



مقاله پژوهشی

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



عمق سنجی از نواحی کم عمق ساحلی با استفاده از تصاویر لندست-۸

(مطالعه موردی: جنوب شرقی دریای خزر)

عطاءاله عبداللهی کاکرودی<sup>\*</sup>، لیلا امینی<sup>۱</sup>، مهدی حسنلو<sup>۲</sup>

۱. گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\* نویسنده مسؤل، پست الکترونیک: [a.a.kakroodi@ut.ac.ir](mailto:a.a.kakroodi@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۸

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2019.136043.2177

## چکیده

جهت مطالعه مناطق کم عمق ساحلی، تصاویر رایگان لندست-۸ با توان تفکیک رادیومتریکی نسبتاً بالا و وجود دو باند در محدوده آبی و نزدیک به آبی مناسب است. در این پژوهش، علاوه بر تصاویر ماهواره‌ای لندست، از داده‌های هیدروگرافی استفاده شده است که با روش اکوساندر جمع‌آوری شده است. هدف از این پژوهش، عمق سنجی نواحی ساحلی محدوده جنوب شرقی دریای خزر با اعمال الگوریتم PCA بر باندهای پیش پردازش مرئی است. از جمله پیش پردازش‌های لازم در مطالعات سنجش از دور تصحیح اتمسفری است که در این پژوهش، تصحیح اتمسفری FLAASH و Dark Object Subtract (DOS) به طور جداگانه بر باندهای مرئی اعمال گردید و نتایج عمق به دست آمده از طریق اعمال تبدیل PCA بر روی این دو نوع تصحیح اتمسفری بررسی گردید. الگوریتم PCA در چهار حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های آماری  $R^2$ ، RMSE و NRMSE با استفاده مقادیر حاصل شده از الگوریتم و داده‌های هیدروگرافی در هر دو نوع تصحیح اتمسفری محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد دقت عمق به دست آمده، از روش PCA در هر دو نوع تصحیح اتمسفری، در صورتی که هر چهار یا هر سه مؤلفه PCA به عنوان ورودی الگوریتم معرفی شود، نسبت به حالتی که تنها از مؤلفه‌های اول یا اول و دوم استفاده شود دقت عمق برآورد شده بیشتر خواهد بود. همچنین با به کارگیری هر چهار مؤلفه، دقت تصحیح اتمسفری DOS در عمق‌یابی با مقدار  $R^2 = 0/91$ ،  $RMSE = 0/30$  و  $NRMSE = 0/05$  در مقایسه با تصحیح اتمسفری FLAASH،  $R^2 = 0/87$ ،  $RMSE = 0/38$  و  $NRMSE = 0/06$  نتیجه بهتری را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: عمق سنجی، لندست-۸، داده هیدروگرافی، تحلیل PCA.

## ۱. مقدمه

استفاده از داده‌های سنجش از دور یکی از موارد مورد توجه متخصصین سنجش از راه دور در محیط‌های آبی و به‌ویژه در محیط‌های کم عمق ساحلی است. تعیین دقیق عمق آب گامی مهم برای اهدافی همچون پیش توپوگرافی زیر آب، حرکت و جابجایی نهشته‌های رسوبی و تهیه چارت‌هایی دریایی جهت ناوبری به حساب می‌آید. بطور معمول، اطلاعات از کف بستر اقیانوس از طریق نور لیزر یا پالس سونار که از ستون آب می‌گذرد و به بستر اقیانوس برخورد می‌کند و باز می‌گردد و همچنین براساس سرعت صوت در آب، ویژگی‌های سنجنده، زمان و سایر متغیرها حاصل می‌شود (Kearns et al., 2010). روش‌های سنتی عمق‌سنجی قادر به اندازه‌گیری دقیق نقاط یا پروفیل عمق در امتداد ترانسکت‌ها می‌باشند اما ناکارآمدی، هزینه‌های لجستیکی و عدم دسترسی به مناطق دور از محدودیت‌های آن به شمار می‌رود. همچنین شرایط محیطی و محدودیت‌های فنی مانع عملیاتی شدن آن برای آب‌های نزدیک ساحلی شده‌است (Calkoen et al., 2001). عمق می‌تواند با چند تکنیک سنجش از دوری تخمین زده شود که هر یک از این روش‌ها متناسب با محدوده عمق، دقت، خطا، مزایا و معایب خود را دارد (Gao, 2009). هر چند سیستم‌های فعال مانند لیدار هزینه بر و محدوده عمق برداری آن کوچک است، اما سنجنده‌های غیرفعال هوابرد (CASI, HySPEX) در مقایسه با لیدار (Lidar) هم ارزان‌تر هستند و هم مساحت وسیع‌تری را پوشش می‌دهد. عمق سنجی در آب‌های کم عمق ساحلی با ماهواره‌هایی با توان تفکیک مکانی بالا دارند (WorldView-2, QuickBird) مناسب‌تر هستند؛ اما دسترسی به آن، در همه کشورها امکان پذیر نیست. از این رو، تصاویر رایگان لندست-۸ می‌تواند گزینه مناسب در این امر به حساب آید. روش‌های مختلفی برای بازیابی عمق آب با کمک داده‌های سنجش از دوری موجود است. به منظور تخمین عمق با

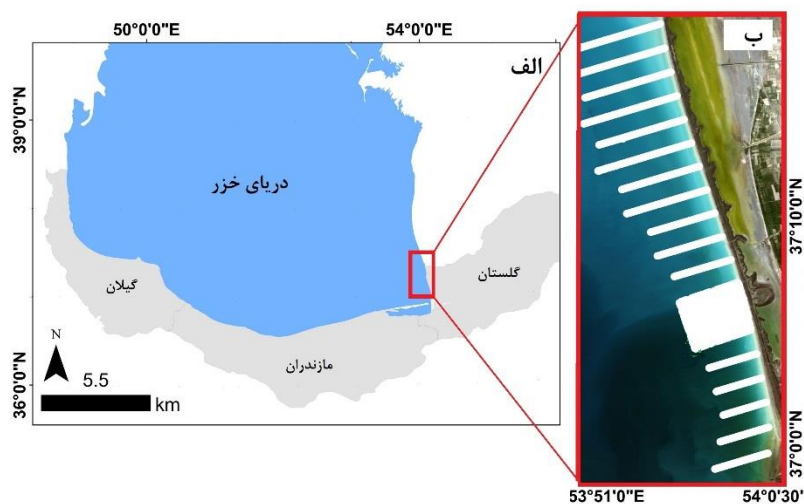
استفاده از سنجش از دور اپتیکی الگوریتم‌های متعددی پیشنهاد شده که مبتنی بر روش‌های تحلیلی و تجربی است (Gao, 2009). روش‌های تحلیلی براساس ویژگی‌های طیفی آب مانند میرایی، پراکنش و غیره است که اساسا بوسیله انتشار نور در ستون آب مشخص می‌شود. روش‌های تجربی، بدون در نظر گرفتن اینکه نور در آب چگونه منتقل می‌شود یک رابطه ریاضیاتی را بین درجه-های روشنایی (Digital number)، رادیانس (Radiance) یا بازتاب (Reflectance) ثبت شده از پهنه آبی با عمق در چند موقعیت نمونه برداری شده ایجاد می‌کند (Doxani et al, 2012). برای مثال، Lyzenga (1978) یک روش را برای حذف اثرات ستون آب جهت یافتن بازتاب از بستر را از تصاویر سنجش از دوری پیشنهاد داده است. در این روش کیفیت ذاتی آب در سرتاسر تصویر و در هر پیکسل کف بستر آب همگن فرض می‌شود. اسپیتزر و دریک روش تحلیلی که مبتنی بر مدل تبدیل تابشی است را توسعه دادند (Spitzer and Dirks, 1986). همچنین Benny و Dawson (1983) و Philpot (1989) روش‌های تحلیلی دیگری را در زمینه عمق‌سنجی ارائه داده‌اند. برخلاف برخی از روش‌های عمق‌سنجی که نیازمند پارامترهای ورودی زیادی هستند، Stumpf et al. (2003) روشی را توسعه داد که در کنار تصاویر چندطیفی ماهواره‌ای به پارامترهای ورودی کمتری نیازمند است. Gholamalifard et al. (2013) روش‌های الگوریتم تک باند، تحلیل مؤلفه اصلی (PCA : Principal Component Analysis) و شبکه عصبی برای عمق‌یابی قسمت جنوب شرقی دریای خزر به کار بردند از میان این روش‌های نامبرده روش شبکه عصبی بهترین برآورد عمق را داشته است. در این پژوهش تصویر لندست-۸ جهت عمق سنجی انتخاب شده به دلیل وجود باندهای آبی ساحلی و آبی با نفوذ بیشتر در آب امکان عمق‌یابی را فراهم نموده است همچنین قابلیت دسترسی به تصاویر لندست مزیت دیگر آن محسوب می‌شود.

به جنوب افزایش می‌یابد. خزر شمالی کم عمق ترین بخش این دریاست و عمق متوسط آن در حدود ۱۸۲ متر است و عمیق ترین بخش دریا محدود به بخش جنوبی است که عمقی در حدود هزار متر دارد (Zonn et al, 2010). یکی از ویژگی‌های مهم دریای خزر، تغییرات شدید تراز آب آن است؛ این موضوع، به‌ویژه برای سواحل کم عمق ساحلی شایان اهمیت می‌باشد (Kakroodi et al., 2015). محدوده مورد مطالعه بخش جنوب شرقی ساحل این دریاچه را در بر می‌گیرد. محدوده جغرافیایی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. که مطابق با داده‌های هیدروگرافی تغییرات عمقی این محدوده از ۱- تا ۷- متر متغیر است.

در عمق‌سنجی‌های پیشین انجام شده با روش PCA تنها مؤلفه اول بکار گرفته شده است؛ در حالیکه این پژوهش در نظر دارد از سایر مؤلفه‌های PCA نیز استفاده نماید و دقت تعداد مؤلفه‌های PCA به کار گرفته شده در عمق-سنجی را ارزیابی کند. از آنجا که داده‌های زمینی موجود به بخش شرقی دریای خزر اختصاص دارد و همچنین تاکنون عمق‌سنجی با تصاویر ماهواره‌ای در این منطقه صورت نگرفته است این امر موجب شده است که پژوهش حاضر، به عمق‌سنجی این محدوده از دریای خزر با روش PCA بپردازد.

## ۲. مواد و روش‌ها

از نظر فیزیولوژیکی و توپوگرافی، دریای خزر به سه بخش شمالی، میانی و جنوبی تقسیم می‌شود. عمق آن از شمال



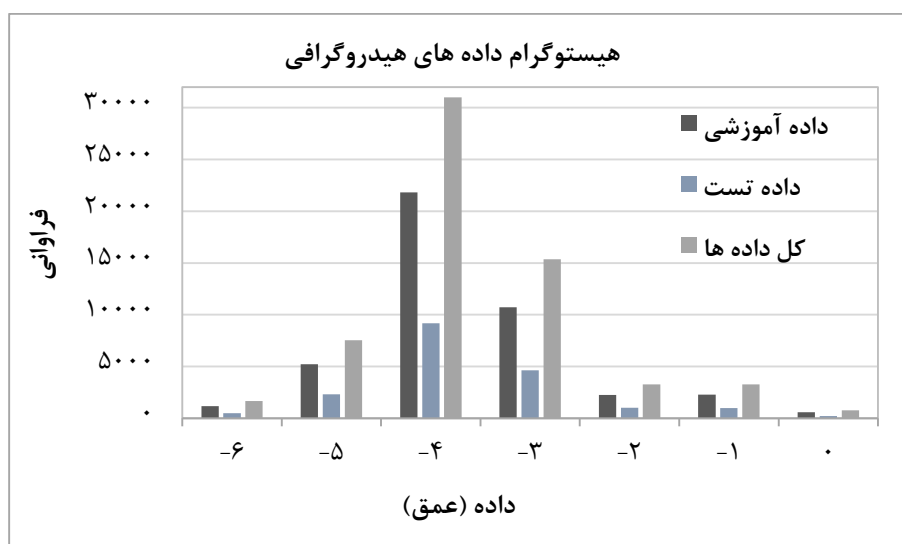
شکل ۱: الف) دریای خزر و منطقه مورد مطالعه در داخل کادر؛ ب) تصویر ترکیب باندهای RGB و نقاط هیدروگرافی برداشت شده (خط‌های سفید).

هیدروگرافی ۲۶/۵- متر نسبت به Mean Sea Level) MSL بود. این نقاط توسط سازمان بنادر و دریانوردی در شهریور سال ۱۳۹۵ تهیه شده است. بیشترین و کمترین عمق ثبت شده به ترتیب برابر ۶/۶۶ و ۰/۶۳ متر می‌باشد. ۷۰ درصد از داده‌ها به عنوان داده آموزشی

در این پژوهش، داده‌های مورد استفاده، شامل داده‌های هیدروگرافی و تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ است. داده‌های هیدروگرافی جهت کالیبراسیون و ارزیابی به تعداد ۶۲۸۸۲ نقطه از منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. که ارتفاع نقاط نسبت به میانگین سطح آب روزهای

۰/۴۵) و آبی ساحلی (۰/۴۳ - ۰/۴۵) میکرومتر جهت انجام عمق سنجی آب بسیار مناسب است. تا حد امکان سعی شده است تاریخ اخذ تصویر با توجه به فاقد ابرینگی بودن آن به تاریخ برداشت داده زمینی نزدیک باشد. از این رو، تاریخ تصویر مورد استفاده از منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۲۲ فروردین ۱۳۹۵ از سایت زمین شناسی ایالات متحده دانلود گردید.

(۴۴۰۱۷) و ۳۰ درصد باقیمانده آن به عنوان داده تست (۱۸۸۳۷) در نظر گرفته شد که به صورت تصادفی تعیین شده اند. هیستوگرام داده های آموزشی و تست در شکل ۲ نشان داده شده است ( ; Path/Row= 163/34 SCENEID = LC81630342016101LGN00). از آنجا که باند آبی قدرت نفوذ بیشتری در محیط های آبی دارد از این رو، تصاویر لندست-۸ با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و با تصویربرداری در محدوده طیفی باندا آبی (۰/۵۱ -



شکل ۲: هیستوگرام داده های هیدروگرافی

DOS مبتنی بر تصویر است و نتایج بررسی های اخیر دقت تصحیح اتمسفری DOS بر روی تصاویر لندست-۸ در مناطق ساحلی را تأیید کرده است (Nazeer et al., 2014). در این تصحیح اتمسفری فرض می شود که عارضه هایی که در زمان اخذ تصویر کاملاً در سایه قرار دارد، یا آب های عمیق مقدار بازتاب آن ها صفر است. به این دلیل که آب جذب کننده انرژی الکترومغناطیس مخصوصاً در طول موج های بلند است و مقدار انرژی ساطع شده از سطح آب ناچیز و اثر اتمسفر قابل توجه است (Fatemi and Rezaei, 2012). جذب و پراکنش اتمسفری موجب می شود که سنجنده مقدار درجه

جهت استخراج دقیق تر اطلاعات عمق ضرورت دارد پیش پردازش هایی بر روی داده ها صورت گیرد. پیش از هر اقدامی باید سیستم مختصات داده های اکوساندر با سیستم مختصات تصویر هماهنگ باشد. بنابراین داده های مکانی اکوساندر به سیستم مختصات تصویر WGS84 UTM 39N تبدیل شد. تابش خورشیدی با گذر از اتمسفر، از بخار آب و ائروسول های موجود در جو تأثیر می پذیرد، از این رو تصحیح اثرات اتمسفر به ویژه در مناطق آبی و در مطالعات اقیانوس شناسی به دلیل متراکم بودن بخار آب اهمیت دارد. به منظور عمق سنجی از میان روش های مختلف تصحیح اتمسفری، روش DOS و FLAASH بر تصویر اعمال می شود. تصحیح اتمسفری

روشنایی (DN) غیر از صفر را ثبت کند. این مقدار درجه روشنایی غیرصفر ثابت از کل باندها کم می شود.

رابطه (۱)

$$\rho = \frac{\pi d^2 (L_{sat\lambda} - L_{haz\lambda})}{(E_{sun\lambda} \cos \theta_s)}$$

$L_{haz\lambda}$  = تابش انحرافی باند  $\lambda$  ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ )

$E_{sun\lambda}$  = تابش خورشیدی خارج از اتمسفر باند  $\lambda$  ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ )

$d$  = فاصله بین زمین تا خورشید (در واحد استرونومیکال)

(2007). بنابراین ۱٪ رادیانس عوارض سیاه از رابطه ۲ زیر قابل محاسبه است.

به طور کلی، فرض می شود که عوارض سیاه تقریباً ۱٪ اکل رادیانس تصویر را در بر می گیرد (Mahiny and Turner, )

رابطه (۲)

$$L_{1\%} = \frac{0.01 E_{sun\lambda} \cos \theta}{\pi d^2}$$

قرمز نزدیک و طول موج کوتاه مادون قرمز با استفاده از MODTRAN-4 (Yuan and Niu, 2008) و چند پارامتر ورودی تصحیح می کند. تصحیح اتمسفری فلش برای بازیابی اطلاعات ائروسول و بخار آب از تصویر، از رابطه استاندارد ۴ بهره می گیرد.

از این رو، لازم است  $L_{1\%}$  از تابش انحرافی ( $L_{haz\lambda}$ ) کم شود و در نهایت بازتاب سطحی از رابطه ۳ حاصل می شود. تصحیح اتمسفری اعمال شده دیگر، تصحیح اتمسفری FLAASH است. در این مدل تصحیح اتمسفری طول موج های در محدوده طیفی مرئی، مادون

رابطه (۳)

$$\rho = \frac{\pi d^2 (L_{sat\lambda} - (L_{haz\lambda} - L_{1\%\lambda}))}{E_{sun\lambda} \cos \theta_s}$$

رابطه (۴)

$$L = \left( \frac{A\rho}{1-\rho_e S} \right) + \left( \frac{B\rho_e}{1-\rho_e S} \right) + L_a$$

$\rho$  = بازتاب سطحی پیکسل

$\rho_e$  = متوسط بازتاب سطحی از پیکسل و ناحیه اطراف آن

$S$  = آلبدو کروی اتمسفر

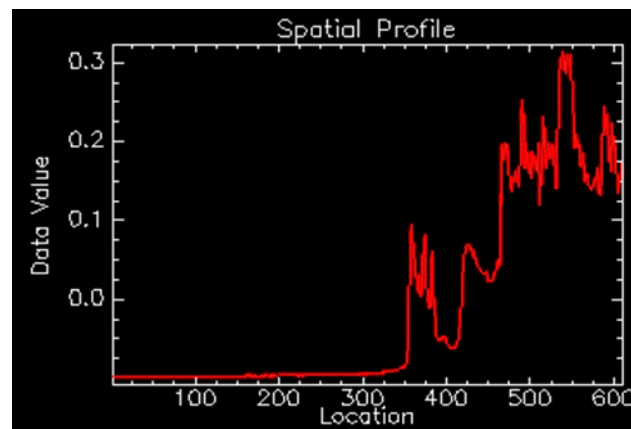
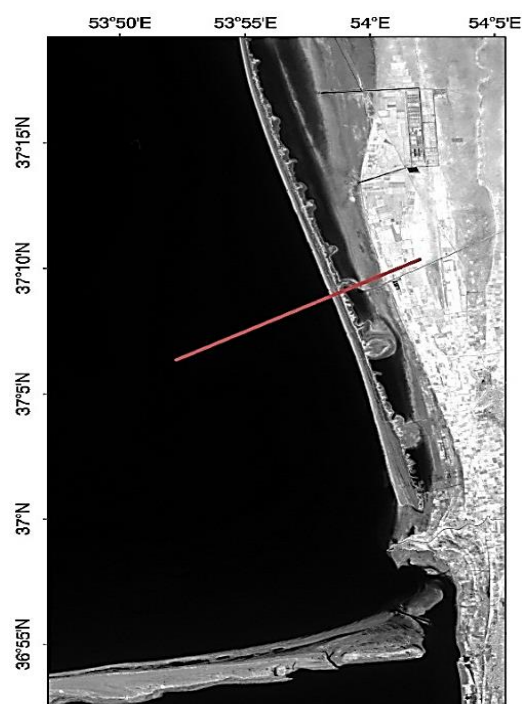
$L_a$  = رادیانس پراکنش یافته از اتمسفر

$A$  و  $B$  = ضرایب وابسته به شرایط هندسی و اتمسفری

۷۰۰ نانومتر بسیار کم است. بنابراین آب تیره و خشکی روشن دیده می شود. به همین دلیل باند مادون قرمز نزدیک (845-885) نانومتر جهت تفکیک نواحی خشکی از آبی مورد استفاده قرار می گیرد ( Jagalingam et al., 2015). مقادیر بازتاب باند مادون قرمز نزدیک برای تعیین مقدار حد آستانه مرز جدایی ناحیه آب و خشکی به کار گرفته شد. سپس این ماسک باینری در باندهای آبی ساحلی، آبی، سبز و قرمز ضرب گردید. با توجه به شکل ۳ بخش صاف و نوسان دار از گراف به ترتیب معرف ناحیه آبی و خشکی است. مقدار حد آستانه برای جدایی آب از خشکی رقم ۰/۴۷- در نظر گرفته شده است.

موقعیت مرکز جغرافیایی تصویر، زمان اخذ تصویر، مدل اتمسفری که به آب و هوا (عرض جغرافیایی و سال) بستگی دارد و مدل ائروسول (که وابسته به نوع ائروسول و وسعت دید است) از جمله پارامترهای ورودی مورد نیاز برای این نوع تصحیح اتمسفری می باشد. لازم به ذکر است که خروجی حاصل از تصحیح اتمسفری فلش، ضمن تقلیل اثرات اتمسفر بازتابش واقعی پیکسل ها نیز بازیابی می شود (FLAASH Module User's Guide, 2005).

پس از اجرای پیش پردازش های مذکور، به منظور استخراج اطلاعات از پهنه های آبی با تهیه ماسک باینری نواحی خشکی از تصویر جداسازی شد. به طور کلی، در محیط های آبی میزان عبور نور در طول موج های بالاتر از



شکل ۳: پروفایل باند مادون قرمز نزدیک منطقه مورد مطالعه

مشکل جدی را بر روی تصاویر ماهواره ای بوجود می آورد که بایستی از تصویر حذف شود. با به کارگیری الگوریتم هدلی می توان درخشندگی خورشید را تصحیح کرد. جهت اجرای تکنیک هدلی (Hedley, 2015) از بخش عمیق آب که فرض می شود اثر درخشندگی خورشید در

پیش پردازش دیگر، تصحیح درخشندگی خورشید می باشد. بازتاب آینه ای تابش خورشید از سطح صاف آب اقیانوس ها و دریاها به عنوان درخشندگی خورشید (Sun Glint) شناخته شده است. در محیط های آبی کم عمق، تابش پرتو درخشان نور خورشید بر سطوح صاف آب

کمترین حد ممکن است یک ناحیه نمونه تعیین می-گردد، سپس رگرسیون خطی بطور جداگانه برای هر یک از باندهای مرئی (محور y) در مقابل باند مادون قرمز رابطه (۵)

(محور x) محاسبه می گردد. که شیب این خط رگرسیون برای هر باند  $i$ ،  $b_i$  نامیده می شود. در نهایت تصحیح درخشندگی تصویر ( $R'_i$ ) از رابطه ۵ حاصل می شود.

$$R'_i = R_i - b_i(R_{NIR} - Min_{NIR})$$

$R'_i$  = بازتابش پیکسلی در اثر درخشش خورشید

$R_{NIR}$  = بیشینه مقدار متناظر بازتابش پیکسل باند  $i$  ( $R_i$ ) در باند مادون قرمز (کمترین مقدار پیکسل در باند مادون قرمز  $Min_{NIR}$ )

است استفاده می شود (Khan et al., 1992). پس از حذف اثرات اتمسفر درخشندگی خورشید و تفکیک آب از خشکی، با کمک روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، عمق دریا محاسبه می شود. فرمول مورد استفاده در این الگوریتم به صورت زیر (رابطه ۶) است:

رابطه (۶)

$$Z_1 = a_0 + a_1 (PCA1)$$

در رابطه ۶ ضرایب  $a_0$  و  $a_1$  با استفاده از رگرسیون خطی بین داده های عمق حاصل شده از تصویر ( $Z_1$ ) با داده های هیدروگرافی به دست می آید.

همچنین در شکل ۴ مراحل عمق یابی خلاصه شده است.

### ۳. نتایج

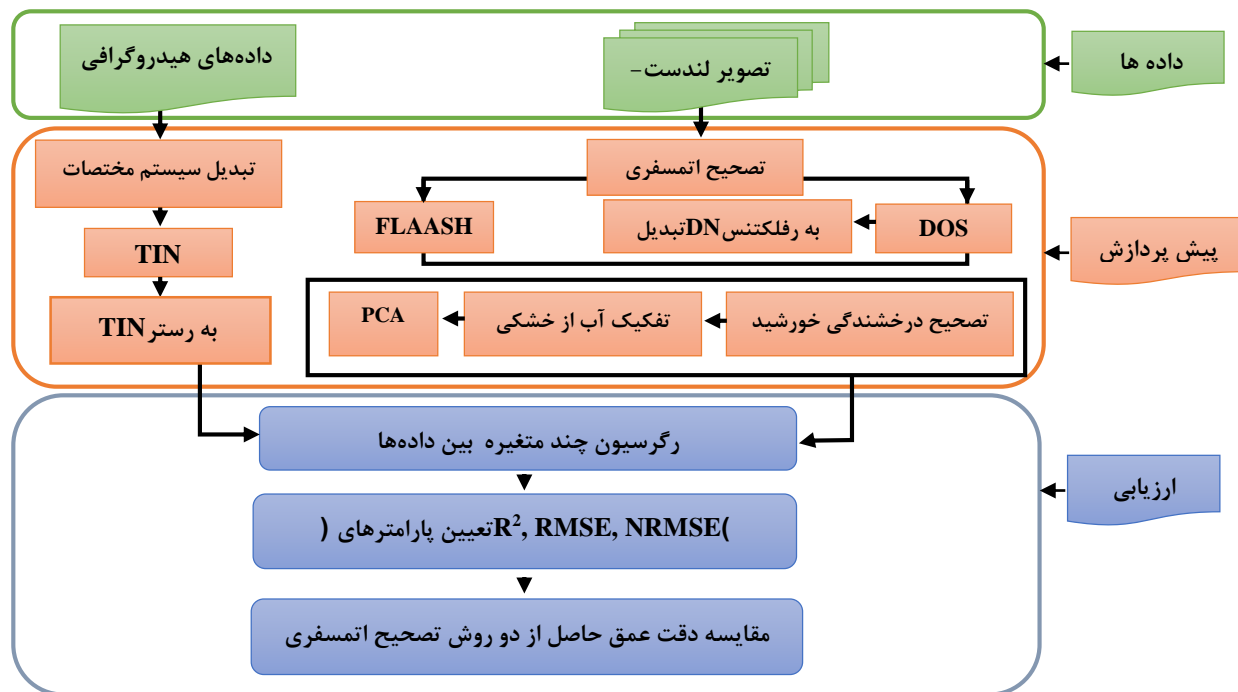
پس از انجام پیش پردازش های لازم، جهت به دست آوردن عمق آب با تصویر لندست-۸ از الگوریتم مبتنی بر تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) استفاده شد. بر اساس رابطه (۶)، به منظور تعیین عمق تنها مؤلفه اول به کار گرفته شده است. هر چند مؤلفه اول PCA حاوی بیشترین میزان اطلاعات است ولی سایر مؤلفه ها نیز حاوی اطلاعاتی است. از این رو در پژوهش حاضر حالت های مختلفی بررسی شده تا عمق حاصل از الگوریتم بیشترین همبستگی را با داده های واقعی داشته باشد. به عبارت دیگر، علاوه بر مؤلفه

روش عمق سنجی مورد آزمون، روش مبتنی بر تحلیل مؤلفه اصلی PCA است. به طور معمول باندهای مجاور در یک تصویر چند باندی با هم هم بستگی دارند. همبستگی بین باندهای یک تصویر چند طیفی حاکی از آن است که امکان کاهش داده در آن تصویر وجود دارد (Amini, 2009). وابستگی باندهای همسایه به یکدیگر (Mather, 1999) باعث افزونگی اطلاعات وابسته و تکراری می گردد. اطلاعات تکراری باعث بالا رفتن زمان پردازش و گاهی پایین آمدن دقت پردازش می شود. در تبدیل مؤلفه های اصلی هدف دستیابی به مقادیر و مؤلفه های (ویژگی ها) جدیدی است که در آنها میزان واریانس داده ها بیشتر (و بنابراین میزان اطلاعات بیشتر) و وابستگی بین این مؤلفه ها کمتر از حالت اولیه تصاویر باشد (Fatemi and Rezaei, 2012). میزان اطلاعات مؤلفه اول حاصل از تبدیل مؤلفه های اصلی بیشتر از مؤلفه دوم، میزان اطلاعات در مؤلفه دوم بیشتر از مؤلفه سوم و الی آخر است. روش عمق یابی بر اساس تحلیل مؤلفه اصلی PCA، روشی است که بر برآزش تابع بین فضای ورودی که همان درجات روشنایی و فضای خروجی که همان عمق است استوار می باشد. در این روش ابتدا یک تابع نگاشت معین بین دو فضا تعریف می شود و سپس پارامترهای تابع برآورد می گردد (Abrahimikia et al., 2012). در این نوع تحلیل، مؤلفه اول (با بیشترین پراکندگی داده) معرف تغییرات عمق آب است که معمولاً این مؤلفه به جای سایر مؤلفه ها که حاکی از تغییرات مواد معلق و جنس بستر



مؤلفه‌های اول، دوم، سوم و چهارم مورد آزمون قرار گرفت.

اول (حالت اول)، در حالت دوم، مؤلفه‌های اول و دوم؛ در حالت سوم، مؤلفه‌های اول، دوم و سوم؛ در حالت چهارم



شکل ۴: فلوچارت مراحل عمق‌یابی

به‌دست‌آمد. سایر حالت‌ها به همین ترتیب می‌باشد به عنوان مثال در حالت چهارم، ضرایب حاصل از رگرسیون چند متغیره بین داده‌های آموزشی با پیکسل‌های متناظر از مؤلفه‌های اول تا چهارم شامل ضرایب  $a_0, a_1, a_2$  و  $a_3$  می‌باشد. در این حالت عمق از رابطه  $\gamma$  قابل بازیابی خواهد بود

بررسی این حالت‌ها بصورت جداگانه هم بر روی تصویر PCA حاصل از تصحیح اتمسفری FLAASH و هم بر روی تصویر PCA حاصل از تصحیح DOS بررسی شد. در حالت اول (با توجه به رابطه ۶) ضرایب  $a_0$  و  $a_1$  از رگرسیون خطی میان داده‌های آموزشی و پیکسل‌های متناظر با همان داده‌های آموزشی از مؤلفه اول PCA

$$Z = a_0 + a_1 (PCA1) + a_2 (PCA2) + a_3 (PCA3) + a_4 (PCA4) \quad \text{رابطه (۷)}$$

و ۹ آورده شده‌است. در اینجا تنها رابطه حالت چهارم برای هر دو نوع تصحیح اتمسفری آورده شده‌است.

ضرایب به‌دست‌آمده از رگرسیون چند متغیره بین داده‌های آموزشی و مؤلفه‌های PCA حاصل از تصحیح اتمسفری FLAASH و DOS به ترتیب در رابطه‌های ۸

رابطه (۸)

$$Z_F = -5.925 + 21.891(PCA1) - 28.848(PCA2) - 86.907(PCA3) - 41.212(PCA4)$$



رابطه (۹)

$$Z_D = -6.372 + 13.252(PCA1) + 23.517(PCA2) - 207.245(PCA3) + 14.942(PCA4)$$

از چهار حالت برای تصحیح اتمسفری FLAASH (جدول ۱) و تصحیح اتمسفری DOS (جدول ۲) در نشان داده شده است.

$Z_D$  و  $Z_F$  به ترتیب بیانگر عمق به دست آمده از تصحیح اتمسفری FLAASH و DOS است. شاخص‌های آماری  $R^2$ ، RMSE و NRMSE برای داده‌های آموزشی و تست محاسبه شد. و نتایج این پارامترهای آماری برای هر یک

جدول ۱: پارامترهای آماری به دست آمده بین عمق برآورد شده (از تصحیح اتمسفری FLAASH) با داده‌های زمینی

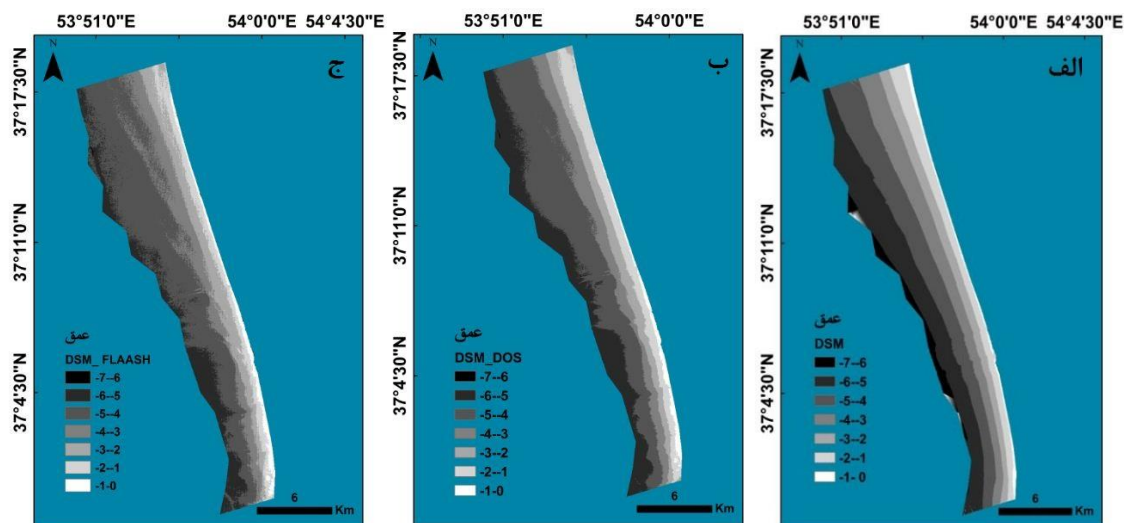
	داده‌های آموزشی				داده‌های تست			
	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم	حالت چهارم	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم	حالت چهارم
DOS								
R2	۰/۶۹۴	۰/۷۴۶	۰/۹۲۰	۰/۹۱۹	۰/۶۳۸	۰/۷۳۸	۰/۶۱۹	۰/۹۱۸
RMSE	۰/۵۸۷	۰/۵۳۴	۰/۳۰۱	۰/۳۰۳	۰/۵۹۵	۰/۵۴۱	۰/۳۰۴	۰/۳۰۳
NRMSE	۰/۰۹۷	۰/۰۸۹	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۰/۰۹۹	۰/۰۹۰	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱

جدول ۲: پارامترهای آماری به دست آمده بین عمق برآورد شده (از تصحیح اتمسفری DOS) با داده‌های زمینی.

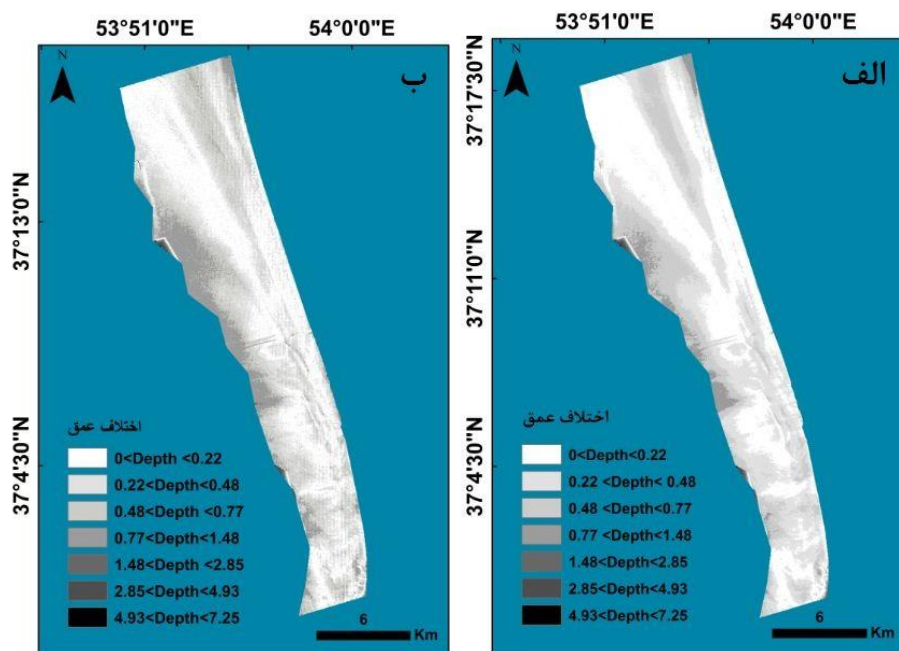
	داده‌های آموزشی				داده‌های تست			
	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم	حالت چهارم	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم	حالت چهارم
FLAASH								
R2	۰/۶۴۶	۰/۷۰۴	۰/۸۶۷	۰/۸۷۰	۰/۶۳۴	۰/۶۹۴	۰/۸۶۵	۰/۸۶۸
RMSE	۰/۶۳۱	۰/۵۷۸	۰/۳۸۷	۰/۳۸۲	۰/۶۳۹	۰/۵۸۴	۰/۳۸۸	۰/۳۸۴
NRMSE	۰/۱۰۵	۰/۰۹۶	۰/۰۶۴	۰/۰۶۳	۰/۱۰۷	۰/۰۹۸	۰/۳۸۸	۰/۰۶۴

نقشه عمق تهیه شده از داده‌های هیدروگرافی و نقشه عمق حاصل از الگوریتم برای هر دو نوع تصحیح اتمسفری را نشان می‌دهد. همچنین نقشه قدر مطلق اختلاف عمق حاصل از الگوریتم و عمق به دست آمده از داده‌های هیدروگرافی در شکل (۶) به همراه هیستوگرام آن برای هر دو نوع تصحیح اتمسفری نشان داده شده است.

با توجه به جدول‌های (۱) و (۲) مشاهده می‌شود در هر دو نوع تصحیح اتمسفری، هر چه مؤلفه‌های بیشتری وارد الگوریتم می‌شود میزان ضریب همبستگی بیشتر و خطاهای میانگین جذر مربعات و نرمال شده میانگین جذر مربعات کمتر می‌شود. این امر هم در داده‌های آموزشی و هم داده‌های تست صادق است. شکل (۵)



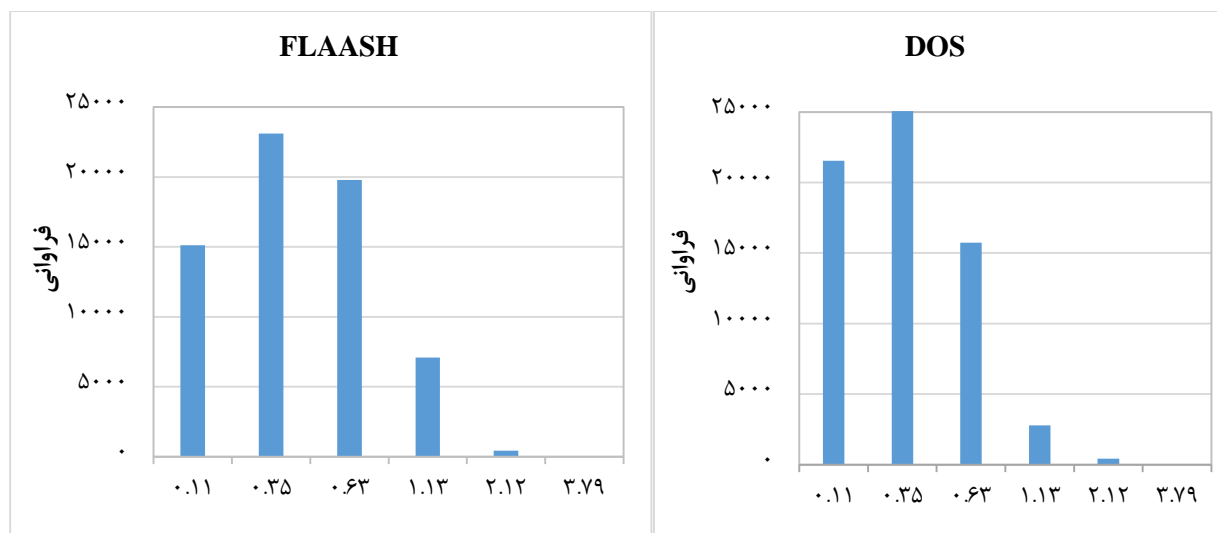
شکل ۵: الف) نقشه عمق به دست آمده از داده‌های هیدروگرافی و ب) نقشه عمق به دست آمده از تصحیح اتمسفری DOS و ج) نقشه عمق به دست آمده از تصحیح اتمسفری FLAASH



شکل ۶: الف) نقشه قدر مطلق اختلاف عمق به دست آمده از داده‌های هیدروگرافی و عمق حاصل از تصحیح اتمسفری DOS و ب) نقشه قدر مطلق اختلاف عمق به دست آمده از داده‌های هیدروگرافی و عمق حاصل از تصحیح اتمسفری FLAASH

با در نظر گرفتن شکل‌های (۶) و (۷) اختلاف عمق در بیشتر محدوده منطقه مورد مطالعه در رنج ۰-۰/۷۷ متر قرار دارد و بخش‌های محدودی اختلاف عمقی در حد ۱/۴۸-۴/۹۳ داشته است. به طور کلی نقشه قدر مطلق اختلاف عمق حاصل از تصحیح اتمسفری وضعیت بهتری را نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن شکل‌های (۶) و (۷) اختلاف عمق در بیشتر محدوده منطقه مورد مطالعه در رنج ۰-۰/۷۷ متر قرار دارد و بخش‌های محدودی اختلاف عمقی در حد ۱/۴۸-۴/۹۳ داشته است. به طور کلی نقشه قدر مطلق اختلاف عمق حاصل از تصحیح اتمسفری وضعیت بهتری را نشان می‌دهد.



شکل ۷. هیستوگرام اختلاف عمق به دست آمده از داده‌های هیدروگرافی و عمق استخراج شده از الگوریتم

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

مشاهده می‌شود که در تمام حالت‌ها عمق برآورد شده حاصل از تصحیح اتمسفری DOS نسبت به تصحیح اتمسفری FLAASH از ضریب همبستگی بالاتر و خطای کمتر برخوردار است.  $R^2 = 0/91$ ,  $RMSE = 0/3$  و  $NRMSE = 0/05$  در میان حالت‌های مورد بررسی، به بالاترین حالت چهارم تعلق دارد. به طور کلی، براساس یافته‌ها مشخص می‌شود اولاً تصاویر لندست ۸ با توجه به قدرت تفکیک طیفی و رادیومتریکی قابلیت سنجش عمق را دارد. ثانیاً هر چند مؤلفه اول از آنالیز مؤلفه اصلی دارای بیشترین میزان اطلاعات است و با افزایش این مؤلفه‌ها اطلاعات کاهش می‌یابد اما به کار بردن تمامی این مؤلفه‌ها در افزایش دقت عمق‌یابی تأثیرگذار است. و ثالثاً در این تحقیق تصحیح اتمسفری DOS در محیط‌های ساحلی نسبت به تصحیح اتمسفری FLAASH ارجحیت دارد. چنانچه نتایج بررسی‌های اخیر دقت تصحیح اتمسفری DOS بر روی تصاویر لندست-۸ در مناطق ساحلی را تأیید کرده است (Nazeer et al., 2014).

در این پژوهش، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست-۸ عمق سنجی براساس روش تجربی مبتنی بر PCA در بخش جنوب شرقی ساحل دریای خزر بررسی شد. در عمق‌یابی بر اساس مؤلفه اصلی، حالت‌های مختلف در نظر گرفته شد. در حالت اول، تنها مؤلفه اول به عنوان ورودی الگوریتم معرفی شد. در حالت دوم، مؤلفه‌های اول و دوم. در حالت سوم، مؤلفه‌های اول، دوم، سوم و در حالت چهارم، ورودی‌های الگوریتم مؤلفه‌های اول، دوم، سوم و چهارم که از تبدیل PCA بر تصویر پیش پردازش یافته است. از آنجا که دو روش تصحیح اتمسفری DOS و FLAASH به صورت جداگانه به کار گرفته شد در نتیجه مجموعاً ۸ حالت مورد آزمون قرار گرفت (۴ حالت بر روی تصویر حاصل از تصحیح اتمسفری و ۴ حالت دیگر بر روی تصویر حاصل از تصحیح اتمسفری). نتایج نشان می‌دهد که دقت عمق برآورد شده از طریق الگوریتم با افزایش تعداد مؤلفه‌ها بهبود می‌یابد. یعنی دقت حالت چهارم بیشتر از حالت سوم و حالت سوم بیشتر از حالت دوم و حالت دوم بیشتر از حالت اول است. این نتایج در هر دو نوع تصحیح اتمسفری به همین ترتیب می‌باشد. نتیجه دیگر آن است که با توجه به جداول (۱) و (۲)

**References:**

- Abrahimikia, M., Saadat Seresht, M. and Taj Firooz, B. 2012. Evaluating Bathymetry Methods by Satellite Imagery, Conference of Geomatic. National Cartographic Center. 88.
- Amini, J. 2009. Computer Processing of Remote Sensed Images. University of Tehran Press. Tehran. 270p.
- Doxani, G., Papadopoulou, M., Lafazani, P., Pikridas, C., Tsakiri-Strati, M. 2012. Shallow-Water Bathymetry Over Variable Bottom Types Using Multispectral WorldView-2 Image. ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B8: 159–164.
- Fatemi, S. B. and Rezaei, Y. 2012. Principles of Remote Sensing. Azadeh Press, Tehran. 123-148 p.
- FLAASH Module User's Guide, ENVI FLAASH Version 4.2 August. 2005 Edition.
- Gholamalifard, M., Kutser, T., Esmaili-Sari, A., Abkar, A. A., and Naimi, B., 2013, Remotely Sensed Empirical Modeling of Bathymetry in the Southeastern Caspian Sea, Remote Sensing .2013. 5: 2746-2762. doi: 10.3390/rs 50 62746.
- Hedley, J. D., Harborne, A. R and Mumby, P. J. 2005. Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. International Journal of Remote Sensing.
- Gao, J. Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations. Progress in Physical Geography. 33(2009):103–116.
- Jagalingam, P., Akshaya, B. J. and Arkal, V, H. 2015, Bathymetry mapping using Landsat 8 Satellite Imagery, 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2015).
- Kakroodi, A.A., Leroy, S.A.G., Kroonenberg, S.B., Lahijani, H.A.K., Alimohammadian, H., Boomer, I., Goorabi, A., 2015. Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal palaeoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore. Marine Geology 361, 111e125.
- Khan, M. A., Fadlallah, Y. H., and Al-Hinai, K. G. 1992. Thematic mapping of stibtidal coastal habitats in the western Arabia Gulf using Landsat TM data-Abu Ali Bay, Saudi Arabia. Lnternational Journal of Remote Sensing, 13: 605-614.
- Lyzenga, D. R. 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. Applied optics. 17: 379–383.
- Nazeer, M., Nichols, J. E., and Yung, Y. 2014. Evaluation of atmospheric correction models and Landsat surface reflectance product in an urban coastal environment. International Journal of Remote Sensing. 35(16): 6271–6291.
- Philpot, W. D. 1989. Bathymetric Mapping with Passive Multispectral Imagery. Applied Optics. 28(8): 1569–1578. doi:10.1364/AO.28.001569.
- Spitzer, D., and R. J. Dirks. 1986. Shallow Water Bathymetry and Bottom Classification by Means of the Landsat and SPOT Optical Scanners. In 1986 International Symposium/Innsbruck. International Society for Optics and Photonics. 136–138.
- Stumpf, R. P., Holderied, K, and Sinclair, M. 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. Limnology and Oceanography. 48 (1, part 2): 547–556.

Yuan, J., and Niu, Z. 2008. Evaluation of Atmospheric Correction Using FLAASH. In Paper Presented at International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications, Beijing, June 30–July 2: 1–6. IEEE. doi: 10.1109/EORSA.2008.4620341.

Zonn, I. S., Kostianoy, A. G., Kosarev, A. N and Glantz, M. H. 2010. The Caspian Sea Encyclopedia.



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

Original Article



## **Bathymetry from shallow coastal environment using Landsat 8**

**(Case Study: Southeastern part of the Caspian Sea)**

**Ataollah Abdollahi Kakroodi <sup>\*1</sup>, Leila Amini <sup>1</sup>, Mahdi Hasanlou <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Department Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

<sup>2</sup> School of Survey and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

\*Corresponding Author E-mail: a.a.kakroodi@ut.ac.ir

**Received:** 18 June 2018

**Accepted:** 7 September 2019

DOI: 10.22113/JMST.2019.136043.2177

### **Abstract**

In order to study in shallow coastal environment, free Landsat 8 images with relatively high radiometric resolution and the presence of two bands, coastal blue and blue are suitable. In this study, in addition to Landsat satellite imagery, the hydrographic data has also been used. In order to increase the accuracy and reduce the error, tried as much as possible the passing time of the Landsat 8 sensor close to the acquisition terrain date. The purpose of this study is bathymetry of the southeastern part of the Caspian Sea using the PCA algorithm on the pre-processed visible region. In this study, the FLAASH and Dark Object Subtract (DOS) atmospheric corrections were applied separately to visible bands. The obtained depth results by applying PCA transformation to these two types atmospheric correction is investigated. PCA algorithm is implemented in four different forms. Statistical parameters  $R^2$ ,  $RMSE$ , and  $NRMSE$  are calculated between obtained data by PCA and hydrographic data in two types of atmospheric correction. The results show that in both of atmospheric correction, the accuracy of estimated depth by PCA is increased when four or three PCA components are introduced as algorithm inputs compared with only two or one PCA components are used. As well as, the use of four components, the accuracy of DOS in bathymetry values  $R^2 = 0.91$ ,  $RMSE = 0.3$ , and  $NRMSE = 0.05$  has shown a better result in comparison to FLAASH correction's values  $R^2 = 0.87$ ,  $RMSE = 0.38$ , and  $NRMSE = 0.06$ .

**Key words:** bathymetry, Landsat-8, hydrographic data, PCA analysis.

**List of Table and Figures**

**Table 1:** Statistical parameters obtained between estimated depth (from FLAASH atmospheric correction) with ground data

**Table 2:** Statistical parameters obtained between the estimated depth (from DOS atmospheric correction) with ground data

**Figure 1:** A) Caspian Sea and the study area, B) Image of the combination of RGB bands and harvested hydrographic points (white lines)

**Figure 2:** Histogram of hydrographic data

**Figure 3:** Infrared band profiles near the study area

**Figure 4:** Flowchart of deepening steps

**Figure 5:** A) Depth map obtained from hydrographic data, B) Depth map obtained from DOS atmospheric correction, C) Depth map obtained from FLAASH atmospheric correction

**Figure 6:** A) Absolute magnitude map of depth difference obtained from hydrographic data and depth obtained from DOS atmospheric correction, B) Absolute magnitude map of depth difference obtained from hydrographic data and depth obtained from atmospheric correction FLAASH

**Figure 7:** Histogram of the difference between the depth obtained from the hydrographic data and the depth extracted from the algorithm