دوفصلنامهٔ هیدروفیزیک

دورهٔ نهم، شمارهٔ دوم (پاییز و زمستان ۱۴۰۲)؛ صفحات ۱۳-۱

مقالهٔ پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.2.1.8

درصد همانندی: ۱۹٪

عمق‌سنجی سواحل شمال‌شرقی قطب جنوب با استفاده از فناوری سنجش‌ازدوری (مطالعه موردی: خلیج پریدز)

فریبا اسفندیاری درآباد[۱*]، مهرداد وهاب‌زاده زرگری[۲]، مهریار علی‌محمدی[۳]

[۱*] نویسنده مسئول، استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. esfandyari@uma.ac.ir

[۲] کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی و آمایش محیط، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. mehrdadv340@gmail.com

[۳] استادیار علوم جوی و اقیانوسی دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر، ایران. mhyar_alimohammadi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۷ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۵/۱۴

چکیده

سنجش‌ازدور با توجه به توانایی بالا در جمع‌آوری اطلاعات در زمان کوتاه راهکاری مناسب برای برآورد عمق آب در مناطق ساحلی است. این موضوع در جنوبگان به علت ناشناخته بودن و عدم وجود داده‌های دقیق از اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف از این پژوهش عمق‌سنجی سواحل شمال‌شرقی قطب جنوب با استفاده از فناوری سنجش‌ازدوری (مطالعه موردی: خلیج پریدز) است. در انجام این پژوهش از تصاویر Sentinel-2A استفاده شده و پردازش تصاویر در نرم‌افزار ENVI و GIS صورت گرفته و برای عمل عمق‌سنجی از مدل استامپ استفاده شده است. نتایج برای عمق‌سنجی نشان داد که عمق سواحل خلیج پریدز بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر است که به‌صورت کلی اطراف خلیج پریدز به‌طور متوسط عمقی بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر دارد. همچنین کم‌عمق‌ترین بخش خلیج پریدز در قسمت امتداد خط ساحلی و عمیق‌ترین بخش نیز در قسمت شمالی اقیانوس هند با عمق ۵۰۰ متر قرار دارد. تحلیل تصاویر Sentinel-2A نشان داد که جنس ساختار ساحل خلیج پریدز از نوع سنگی و صخره‌ای است و بیشتر استقرار ایستگاه‌های تحقیقاتی توسط کشورهای استرالیا و چین انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: جنوبگان، عمق‌سنجی، خلیج پریدز، سنجش‌ازدور، مدل استامپ.

۱. مقدمه

منابع آبی همواره به‌عنوان یکی از مسائل حیاتی برای زندگی بشر موردتوجه بوده است. مناطق ساحلی دریاها و دریاچه‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آب برای تأمین نیازهای مختلف انسانی شناخته شده‌اند. این مناطق بیشتر با عوامل انسانی در تماس هستند و بهره‌برداری‌ها و کاربردهای انسانی باعث تغییر در آن‌ها می‌شود. همچنین شرایط این منابع اغلب روی مناطق اطراف از جنبه‌های زیست‌محیطی گردشگری اقتصادی سیاسی اهمیت دارد. شناسایی ویژگی‌های جغرافیایی و هندسی مناطق ساحلی گام اولیه و مهمی برای برنامه‌ریزی بهره‌برداری و محافظت از این منابع طبیعی است [۱]. عمق آب و ویژگی‌های فیزیکی آن در این مناطق می‌تواند برای بسیاری از کاربردها و طرح‌ها نقش حیاتی داشته باشد. برآورد عمق آب‌های ساحلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجش‌ازدور نقش مهمی در مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی دریایی دارد و گام اولیه برای برنامه‌ریزی و محافظت از آن‌هاست [۲]. در دهه‌های گذشته به لطف داده‌های تصویری با ویژگی‌های طیفی مکانی و زمانی مناسب استفاده از روش‌های عمق‌سنجی ماهواره‌ای در مناطق ساحلی افزایش یافته است [۳]. اندازه‌گیری‌های مستقیم عمق و پارامترهای فیزیکی آب به کمک روش‌های مستقیم در مناطق ساحلی بسیار پرهزینه بوده و به زمان نسبتاً زیادی نیاز دارد. بنابراین سنجش‌ازدور با توجه به توانایی بالا در جمع‌آوری اطلاعات در زمان کوتاه و در گسترهٔ جغرافیایی وسیع راهکار بسیار مناسبی برای بسیاری از طرح‌های مطالعاتی و مهندسی در مناطق ساحلی خواهد بود. قطب جنوب به‌ویژه خلیج پریدز[۱]، یکی از نواحی کلیدی در جهان است که مطالعات عمق‌سنجی در آن به دلیل اهمیت استراتژیک، نظامی و تحقیقاتی اهمیت بسیاری دارد. برای ایران، حضور در این ناحیه به‌عنوان کشوری که عضو معاهده قطب جنوب است بسیار ضروری و حیاتی است. حضور و استقرار ایران در جنوبگان ازنظر علمی، این امکان را به پژوهشگران ایرانی می‌دهد تا تحقیقات مرتبط با این منطقه که شرایط منحصربه‌فردی دارد را انجام دهند. همچنین از جنبه‌های سیاسی، حضور در قطب جنوب نشانی از توانایی و نفوذ بین‌المللی است. کشورهایی که فعالیت‌های علمی در این منطقه دارند، می‌توانند در بحث‌ها و تصمیماتی که مربوط به این منطقه است، شرکت کنند. مطالعات عمق‌سنجی در این منطقه، به ما کمک می‌کند تا با شناخت خصوصیات مختلف جنوبگان به لحاظ توپوگرافی، عمق‌سنجی، زمین‌شناسی بهترین روش‌های شناخت، مدیریت، پیش‌بینی و بهره‌برداری در این منطقه را اتخاذ کنیم. درنتیجه، مطالعات عمق‌سنجی در قطب جنوب برای ایران اهمیت بسیاری دارد، زیرا علاوه بر امکان بهره‌برداری از منابع طبیعی، امنیت مرزی و آگاهی از تغییرات زیست‌محیطی، به توسعه علمی و فناوری نیز کمک می‌کند. مطالعات متعددی درباره موضوع حاضر در داخل و خارج از ایران صورت گرفته است که به‌صورت مختصر به آن اشاره می‌شود: لاری و ابره‌دری [۴] با انجام تحقیقی تلفیق اطلاعات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌های T/P و Jason برای تعیین توپوگرافی سطح دریا در خلیج‌فارس و دریای عمان را بررسی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بر این اساس اختلاف سطح متوسط آب‌های آزاد حاصل از مدل ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ایT/P، Jason-1 و ژئوئید جهانی EGM08 در بازه ۰/۹ و ۱/۱ متر ارزیابی شد. غلامعلی فرد و همکاران [۵] با انجام تحقیقی عمق‌یابی بخش جنوب‌شرقی دریای‌خزر با استفاده از روش‌های الگوریتم تک باند، تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و شبکه عصبی را بررسی کردند، نتایج نشان داد که از میان روش‌های نامبرده روش شبکه عصبی بهترین برآورد عمق را داشته است. صفری و همکاران [۶] با انجام پژوهشی با کمک تصاویر فراطیفی سنجنده Hyperion از ماهواره EO1 به عمق‌یابی در سواحل جزیره قشم پرداختند، که تا آن زمان این تصاویر در عمق‌سنجی به‌صورت جدی مورد استفاده قرار نگرفته بود. نتایج ارزیابی پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که میزان همبستگی تصویری که پس از انجام پیش‌پردازش‌ها روی آن الگوریتم استامپ استفاده شده با عمق متوسط ۳۸/۱ متر به‌دست‌آمده، می‌تواند برای کاربردهای ویژه در مناطق ساحلی، با توجه به هزینه و زمان پردازش روش مناسبی باشد. امینی و عبداللهی کارکرودی [۷] طی انجام تحقیقی به مطالعه‌ای در مورد

عمق‌سنجی از نواحی کم‌عمق ساحلی با استفاده از تصاویر Landsat8 با آموزش شبکه عصبی (مطالعه موردی: جنوب شرقی دریای خزر) پرداختند. نتایج حاصل از شبکه عصبی نشان می‌دهد که دقت عمق برآورد شده در طبقه‌های مختلف، متفاوت است و بیشترین و کمترین دقت به‌ترتیب به محدوده عمق‌های ۳/۹۷- تا ۳/۱- تا ۴/۴۸- تا ۴- اختصاص دارد. ازاین‌رو، با آموزش شبکه عصبی می‌توان عمق نواحی کم‌عمق ساحلی را با دقت بالا برآورد نمود. محمد خانلو و همکاران [۸] طی انجام یک تحقیق، در مورد عمق‌یابی در سواحل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 (بندر صلاله عمان) پرداختند، نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد؛ پس از پیاده‌سازی، مدل بهینه رگرسیون خطی چند باندی، مقدار میانگین مربع خطاها RMSE ۱۵/۲ متر و ضریب همبستگی (cc) آن ۰/۹۲۵ ٪ در فواصل عمق صفرتا ۲۰ متر به دست آمد. خاریابند و عطارچی [۹] با انجام تحقیقی تغییرات عمق تالاب انزلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی در بازه سی‌ساله را ارزیابی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات عمق تالاب، عمدتاً از تغییرات تراز آب دریای خزر متأثر شده و تغییرات بارش و دما، دلایل اصلی کاهش عمق تالاب انزلی نیستند. رنگزن و کابلی‌زاده [۱۰] مطالعه‌ای در مورد عمق‌سنجی مناطق ساحلی مبتنی بر روش‌های هیبرید نوین و تلفیق تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 و Landsat8 پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که عمق‌سنجی خلیج چابهار در مقایسه با مدل سنتی، مدل‌های برآوردی و گرام- اشمیدت و مبتنی بر روش هیبرید حاصل از ادغام آنالیز مؤلفه‌های اصلی بهترین نتایج عمق‌سنجی را ارائه می‌دهد. میشرا و همکاران [۱۱] غرب دریای کارائیب را برای پیدا کردن عمق آب و استفاده از آنالیز مؤلفه اصلی و ترکیب باندی بررسی کردند. در این تحقیق مقادیر روشنایی به‌جای بازتابش استفاده شد و برای تعیین عمق مدل رگرسیون خطی اجرا شد. خطای عمق‌یابی حدود ۶ متر در عمق‌های بین ۱ تا ۱۲ متر برآورد شده است. سیهون و یالچین [۱۲] در پژوهشی عمق‌سنجی منابع آبی در غرب فوچا ازمیر ترکیه را بررسی کردند. در این پژوهش از تصاویر سه باند اول Aster تصاویر پانکروماتیک Quick bird برای استخراج نقشه‌های مربوط به اندازه‌گیری عمق برای بررسی با شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. نتایج نهایی آن‌ها نشان داد که روش آن‌ها که مبتنی بر شبکه عصبی بود می‌تواند خطاهای ناشی از فاصله و تکراری بودن را برای اندازه‌گیری‌های عمق موردنیاز کارهای مهندسی کاهش دهد. لیو و همکاران [۱۳]، در طی انجام تحقیقی به‌منظور برآورد قابلیت تصویر بازیابی از عمق آب، ماهواره SPOT5، مطالعه‌ای در جزیره نوژو در گواندونگ چین انجام دادند. آن‌ها در تحقیق خود جداگانه از یک مدل تک باند و یک مدل دو باند استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده برتری مدل دو باند نسبت به مدل تک باند و قرمز مدل نسبت به باند سبز مدل در آب‌های کم‌عمق بود. همچنین تصویر چند طیفی SPOT5 توانایی خوبی برای آب‌های کم‌عمق دارد و می‌تواند با وضوح بالا جزئیات بیشتری در مورد خصوصیات توپوگرافی زیرآب را ارائه دهد. واهات می‌و کاستر [۱۴] به نقشه‌برداری نوع بستر و عمق آب در آب‌های کم‌عمق ساحلی استرالیا با سنجش‌ازدور ماهواره‌ای پرداختند. نتایج نشان داده که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی با تفکیک مکانی بالا نسبت به استفاده از داده‌های تفکیک محیطی فراطیفی در نقشه‌برداری پوشش ماکرو جلبکی اعماق دریا در مناطقی که ناهمگونی فضایی بسیار زیاد است، ارجحیت دارد. الشازلی و همکاران [۱۵] به مدل‌سازی عمق‌سنجی دریاچه‌های ساحلی با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS به مطالعه دریاچه مانزالا مصر پرداختند. نتایج نشان داد که عمق‌سنجی دریاچه به‌طور دقیق با روش‌های TREE و BAG با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 می‌تواند به‌راحتی برای ارائه نقشه‌های عمق‌سنجی سواحل و تالاب‌های کم‌عمق استفاده شود. جی و همکاران [۱۶] به نقشه‌برداری رسوبات زیستگاه اعماق دریا در منطقه صخره‌های مرجانی با استفاده از ادغام داده‌های سنجش‌ازدور چند منبعی و چندوجهی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که روش جدید از پنج رویکرد دیگر در دقت طبقه‌بندی رسوب بهتر عمل می‌کند و ترکیب داده‌های چند منبعی پوشش گسترده‌تر و دقت بالاتری را با مجموع ۸۷/۹ درصد فراهم می‌کند. در مقایسه، مقادیر دقت برای داده‌های تصویر چند

طیفی و زمین به‌تنهایی به‌ترتیب ۷۴/۵ و ۵۴/۷ درصد است. سلامه و همکاران [۱۷] به ارزیابی توپوگرافی ساحل و عمق‌سنجی نزدیک ساحل با استفاده از سنجش‌ازدور پرداختند. نتایج نشان داد هنگام استفاده از روش عمق‌سنجی نمونه‌برداری مکرر از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel به غلبه بر محدودیت‌های ناشی از کمبود تصاویر کمک می‌کند. استفاده ترکیبی از Sentinel-1 و Sentinel-2 می‌تواند تعداد مناسبی از تصاویر را ارائه دهد که کل مورد عمق‌سنجی سواحل بسیار کارآمد باشد.

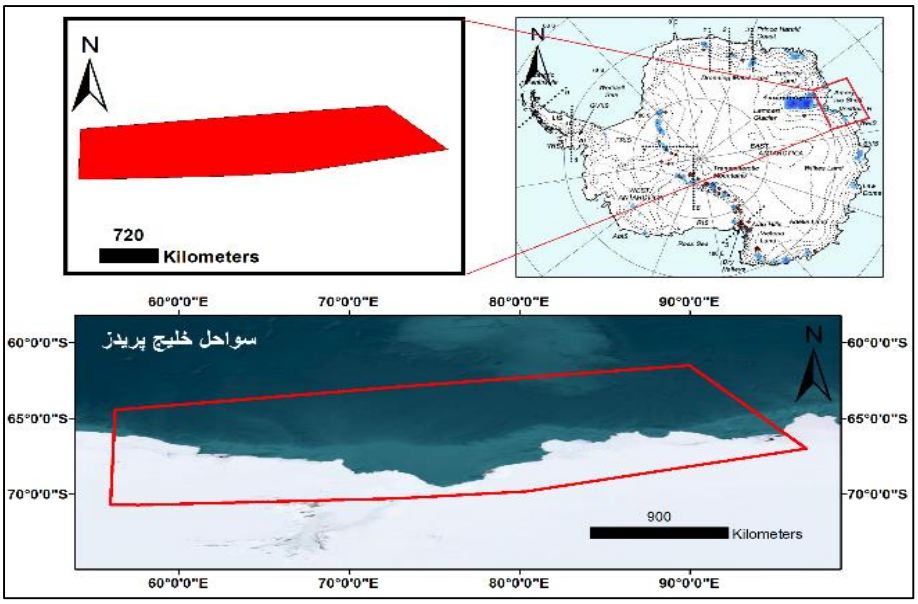
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. داده‌های مورداستفاده در پژوهش

در خصوص نوع دادها و اطلاعات و نحوه اکتساب آن در این پژوهش از تصاویر ماهواره Sentinel-2A مربوط به آژانس فضایی اروپا برای اخذ لایه‌ها و اطلاعات مختلف در رابطه با عمق‌سنجی سواحل استفاده شده است که تصاویر مورداستفاده از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات‌متحده آمریکا دریافت و به‌کار گرفته شده است، و از گوگل ارث برای برداشت محدوده استفاده شده است. همچنین از نقشه زمین‌شناسی خلیج پریدز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ که توسط مرکز داده قطب جنوب استرالیا به‌صورت آنلاین ارائه می‌شود استفاده شده است تا خصوصیات زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه در جهت عمق‌سنجی شناخته شود. تمام داده‌های سنجش‌ازدوری برای آماده‌سازی در مرحله اول وارد نرم‌افزار ENVI، شده و پردازش‌های اصلی روی‌داده‌ها انجام شد، سپس در نرم‌افزار Arc GIS طبق مدل جنکس طبقه‌بندی شده است.

۲-۲ . موقعیت منطقه موردمطالعه

خلیج پریدز به‌عنوان یک فروافتادگی در امتداد حاشیه شمال شرقی قطب جنوب بین ۶۶ درجه و ۷ دقیقه و ۱۱ ثانیه عرض جنوبی و ۷۹ درجه و ۳۱ دقیقه و ۰۸ ثانیه طول شرقی قرار دارد، خلیج پریدز از سمت مرکزی به قفسه یخی آمری، از جنوب شرقی به ساحل اینگرید کریستنسن و مک محدود می‌شود. خلیج پریدز مساحتی در حدود ۸۰۰۰۰ کیلومترمربع را پوشش می‌دهد (شکل ۱). این منطقه در بیشتر فصل‌های سال آب و هوای قطبی دارد و سواحل آن در فصل‌های سرد سال پوشیده از یخ است، اما در فصل‌های گرم به‌ویژه در فصل تابستان با گرمایش آب‌وهوا صفحات یخی در سواحل عقب‌نشینی کرده و صفحات یخی به‌صورت تکه‌های منفرد در روی آب‌ها شناور می‌ماند. آب سطحی سواحل پریدز در تابستان آب نسبتاً گرم با دمای ۰-۲ درجه سانتی‌گراد و شوری ۲۳/۵-۳۴ psu دارد که به گرمایش و ذوب تابستان نسبت داده می‌شود [۱۸]. در سواحل پریدز جریانات هوایی و دریایی مختلفی وجود دارد که بر شدت ذوب و فرایندهای یخچالی تأثیر زیادی دارد، این منطقه به خاطر داشتن یخچال قطبی به‌نام آمری معروف است [۱۹]. این یخچال بزرگ از ارتفاعات منطقه که پوشیده از یخ و برف است سرچشمه می‌گیرد و روند ارتفاعی و شیب باعث شده که زبانه یخچالی در بخش مرکزی سواحل پریدز ختم شود که در فصل‌های گرم با تداوم ذوب یخ، تکه‌های بزرگ از یخچال آمری جدا شده و وارد آب‌های آزاد می‌شود که این امر در دریانوردی بسیار مهم است و می‌تواند فرایند کشتی‌رانی در این منطقه را با مشکل همراه سازد [۲۰]. به لحاظ توپوگرافی بخش خشکی خلیج پریدز ارتفاع نیمه کوهستانی دارد، اما به دلیل اینکه ارتفاع یخ و برف انباشته‌شده در منطقه بیشتر است، قسمت انبوه منطقه توپوگرافی همواری دارد که با کاهش ارتفاع سطوح یخی و بیرون‌زدگی چهره اصلی زمین توپوگرافی نیز تغییر پیدا خواهد کرد. صفحات یخی به علت ارتفاع بیشتر به‌عنوان یک سد در مقابل نفوذ به سطح زمین قطب جنوب عمل می‌کند و تنها در مناطقی که سطوح یخی گسترش ندارد می‌توان در سطح خشکی آن نفوذ کرد. خلیج پریدز به علت اینکه ساحل صخره‌ای دارد و سطوح یخی نیز در آن گسترش کمی دارد منطقه مناسبی برای استقرار و اکتشاف و نفوذ به سطح زمین آن است. بیشتر مناطق قطب جنوب ناشناخته بوده و این امر به علت شرایط سخت آب هوایی آن بوده است اما در سال‌های اخیر اکتشاف‌های مختلفی در قطب جنوب صورت گرفته که یکی از این مناطق به علت بستر مناسب خلیج پریدز است. بیشتر اکتشافات صورت گرفته درزمینهٔ زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و مطالعات اکوسیستم و بررسی حیات‌وحش منطقه بوده است [۱۸].

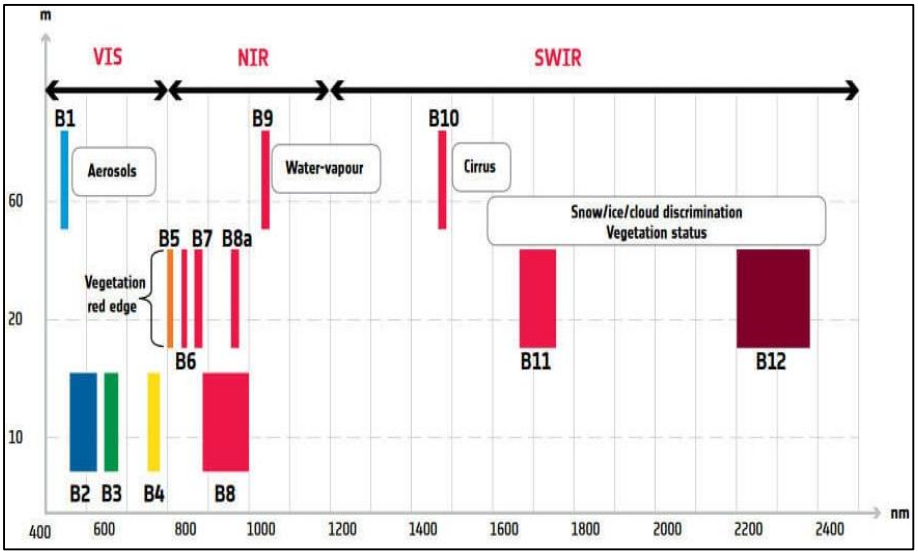


شکل ۱. محدوده موردمطالعه (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

۲-۳. ماهواره Sentinel-2A

ماهواره Sentinel-2A، جزئی از برنامهٔ کوپرنیک کمیسیون اروپا است که شامل یک مجموعه از دو ماهواره یکسان بوده که برای نظارت بر تغییرات سطح زمین طراحی شده است، این دو ماهواره که در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ به فضا پرتاب شدند، تصویرگرهای چند طیفی با ۱۳ باند طیفی دارند که تصاویر نوری با وضوح‌بالا را در سطح جهانی ارائه می‌دهند [۲۱]. همچنین هدف اصلی این مأموریت، پشتیبانی از خدمات مختلفی ازجمله مدیریت زمین، کشاورزی، جنگلداری، کنترل بلایا و عملیات امداد بشردوستانه است [۲۲].

در این پژوهش از داده‌های ماهواره Sentinel-2A استفاده شده که دارای یک سنجنده چند طیفی با ۱۳ باند طیفی در محدوده‌های مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز با طول‌موج کوتاه با قدرت تفکیک ۱۰ تا ۶۰ متر بوده که چهار باند با دقت مکانی ۱۰ متری، شش باند با دقت مکانی ۲۰ متری و سه باند با دقت مکانی ۶۰ متری هستند و زمان پوشش کامل زمین در این ماهواره ۱۰ روز است (شکل ۲).



شکل ۲. مشخصات طیفی باندهای سنتینل ۲ [۱۵]

۲-۴. روش جنکس

روش طبقه‌بندی جنکس در نرم‌افزار Arc Gis به‌عنوان روشی مؤثر برای ترتیب‌دهی مقادیر در کلاس‌های مختلف ارائه شده است. این الگوریتم از یک روند تکراری برای گروه‌بندی داده‌ها استفاده می‌کند تا میانگین انحراف هر طبقه از میانگین کل را به حداقل برساند و به‌همراه آن، واریانس بین طبقه‌ها را به حداکثر افزایش دهد [۲۳]. مراحل این روش به شرح زیر بوده و تا زمانی که واریانس هر طبقه به کمترین مقدار خود برسد، ادامه می‌یابد: [۲۴].

۱. محاسبه مجموع مربع انحراف بین طبقات (SDBC)[۲]
۲. محاسبه مجموع مربع انحراف از میانگین (SDAM)[۳]
۳. محاسبه مجموع مربع انحراف از میانگین طبقات (SDCM)[۴]

$$GVF = (SDAM - SDCM)/SDAM \quad (۱)$$

پس از محاسبه مقادیر SDBC، از طبقه‌ای با بیشترین مقدار SDBC به طرف طبقه‌ای که کمترین مقدار SDBC را دارد یک واحد جابه‌جایی اعمال و انحراف طبقات جدید محاسبه می‌شود و این مراحل تا زمان به حداقل رسیدن مقدار انحراف طبقات ادامه می‌یابد که به یافتن بهترین برازش واریانس (GVF)[۵] منجر می‌شود. مقادیر GVF بین صفر و یک متغیر بوده که صفر بدترین و یک بهترین برازش است [۲۴].

۳. تئوری و محاسبات

پیش‌پردازش‌ها درواقع تصحیحاتی هستند که روی داده‌ها اعمال می‌شوند تا دقت و کیفیت داده‌ها در فرایند کار افزایش یابد و داده‌ها قابل‌استفاده شوند. یکی از مهم‌ترین قسمت در فرایند عمق‌سنجی سواحل پیش‌پردازش تصاویر سنجش‌ازوری است. در این پژوهش برای عمق‌سنجی سواحل پریدز از تصاویر ماهواره Sentinel-2A مربوط به تاریخ ژوئیه ۲۰۲۲ به تعداد دو عدد استفاده شده است (جدول ۱)، که با استفاده از ابزار موزاییک در نرم‌افزار ENVI این دو تصویر باهم ادغام‌شده و به‌کار گرفته شدند.

جدول ۱. اطلاعات تصویر ماهواره‌ای

نوع ماهواره	سال اخذ تصویر	ماه اخذ تصویر
Sentinel-2A	۲۰۲۲	۱۰ جولای
Sentinel-2A	۲۰۲۲	۱۵ جولای

برای هر نوع استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نیاز به یک سری اصلاحات است، زیرا تمام تصاویر ماهواره‌ای در فرایند اخذ تصاویر زمینی دارای خطا و نقص‌های مختلفی بوده و نمی‌توان از این داده‌های خام برای تحقیقات مختلف استفاده کرد. بنابراین انجام اصطلاحات مختلف، یکی از کارهای ضروری بوده و تصاویر مربوط به ماهواره Sentinel-2A به‌صورت خودکار در ایستگاه‌های زمینی تصحیح هندسی و رادیومتریک می‌شوند و در دسترس کاربران قرار می‌گیرد. بنابراین از انجام اصلاحات هندسی و رادیومتریک خودداری شده است. تصویر مورداستفاده پس از دریافت از سازمان زمین‌شناسی آمریکا وارد نرم‌افزار ENVI شد و در مرحله نخست با محاسبه رادیانس اصلاح اتمسفری با مدل FLAASH[۶] اعمال شد، سپس اقدام به استخراج ویژگی‌ها و شاخص‌های مختلف شد که تمام لایه‌ها بعد از استخراج و نرمالیزه شدن وارد نرم‌افزار GIS شد تا در پردازش‌های بعدی اعمال شود.

۳-۱. روش استامپ

این روش توسط استامپ در سال ۲۰۰۳ معرفی شد. هدف اصلی این روش، یافتن راه‌حلی برای تعیین عمق با استفاده از تعداد کمتری پارامتر و کاهش حساسیت نسبت به بسترهای آب مختلف است. در این روش، از تفاوت در خصوصیت جذب بین باندهای سبز و آبی استفاده می‌شود [۸]. با افزایش عمق در آب شفاف، تضعیف انعکاس باند سبز نسبت به باند آبی افزایش می‌یابد و الگوریتم نیز این تغییر را به‌صورت کاهشی در نظر می‌گیرد. ازآنجاکه تأثیر تغییرات در بازتاب بستر روی هر دو باند به یک شکل مشابه است، بسترهای مختلف با عمق مشابه، نسبتی یکسان را نشان می‌دهند به همین دلیل، در این روش، تعیین عمق مستقل از نوع بستر است و تنها نیاز به اندازه‌گیری دقیق عمق واقعی است [۳].

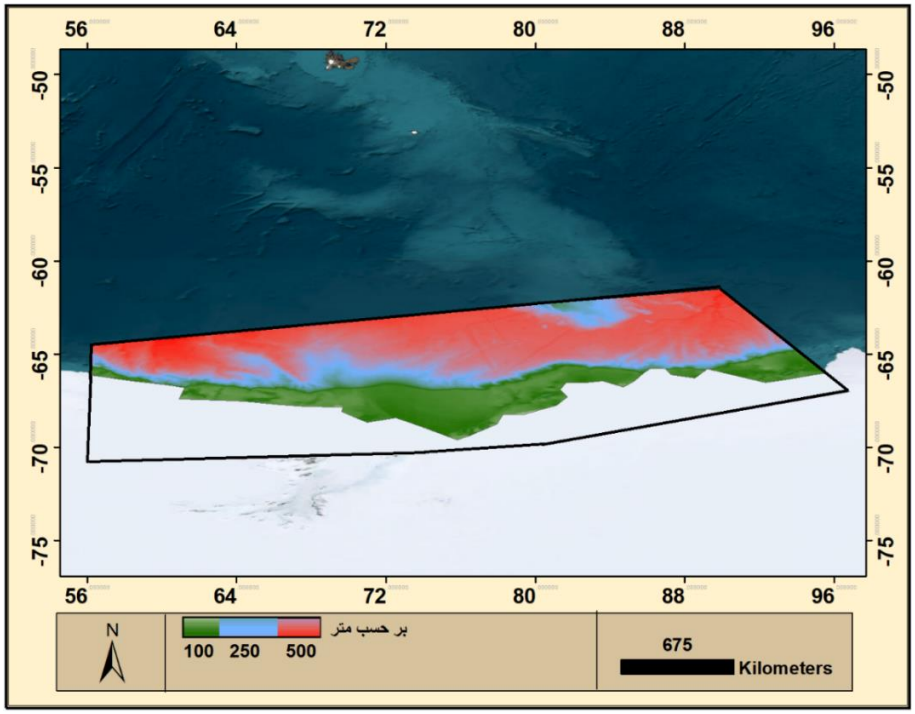
$$z = m_1 \frac{in\,(nr_{w\,(\gamma_j)})}{in\,(nr_{w\,(\gamma_j)})} - m_0 \qquad (۲)$$

در رابطه (۲) m_1 متغیری برای مقیاس‌دهی، n متغیری برای تمام منطقه و برای جلوگیری از منفی نشدن الگوریتم و m_0 نیز مقداری برای عمق صفر است. ضرایب m_0 و m_1 در این روش به کمک چند نقطه کنترل که مقادیر عمق از روش دیگری مثل روش زمینی تهیه شده است، به‌دست می‌آیند. روش نسبت لگاریتمی انعکاس باندها در آب شفاف، قادر به دستیابی به عمق‌های بیشتر از ۲۵ متر است و در شرایط مختلف پایداری دارد؛ اما این روش به شفافیت و غلظت کلروفیل در آب حساس است؛ زیرا با افزایش غلظت کلروفیل، انعکاس باند آبی از سبز بیشتر کاهش می‌یابد. همچنین، این روش نویزهایی دارد که باعث افزایش خطا با عمق بیشتر می‌شود، زیرا رابطه کسری به‌طور ذاتی اختلاف‌های کوچک را تشدید می‌کند [۸]. روشی که استامپ و همکاران برای عمق‌سنجی ایجاد کردند مدلی است که یک روش نسبی را جهت غلبه بر تغییر آلبدو در سطح زیرین آب انجام می‌دهد. این مدل براساس یک تئوری تضعیف نمایی آب با افزایش عمق عمل می‌کند. در این روش پیشنهاد می‌شود با استفاده از دو باند اثرات آلبدوی لایه زیرین آب به کمترین میزان تقلیل یابد. استفاده از روش استامپ برای مناطقی که داده‌های هیدروگرافی و سایر داده‌های عمق‌سنجی وجود نداشته باشد، می‌تواند یک دید کلی در جهت عمق آب در سواحل ایجاد کند.

۴. یافته‌ها

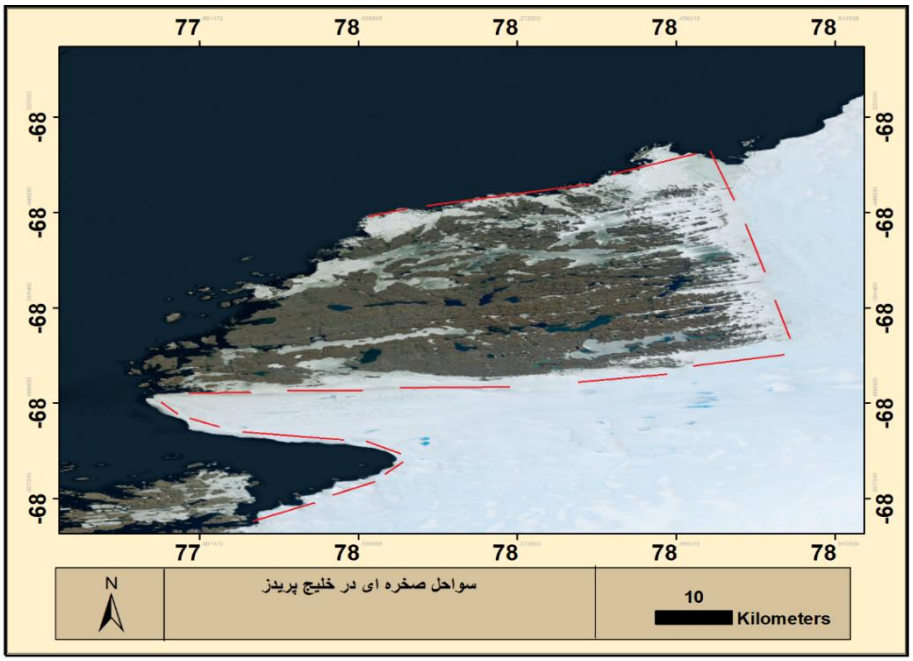
پژوهش به خاطر اینکه منطقه موردمطالعه بخشی از جنوبگان است، داده‌های مختلف زمینی و دریایی برای منطقه موردمطالعه وجود ندارد، اگر هم وجود داشته باشد غیرقابل‌انتشار بوده یا در دست مراکز تحقیقاتی کشورهای مختلف بوده است که برای عموم مردم غیرقابل دسترسی است.

بنابراین در این پژوهش برای اولین بار در سطح کشور با روش استامپ اقدام به عمق‌سنجی سواحل خلیج پریدز شده است، با توجه به نقشه به‌دست‌آمده (شکل ۳) عمق خلیج پریدز در سه طبقه قابل‌نمایش است که نواحی سبزرنگ و نزدیک به خط ساحلی عمقی بین ۰ تا ۱۰۰ متر دارند. این بخش ساحل بیشتر تحت‌تأثیر فرایندهای یخچالی قرار دارد و در بیشتر فصل‌های سرد سال یخ‌بسته دیده می‌شود. نواحی آبی‌رنگ نشان‌دهنده عمقی بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر داشته است. این بخش به‌صورت امتدادی نازک دیده می‌شود و بعد از آن نواحی قرمزرنگ با عمق ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر قرار دارد، در بخش شمالی ساحل و به سمت بالا اختلاف عمق وجود دارد و با توجه به جزیره کوچک که در قسمت شمالی دیده می‌شود. همچنین با توجه به تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2A از منطقه و نقشه عمق‌سنجی منطقه که دریافت شده؛ این اختلاف عمق حاصل وجود کوه‌های زیردریایی است. کوه‌های زیردریایی در بستر دریاهای و اقیانوس‌ها تحت‌تأثیر فرایندهای آتش‌فشانی و فعالیت‌های تکتونیکی ایجاد می‌شوند و توپوگرافی بستر دریاها و اقیانوس‌ها را تشکیل می‌دهد. وجود جزیره کوچک در بخش شمالی این احتمال را تقویت می‌کند. همچنین وجود صخره‌ها از جنس سنگ‌های آتش‌فشانی که در نقشه زمین‌شناسی خلیج پریدز هم مشاهده می‌شود در حاشیه خلیج پریدز این احتمال را بر وجود فعالیت آتش‌فشانی در بستر دریا در دوران زمین‌شناسی نیز افزایش می‌دهد.



شکل ۳. نقشه عمق‌سنجی شده به روش استامپ (نگارندگان، ۱۴۰۳)

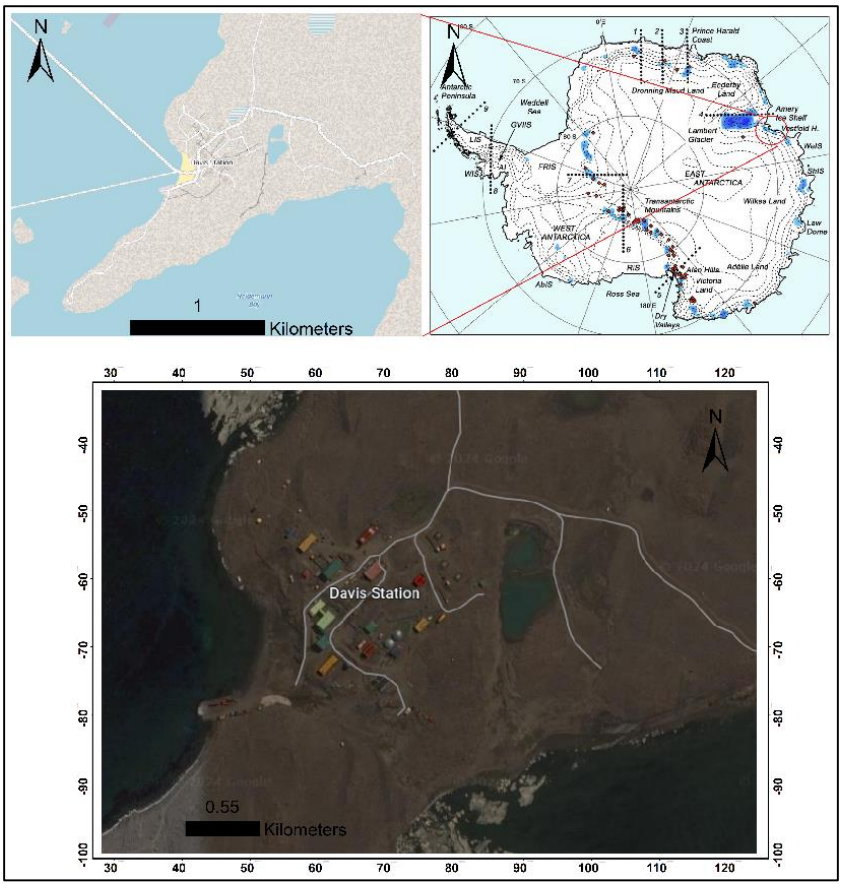
همچنین تحلیل تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2A در خصوص نوع سواحل خلیج پریدز نشان داد که تمام بخش سواحل پریدز دارای بستر صخره‌ای است که در برخی از مناطق برون‌زد دارد و بیشتر مناطق آن پوشیده از یخ و برف است. روند فرایند فرسایش یخچالی و مجاور یخچالی در منطقه سبب شده است که مناطقی که بستر سنگی دارند، تحت‌تأثیر فرسایش و هوازدگی تبدیل به گودال‌های کوچکی شوند که در فصل‌های گرم تبدیل به دریاچه کوچک می‌شود (شکل۴).



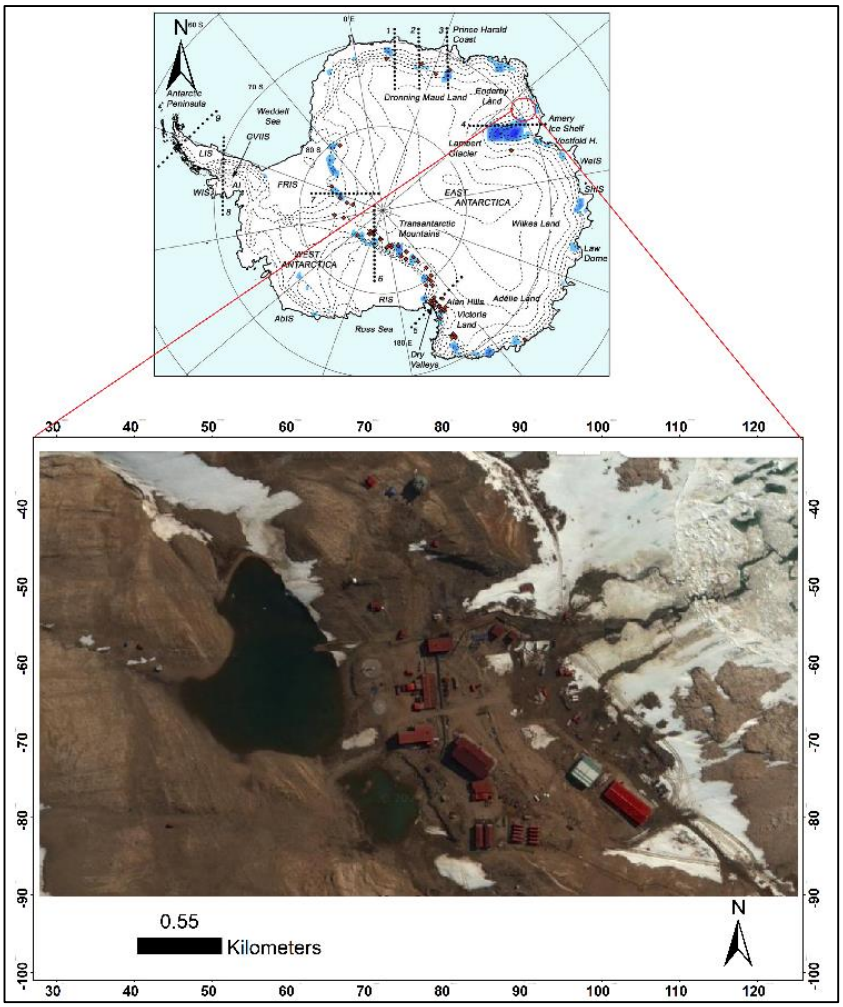
شکل ۴. تصویر بخش صخره‌ای خلیج پریدز (نگارندگان، ۱۴۰۳)

همچنین تحلیل تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2A نشان می‌دهد که در بخش‌های سواحل صخره‌ای ایستگاه‌های اکتشافی مختلفی دیده می‌شود که دائم در منطقه فعالیت می‌کند. یکی از این ایستگاه‌های تحقیقاتی، ایستگاه دیویس بوده که متعلق به کشور استرالیاست و این کشور آن را اداره می‌کند. این ایستگاه پیشرفته بوده و امکانات دریایی و هوایی برای ارتباطات دارد (شکل‌های ۵ و۶)، همچنین از سایر ایستگاه‌ها که به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شده، ایستگاه ژونگ‌شان است که توسط سازمان علوم صنعت هوافضای کشور چین ایجاد شده است، این ایستگاه در بخش غربی خلیج پریدز قرار دارد و درزمینهٔ اکتشافات و تحقیقات علوم زمین فعالیت می‌کند (شکل‌های ۷ و ۸).

شکل ۵. ایستگاه تحقیقاتی دیوس



شکل ۶. نقشه موقعیت ایستگاه تحقیقاتی دیویس متعلق به کشور استرالیا (نگارندگان، ۱۴۰۳)

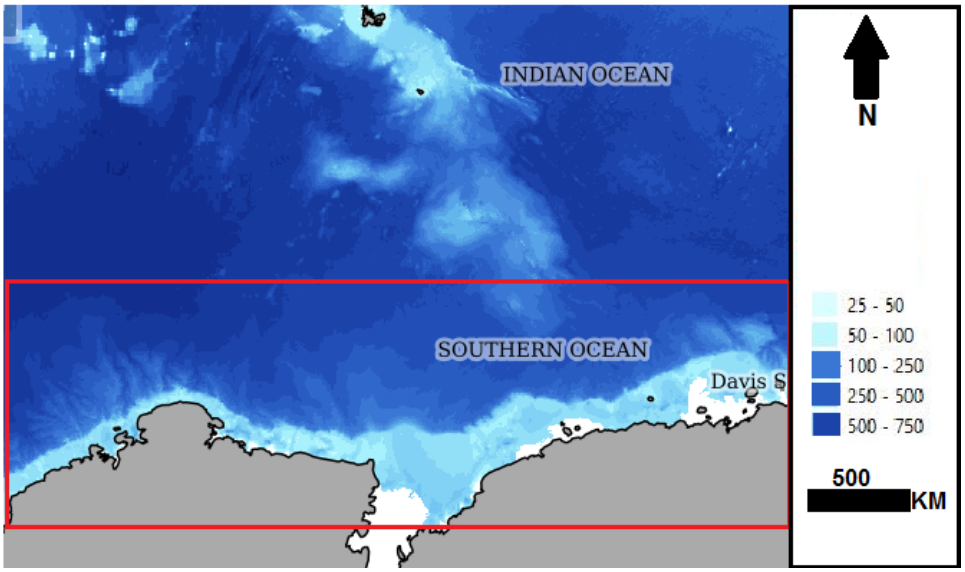


شکل ۷. نقشه موقعیت ایستگاه تحقیقاتی ژونگ‌شان (نگارندگان، ۱۴۰۳)

شکل ۸. ایستگاه تحقیقاتی ژونگ شان

۵. نتیجه‌گیری

هدف از انجام تحقیق حاضر عمق‌سنجی سواحل شمال‌شرقی قطب جنوب با استفاده از فناوری سنجش‌ازدوری (مطالعه موردی: خلیج پریدز) است. بدین منظور از ماهواره Sentinel-2A استفاده شده است. تصاویر Sentinel-2A به علت دارا بودن باندهای طیفی در طول‌موج‌های مختلف در امر عمق‌سنجی سواحل بسیار کارآمد است. همچنین در بین باندهای ماهواره Sentinel-2A، باندهای سبز و آبی بیشترین کاربرد را در عمق‌سنجی دارد. مدل استامپ برای عمق‌سنجی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پیشنهاد شده است که باعث تحولات قابل‌توجهی در این زمینه می‌شود. این پیشنهاد مبتنی بر ترکیب دقت و کارایی بالای مدل استامپ است که به‌طور قابل‌توجهی افزایش قدرت پیش‌بینی و دقت در تحلیل تصاویر ماهواره‌ای می‌دهد. با استفاده از این مدل، امکانات بیشتری برای بررسی و تحلیل تغییرات زمینی و آبی در سطح کره زمین ارائه می‌شود، که این امر برای مطالعات مختلفی ازجمله محیط‌زیست، منابع طبیعی و حتی برنامه‌های فضایی بسیار مهم است. به‌علاوه، این مدل توانایی بالقوه‌ای برای کمک به مسائل امنیتی و انسانی نیز دارد، زیرا امکان مشاهده و نظارت بهتر بر مناطق دورافتاده و مشکوک از طریق تصاویر ماهواره‌ای فراهم می‌شود. به‌طورکلی مدل استامپ در مناطقی که کمبود داده‌های مهم در خصوص عمق‌سنجی احساس می‌شود می‌تواند مفید واقع شود. نتایج کلی نشان‌دهنده این است که سواحل جزیره خلیج پریدز به‌صورت متوسط بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر عمق دارد. عمق پایین ۰ تا ۱۰۰ متری بیشتر در امتداد خط ساحلی قرار دارد و به‌خاطر این‌ه فرایندهای مهم ژئومورفولوژیکی در منطقه بیشتر از نوع یخچالی و مجاور یخچالی است، فرایند رسوب‌گذاری رودخانه و حمل جاگذاری رسوبات در آب‌های آزاد انجام نمی‌گیرد و سواحل منطقه به همان چهره اولیه صخره‌ای باقی‌مانده است. نواحی نیمه عمیق و عمیق به‌صورت کلی در بخش شمالی گسترش دارد. عمق متوسط این منطقه ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر در نوسان است و بیشترین عمق آب در امتداد قسمت شمالی قرار دارد. به‌طورکلی عمق آب در خلیج پریدز امکان کشتی‌رانی و قایق‌رانی را فراهم ساخته؛ اما با توجه به اینکه منطقه موردمطالعه در بخش جنوبگان قرارگرفته، فرایند کشتی‌رانی به خاطر شناور بودن کوه‌های یخی بزرگ یا سطوح یخ‌بسته سطح آب‌های آزاد می‌تواند با مشکل همراه باشد. همچنین تحلیل تصاویر ماهواره‌ای در خلیج پریدز نشان داد که گروه‌های مختلفی از کشور استرالیا و چین در منطقه اقدام به احداث ایستگاه‌های تحقیقاتی کرده‌اند که این اقدام می‌تواند برای کشور ایران با شناسایی مناطق مستعد صورت گیرد و اقدامات اکتشافی از سوی کشور ایران نیز در این بخش از جنوبگان انجام شود. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج خاریابند و عطارچی [۹] که تغییرات عمق تالاب انزلی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی در بازه ۳۰ ساله بررسی کرده‌اند، تفاوت‌ها و شباهت‌هایی وجود دارد.



شکل ۹. نقشه عمق‌سنجی بر اساس داده‌های سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) (نگارندگان، ۱۴۰۳)

در بخش تفاوت‌ها، در پژوهش حاضر مدت‌زمان مدنظر نبوده و به نوع داده فقط از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده و علت آن عدم دسترسی به داده‌های عمق‌سنجی دقیق است که اغلب توسط سازمان‌های جهانی ارائه می‌شود و اخذ و گرداوری آن هزینه زیادی در برمی‌گیرد، همچنین در پژوهش گفته‌شده از تصاویر Landsat استفاده شده و علت این امر بازه زمانی ۳۰ ساله بوده است؛ درحالی‌که در پژوهش حاضر فقط از تصاویر Sentinel استفاده شده است. اما در بخش شباهت‌ها در هر دو پژوهش‌ها از مدل استامپ استفاده شده است که در نحوه اجرا و کسب خروجی یکسان است. یکی از مواردی که مطالعات عمق‌سنجی را که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته و در بخش اعتبارسنجی تأثیر می‌گذارد، نبود یا در دسترس‌نبودن داده‌های دقیق عمق‌سنجی است. وجود داده‌های دقیق در بخش فرایند اخذ خروجی بر میزان دقت و اعتبار آن می‌افزاید؛ اما در مواردی که هیچ‌گونه داده‌های عمق‌سنجی دقیقی وجود نداشته باشد استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند یک دید کلی نسبت به موضوع کار ایجاد کند. همچنین استفاده از فناوری سنجش‌ازدور نسبت به روش‌های فیزیکی بسیار کم‌هزینه هستند و این روش یکی از مزیت‌های سنجش‌ازدور است. همچنین پژوهش حاضر در مقایسه با پایگاه داده معتبر مثل سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) متعلق به ایالات‌متحده آمریکا که از ترکیب داده‌های مرتبط با تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های فیزیکی استفاده می‌کند؛ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در عمق ۲۵۰ تا ۵۰۰ متری و بالای ۵۰۰ متری است و روش استامپ بیشتر برای عمق‌های کمتر از ۵۰۰ متر بیشتر کارساز نبود و خروجی آن با مشکل همراه است. اغلب کیفیت داده‌ها و نوع آن، که در سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) مورداستفاده قرار می‌گیرد نسبت به داده‌های مورداستفاده این پژوهش باکیفیت و دقیق‌تر است؛ زیرا از ماهواره‌هایی استفاده می‌کنند که قدرت تفکیک و تعداد باندهای زیادی دارد و اغلب دسترسی به داده‌های آن رایگان نیست. همچنین استفاده از داده‌های زمینی نیز اعتبار داده‌ای سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) را افزایش می‌دهد؛ اما یکی از مواردی که باعث می‌شود که این‌گونه داده‌ها فقط در بخش مقایسه کاربرد داشته باشند غیر رایگان بودن آن است و تنها استفاده از این داده‌ها به‌صورت شبکه و آنلاین امکان‌پذیر است و تنها برای بخش مقایسه می‌تواند کاربردی باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از داوران و ویراستاران محترم نشریه هیدروفیزیک که در بهبود کیفیت مقاله کمک شایانی داشته‌اند، کمال تشکر را داریم.

مراجع

[۱] پورمینا امیرحسین، برآورد عمق آب‌های ساحلی با استفاده از تصاویر راداری [پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد]. دانشگاه تهران، دانشکده فنی؛ ۱۳۹۷.

[۲] پورمینا، امیرحسین، اردلان آزموده. عمق‌سنجی سواحل بندر جاسک با استفاده از تصاویر راداری مأموریت SENTINEL-1، نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری. ۱۴۰۰؛ ۱۱(۲): ۱۱۵-۱۲۷.

[3] Leu LG, Chang HW. Remotely sensing in detecting the water depths and bed load of shallow waters and their changes. Ocean Engineering. 2005 Jul 1;32(10):1174-98.

[۴] لاری کامران، ابره دری مجید. تلفیق اطلاعات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌های T/P و Jason-1 برای تعیین توپوگرافی سطح دریا در خلیج‌فارس و دریای عمان. مجله علوم و فنون دریایی. ۱۳۹۹؛ ۱۱(۳) : ۳۱-۴۱.

[5] Becker JJ, Sandwell DT, Smith WH, Braud J, Binder B, Depner JL, Fabre D, Factor J, Ingalls S, Kim SH, Ladner R. Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds resolution: SRTM30 PLUS. Marine Geodesy. 2009 Nov 13;32(4):355-71.

[۶] صفری عبدالضا، همایونی سعید، خزایی صفا، آوریده حمیدرضا. برآورد عمق آب‌های ساحلی با استفاده از فراطیفی تصاویر. مجله مهندسی نقشه‌برداری و داده‌های مکانی. ۱۳۹۹؛ ۱ :۶ .

[۷] عبداللهی کاکرودی عطاالله، امینی لیلا، حسنلو مهدی. عمق‌سنجی از نواحی کم‌عمق ساحلی با استفاده از تصاویر لندست-۸ به‌طریق آموزش شبکه عصبی (مطالعه

موردی: جنوب شرقی دریای خزر). مجله علوم و فنون دریایی. ۱۴۰۰؛۲۰(۳۰) : ۱۱۰-۱۲۴ .

[۸] محمدخانلو حکمت‌اله، مدیری مهدی، خصالی الهه، عنایتی حمید. عمق‌یابی در سواحل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل۲ بندر صلاله عمان. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر. ۱۳۹۸؛ ۲۸ (۱۰۹): ۲۵-۳۵.

[۹] خاریابند صبا. عطارچی سارا. ارزیابی تغییرات عمق تالاب انزلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی در بازه سی‌ساله. سنجش‌ازدور و GIS ایران. ۱۳۹۹؛ ۱۲(۲) : ۷۳-۸۲.

[۱۰] رنگزن کاظم، کابلی‌زاده مصطفی، کریمی دانیا. عمق‌سنجی مناطق ساحلی مبتنی بر روش‌های هیبرید نوین و مبتنی‌بر روش‌های تلفیق تصاویر ماهواره‌ای سنتیل-۲ و لندست ۸، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. فصلنامه علمی فضای جغرافیایی. ۱۴۰۱؛ ۲۲(۷۹): ۸۶-۶۷.

[11] Mishra DR, Narumalani S, Rundquist D, Lawson M. Characterizing the vertical diffuse attenuation coefficient for downwelling irradiance in coastal waters: Implications for water penetration by high resolution satellite data. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing. 2005 Dec 1;60(1):48-64.

[12] Ceyhun Ö, Yalçın A. Remote sensing of water depths in shallow waters via artificial neural networks. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2010 Sep 1;89(1):89-96.

[13] Liu S, Zhang J, Ma Y. Bathymetric ability of SPOT-5 multi-spectral image in shallow coastal water. In:2010 18th International Conference on Geoinformatics; 2010 Jun 18; Beijing, china. IEEE; p 1-5.

[14] Vahtmäe E, Kutser T. Mapping bottom type and water depth in shallow coastal waters with satellite remote sensing. Journal of Coastal Research. 2024 Mar;50(sp1):185-9.

[15] Elshazly R, Armanuos A, Elshemy M, Zeidan BA. Modeling the bathymetry of coastal lakes using remote sensing and GIS. Case study of Lake Manzala, Egypt. In:The Nile River System, Africa. 2024 Jan 1 (pp. 261-273). Elsevier.

[16] Ji X, Yang B, Wei Z, Wang M, Tang Q, Xu W, Wang Y, Zhang J, Zhang L. Benthic habitat sediments mapping in coral reef area using amalgamation of multi-source and multi-modal remote sensing data. Remote Sensing of Environment. 2024 Apr 1;304:114032.

[17] Salameh E, Frappart F, Almar R, Baptista P, Heygster G, Lubac B, Raucoules D, Almeida LP, Bergsma EW, Capo S, De Michele M. Monitoring beach topography and nearshore bathymetry using spaceborne remote sensing: A review. Remote Sensing. 2019 Sep 21;11(19):2212.

[18] Smith NR, Zhaoqian D, Kerry KR, Wright S. Water masses and circulation in the region of Prydz Bay, Antarctica. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. 1984 Sep 1;31(9):1121-47.

[19] Vaz RA, Lennon GW. Physical oceanography of the Prydz Bay region of Antarctic waters. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 1996 May 1;43(5):603-41.

[20] Najar MA, Benshila R, Bennioui YE, Thoumyre G, Almar R, Bergsma EW, Delvit JM, Wilson DG. Coastal bathymetry estimation from Sentinel-2 satellite imagery: Comparing deep learning and physics-based approaches. Remote Sensing. 2022 Feb 28;14(5):1196.

[21] Gülher E, Alganci U. Satellite-derived bathymetry mapping on horseshoe island, Antarctic peninsula, with open-source satellite images: evaluation of atmospheric correction methods and empirical models. Remote Sensing. 2023 May 14;15(10):2568.

[22] Abdul Gafoor F, Al-Shehhi MR, Cho CS, Ghedira H. Gradient boosting and linear regression for estimating coastal bathymetry based on sentinel-2 images. Remote Sensing. 2022 Oct 9;14(19):5037.

[۲۳] جهاندار شیدا، آقاگل‌زاده علی، کاظمی‌تبار، سیدجواد. بازشناسی کور کدهای بلوکی در حضور نویز بالا با استفاده از روش‌های آماری. علوم و فناوری پدافند نوین (علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل). ۱۳۹۸؛۱۰ (۴) : ۳۷۳-۳۸۱.

[۲۴] عبدی بسطامی شیوا، معماریان هادی، تاجبخش سید محمد، اعظمی راد محمود. اولویت‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: بخشی از زون کپه داغ-هزار مسجد) پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز. ۱۳۹۸؛ ۱۰(۱۹) : ۱۷۰-۱۵۴.

پی‌نوشت‌ها

1. Prydz
2. Squared Deviations between Classes (SDBC)
3. Squared Deviations from the Array Mean (SDAM)
4. Squared Deviations from the Class Means (SDCM)
5. Goodness of Variance Fit (GVF)
6. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis