



Applications of Remote Sensing in Mapping the Substrate Composition of Coastal Areas

P. Sobhani*¹, M. Majidi Nik

¹ Assistant Professor, Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

² Ph.D. student of oceanography, Researcher of the Department of Environmental Geography Studies, Madde Danesh Studies Center, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/05/31

Revised: 2025/08/27

Accepted: 2025/09/6

Keywords:

Substrate composition of coastal areas,
Sentinel2 satellite images,
GEE system,
Southern Iranian coasts

*Corresponding author



sobhani.pa@lu.ac.ir

Doi: [10.52547/joc.16.61.2](https://doi.org/10.52547/joc.16.61.2)

ORID: 0000-0001-9878-3768

ABSTRACT

Background and Theoretical Foundations: The southern coastal regions of Iran boast a range of facilities and installations due to their strategic and geopolitical significance. Consequently, the development of these facilities and the expansion of infrastructure necessitate the acquisition of detailed information and accurate mapping of the sediment composition of these areas. Understanding the composition of the coastal bed material is critical not only for infrastructural development and the safe navigation of maritime routes but also for effective management and environmental monitoring. Therefore, employing remote sensing techniques to investigate the sediment characteristics of the coast plays a vital role in the continuous monitoring, sustainable management, and optimal utilization of these regions, as well as in conducting studies related to coastal processes. In this context, the present study focused on mapping the sediment material distribution along the southern Iranian coastlines (including the Persian Gulf and the Sea of Oman). The primary objective of the mapping process was to obtain detailed information on the composition and properties of the sediments constituting these coasts. This was achieved through the utilization of Sentinel-2 satellite imagery in conjunction with the Google Earth Engine (GEE) cloud-based platform. The combined application of these remote sensing tools facilitated the efficient and accurate generation of sediment maps, providing valuable insights into the spatial distribution and material characteristics of the coastal beds in these strategic regions.

Methodology: In this study, seabed material maps of coastal areas were derived using multispectral imagery from Sentinel-2, selected for its availability and suitability as a high-resolution, open-access multispectral dataset. In addition to these multispectral images, soil texture images classified according to the USDA system standard were also used (OpenLandMap.org). These soil classifications, available at various depths (0, 10, 30, 60, 100, and 200 cm) and a resolution of 250 m, were mapped at the Sentinel-2 image pixel level (10x10 m) to enhance spatial detail. Furthermore, spectral indices, including the Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Soil Index (NDSI), and Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), were employed to improve the differentiation and delineation of water, soil, and vegetation zones within the study area. The resulting maps were then validated against existing information sources from the Integrated Coastal Zone Management (ICZM) plan to ensure accuracy with respect to observed conditions.

Findings: The results indicated that the studied seabed material comprised four distinct classes: clay, sand, loam (clay bed), and sandy loam, with sand being the most prevalent. Considering the capacity of Sentinel-2 satellite imagery to effectively identify seabed material types, and given the high degree of correspondence observed between image-derived classifications and existing field data, these findings suggest that this methodology is an efficient and reliable approach for mapping diverse seabed types in other areas of interest.

Conclusion: In general, mapping processes employing satellite imagery have proven to be highly efficient and cost-effective, offering a broad-scale perspective in coastal areas. Furthermore, atmospheric reflectance corrections and the application of spectral indices are critical procedures for enhancing the reliability of coastal area mapping.



NUMBER OF TABLES

1



NUMBER OF FIGURES

9



NUMBER OF REFERENCES

25

مقاله پژوهشی

کاربرد سنجش از دور در نقشه‌سازی جنس بستر مناطق ساحلی

پروانه سبحانی^{۱*}، مهیار مجیدی نیک^۲^۱ استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه لرستان، دانشکده منابع طبیعی، خرم‌آباد، ایران.^۲ دانشجوی دکتری اقیانوس‌شناسی، پژوهشگر گروه مطالعات جغرافیایی محیطی مرکز مطالعات و پژوهش‌های تخصصی دریایی مد دانش، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

واژگان کلیدی:

جنس بستر سواحل،

تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2،

سامانه GEE،

سواحل جنوب ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۱۰

تاریخ بازبینی: ۱۴۰۴/۶/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۱۵

پیشینه و مبانی نظری پژوهش: نوار ساحلی جنوب ایران به دلیل موقعیت استراتژیک و سیاسی خود از امکانات و تأسیسات مختلفی برخوردار است، از این رو، برای توسعه این امکانات و افزایش زیرساخت‌ها، اطلاعات و نقشه‌سازی جنس بستر از این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی، اطلاعات جنس بستر ساحل نه تنها برای توسعه زیرساخت‌ها و ناوبری ایمن دریایی بلکه برای مدیریت و پایش نیز بسیار مهم و کاربردی است. به همین دلیل بررسی جنس بستر سواحل با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور نقش مهمی در پایش، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از این محدوده‌ها و انجام مطالعات بر روی فرآیندهای ساحلی دارد. از این رو، در مطالعه حاضر به نقشه‌سازی جنس بستر نوار ساحلی جنوب ایران (خلیج فارس و دریای عمان) پرداخته شد. به‌طور کلی فرآیند نقشه‌سازی بستر در این مطالعه با هدف کسب اطلاعات بیشتر از جنس و ترکیبات تشکیل دهنده ساحل با استفاده از تصاویر Sentinel2 و سامانه تحت وب گوگل ارث انجین (GEE) در این مناطق صورت گرفت.

روش‌شناسی: در این مطالعه از تصاویر چند طیفی Sentinel2 (MSI) به‌عنوان بهترین مجموعه داده‌های چندطیفی در دسترس و رایگان برای استخراج نقشه‌های جنس بستر مناطق ساحلی استفاده شد. علاوه بر این تصاویر چند طیفی، از تصاویر بافت خاک طبقه‌بندی شده بر اساس استاندارد سیستم USDA نیز استفاده شد (OpenLandMap.org). طبقات خاک در این استاندارد شامل کلاس‌های خاک در عمق‌های مختلف (شامل ۰، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی‌متری) و توان تفکیک ۲۵۰ متری می‌باشد که در این مطالعه در سطح پیکسل‌های ۱۰*۱۰ متری تصاویر Sentinel2 مورد نقشه‌سازی قرار گرفت. همچنین از شاخص‌های طیفی (شاخص نرمال شده تفاوت پهنه‌های آبی (NDWI)، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص نرمال شده تفاوت خاک (NDSI) و در نهایت شاخص پوشش گیاهی تنظیم خاک (SAVI) برای تمایز دقیق و تفکیک پهنه‌های آبی، خاکی و پوشش گیاهی در منطقه استفاده شد و در نهایت به منظور اعتبارسنجی نتایج با مشاهدات واقعی، به مقایسه با منابع اطلاعاتی طرح ICZM اقدام گردید.

یافته‌ها: همان‌طور که نتایج نشان داد، جنس بستر سواحل مورد مطالعه متشکل از چهار طبقه لومی (بسترگلی)، شنی، رسی و شنی-لومی می‌باشد که بیشترین وسعت از گستره آن به طبقه شنی اختصاص یافته است. در این راستا، نتایج به دست آمده با توجه به قابلیت تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 در شناسایی جنس بستر سواحل و مطابقت بالای آن در مقایسه با داده‌های میدانی موجود، حاکی از کارآمد بودن این روش برای شناسایی تیپ‌های مختلف جنس بستر سواحل در سایر مناطق هدف است.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، فرآیند نقشه‌سازی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل کارایی بالا و هزینه کم، چشم‌انداز گسترده‌ای را در مناطق ساحلی فراهم کرده است. از طرفی تصحیحات بازتاب اتمسفری و بهره‌گیری از شاخص‌های طیفی فرآیندهای مهمی می‌باشند که نقشه‌سازی مناطق ساحلی را قابل اطمینان‌تر می‌سازند.

*نویسنده مسئول

✉sobhani.pa@lu.ac.ir

Doi: 10.52547/joc.16.61.2

ORID:0000-0001-9878-3768

مقدمه

در طی سال‌های اخیر، روش‌های نوینی مبتنی بر فناوری سنجش از دور، با توجه به قابلیت بررسی دوره‌های زمانی مختلف و طولانی مدت، در اختیار گذاشتن اطلاعات مکانی پیوسته و در نهایت هزینه‌های رایگان مورد توجه بسیاری از محققین در مطالعات مناطق ساحلی قرار گرفته است [۱۳، ۱۹].

در نقشه‌سازی جنس بستر مناطق ساحلی، می‌توان از سامانه تحت وب گوگل ارث انجین (GEE) استفاده نمود. GEE یک پلت فرم محاسباتی قدرتمند و با کیفیت بالا می‌باشد که امکان دسترسی آسان به مجموعه داده‌های حاصل از بازتاب ماهواره‌ای را برای تجزیه و تحلیل مطالعات ساحلی در مقیاس جهانی فراهم کرده است (سبحانی و دانه کار، ۱۴۰۳/ب). به‌ویژه، مجموعه داده‌های حاصل از بازتاب سطحی تصاویر Sentinel2 در GEE به‌طور گسترده در حوزه مطالعات محیط‌زیستی [۱۷] و دریایی-ساحلی استفاده شده است.

پیشینه و مبانی نظری پژوهش

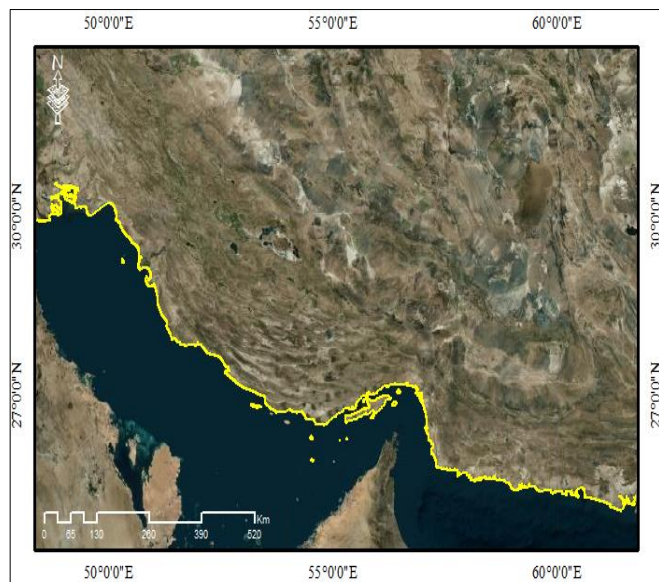
با توجه به اهمیت جنس بستر سواحل، تا کنون مطالعاتی در این راستا صورت گرفته است که می‌توان به مطالعه غریب رضا و همکاران [۸] در اطلس نقشه‌های طبقه‌بندی سواحل استان بوشهر اشاره کرد. نقشه‌های تهیه شده در این مطالعه پوشش دهنده موضوعات تخصصی-کاربردی مناطق و نوار ساحلی است که در قالب پروژه‌های تحقیقاتی و هدفی معین کاربرد دارند و این نقشه‌ها تغییرات تراز و جنس سواحل را نشان می‌دهند. در مطالعه‌ای دیگر قنواتی و منصوری (۱۳۹۲) به طبقه‌بندی مورفولوژیکی خط ساحلی در محدوده نوشهر تا بابلسر پرداختند. مطابق نتایج بدست آمده گسترده‌ترین لندفرم مربوط به کرانه‌های ماسه‌ای است که به طور قابل توجهی نوار ساحلی را پوشش داده است. لو و همکاران [۱۱] به مطالعه نقشه‌سازی بستر سواحل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 پرداختند. آن‌ها بیان کردند که بخش اعظم کرانه‌های ساحلی در این منطقه از جنس گلی و ماسه‌ای می‌باشد که بازتاب‌های مشتق شده از تصویر و شاخص طیفی VI به خوبی جنس بستر را نمایش می‌دهد. بریکسینا و همکاران [۱۱] نیز به مطالعه تغییرات خط ساحلی و لندفرم‌های شبه‌جزیره سامبیا در دریای بالتیک با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری پرداختند. در این مطالعه از داده‌های میدانی و تصاویر نوری استفاده شد که نتایج بدست آمده حاکی از روند تغییرات خط ساحل طی فرسایش‌های رخ داده در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۷ می‌باشد که ۶ تا ۳۶ متر از خط ساحل عقب نشینی داشته و بستر آن نیز از پهنه‌های لومی تشکیل شده است. در مطالعه‌ای دیگر اوگورو و همکاران [۵] ژئومورفولوژی ساحل و زیستگاه‌های دریایی را با استفاده از تصاویر ستجش از دوری مورد نقشه‌سازی و بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه بر ضرورت استخراج و ادغام اطلاعات از تمام حسگرهای موجود برای نقشه‌برداری کامل از زیستگاه‌های ژئومورفولوژیکی و دریایی که از استراتژی‌های مدیریت پایدار ساحلی پشتیبانی می‌کند، تأکید دارد.

نواحی ساحلی به‌عنوان مناطقی حدواسط خشکی و دریا، از ابعاد مختلفی بررسی و مطالعه می‌شوند. سواحل از نظر جغرافیایی، همواره دارای تنوع فرآیندهای مختلف طبیعی هستند و شرایطی را ایجاد می‌کنند که با هر یک از مناطق خشکی و دریایی متمایز است [۴]. از این‌رو تهیه نقشه و اطلاعات دقیقی از جنس بستر این مناطق در فعالیتهای ساحلی-دریایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجایی که تهیه نقشه‌های ساختار فیزیکی خاک (بافت خاک) و جنس بستر سواحل مستلزم زمان و هزینه بالایی می‌باشد، تکنیک‌های سنجش از دور و نقشه‌برداری از بستر سواحل امکان بررسی دقیق جنس مناطق ساحلی را فراهم می‌سازد و همچنین به‌عنوان مبنای مطالعاتی در بررسی زیستگاه‌های دریایی و برنامه‌ریزی برای عملیات نظامی-دریایی و حمل و نقل دریایی است [۲، ۲۲]. همچنین استخراج جنس بستر مناطق ساحلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایش ویژگی‌های مختلف نواحی ساحلی از جمله تغییرات خط ساحلی، تراز سطح آب و عمق بستر را در این مناطق امکان پذیر می‌سازد. این فرآیند به معنای تعیین نقشه‌های دقیقی از ساختار فیزیکی مناطق ساحلی هم‌چون تپ‌های شنی، رسی و سیلنتی است [۲۴].

بافت یکی از مهمترین خصوصیات خاک است که به‌عنوان درصد نسبی از مقادیر رس، شن و سیلت تعریف می‌شود. بافت خاک به‌طور مستقیم بر روی تخلخل خاک، ظرفیت نگهداری عناصر تغذیه‌ای و در بلندمدت بر روی حاصل‌خیزی خاک مؤثر است [۱۴]. خاک‌های سنگین رسی با خلل و فرج ریز زیاد و پتانسیل آبی کم، دارای ظرفیت نگهداری آب بیشتری هستند و اغلب به‌دلیل شرایط زهکشی ضعیفی که دارند از شرایط تهویه‌ای مناسبی برای رشد گیاهان آبی‌زی برخوردار نمی‌باشند [۹]. از طرف دیگر خاک‌های شنی با خلل و فرج درشت، در شرایط خشک از ظرفیت نگهداری آب کمتری برخوردار هستند. به‌طور کلی خصوصیات بافت خاک، بر روی فرسایش‌پذیری خاک نیز مؤثر است و نقش مهمی در احداث زیرساخت‌ها و توسعه حمل و نقل دریایی در مناطق ساحلی دارد [۱۳].

تهیه نقشه‌های جنس بستر در نواحی ساحلی با هدف کسب اطلاعات بیشتر در راستای انجام فعالیتهایی نظیر کشتیرانی، لایروبی، لوله و کابل‌گذاری، تعیین نقاط پرخطر ساحلی، مطالعات هیدرولوژیکی، اطلاع از زیستگاه‌های دریایی، به‌منظور به‌کارگیری در عملیات دریایی، نظامی، محیط زیستی و مهندسی ضروری است [۱۶]. با این حال به دلیل هزینه‌های سنگین و نبود تجهیزات لازم، صدها هزار کیلومتر از سواحل دریاهای جهان فاقد اطلاعات دقیقی از جنس بستر هستند. بدین منظور در مطالعه حاضر به نقشه‌سازی جنس بستر مناطق ساحلی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور ماهواره‌ای پرداخته شد.

فرآیندهای جریانی و همچنین باد و مسیل‌های طغیانی با مخاطرات متعددی روبرو بوده و این فرآیندها نیز در تغییر و تحول اشکال و لندفرم‌های منطقه مؤثر می‌باشند [۱۸]. با توجه به اشکال و لندفرم‌های متفاوت، وجود فرآیندهای جریانی آبی و بادی ملموس، همچنین جاذبه‌های متعدد و بکر بودن این نواحی، اهمیت و ضرورت پژوهش حاضر را دوچندان می‌کند. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

روش بررسی تصاویر چندطیفی ماهواره‌ای Sentinel2

در این مطالعه از تصاویر چند طیفی Sentinel2 (MSI) به‌عنوان بهترین مجموعه داده‌های چندطیفی در دسترس و رایگان برای استخراج نقشه‌های جنس بستر مناطق ساحلی استفاده شد. ماهواره Sentinel2 یکی از ماهواره‌های سری Sentinel است که توسط اتحادیه اروپا توسعه داده شده است. این ماهواره در سال ۲۰۱۵ پرتاب شد و شامل یک دستگاه تصویربرداری چندطیفی با قابلیت تصویربرداری در ۱۳ باند مختلف است (جدول ۱). هدف اصلی Sentinel2، تصویربرداری از سطح زمین با کیفیت و دقت بالا در دو موج تابشی (مرئی و فرابنفش) و تحلیل تغییرات سطح زمین در طول زمان است. این تصاویر دارای توان تفکیک مکانی متغیر بین ۱۰ تا ۶۰ متر و شامل ۱۳ باند (۴۴۳/۰-۱۹۰/۲ μm) در محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز با طول موج کوتاه می‌باشند. علاوه بر این، Sentinel2 دارای عرض برداشت ۲۹۰ کیلومتر و توان تفکیک زمانی ۵ روز در استوا است.

میچونوویچ و همکاران [۱۲] نیز به مطالعه کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور برای نقشه‌برداری مورفولوژی ساحل در جزیره هوار پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مناطق ساحلی کوچکتر با خطاهای بالاتری همراه بوده و علاوه بر این، پیچیدگی مورفولوژیک ساحل نیز می‌تواند بر دقت اندازه‌گیری تأثیرگذار باشد. سالامه و همکاران توپوگرافی و جنس مناطق ساحلی را با استفاده از داده‌های سنجش از دوری مورد پایش قرار دادند. مطابق نتایج اطلاعات دقیق از شرایط مورفولوژیک و جنس بستر سواحل می‌تواند کنترل توسعه فعالیت‌های انسانی و تغییرات شرایط اقلیمی در این مناطق کمک نماید.

مطابق مطالعات صورت گرفته، بررسی جنس بستر با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری روشی کارآمد در نواحی ساحلی می‌باشد و می‌تواند امکان کسب نتایجی با دقتی بالا و هزینه کم را فراهم آورد. در این راستا، در مطالعه حاضر به نقشه‌سازی جنس بستر نوار ساحلی جنوب ایران (خلیج فارس و دریای عمان) پرداخته شد. به‌طور کلی فرآیند نقشه‌سازی بستر در این مطالعه با هدف کسب اطلاعات بیشتر از جنس و ترکیبات تشکیل دهنده ساحل با استفاده از تصاویر سنتیل ۲ و سامانه تحت وب گوگل ارث انجین (GEE) در این مناطق صورت گرفت.

نوار ساحلی جنوب ایران به‌دلیل موقعیت استراتژیک و سیاسی خود از امکانات و تأسیسات مختلفی برخوردار است، از این‌رو، برای توسعه این امکانات و افزایش زیرساخت‌ها، اطلاعات و نقشه‌سازی جنس بستر از این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی، اطلاعات جنس بستر ساحل نه تنها برای توسعه زیرساخت‌ها و ناوبری ایمن دریایی بلکه برای مدیریت و پایش نیز بسیار مهم و کاربردی است. به همین دلیل بررسی جنس بستر سواحل با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور نقش مهمی در پایش، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از این محدوده‌ها و انجام مطالعات بر روی فرآیندهای ساحلی دارد. این مطالعه تکمیل‌کننده سایر مطالعات در راستای تحلیل جنس بستر در مناطق ساحلی-دریایی می‌باشد. از آنجایی که آب‌های خلیج فارس گل‌آلود و با جزر و مد همراه است، بررسی جنس بستر و نقشه‌برداری در چنین شرایطی با دشواری و عدم دقت همراه است که باید در مطالعات مورد توجه قرار گیرد. از این‌رو، در مطالعه حاضر به اعتبارسنجی نتایج به‌دست آمده با اطلاعات موجود در طرح ICZM نیز پرداخته شد.

روش‌شناسی

محدوده مورد مطالعه

در مطالعه حاضر، بستر سواحل جنوب ایران (خلیج فارس و دریای عمان) به‌عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب و به تهیه نقشه جنس بستر سواحل در این مناطق اقدام شد. نوار ساحلی جنوب ایران با ۴۵۰۰ کیلومتر طول (با احتساب جزایر)، ۲۳ شهرستان در بلافاصل دریای عمان و خلیج فارس، چهار استان سیستان و بلوچستان، هرمزگان، خوزستان و بوشهر را در برمی‌گیرد. محدوده مورد مطالعه دارای میانگین بارش ۱۴۶ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد است [۶]. از نظر شرایط زمین‌شناسی،

روش های درون یابی از جمله کریجینگ، نزدیک ترین همسایگی و معکوس فاصله تکنیک های هستند که در تهیه نقشه های بافت خاک از کاربرد بالایی برخوردار هستند و در اکثر مطالعات نیز استفاده می شوند [۸، ۲].

به طور مثال ولتز و وبستر مقدار رس خاک را بر اساس روش کریجینگ و روش اسپلین با استفاده از داده های میدانی جمع آوری شده از ۱۷۵ نقطه و نمونه برداری در شبکه های ۱۰۰*۱۰۰ متری پیش بینی کردند. آن ها بیان کردند که روش های درون یابی با ترکیب اطلاعات طبقه بندی خاک می تواند در مقایسه با نقشه های تهیه شده از طبقه بندی خاک در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از صحت و دقت بالایی برخوردار باشد. با این وجود از معایب روش های درون یابی می توان به نیاز بالای داده ها در این روش نیز اشاره کرد [۱۸].

اگرچه صحت نقشه های خاک ممکن است با افزایش داده های نقطه ای بیشتر شود اما باید اذعان داشت که مطالعات میدانی خاک پرهزینه و زمان بر است. با توجه به تغییرات مکانی بالای خصوصیات خاک، تهیه نقشه هایی با صحت و دقت بالا نیازمند تعداد نقاط نمونه برداری بیشتری می باشد. علاوه بر این، صحت نقشه های تهیه شده متأثر از کیفیت داده های جمع آوری شده و همچنین تجربه صحرایی فردی نیز می باشد. بنابراین، برای تولید نقشه های بافت خاک و جنس بستر سواحل، استفاده از روش های کارآمد و با صحت بالا به صرفه تر و منطقی تر می باشد. از این رو، تکنیک های مبتنی بر سنجش از دور ماهواره ای در مقایسه با روش های میدانی به دلیل استفاده عملیاتی آسان، دقت مناسب و پوشش مکانی گسترده از اهمیت و کاربرد بالایی برخوردارند.

تهیه نقشه خاک

در مطالعه حاضر به منظور استخراج جنس بستر سواحل به تفسیر تصاویر Sentinel2 در سامانه تحت وب GEE پرداخته شد. بدین ترتیب باندهای آبی (Band2)، سبز (Band3)، قرمز (Band4)، مادون قرمز نزدیک (Band8) و مادون قرمز طول موج کوتاه (Band11 و Band12) به دلیل میانگین بازتاب بالا در تمایز کلاس های بافت خاک، مورد انتخاب و بررسی قرار گرفتند [۱۸، ۲۲].

محاسبه شاخص های طیفی

در این مطالعه به منظور تمایز بهتر کلاس های بافت خاک از تصاویر تهیه شده و همچنین تفکیک خاک از پارامترهای آب و پوشش گیاهی به محاسبه شاخص های طیفی نرمال شده تفاوت پهنه های آبی (NDWI)، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص نرمال شده تفاوت خاک (NDSI) و در نهایت شاخص پوشش گیاهی تنظیم خاک (SAVI) پرداخته شد (رابطه های ۱ تا ۴).

شاخص نرمال شده تفاوت پهنه های آبی (NDWI)

جدول ۱- خصوصیات ماهواره Sentinel2

شماره باند	شرح باند	طول موج (μm)	قدرت تفکیک مکانی (m)
باند ۱	Ultra-Blue (Costal and Aerosol)	۰/۴۴۳	۶۰
باند ۲	Blue	۰/۴۹۰	۱۰
باند ۳	Green	۰/۵۶۰	۱۰
باند ۴	Red	۰/۶۶۵	۱۰
باند ۵	Visible and Near Infrared (VNIR)	۰/۷۰۵	۲۰
باند ۶	Visible and Near Infrared (VNIR)	۰/۷۴۰	۲۰
باند ۷	Visible and Near Infrared (VNIR)	۰/۷۸۳	۲۰
باند ۸	Visible and Near Infrared (VNIR)	۰/۸۴۲	۱۰
باند ۸a	Visible and Near Infrared (VNIR)	۰/۸۶۵	۲۰
باند ۹	Short Wave Infrared (SWIR)	۰/۹۴۵	۶۰
باند ۱۰	Short Wave Infrared (SWIR)	۱/۳۷۵	۶۰
باند ۱۱	Short Wave Infrared (SWIR)	۱/۶۱۰	۲۰
باند ۱۲	Short Wave Infrared (SWIR)	۲/۱۹۰	۲۰

در این مطالعه، علاوه بر تصاویر Sentinel2 از تصاویر بافت خاک طبقه بندی شده بر اساس استاندارد سیستم USDA نیز استفاده شد (OpenLandMap.org). طبقات خاک در این استاندارد شامل کلاس های خاک در عمق های مختلف (شامل ۰، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی متری) و توان تفکیک ۲۵۰ متری می باشد که در این مطالعه در سطح پیکسل های ۱۰*۱۰ متری تصاویر Sentinel2 مورد نقشه سازی قرار گرفت.

به طور کلی روش های نقشه سازی بافت خاک و جنس بستر سواحل به دو روش لمسی و آزمایشگاهی (غریب گری و رسوب گذاری) انجام می شود (United States Division of Soil Survey, 2018). در این میان، روش لمسی از دقت کافی برخوردار نمی باشد و روش آزمایشگاهی نیز مستلزم صرف زمان و هزینه بالایی است.

در مطالعات صحرایی شناسایی خاک، از روش های آزمایشگاهی برای به دست آوردن خصوصیات خاک، هم چون بافت خاک استفاده می شود که معمولاً در این روش، داده های نقطه ای برای ایجاد نقشه های خاک درون یابی می شوند [۲].

^۱ - Narrow Near Infrared (for classifying vegetation.)

شاخص پوشش گیاهی تنظیم خاک (SAVI)

کاربرد این شاخص برای به حداقل رساندن تأثیر روشنایی خاک از روی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. اثر خاک در شاخص SAVI با پارامتری به اسم L مشخص می‌شود و برای پوشش‌های گیاهی ضعیف این مقدار صفر است که در این صورت این شاخص با شاخص NDVI برابر می‌باشد و برای پوشش‌های گیاهی غنی مقدار این شاخص برابر با عدد ۱ بوده و به صورت پیش فرض معادل با عدد ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. شاخص SAVI از باندهای مادون قرمز و قرمز برای شناسایی پوشش گیاهی استفاده می‌کند (رابطه ۴). در واقع این شاخص، برای تصحیح شاخص NDVI و تأثیر روشنایی خاک در مناطقی که پوشش رویشی کم است، محاسبه می‌شود و تأثیرات روشنایی خاک بر طیف باندهای قرمز و مادون قرمز را به حداقل می‌رساند.

مطابق رابطه فوق، L فاکتور تصحیح روشنایی خاک است که مقادیر آن از صفر برای مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف، ۰/۵ برای مناطقی با پوشش گیاهی متوسط و ۱ برای مناطقی با پوشش گیاهی بالا در نظر گرفته می‌شود. همچنین L+1 نشان‌دهنده تغییرات شاخص پوشش گیاهی از -۱ تا +۱ می‌باشد.

$$NDSI = ((SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)) \quad (3)$$

نمونه‌برداری از طبقات تیپ خاک

در مطالعه حاضر به منظور شناسایی جنس بستر سواحل به نمونه‌برداری از تیپ خاک بر اساس استاندارد طبقه‌بندی آمریکا USDA در مقیاس تصاویر Sentinel2 اقدام گردید. بدین ترتیب طبقات بافت خاک مطابق با مثلث بافت خاک (شکل ۲) با استفاده از روش قراردادی و پیشنهادی وزارت کشاورزی آمریکا (USDA)، طبقه‌بندی شد. این سیستم طبقه‌بندی بر پایه حدود اندازه ذرات به شرح زیر می‌باشد:

- ماسه: قطر ذرات بین ۲ تا ۰/۵ میلی‌متر
- سیلت: قطر ذرات بین ۰/۵ تا ۰/۲۰۰ میلی‌متر
- رس: قطر ذرات کوچکتر از ۰/۲۰۰ میلی‌متر

$$SAVI = \left\{ \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \right\} (1 + L) \quad (4)$$

علاوه بر طبقات فوق، خاک لومی خاکی است متشکل از ماسه، سیلت و رس به نسبت‌های تقریباً ۴۰-۲۰-۴۰ درصد ماسه، ۴۰ درصد سیلت و ۲۰ درصد رس) که در طبقه‌بندی بافت خاک قابل مشاهده است. لوم به طور طبیعی دارای مواد مغذی و هوموس بیشتری از خاک‌های ماسه‌ای می‌باشد و همچنین از نفوذپذیری و زهکشی بالاتری نیز برخوردار است. لازم به ذکر است که در طبقه‌بندی‌های بافت خاک، ابتدا نام گروه اصلی و بعد نام گروه فرعی ذکر می‌شود، به طور مثال می‌توان به رسی-شنی، رسی-سیلتي، سیلتي-لومی و ... اشاره کرد.

شاخص NDWI برای استخراج پهنه‌های آبی از سایر پهنه‌های غیرآبی بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. این شاخص از باند سبز مرئی و باند مادون قرمز نزدیک برای بازسازی پهنه‌های آبی و حذف پوشش‌های گیاهی و خاک استفاده می‌کند. دامنه تغییرات این شاخص بین +۱ و -۱ قرار دارد که هر چه ارزش پیکسل به +۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وجود پهنه‌های آبی و هر چه به -۱ نزدیک‌تر باشد حاکی از وجود پهنه‌های غیرآبی است. برای محاسبه این شاخص می‌توان از رابطه ۱، استفاده نمود [۲۱]. با توجه به این که در مطالعه حاضر، تصاویر مورد استفاده شامل مجموعه تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 می‌باشد، در رابطه زیر باند سبز مرئی معادل باند ۳ و باند مادون قرمز نزدیک معادل باند ۸ است.

$$NDWI = \frac{(G - NIR)}{(G + NIR)} \quad (1)$$

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)

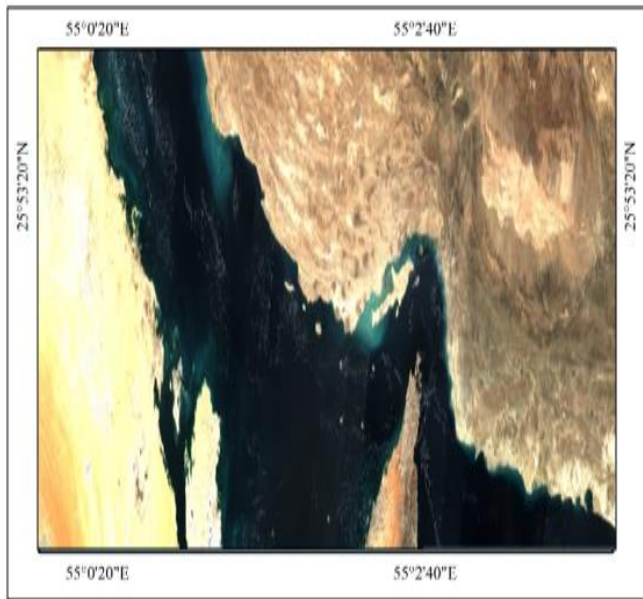
شاخص NDVI یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌ها برای بازسازی پوشش گیاهی است [۸]. این شاخص مقادیر نرمال شده بین -۱ و +۱ را شامل می‌شود، به طوری که مناطقی با پوشش گیاهی متراکم به دلیل انعکاس نسبتاً بالایی در محدوده مادون قرمز نزدیک و انعکاس کم در محدوده قرمز مرئی، از مقادیر بالای NDVI برخوردارند. این شاخص از طریق رابطه ۲ قابل محاسبه است. در این رابطه، R و NIR به ترتیب موج‌های قرمز مرئی و مادون قرمز نزدیک است [۱۴].

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (2)$$

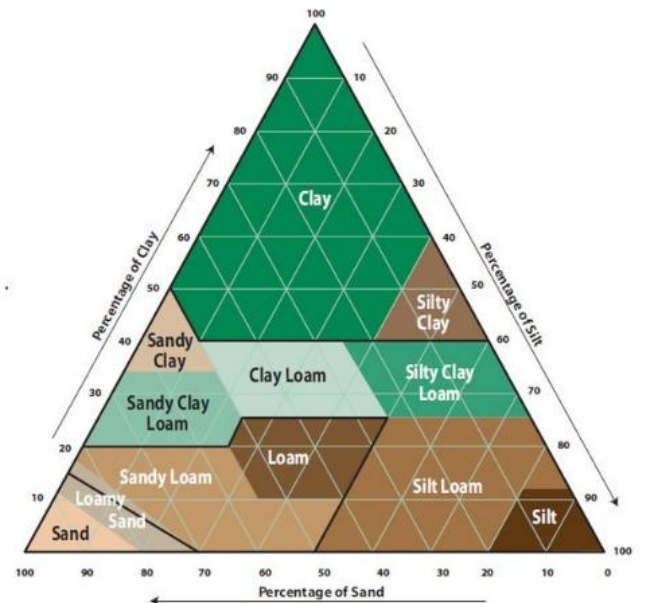
شاخص نرمال شده تفاوت خاک (NDSI)

از این شاخص به منظور تفکیک بافت خاک بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. شاخص NDSI بر روی طول موج‌های "NIR" و "SWIR" (باندهای 'B8' و 'B11') قابل اجرا است و از طریق رابطه ۳ نیز محاسبه می‌شود. در پهنه‌های بافت خاک با افزایش طول موج میزان انعکاس بیشتر می‌شود. در واقع با افزایش طول موج میزان بازتاب از سطح خاک نیز افزایشی خواهد بود، اما نکته مهم داشتن نقاط جذب در محدوده طول موج کوتاه یا SWIR است.

به طور کلی خاک در مقایسه با سایر پدیده‌ها از یک رفتار طیفی بدون نوسان و یا کم نوسان برخوردار است. رفتار طیفی خاک یک روند لگاریتمی را نشان می‌دهد که از طول موج کوتاه به سمت طول موج بلند بر میزان بازتاب‌های آن افزوده می‌شود. به عبارت دیگر هر چه از محدوده باند آبی (Blue) به سمت باند مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR) حرکت می‌کنیم بر میزان بازتاب امواج افزوده می‌شود. روند افزایشی با افزایش طول موج همچنان ادامه دارد تا جایی که در محدوده مادون قرمز نزدیک یک کانون جذبی کوچک ایجاد می‌شود که ناشی از رطوبت موجود در خاک است و پس از آن مجدداً روند افزایشی ادامه می‌یابد.



شکل ۳- تصویر Sentinel2 از محدوده مورد مطالعه



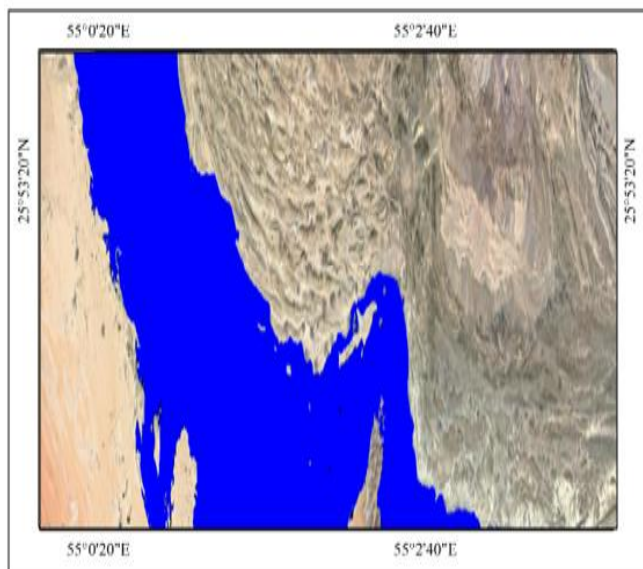
شکل ۲- نمودار مثلث بافت خاک

یافته‌ها و نتایج

فرآیند بررسی جنس بستر مناطق ساحلی

در نقطه شروع، مرز منطقه مورد مطالعه در سامانه GEE مشخص گردید و پس از اعمال ماسک و حذف پوشش ابر بر روی تصاویر Sentinel2، تصویر محدوده مطالعاتی مطابق شکل ۳ به نمایش گذاشته شد. در ادامه به محاسبه شاخص NDWI مطابق شکل ۴ اقدام گردید و پس از اعمال این شاخص بر روی باندهای 'B3' و 'B8'، تصویر تک باندی به صورت باینری ایجاد شد که در نهایت با سایر باندهای تصویر ادغام گردید. در این مطالعه از شاخص NDVI نیز به منظور تفکیک دقیق خاک و پوشش‌های گیاهی پرداخته شد. بدین ترتیب به اعمال این شاخص بر روی باندهای 'B4' و 'B8' اقدام گردید و تصویری مطابق شکل ۵ تهیه شد (به منظور تمایز بهتر بر روی منطقه حفاظت شده حرا که برخوردار از پوشش‌های غالب مانگرو، پهنه آبی و خاک است بزرگنمایی شد).

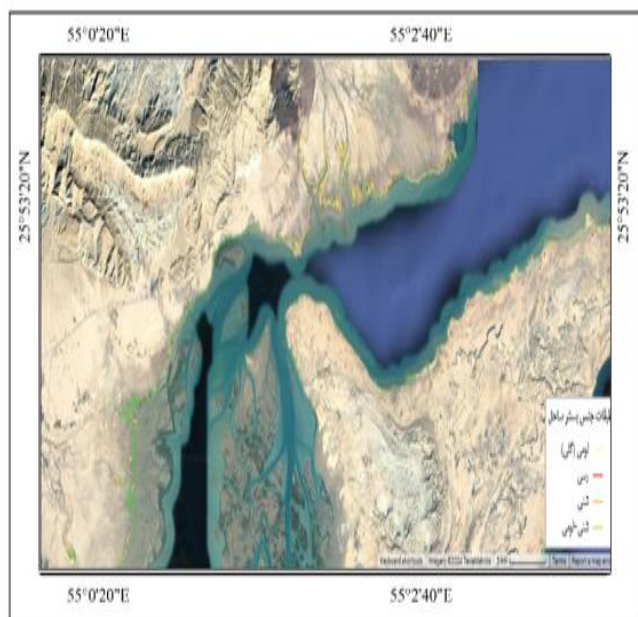
سپس با اعمال ماسک و تعیین حد آستانه به تفکیک پوشش‌های گیاهی در منطقه پرداخته شد. سپس شاخص NDSI نیز به منظور تفکیک خاک از سایر باندها مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص بر روی باندهای 'B8' و 'B11' به ترتیب بر روی طول موج‌های "NIR" و "SWIR" اعمال گردید و مطابق شکل ۶ تصویری از پهنه‌های خاکی به نمایش گذاشته شد. پس از اعمال شاخص NDSI، در این مرحله به منظور به حداقل رساندن تأثیر روشنایی خاک بر روی تصاویر به محاسبه شاخص SAVI بر روی باندهای 'B4' و 'B8'، پرداخته شد (شکل ۷).



شکل ۴- تصویری از شاخص NDWI محاسبه شده بر روی تصاویر Sentinel2

نمونه برداری و طبقه بندی جنس بستر سواحل بر اساس طبقات USDA

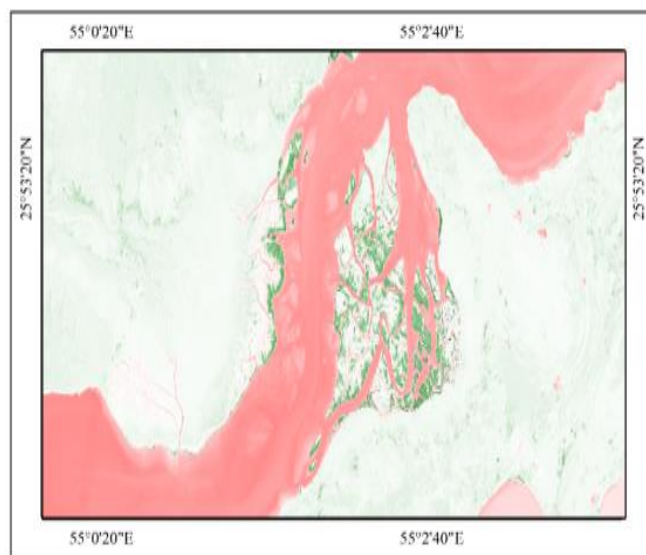
پس از اعمال شاخص های طیفی فوق و تفکیک پهنه های خاک از روی تصاویر Sentinel2 به طبقه بندی جنس بستر سواحل بر اساس تصاویر تیپ خاک طبقه بندی شده (Soil Texture Class USDA) مطابق مثلث بافت خاک و استاندارد USDA پرداخته شد. در این مرحله جنس بستر سواحل با استفاده از تصاویر Sentinel2 و بر اساس طبقه بندی USDA، شناسایی و مطابق شکل ۸ نمایش داده شد.



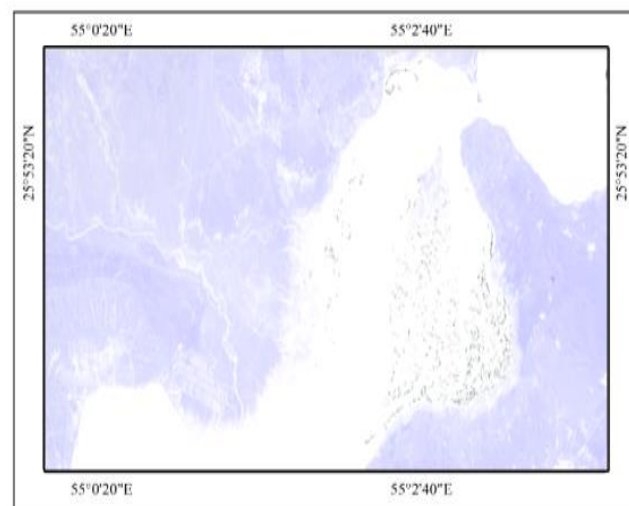
شکل ۸- تصویری از جنس بستر ساحل بر اساس طبقه بندی USDA

اعتبارسنجی

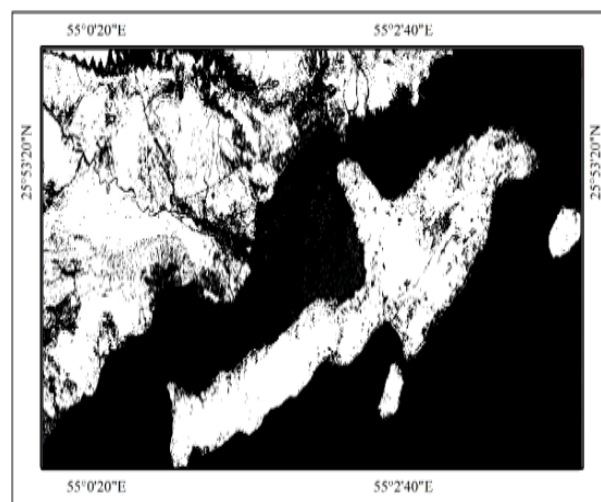
به منظور سنجش میزان صحت طبقه بندی جنس بستر سواحل به دست آمده از تصاویر Sentinel2 و براساس طبقه بندی USDA، به مقایسه این تصاویر با داده های میدانی (مشاهدات واقعی) جنس بستر در مطالعات ICZM نیز پرداخته شد (شکل ۹). نتایج به دست آمده حاکی از آن است که طبقه بندی حاصل شده در مقایسه با داده های موجود، از مطابقت و دقت بالایی برخوردار است



شکل ۵- تصویری از شاخص NDVI محاسبه شده بر روی تصاویر Sentinel2



شکل ۶- تصویری از شاخص NDSI محاسبه شده بر روی تصاویر Sentinel2

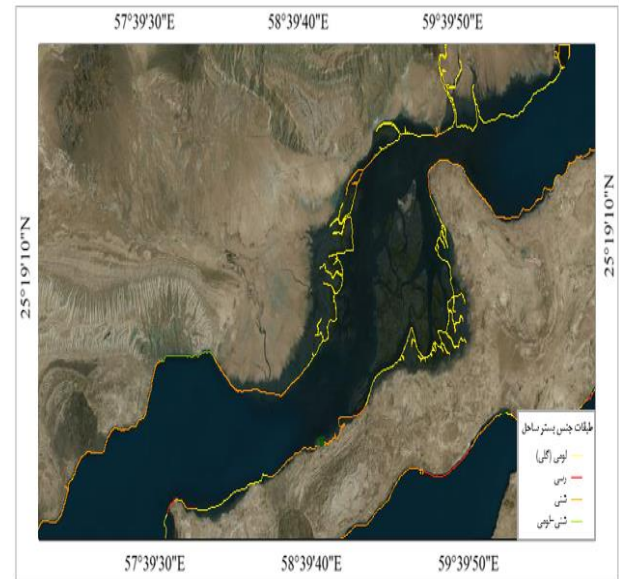


شکل ۷- تصویری از شاخص SAVI محاسبه شده بر روی تصاویر Sentinel2

(مشاهدات واقعی) جنس بستر در مطالعات ICZM حاکی از آن است که طبقه‌بندی حاصل شده در مقایسه با داده‌های موجود، از مطابقت و دقت بالایی برخوردار است. از این رو می‌توان از این تکنیک برای سایر مناطق ساحلی هدف به منظور پایش جنس بستر ساحل بهره گرفت. در مطالعه پنا-رگبرو و همکاران [۱۵] نیز به صحت این نتایج اشاره شده است.

به‌طور کلی فرآیند شناسایی و بررسی جنس بستر سواحل با استفاده از تکنیک‌های سنجش از راه دور و به‌ویژه تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2، به دلیل کارایی بالا و هزینه کم، چشم‌انداز گسترده‌ای را در مناطق ساحلی فراهم کرده است و مورد توجه بسیاری از محققان در زمینه مطالعات دریایی، نظامی، زمین‌شناسی و محیطی زیستی قرار گرفته است. بدین ترتیب با انتخاب مناسب تصاویر و بررسی شرایط جغرافیایی موجود در منطقه می‌توان به تفکیک دقیق تیپ‌های بستر ساحلی با جنس‌های مختلف پرداخت. این تکنیک با توجه به کم بودن تعداد پارامترهای مورد بررسی، از انعطاف‌پذیری بالایی نسبت به تغییرات بستر برخوردار است و برخلاف سایر روش‌ها و مدل‌ها مستلزم دسترسی به داده‌های انعکاسی با بازتاب بالا نمی‌باشد و از این رو می‌تواند به‌عنوان روشی کارآمد در فرآیند نقشه‌سازی جنس بستر در سایر جزایر و مناطق ساحلی هدف مورد استفاده قرار گیرد. نتایج مطالعه یوان و همکاران [۲۵] نیز نشان داد که ابزار سنجش از راه دور اخیراً به عنوان منابع داده قابل اعتماد و ارزانی ظاهر شده‌اند که می‌توانند برای برآورد تغییرات نواحی ساحلی اعم از سطح تراز، فرسایش و ترکیبات تشکیل دهنده آن استفاده شود. لو و همکاران [۱۱] نیز بیان کردند که جنس بستر سواحل برای درک دینامیک تغییرات نواحی ساحلی ضروری هستند، با این حال روش‌های سنتی جمع آوری داده‌ها اغلب توسط چالش‌های لجستیکی و هزینه‌های بالا محدود می‌شوند. از این رو، در نقشه‌سازی جنس بستر، به‌کارگیری تصاویر طیفی چندگانه و با قدرت تفکیک مکانی بالا از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. دویودی و همکاران [۴] بر ضرورت استخراج و ادغام اطلاعات از همه حسگرهای موجود برای نقشه‌برداری کامل از زیستگاه‌های ژئومورفولوژیکی و دریایی که از استراتژی‌های مدیریت پایدار ساحلی پشتیبانی می‌کند، تأکید کردند. آن‌ها بیان کردند که طبقه‌بندی بستر سواحل می‌تواند اطلاعات دقیقی از جنس و ترکیبات تشکیل دهنده سطح آن جهت هر گونه بهره‌برداری و توسعه زیرساخت‌ها در این نواحی فراهم سازد.

تصحیحات بازتاب اتمسفری و بهره‌گیری از شاخص‌های طیفی فرآیندهای مهمی می‌باشند که نقشه‌سازی مناطق ساحلی را قابل اطمینان‌تر می‌سازند. براین اساس، تکنیک‌های سنجش از راه دور و شاخص‌های طیفی روش مناسبی برای شناسایی جنس بستر سواحل با وضوح فضایی بالا و پوششی گسترده در سطح جزایر و به‌ویژه مناطق ساحلی می‌باشد. در این راستا پیشنهاد می‌شود که در نقشه‌سازی از سایر الگوریتم‌ها و روش‌ها خودکار و همچنین نقشه‌های خاک نیز استفاده شود. مطالعات آتی باید در جهت بهبود دقت نتایج شامل افزودن تصاویری با کیفیت بالا از منابع دیگر، یکپارچه‌سازی و بهبود شاخص‌های استفاده شده و بهینه‌سازی فرآیند ادغام مانند انتخاب پیکسل و برازش آن‌ها صورت گیرد. همچنین در فرآیند



شکل ۹- تصویری از جنس بستر ساحل بر اساس مشاهدات واقعی

نتیجه‌گیری

جنس بستر سواحل در انجام عملیات دریایی و توسعه و استقرار انواع زیرساخت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین در مطالعه حاضر به بررسی جنس بستر سواحل جنوب ایران با استفاده از مجموعه تصاویر Sentinel2 در سامانه GEE پرداخته شد. اندازه پیکسل‌های مورد مطالعه شامل شبکه‌ای ۱۰*۱۰ متری از تصاویر مورد مطالعه می‌باشد که تصاویر نهایی جنس بستر سواحل نیز در همین مقیاس تهیه و به نمایش گذاشته شد.

همان‌طور که نتایج نشان داد، جنس بستر سواحل مورد مطالعه متشکل از چهار طبقه لومی (بسترگلی)، شنی، رسی و شنی-لومی می‌باشد که بیشترین وسعت از گستره آن به طبقه شنی اختصاص یافته است. نتایج به‌دست آمده با توجه به قابلیت تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 در شناسایی جنس بستر سواحل و مطابقت بالای آن در مقایسه با داده‌های میدانی موجود، حاکی از کارآمد بودن این روش برای شناسایی تیپ‌های مختلف جنس بستر سواحل در سایر مناطق هدف است. در این راستا رودریگز-گومز و همکاران [۱۶] و دیماس و همکاران [۳] نیز از تکنیک سنجش از دوری در مطالعات طبقه‌بندی لندفرم‌های مناطق ساحلی استفاده نمودند. آن‌ها بیان کردند که بهره‌گیری از شاخص‌های طیفی و تمایز دقیق پهنه‌های آبی، خاکی و پوشش گیاهی می‌تواند به بازتاب بهتر تصاویر Sentinel2 و تفکیک طبقات جنس خاک کمک نماید. در مطالعه‌ای دیگر کودسین و همکاران [۱۰] نیز با استفاده از داده‌های سنجش از دوری به نقشه‌برداری گونه‌ها، و پوشش علف‌های دریایی در سواحل پرداختند. آن‌ها بیان کردند که نوع تصاویر ماهواره‌ای و دقت آن‌ها می‌تواند بر صحت نتایج به‌دست آمده تأثیرگذار باشد.

سنجش میزان صحت طبقه‌بندی جنس بستر سواحل به‌دست آمده از تصاویر Sentinel2 و طبقه‌بندی USDA، در مقایسه با داده‌های میدانی

تشکر و قدردانی (اختیاری)

این مقاله با همکاری و کمک مالی مرکز مطالعات و پژوهش‌های تخصصی دریایی مد دانش تکمیل شده است (این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان کاربرد سنجش از دور در نقشه‌سازی جنس بستر مناطق ساحلی می‌باشد که به وسیله نویسنده نخست و همکاری نویسنده دوم در این مرکز انجام شده است)

نقشه‌سازی داشتن اطلاعاتی جامع از جنس و مدل‌سازی بستر در آنالیز طیفی داده‌های فضایی، می‌تواند به بهبود نتایجی دقیق کمک نماید.

مشارکت نویسندگان

سهم نویسندگان در نگارش و تدوین مقاله، به‌صورت مشارکتی و همکاری متقابل بوده است.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع

- [7] Ghanvati, E., & Mansouri, R. (2013). Morphological classification of smart coastline towards integrated management of coastal areas (case study: Nowshahr to Babolsar). *Quantitative Geomorphology Research*, 2 (2), 99-118. (Persian)
- [8] Gharib Reza, M. R., Tabatabaei, S. M., Rahmani Jovinani, M., & Masoumi, H. R. (2021). Atlas of classification maps of Bushehr province coasts based on constituent materials. Ministry of Agricultural Jihad. 1-77. (Persian)
- [9] Huntley, B. J. (2023). Soil, water and nutrients. In *Ecology of Angola: Terrestrial biomes and ecoregions* (pp. 127-147). Cham: Springer International Publishing.
- [10] Koedsin, W., Intararuang, W., Ritchie, R. J., & Huete, A. (2016). An integrated field and remote sensing method for mapping seagrass species, cover, and biomass in southern Thailand. *Remote Sensing*, 8(4), 292.
- [11] Lu, Y., Yang, C., & Han, L. (2023). Mapping bedrock with vegetation spectral features using time series Sentinel-2 images. *Geocarto International*, 38(1), 2236574.
- [12] Mićunović, M., Faivre, S., & Gašparović, M. (2021). Assessment of remote sensing techniques applicability for beach morphology mapping: A case study of Hvar Island, Central Adriatic, Croatia. *Journal of marine science and engineering*, 9(12), 1407.
- [13] Nabi-olahi, K., Heydari, A., Taghizadeh Mehrjerdi, R. (2014). Digital mapping of soil texture using tree regression and artificial neural network in the Bijar region of Kurdistan. *Water and Soil*, 28 (5), 1025-1036. (Persian)
- [14] Owens, P. R., & Rutledge, E. M. (2005) Morphology. In: *Encyclopaedia of Soils in the Environment*, Elsevier, pp 511-520.
- [15] Pena-Regueiro, J., Sebastia-Frasquet, M. T., Estornell, J., & Aguilar-Maldonado, J. A. (2020). Sentinel-2 application to the surface characterization of small
- [1] Bryksina, N. A., Fidaev, D. T., Bryksin, V. M., Zhegalina, L. F., & Eroshenko, D. V. (2017). Satellite remote sensing approaches and field measurements to tracking coastline changes of the Sambia Peninsula at the Baltic Sea. *EARSeL eProceedings*, 16(1), 29.
- [2] Dahlet, L. I., Selim, S. A., & van Putten, I. (2023). A review of how we study coastal and marine conflicts: is social science taking a broad enough view? *Maritime Studies*, 22(3), 1-19.
- [3] Dimas, X., Fakiris, E., Christodoulou, D., Georgiou, N., Geraga, M., Papathanasiou, V., & Papatheodorou, G. (2022). Marine priority habitat mapping in a Mediterranean conservation area (Gyaros, South Aegean) through multi-platform marine remote sensing techniques. *Frontiers in Marine Science*, 9, 953462.
- [4] Dwivedi, C. S., Pampattiwar, S. T., Pandey, A. C., Parida, B. R., Mitra, D., & Kumar, N. (2023). Characterization of the Coastal Vulnerability in Different Geological Settings: A Comparative Study on Kerala and Tamil Nadu Coasts Using FuzzyAHP. *Sustainability*, 15(12), 9543.
- [5] Evagorou, E., Hasiotis, T., Petsimeris, I. T., Monioudi, I. N., Andreadis, O. P., Chatzipavlis, A., & Hadjimitsis, D. (2025). A Holistic High-Resolution Remote Sensing Approach for Mapping Coastal Geomorphology and Marine Habitats. *Remote Sensing*, 17(8), 1437.
- [6] Garmaeepour, R., Danekar, A., Sobhani, P., Alambeigi, A., & Alizadeh Shabani, A. (2025). Spatio-temporal characteristics of climatic comfort over coastal areas of southern Iran. *Nivar*, 49(128-129), 113-132. (Persian)

- 65-110. (Persian)
- [21] Traganos, D., Poursanidis, D., Aggarwal, B., Chrysoulakis, N., and Reinartz, P. (2018). Estimating satellite-derived bathymetry (SDB) with the google earth engine and sentinel-2. *Remote Sensing*, 10(6), 859.
- [22] Van Dyke, J. M. (2004). Military ships and planes operating in the exclusive economic zone of another country. *Marine Policy*, 28(1), 29-39.
- [23] Viaña-Borja, S. P., Fernández-Mora, A., Stumpf, R. P., Navarro, G., and Caballero, I. (2023). Semi-automated bathymetry using Sentinel-2 for coastal monitoring in the Western Mediterranean. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 120, 103328.
- [24] Yu, H., Kong, B., Wang, Q., Liu, X., & Liu, X. (2020). Hyperspectral remote sensing applications in soil: a review. *Hyperspectral Remote Sensing*, 269-291.
- [25] Yuan, R., Kennedy, D. M., Stephenson, W. J., & Finlayson, B. L. (2022). The precision and accuracy of measuring micro-scale erosion on shore platforms. *Marine geology*, 443, 106691.
- water bodies in Wetlands. *Water*, 12(5), 1487.
- [16] Rodriguez-Gomez, C., Kereszturi, G., Reeves, R., Rae, A., Pullanagari, R., Jeyakumar, P., & Procter, J. (2021). Lithological mapping of Waiotapu Geothermal Field (New Zealand) using hyperspectral and thermal remote sensing and ground exploration techniques. *Geothermics*, 96, 102195.
- [17] Salameh, E., Frappart, F., Almar, R., Baptista, P., Heygster, G., Lubac, B., & Laignel, B. (2019). Monitoring beach topography and nearshore bathymetry using spaceborne remote sensing: A review. *Remote Sensing*, 11(19), 2212.
- [18] Sobhani, P., & Danehkar, A. (2023). Natural features and management areas of Khamir and Gheshm mangrove forests. *Iran Nature*, 8(4), 97-112. (Persian)
- [19] Sobhani, P., & Danehkar, A. (2024/a). Modeling and predicting land use changes using a combined CA-ANN model in the mangrove forests of Khamir and Qeshm. *Remote Sensing and GIS of Iran*, 16 (4), pp. 95-114. (Persian)
- [20] Sobhani, P., & Danehkar, A. (2024/b). Identifying recreational activities and investigating location indicators for nature tourism development in Hara Protected Area. *Tourism management studies*, 18(61),

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Sobhani, P., Assistant Professor, Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

✉ sobhani.pa@lu.ac.ir

 [0000-0001-9878-3768](https://orcid.org/0000-0001-9878-3768)

Majidi Nik, P., Ph.D. student of oceanography, Researcher of the Department of Environmental Geography Studies, Madde Danesh Studies Center, Tehran, Iran.

✉ m.majidynik@yahoo.com



این قسمت توسط نشریه تکمیل می گردد:



HOW TO CITE THIS ARTICLE

 <http://doi.org/10.52547/joc.16.61.2>
 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1862-fa.html>
 <https://orcid.org/0000-0001-9878-3768>

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

