

## ارزیابی دقت طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸- مطالعه موردی: خلیج فارس

امیرمسعود چگونیان<sup>۱\*</sup>، مهدی مختارزاده<sup>۲</sup>، محمدجواد ولدان زوج<sup>۳</sup>، مهدی بلوکی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، پست الکترونیکی: [achegoonian@mail.kntu.ac.ir](mailto:achegoonian@mail.kntu.ac.ir)

۲- استادیار، گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، پست الکترونیکی: [m\\_mokhtarzade@kntu.ac.ir](mailto:m_mokhtarzade@kntu.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، پست الکترونیکی: [valadanzouj@kntu.ac.ir](mailto:valadanzouj@kntu.ac.ir)

۴- دانشجوی دکتری، گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، پست الکترونیکی: [m.bolouki@kmsu.ac.ir](mailto:m.bolouki@kmsu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۶

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۱۷

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۴، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

### چکیده

در این مقاله طبقه‌بندی پوشش آبسنگ‌های مرجانی در منطقه خلیج فارس با استفاده از تصاویر متوسط مقیاس ماهواره لندست ۸ بررسی گردید. برای این منظور، طی انجام عملیات غواصی، به تهیه داده‌های میدانی از آبسنگ‌های مرجانی جزایر قشم و لارک اقدام شد. پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم روی تصویر ماهواره‌ای، الگوریتم بیشترین احتمال برای طبقه‌بندی تصویر پیاده گردید. نتایج تحقیق بیانگر مطابقت بالای نتایج طبقه‌بندی در خلیج فارس با تحقیقات مشابه در سایر مناطق مرجانی جهان است. همچنین دیده شد که تصاویر ماهواره‌ای متوسط مقیاس، توانایی طبقه‌بندی ۲ تا ۴ کلاس را با دقت بالای ۷۰٪ روی صخره‌های مرجانی در این منطقه دارا هستند. بهترین سطح طبقه‌بندی، طبقه-بندی با ۳ و ۴ کلاس تعیین گردید و نشان داده شد که با افزایش بیشتر تعداد کلاس‌ها، دقت متوسط طبقه‌بندی به پایین‌تر از ۵۰٪ کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: آبسنگ‌های مرجانی، تصاویر ماهواره‌ای، لندست ۸، طبقه‌بندی، خلیج فارس.

### ۱. مقدمه

از این‌رو تراکم و پراکنش مرجان‌ها باعث تغییر در جمعیت ماهی‌ها و دیگر موجودات می‌شود (حیدری و همکاران، ۱۳۸۹). وضعیت مرجان‌های خلیج فارس، میزان و تنوع آن‌ها با دیگر مناطق، تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. به دلیل شرایط ویژه آب و هوایی خلیج فارس و بالا بودن درجه حرارت و شوری آب دریا نسبت به دیگر مناطق، مرجان‌ها در این منطقه در سخت‌ترین شرایط ممکن به حیات خود

آبسنگ‌های مرجانی به عنوان مکان تغذیه‌ای، تولیدمثلی، پرورش نوزادان و نیز پناهگاه ماهیان و بسیاری از موجودات آبی عمل می‌کنند و نیز شاخصی از سلامت بوم‌سامانه هستند. بسیاری از موجودات نیز به صورت همزیست با مرجان‌ها زندگی می‌کنند،

پژوهش دیگری که توسط Andréfouët و همکاران (۲۰۰۳) انجام شده است، با بررسی چندین منطقه مرجانی در نقاط مختلف دنیا، دقت متوسط به دست آمده در این مناطق را برای سنجنده ETM+ حدود ۵۶٪ برای ۵ تا ۱۰ کلاس بسته به پیچیدگی‌های پوشش منطقه برآورد کردند. آن‌ها رابطه خطی با همبستگی ۶۳٪ را برای فرموله کردن رابطه دقت و تعداد کلاس‌ها در طبقه‌بندی با سنجنده ETM+ ارائه نمودند. در این تحقیق برای طبقه‌بندی در سطح ۵ کلاس دقت حدود ۶۰٪ و برای ۷ و ۸ کلاس دقت حدود ۵۶٪ و ۵۰٪ تعیین شده است و به علت تعداد کم نمونه‌ها در هر منطقه از بحث پیرامون دقت هر کلاس به صورت جداگانه خودداری شده است. ولی این را متذکر شده‌اند که از برآیند کلی تحقیق مشخص می‌شود که کلاسی نظیر ماسه به علت بازتابندگی نسبتاً بالاتر معمولاً با دقت بالایی برآورد می‌شود و بر عکس کلاسی مانند مرجان به علت شباهت طیفی زیاد با کلاس جلبک و صخره معمولاً از دقت پایین‌تری برخوردار است. در تحقیقی که توسط Benfield و همکاران (۲۰۰۷) انجام شده است، برای طبقه‌بندی با جزئیات کم (۵ کلاس) دقت کل ۵۷٪ ذکر شده است. همچنین دقت هر کلاس نیز ارائه شده است که کلاس ماسه پایین‌ترین دقت را داشته است. در حالی که کلاس‌های جلبک و صخره دقت بالایی داشته‌اند. آن‌ها همچنین نشان دادند که میزان موفقیت روش‌های طبقه‌بندی و دقت‌های به دست آمده کاملاً تابع شرایط فیزیکی و محیطی منطقه مورد مطالعه هستند. در مورد استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی در جزایر ایرانی خلیج فارس از معدود کارهای انجام شده می‌توان به مطالعه Kabiri و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد که با استفاده از تصاویر بزرگ مقیاس سنجنده Quickbird، به طبقه‌بندی و سپس بررسی تغییرات و پدیده سفیدشدگی<sup>۹</sup> در پوشش صخره‌های مرجانی پرداخته‌اند. اولین قدم در پایش وضعیت مرجان‌ها، ایجاد یک فرآیند طبقه‌بندی مستمر، برای اطلاع از وضعیت پوشش مرجانی در فواصل زمانی کوتاه است. این امر جز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای متوسط مقیاس که قابلیت استفاده در زمان‌های متوالی و در مقیاس وسیع دارند (Mumby and Edwards, 2002) محقق نمی‌شود. شرایط آبنسنگ-های مرجانی در خلیج فارس از جمله کدورت آب بالا و تراکم پایین مرجانی در اکثر مناطق (Riegl and Purkis, 2012) نسبت

ادامه می‌دهند. با این وجود، هنوز نقشه‌های دقیقی از میزان و نحوه پراکندگی مرجان‌ها در منطقه خلیج فارس مخصوصاً قسمت شمالی آن که شامل جزایر ایرانی می‌شود، در دست نیست.

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی روی استفاده از فناوری سنجنش از دور به عنوان یک فرآیند مکمل برای فعالیت‌های میدانی روی زیست‌بوم‌های بستری مخصوصاً مرجان‌ها انجام گرفته است. مزایای استفاده از سیستم‌های سنجنش از دوری در این حوزه مواردی نظیر، قابلیت بررسی منطقه در سطح وسیع، پایش مستمر و توانایی بررسی بوم‌سامانه موجود در نواحی دورافتاده و بدون تماس مستقیم با آن است. در این میان سیستم‌های اپتیکی سنجنش از دوری شامل سنجنده‌های چندطیفی<sup>۱</sup> و ابرطیفی<sup>۲</sup> بیشترین کاربرد را در این حیطه داشته‌اند (Andréfouët et al., 2003; Mumby et al., 1997; Capolsini et al., 2003). از اولین و مهم‌ترین پژوهش‌های انجام‌گرفته برای بررسی قدرت سنجنده‌های چند طیفی متوسط مقیاس در طبقه‌بندی بوم‌سامانه‌های مرجانی، می‌توان به مطالعه Mumby و همکاران (۱۹۹۷) اشاره کرد که با استفاده از تصاویر چندین سنجنده، به طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی در سه سطح با جزئیات کم<sup>۳</sup>، متوسط<sup>۴</sup> و زیاد<sup>۵</sup> در منطقه کارائیب پرداختند. در تحقیق ذکر شده، در طبقه‌بندی تصویر سنجنده TM ماهواره لندست با جزئیات کم که در آن ۴ کلاس مرجان، جلبک، ماسه و علف دریایی طبقه‌بندی شده‌اند، دقت کاربر<sup>۶</sup> برای این کلاس‌ها به ترتیب ۸۶٪، ۴۷٪، ۸۳٪، ۵۹٪ ذکر شده است که نشان‌دهنده دقت بالاتر کلاس‌های مرجان و ماسه در طبقه‌بندی است. همچنین دقت کل<sup>۷</sup> و ضریب تاو (Ma and Redmond, 1995) که برای حذف اثر طبقه‌بندی تصادفی به کار می‌رود، به ترتیب ۷۳٪ و ۶۰٪ محاسبه شده است. در تحقیق دیگری که توسط Capolsini و همکاران (۲۰۰۳) انجام شده است، با طبقه‌بندی ۴ کلاس تصاویر تصحیح اتمسفری شده ETM+ روی مرجان‌های اقیانوس آرام جنوبی، دقت کل حدود ۷۷٪ و ضریب تاو ۶۴٪ را گزارش نمودند. با این وجود دقت‌های به دست آمده برای هر کلاس به دلیل تعداد کم داده‌های آموزشی<sup>۸</sup> و تست<sup>۹</sup> در هر کلاس، چندان قابل اعتماد نیستند. در

<sup>1</sup> Multispectral

<sup>2</sup> Hyperspectral

<sup>3</sup> Coarse detail

<sup>4</sup> Intermediate detail

<sup>5</sup> Fine detail

<sup>6</sup> User accuracy

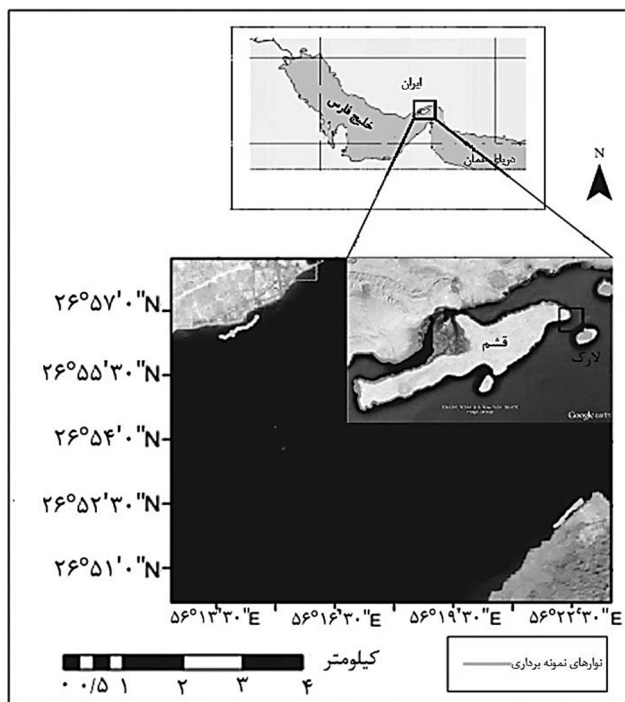
<sup>7</sup> Overall accuracy

<sup>8</sup> Training data

<sup>9</sup> Test data

<sup>10</sup> Bleaching

جهت حرکت ماهواره<sup>۴</sup> و ۱۸۵ کیلومتر در جهت عمود بر حرکت ماهواره<sup>۵</sup> اخذ گردید. این تصویر در تاریخ ۹ دسامبر ۲۰۱۳ از منطقه گرفته شده است. تصویر زمین مرجع<sup>۶</sup> و تصحیح توپوگرافی<sup>۷</sup> شده است. با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه، زیر تصویری<sup>۸</sup> با ابعاد ۳۶۳×۲۹۲ که کل منطقه را پوشش دهد، برای پردازش‌های بعدی انتخاب گردید. در مورد لندست ۸ که از سال ۲۰۱۳ عملیاتی شده است، ذکر این نکته ضروری است که سنجنده واقع بر روی آن، از ۸ باند طیفی در محدوده بازتابی امواج الکترومغناطیس (نور مرئی و مادون قرمز نزدیک) تشکیل شده است. ابعاد پیکسل آن روی زمین ۳۰×۳۰ مترمربع است و به همین دلیل این سنجنده از جمله سنجنده‌های متوسط مقیاس محسوب می‌شود.



شکل ۱: موقعیت مناطق مورد مطالعه، تصویر ماهواره‌ای اخذ شده و نوارهای نمونه‌برداری در اطراف جزایر قشم و لارک

#### داده‌های پوشش بستر دریا

داده‌های پوشش بستر دریا در مناطق مطالعاتی قشم و لارک حاصل کار میدانی انجام‌شده در آبان ماه سال ۱۳۹۲ در مناطق

<sup>4</sup> Along track  
<sup>5</sup> Cross track  
<sup>6</sup> Georeferenced  
<sup>7</sup> Topographic correction  
<sup>8</sup> Subset image

به مناطق دیگر جهان، عملاً تعمیم نتایج تحقیقات سایر مناطق را غیرموجه می‌سازد. از طرف دیگر با توجه به مدت زمان اندکی که از پرتاب ماهواره لندست ۸ می‌گذرد، هنوز تحقیقی روی کارایی این سنجنده در طبقه‌بندی پوشش بستر انجام نگرفته است. آنچه در این تحقیق دنبال می‌شود، بررسی قابلیت تصاویر متوسط مقیاس و به طور خاص تصاویر سنجنده لندست ۸ در طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی در منطقه خلیج فارس است.

## ۲. روش کار

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

جزایر قشم و لارک که هم از نظر وضعیت مرجانی دارای پوشش غنی هستند و هم دسترسی مناسبی دارند، برای مطالعه انتخاب گردیدند. جزیره قشم که در مختصات ۲۶° ۴۵' شمالی و ۵۵° ۴۹' شرقی قرار دارد، بزرگ‌ترین جزیره خلیج فارس است. مناطق دارای مرجان عملاً به دو منطقه در جنوب و جنوب شرقی جزیره محدود می‌شود که هر کدام کمتر از ۲ کیلومتر طول و حداکثر ۶ متر عمق دارند (Kavousi et al., 2011). از دو منطقه مذکور، منطقه‌ای که در قسمت جنوب شرقی جزیره قرار دارد و دارای آبسنگ‌های حاشیه‌ای<sup>۱</sup> در امتداد خط ساحلی جزیره و کلونی‌های مرجانی تکه‌تکه<sup>۲</sup> به صورت پراکنده می‌باشد، برای نمونه‌برداری و مطالعه انتخاب گردید. علاوه بر این، منطقه مطالعاتی دیگری نیز در نزدیکی جزیره لارک برای نمونه‌برداری انتخاب شد. این منطقه از تنوع بالایی گونه‌ها<sup>۳</sup> و وضعیت کدورت آب بهتری برخوردار بود. در شکل ۱ منطقه مورد مطالعه، تصویر ماهواره‌ای اخذ شده از آن و نوارهای نمونه‌برداری مشخص شده‌اند.

### ۲-۲. داده‌های مورد استفاده

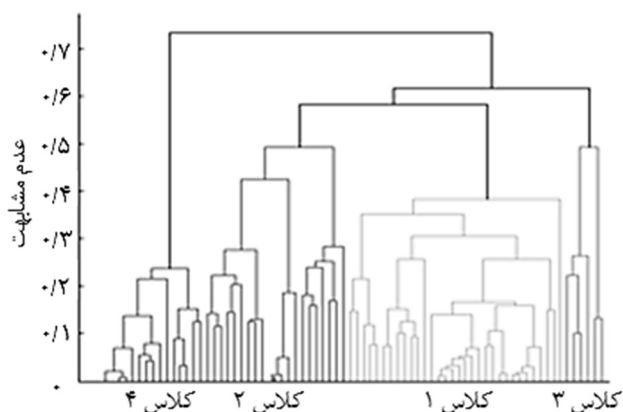
#### تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸

از منطقه مورد مطالعه یک تصویر ماهواره لندست ۸ با شماره مسیر ۹۶ و شماره ردیف ۷۰ با ابعادی برابر با ۱۸۰ کیلومتر در

<sup>۱</sup> Fringing reef  
<sup>۲</sup> Patch reef

<sup>۳</sup> در متن این مقاله، هرگاه از واژه گونه استفاده می‌شود نه به معنی زیستی آن، بلکه به معنی کلاس‌های موجود در طبقه‌بندی از جمله ماسه، مرجان و ... است.

سستی برداشت با پهن کردن نوار در بستر، غواص اقدام به ثبت دستی گونه‌های قرارگرفته در امتداد نوار می‌نماید. در این تحقیق با روشی جدید اقدام به نمونه‌برداری گردید. در این روش، غواص با غواصی در امتداد نوار، به عکس‌برداری از پوشش بستر در فواصل زمانی معین پرداخت. این روش نمونه‌برداری مستلزم تعیین همزمان موقعیت غواص حین عکس‌برداری، برای اطلاع از مکان هر تصویر است. این کار با متصل کردن یک GPS دستی به غواص و همزمان کردن دقیق ساعت دوربین و ساعت GPS انجام گردید (Roelfsema and Phinn, 2009). در زمان نمونه‌برداری GPS در حالت ردیابی<sup>۳</sup> و با نرخ<sup>۴</sup> یک ثانیه قرار داده شد. در نهایت تعداد ۵۲۸ عکس همراه با موقعیت برداشت شد.



شکل ۳: دندروگرام رسم شده برای نمونه‌های برداشتی

در مرحله بعد با تفسیر بصری عکس‌های موزائیک شده، درصد پوشش تمام گونه‌ها مشخص شد و در نهایت ۶ کلاس مرجان سخت، ماسه، صخره، خرده‌سنگ و مرجان مرده، مرجان نرم و جلبک، به عنوان کلاس‌های اصلی انتخاب شدند. با مشخص کردن مکان هر عکس در پیکسل‌های تصویری، از درصد کلاس‌های موجود در عکس‌های قرارگرفته در هر پیکسل میانگین‌گیری شد تا با یک تقریب، درصد پوشش کلاس‌ها در هر پیکسل به دست آید. در طبقه‌بندی انجام‌شده در این تحقیق، از کلاس‌هایی که خود ترکیبی از گونه‌های اصلی پوشش صخره‌های مرجانی هستند، استفاده شد. برای تشکیل این کلاس‌ها، با رسم نمودار درختی<sup>۵</sup> (شکل ۳) مطابق روش ارائه شده توسط Mumby

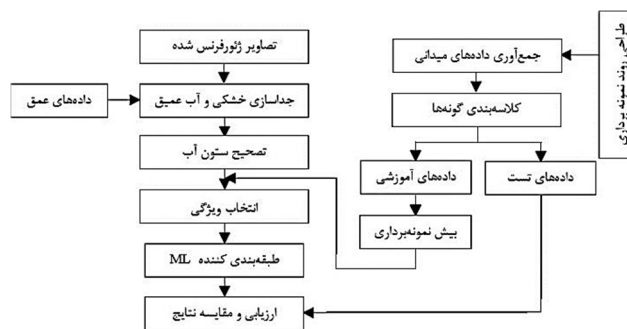
مرجانی در سواحل جزایر قشم و لارک در خلیج فارس است. این مجموعه داده، از ۵۲۸ عکس رقومی<sup>۱</sup> تشکیل شده است که هر عکس در اصل یک نمونه از پوشش صخره‌های مرجانی است. این نمونه‌برداری زمینی مطابق Roelfsema و Phinn (۲۰۰۹) و با فاصله زمانی حدود ۱ ماه با زمان اخذ تصویر، انجام گرفت.

### چارت‌های عمقیابی

در طبقه‌بندی انجام‌شده در این تحقیق، نیاز به تعیین پیکسل-های آب عمیق بود. این کار با استفاده از نقشه عمق و یا همان داده‌های عمقیابی موجود از منطقه انجام شد. برای مناطق قشم و لارک، داده‌های عمق از سازمان نقشه‌برداری تهیه گردیدند. این داده‌ها از دو چارت عمقیابی با مجموعاً ۲۷۶۷ نقطه برداشتی تشکیل شده‌اند که فاصله نقاط نمونه‌برداری در آن‌ها ۵۰ متر است.

### ۳-۲ روش تحقیق

در شکل ۲ روند انجام تحقیق آمده است. در ادامه هر مرحله به تفکیک، شرح داده شده است.



شکل ۲: فلوچارت روش تحقیق

### نمونه‌برداری و آماده‌سازی داده‌های میدانی

تعدادی محدوده در داخل منطقه مورد مطالعه که تنوع گونه‌ها در آن‌ها مناسب بود، برای نمونه‌برداری انتخاب شدند. با غواصی در داخل محدوده‌های مورد نظر، نمونه‌برداری به صورت خطی و در امتداد نوار<sup>۲</sup> انجام گرفت. نوارهای نمونه‌برداری در قشم و لارک، به صورت موازی با ساحل انتخاب شدند. در روش‌های

<sup>3</sup> Tracking

<sup>4</sup> Rate

<sup>5</sup> Dendrogram

<sup>1</sup> Digital

<sup>2</sup> Transect

بندی می‌باشد. به دلیل استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده در این تحقیق و عدم وجود ضرایب کالیبراسیون معتبر برای لندست ۸ تا زمان تدوین این نوشتار، از تصحیح رادیومتریکی<sup>۳</sup> تصویر صرف‌نظر شد. با توجه به عدم مشاهده بروز پدیده درخشندگی ناشی از زاویه سنجنده و خورشید در منطقه مورد مطالعه و با توجه به اینکه در تصاویر متوسط مقیاس نیازی به تصحیح درخشندگی ناشی از اثر امواج نیست (Kay et al., 2009)، از انجام تصحیح درخشندگی<sup>۴</sup> نیز صرف‌نظر شد. تصحیح عمق<sup>۵</sup> به روش استفاده از شاخص مستقل از عمق<sup>۶</sup> (Lyzena, 1981) انجام گرفت. در این تصحیح باید ابتدا یک منطقه که پوشش بستر آن تنها از یک کلاس (مثلاً ماسه) است، به الگوریتم معرفی شود. شناسایی چنین منطقه‌ای با استفاده از عکس‌های برداشت‌شده از پوشش بستر و تشخیص یک منطقه شامل ۱۶ پیکسل با پوشش خالص ماسه انجام شد. در این روش ابتدا با محاسبه لگاریتم طبیعی از مقادیر تابندگی در هر باند، رابطه بین این پارامتر و ضریب تضعیف در آن باند خطی می‌شود. مقدار عرض از مبدأ نمودار حاصل از این رابطه، فارغ از عمق پیکسل، فقط به جنس بستر بستگی دارد. پس با استفاده از ترکیب هر دو باند دلخواه، با داشتن نسبت ضرایب تضعیف در آن دو باند (شیب خط)، شاخصی مستقل از عمق (عرض از مبدأ خط) برای هر پیکسل می‌توان به دست آورد که به جای بازتابندگی آن دو باند، در طبقه‌بندی استفاده گردد. با انجام این تصحیح ۶ شاخص مستقل از عمق که به ترتیب شامل عرض از مبدأ نمودار نسبت لگاریتم طبیعی باندهای سبز-قرمز، آبی-قرمز، ساحلی-قرمز، آبی-سبز، ساحلی-سبز و ساحلی-آبی هستند، تشکیل شد و جایگزین مقادیر ۴ باند اصلی در ادامه تحقیق گردید. نمودار نسبت ضرایب تضعیف برای باندهای مختلف به همراه شاخص‌های حاصل، در شکل ۴ آمده است.

#### پیاده‌سازی الگوریتم‌های طبقه‌بندی

به دلیل متوازن نبودن تعداد داده‌های آموزشی<sup>۷</sup> مربوط به کلاس‌های مختلف، با استفاده از روش بیش نمونه‌برداری<sup>۸</sup> (Fernández-Navarro et al., 2011) تعداد داده‌های آموزشی ضمن افزایش،

و Harborne (۱۹۹۹) و قطع آن در حد آستانه ۰/۵، ۴ کلاس مطابق جدول ۱، حاصل گردید.

جدول ۱: کلاس‌های تعریف‌شده برای طبقه‌بندی در حالت ۴ کلاسه

شماره کلاس / گونه	مرجان نرم	خرده‌سنگ و مرجان مرده	صخره	ماسه	مرجان سخت	جلبک
۱	٪۱	٪۱۵	٪۲	٪۱۶	٪۶۵	٪۰
۲	٪۱	٪۴۳	٪۴	٪۲۶	٪۱۷	٪۱۰
۳	٪۵	٪۱۰	٪۴۰	٪۱۲	٪۲۱	٪۱۲
۴	٪۰	٪۰	٪۰	٪۸۸	٪۷	٪۴

در نهایت پیکسل‌های انتخاب‌شده به عنوان داده‌های آموزشی و آزمایشی وارد فرآیند طبقه‌بندی می‌شوند. تعداد این پیکسل‌ها ۷۷ پیکسل لندست است که از این میان تعداد ۳۸ پیکسل برای آموزش و مابقی به عنوان آزمایش استفاده گردید.

#### پیش‌پردازش تصاویر

در ابتدا باندهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ (ساحلی<sup>۱</sup>، آبی، سبز و قرمز) که قدرت نفوذ در آب را دارند، برای ورود به فرآیند طبقه‌بندی انتخاب شدند. همچنین باند ۵ لندست ۸ نیز به دلیل کارایی در پیش‌پردازش‌ها، انتخاب شد. به دلیل زمین مرجع بودن تصاویر لندست ۸ با خطای بیشینه حدود ۳۰ متر (Storey et al., 2014) و دقت GPS دستی برای تعیین موقعیت نمونه‌ها که حدوداً ۱۰-۱۵ متر است (Benfield et al., 2007)، از تصحیح هندسی<sup>۲</sup> صرف‌نظر شد. سپس با آستانه گذاری روی باند مادون‌قرمز نزدیک، مناطق خشکی از تصویر جداسازی شدند. با بررسی تصویر، دیده شد که به علت عدم وجود سایه و ابر در تصویر، نیازی به جداسازی سایه و ابر از تصویر نمی‌باشد. برای جداسازی پیکسل‌های آب عمیق از داده‌های عمق مربوط به منطقه استفاده گردید. به این نحو که با درونیابی این داده‌ها در پیکسل‌های ۳۰×۳۰ متری، پیکسل‌های با عمق بیشتر از ۱۰ متر به عنوان پیکسل‌های آب عمیق ماسک شدند. باید گفت که منظور از آب عمیق، از منظر اپتیکی است، یعنی در این مناطق موج رسیده به سنجنده، فاقد اطلاعات از بستر می‌باشد. مناطق غیرعمیق از منظر اپتیکی مناطقی هستند که وضعیت عمق و کدورت آنها به گونه‌ای است که میزان نور رسیده از بستر مناسب تفسیر و طبقه-

<sup>3</sup> Radiometric correction

<sup>4</sup> Sun glint correction

<sup>5</sup> Depth correction

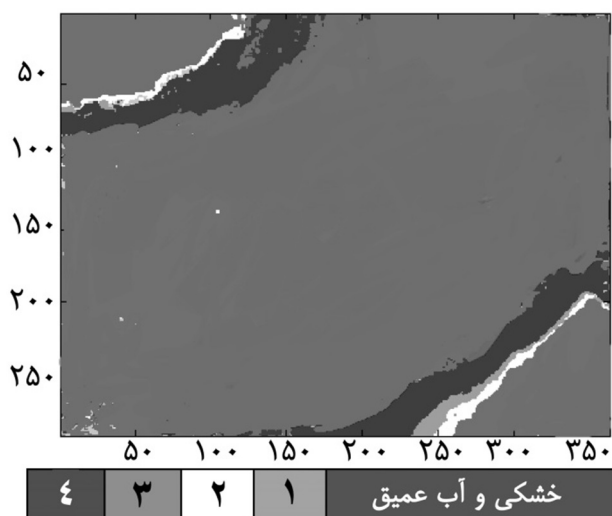
<sup>6</sup> Depth-invariant bottom-index

<sup>7</sup> Imbalanced data

<sup>8</sup> Oversampling

<sup>1</sup> Coastal/Aerosol

<sup>2</sup> Geometric correction



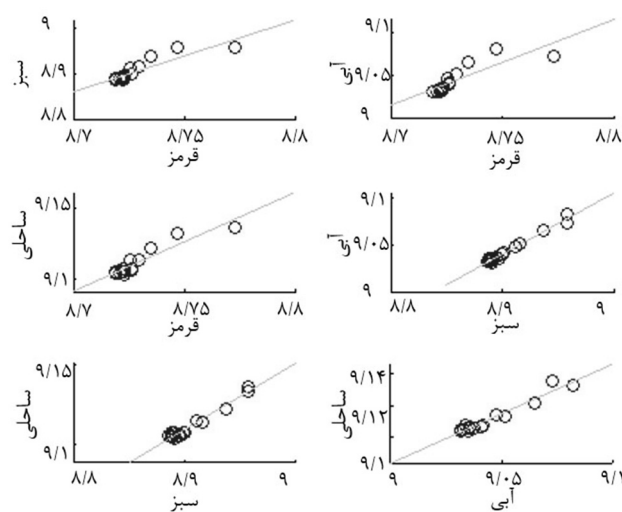
شکل ۵: تصویر طبقه‌بندی شده با الگوریتم بیشترین احتمال

جدول ۲: ماتریس ابهام طبقه‌بندی در حالت طبقه‌بندی ۴ کلاسه

	User acc <sup>۵</sup>				
	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	
کلاس ۱	۱۳	۳	۰	۰	%۸۱/۲۵
کلاس ۲	۲	۵	۱	۳	%۴۵/۴۵
کلاس ۳	۰	۰	۲	۱	%۶۶/۶۷
کلاس ۴	۱	۰	۰	۸	%۸۸/۸۹
	Kappa=%۵۹/۵۳				
Producer acc.	%۸۱/۲۵	%۶۲/۵۰	%۶۶/۶۷	%۶۶/۶۷	Average acc=%۷۰/۵۶
	Overall acc.=%۷۱/۷۹				

نتایج طبقه‌بندی بیانگر دقت کلاسی بالا برای کلاس‌های ۱ و ۴ به ترتیب به میزان ۸۱٪ و ۸۹٪ است. همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است، در کلاس‌های ۱ و ۴، به ترتیب مرجان و ماسه پدیده غالب هستند. از طرف دیگر کلاس ۳ (پدیده غالب، صخره) با دقت ۶۷٪، با دقتی متوسط و کلاس ۲ (پدیده غالب، مرجان مرده) با دقت ۴۵٪ با دقت نسبتاً پایینی طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین با توجه به ماتریس ابهام می‌توان نتیجه گرفت که کلاس ماسه در این طبقه‌بندی تا حدودی بیشتر از مقدار واقع برآورد شده است<sup>۶</sup> و در مقابل کلاس مرجان مرده کمتر از مقدار واقع برآورد شده است<sup>۷</sup> و تعدادی از پیکسل‌های آن به کلاس ماسه اختصاص یافته‌اند که این مسئله باید در بررسی بصری تصویر طبقه‌بندی شده لحاظ گردد.

متوازن گردید. با انجام این فرآیند تعداد داده‌های آموزشی ۴ کلاس با هم یکسان و برابر ۱۶ پیکسل برای هر کلاس شد. در مجموع ۶۴ پیکسل به عنوان داده‌های آموزشی وارد فرآیند طبقه‌بندی گردید. به دلیل وابستگی شدید شاخص‌ها، انجام فرآیند انتخاب ویژگی، ضروری به نظر می‌رسد. انتخاب باند<sup>۱</sup> با استفاده از روش انتخاب باند اسکالر<sup>۲</sup> و با ارزیابی معیار فیشر<sup>۳</sup> (Furey et al., 2000) انجام گرفت و شاخص‌های ۵ و ۶ که عرض از مبدأ نسبت لگاریتم طبیعی باندهای ساحلی- سبز و ساحلی- آبی هستند، به عنوان شاخص‌های مناسب انتخاب شدند.



شکل ۴: نمودار نسبت ضرایب تضعیف برای باندهای مختلف در منطقه مطالعاتی قشم (اعداد نمودار بر حسب لگاریتم طبیعی مقادیر درجه خاکستری در هر باند می‌باشند)

### ۳. نتایج و بحث

در شکل ۵ تصویر طبقه‌بندی شده با الگوریتم بیشترین احتمال در حالت ۴ کلاسه آورده شده است. ۴ کلاس طبقه‌بندی شده به صورت ترکیبی از گونه‌های مرجان، ماسه و ... هستند که درصد گونه‌های موجود در هر کلاس و گونه غالب هر کلاس، در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین جدول ۲ ماتریس ابهام<sup>۴</sup> طبقه‌بندی و مقدار پارامترهای کلی دقت طبقه‌بندی را نشان می‌دهد (اعداد داخل جدول تعداد پیکسل‌ها می‌باشند).

<sup>۱</sup> Band selection

<sup>۲</sup> Scalar band selection

<sup>۳</sup> Fisher score

<sup>۴</sup> Confusion Matrix

<sup>۵</sup> Accuracy

<sup>۶</sup> Overestimate

<sup>۷</sup> Underestimate

این مسئله به خصوص در مورد نتایج به دست آمده توسط Mumby et al., (1997) در منطقه کارائیب دیده می‌شود، جایی که علاوه بر برابر بودن تقریبی دقت کل در هر دو تحقیق، روند کلی دقت کلاس‌ها نیز مشابه است. در واقع همان‌طور که Mumby و همکاران (۱۹۹۷) گزارش نمودند، کلاس‌های ماسه و مرجان برخلاف سایر کلاس‌ها، با دقت خوبی (بیشتر از ۸۰٪) طبقه‌بندی شده‌اند. البته طبق گزارش Benfield و همکاران (۲۰۰۷)، این مسئله کاملاً تابع شرایط محیطی و وضعیت آب است. این محققین این دو کلاس را با دقت پایین‌تری نسبت به سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی نموده‌اند.

برای ارزیابی تأثیر تعداد کلاس‌های نگاشت شده بر دقت طبقه‌بندی، نتایج طبقه‌بندی در ۴ حالت طبقه‌بندی ۲ کلاس تا ۵ کلاس محاسبه گردید. در جدول ۳ نتایج طبقه‌بندی در هر مورد، تنها با ذکر معیارهای کلی دقت آمده است.

برای ارزیابی تصادفی بودن نتایج طبقه‌بندی، از آزمون آماری z-test استفاده شد. در این آزمون فرض صفر تصادفی بودن نتایج طبقه‌بندی و فرض مخالف آن، غیر تصادفی بودن نتایج است (De Leeuw et al., 2006). با در نظر گرفتن مقدار بحرانی  $\alpha=0/05$ ، برای رد فرض صفر و قبول فرض یک باید  $|Z| > \pm 1/96$ . همچنین  $P < 0/05$  نشان‌دهنده معنی‌دار بودن نتایج طبقه‌بندی است و هرچه این مقدار کوچک‌تر شود، معنی‌داری نتایج افزایش می‌یابد. با محاسبه این مقادیر برای طبقه‌بندی ۴ کلاس مقادیر ۴/۷۶۲۷ برای Z و  $1/91 \times 10^{-6}$  برای P به دست آمد که فرضیه تصادفی بودن نتایج طبقه‌بندی را در سطح اطمینان ۹۵٪ رد کرد. نتایج طبقه‌بندی به خوبی موافقت و مطابقت روند کلی نتایج تحقیق حاضر را با تحقیقات مشابه در سایر نقاط جهان نشان می‌دهد.

جدول ۳: نتایج طبقه‌بندی در حالت‌های ۲ تا ۵ کلاس

گونه/ شماره کلاس	مرجان سخت	ماسه	صخره	مرجان مرده	مرجان نرم	جلبک	User acc.	Producer acc.	Overall acc.	Average acc.	Kappa	Z
۱	٪۷	٪۸۹	٪۰	٪۰	٪۰	٪۴	٪۸۸/۸۹	٪۵۰	٪۷۶/۷۴	٪۸۱/۲۱	٪۴۷/۰۴	۲/۴۹
۲	٪۴۱	٪۱۷	٪۶	٪۲۳	٪۶	٪۷	٪۷۶/۴۷	٪۹۶/۳				
۱	٪۲۱	٪۱۲	٪۴۰	٪۱۰	٪۵	٪۱۲	٪۶۶/۶۷	٪۶۶/۶۷				
۲	٪۴۶	٪۲۰	٪۳	٪۲۶	٪۱	٪۴	٪۸۱/۴۸	٪۹۵/۶۵	٪۸۲/۰۵	٪۷۹	٪۶۴/۷۳	۴/۵۷
۳	٪۷	٪۸۹	٪۰	٪۰	٪۰	٪۴	٪۸۸/۸۹	٪۶۱/۵۴				
۱	٪۶۵	٪۱۶	٪۲	٪۱۶	٪۱	٪۰	٪۸۱/۲۵	۸۱/۲۵				
۲	٪۱۷	٪۲۵	٪۴	٪۴۳	٪۱	٪۱۰	٪۴۵/۴۵	۶۲/۵	٪۷۱/۷۹	٪۷۰/۵۶	٪۵۹/۵۳	۵/۷۵
۳	٪۲۱	٪۱۲	٪۴۰	٪۱۰	٪۵	٪۱۲	٪۶۶/۶۷	٪۶۶/۶۷				
۴	٪۷	٪۸۹	٪۰	٪۰	٪۰	٪۴	٪۸۸/۸۹	٪۶۶/۶۷				
۱	٪۲۴	٪۴	٪۱۰	٪۳۵	٪۲	٪۲۵	٪۰	٪۰				
۲	٪۱۴	٪۳۶	٪۱	٪۴۷	٪۰	٪۲	٪۴۲/۸۶	٪۳۰				
۳	٪۶۵	٪۱۶	٪۲	٪۱۶	٪۱	٪۰	٪۵۰	٪۷۲/۷۳	٪۵۳/۸۵	٪۴۸/۰۸	٪۳۷/۸۲	۳/۹
۴	٪۲۱	٪۱۲	٪۴۰	٪۱۰	٪۵	٪۱۲	٪۶۶/۶۷	٪۱۰۰				
۵	٪۷	٪۸۹	٪۰	٪۰	٪۰	٪۴	٪۸۸/۸۹	٪۶۱/۵۴				

حاصل شد. مقدار بیشینه ضریب کاپا<sup>۲</sup>، ۶۴،۷۳٪ و دقت کل طبقه‌بندی، ۸۲،۰۵٪ در حالت طبقه‌بندی ۳ کلاس حاصل گردید. در این حالت ۳ کلاس طبقه‌بندی شامل کلاس‌های صخره، مرجان سخت و ماسه هستند. پایین‌ترین دقت‌های به دست آمده مربوط به طبقه‌بندی ۵ کلاس است که با افت شدید حدود ۲۰٪ نسبت به نتایج طبقه‌بندی ۴ کلاس همراه بوده است. در این حالت دقت میانگین و ضریب کاپا به ترتیب ۴۸٪ و ۳۸٪ می‌باشند که دقت

همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، روند کلی نتایج، نشان‌دهنده کاهش معیارهای کلی دقت طبقه‌بندی با افزایش تعداد کلاس‌ها است. همچنین در هر ۴ حالت، غیر تصادفی بودن نتایج طبقه‌بندی در سطح اطمینان ۹۵٪ اثبات گردیده است ( $P < 0/05$  و  $|Z| > \pm 1/96$ ). در حالت طبقه‌بندی ۲ کلاس، که گونه غالب در کلاس‌ها به ترتیب ماسه و مرجان سخت است، مقدار بیشینه دقت متوسط<sup>۱</sup> طبقه‌بندی با مقداری در حدود ۸۱٪

<sup>2</sup> Kappa coefficient

<sup>1</sup> Average accuracy

در نهایت مشخص شد که طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای متوسط مقیاس، اطلاعات مناسبی در مورد نحوه پراکندگی پوشش مرجانی در خلیج فارس، به خصوص در مناطقی که اطلاعات کمی از آن‌ها در دست است، ارائه می‌نماید. تهیه نقشه‌های دقیق‌تر با توان تفکیک مکانی بالا و تعداد کلاس‌های بالاتر از ۵ کلاس، با استفاده از این تصاویر مقدور نمی‌باشند.

از موارد عدم قطعیت این تحقیق می‌توان به کم بودن تعداد داده‌های آزمایشی برای ارزیابی دقیق تعدادی از کلاس‌ها، در طبقه‌بندی ۴ و ۵ کلاسه اشاره کرد. برای مثال می‌توان از کلاس-های ۲ و ۳ در طبقه‌بندی ۴ کلاسه نام برد. طبیعی است که دقت کلاسی به دست آمده برای این کلاس‌ها چندان قابل‌اعتماد نیست و رسیدن به نتایج قابل‌اعتماد نیاز به جمع‌آوری داده‌های بیشتر برای این کلاس‌ها دارد.

#### ۵. سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از دکتر محمود رضا صاحبی و دکتر یاسر مقصودی از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی و همچنین از مهندس امید صدیقی، محمد غواصی و دکتر محمد شریف رنجبر که در انجام این تحقیق مساعدت و یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایند.

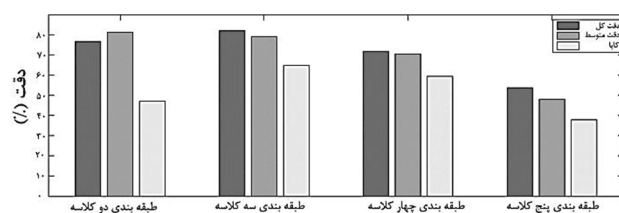
#### منابع

حیدری، ف.؛ سواری، ا.؛ دهقان، م. س.؛ نبوی، س.، ۱۳۸۹. بررسی تنوع و ترکیب گونه‌ای مرجان‌ها در زیستگاه‌های مصنوعی شمال خلیج فارس (بحرکان). مجله بیولوژی دریا، سال دوم، شماره ششم، صفحات ۳-۱۱.

Andréfouët, S.; Kramer, P., 2003. Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments. *Remote Sensing of Environment*, 88: 128-143.

Benfield, S.L.; Guzman, H.M.; Mair, J.M.; Young, J.T., 2007. Mapping the distribution of coral reefs and associated sublittoral habitats in Pacific Panama: a comparison of optical satellite sensors and

پایینی است. برای تعیین بهترین سطح طبقه‌بندی در این مسئله، با توجه به نمودار شکل ۶ می‌توان گفت که در طبقه‌بندی ۳ کلاسه به علت بیشتر بودن ضریب کاپا، بیش‌ترین سطح اطلاعات نسبت به حالت‌های ۲ کلاسه و ۴ کلاسه در اختیار قرار می‌گیرد. در حالت دو کلاسه علی‌رغم بالا بودن دقت طبقه‌بندی، به دلیل سهم بالایی از دقت که طبقه‌بندی تصادفی به خود اختصاص می‌دهد، ضریب کاپا مقدار پایینی را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن جمیع این شرایط می‌توان گفت که در این منطقه، تعداد ۳ و سپس ۴ کلاس بهترین و موجه‌ترین تعداد کلاس برای طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی است.



شکل ۶: نمودار معیارهای کلی دقت طبقه‌بندی برای تعداد کلاس‌های مختلف

#### ۴. نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که تصاویر متوسط مقیاس ماهواره لندست ۸ توانایی تفکیک ۲ تا ۴ کلاس را با دقت بالای ۷۰٪، روی صخره‌های مرجانی در جزایر قشم و لارک دارا می‌باشند. این مسئله در حالی است که منطقه مطالعاتی در این تحقیق، جزایر قشم و لارک انتخاب شدند که شفافیت آب در آن‌ها پایین است. انتظار بر این است که پیاده‌سازی چنین فرآیندی در سایر مناطق مرجانی خلیج فارس که از نظر کدورت آب در وضعیت مناسب‌تری قرار دارند، دقت بالاتری را حاصل نمایند.

در مورد تعداد کلاس‌های نگاشت شده، نشان داده شد که دقت طبقه‌بندی، علاوه بر تعداد کلاس‌ها، به میزان عدم مشابهت میان کلاس‌ها نیز بستگی دارد. به عبارت دیگر تعداد کلاس‌های بهینه باید قبل از انجام طبقه‌بندی با استفاده از اندازه‌گیری معیار مشابهت میان نمونه‌های برداشتی تعیین شود. در این تحقیق، تعداد ۳ کلاس به عنوان تعداد مناسب برای کلاس‌ها در منطقه مورد مطالعه تعیین شد. طبقه‌بندی در این سطح، دقت حدود ۶۵٪، فارغ از طبقه‌بندی تصادفی حاصل می‌نماید.



- near-infrared wavelengths. *Remote Sensing*, 1, 697-730.
- 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: 71-82.
- Ma, Z.; Redmond, R.L., 1995. Tau coefficients for accuracy assessment of classification of remote sensing data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61: 435-439.
- Mumby, P.; Green, E.; Edwards, A.; Clark, C., 1997. Coral reef habitat mapping: how much detail can remote sensing provide? *Marine Biology*, 130: 193-202.
- Mumby, P.J.; Edwards, A.J., 2002. Mapping marine environments with IKONOS imagery: enhanced spatial resolution can deliver greater thematic accuracy. *Remote sensing of environment*, 82: 248-257.
- Mumby, P.J.; Harborne, A.R., 1999. Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs. *Biological Conservation*, 88: 155-163.
- Riegl, B.M.; Purkis, S.J., 2012. Coral reefs of the Persian Gulf: adaptation to climatic extremes in the world's hottest sea. Springer. Berlin, Germany. 469P.
- Roelfsema, C.; Phinn, S., 2009. A manual for conducting georeferenced photo transects surveys to assess the benthos of coral reef and seagrass habitats.
- Storey, J.; Choate, M.; Lee, K., 2014. Landsat 8 operational land imager on-orbit geometric calibration and performance. *Remote Sensing*, 6: 11127-11152.
- classification methodologies. *International Journal of Remote Sensing*, 28: 5047-5070.
- Capolsini, P.; Andréfouët, S.; Rion, C.; Payri, C., 2003. A comparison of Landsat ETM+, SPOT HRV, Ikonos, ASTER, and airborne MASTER data for coral reef habitat mapping in South Pacific islands. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29: 187-200.
- De Leeuw, J.; Jia, H.; Yang, L.; Liu, X.; Schmidt, K.; Skidmore, A., 2006. Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods. *International Journal of Remote Sensing*, 27: 223-232.
- Fernández-Navarro, F.; Hervás-Martínez, C.; Antonio Gutiérrez, P., 2011. A dynamic over-sampling procedure based on sensitivity for multi-class problems. *Pattern Recognition*, 44: 1821-1833.
- Furey, T.S.; Cristianini, N.; Duffy, N.; Bednarski, D.W.; Schummer, M.; Haussler, D., 2000. Support vector machine classification and validation of cancer tissue samples using microarray expression data. *Bioinformatics*, 16: 906-914.
- Kabiri, K.; Pradhan, B.; Samimi-Namin, K.; Moradi, M., 2013. Detecting coral bleaching, using QuickBird multi-temporal data: a feasibility study at Kish Island, the Persian Gulf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 117: 273-281.
- Kavousi, J.; Seyfabadi, J.; Rezai, H.; Fenner, D., 2011. Coral reefs and communities of Qeshm Island, the Persian Gulf. *Zool Stud*, 50: 276-283.
- Kay, S.; Hedley, J.D.; Lavender, S., 2009. Sun glint correction of high and low spatial resolution images of aquatic scenes: A review of methods for visible and