ارزیابی قابلیت سامانه‌های تصویربردار ابرطیفی در تهیه نقشه جنس بستر دریا

حسن حسنی مقدم*[۱] ، مسعود اردینی[۲]، عباس بشیری[۳]، حسن طبرسی[۴]

[۱] پژوهشگر ارشد سنجش از دور دانشگاه امام حسین(ع)، h.h.moghaddam@ihu.ac.ir
[۲] کارشناسی ارشد مخابرات دانشگاه شاهد، msdardini@iran.ir
[۳] مربی گروه الکترونیک دانشگاه جامع امام حسین(ع)، kpbashiri@ihu.ac.ir
[۴] کارشناسی ارشد مهندسی برق الکترونیک دانشگاه جامع امام حسین(ع)، kpbashiri@ihu.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

کلمات کلیدی:
جنس بستر دریا
تصویربردار ابرطیفی
کتابخانه طیفی
بازنمونه برداری
منابع آبی

چکیده

منابع آبی به دلیل اهمیتی که به لحاظ محیط‌زیستی و اقتصادی دارند، همواره موردتوجه محققان مختلفی به‌منظور بررسی آن‌ها بوده‌اند. یکی از مشکلات مهم در مطالعات مربوط به منابع آبی، مربوط به مناطق عمیق‌تر و بستر آن‌ها است که به‌آسانی قابل‌دسترسی نیست. در این تحقیق، از تصاویر ابرطیفی زیردریایی دوربین UHI مربوط به عمق ۳۰۰۰ متری اقیانوس آرام به‌منظور تهیه نقشه جنس بستر دریا استفاده گردید. بعد از اعمال پیش‌پردازش‌های لازم، عملیات بازنمونه برداری طیف‌ها به حالت درون آب انجام گرفت. طیف‌های مربوط به ۵ کانی معدنی و یک شی مصنوعی به‌منظور طبقه‌بندی، وارد الگوریتم SAM شد. نتایج این تحقیق به‌صورت یک نقشه از جنس بستر اقیانوس ارائه گردید که بر اساس استاندارد زاویه طیفی و عدد ۰٫۰۵۲۵، ۰٫۰۳۷۴، ۰٫۰۳۸۳، ۰٫۰۴۰۹، ۰٫۰۴۰۸ و ۰٫۰۵۵۰ به‌دست‌آمده به ترتیب برای اکتینوا، پیریت، الیوین، آنتیگور، هومبل و ورق فلزی نشان‌دهنده قابلیت بالای داده‌های ابرطیفی در شناسایی جزئیات مربوط به جنس بستر منابع آبی است.

Evaluation of hyper spectral imagery capabilities in seabed mapping

(Times New Roman 10)

Hasan HasaniMoghaddam[1*], Masoud Ardini[2], Abbas Bashiri[3], Hasan Tabarsi[4]

(Times New Roman 10)

[1] MS Remote sensing researcher of Imam Hossein University, Tehran, Iran; h.h.moghaddam@ihu.ac.ir
[2] MS Telecommunication, Shahed University, Tehran, Iran: msdardini@iran.ir
[3] Instructor of electronic Imam Hossein University, Tehran, Iran; kpbashiri@ihu.ac.ir
[4] MS Electronic Imam Hossein University, Tehran, Iran: htabarsi2022@ihu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 01 Feb 2023
Accepted: 12 Oct 2023
Available online: 13 Nov 2023

Keywords:
Seabed mapping
Hyper spectral imager
Spectral library
Resampling
Water resources

ABSTRACT

Due to their environmental and economic importance, water resources have always been considered by various researchers to study. One of the major problems in water resources studies is the deeper areas, which are not easily accessible. Underwater hyperspectral imaging(UHI) technologies have received a great deal of attention from various organizations and universities due to their ability to take images from deepwater resources. In this study, UHI hyperspectral images related to the depth of 3000 meters of the Pacific Ocean were used to prepare the seabed map. After applying the necessary pre-processing, the spectral resampling operation was performed. The spectra of 5 minerals and one artificial object were entered into the SAM algorithm for classification. The results of this study were presented as a map of the ocean floor, which shows the high ability of hyperspectral data to identify details related to the bed of water resources.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.1.9]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.1]

۱- مقدمه

دریاها و اقیانوس‌ها به‌عنوان یکی از منابع آبی باارزش به لحاظ اقتصادی، اجتماعی، و استراتژیکی برای انسان‌ها محسوب می‌شوند [۱]. مطالعه و بررسی ویژگی‌های مختلف این منابع نیازمند دانش فنی و تخصصی در حوزه‌های کاربردی این منابع است [۲,۳]. با توجه به گستردگی سطحی و تنوع ویژگی‌های عمقی منابع آبی، دسترسی به تمام نقاط آن‌ها و کسب اطلاعات از این مناطق همیشه میسر نبوده و با مخاطره‌هایی همراه است. بستر دریاها و اقیانوس‌ها همیشه به‌عنوان مناطق بکر به لحاظ وجود انواع کانی‌ها و مواد معدنی شناخته می‌شوند که در صورت شناسایی صحیح این پتانسیل‌های طبیعی، می‌توان از آن‌ها بهره‌برداری کرده و منافع عظیم اقتصادی را به دست آورد [۴]. کسب اطلاعات از بستر اقیانوس‌ها نیاز به ادوات و ابزارهای پیشرفته‌ای دارد که با توجه به هزینه‌های زیاد تهیه این ادوات، عموماً شرکت‌های بزرگ و مؤسسات دولتی اقدام به چنین کاوش‌هایی می‌کنند و افراد عادی و پژوهشگران از این امکانات محروم هستند که این خود عاملی در جهت کمبود اطلاعات از بسترهای عمیق اقیانوس‌ها شده است. بر اساس این نیاز جوامع علمی و در طی سال‌های اخیر، فناوری‌های سنجش‌ازدور به‌عنوان یک بازوی کمکی در کسب اطلاعات از سطح، عمق و بستر دریاها و اقیانوس‌ها، به توسعه ابزارهای نوینی که برای این سبک از مطالعات بهینه‌شده، اقدام نموده است [۵و۶]. سنجش‌ازدور، علم، هنر و فن کسب اطلاعات از پدیده‌ها و اشیاء بدون تماس فیزیکی با آن‌ها است. این ویژگی به همراه اخذ اطلاعات در بازه‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی سبب شده تا این علم به‌صورت گسترده در علوم مختلف و ازجمله مطالعات منابع آبی مورداستفاده قرار بگیرد [۷].

فناوری تصویربردار ابرطیفی زیردریایی به‌عنوان یکی از جدیدترین پیشرفت‌ها در حوزه سنجش‌ازدور منابع آبی شناخته می‌شود که می‌تواند با نصب بر روی ربات‌هایی باقابلیت کنترل از راه دور، به درون آب‌رفته و در طیف‌های مختلف الکترومغناطیسی اطلاعات را جمع‌آوری و برای پردازش به کاربران انتقال می‌دهد [۸و۹و۱۰]. این فناوری به دلیل خودکار بودن، بدون نیاز به نیروی انسانی و در عمق‌های خیلی عمیق اقیانوس‌ها نیز می‌تواند فعالیت کرده و اطلاعات مربوط به بستر را جمع‌آوری کند. استفاده از فناوری تصویربرداری ابرطیفی سبب می‌شود تا اطلاعات انعکاسی هر عارضه و پدیده در طیف‌های مختلف الکترومغناطیسی ثبت شود و این خود به جداسازی بهتر اهداف و شناسایی انواع کانی‌ها و مواد معدنی از یکدیگر کمک می‌کند [۱۱]. استفاده از این سامانه در زیرآب دارای برخی مشکلات است که باید قبل از شروع کار در نظر گرفته‌شده و راهکارهایی به‌منظور حذف و یا تقلیل اثرات مخرب بر روی کیفیت تصویربرداری، ارائه شود. اولین چالش مربوط به تاریکی مطلق اعماق آب است که سبب می‌شود تا هیچ‌گونه نوری در محیط وجود نداشته باشد [۱۲]. به‌منظور رفع این مشکل، سامانه‌های ابرطیفی زیرآب به‌صورت فعال طراحی می‌شوند تا به‌وسیله تولید و تابش نور و جمع‌آوری انعکاس‌های بازگشتی بتوانند فرآیند تصویربرداری را انجام دهند [۱۳و۱۴]. چالش دوم، جذب نور توسط آب است. با توجه به اینکه آب به‌عنوان یک جاذب قوی برای طیف‌های الکترومغناطیسی شناخته می‌شود، نمی‌توان در زیرآب از مزیت همه طیف‌های الکترومغناطیسی به‌منظور تصویربرداری استفاده کرد [۱۵]. جذب آب با افزایش طول‌موج بیشتر شده و در ناحیه ۱۰۰۰ نانومتر به صد در صد می‌رسد. با توجه به این مورد، تصویربردارهای ابرطیفی زیرآب عموماً محدوده ۸۰۰ – ۳۸۰ نانومتر را برای تصویربرداری انتخاب می‌کنند [۱۶]. باوجود چالش‌های متعدد استفاده از سامانه‌های ابرطیفی در زیرآب، وجود مزیت‌های فراوان سبب شده است تا به‌عنوان یک راهکار ایدئال برای شناسایی و مطالعات مربوط به بستر دریاها و اقیانوس‌ها در نظر گرفته شود. با توجه به اهمیت استفاده از این سامانه در مطالعات زیرآب، تحقیقات متعددی در این حوزه صورت گرفته است.

جانسون و همکاران [۱۷] در تحقیقی که در دانشگاه NTNU، در کشور نروژ انجام داده‌اند، به معرفی روش‌های تصویربرداری ابرطیفی زیردریایی و کاربردهای آن‌ها پرداخته‌اند. در این تحقیق ابتدا مقدمه‌ای درباره تصویربرداری ابرطیفی زیردریایی ارائه‌شده و در ادامه به معرفی روش‌های استخراج خزه‌ها و جلبک‌ها از تصاویر پرداخته‌شده است. عناصر کلیدی در بهبود کیفیت تصویربرداری نظیر قدرت‌های تفکیک مکانی، طیفی، رادیومتریکی و زمانی موردنیاز جهت بهبود صحت نتایج تشریح و تأثیر هرکدام از این موارد در دوربین‌های مختلف سنجیده شده است. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده قابلیت بالای داده‌های ابرطیفی در تهیه نقشه جنس بستر دریا و شناسایی و جداسازی لوله‌های نفت از شن و جلبک‌های پوشاننده است. ژرستاد [۱۸] تحقیقی با عنوان تصویربرداری ابرطیفی و ارزیابی تأثیر ویژگی‌های ذاتی آب بر روی کیفیت تصاویر انجام داده است. در این تحقیق، اثر آب بر روی رنگ‌های آبی، قرمز و سبز با استفاده از دوربین‌های مختلف و در درون آکواریوم مورد ارزیابی و مقایسه قرارگرفته است. تصویربرداری به‌وسیله دو سنجنده که یکی به‌وسیله غواص حمل می‌شود و دیگری توسط دستگاه خودکار زیردریایی انجام‌گرفته و نتایج نشانگر این موضوع بود که در هنگام استفاده از دوربین، فاصله کانونی نقش بسیار مهمی در شناسایی اهداف دارد به‌طوری‌که در فاصله کانونی زیاد، اهداف با اندازه کوچک‌تر از ۰,۵ سانتی‌متر در ۰,۳ متری قابلیت شناسایی ندارند. همچنین نتایج

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.1.9]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.1]

تحقیق نشان داد که منابع نور مختلف بر پایه دمای نور و زاویه انتشار، نتایج متفاوتی در هنگام تصویربرداری دارند و نتایج متفاوتی به دست می‌دهند. در میان نورهای مورداستفاده(LED, Xenon, Blitz)، نور Blitz، عملکرد بهتری داشته و بیشترین میزان صحت را ارائه داده است و پیشنهادشده جهت تصویربرداری زیردریایی از این منبع نور استفاده گردد. فارستی و جنتیلی [۱۹] به ارائه یک روش مبتنی بر بینایی ماشین جهت آشکارسازی اهداف از تصاویر زیردریایی اقدام نموده‌اند. روش ارائه‌شده قابلیت شناسایی خودکار لوله‌های موجود در کف دریا و همچنین برخی اشیا متصل به این لوله‌ها مثل سه‌پایه‌ها را دارا بوده است. در این تحقیق به‌منظور غلبه بر مشکل تضعیف نور در درون آب، از روش‌های جبران رنگی استفاده گرده است تا صحنه موردنظر به‌منظور پردازش دارای حداقل روشنایی موردنیاز باشد. در این تحقیق به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر اخذشده، از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده‌شده جهت افزایش صحت، از ویژگی‌های هندسی اهداف نیز استفاده گردید که نتایج نشان‌دهنده قابلیت بالای تصاویر ابرطیفی در شناسایی پدیده‌های موجود در بستر دریا است. دوا کروپا و همکاران [۲۰] تحقیقی با عنوان استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری ابرطیفی زیردریایی جهت تهیه نقشه کف دریا در دانشگاه SRM، هندوستان انجام داده‌اند. در این تحقیق ابتدا به بررسی مشکلات مربوط به نقشه‌برداری سنتی از زیردریا پرداخته و اهمیت استفاده از سیستم‌های ابرطیفی برای این منظور تشریح گردیده است. در سیستم‌های ابرطیفی، به دلیل تصویربرداری از اهداف در طول‌موج‌های مختلف، قابلیت شناسایی اهداف بالا می‌رود. این سیستم‌ها در هنگام تصویربرداری از زیردریا، تفاوت‌های بسیار اندک میان انواع اهداف را شناسایی کرده و قدرت شناسایی آن‌ها را افزایش می‌دهد. به دلیل تضعیف نور در آب، در هنگام تصویربرداری با این سیستم‌ها نیاز به یک منبع نور مصنوعی می‌باشد. حساسیت بالای این سیستم‌ها نسبت به تغییرات طیفی انواع اهداف، موجب برتری آن نسبت به دیگر روش‌های تصویربرداری زیردریایی شده است. علاوه بر این، مناسب‌ترین سیستم جهت شناسایی جزئیات پدیده‌های دون آب، سیستم‌های مبتنی بر تصویربرداری ابرطیفی است که نسبت به سیستم‌هایی نظیر سونار که کلیت اهداف را تشخیص می‌دهند، عملکرد بهتری دارند. چالش اساسی در این تحقیق، مسئله اثر لایه‌های آب بر روی طیف الکترومغناطیسی بوده است که سعی در به حداقل رساندن این اثر شده است. روش‌های مختلف و الگوریتم‌های مختلف مورداستفاده نشان داده است که این الگوریتم‌ها فقط می‌توانند اثر آب را تقلیل دهند و نمی‌توانند این اثر را حذف کنند. همچنین نتایج نشانگر قابلیت بالای تصاویر ابرطیفی زیردریایی در تهیه نقشه کف دریا برای اهداف نظامی(اهداف استتار شده در کف دریا)، و غیرنظامی(مطالعات زیستی)، بوده است.

هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی قابلیت سامانه‌های ابرطیفی در تهیه نقشه بستر دریا است. برای این منظور از تصاویر ابرطیفی مربوط به عمق ۳۰۰۰ متری اقیانوس آرام استفاده‌شده است. بازنمونه برداری‌های طیفی انجام‌گرفته در این تحقیق یکی از نوآوری‌های مهم آن محسوب می‌شود که توانسته طیف‌های پدیده‌های خارج از آب را به طیف‌های همان پدیده‌ها درون آب، بازنمونه برداری کند. بر این اساس، با استفاده از طیف‌های بازنمونه برداری شده و تصاویر ابرطیفی، نقشه جنس بستر اقیانوس تهیه گردیده است.

۲- منطقه موردمطالعه

با توجه به اینکه داده‌های ابرطیفی زیردریایی به‌صورت عمومی در دسترس نیستند و نمی‌توان از هر منطقه دلخواهی این نوع از داده‌ها را به دست آورد، در این تحقیق از داده‌های ابرطیفی زیردریایی مربوط به منطقه غربی قاره آمریکا در سواحل کشور پرو و اقیانوس آرام استفاده‌شده است. موقعیت تصویربرداری ابرطیفی انجام‌شده در شکل ۱ نشان داده‌شده است.

شکل ۱- موقعیت تصویربرداری ابرطیفی در عمق ۳۰۰۰ متری اقیانوس آرام

۳- داده‌های مورداستفاده

در این تحقیق، از داده‌های دوربین UHI شرکت Ecotone، استفاده‌شده که عکس مربوط به این دوربین در شکل ۲ نشان داده‌شده است. این دوربین به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین دوربین‌های مورداستفاده در حوزه تصویربرداری ابرطیفی زیردریا شناخته می‌شود که توسط دانشگاه NTNU، نروژ به‌منظور تصویربرداری در مطالعات مختلف اعماق دریاها و اقیانوس‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.1.9]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.1]

شکل ۲- دوربین ابرطیفی زیردریایی UHI متعلق به شرکت Ecotone

این دوربین دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است که در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

جدول ۱- مشخصات دوربین UHI

مدل دوربین	عادی	پیشرفته
عمق عملیاتی	۵۰۰ متر	۳۰۰۰ متر
مشخصات تصویربرداری		
حداکثر فاصله تا هدف	۰٫۲-۵ متر	۰٫۲-۵ متر
رزولوشن دوربین	۱۰۸۰ پیکسل	۱۹۲۰ پیکسل
قدرت تفکیک رادیومتریکی	۱۲ بیت	۱۲ بیت
محدوده طیفی	۳۸۰-۷۵۰ نانومتر	۳۸۰-۷۵۰ نانومتر
تعداد باند	۲۰۰	۸۵۰

با توجه به محدودیت‌های موجود برای دسترسی به داده‌های این دوربین و طی مکاتبات انجام‌گرفته با سازندگان آن، یک سین از تصویر این دوربین مربوط به عمق ۳۰۰۰ متری اقیانوس آرام با مشخصات زیر در اختیار نگارندگان مقاله حاضر قرار گرفت. در این جدول ها منظور از حداکثر فاصله تا هدف این است که دوربین از ۰٫۲ متر نمی تواند نزدیکتر به هدف شود(مشکلات فوکوس دوربین) و اگر این فاصله از ۵ متر بیشتر شود به دلیل مواد موجود در آب و محدودیت ایجاد نور مصنوعی، دوربین نمی تواند تصویر واضحی از اهداف تهیه کند.

جدول ۲- مشخصات تصویر ابرطیفی مورداستفاده در این تحقیق

مدل دوربین	پیشرفته
عمق عملیاتی	۳۰۰۰ متر
فاصله تا هدف	۰٫۲-۵ متر
رزولوشن دوربین	۱۹۲۰ پیکسل
قدرت تفکیک رادیومتریکی	۱۲ بیت
محدوده طیفی	۳۸۰-۷۵۰ نانومتر
تعداد باند	۸۰

۴- روش‌شناسی

به‌طورکلی، تهیه نقشه بستر منابع آبی به روش‌های مختلف مانند استفاده از داده‌های سونار [۲۱] و تصویربردارها [۲۲] صورت می‌گیرد. تصاویر ابرطیفی توسط سیستم‌های تصویربرداری طیفی اخذ می‌شود و برخلاف سایر سیستم‌ها که تصویربرداری از عوارض را به‌صورت محدود و در تعداد اندکی باند طیفی انجام می‌دهند، در سیستم‌های ابرطیفی، صدها تصویر هم مرجع شده در هرلحظه عکس‌برداری تولید و ذخیره می‌شود. ازجمله کاربردهای بسیار مهم این نوع سیستم‌ها، تصویربرداری از زیرآب می‌باشد که منجر به اخذ اطلاعات ارزشمندی از انواع پدیده‌ها و اهداف درون آب می‌شود. سیستم‌های ابرطیفی قابلیت شناسایی مواد تشکیل‌دهنده پدیده‌ها رادارند که از این نظر در بین سایر سیستم‌های تصویربرداری، باقابلیت بسیار زیادی مورداستفاده قرار می‌گیرند [۲۳و۲۴و۲۵]. تصاویر به‌دست‌آمده، به لحاظ طیفی در محدوده وسیعی از طیف الکترومغناطیسی اخذ می‌شود و این مورد موجب بررسی شرایط انعکاس طیفی یک پدیده در طول‌موج‌های مختلف می‌شود که شناخت پدیده‌ها را آسان‌تر می‌کند. بااین‌حال، تصویربرداری ابرطیفی زیردریایی با یک مشکل بزرگ به نام تضعیف نور در آب مواجه است که باعث می‌شود در حالت غیرفعال کار آیی چندانی نداشته باشد.

ازآنجاکه استفاده از تجهیزات اپتیکی و یا استفاده از امواج الکترومغناطیسی در عمق‌های زیاد آب با مشکل روبه‌رو است، لذا در مواردی از امواج صوتی و تجهیزات سوناری برای این منظور استفاده می‌شود. تصویربرداری سوناری، روش تصویربرداری است که در آن آشکارسازی و مکان‌یابی هدف با استفاده از سونار فعال و امواج صوتی انجام می‌شود [۲۶و۲۷]. یکی از مهم‌ترین انواع سونار ها، سونار کنار نگر است که به دلیل قابلیت تصویربرداری با رزولوشن بالا در کاربردهای گوناگونی همچون تجهیزات نظامی مستقر در کرانه‌های ساحلی، یافتن مین‌های دریایی، شناسایی و نقشه‌برداری بستر دریا و ... به کار می‌رود. سونار کنار نگر به دلیل ارسال و دریافت پالس تنها در دونقطه، برای تصویربرداری از زمین‌های ناهموار مناسب نبود و برای مناطق هموار توصیه می‌شود [۲۸].

سیستم‌های تصویربرداری ابرطیفی در مقابل سیستم‌های تصویربرداری سوناری، قابلیت شناسایی جزئیات بیشتر اهداف را فراهم می‌آورند و همچنین نسبت به سیستم‌های سوناری مشکل منبع نور و عمق را دارند. چنانچه هدف تصویربرداری، شناسایی کلیت اهداف و یافتن مکان دقیق آن‌ها باشد، سیستم‌های سوناری مناسب خواهد بود و چنانچه اقدام به شناسایی جزئیات و عناصر تشکیل‌دهنده بستر دریا شود، سیستم‌های تصویربرداری ابرطیفی مناسب‌تر خواهد بود. به‌منظور استفاده از تصاویر ابرطیفی و پردازش آن‌ها جهت تهیه نقشه بستر دریا نیاز است تا موارد زیر به ترتیب اعمال شود:

۱. پیش‌پردازش داده‌ها به‌منظور کاهش اثرات تضعیف آب و همچنین حذف بازتاب‌های ناخواسته که به‌وسیله ذرات معلق در مسیر بین دوربین و هدف، ایجاد می‌شوند
۲. تهیه بانک طیفی مناسب باقابلیت اعمال در شرایط زیرآب و بازنمونه برداری شده
۳. ارزیابی صحت بانک طیفی ایجادشده

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.1.9]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.1]

ارزیابی صحت طیف‌های بازنمونه برداری شده بر اساس روش‌های Spetral Angle, ACE, FP correlation, BK correlation, Likelihood، سنجیده می‌شود.

Spectral Angle: معیار زاویه طیفی جهت اندازه‌گیری مقدار اختلاف طیف ورودی با طیف‌های مرجع مورداستفاده قرار می‌گیرد. عدد مربوط به این معیار هرچقدر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده میزان تطابق بالای طیف ورودی با طیف مرجع بوده و هر چه از صفر فاصله بگیرد نشان‌دهنده اختلاف بین طیف‌ها و خطا است [۲۹].

ACE: در این معیار، طیف ورودی در کل تصویر مورد جستجو قرار می‌گیرد و طیف‌هایی که حتی به‌صورت زیر پیکسلی نیز آشکار می‌شوند را با طیف ورودی مورد مقایسه قرار می‌دهد. محدوده عددی این معیار بین۱- تا ۱ می‌باشد که ۱ نشان‌دهنده تطابق بالای طیف است. البته ما هیچ موقع عدد ۱ را به علت تفاوت‌های موجود در نحوه نوردهی و پس‌زمینه اهداف نخواهیم داشت و اعداد بین ۰,۷ تا ۱ قابل‌قبول خواهد بود [۳۰].

FP correlation: این معیار جهت اندازه‌گیری میزان تطابق طیف یک پیکسل کامل با طیف مرجع مورداستفاده قرار می‌گیرد. معیاری جهت شناسایی مواد غالب در تصویر که بر اساس طیف‌های سازگار با پیکسل‌ها اندازه‌گیری را انجام می‌دهد [۳۰]. میزان همبستگی در این معیار بین ۱- تا ۱ است که هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده سازگاری و تطابق بالای طیف ورودی هست(میزان آن از معیار ACE، نباید بالاتر باشد).

BK correlation: این معیار نشان‌دهنده میزان موفقیت پردازشگر در حذف طیف‌های پس‌زمینه از طیف‌های مرجع و ورودی است. درواقع به‌منظور محاسبه میزان دخالت طیف‌های مزاحم در فرآیند پردازش به کار می‌رود بین ۱- تا ۱ است که ۱ نشان‌دهنده خالص‌ترین طیف از پس‌زمینه هست [۳۱].

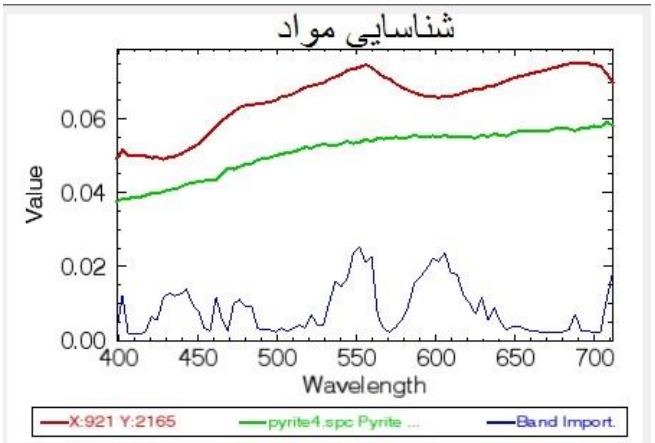
Likelihood: میزان شباهت طیف ورودی به طیف مرجع را نشان می‌دهد. از این معیار جهت جداسازی بین مواد مختلف موجود در تصویر استفاده می‌شود و هر چه عدد به‌دست‌آمده به ۱ نزدیک باشد سازگاری بالای طیف‌ها را نشان می‌دهد [۳۲].

۴. انتخاب الگوریتم بهینه باقابلیت شناسایی و برچسب دهی مطلوب پیکسل‌ها
۵. تهیه نقشه نهایی

۵- بحث و نتایج

پیش‌پردازش داده‌های سنجش‌ازدوری به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین مراحل پردازش این داده‌ها محسوب می‌شود. با توجه به اینکه داده‌های اخذشده از دانشگاه NTNU، شامل پیش‌پردازش‌های لازم جهت کاهش اثر تضعیف آب و هم‌چنین بازپخش‌های ذرات معلق بود، لذا از انجام این مرحله در این تحقیق صرف‌نظر شده است. در مرحله بعدی، نیاز است تا یک سری بانک‌های طیفی منطبق برداده های ابرطیفی UHI، تهیه گردد. برای این منظور از ۳ مرجع جهت اخذ طیف‌ها استفاده شد. سازمان فضایی آمریکا(ناسا)، کتابخانه طیفی سازمان فضایی هندوستان و طیف‌سنجی دستی در دانشگاه جامع امام حسین(ع).

کتابخانه طیفی جمع‌آوری‌شده شامل مجموعه‌ای از طیف‌های سنگ‌ها، کانی‌ها، مواد ساخت دست بشر، انواع آب‌ها، گیاهان، انواع خاک‌ها، عناصر معدنی هست. تعداد ۷۰۰ طیف منحصربه‌فرد جمع‌آوری‌شده از پدیده‌های مختلف با استفاده از مقیاس بندی ۰,۰۰۱۰۰۰، که بر اساس آزمون‌وخطا در محیط نرم‌افزاری Envi5.3 ، به دست آمد، برای اعمال بر روی‌داده‌های ابرطیفی UHI، مورداستفاده قرار گرفت. طیف‌های مربوط به کانی‌ها، مواد معدنی و پدیده‌های مصنوعی انسان‌ساخت به‌عنوان عناصری که احتمال وجود بیشتری در بستر اقیانوس داشتند، انتخاب شدند. بازنمونه برداری طیف‌ها با استفاده از ورودی‌های مربوط به طیف تصویر، باندهای مورداستفاده و طیف‌های موجود در کتابخانه صورت پذیرفت. در شکل ۳ طیف بازنمونه برداری شده مربوطه به کانی پیریت نشان داده‌شده است. بر اساس بازنمونه برداری انجام‌شده، این طیف کاملاً منطبق بر دیتای دوربین UHI، بوده و می‌تواند بر روی تصاویر زیرآب این دوربین اعمال شود.



شکل ۳- طیف بازنمونه برداری شده کانی پیریت

در شکل بالا، منحنی قرمزرنگ مربوط به انعکاس طیفی کانی پیریت در زیرآب است. منحنی آبی‌رنگ طیف کانی پیریت در شرایط خشک و آزمایشگاه است که بعد از عملیات بازنمونه برداری و اعمال مقیاس، تبدیل به منحنی سبزرنگ می‌شود که می‌توان بر روی‌داده زیرآب اعمال نمود. با توجه به اینکه آب بر روی منحنی انعکاس طیفی پدیده های مختلف تاثیر می گذارد، در شکل بالا نیز نشان داده شده است که این عامل چگونه بر روی طیف کانی پیریت اثر گذاشته است(خط قرمز). در این تحقیق به دلیل عدم دسترسی به طیف کانی ها در زیر آب و موجود بودن طیف های آزمایشگاهی، با استفاده از یک روش بازنمونه برداری و Resample کردن طیف درون آب(آبی) به طیف بیرون

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.1.9]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.1]

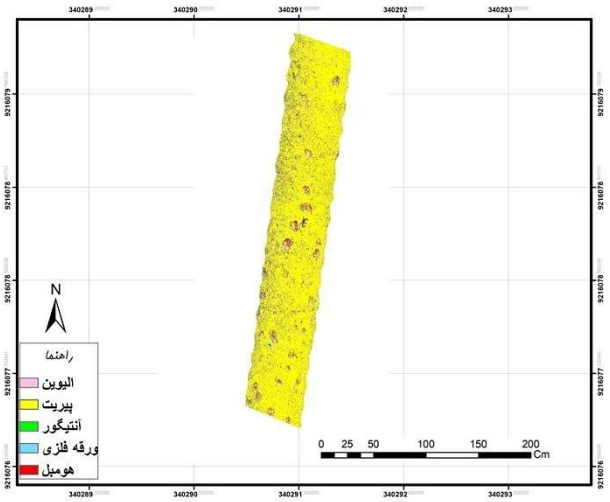
آب(قرمز)، منحنی سبز رنگ که تخمینی از طیف کانی در زیر آب است به دست می آید.

بر اساس بررسی‌های اولیه بر روی تصویر، کانی‌های پیریت، اکتینولیت، الیوین، آنتیگور، هومبل و همچنین ورق فلزی در تصویر شناسایی شد. طیف‌های مربوط به این مواد بازنمونه برداری شده و میزان صحت مربوط به هرکدام از طیف‌ها بر پایه ارزیابی‌های صورت گرفته در جدول ۳ ارائه‌شده است. با توجه به عدم شناخت قبلی از صحنه مورد تصویربرداری ، ابتدا کتابخانه های طیفی مربوط به کانی های مختلف از مرجع USGS، تهیه گردید. در کل صحنه تصویربرداری شده با استفاده از الگوریتم های انطباق طیفی، انواع کانی های موجود در تصویر مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت. کانی هایی که در جدول زیر به دست آمده اند، در حقیقت از بین چندصد نوع کانی موجود در کتابخانه طیفی شناسایی شده اند و الگوریتم SAM، تشخیص داده است که طیف های کانی های زیر را در تصویر شناسایی کرده است.

جدول ۳- ارزیابی صحت طیف کانی‌های بازنمونه برداری شده

	Spectral Angle	ACE	FP correlation	BK correlation	Likelihood
اکتینولیت	۰,۰۵۲۵	۰,۸۹۱	۰,۸۱۰	۰,۶۹۳	۰,۸۸۴
پیریت	۰,۰۳۷۴	۰,۹۴۲	۰,۹۰۰	۰,۸۲۱	۰,۸۹۲
الیوین	۰,۰۳۸۳	۰,۸۰۴	۰,۷۸۱	۰,۹۲۸	۰,۸۰۸
آنتیگور	۰,۰۴۰۹	۰,۷۹۵	۰,۷۰۴	۰,۷۷۳	۰,۷۲۸
هومبل	۰,۰۴۰۸	۰,۷۹۰	۰,۷۸۱	۰,۷۰۰	۰,۷۴۶
ورق فلزی	۰,۰۵۵۰	۰,۷۲۶	۰,۷۰۰	۰,۸۰۱	۰,۷۹۴

بر اساس جدول بالا، میزان زاویه طیفی برای طیف‌های بازنمونه برداری شده با طیف‌های مرجع بسیار پایین بوده و معیار شباهت برای آن‌ها بالا است که این عامل صحت عملیات بازنمونه برداری طیفی و همچنین صحت طیف‌های جمع‌آوری‌شده برای کارهای آتی را نشان می‌دهد. معیارهای ACE، FP correlation، BK correlation که جهت طبقه‌بندی تصاویر از اهمیت بالایی دارند، اعداد بالایی را نشان می‌دهند و نشان‌دهنده این مورد هستند که طیف‌های انتخاب‌شده در طبقه‌بندی داده زیرآب صحت بالایی ارائه خواهند نمود. تصاویر ابرطیفی زیردریایی به دلیل اینکه در یک محیط با نوردهی مصنوعی اخذ می‌شوند، نیاز به استفاده از طبقه‌بندی کننده‌هایی دارند که برچسب دهی را بر اساس طیف خالص پدیده‌ها و اهداف انجام دهند. بر اساس ماهیت طیف مبنای الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی(SAM)، جهت طبقه‌بندی و آشکارسازی اهداف درون آب، از این الگوریتم استفاده گردید. به دلیل ایجاد کتابخانه طیفی اختصاصی جهت انجام این تحقیق، آموزش الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی که بر اساس میزان زاویه طیفی بین طیف ورودی و طیف هدف عمل طبقه‌بندی را انجام می‌دهد، با استفاده از طیف‌های ایجادشده و صحت سنجی شده در مراحل قبل، انجام گردید. طبقه‌بندی و تهیه نقشه بستر اقیانوس در شکل ۴ نشان داده‌شده است.



شکل ۴- نقشه بستر اقیانوس با استفاده از الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی

بر اساس خروجی‌های ارائه‌شده در شکل ۴ بیشترین میزان کانی موجود در بستر اقیانوس در منطقه موردمطالعه، مربوط به کانی پیریت است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، می‌توان از داده‌ها ابرطیفی زیرآب به‌منظور شناسایی و حفاری‌های مربوط به مواد معدنی استفاده کرد.

شاخص های ارائه شده در جدول۳، به عنوان معیارهای صحت سنجی طیفی مورد استفاده قرار می گیرند که بر اساس نتایج و اعداد ارائه شده، طیف های مورد استفاده به صورت کاملا دقیق و منطبق با طیف مرجع بوده اند. نتایج ارائه شده در شکل ۴، به دلیل اینکه از طیف های دقیق(نتایج ارائه شده در جدول۳)، در طبقه بندی SAM، استفاده شده است، دارای دقت بالایی هستند. همچنین ذکر این نکته نیز لازم است که این داده ها به دلیل اینکه دارای نقاط کنترل زمینی از سوی تولید کننده داده نبودند، بهترین راه حل برای صحت سنجی، شاخص های ارائه شده در جدول ۳، هستند.

۶ - نتیجه‌گیری

شناسایی بستر دریاها و اقیانوس‌ها به لحاظ نافع اقتصادی و علمی فراوانی که دارد، موردتوجه کشورهای مختلف دنیا قرارگرفته است. با توجه به محدودیت‌های دسترسی و اخذ اطلاعات از بسترهای عمیق منابع آبی، دوربین‌های ابرطیفی زیردریایی به‌عنوان یک‌راه

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.1.9]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.1]

حل نوین طراحی و توسعه داده‌شده‌اند. در این تحقیق، قابلیت سامانه‌های ابرطیفی در تهیه نقشه بستر اقیانوس موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور استخراج اطلاعات از داده‌های ابرطیفی زیردریایی، حذف و یا کاهش اثر ستون آب بر روی تصاویر بسیار ضروری است. به دلیل اینکه مناطق عمیق‌تر تقریباً هیچ نوری از خورشید دریافت نمی‌کنند، تأمین نور به‌صورت مصنوعی صورت می‌گیرد که این عامل سبب باز پراکنش‌های متعدد ذرات معلق در آب شود. به‌طورکلی، شناخت ماهیت خطاها در حوزه تصویربرداری ابرطیفی زیرآب، می‌تواند به افزایش دقت و صحت خروجی‌ها ختم شود. بازنمونه برداری طیفی نیز یکی از مهم‌ترین مراحل در پردازش داده‌ها محسوب می‌شود. در این تحقیق از کتابخانه‌های طیفی آماده و همچنین طیف‌سنجی آزمایشگاهی به‌منظور تهیه طیف‌ها استفاده شد که طیف‌ها با استفاده از محیط نرم‌افزاری ENVI، به شرایط درون آب بازنمونه برداری شدند. بر اساس خروجی‌های این تحقیق، داده‌های ابرطیفی زیردریایی داده‌های با دقت بالا به‌منظور مطالعات بستر منابع آبی محسوب می‌شوند و می‌توان از آن در عملیات‌هایی مانند کشف منابع معدنی و یا مطالعه اهداف مغروق استفاده کرد.

۷ – مراجع

1- Yahya, N. N., Hashim, M., & Ahmad, S., (2014), *Remote Sensing of shallow sea floor for digital earth environment*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 18, 012110

2- Ji, F., Pawlowicz, R., & Xiong, X., (2021), *Estimating the Absolute Salinity of Chinese offshore waters using nutrients and inorganic carbon data*, Ocean Science, Vol.17, p. 909–918

3- Daniel, A., Laës-Huon, A., Barus, C., Beaton, A. D., Blandfort, D., Guigues, N., … Achterberg, E. P., (2020), *Toward a Harmonization for Using in situ Nutrient Sensors in the Marine Environment. Frontiers in Marine Science*, Vol.6, p.1-22

4- Mullen, L., O'Connor, S., Cochenour, B., & Dalgleish, F., (2013), *State-of-the-art tools for next-generation underwater optical imaging systems*, Ocean Sensing and Monitoring, Vol.5, p.661-684

5- Raizer, V., (2019), *Optical Remote Sensing Technologies. Optical Remote Sensing of Ocean Hydrodynamics*, p.133–150.

6- Mikelsons, K., Wang, M., & Jiang, L., (2020), *Statistical evaluation of satellite ocean color data retrievals*, Remote Sensing of Environment, Vol. 237

7- Yan, Q., (2020), *Advantage and Application of Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing in Engineering Survey*, Remote Sensing, Vol.9, p.1-22

8- Sture, O., Ludvigsen, M., Soreide, F., & Aas, L. M. S., (2017), *Autonomous underwater vehicles as a platform for underwater hyperspectral imaging*, OCEANS, Vol.2017, p.1-8

9- Cunningham, A., & Mckee, D., (2013), *Measurement of hyperspectral underwater light fields*, Subsea Optics and Imaging, Vol.2013, p.83–97

10- Liu, B., Liu, Z., Men, S., Li, Y., Ding, Z., He, J., & Zhao, Z., (2020), *Underwater Hyperspectral Imaging Technology and Its Applications for Detecting and Mapping the Seafloor: A Review*, Sensors, Vol.20, p.1-21

11- Jin, X., Li, Z., Feng, H., Ren, Z., & Li, S., (2020), *Estimation of maize yield by assimilating biomass and canopy cover derived from hyperspectral data into the AquaCrop model*. Agricultural Water Management, Vol.227

12- Wei, H., Guo, Y., Yang, P., Song, H., Liu, H., & Zhang, Y., (2017), *Underwater multispectral imaging: The influences of color filters on the estimation of underwater light attenuation*, OCEANS, Vol.2017

13- Wang, S., Chi, C., Wang, P., Liu, J., & Huang, H., (2020), *Design of a low-complexity miniature underwater three-dimensional acoustical imaging system*, International Conference on Underwater Acoustics

14- Yamamoto, S., Kato, K., & Abe, S., (2020), *Optical imaging of produced light in water during irradiation of gamma photons lower energy than the Cerenkov-light threshold*, Applied Radiation and Isotopes, Vol.15

15- Kralikova, R., Badida, M., & Konkoly, T., (2015), *Lighting Quality and Visual Comfort Assesment in Working Environment*, Proceedings of the 21st International Conference LIGHT SVĚTLO 2015

16- Salisbury, A., & Matthews, A, (2020), *Using airborne hyperspectral imaging to aid prospectivity analysis for lithium in geothermal waters*, Hyperspectral Imaging and Applications, Vol.11576

17- Johnsen, G., Ludvigsen, M., Sørensen, A., & Sandvik Aas, L. M., (2016), *The use of underwater hyperspectral imaging deployed on remotely operated vehicles - methods and applications*, IFAC-PapersOnLine, Vol.49, p.476–481

18- Kjerstad.I., (2014), *Underwater imaging and the effect of inherent optical properties on image quality*, MSc thesis of NTNU University of Norway

19- FORESTI, G. L., & GENTILI, S., (2000), *A VISION BASED SYSTEM FOR OBJECT DETECTION IN UNDERWATER IMAGES*, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol.14 p.167–188

20- Deva Krupa. A.J, Samiappan.D, Hemalatha.V., (2018), *Techniques for seabed mapping usin underwater hyperspectral imaging: A survey*, Pure and applied mathematics. Vol.118, p.11-30

21- Naik, M., (2017), *Evolution of Sonar Survey Systems for Sea Floor Studies*, Engineering and Technology Journal, Vol.2, p.185-195.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.1.9]

[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.1]

22- Wilson, S., Potgieter, J., & Arif, K. M., (2019), *Robot-Assisted Floor Surface Profiling Using Low-Cost Sensors*. Remote Sensing, Vol.11, p.1-25

23- Xiong, F., Zhou, J., Chanussot, J., & Qian, Y., (2019), *Dynamic Material-Aware Object Tracking in Hyperspectral Videos*, 2019 10th Workshop on Hyperspectral Imaging and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS)

24- Matouskova, E., (2014), *INFLUENCE OF ILLUMINATION AND WHITE REFERENCE MATERIAL FOR HYPERSPECTRAL IMAGING OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS*, 14th SGEM Geo Conference on INFORMATICS, GEOINFORMATICS AND REMOTE SENSING

25- Rafert, J., (2015), *Advances in hyperspectral remote sensing I: The visible Fourier transform hyperspectral imager*, Journal of Spectral Imaging, Vol.4, p.1-5

26- Buscombe, D., (2017), *Shallow water benthic imaging and substrate characterization using recreational-grade sidescan-sonar*, Environmental Modelling & Software, Vol.89, p.1–18

27- Liu, X., Sun, C., Yang, Y., & Zhuo, J., (2017), *Hybrid phase shift and shifted sideband beamforming for large-aperture MIMO sonar imaging*, IET Radar, Sonar & Navigation, Vol.11, p.1782–1789

28- Prokhorov, I. V., & Sushchenko, A. A., (2015), *Imaging Based on Signal from Side-Scan Sonar*, Applied Mechanics and Materials, Vol.756, p.678–682

29- Chowdhury, S., Zhang, J., Staenz, K., & Peddle, D., (2012), *Spectral mixture analysis of hyperspectral data using Genetic Algorithm and Spectral Angle Constraint (GA-SAC)*, 2012 4th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing (WHISPERS

30- Hasani Moghaddam, H., Torahi, Ali Asghar., & Zeaiean Firooz Abadi, P., (2019), Using discrete wavelet transform to increase the accuracy of hyper spectral and high resolution images fusion, JRORS, Vol.1(2019), p.22-30

31- Kala, S., & Vasuki, S., (2014), *Feature correlation based parallel hyper spectral image compression using a hybridization of FCM and subtractive clustering*, Journal of Communications Technology and Electronics, Vol.59, p.1378–1389

32- Schaefli, B., & Kavetski, D., (2017), *Bayesian spectral likelihood for hydrological parameter inference*, Water Resources Research, Vol.53, p.6857–6884

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.1.9]

[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.1]