

# محاسبه شاخص اندیس بهینه برای پایش آلودگی منابع آب با تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه موردی حوزه دریای عمان

مجید حسینی حمید<sup>۱\*</sup>، محمد اکبری نسب<sup>۲</sup> و طاهر صفرراد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه مازندران، بابلسر majidhosseini\_h@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده علوم دریایی، دانشگاه مازندران، بابلسر m.akbarinasab@umz.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر safarrad.t@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۷

## چکیده

امروزه، یکی از مشکلات مهم جهان به خصوص ایران بحران آب می‌باشد؛ در این مقاله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۵ و بررسی کمیت‌های آماری برای ترکیب باندها، به بررسی نحوه تمیز آب شور، آب ورودی رودخانه و فصلی در منطقه دریای عمان پرداخته شده است. در این تحقیق با استفاده از رفتار طیفی آب شور و شیرین، ناحیه فرکانسی قابل تمیز این دو پدیده، شناسایی شد و با بررسی کمیت‌های آماری همچون؛ شاخص فاکتور بهینه، ضریب همبستگی و انحراف معیار بهترین ترکیب رنگی که این دو پدیده را به خوبی تمیز می‌دهد، محاسبه شد. نتایج برای منطقه دریای عمان با استفاده از سنجنده لندست ۵ که ترکیب ۵۴۱ با شاخص فاکتور بهینه ۶۱/۳۵۹۰۶، ضریب همبستگی ۲/۲۸۰۲۱۹ و انحراف معیار ۱۳۹/۹۱۲۱ بهترین ترکیب رنگی که در بردارنده بیشترین اطلاعات در مورد این پدیده بوده و برای بالابردن کیفیت تصویر از بالاترین توان تصویری لندست ۵ (۲۸۸ بیت) به کمک نمودار هیستوگرام بررسی شد. استفاده از تکنیک شاخص فاکتور بهینه به صورت کیفی می‌تواند بهترین تصویر رنگی مجازی برای منطقه مورد هدف را ارائه دهد.

**واژه‌های کلیدی:** سنجش از راه دور، شاخص فاکتور بهینه، رفتار طیفی، آب شور و شیرین.

## ۱. مقدمه

آب‌هایی که غلظت کمتری دارند، برای مصارف کشاورزی و صنعتی استفاده نمود. در این مقاله، منطقه ساحلی هرمزگان مورد مطالعه قرار گرفت و مناطقی از آب دریا که شوری کمتری دارند، با استفاده از رفتار طیفی آب شور و شیرین و کمیت‌های آماری شناسایی و مورد تفکیک قرار گرفت.

در علم سنجش از دور، طیف خروجی (طول موج) از پدیده‌ها در دو محدوده انعکاسی و حرارتی تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به اینکه هر پدیده دارای رفتار طیفی متفاوت است، می‌توان بر اساس فراز و فرود بین نمودارهای طول موجی اجسام، آن‌ها را از یکدیگر شناسایی کرد.

دریا محیط پیچیده و پرتلاطمی است که پدیده‌های فراوانی با طول و مقیاس‌های زمانی مختلف در آن رخ می‌دهد. جدول ۱ برخی از پدیده‌های دریایی بر اساس مقیاس طولی و زمانی که در سطح دریا رخ می‌دهد از جمله؛ جریان‌های قوی گلف استریم، کروشیو که در ابعاد بزرگ ایجاد می‌شود تا جریان‌های چرخاب<sup>۱</sup>، ادی و جزر و مد را نشان می‌دهد [۲]. شناسایی این پدیده‌ها به صورت میدانی بسیار پرهزینه و وقت‌گیر است. امروزه با استفاده از تکنیک سنجش از راه دور، می‌توان این پدیده‌ها را در کمترین زمان ممکن و با صرف هزینه ناچیز شناسایی نمود. با توجه به بحران آب که در سال‌های اخیر در بیشتر مناطق دنیا به وجود آمده است، بایستی بتوان به گونه‌ای بحران آب را مدیریت و کنترل نمود. با توجه به پهنه گسترده اقیانوس‌ها و دریاها، می‌توان از

شده است [۱۵]. باندهای بازتابی این سنجنده توانایی آشکارسازی طول موج‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی را دارند. این سنجنده برای تشخیص منابع طبیعی مانند: آب شور و شیرین، رطوبت، ابر، برف، انواع پوشش گیاهی و تشخیص انواع سنگ کاربرد دارد. قدرت تفکیک باندهای انعکاسی آن  $30 \times 30$  متر و قدرت تفکیک طیفی آن ۸ بیتی است. این سنجنده در سال ۱۹۹۹م. به فضا فرستاده شد و تا پایان سال ۲۰۱۳م. مشغول به تصویربرداری از سطح کره زمین بود، از مزایای آن کالیبراسیون رادیومتریک ۵ درصد با روزنه دید کامل می‌باشد. دوره چرخش مداری لندست ۵، ۱۶ روزه است. جدول ۲. محدوده طول موج‌های لندست ۵

باند	طول موج	طول موج مرکزی
۱	۰/۴۵۲-۰/۵۱۸	۰/۴۸۵
۲	۰/۵۰۹-۰/۵۲۸	۰/۵۶۹
۳	۰/۶۱۲۶-۰/۶۹۳	۰/۶۶
۴	۰/۷۷۶-۰/۹۰۴	۰/۸۴
۵	۱/۵۶۷-۱/۷۴۸	۱/۶۷۶
۶	۱۰/۴۵-۱۲/۴۵	۱۱/۴۳۵
۷	۲/۹۷-۲/۳۴۹	۲/۲۲۳

این سنجنده با دریافت طول موج‌های انعکاسی از اجسام، اطلاعات آن‌ها را به صورت داده خام و رقومی (بر اساس مقدار انرژی آن‌ها) به ازای ۷ باند سنجنده ماهواره‌ای ذخیره می‌کند؛ سپس می‌توان با پردازش آن‌ها به گستره وسیعی از داده‌ها دسترسی پیدا کرد که برای استخراج اطلاعات باندهای سنجنده از نرم‌افزارهایی که برای این منظور طراحی شده‌اند استفاده می‌شود. نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق ENVI است.

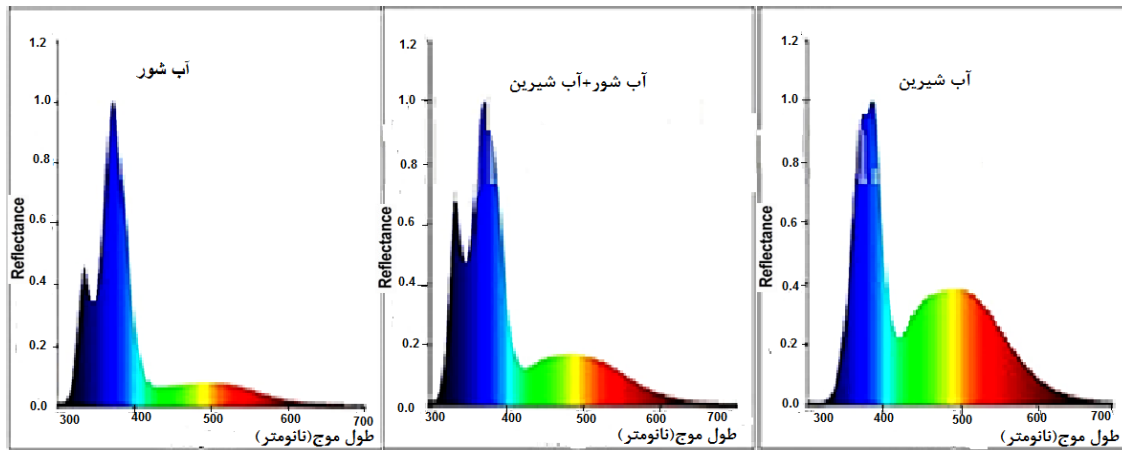
جدول ۱. مقیاس‌های زمانی و مکانی پدیده‌های اقیانوسی

نوع پدیده	مقیاس طولی سطحی	پریود (دوره)	میزان احتمال آشکارشدن از طریق ماهواره
جریان‌های مرزی غربی	۱۳۰cm/۱۰۰ km	روز تا سال	۲۵٪
چرخاب	۵۰cm/ $(3-10) \times 10^3$ km	۱ تا چند سال	۲۵٪
ادی‌های میان‌مقیاس	۱۰-۲۵cm/۱۰۰km	۱۰۰ روز	۱۰۰٪
ادی‌های کوچک	۱۰cm/۱۰-۱۰۰km	۱ تا ۲ روز	۱۰۰٪
جریان‌های مرزی شرقی	۳۰cm/۱۰۰km	چند روز تا چند سال	۱۰۰٪
جزرومد	۱m/۱-۱۰۰km	۱ روز	۱۰۰٪
جریان‌های استوایی	۱m/۱۰۰km	چند ماه تا چند سال	۱۰۰٪
فراجوشی ساحلی	۱۰cm/۱۰-۱۰۰km	۱ روز تا ۱ هفته	۱۰۰٪

نمودارهای بازتابی (رفلکتانس) بر اساس میزان دریافت طول موج هر جسم به وسیله سنجنده رسم و باعث شناسایی آن پدیده می‌شوند. در نمودار شکل ۱ رفتار طیفی آب شیرین و شور، بر اساس میزان بازتابش در سنجنده TM5 با یکدیگر مقایسه شده است که می‌توان به کمک تفاوت در میزان بازتاب، آب‌ها را از یکدیگر تمیز داد.

شکل ۱ رفتار طیفی آب شور و شیرین را نشان می‌دهد که با تاباندن نور امواج الکترومغناطیس به دو نمونه آب شور و شیرین موجود در آکواریوم شیشه‌ای در محیط آزمایشگاه طیف جذبی نور برای آن دو به دست آمد. در این شکل تفاوت معنی‌داری در طول موج ۴۵۰ تا ۵۶۰ نانومتر برای آب شور<sup>۲</sup> و شیرین<sup>۳</sup> مشاهده می‌شود [۱۵].

در این تحقیق از داده‌های سنجنده لندست ۵ (TM5) استفاده شده است، این سنجنده دارای هفت باند شناسایی طول موج است که بین آن‌ها فقط باند ششم در محدوده حرارتی و سایر باندها در محدوده بازتابی قرار دارند. در جدول ۲ محدوده آشکارسازی باندهای لندست ۵ مشخص



شکل ۱. رفتار طیفی آب شیرین، ترکیب آب شیرین و شور، آب شور

۱۳۹۴ به بررسی کیفیت تصاویر ماهواره و رابطه آن با مواد موجود در آب در بخش کوچکی از خلیج فارس به کمک ایجاد مدل بیوآپتیکال پرداخت. زینگ پینگ ون و یانگ [۱۴] در سال ۲۰۱۱ به کمک روش فاکتور شاخص بهینه در سنجنده ETM به بررسی کیفیت آب در دریای چین پرداختند. صوفیان و همکارانش [۱۳] در سال ۲۰۱۰ به بررسی آلودگی‌های تأثیرگذار بر آب، کوه و گیاهان در منطقه‌ای از اصفهان پرداختند. علی قید و همکارانش [۱۲] در سال ۲۰۰۸ میلادی برای بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی در شمال شرقی حجه در عمان به دلیل پیچیدگی منطقه پیشنهاد دادند که از روش شاخص بهینه می‌توان به بهترین نتیجه رسید که بر اساس این شاخص ترکیب رنگی ۷۶۵ باندهای سنجنده لندست ۷ را برای بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه معرفی و بر اساس آن نقشه منطقه رسم شد. عبدالسلام و همکارانش [۳] در سال ۲۰۱۱ میلادی به بررسی چگونگی انتخاب بهترین روش برای بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه‌ای در عربستان پرداختند. آن‌ها با پردازش داده‌های سنجنده لندست ۵ (TM5) با تکنیک شاخص فاکتور بهینه به ترکیب رنگ ۷۵۳ رسیده و آن را با سایر روش‌ها بر اساس ماتریس خطا و ضریب کاپا مقایسه نمودند. بیشتر کارهای انجام‌شده به روش شاخص فاکتور بهینه در خشکی انجام شده و صحت نتایج آن برای زمین‌شناسان به اثبات رسیده است. دیوید و راو [۱۰] در سال ۱۹۹۲ به کمک این تکنیک توانستند پیشروی شوره‌زار در خشکی را نشان دهند. با پردازش داده‌های باندهای طیفی سنجنده می‌توان به

در این نرم‌افزار با ترکیب داده‌های ۳ باند از ۶ باند انعکاسی یک تصویر رنگی کاذب در اختیار کاربر قرار می‌گیرد (تصویر رنگی RGB). بر این اساس با ترکیب داده‌های باندهای لندست ۵ می‌توان ۳۵ ترکیب رنگی ایجاد نمود. بسته به ترکیب رنگ انتخابی پهنای اطلاعات تصاویر خروجی، تنوع متفاوتی دارند که البته تصویر با بیشترین اطلاعات همواره مدنظر کاربران است. برای دستیابی به این هدف روش‌ها و الگوریتم‌های فراوانی نوشته شده است که از بین آن‌ها می‌توان به استفاده از شاخص‌های NDVI و شاخص فاکتور بهینه اشاره کرد. در برخی از مقاله‌ها انتخاب رنگ باندها برحسب تجربه صورت گرفته که از کیفیت چندان بر خوردار نمی‌باشد. هدف اصلی این مقاله، شناسایی بهترین ترکیب رنگی ممکن به کمک محاسبات برای رسیدن به بیشترین اطلاعات منطقه هدف می‌باشد. به همین دلیل شاخص فاکتور بهینه که کمیتی آماری است، محاسبه می‌شود. این شاخص، فاکتور اصلی برای انتخاب بهترین تصویر با بیشترین اطلاعات را به کاربر نشان می‌دهد. در سال‌های گذشته به دلایل مختلفی از جمله جدید، ناشناخته بودن، همچنین عدم وجود دانش لازم برای محاسبات، از فاکتور شاخص بهینه بهره‌ی چندان در گستره آبی برده نشده است، بنابراین امید است که در این تحقیق با استفاده و معرفی این فاکتور راه برای بهره‌گیری از آن فراهم شود.

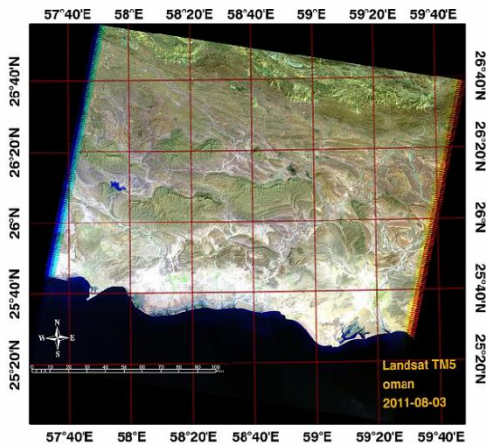
در این زمینه در سال‌های اخیر مطالعاتی در زمینه فاکتور شاخص بهینه انجام شده است. مهدی مومی پور [۳] در سال

شوری تیره شده و آب شور به رنگ مشکی در تصاویر سنجنده دیده می‌شود، مقایسه و صحت‌سنجی شد در ضمن می‌توان این تکنیک را برای سایر پدیده‌ها در هر موقعیتی از خشکی و دریا توسعه داد (روشی برگرفته از ریاضیات و به‌دوراز خطای انسانی).

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه مربوط به ساحل شمال شرقی دریای عمان در ایران از منطقه پستی با طول  $25^{\circ}32'25''$  و عرض  $59^{\circ}03'59''$  تا بندر جاسک با طول  $25^{\circ}21'21''$  و عرض  $57^{\circ}41'57''$  واقع در استان هرمزگان به طول ۱۷۰ کیلومتر است. شکل ۲ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد، این تصویر از سنجنده لندست ۵ استخراج شد و تصحیحات هندسی و رادیومتریک با نرم‌افزار ENVI بر روی آن انجام شد.



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه

### ۲-۲. دریافت و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تصویر ماهواره‌ای استفاده‌شده در این تحقیق مربوط به سنجنده لندست ۵ در تاریخ (۱۳۸۹/۱۲/۱۸) است. سنجنده‌ها به دلیل تفاوت در طول موج‌های دریافتی توسط باندهای مختلفشان قادر به تفکیک و شناسایی اجزای مختلف پدیده‌ها می‌شوند، سازوکار شناسایی براساس رابطه پلانک (هر جسمی در هر دمایی از خود انرژی تابش می‌کند و اجسام دارای طیف گسیلی متفاوتند) است در نقاطی از طیف‌های دریافتی که با یکدیگر تفاوت آشکاری دارند، اجزا نسبت به یکدیگر تمیز داده می‌شوند. در این

اطلاعات باارزشی برای پایش منابع طبیعی در حوزه آب پرداخت که از جمله آن می‌توان به بررسی تغییر عمق آب، میزان رسوب مواد معلق، چگونگی گسترش آن در ساحل و تعیین تغییرات خطوط ساحلی اشاره کرد، همچنین می‌توان پارامترهای شوری، دما و رنگ آب را مورد بررسی قرار داد. خرم و چشیر [۱۱] در سال ۱۹۸۵ با استفاده از سنجنده MSS برای پارامترهای شوری، تیرگی و مواد معلق در خلیج سان‌فرانسیسکو یک مدل ارزیابی ارائه نمودند و بیان کردند که همبستگی قوی بین شوری و تیرگی آب وجود دارد، به طوری که هرچه آب شورتر باشد تیرگی آن نیز بیشتر است. برگاوا و مایام [۶] در سال ۱۹۹۲ تأثیر توأم شوری و رسوبات را بر انعکاس طیفی آب در آزمایشگاه مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که میزان بازتاب با غلظت رسوبات نسبت مستقیم و با شوری نسبت عکس دارد. از سایر کارهای انجام‌شده می‌توان به سروان و بابان [۵] (۱۹۹۳) و کارپنتر [۷] (۱۹۸۳) که با کمک داده‌های کیفی به مدل‌سازی منطقه پرداخته‌اند، اشاره کرد. هدف اصلی این مطالعه ارائه روشی نوین براساس محاسبه‌های آماری برای دستیابی به چند ترکیب رنگی مناسب برای استخراج بیشترین اطلاعات است. اغلب محققان، ترکیب رنگی مناسب را بر اساس پژوهش‌های گذشته که در رشته‌های مختلف به صورت متداول استفاده می‌کرده‌اند، در نظر می‌گیرند. دهنوی و همکارانش [۹] در سال ۲۰۱۳ برای بررسی زمین‌شناسی در کردستان تصویر رنگی ۷۵۱ را با کیفیت‌ترین تصویر رنگی منطقه اعلام کردند. در این مقاله بهترین ترکیب رنگی براساس نوع پدیده مورد مطالعه از لحاظ مکانی و زمانی مورد تحقیق قرار گرفت؛ بر اساس کمیت‌های آماری نتایج ارائه می‌شود. در این تحقیق به کمک شاخص فاکتور بهینه به عنوان روشی علمی مبتنی بر محاسبات آماری و قواعد ریاضیات بهترین ترکیب رنگی برای شناسایی آب شیرین و دارای املاح حاصل از رودخانه‌ها و سیلاب‌ها نسبت به آب شور دریا و سایر اجزای ساحلی دریای عمان معرفی می‌شود، نتیجه با روش میدانی و آزمایشگاهی حاصل از کار برگاوا و مایام [۶] و خرم و چشیر [۱۱] که اثبات کردند تصویر حاصل از آب با افزایش

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار ENVI، انحراف معیار و ضرایب همبستگی باندهای سنجنده لندست ۵ محاسبه شد.

$\sum_{i=1}^3 SD$  معرف مجموع انحراف معیار باند (۱ و ۲)

(۱ و ۳) (۲ و ۳) و  $\sum_{i=1}^3 Cc$  مجموع ضرایب همبستگی

باندهای اول و دوم، اول، سوم، با دوم و سوم است.

در جدول (۳) انحراف معیار مربوط به باندهای سنجنده لندست ۵ و در جدول (۴) ضرایب همبستگی مربوط به باندهای این سنجنده آمده است. همان طوری که در رابطه ۱ مشاهده می کنید، برای محاسبه شاخص فاکتور بهینه با دریافت داده های باندهای سنجنده نیاز به محاسبه دو کمیت آماری انحراف معیار<sup>۵</sup> و ضرایب همبستگی<sup>۶</sup> است. در انحراف معیار تفاوت داده های سه باند با یکدیگر مقایسه و نسبت به هم محاسبه می شوند، در نتیجه هرچه این عدد بیشتر باشد، ترکیب رنگی دارای بیشترین داده رقومی و بالاترین اطلاعات است؛ همچنین ضریب همبستگی می تواند داده های مشابه بین باندها را نسبت به یکدیگر محاسبه کند. بنابراین هرچه این ضریب کمتر باشد به معنای انتخاب نکردن باندهایی با داده های موازی و تکراری بوده و ترکیب این دو باعث رسیدن به یک تصویر رنگی ایده آل می شود. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار ENVI، انحراف معیار و ضرایب همبستگی باندهای سنجنده لندست ۵ محاسبه شد.

جدول ۳،  $SD$  معرف ضریب همبستگی و Eigenvalue معرف مقادیر ویژه مربوط به هر باند است. مقادیر بالای ستون مقادیر ویژه معرف اطلاعات رقومی بالاست. بر اساس خروجی این جدول مشاهده می کنید که باند ۱ از دیگر باندها بیشترین اطلاعات را دارد. تاکنون صورت و مخرج رابطه ۱ محاسبه شده، حال شاخص فاکتور بهینه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می شود. جدول ۵ نتایج خروجی شاخص فاکتور بهینه برای ترکیب های باندهای سنجنده لندست ۵ را نشان می دهد.

تحقیق با بررسی طیف نموداری شکل ۱ که بر اساس رفتار طیفی آب شور و شیرین در یک محیط آزمایشگاهی رسم شد، تفاوت آشکاری در محدوده (۴۵۰ تا ۵۶۰) نانومتر مشاهده شد و با توجه به گستره طول موجی باندهای لندست ۵ (جدول ۲) به این نتیجه می رسیم که فقط دو محدوده باندهای ۱ و ۲ توانایی شناسایی دارند. باند ۱ این سنجنده با داشتن آشکارسازی در محدوده مرکزی (۰/۴۸۵) نانومتر و باند ۲ با داشتن طول موج مرکزی (۰/۵۶۹) برای تمایز این دو پدیده مناسبند، اما برای انتخاب دو باند دیگر و داشتن بهترین و باکیفیت ترین ترکیب رنگی نیاز به محاسبه شاخص فاکتور بهینه ضروری است.

### ۲-۳. تجزیه و تحلیل آماری باندهای مورد استفاده

بر اساس شکل ۱ (رفتار طیفی) در ترکیب رنگی انتخابی باید باند ۱ یا ۲ حضور داشته باشد؛ بنابراین می توان به طور تقریب ترکیب های رنگی که حاوی این باندها می باشند را مشخص و مجموعه را به کمتر از ۱۵ ترکیب محدود کرد (جدول ۵). از آنجا که در ترکیب رنگی انتخابی باید یکی از باندهای ۱ یا ۲ حضور داشته باشند، ولی به دلیل هم پوشانی دو باند انتخاب یکی از دو باند کفایت می کند، حال برای انتخاب بهترین این دو؛ همچنین انتخاب سایر باندها برای پیدا کردن با ارزش ترین ترکیب رنگی به دوراز خطای انسانی الزاماً نیاز به بهره گیری از یک الگوریتم بر پایه علوم ریاضی است. شاخص فاکتور بهینه می تواند به دوراز خطای انسانی بهترین ترکیب رنگی را مشخص کند.

### ۲-۳-۱. محاسبه شاخص فاکتور بهینه

مقدار شاخص فاکتور بهینه<sup>۴</sup> (OIF) که یک رابطه ریاضی در مبحث آمار گیری است، برای انتخاب ترکیب های رنگی سه تایی با رابطه ۱ ارائه می شود. چاوز و همکارانش [۸] جزء اولین محققان در استفاده کاربرد از این رابطه در مبحث انتخاب تصاویر رنگی کاذب بودند:

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 SD}{\sum_{i=1}^3 Cc} \quad (1)$$

جدول ۳. انحراف معیار باندهای لندست ۵ در کنار مقادیر ویژه هر باند

Eigenvalue	Num	SD	Mean	Max	Min	Basic Stats
۱۰۵۶۲/۸۱۳۶	۱	۴۶/۴۳۲۷۱	۶۲/۱۳۱۳۲	۲۵۵	۰	باند ۱
۱۳۸۱/۹۳۶۱۱	۲	۲۴/۰۵۳۱۹	۲۹/۴۲۲۵۲	۲۵۵	۰	باند ۲
۶۹۸/۷۸۴۱۸۶	۳	۲۷/۹۵۶۶	۳۰/۳۶۶۷۴	۲۵۵	۰	باند ۳
۳۱۲/۶۹۷۹۳۴	۴	۴۴/۰۹۴۱۵	۴۴/۹۷۴۷۷	۲۵۵	۰	باند ۴
۵۷/۶۷۷۹۵۷	۵	۴۹/۳۸۵۲۴	۴۸/۴۴۹۹۸	۲۵۵	۰	باند ۵
۱۹/۳۸۸۲۴۸	۶	۶۶/۷۸۴۰۶	۹۴/۰۱۶۲۱	۲۱۳	۰	باند ۶
۹/۰۸۰۵۱۵	۷	۲۶/۱۳۳۲۶	۲۴/۴۲۲۲۹	۲۵۵	۰	باند ۷

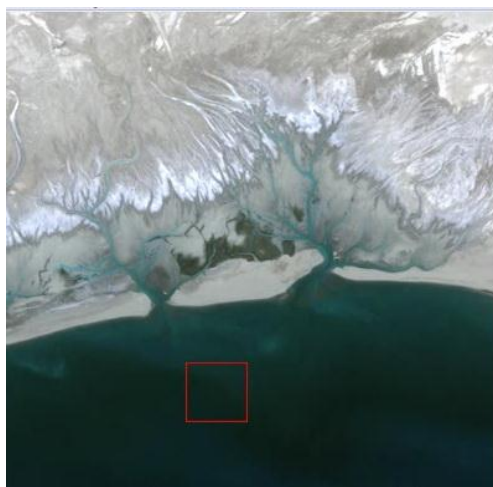
جدول ۴. ضرایب همبستگی باندهای لندست ۵

باند ۷	باند ۶	باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۲	باند ۱	ضریب همبستگی
۰/۷۲۹۲۱۹	۰/۸۱۲۴۹۸	۰/۷۰۱۱۲	۰/۶۸۰۹۲۹	۰/۸۸۴۴۲۲	۰/۹۵۳۵۸۹	۱	باند ۱
۰/۸۴۱۹۴۷	۰/۷۶۷۶۲۶	۰/۸۰۵۳۴۷	۰/۷۵۷۱۸۳	۰/۹۶۴۰۵۳	۱	۰/۹۵۳۵۸۹	باند ۲
۰/۹۰۳۹۵۴	۰/۷۰۹۵۱۴	۰/۸۴۰۲۰۲	۰/۷۴۰۴۱۹	۱	۰/۹۶۴۰۵۳	۰/۸۸۴۴۲۲	باند ۳
۰/۷۹۲۰۵۸	۰/۶۷۴۲۲۹	۰/۸۹۱۸۷	۱	۰/۷۴۰۴۱۹	۰/۷۵۷۱۸۳	۰/۶۸۰۹۲۹	باند ۴
۰/۹۵۰۶۵۵	۰/۷۰۷۷۱۱	۱	۰/۸۹۱۸۷	۰/۸۴۰۲۰۲	۰/۸۰۵۳۴۷	۰/۷۰۱۱۲	باند ۵
۰/۶۷۲۸۹۴	۱	۰/۷۰۷۷۱۱	۰/۶۷۴۲۲۹	۰/۷۰۹۵۱۴	۰/۷۶۷۶۲۶	۰/۸۱۲۴۹۸	باند ۶
۱	۰/۶۷۲۸۹۴	۰/۹۵۰۶۵۵	۰/۷۹۲۰۵۸	۰/۹۰۳۹۵۴	۰/۸۴۱۹۴۷	۰/۷۲۹۲۱۹	باند ۷

جدول ۵. محاسبه شاخص فاکتور بهینه برای ترکیب‌های باندی لندست ۵

Num	RGB	SD	Cc	OIF
۱	۳۲۱	۹۸/۴۴۲۵	۲/۸۰۲۰۶۴	۳۵/۱۳۲۱۴
۲	۴۳۲	۹۶/۱۰۳۹۳	۲/۴۶۱۶۵۵	۳۹/۰۴۰۳۷
۳	۷۵۲	۹۹/۵۷۱۶۹	۲/۵۹۷۹۴۹	۳۸/۳۲۷۰۴
۴	۷۵۴	۱۱۹/۶۱۲۷	۲/۶۴۰۸۸۳	۴۵/۲۹۲۶۷
۵	۷۴۲	۹۴/۲۸۰۶	۲/۳۹۱۱۸۸	۳۹/۴۲۸۳۵
۶	۴۳۱	۱۱۸/۴۸۳۵	۲/۳۰۵۷۷	۵۱/۳۸۵۶۴
۷	۵۳۱	۱۲۳/۷۷۴۶	۲/۴۲۵۷۴۴	۵۱/۰۲۵۴
۸	۵۴۱	۱۳۹/۹۱۲۱	۲/۲۸۰۲۱۹	۶۱/۳۵۹۰۶
۹	۷۵۱	۱۲۱/۹۵۱۲	۲/۳۸۰۹۹۴	۵۱/۲۱۸۶۲
۱۰	۷۴۳	۹۸/۱۸۴۰۱	۲/۴۳۶۴۳۱	۴۰/۲۹۸۲۹
۱۱	۷۴۱	۱۱۶/۶۶۰۱	۲/۲۰۲۲۰۶	۵۲/۹۷۴۲۱
۱۲	۷۵۳	۱۰۳/۴۷۵۱	۲/۶۹۴۸۱۱	۳۸/۳۹۷۹۱
۱۳	۵۴۳	۱۲۱/۴۳۶	۲/۴۷۸۷۹۱	۴۸/۹۹۰۰۱
۱۴	۵۳۲	۱۰۱/۳۹۵	۲/۶۰۹۶۰۲	۳۸/۸۵۴۵۹
۱۵	۷۳۱	۱۰۰/۵۲۲۶	۲/۵۱۷۵۹۵	۳۹/۹۲۸۰۲

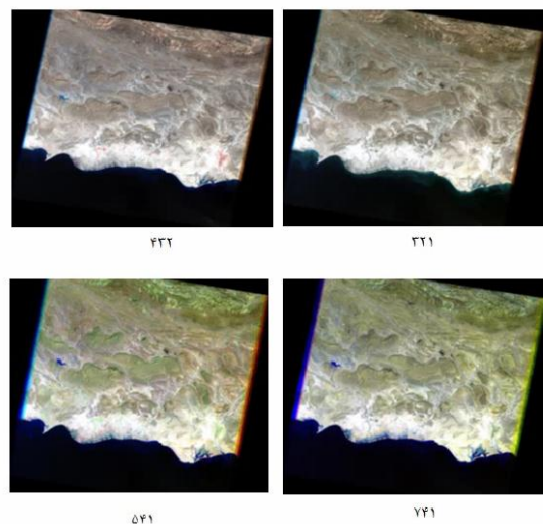
رنگی در این تصویر چه در خشکی و چه در دریا بالاتر از بقیه تصاویر بوده و این به معنی داشتن اطلاعات بیشتر است. در این تصاویر چون حجم آب دریا نسبت به آب ورودی رودخانه بسیار بیشتر است، تصویر دریا به رنگ مشکی نشان داده می‌شود که با مطالعات خرم و چشیر [۱۱]، برگاوا و مایام [۶] همخوانی دارد. در شکل‌های ۴ تا ۶ تصاویر محدود به بخش کوچکی از منطقه شد تا تفاوت در آب ورودی رودخانه به دریا مشخص شود.



شکل ۴. ترکیب رنگی ۳۲۱ بر اساس ترکیب واقعی

شکل ۴ ترکیب رنگی واقعی (۳۲۱) از منطقه ساحلی گبریک به مختصات جغرافیایی طولی  $۵۸^{\circ}۲۱'۳۹''$  و عرضی  $۲۵^{\circ}۳۵'۷''$  را نشان می‌دهد، در این تصویر گیاه به رنگ سبز پررنگ دیده می‌شود که به دلیل داشتن تعداد رنگ کمتر در خشکی وضوح تصویر بسیار کم و برای پردازش در آن منطقه مناسب نیست؛ ولی با آنکه آب در آن به چند رنگ دیده می‌شود و شاید بتوان از آن برای پردازش در آب استفاده نمود، ولی به دلیل کم بودن وضوح در قسمت آب به سختی می‌توان عناصر آن را از هم جدا نمود؛ در صورت امکان استفاده از تصاویر دیگر توصیه می‌شود.

در جدول ۵ کمیت OIF معرف شاخص فاکتور بهینه و SD معرف انحراف معیار و Cc معرف ضریب همبستگی هستند. همان‌طوری که در این جدول مشاهده می‌کنید؛ بالاترین شاخص فاکتور بهینه مربوط به ترکیب رنگی (۵۴۱) با OIF (۶۱/۳۵۹۰۶) است و ترکیب بعدی که اطلاعات نسبتاً مطلوبی در آن وجود دارد، ترکیب ۷۴۱ با OIF (۵۲/۹۷۴۲۱) است. شکل ۳ برای مقایسه بین ترکیب‌های رنگی واقعی ۳۲۱، مرسوم در ایران ۴۳۲، ترکیب رنگی نسبتاً مطلوب ۷۴۱ و بهترین ترکیب رنگی ۵۴۱ که مربوط به حوضه آبریز ورودی دریای عمان و مربوط به منطقه هرمزگان است را نشان می‌دهد. در این شکل چگونگی گستره ورودی آب شیرین رودخانه‌های سرریز شده از سد جاگین، یخ و آب‌های فصلی سرریز شده به دریای عمان با بیشترین کیفیت نسبت به سایر پدیده‌های موجود در خط ساحلی و سایر اجزای خشکی با وضوح متفاوت نشان داده شده است. همان‌طوری که در این شکل مشخص است تصویر (۵۴۱) نسبت به سایر تصاویرها، پدیده‌ها را بهتر نشان می‌دهد.



شکل ۳. تصاویر RGB (۳۲۱-۴۳۲-۵۳۱-۵۴۱) مربوط به جنوب

شرقی ایران و دریای عمان

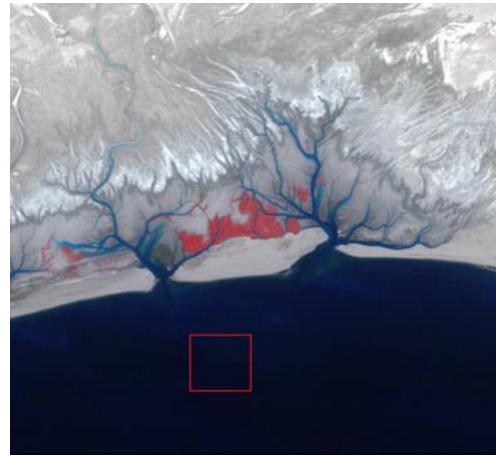
با بررسی تصاویر رنگی RGB، اشکال ۳، ۴ و ۵ که همگی موقعیت مکانی و زمانی یکسانی دارند، می‌توان به اهمیت شاخص فاکتور بهینه پی برد. وضوح تصویر شکل ۵ بسیار بیشتر از سایر عکس‌هاست؛ به عبارت دیگر تعداد تنوع

آب نسبت به سایر تصاویرها از تعداد رنگ بیشتر برخوردار بوده و برای پردازش مناسب‌ترین است.

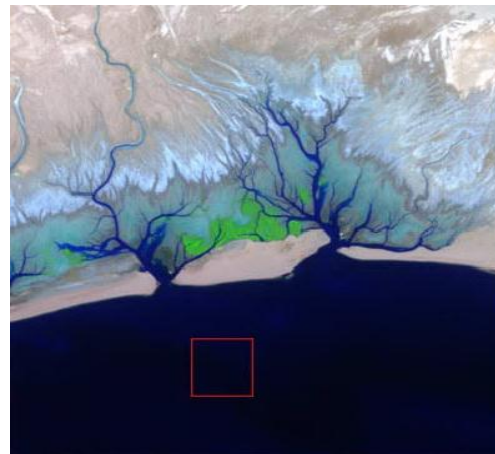
در بررسی تصاویر مشخص شد که انتخاب تصویر براساس تجربه یا استفاده از ترکیب رنگی واقعی برای همه مناطق به ضرورت تصویر مناسب برای پردازش نبوده و باید انتخاب تصویر به کمک تکنیک شاخص فاکتور بهینه انجام شود. نتایج این تکنیک همانند کار میدانی برگاوا و مایام [۶] و خرم و چشیر [۱۱] آب شور را به رنگ مشکی نشان می‌دهد.

در این تصویر بخش ورودی آب شیرین رودخانه‌های فصلی و تالاب به دریا از هم مشخص می‌باشد که گستره نفوذ آب شیرین در تصویر به رنگ آبی و آب دریا را به رنگ مشکی نشان می‌دهد. علاوه بر آن تفکیک آب رودخانه با اجزای خشکی در این ترکیب رنگی نسبت به بقیه تصاویر مشهودتر است.

**۲-۳-۲. بررسی میزان زبانه نفوذ آب رودخانه در دریا**  
در انتها، برای نمایش هرچه باکیفیت‌تر گستره تفکیک آب‌های ساحلی به آب دریا، به دلیل وجود تغییرات طیفی رنگ اجزای تصویر بین آب شور و آب رودخانه با استفاده از تکنیک هیستوگرام برنامه ENVI، میزان گسترش زبانه آب رودخانه در دریا بررسی می‌شود. افزایش وضوح در تصاویر خروجی بر اساس پیک‌های موجود در نمودارهای هیستوگرام هر منطقه با نرم‌افزار رسم و پدیده مربوط به آن شناسایی می‌شود. در تصویر خروجی به ازای محدوده هر پیک، یک طول موج میانگین به‌عنوان پدیده غالب در آن محدوده در نظر گرفته می‌شود، پس از نرم‌الایزه کردن، تصویر خروجی را با وضوح بالاتری نشان می‌دهد. در حقیقت نرم‌افزار با بالا بردن تعداد بیت، کیفیت تصویر را افزایش می‌دهد. برای ۳ تصویر در موقعیت‌های مکانی متفاوت از خط ساحلی به ترتیب نمودارهای هیستوگرام و تصویر رنگی ۵۴۱ منطقه با بیشترین کیفیت نشان داده شده است.



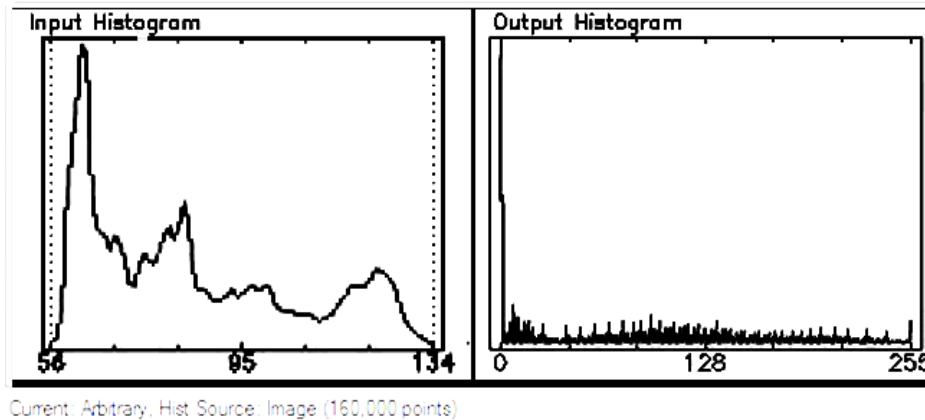
شکل ۵. ترکیب رنگی (۴۳۲) براساس ترکیب متداول در ایران در شکل ۵ ترکیب رنگی (۴۳۲) نشان داده شده و همان‌طوری که در این شکل ملاحظه می‌کنید، گیاه به رنگ مجازی قرمز، آب رودخانه به رنگ آبی و آب دریا به رنگ مشکی دیده می‌شود، مقدار تنوع رنگی به کار رفته در این ترکیب در مقایسه با شکل ۳ و ۴ بیشتر است، در نتیجه اطلاعات بیشتری برای پردازش در خشکی دارد ولی در محدوده آب ترکیب رنگ کمی داشته و برای پردازش پیشنهاد نمی‌شود.



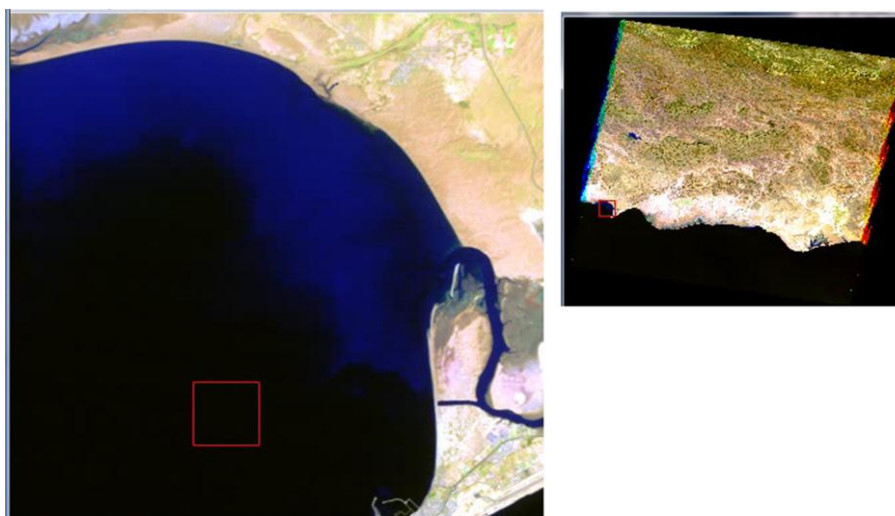
شکل ۶. ترکیب رنگی (۵۴۱) براساس محاسبه فاکتور بهینه

شکل ۶ ترکیب رنگی (۵۴۱) که براساس شاخص فاکتور بهینه محاسبه و دارای بالاترین میزان OIF است را نشان می‌دهد. در این تصویر گیاه به رنگ سبز و آب از آبی کم‌رنگ در محدوده رودخانه تا مشکی در دریا وجود دارد، تنوع ترکیب رنگی و وضوح رنگ‌ها در این تصویر مشهود است؛ در نتیجه این تصویر هم در خشکی و هم در

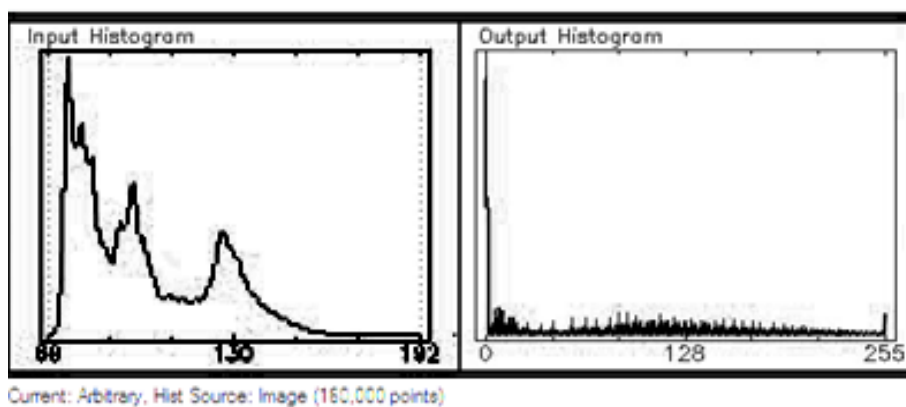




شکل ۷. نمودار هیستوگرام مربوط به منطقه بندر جاسک



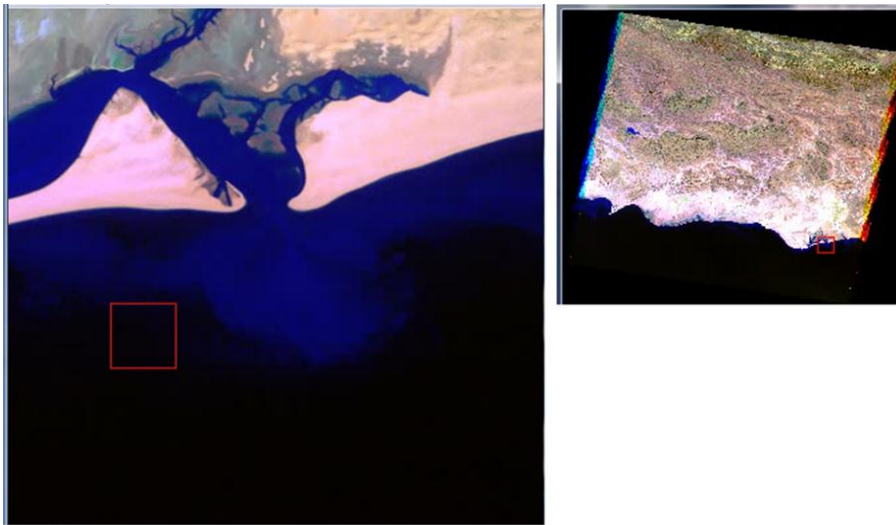
شکل ۸. تفکیک آب شیرین و شور در بندر جاسک



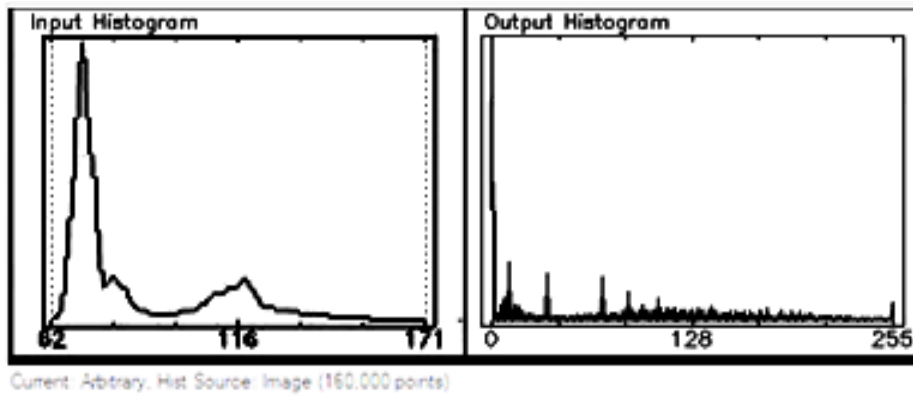
شکل ۹. نمودار هیستوگرام مربوط به منطقه بین پستی و کرتی

بلوچستان به دریا می‌ریزد. نفوذ آب رودخانه به رنگ آبی در آب دریا به رنگ مشکی به‌وضوح در شکل دیده می‌شود.

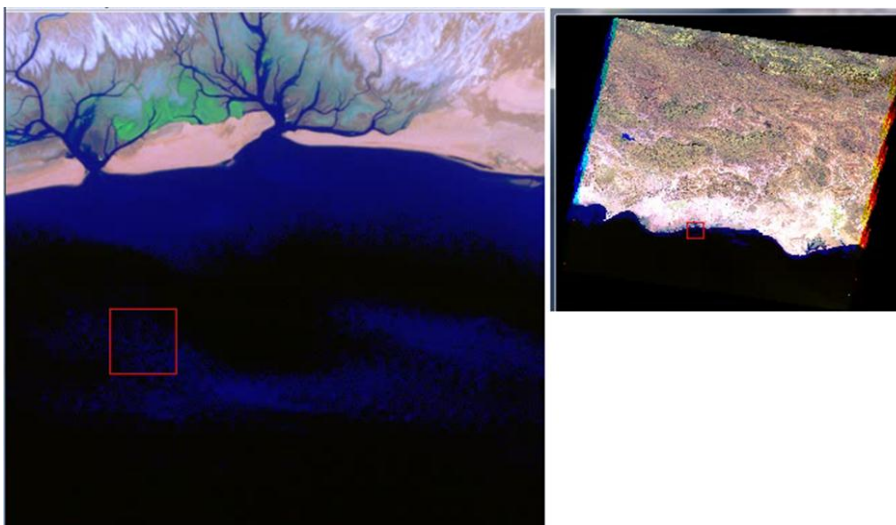
در شکل ۱۰ سرچشمه رودخانه شاخه‌ای از افغانستان و شاخه دیگر آن از خراسان جنوبی آمده و در صحرای لوت به هم متصل شده‌اند، پس از عبور از استان سیستان و



شکل ۱۰. تفکیک آب شیرین و شور در منطقه بین پشتی و کرتی



شکل ۱۱. نمودار هیستوگرام مربوط به منطقه بین گبریک و سورگلم



شکل ۱۲. تفکیک آب شیرین و شور در منطقه بین گبریک و سورگلم

- salinity and sediment concentration on reflectance measurements. *International Journal of Remote Sensing*. 1992 Jul 1;13(11): 2151-9.
- [7] Carpenter DJ, Carpenter SM. Modeling inland water quality using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*. 1983 Sep 30;13(4): 345-52.
- [8] Chavez PS, Berlin GL, Sowers LB. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *Journal of applied photographic engineering*. 1982 Feb;8(1):23-30.
- [9] Dehnavi AG, Sarikhani R, Nagaraju D. Image processing and analysis of mapping alteration zones in environmental research, East of Kurdistan, Iran. *World Applied Sciences Journal*. 2010;11(3):278-83.
- [10] Dwivedi RS, Rao BR. The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt-affected soils. *International Journal of Remote Sensing*. 1992 Jul 1;13(11): 2051-8.
- [11] Khorram S. Remote sensing of water quality in the Neuse River Estuary, North Carolina. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1985;51(3): 329-41.
- [12] Qaid AM, Basavarajappa HT. Application of optimum index factor technique to Landsat-7 data for geological mapping of north east of Hajjah, Yemen. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*. 2008;3(1): 84-91. *Hydrogeology Journal*. 2010 Feb 1;18(1): 247-60.
- [13] Soffianian A, Nadoushan MA, Yaghmaei L, Falahatkar S. Mapping and analyzing urban expansion using remotely sensed imagery in Isfahan, Iran. *World Applied Sciences Journal*. 2010;9(12):1370-8.
- [14] Wen XP, Yang XF. *Monitoring of Water Quality Using Remote Sensing Data Mining*. INTECH Open Access Publisher; 2011.
- [15] Available at: <http://landsat.usgs.gov>
- [16] Available at: <http://aquasmile.com.ua>

#### ۵. پی نوشت

- <sup>1</sup> gyres  
<sup>2</sup> saltwater  
<sup>3</sup> freshwater  
<sup>4</sup> optimum index factor  
<sup>5</sup> standard deviation  
<sup>6</sup> correlation coefficient

در شکل ۱۲ سرچشمه رودخانه برگرفته از دریاچه جاجین است. شکل سمت راست حوزه نفوذ آب رودخانه به رنگ آبی در آب دریا را نشان می دهد.

#### ۳. نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از تصاویر لندست ۵، به بررسی نحوه شناسایی آب شور (دریای عمان) و شیرین (رودخانه ها و آب های فصلی با رسوبات) موجود در تاریخ تصویر دریافتی، پرداخته شد. سپس با استفاده از محاسبه کمیت های آماری همچون؛ شاخص فاکتور بهینه، ضریب همبستگی و انحراف معیار بهترین ترکیبی که دارای بیشترین اطلاعات برای این دو پدیده بودند، شناسایی شد. نتایج نشان داد که برای فصل زمستان ترکیب ۵۴۱ با شاخص فاکتور ۶۱/۳۵۹۰۶ و ضریب همبستگی ۲/۲۸۰۲۱۹ و انحراف معیار ۱۳۹/۹۱۲۱ بهترین ترکیب رنگی است که در بردارنده بیشترین اطلاعات در مورد این پدیده است. این نتیجه با نتایج به دست آمده از نمونه برداری و پردازش داده ها توسط خرم و چشیر [۱۱] و برگاوا و مایام [۶] صحت سنجی شد که نسبت به آن ها روشی جدیدتر و در دسترس است.

#### ۴. منابع

- [1] Johnson J R. *Remote Sensing of the Environment, an Earth Resources Perspective*. 2nd ed. Prentice-Hall, Inc.; Upper Saddle River, NJ: 2000. p. 544-28.
- [2] Martin S. *An Introduction to Ocean Remote Sensing*. Cambridge University Press; 2014. Mar 27.P.354.
- [۳] مومی پور مهدی. مطالعه کیفیت آب های ساحلی با تصاویر ماهواره ای فراطیفی Hyperion - مطالعه موردی ساحل اروندکنار. *مجله علوم و فنون دریایی*. ۱۳۹۵؛۱۱۱(۱):۱۲۰-۱۱۱.
- [4] Al Muntshry NA. Evaluating the effectiveness of multi-spectral remote sensing data for lithological mapping in arid regions: a quantitative approach with examples from the Makkah Neoproterozoic region, Saudi Arabia. 2011.
- [5] Baban SM. Detecting water quality parameters in the Norfolk Broads, UK, using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 1993 May 1;14(7): 1247-67.
- [6] Bhargava DS, Mariam DW. Cumulative effects of