboveground carbon stock at the species level using a low-cost unmanned aerial vehicle system. *Remote Sensing*, 11(9), 1018. <https://doi.org/10.3390/RS11091018>.
- Miraki, M., Sohrabi, H., Fatehi, P., and Kneubuehler, M., 2020. Comparison of Machine Learning Algorithms for Broad Leaf Species Classification Using UAV-RGB Images. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 10(2), pp. 1-10. <http://jgst.issge.ir/article-1-926-fa.html>. (In Persian).
- Näsi, R., Honkavaara, E., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Blomqvist, M., Litkey, P., Hakala, T., and Holopainen, M., 2015. Using UAV-based photogrammetry and hyperspectral imaging for mapping bark beetle damage at tree-level. *Remote Sensing*, 7(11), pp. 15467-15493. <https://doi.org/10.3390/RS71115467>.
- Nevalainen, A., Nilton, N., Antonio, G., 2017. Individual Tree Detection and Classification with UAV-Based Photogrammetric Point Clouds and Hyperspectral Imaging. *Remote Sens*, 9(3), p. 185. <https://doi.org/10.3390/rs9030185>.

- Nilmini Wijeyaratne, W.D. and Liyanage, P.M., 2020. Allometric modelling of the stem carbon content of *Rhizophora mucronata* in a Tropical Mangrove Ecosystem. *International Journal of Forestry Research*, 2020, pp.1-6. <https://doi.org/10.1155/2020/8849413>.
- Safiari, Sh., 2018. Mangrove forests in Iran. *Iran's nature*. pp. 49-57 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/IRN.2017.111425>.
- Sheikhi, H., Darvish Sefat, A., Fatehi, P., Rajabpour Rahmati, M., and Etemad, V., 2020. Evaluation of data capability of Landsat 8 and Sentinel 2 satellites to prepare a map of Hyrcanian forest type in Kojoor watershed. *Wood and Forest Science and Technology Research*, 27 (2), pp. 79-98. 10.22069/JWFST.2020.17881.1866.
- Wang, D., Wan, B., Qiu, P., Zuo, Z., Wang, R., and Wu, X., 2019. Mapping height and aboveground biomass of mangrove forests on Hainan Island using UAV-LiDAR sampling. *Remote Sensing*, 11(18), p. 2156. <https://doi.org/10.3390/RS11182156>.
- Wang, D., Wan, B., Liu, J., Su, Y., Guo, Q., Qiu, P., and Wu, X., 2020. Estimating aboveground biomass of the mangrove forests on northeast Hainan Island in China using an upscaling method from field plots, UAV-LiDAR data and Sentinel-2 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 85, p. 101986. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2019.101986>.
- Yaghoobzadeh, M., Salmanmahiny, A., Mikaeili Tabrizi, A., Danekar, A., 2020. Forecasting inundation zone caused by climate change in mangrove forests. *Journal of Marine Science and Technology*, in press. <https://doi.org/10.22113/jmst.2020.202372.2312>. (In Persian).
- Zuhair, M., Hussin, A., and Weir, C., 2001. Monitoring mangrove forests using remote sensing and GIS. In: *The balance between biodiversity conservation and sustainable use of tropical rain forests: Proceedings of a workshop*. held 6-8 December. pp. 251-257.



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



Application of mangrove recognition index for mapping mangrove forests using Sentinel-2 satellite images in Google Earth Engine

Mojdeh Miraki ¹, Hormoz Sohrabi ^{*1}, Sima Sadeghi ¹, Parviz Fatehi ², Markus Immitzer ³

1. Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
2. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Institute of Geomatics, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU), Austria

***Corresponding author Email:** hsohrabi@modares.ac.ir

Received: 16 December 2021

Revise Date: 31 January 2021

Accepted: 7 March 2022

DOI: 10.22113/JMST.2022.318177.2456

Abstract

Advances in remote sensing enable fast mangrove mapping the less need for intensive fieldwork, complex and heavy processing, and skill-based classification techniques. In this research, mangrove forest mapping was performed using Sentinel-2 satellite images in Google Earth Engine (GEE) in Hormozgan province in three ecosystems of Qeshm, Khamir, and Sirik. For this purpose, all steps of mapping these forests, including pre-processing and classification were performed in the GEE. The Modular Mangrove Recognition Index (MMRI) and classic spectral indices were also used to highlight the spectral differentiation of mangrove cover from the surroundings. To classify the image of the study area, three land cover classes were used: mangrove, non-mangrove, and sea (water). The classification was performed based on the random forest algorithm and accuracy assessment was evaluated in R software based on the K-fold validation method. The Qeshm site was demonstrated the highest accuracy among the three ecosystems with an overall accuracy of 98% and a kappa of 0.73. Khamir and Sirik sites were shown an overall accuracy of 97% and a kappa value of 0.71 and 0.70, respectively. The MMRI index was the most important variable in the RF classification in Qeshm and Khamir, while in Sirik, the SAVI index was the most important spectral index in mangrove map providing. The overall accuracy of over 95% at all three sites indicates that combining Sentinel-2 data using appropriate indices in the GEE is an effective approach to mangrove forest mapping.

Keywords: Mangrove Forests, Random Forest Classification, Mangrove Identification Index, Sentinel-2, Spectral Indicators

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

