

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر فصلنامهی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستودوم، شمارهی ۷۹ پاییز ۱۴۰۱، صفحات ۸۶–۶۷

DOI:10.52547/GeoSpa.22.3.67

*کاظم رنگزن' مصطفی کابلی زاده^۲ دانیا کریمی^۳

عمق سنجی مناطق ساحلی مبتنی بر روشهای هیبرید نوین و مبتنی بر روشهای تلفیق تصاویر ماهوارهای سنتینل-۲ و لندست ۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰٦/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸

*چکید*ہ

هدف این تحقیق بهره گیری از روش های نوین به منظور ارتقاء دقت عمق سنجی ابتدا با به کارگیری روش های پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تصاویر سنتینل-۲ و لندست ۸ و سپس مبتنی بر روش های هیبرید تلفیق است. بدین ترتیب، عمق سنجی در دو منطقه موردمطالعه یعنی خلیج چابهار و خور موسی مبتنی بر سناریوهای مختلف انجام شد. این سناریوها شامل روش سنتی نسبتی، روش های پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تصاویر به سه روش تلفیق شدت-رنگ – اشباع، تبدیل گرام – اشمیدت و تبدیل براووی و روش های پیشنهادی مبتنی بر تلفیق هیبرید تصاویر می میا به منظور اجرای عمق سنجی مبتنی بر تلفیق هیبرید پیشنهادی، خروجی تبدیل تصویر بر اساس روش آنالیز مؤلفه های اصلی با تصویر ورودی مربوط به بهترین نقشه عمق سنجی مبتنی بر تلفیق تصاویر در سطح دیگری از تلفیق با یکدیگر ادغام شدند. نتایج عمق سنجی خلیج چابهار نشان داد که در مقایسه با مدل سنتی نسبتی، مدل های پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تصاویر به دو روش براووی و گرام اشمیدت و مبتنی بر روش هیبرید حاصل از ادغام آنالیز مؤلفه های اصلی و روش تلفیق گرام – اشمیدت بهترین نتایج عمق سنجی را به مدل سنتی نسبتی، مدل های پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تصاویر به دو روش براووی و گرام – اشمیدت و مبتنی بر روش هیبرید حاصل از ادغام آنالیز مؤلفه های اصلی و روش تلفیق گرام – اشمیدت بهترین نتایج عمق سنجی را به دست داده اند. در خصوص عمق سنجی خور موسی نیز روش عمق سنجی پیشنهادی مبتنی بر تلفیق هیبرید آنالیز مؤلفه های الیز سنجی خور موسی نیز روش عمق سنجی پیشنهادی مبتنی بر تلفیق هیبرید آنالیز مؤلفه های اصلی و روش شدت -

^{*}۱- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: kazemrangzan@scu.ac.ir

۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

۳- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

کلید واژهها: عمق سنجی، روش سنتی نسبتی، تلفیق تصاویر، سنتینل-۲، لندست ۸، خلیج چابهار، خور موسی.

مقدمه

عمق سنجی اندازه گیری عمق زیر آب (Renga et al., 2014) و به عبارت دیگر اندازه گیری عمق برای مطالعه توپوگرافی بستر پهنههای آبی ازجمله اقیانوسها، دریاها، رودخانهها و دریاچهها است (Jawak and Luis, 2015). ویژگیهای زیر آب و عمق سنجی یکی از اطلاعات ضروری برای مهندسی و مدیریت ساحلی و همچنین برای بهرهبرداری و حفاظت از سواحل است. بهعنوانمثال، داشتن اطلاعات دقیق در مورد عمق آب برای حملونقل ایمن، ماهیگیری ساحلی و آبزیپروری، تحقیقات جزر و مد و تنوع زیستی، برنامهریزی اسکله و سایر فعالیتهای انسانی که در مناطقی با عمق آب کمتر از ۱۰۰ متر انجام می شود بسیار مفید و ضروری است. همچنین سازههای زیر آب ساختهشده توسط انسان مانند خطوط لوله، کابلهای مسیریابی و نیروگاهها نیاز به اطلاعات دقیق عمق آب دارند (Boccia et al., 2015). معمولاً اندازه گیریهای سنتی عمق آب توسط سیستمهای سونار تک پرتو یا چند پرتو حمل شده توسط کشتیها انجام میشود که میتوانند دادههایی با دقت بالا تهیه کنند، اما نهتنها پرهزینه و وقتگیر بلکه در مناطق کمعمق و مکان های خاص مثل مرزهای سیاسی، نقشهبرداری منظم عمق امکان پذیر نیست (Zhang et al., 2017). سیستمهای مختلف مشاهداتی برای عمق سنجی شامل موارد زیر است: ۱) سیستمهای فعال (سونار ٤ تک پرتو یا چند پرتو و سیستم تشخیص و مسافت یابی نوری٥ یا لیدار و همچنین سیستمهای راداری فعال (رادار روزنه واقعی7 یا RAR و رادار روزنه مصنوعی۷ یا SAR) که اجرای روشهای قوی برای تهیه دادههای باکیفیت بالا را امکانپذیر میکنند و ۲) سیستمهای غیرفعال (سنسورهای چندطیفی و ابرطیفی) بر اساس سکوی هوایی یا ماهوارهای که به کارگیری دادههای سنجش از دور باقابلیت پوشش مناطق بزرگ با هزینه کم را برای اندازه گیری عمق فراهم میکنند. الگوریتمهای عمق سنجی بر اساس پسزمینه آنها شامل دو دسته است: ۱) الگوریتمهای مبتنی بر بازتاب نور خورشید و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آب و ۲) الگوریتمهای مبتنی بر فرآیندهای هیدرودینامیکی. گروه اول شامل سه دسته است: الف) الگوریتمهای مبتنی بر معادله انتقال تابش الکترومغناطیسی در آب، ب) مدل های تجربی که بر اساس رابطه آماری بین مقادیر پیکسل و دادههای میدانی عمق آب استند و ج) مدل های حاصل از ادغام هر دو مدل نظری و آماری قبل. طبق تحقیق (Jawak and Luis (2015) گروه شماره ۱ که از تصاویر

⁴⁻ Sound Navigation and Ranging (SONAR)

⁵⁻ Light Detection and Ranging (LiDAR)

⁶⁻ Real Aperture Radar

⁷⁻ Synthetic Aperture Radar

سنجش از راه دور اپتیکی برای عمق سنجی استفاده میکند، از دودسته مدلهای تحلیلی و تجربی تشکیل شده است. متداولترین روش در گروه الگوریتمهای تجربی، مدل نسبتی پیشنهادی توسط (2003) Stumpf et al و روش خطی ارائه شده توسط (Lyzenga et al (2006), lyzenga and Bennett (1988) است. سایر روش های تجربی توسط Cogner et al (2006)، (1988) Jupp و غيره ارائه شده است. مدل نسبتی پيشنهادی توسط (2003) Stumpf et al (2003) قادر است عمق آب بیش از ۲۵ متر را در شرایط آب شفاف تخمین بزند (Misra et al., 2018). مدل تجربی نسبتی (2003) Stumpf et al نسبت به مدلهای تحلیلی به دادههای میدانی کمتری احتیاج دارد و استفاده از آن سادهتر و در مناطق بزرگ جغرافیایی و محیطی ناهمگن پایدارتر است. سنجش از دور و بهکارگیری تصاویر ماهوارهای کاربرد زیادی بویژه در مطالعات زیست محیطی و پهنههای آبی دارد Rangzan et al., 2022 a, b; Rangzan et al., 2020) a; Rangzan et al., 2019 a; Sadeghian et al., 2022). مطالعات عمقسنجی زیادی با بهکارگیری تصاویر رادهای اپتیکی انجام شده است ; Caballero and Stumpf, 2019; Heydarian et al., 2016; Li et al., 2019; ماهوارهای اپتیکی انجام Wang .(Sagawa et al., 2019; Casal et al., 2019; Wang et al., 2019; Traganos et al., 2018; Kabiri, 2017 et al (2019)) وایک سیستم بردار پشتیبان توزیع مکانی (SVM)^برای ارزیابی عمق آب کمعمق با استفاده از تصاویر ماهوارهای نوری ارائه دادند. برخلاف مدلهای سنتی که از یک مدل جهانی ترکیبی برای پیشبینی عمق کل منطقه موردمطالعه استفاده میکنند، مدل آنها از SVM های آموزشدیده محلی و انتخابات وزندار مکانی استفاده میکند تا با استفاده از تصویر چند طیفی آیکونوس-۲° و تصویر LiDAR مقدار عمق را پیش بینی کنند. این سیستم SVM با توزيع مكانی انحراف پيش.بينی منطقهای نداشته و مقدار باقيمانده پيش.بينی آن نيز يک الگوی تصادفی را نشان میدهد. مدل آنها در حالت تراکم بسیار کم نمونه میدانی نیز خوب عمل میکند. (2019) Casal et al رابطه بین باند تصویر سنتینل-۲ و دادههای عمق چند پرتو را با استفاده از روش کریجینگ تجزیهوتحلیل کردند. نتایج آنها بهبود دقت پیشبینی را نشان میدهد که پیشبینی عملی و مؤثر در اعماق تا ٦ متر رخ داد. (Li et al (2019) الگوریتم عمق سنجی جدیدی برای ماهواره پلنت داف' و ماهوارههای مشابه معرفی کردند که برآوردگر عمق را مطابق با شرایط میرایی در ستون آب تنظیم میکند. بهترین نتایج این الگوریتم در عمق ٤ تا ١٠ متر بوده و می توان از آن برای تهیه نقشههای با وضوحبالا استفاده کرد. (Traganos et al (2018) از الگوریتمهای متداول برای عمق سنجی استفاده کردند. این محققان در تحقیق خود از اصلاحات درخشش خورشیدی، ابری و جوی، ترکیب تصویر و نرمالسازی رادیومتری برای پرداختن به تداخلات درون تصویری و بین تصویری قبل از آموزش و اعتبارسنجی چهار الگوریتم عمق سنجی مبتنی بر تصاویر ماهواره در سه منطقه در دریای اژه در مدیترانه شرقی استفاده کردند. نتایج آنها اهمیت نرمال شدن رادیومتری را در عمق سنجی مناطق مورد مطالعه تأیید نمود. هدف از این تحقیق بهبود دقت مدل نسبتی سنتي ارائهشده توسط (Stumpf et al (2003) است. اين مدل از مقدار لگاريتم پيکسل تصحيحشده جوي براي دو باند، یک ثابت قابل تنظیم برای مقیاس شدن نسبت به عمق، یک ثابت نامتغیر و مقدار جبرانی یا آفست برای زمانی

⁸⁻ Support Vector Machine

⁹⁻ IKONOS-2

¹⁰⁻ Planet Dove

که عمق معادل صفر برای تخمین عمق استفاده میکند. در این مدل فقط دو پارامتر قابل تخمین وجود دارد. به منظور بهبود دقت مدل، روش های عمق سنجی نوینی مبتنی بر تلفیق تصاویر و مبتنی بر ادغام پروسه تبدیل و پروسه تلفیق تصاویر سنتینل-۲ و لندست ۸ برای سنجش عمق در دو منطقه در سواحل جنوب ایران معرفی میشود. پس از اجرای سناریوهای مختلف، بهترین روش عمق سنجی هر منطقه شناسایی خواهد شد. لازم به ذکر است که بر اساس پیشینهی تحقیق مؤلفان، روش های عمق سنجی پیشنهادی در این مطالعه تابه حال برای عمق سنجی استفاده نشدهاند.

منطقه مورد مطالعه

اولین منطقه مورد مطالعه خلیج چابهار واقع در جنوب شرقی ایران (شمال خلیج عمان) که بین عرض جغرافیایی '۱۷ °۲۵ تا '۲۲ °۲۵ شمالی و طول جغرافیایی '۲۶ °۶۰ تا '۳۷ °۶۰ شرقی قرار دارد (شکل ۱- الف).



شكل ۱: مناطق موردمطالعه: الف) خليج چابهار، ب) خور موسى Figure 1: study areas: a) Chabahar Bay, and b) Mousa Estuary

مساحت این خلیج مدور حدوداً ۲۹۰ کیلومترمربع و محیط آن حدوداً ۲۸ کیلومترمربع است. مناطقی با عمق بیش تر در قسمتهای جنوبی خلیج یافت می شود، در حالی که قسمتهای مرکزی دارای عمق حدوداً ۱۰ متر هستند. آبوهوای این منطقه گرم و مرطوب بوده، دمای هوا و رطوبت هوا در زمستان بین ۷ درجه سانتی گراد و ۵۵ درصد و ٤٧ درجه سانتی گراد و ۷۵ درصد در تابستان تغییر می کند (Kabiri, 2017). دومین منطقه مورد مطالعه خور موسی در جنوب استان خوزستان و جنوب غرب ایران، بین طول جغرافیایی شرقی "۳۰ '۵۸ ۵۹ تا "۳۰ '۱۱ '۹۹ و عرض جغرافیایی شمالی '۱۰ °۳۰ تا '۳۰ °۳۰ قرار دارد (شکل ۱– ب). خور موسی یک دالان طبیعی دریایی است که در شمال غرب خلیج فارس واقع شده است. ازلحاظ موقعیت، دهانه خور موسی در ۳۷ کیلومتری شرق رودخانه بهمن شیر آبادان قرار گرفته است.

مواد و روشها

تصاویر ماهوارهای و دادههای عمق میدانی

بهمنظور عمق سنجی خلیج چابهار، تصویر سنتینل-۲۸ به تاریخ ۲۰۱۵–۱۱–۱۵ با سطح پردازشی MSIL1C به صورت تصحيح هندسی شده از سايت سازمان فضايی اروپا يا ESA (main scihub.copernicus.eu) به صورت تصحيح هندسی dhus/#/home/) دانلود شد. تصحیح اتمسفری این تصویر با استفاده از ماژول SEN2COR انجام شد. دومین تصویر به کار گرفته شده، تصویر لندست ۸ به تاریخ به تاریخ ۲۰۱۵–۲۱–۲٤ با سطح پردازشی LITP و بهصورت تصحیح هندسی و اتمسفری شده از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا یا USGS (/https://earthexplorer.usgs.gov) دانلود شد. بهمنظور عمق سنجی خور موسی تصویر سنتینل-۲۸ به تاریخ ۲۰۱۲–۰۳–۱۹ با سطح پردازشی MSIL1C به صورت تصحیح هندسی شده از سایت ESA دانلود شد. تصحیح اتمسفری این تصویر نیز با استفاده از ماژول SEN2COR انجام شد. دومین تصویر به کار گرفته شده، تصویر لندست ۸ به تاریخ به تاریخ ۲۰۱۶–۰۳–۲۳ با سطح پردازشی LITP و بهصورت تصحیح هندسی شده از سایت USGS دانلود شد. تصحیح اتمسفری این تصویر با استفاده از نرمافزار ENVI ۴.۸ صورت گرفت. بهمنظور تهیه نمودار دریایی خلیج چابهار بررسی میدانی هیدروگرافی چابهار توسط مرکز ملی نقشهبرداری ایران (NCC) انجام شد که دادههای عمق توسط یک اکوساندر تک پرتو با یک سیستم موقعیتیاب دیفرانسیل جهانی (DGPS) جمعآوری شد که این دادهها در دامنهی ۱/٤ تا ۱۵- متر قرار داشتند. صحت و دقت این دادهها برای تولید نقشههای عمق سنجی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ یا کوچکتر مناسب است. فاصله بین نقاط مورد بررسی در مناطق مختلف متفاوت بود، بهطوری که هرچه توپوگرافی خشن تر باشد، فاصله بین نقاط کمتر است. مقادیر عمق بر اساس اطلاعات جزر و مدی حاصل از منطقه موردمطالعه (بهدست آمده از NCC، گروه هیدرو گرافی) برای تاریخ و زمان عبور ماهواره تنظیم شد (Kabiri, 2017). عمق سنجی میدانی خور موسی در اسفندماه ۱۳۹٤ در محدودهی خور موسی توسط دستگاه عمق یاب اکوساندر هوندکس انجام شد. دامنه عمق میدانی اندازه گیری شده بین ۱ تا ۲۲/۳ متر است. نکته بسیار مهم در مورد دادههای میدانی عمق خور موسى تعداد بسيار كم و توزيع نامناسب نقاط برداشت در مقايسه با منطقه چابهار است. خليج چابهار با مساحتی کمتر از خور موسی دارای ۱۰۲۹۹۸ داده میدانی عمق با فواصل کم و بسیار منظم است درصورتیکه خور موسی تنها دارای ۱۹۳ نقطه میدانی عمق با فواصل زیاد و توزیع نامناسب است. بدون شک هر چه تعداد دادههای میدانی عمق بیشتر، منظمتر و دارای فواصل برداشت متناسب با تغییرات توپوگرافی منطقه باشد عمق سنجی دقیقتر انجام خواهد شد. جدول زیر مشخصات تصاویر ماهوارهای و دادههای میدانی را نشان میدهد.

تصاویر ماهوارهای خلیج چابهار							
قدرت تفکیک مکانی (متر)	تعداد باند	تاريخ تصويربرداري	پلتفرم	سطح پردازشی	تصوير		
١.	١٣	10-11-7.10	S2A	L1C	سنتينل-٢		
۱۵ و ۳۰	11	78-11-7.10		L1TP	لندست ۸		
تصاویر ماهوارهای خور موسی							
قدرت تفکیک مکانی (متر)	تعداد باند	تاريخ تصويربرداري	پلتفرم	سطح پردازشی	تصوير		
۱.	١٣	19-•٣-٢•1٦	S2A	L1C	سنتينل-٢		
۱۵ و ۳۰	11	۲۳-۰۳-۲۰۱٦		L1TP	لندست ۸		
داده عمق میدانی خور موسی			داده عمق میدانی خلیج چابهار				
دامنه تغييرات عمق	مق	دستگاه سنجش ع	دامنه تغییرات دستگاه سنجش عمق عمق		دستگاه سنج		
۱ تا ۲۲/۳ متر	ر هوندکس	دستگاه عمق ياب اكوساند	۱/٤ تا ۱۵– متر	با یک سیستم انسیل جهانی	اکوساندر تک پرتو موقعیتیاب دیفر		
۱ تا ۱۲/۳ متر	- دستگاه عمق یاب اکوساندر هوندکس		عمق ۱/٤ تا ۱۵ – متر	اکوساندر تک پرتو با یک سیستم موقعیتیاب دیفرانسیل جهانی			

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهوارهای و دادههای میدانی مورد استفاده Table 1- The characteristics of utilized satellite imageries and field depth data

تلفيق تصاوير

توسعه ی سریع علم سنجش ازدور در سال های اخیر و گسترش کاربردهای تصاویر چند سنجنده ای، باعث اهمیت روزافزون تلفیق تصاویر^{۱۱} به منظور دستیابی به داده هایی با اطلاعات طیفی و مکانی بالا شده است. هدف از تلفیق داده های سنجنده های مختلف که به معنی ترکیب اطلاعات تصاویر حاصل از دو یا تعداد بیش تری سنجنده است، داده های سنجنده های سنجنده های منجنده ی و مکانی بالا شده است. هدف از تلفیق ترکیب اطلاعات مکمل آن ها برای به معنی ترکیب اطلاعات تصاویر حاصل از دو یا تعداد بیش تری سنجنده است، مفید بر کیب اطلاعات مکمل آن ها برای به دست آوردن تصویر یا داده ای است که نسبت به تصاویر اولیه دارای اطلاعات مفید بیش تری است (ولیه دارای اطلاعات تصاویر یا داده ای است که نسبت به تصاویر اولیه دارای اطلاعات مفید بیش تری است (کمل آن ها برای به دست آوردن تصویر یا داده ای است که نسبت به تصاویر اولیه دارای اطلاعات مفید بیش تری است (کمل است (ولیه دارای اطلاعات المالاعات مفید بیش تری است (ولیه دارای اطلاعات مفید بیش تری است (ولیه دارای اطلاعات مفید بیش تری است (ولیه مارای به دست آوردن تصویر یا داده ای است که نسبت به تصاویر اولیه دارای اطلاعات ترکیب اطلاعات مفید بیش تری است (ولیه دارای اطلاعات (ولی بیش تری است (کمل المال ولی شدت رنگ اله الاعات). در این پژوه ش از روش های مبتنی بر پیکسل به منظور تلفیق تصاویر استفاده می شود که شامل روش شدت رنگ اشباع ^{۱۱} یا Karim at IHS (Context)، تبدیل گرام اشمیدت^{۱۱} یا Karim و 2016) می باشند. (کاری (کرای اله مال ولی ^{۱۱} یا ۲۵۵ (GST))، تبدیل گرام ولی ^{۱۱} یا (ولی اله مالا که (Context))، تبدیل گرام اله می در ۲۱ یا (Context) (Context))، تبدیل گرام ولی ^{۱۱} یا ۲۵۲ (Context) (Context) می باشند.

آناليز مؤلفه اصلى^{١٥} (PCA)

PCA بهمنظور استخراج امضاهای طیفی ترجیحی مورد استفاده قرار میگیرد. PCA بهطور گسترده در بسیاری از زمینههای تحقیقاتی مورد استفاده قرارگرفته است تا ابعاد فضای سنسور اصلی را کاهش داده و تحلیلهای بعدی را

¹¹⁻ Image Fusion

¹²⁻ Intensity- Hue- Saturation (HIS)

¹³⁻ Gram- Schmidt Transform (GST)

¹⁴⁻ Brovey Transform (BT)

¹⁵⁻ Principal Component Analysis (PCA)

ساده کند. PCA بهصورت خطی مجموعهای از باندهای داده ورودی را به تعداد مساوی از متغیرهای خطی غیر همبسته (مؤلفههای اصلی، رایانههای شخصی) تبدیل میکند که هر یک بهترتیب بزرگترین بخش ممکن از واریانس دادههای باقیمانده را شامل میشود (Kambhatla and Leen, 1997).

روش سنتى نسبتي عمق سنجى

Stumpf et al (2003) به منظور بر آورد عمق آب مدل نسبتی ^۲ را به صورت زیر پیشنهاد دادند:

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0 \tag{1}$$

که (λi) و (λi) مقدار پیکسل تصحیح شده جوی برای باندهای i و j I m یک ثابت قابل تنظیم برای مقیاس شدن نسبت به عمق، n یک ثابت نامتغیر، عمدتاً برای اطمینان از مقدار مثبت پس از تبدیل لگاریتمی و پاسخ خطی بین نسبت و عمق، m مقدار جبرانی یا آفست برای زمانی که · = Z است. در این مدل نسبتی و غیرخطی، فقط دو پارامتر (m و m) باید تخمین زده شوند (2008) Deng et al. یک در واقع (2003) یک مدل جایگزین برای تعیین عمق سنجی ارائه دادند که به شکل بهتری کدورت آب را در نظر میگیرد. از مزایای این مدل این است مدل این است است محلی یک مدل جایگزین برای تعیین عمق سنجی ارائه دادند که به شکل بهتری کدورت آب را در نظر میگیرد. از مزایای این مدل این است که بمجای چندین باند طیفی فقط دو باند طیفی استفاده می شود و می توان آن را به ویژگیهای با آلبدوی کم نیز اعمال کرد (2015) کرد (2015) که به جای چندین باند طیفی فقط دو باند طیفی استفاده می شود و می توان آن را به ویژگیهای با آلبدوی کم نیز اعمال کرد (2015) کرد (2015) که بهجای یک مدل تبدیل غیرخطی نوین ارائه دادند که به شکل بهتری کدورت آب را در نظر میگیرد. از مزایای این مدل این است (می ای رای در این ای این مدل این این می ایند طیفی استفاده می شود و می توان آن را به ویژگیهای با آلبدوی کم نیز اعمال کرد (2015) کم در واقع (2003) که بهجای یک مدل تبدیل غیرخطی نوین ارائه دادند که اعمال کرد (مایهای لگاریتمی خطی (که به طور گسترده به کار می روند) این مدل نوین پیش بینی دقیق تری برای اعمال کرد رقای آبی عمیق و زیستگاههای کم عمق با بازتاب کم (مانند جلبکهای بسیار متراکم یا علف دریایی متراکم) بهدست می آورد.

روش عمق سنجى پيشنهادى

در این تحقیق روش های نوینی ابتدا مبتنی بر تلفیق تصاویر و سپس مبتنی بر ادغام PCA و تلفیق تصاویر به منظور بهبود نتایج حاصل از مدل نسبتی سنتی عمق سنجی ارائه شده است. در مرحله اول، PCA برای تبدیل تصاویر اعمال می شود. در مرحله دوم تلفیق تصاویر سنتینل-۲ و لندست ۸ بر اساس روش های تلفیق تصویر (ImF) شامل مدل های تلفیقی HSI، TB و GST اجرا می گردد. مرحله سوم تلفیق خروجی PCA با بهترین خروجی تصاویر تلفیق شده به روش ترکیبی است که به عنوان روش PCAImF نام گذاری شد. ارزیابی و صحت سنجی نتایج بر اساس پارامتر آماری ریشه حداقل مربعات خطا^{۱۷} یا RMSE (معادله ۱) انجام می شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma(X_p - X_o)^2}{N}}$$
(1) (1)

¹⁶⁻ Ratio model

¹⁷⁻ Root Mean Square Error (RMSE)

که در آن XP متغیر پیش بینی شده است، XO متغیر مشاهده شده و N تعداد متغیرهای مشاهده شده است Elhag et) al., ۲۰۱۹). ماسک کردن پیکسل های خشکی با به کارگیری شاخص تفاضلی آب نرمال شده^{۱۸} (NDWI) با استفاده از معادله زیر انجام شد.

$$NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR}$$
 (۳) رابطه (۳)

که G باند سبز و NIR باند مادونقرمز نزدیک مربوط به تصویر ورودی است. جدول (۲) تعریف اسامی مخفف به کار رفته در این پژوهش را نشان میدهد.

تعريف	مخفف	#	تعريف	مخفف	#
مدل نسبتی مبتنی بر تصویر تلفیقشده بروش IHS	IHS_ratio model	11	لندست ۸	L8	١
تلفیق خروجی روش PCA و خروجی تلفیق تصاویر	PCAImF methods	١٢	سنتينل-٢٨	S2A	۲
مدل نسبتی مبتنی بر تلفیق خروجی روش PCA و خروجی تلفیق تصاویر	PCAImF_ratio models	١٣	تبدیل مؤلفههای اصلی	PCA	٣
مدل نسبتی مبتنی بر تلفیق خروجی روش PCA و خروجی تلفیق GST بروش GST	PCAGST_ratio model based on GST	١٤	روش تلفيق گرام-اشميدت	GST	٤
مدل نسبتی مبتنی بر تلفیق خروجی روش PCA و خروجی تلفیق GST بروش IHS	PCAGST_ratio model based on IHS	10	روش تلفیق شدت رنگ اشباع	IHS	٥
مدل نسبتی مبتنی بر تلفیق خروجی روش PCA و خروجی تلفیق GST بروش BT	PCAGST_ratio model based on BT	١٦	روش تلفيق براووي	BT	٦
مدل نسبتی مبتنی بر تلفیق خروجی روش PCA و خروجی تلفیق BT بروش GST	PCABT_ratio model based on GST	١٧	تلفيق تصاوير	ImF	٧
مدل نسبتی مبتنی بر تلفیق خروجی روش PCA و خروجی تلفیق BT بروش BT	PCABT_ratio model based on BT	١٨	مدل نسبتی مبتنی بر تصویر تلفیقشدہ	ImF_rati o model	٨
مدل نسبتی مبتنی بر تلفیق خروجی روش PCA و خروجی تلفیق BT بروش IHS	PCABT_ratio model based on IHS	١٩	مدل نسبتی مبتنی بر تصویر تلفیقشده بروش BT	BT_rati o model	٩
	·	بر	مدل نسبتی مبتنی بر تصوی تلفیقشده بروش GST	GST_rat io model	۱.

جدول ۲– تعریف اسامی مخفف مربوط به تصاویر ورودی
Table 2- Definition of abbreviation names related to input images

¹⁸⁻ Normalize Difference Water Index (NDWI)

يافتهها و بحث

بهمنظور تولید مدلهای عمق سنجی، منطقه مورد مطالعه به دو بخش آموزش و تست تقسیم و مدلها با در نظر گرفتن دادههای آموزش تولید و در انتها، با در نظر گرفتن دادههای تست، صحت سنجی مدلها در کلاسهای مختلف عمق صورت می گیرد. هدف این بخش ارزیابی قابلیت مدلهای عمق سنجی پیشنهادی در بهبود نتایج عمق سنجی است. قابل ذکر است که عمق سنجی خلیج چابهار بر اساس ۱۰ سناریو و عمق سنجی خور موسی بر اساس ۷ سناریو انجام خواهد شد. همان طور که قبلاً نیز گفته شد، به منظور ایجاد دادههای ورودی مفیدتر، از روشهای ImF ،PCA ورودی جدید برای عمق سنجی خلیج چابهار و لیه، ۲۷ ورودی جدید برای عمق سنجی خور موسی از م ۱۸ ورودی جدید برای عمق سنجی خور موسی به دست آمد.

عمق سنجی خلیج چابهار مبتنی بر مدل سنتی نسبتی پس از ماسک کردن پیکسل های خشکی و همچنین پیکسل های مربوط به قایق و کشتی های موجود در سطح آب، نقشه عمق سنجی بهدست آمده بروش نسبتی سنتی مبتنی بر بهکارگیری تصویر S2A بهصورت زیر بهدست آمد (شکل ۲).





عمق سنجی خلیج چابهار مبتنی بر مدل پیشنهادی ImF_ratio

در این مرحله سه روش تلفیق BT، BT و GST بهمنظور تلفیق دو تصویر S2A و L8 اجرا شد و سپس مدل نسبتی جدید عمق سنجی ImF_ratio مبتنی بر خروجی روشهای تلفیق اجرا گردید. شکل زیر سه نقشه عمق سنجی بهدست آمده بر اساس مدلهای ImF_ratio را نمایش میدهد.



شکل ٤: نقشه عمق سنجی خلیج چابهار بروش ImF_ratio: الف) مبتنی بر روش BT_ratio. ب) مبتنی بر روش GST_ratio و پ) مبتنی بر روش IHS_ratio



عمق سنجی خلیج چابهار مبتنی بر روش هیبرید پیشنهادی بهمنظور اجرای مدل هیبرید پیشنهادی، نقشه مبتنی بر روش PCA_ratio و بهترین نقشه عمق سنجی مبتنی بر روش ImF_ratio برای اجرای مدل پیشنهادی مدنظر قرار گرفتند. بدین ترتیب، تصویر PCA حاصل از تصویر S2A و تصویر ورودی بهمنظور تولید بهترین نقشه مبتنی بر مدل ImF_ratio که بهترتیب شامل BT_ratio و GST_ratio میباشند (جدول ۲) با یکدیگر تلفیق شده و ورودی پروسه عمق سنجی مبتنی بر روش هیبرید پیشنهادی تولید گردید. شکل (۵) نقشه عمق سنجی بهدست آمده بر اساس مدلهای هیبرید پیشنهادی را نمایش میدهد.



شکل ۵: نقشه عمق سنجی خلیج چابهار: الف) مبتنی بر روش PCABT_ratio بر اساس روش تلفیق BT. ب) مبتنی بر روش PCABT_ratio بر اساس روش تلفیق GST، پ) مبتنی بر روش معالی PCABT_ratio بر اساس روش تلفیق IHS، ت) مبتنی بر روش PCABT_ratio بر اساس روش تلفیق BT. ث) مبتنی بر روش PCAGST_ratio بر اساس روش تلفیق GST، ج) مبتنی بر روش PCAGST_ratio بر اساس روش تلفیق IHS

Figure 5: Bathymetry map of Chabahar Bay: a) based on PCABT_ratio method based on BT integration method, b) based on PCABT_ratio method based on GST integration method, c) based on PCABT_ratio method based on IHS integration method, d) based on method PCABT_ratio based on BT consolidation method, c) based on PCAGST_ratio method based on GST consolidation method, c) based on PCAGST_ratio method based on IHS consolidation method, c) based on PCAGST_ratio method based on IHS consolidation method صحت سنجی نقشههای عمق سنجی خلیج چابهار همانگونه که قبلاً اشاره شد، بهمنظور تولید مدلهای عمق سنجی، منطقه موردمطالعه به دو بخش آموزش و تست تقسیم و مدلهای عمق سنجی با در نظر گرفتن دادههای آموزش تولید شد. در این مرحله، با در نظر گرفتن دادههای تست، صحت سنجی مدلها صورت می گیرد. بهمنظور صحت سنجی دقیق نتایج، تقسیم عمق منطقه به ۱۱ کلاس صورت گرفت و دقت هر کلاس عمق محاسبه گردید (جدول ۳).

RMSE جدول ۳- صحت سنجی نقشههای عمق سنجی خلیج چابهار بر اساس کلاسهای مختلف عمق در بخش تست و بر اساس پارامتر RMSE Table 3- Validation of bathymetry maps of Chabahar Bay based on different depth classes in the test section and based on the RMSE parameter

PCA GST_ratio (GST)	PCA GST_ratio (BT)	IHS_ ratio	BT_ ratio	GST_ ratio	مدل نسبتی (S2A)	
٥/٩٤	٦/٤	٥/٩	٤/٩٨	0/9٤	0/V1	عمق> ۱–
٥/٢٦	٥/٥٨	٥/٢٣	٤/٥٥	0/10	٥/•٨	1- تا ۲-
٤/٤١	٤/٥٩	٤/٣٩	٤	٤/١٤	٤/٢٩	۲ تا ۳–
ተ /ተለ	۳/٥١	٣/٣٩	٣/١٥	۳/۳۲	٣/٣	۳- تا ٤-
Y/TV	۲/٦٤	۲/۷۱	۲/٦٦	۲/۵٦	۲٦٦٦	٤- تا ٥-
۲/۱	١/٨٨	۲/۱٤	۲/۳٥	١/٩٥	۲/۱۳	ہ– تا ۲–
١/٥٦	۱/۰۲	1/0	۲	1/YY	١/٥٦	٦- تا ٧-
١/٢٢	•/74	١/٢٢	1/AV	۱/۰٥	١/٣٦	۷– تا ۸–
١/٥٨	١/٣٢	1/09	۲/۰۳	١/٤٢	١/٧	۸– تا ۹–
۲/٦٢	۲/٤٤	۲/۵۷	Y/AA	۲/۲٤	۲/٦٧	۹- تا ۱۰–
٤/٨٧	٥/•٨	٤/٩	٤/٥٢	٥/٠٣ ٤/٩٢		عمق <=١٠-
٣	٣/٩٥	٣/٨٣	٣/٥٩	٣/٨١	۳/۸۱	صحت کل
		PCA	PCA	PCA	PCA	
		BT_ratio (IHS)	BT_ratio (GST)	BT_ratio (BT)	GST_ratio (IHS)	
		٥/٧٨	٥/٣٢	٥/٥٨	٦/٢٦	عمق> ۱-
		0/11	٤/٨٢	٤/٩٨	٥/٤٧	1 - تا ۲ -
		٤/٣٢	٤/٢٢	٤/٢٣	٤/٥	۲ – تا ۳
		٣/٣٢	٣/٣٨	٣/٢٧	۳/٤٥	۳– تا ٤–
		۲/٦٣	۲/۷۳	۲/٦٥	۲/٦٤	٤- تا ٥-
		۲/۱	۲/۲٥	۲/۱٦	١/٩٨	0- تا ٦-
		١/٥٣	١/٧٣	١/٦٣	1/44	-۷ تا ۷
		١/٣٣	١/٤٩	١/٤٦	•/٨٨	۷– تا ۸–
		۲۲/۱	١/٧٨	1/VV	١/٣٩	۸– تا ۹–
		۲/٦٢	۲/۷٥	۲/۷۲	۲/٤٨	۹- تا ۱۰-
		٤/٨٧	٤/٧١	٤/٨٧	٥/•٢	عمق <=١٠-
		٣/٧٩	۳/۷	٣/٧٧	٣/٩١	صحت کل

همان طور که در جدول فوق دیده می شود، بهترین دقت برای عمق سنجی مناطق کم عمق تر از ۱- متر، ۱- تا ۲- متر، ۲- تا ۳- متر ۳- تا ٤- متر بر اساس مدل BT_ratio و بهترتیب معادل با ٤/٩٨، ٤/٥٥، ٤ و ٣/١٥ است. بهترین دقت برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ٤- تا ٥- متر بر اساس مدل GST_ratio و معادل با ٢/٥٦، بهترین دقت برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ٥- تا ٦- متر، ٦- تا ٧-، ٧- تا ٨- و ٨- تا ٩- بر اساس مدل PCAGST_ratio مبتنی بر روش تلفیق BT و بهترتیب معادل با ٢٠٨٨، ٢/١٠٢، ٩٦/٩ و ١/٣٢، بهترین دقت برای عمق سنجی مناطق با عمق ٩-تا ١٠- متر بر اساس مدل GST_ratio و معادل با ٢٤٤، بهترین دقت برای عمق سنجی مناطق با عمق بیش از ١٠-متر بر اساس مدل BT_ratio و معادل با ٢٤٤، بهترین محت کل بر اساس روش منطق با عمق بیش از ١٠-بهدست آمد. با توجه به این نتایج بهراحتی میتوان دید که در مقایسه با مدل سنتی نسبتی، مدلهای پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تصاویر و مبتنی بر روش هیبرید بهترین نتایج عمق سنجی منطقه مورد مطالعه را بهدست دادهاند.

عمق سنجي خور موسى

در این بخش عمق سنجی خور موسی بروش سنتی نسبتی، روش های پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تصاویر و روش های هیبرید پیشنهادی انجام می شود. همان طور که قبلاً اشاره شد، برخلاف خلیج چابهار، تعداد داده های عمق میدانی برداشت شده درخور موسی کم بوده و توزیع مناسبی ندارند. این مورد باعث دقت پایین در عمق سنجی منطقه خواهد شد. هدف این بخش ارزیابی قابلیت مدل های عمق سنجی پیشنهادی در بهبود دقت عمق سنجی این منطقه است. قابل ذکر است که به منظور اجرای مدل هیبرید عمق سنجی، با توجه به بالاتر بودن دقت نقشه عمق سنجی مبتنی بر روش تلفیق IHS درخور موسی، تصویر حاصل از اجرای PCA بر روی تصویر S2A و تصویر ورودی به منظور تولید بهترین نقشه مبتنی بر مدل ImF_ratio که شامل IHS_ratio است (جدول ۳) با یکدیگر تلفیق شده و ورودی پروسه عمق سنجی مبتنی بر روش هیبرید پیشنهادی تولید گردید. شکل (۲) نقشه های عمق سنجی به دست آمده را نمایش می دهد.



شکل ۲: نقشه عمق سنجی خور موسی: الف) مبتنی بر مدل سنتی نسبتی با به کارگیری تصویر S2A ب) مبتنی بر روش GST_ratio Figure 6: Mousa estuary bathymetry map: a) based on traditional ratio model using S2A image, b) based on GST_ratio method



ادامه شکل ۲: پ) مبتنی بر روش IHS_ratio و ت) مبتنی بر روش BT_ratio ث) بروش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق IHS ج) به روش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق GST و چ) بروش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش BT

Continue of the Figure 6: c) based on IHS_ratio method and d) based on BT_ratio method, e) PCAIHS_ratio based on IHS fusion method, c) PCAIHS_ratio based on GST fusion method and c) PCAIHS_ratio based on BT fusion method.

صحت سنجی نقشههای عمق سنجی خور موسی همانند عمق سنجی در خلیج چابهار، درخور موسی نیز بهمنظور تولید مدلهای عمق سنجی، منطقه مورد مطالعه به دو بخش آموزش و تست تقسیم و مدلهای عمق سنجی با در نظر گرفتن دادههای آموزش تولید شد. در این مرحله، با در نظر گرفتن دادههای تست، صحت سنجی مدلها صورت میگیرد. بهمنظور صحت سنجی دقیق نتایج، تقسیم عمق منطقه به 7 کلاس صورت گرفت و دقت هر کلاس عمق محاسبه گردید (جدول ٤).

جدول ٤- صحت سنجی نقشههای عمق سنجی خور موسی بر اساس کلاسهای مختلف عمق در بخش تست و بر اساس پارامتر RMSE Table 4- Validation of Mousa estuary bathymetric maps based on different depth classes in the test data and based on the RMSE parameter

PCA IHS_ratio (IHS)	PCA IHS_ratio (GST)	PCA IHS_ratio (BT)	IHS_ ratio	BT_ ratio	GST_ ratio	مدل نسبتی (S2A)	
14/17	١٣/٤١	١٣/٢١	۱۳/۳۱	14/44	17/77	12/11	عمق< ٥
٨/٥٦	٨/٦١	٨/٤٥	٨/٥٢	۸/۵۳	٨/٥٧	٧/٨٤	ه تا ۱۰
٤/١٥	٤/١٧	٤/١٣	٤/١٦	٤/١٦	٤/١٨	٤/٣٣	۱۰ تا ۱۰
۲/۲۸	۲/۳۷	۲/۳۸	۲/۳	۲/۲۸	۲/۲۹	۲/۸٦	۱۵ تا ۲۰
٨/١٢	٨/٦٩	٧/٩٦	٨/١٦	77/\	٨/٣٧	۹/٤٦	۳۰ ۵ ۲۰
¥1/YA	11/21	11/11	۲١/٣	11/17	۲١/٣	**/•*	عمق> ۳۰
11/18	11/88	11/11	11/19	11/19	11/72	11/VY	صحت کل

همانگونه که در جدول فوق قابل مشاهده است، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق زیر ۵ متر بر اساس روش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق RMSE=1۳/۲۱) BT (RMSE=2V/۸٤)، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ۵ تا ۱۰ متر بر اساس مدل نسبتی مبتنی بر بهکارگیری تصویر RMSE=2V/۸٤)، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ۱۰ تا ۱۵ متر بر اساس روش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق RMSE=٤/۱۳)، بهترین نتیجه برای عمق بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ۱۵ تا ۲۰ متر بر اساس روش مقلیق ROSE=٤/۲۷) مبتنی بر روش تلفیق PCAIHS_ratio محق سنجی مناطق با عمق بین ۱۰ تا ۲۰ متر بر اساس روش معق بین ۲۰ تا ۳۰ متر بر اساس روش تلفیق PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق ۲۹ (۲۰/۲۱ عمق بین ۲۰ تا ۳۰ متر بر اساس روش معقبی از ۲۰ متر بر اساس روش تلفیق RMSE=۲۱/۶۱)، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بیش از که متر بر اساس روش مناطق با عمق بین ۱۵ تا ۲۰ متر بر اساس روش معق بین ۲۰ تا ۳۰ متر بر اساس روش ۳۰ متر بر اساس روش تلفیق RMSE=۲۱/۶۱)، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بیش از که منجی مناطق با عمق بیش از که منجی مناطق با معق بیش از که متر بر اساس روش معافی تا ۲۵ (۲۰/۹۱)، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بیش از که منجی مناطق با معق بیش از ورش تلفیق RMSE=۲۱/۲۱) و بهترین نتیجه عمق سنجی تلفیق ۲۵ (۲۱/۱۱) هایه با در نظر گرفتن تمامی داده ای تست نیز بر اساس روش RMSE_ratio مبتنی بر روش روش تلفیق ROI (۲۱/۱۱) است. با توجه به این نتایج دیده میشود که متد پیشنهادی PCAIHS_مبتنی بر روش تلفیق ROI در مقایسه با در نظر گرفتن تمامی داده های تسجی، بهترین متد بهمنظور عمق سنجی منطقه موردمطالعه روش تلفیق ROI در مقایسه با در ورشهای سنتی عمق سنجی، بهترین متد بهمنظور عمق سنجی منطقه موردمطالعه است. بر اساس نتایج فوق بهراحتی میتوان دید که در مقایسه با روش سنتی نسبتی، روش هیبرید پیشنهادی در ۵ کلاس از ۲ کلاس موردمطالعه و همچنین در صحت کل، نتایج بهتری بهدست داده است. مجدداً تکرار میشود که دقت کم عمق سنجی خور موسی به دلیل تعداد و توزیع نامناسب نقاط میدانی عمق و همچنین کدورت بالای آب در این منطقه است. این مورد همچنین اثبات کنندهی تاثیر بالای متناسب بودن تعداد و توزیع دادههای عمق با توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در نتایج عمق سنجی میباشد. همان طور که قبلاً گفته شد، نقاط میدانی عمق در خلیج چابهار به صورت متناسب با توپوگرافی منطقه برداشت شده بودند و بهمین دلیل، دقت عمق سنجی آن منطقه بسیار بالاتر از خور موسی به دست آمد.

نتيجه گيري

پژوهش حاضر به دنبال بهرهگیری از روشهای نوین بهمنظور ارتقاء دقت عمق سنجی ابتدا با بهکارگیری روشهای پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تصاویر سنتینل–۲ و لندست ۸ و سپس با بهکارگیری روش.های مبتنی بر تلفیق هیبرید تصاویر است. بدین ترتیب، عمقسنجی در دو منطقه مورد مطالعه یعنی خلیج چابهار و خور موسی مبتنی بر سناریوهای مختلف انجام شد تا با مقایسه نتایج بهدست آمده، بهترین سناریوی عمق سنجی هر منطقه مشخص گردد. این سناریوها شامل روش سنتی نسبتی، روشهای عمق سنجی پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تصاویر سنتینل-۲ و لندست ۸ به سه روش تلفیق GST ،IHS و BT و روشهای عمق سنجی پیشنهادی مبتنی بر تلفیق هیبرید تصاویر مىباشند. بەمنظور اجراى عمق سنجى مبتنى بر تلفيق ھيبريد پيشنھادى، خروجى تبديل تصوير بر اساس روش PCA با تصویر ورودی مربوط به بهترین نقشه عمق سنجی مبتنی بر تلفیق تصاویر، در سطح دیگری از تلفیق با یکدیگر ادغام شدند. نتایج نشان داد که بهترین دقت برای عمق سنجی در خلیج چابهار در مناطق کمعمق تر از ۱- متر، ۱- تا ۲- متر، ۲- تا ۳- متر ۳- تا ٤- متر بر اساس مدل BT_ratio است. بهترین دقت برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ٤− تا ٥− متر بر اساس مدل GST_ratio، بهترین دقت برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ٥− تا ٦− متر، ٦− تا ۷-، ۷- تا ۸- و ۸- تا ۹- بر اساس مدل PCAGST_ratio مبتنی بر روش تلفیق BT، بهترین دقت برای عمق سنجی مناطق با عمق ۹- تا ۱۰- متر بر اساس مدل GST_ratio، بهترین دقت برای عمق سنجی مناطق با عمق بیش از ۱۰-متر بر اساس مدل BT_ratio و بهترین صحت کل بر اساس روش BT_ratio بهدست آمد. میتوان دید که در مقایسه با مدل سنتی نسبتی، مدلهای پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تصاویر و مبتنی بر روش هیبرید بهترین نتایج عمق سنجی خلیج چابهار را به دست دادهاند. در عمق سنجی خور موسی بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق زیر ۵ متر بر اساس روش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق BT، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ۵ تا ۱۰ متر بر اساس مدل نسبتی مبتنی بر بهکارگیری تصویر S2A، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ۱۰ تا ۱۵ متر بر اساس روش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق BT، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ۱۵ تا ۲۰ متر بر اساس روش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق GST، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بین ۲۰ تا ۳۰ متر بر اساس روش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق BT، بهترین نتیجه برای عمق سنجی مناطق با عمق بیش از ۳۰ متر بر اساس روش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق BT و بهترین نتیجه عمق سنجی کل منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن تمامی دادههای تست نیز بر اساس روش PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق BT است. با توجه به این نتایج دیده می شود که روش پیشنهادی PCAIHS_ratio مبتنی بر روش تلفیق BT در مقایسه با روش سنتی عمق سنجی، بهترین روش به منظور عمق سنجی منطقه مورد مطالعه است. این نتایج همچنین تأثیر بالای متناسب بودن تعداد و توزیع داده های عمق با توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در نتایج عمق سنجی را نشان می دهد. نقاط میدانی عمق در خلیج چابهار به صورت متناسب با توپوگرافی منطقه مورد مطالعه برداشت شده بودند و به مینان می دقت عمق سنجی آن منطقه بسیار بالاتر از خور موسی است.

References

- Boccia, V., Renga, A., Rufino, G., D'Errico, M., Moccia, A., Aragno, C., Zoffoli, S., (2015), "Linear dispersion relation and depth sensitivity to swell parameters: Application to synthetic aperture radar imaging and bathymetry", *The Scientific World Journal*, 3: 1-10.

- Caballero, I., Stumpf, R. P., (2019), "Retrieval of nearshore bathymetry from Sentinel-2A and 2B satellites in South Florida coastal waters, Estuarine", *Coastal and Shelf Science*, 226: 106-117.

- Casal, G., Harris, P., Monteys, X., Hedley, J., Cahalane, C., McCarthy, T., (2019), "Understanding satellite-derived bathymetry using Sentinel 2 imagery and spatial prediction models", *GIScience & Remote Sensing*, 57 (3): 271-286.

- Cogner, C. L., Hochberg, E. J., Fletcher, C. H., Atkinson, M. J., (2006), "Decorrelating remote sensing color bands from bathymetry in optically shallow waters", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44 (6): 1655-1660.

- Deng, Z., Ji M., Zhang, Z., (2008), "Mapping bathymetry from multi-source remote sensing images: a case study in the Beilun estuary, Guangxi, China", *The Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37: 3-11.

- Elhag, M., Gitas, I., Othman, A., Bahrawi, J., Gikas P., (2019), "Assessment of water quality parameters using temporal remote sensing spectral reflectance in arid environments, Saudi Arabia", *Water*, 11 (3): 556-566.

- Heydarian, K., Kabudondpour, S., Amanollahi, J., (2016), "Investigating changes in the depth of Zarivar international wetland using remote sensing and artificial neural network model", *Geographical Space*, 53: 271-289. [In Persian].

- Jawak, S. D., Luis, A. J., (2015), "Spectral information analysis for the semiautomatic derivation of shallow lake bathymetry using high-resolution multispectral imagery: A case study of Antarctic coastal oasis", *Aquatic Procedia*, 4: 1331-1338.

- Jupp, D. L. B., (1988), "Background and extension to depth of penetration (DOP) mapping in shallow coastal waters", <u>Proceedings of the Symposium on Remote Sensing of the coastal</u> <u>Zone</u>. Gold Coast: Queensland, Australia, 11-19pp.

- Kambhatla, N., Leen, T. K., (1997), "Dimension reduction by local principal component analysis", *Neural Computation*, 9: 1493-1516.

- Karimi, D., Akbarizadeh, G., Rangzan, K., Kabolizadeh, M., (2016), "Effective supervised multiple-feature learning for fused radar and optical data classification", *IET Radar, Sonar & Navigation*, 11 (5): 768-777.

- Karimi, D., Rangzan, K., Kabolizadeh, M., (2017), "Combined algorithm for improvement of fused radar and optical data classification accuracy", *Journal of Electronic Imaging*, 26 (1): 121-132.

- Kabiri, K., (2017), "Accuracy assessment of near-shore bathymetry information retrieved from Landsat-8 imagery", *Earth Science Informatics*, 10 (2): 235-245.

- Li, J., Knapp, D. E., Schill, S. R., Roelfsema, C., Phinn, S., Silman, M., Asner, G. P., (2019), "Adaptive bathymetry estimation for shallow coastal waters using Planet Dove satellites", *Remote Sensing of Environment*, 232: 11-23.

- Liu, P., Xiao, L., (2018), "A novel generalized intensity-hue-saturation (GIHS) Based pansharpening method with variational hessian transferring", *IEEE Access*, 6: 46751-46761.

- Lyzenga, D. R., (1981), "Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data", *International Journal of Remote Sensing*, 2 (1): 71-82.

- Lyzenga, D. R., Bennett, J. R., (1988), "Full-spectrum modeling of synthetic aperture radar internal wave signatures", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 93 (C10): 12345-12354.

- Lyzenga, D. R., Malinas, N. P., Tanis, F. J., (2006), "Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44 (8): 2251-2259.

- Misra, A., Vojinovic, Z., Ramakrishnan, B., Luijendijk, A., Ranasinghe, R., (2018), "Shallow water bathymetry mapping using support vector machine (SVM) technique and multispectral imagery", *International Journal of Remote Sensing*, 39 (13): 4431-4450.

- Pohl, C., Van Genderen, J. L., (2016), "Review article multi-sensor image fusion in remote sensing: concepts, methods, and applications", *International Journal of Remote Sensing*, 19 (5): 823-854.

- Renga, A., Rufino, G., D'Errico, M., Moccia, A., Boccia, V., Graziano, M. D., Aragno, C. Zoffoli, S., (2014), "SAR bathymetry in the Tyrrhenian Sea by COSMO-SkyMed data: A novel approach", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7 (7): 2834-2847.

- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Zareie, S. Saki, A., Karimi, D., (2022a), "The capability of Sentinel-2 image and FieldSpec3 for detecting lithium-containing minerals in central Iran", *Front. Earth Sci*, 52: 1-18.

- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Karimi, D., (2022b), "Optimized water depth retrieval using satellite imageries based on novel algorithms", *Earth Sci Inform*, 15: 37-55.

- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Karimi, D., (2020a), "Evaluation of Sentinel-2 and Landsat-8 satellite images capability and evaluation of image fusion capability in seasonal zoning of NSFWQI and IRWQIsc qualitative indices in surface water (case study: Karoun river)", *Geography and Environmental Planning*, 31 (1): 73-102. [In Persian].

- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Karimi D., (2020b), "Improved water quality mapping based on cross-Fusion of Sentinel-2 and Landsat 8 imageries", *IET Image Processing*, 14 (7): 1382-1392.

- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Karimi, D., Saberi, A., (2019a), "*Applied Mineral Spectroscopy*", Ahvaz: Shahid Chamran university of Ahvaz. [In Persian].

- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Karimi, D., Zareie, S., (2019b), "Supervised cross-fusion method: A new triplet approach to fuse thermal, radar, and optical satellite data for land use classification", *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 (8): 1-12.

- Sadeghian, S., Asnaashari, F., Rajabi, A., (2022), "Evaluation of the preparation of large scale agricultural cadastre maps with use UAV images without using GCPS", *Geographical Space*, 78: 95-115. [In Persian].

- Sagawa, T., Yamashita, Y., Okumura, T., Yamanokuchi, T., (2019), "Satellite derived bathymetry using machine learning and multi-temporal satellite images", *Remote Sensing*, 11 (10): 1155-1167.

- Stumpf, R. P., Holderied, K., Sinclair, M., (2003), "Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types", *Limnology and Oceanography*, 48 (1-2): 547-556.

- Traganos, D., Poursanidis, D., Aggarwal, B., Chrysoulakis, N., Reinartz, P., (2018), "Estimating satellite-derived bathymetry (SDB) with the google earth engine and sentinel-2", *Remote Sensing*, 10 (6): 859-872.

- Wang, L., Liu, H., Su, H., Wang, J., (2019), "Bathymetry retrieval from optical images with spatially distributed support vector machines", *GIS Clence & Remote Sensing*, 56 (3): 323-337.

- Zhang, S., Xu, Q., Zheng, Q., Li, X., (2017), "Mechanisms of SAR imaging of shallow water topography of the Subei Bank", *Remote Sensing*, 11 (9): 1203-1214.