



ارزیابی سه الگوریتم مختلف طبقه‌بندی جهت تهیه نقشه پوشش صخره‌های مرجانی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸

امیرمسعود چگونیان^{۱*}، مهدی مختارزاده^۲، محمدجواد ولدان زوج^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار، گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استاد، گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۰۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۳۱

چکیده

در پژوهش حاضر تأثیر الگوریتم‌های طبقه‌بندی بر دقت حاصل از طبقه‌بندی پوشش آبسنگ‌های مرجانی با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۳ میلادی، بررسی گردید. به این منظور به غیر از الگوریتم بیشترین احتمال که الگوریتم متداول در طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی می‌باشد، کارایی الگوریتم‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان نیز بررسی گردید. در این بررسی، علاوه بر داده‌های جزیره‌ای در ساحل شرقی استرالیا، تعمیم‌پذیری نتایج به آبسنگ‌های مرجانی جزایر قشم و لارک نیز مورد تحقیق واقع شد. برای این کار همزمان با اخذ تصاویر ماهواره‌ای، طی انجام عملیات غواصی، به تهیه داده‌های میدانی از آبسنگ‌های مرجانی جزایر قشم و لارک اقدام شد. نتایج الگوریتم‌های طبقه‌بندی، بسته به تعداد کلاس‌ها متغیر بود. به نحوی که در طبقه‌بندی ۲ کلاسه الگوریتم بیشترین احتمال عملکرد بهتری داشت ولی با افزایش تعداد کلاس‌ها، الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی برتری خود را بر الگوریتم بیشترین احتمال نشان دادند. به‌طور متوسط، این دو الگوریتم به ترتیب بهبود دقت متوسط در حدود ۷٪ و ۹٪ را نسبت به الگوریتم بیشترین احتمال نشان دادند. پیاده‌سازی روش تحقیق بر روی داده‌های منطقه‌ی قشم و لارک، تعمیم‌پذیری نتایج الگوریتم ماشین بردار پشتیبان را در این منطقه اثبات نمود. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با دقت کل ۶۸٪ بهبود دقت ۸٪ را نسبت به روش بیشترین احتمال در این منطقه نشان داد. الگوریتم شبکه عصبی با دقت کل ۵۸٪، ضعیف‌ترین عملکرد را نسبت به دو الگوریتم دیگر، در این منطقه نشان داد که به دلیل حساسیت بالای این روش به کاهش تعداد داده‌های آموزشی هست. به‌نظر می‌رسد علت عمدتاً در برتری روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش بیشترین احتمال، توانایی این الگوریتم در طبقه‌بندی پیکسل‌های مخلوط و با تعداد کم می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: آبسنگ‌های مرجانی، تصاویر ماهواره‌ای، الگوریتم‌های طبقه‌بندی، خلیج فارس.

*نویسنده مسئول: امیرمسعود چگونیان، آدرس پستی: تهران-خ ولیعصر- تقاطع میرداماد- دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی- دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، کد پستی: ۱۵۴۳۳-

تلفن: ۱۹۶۶۷، ۲۰۴۷۲۵۷-۹۱۳-۹۸+

۱- مقدمه

تفکیک مکانی متوسط (۳۰-۱۰۰ متر) و سه باند در محدوده‌ی مرئی مانند استر^۳، تی ام^۴، ای تی ام پلاس^۵ بسته به شرایط محیطی و میزان یکنواختی و هموزن بودن سطح، می‌توانند از ۳ تا ۶ کلاس اصلی را با دقت ۶۰٪-۷۵٪ جدا کنند [۳]. آندرفوت و همکاران روابطی خطی بین دقت کل^۶ و تعداد کلاس‌های نگاشت شده برای سنجنده‌ی ETM+ ارائه کردند. آن‌ها همچنین ثابت کردند که با افزایش توان تفکیک مکانی^۷ و طیفی^۸ تعداد کلاس‌های نگاشت شده بیشتر می‌شود [۷]. رولفسما و فین نشان دادند که داده‌های چند طیفی^۹ با توان تفکیک مکانی ۲۰-۳۰ متر حداکثر می‌توانند ۵-۶ کلاس را با دقت متوسط ۸۰٪ از هم جدا کنند درحالی‌که همین داده‌ها با توان تفکیک مکانی زیر ۵ متر می‌توانند ۱۰-۱۲ کلاس را با همین دقت طبقه‌بندی کنند [۸]. در تمام موارد ذکرشده با فرض نرمال بودن توزیع برای کلاس‌ها، از طبقه‌بندی کننده‌های آماری مخصوصاً طبقه‌بندی کننده بیشترین احتمال^{۱۰} (ML) استفاده شده است. این در حالی است که این فرض در مورد پیکسل‌های ۲۰-۳۰ متری با غیریکنواختی زیاد در سطح، ممکن است دچار تزلزل شود. شرایط گاهی در این پیکسل‌های ۳۰ متری آنچنان بغرنج می‌شود که در میان داده‌های آموزشی هیچ پیکسل خالصی از یک کلاس یافت نمی‌شود. به این شرایط خاص باید دشواری تهیه‌ی داده‌ی آموزشی در این مناطق و به تبع آن کاهش تعداد داده‌های آموزشی را در این شرایط اضافه کرد که از مشکلات اصلی در پروسه‌ی طبقه‌بندی پوشش صخره‌ای مرجانی می‌باشد [۹]. در استفاده از

آب‌سنگ‌های مرجانی^۱ که به ظاهر شبیه صخره‌هایی بی‌جان می‌باشند، در واقع جوامع زنده‌ای هستند که تنوع بالای موجودات ساکن آن‌ها را در کمتر اکوسیستمی می‌توان شاهد بود. از منظر تنوع زیستی، جزایر و صخره‌های مرجانی در اقیانوس‌ها مانند جنگل‌های استوایی متنوع‌ترین اکوسیستم‌های جهان هستند [۱]. 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 اکوسیستم هستند. از این رو تراکم و پراکنش مرجان‌ها باعث تغییر در جمعیت ماهی‌ها و دیگر موجودات می‌شود، که این مسئله اهمیت اطلاع از پراکنش و وضعیت آب‌سنگ‌های مرجانی را دو چندان می‌کند [۱]. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی استفاده از فناوری سنجنش از دور به‌عنوان یک مکمل برای فعالیت‌های میدانی بر روی اکوسیستم‌های آبی مخصوصاً مرجان‌ها انجام گرفته است. فناوری سنجنش از دور به چهار صورت در این حوزه وارد شده است که عبارت‌اند از: سنجنش از دور اپتیکی، سنجنش از دور حرارتی و راداری، استفاده از فناوری لیدار و استفاده از امواج صوتی [۲]. در این مقاله از میان فناوری‌های ذکرشده فقط سنجنش از دور اپتیکی و از میان کاربردهای موجود فقط طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی مورد بررسی قرار گرفته است.

در مورد روش‌های طبقه‌بندی گونه‌های^۲ موجود بر روی صخره‌های مرجانی با استفاده از سنجنش از دور اپتیکی تاکنون تحقیقات زیادی انجام گرفته است [۳، ۴، ۵ و ۶]. این پژوهش‌ها نشان دادند که سنجنده‌های با توان

³ ASTER⁴ TM⁵ ETM+⁶ Overall accuracy⁷ Spatial resolution⁸ Spectral resolution⁹ Multi spectral¹⁰ Maximum likelihood¹ Coral reef^۲ در این مقاله، هرگاه از واژه‌ی گونه استفاده می‌شود نه به‌معنی زیستی آن، بلکه به معنی کلاس‌های موجود در طبقه‌بندی مثل ماسه، مرجان و ... می‌باشد.

ارزیابی سه الگوریتم - مختلف طبقه بندی جهت تهیه نقشه...
امیرمسعود چگونیان، مهدی مختارزاده، محمدجواد ولدان زوج

تلفیق دو طبقه بندی کننده SVM برای طبقه بندی پوشش سطح صخره های مرجانی استفاده کرد [۱۱] ولی با توجه به عدم استفاده از داده های میدانی برای ارزیابی نتایج و همچنین عدم مقایسه نتایج با سایر روش ها تحقیق ایشان نمی تواند چندان مورد استناد باشد.

همان طور که بیان گردید، در اکثر قریب به اتفاق تحقیقات پیرامون طبقه بندی پوشش صخره های مرجانی، از طبقه بندی کننده ی بیشترین احتمال استفاده شده است و کمتر به نقش الگوریتم طبقه بندی بر دقت حاصل از تصویر ماهواره ای در این حوزه پرداخته شده است. با توجه به موارد ذکر شده، در این تحقیق با اعمال ۳ الگوریتم طبقه بندی بیشترین احتمال، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی^۳ (ANN)، بر روی تصویر متوسط مقیاس سنجنده ی لندست ۸، الگوریتم بهینه برای طبقه بندی تعیین شده است. برای این کار از داده های جزیره ی لیزارد^۴ در ساحل شرقی استرالیا که از تعداد و تنوع بالای گونه برخوردار است استفاده شده است. در پایان تعمیم پذیری نتایج حاصل بر روی جزایر قشم و لارک نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش ها

در ادامه به معرفی مناطق مورد مطالعه، داده های استفاده شده و روش تحقیق پرداخته می شود.

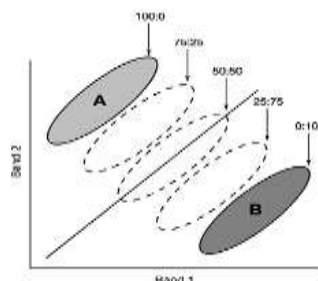
۲-۱- منطقه ی مورد مطالعه

در دو زیر بخش آتی، مناطق مورد مطالعه معرفی می شوند.

۲-۱-۱- منطقه مطالعاتی ۱: جزیره لیزارد

مجموعه جزایر لیزارد واقع در مختصات ۴۰' ۱۴۰° جنوبی و ۳۰' ۱۴۵° شرقی در شرق قاره استرالیا و

الگوریتم بیشترین احتمال علاوه بر لزوم نرمال بودن داده ها، شروط دیگری مانند عدم وابستگی ویژگی ها، خالص بودن و با کیفیت بودن داده های آموزشی و تعداد کافی داده های آموزشی برای هر کلاس لازم است، شروطی که گاه هیچ کدام در مسئله ی طبقه بندی پوشش صخره های مرجانی برقرار نیست. از طرف دیگر همان طور که فودی و همکاران ثابت کرده اند برای طبقه بندی پیکسل های مخلوط که از تعداد و کیفیت چندان مطلوبی نیز برخوردار نیستند، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان^۱ (SVM) نتایج مناسبی ارائه می دهد [۱۰]. ایشان این مسئله را این گونه توجیه کرده اند که به دلیل این که SVM برای تعریف ابر صفحه ی جداکننده فقط به تعداد کمی داده ی آموزشی تحت عنوان بردارهای پشتیبان^۲ نیاز دارد و این ابر صفحه دقیقاً در محل بین کلاس ها در فضای طیفی یعنی درست همان محلی که پیکسل های مخلوط قرار دارند، قرار می گیرد پس می تواند به خوبی شرایط موجود در چنین مسئله ای را کنترل کند. این مسئله در شکل (۱) به وضوح مشخص است.



شکل ۱: نحوه ی قرارگیری نمونه های خالص، مخلوط و

صفحه ی جداکننده در فضای طیفی [۱۰]

با توجه به این شرایط در سال های اخیر پژوهش های پراکنده ای برای بررسی سایر طبقه بندی کننده ها به منظور طبقه بندی پوشش سطح صخره های مرجانی صورت گرفته است. از آن جمله می توان به تحقیق انجام شده توسط هنریک و همکاران اشاره کرد که از

³ Neural Network

⁴ Lizard

¹ Support vector machines

² Support vectors

آب بهتری نسبت به منطقه‌ی اول برخوردار بود. در شکل (۳) منطقه‌ی مورد مطالعه در خلیج فارس مشخص شده است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این بخش داده‌های مختلف استفاده شده شامل تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های پوشش بستر دریا و داده‌های عمق معرفی می‌شود.

۲-۲-۱- تصاویر ماهواره‌ای

برای دو منطقه‌ی مورد مطالعه، ۲ تصویر لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۳ میلادی از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده [۱۴] دانلود شد. ابعاد تصاویر اخذ شده برابر با ۱۸۰ کیلومتر در جهت حرکت ماهواره^۴ و ۱۸۵ کیلومتر در جهت عمود بر حرکت ماهواره^۵ می‌باشد. تصاویر زمین مرجع و تصحیح توپوگرافی^۶ شده‌اند. تصویر سایت لیزارد با شماره مسیر ۹۶ و شماره ردیف ۷۰ در تاریخ ۲ جولای ۲۰۱۳ از منطقه گرفته شده است. به این دلیل که منطقه‌ی مورد نظر جزء مناطق ساحلی حفاظت شده می‌باشد، وضعیت ریف‌های آن در طول زمان چندان دچار تغییر نشده است و این مسئله امکان استفاده از داده‌های زمینی با فاصله‌ی زمانی ۱ تا ۲ سال را فراهم می‌کند. حال آنکه در مواردی در کارهای معتبر در این حوزه، فاصله‌ی زمانی میان جمع‌آوری داده‌ی زمینی و اخذ تصاویر به ۶ سال هم رسیده است [۷]. از سایت قشم و لارک تصویر سنجنده‌ی لندست ۸ با شماره مسیر ۱۶۰ و شماره ردیف ۴۱ در تاریخ ۶ اکتبر ۲۰۱۳ و با اختلاف حدود ۱ ماه با زمان برداشت زمینی، تهیه گردید. با توجه به اینکه مناطق مورد مطالعه بخش کمی از تصاویر مذکور را به خود اختصاص داده است، زیر تصویری^۷ با ابعاد ۱۶۸*۲۳۱ پیکسل برای سایت

در اقیانوس آرام قرار دارد. این مجموعه جزایر از ۳ جزیره تشکیل شده است که ارتفاع میانگین آن‌ها از سطح دریا ۳۹۵ متر می‌باشد. بخش اعظم ریف‌های این منطقه از نوع ریف‌های حاشیه‌ای^۱ می‌باشند و به صورت یک مثلث در بین ۳ جزیره‌ی مذکور گسترش یافته‌اند و با احاطه کردن یک تالاب^۲ با عمق آب حدود ۱۰ متر، مساحتی در حدود ۲ کیلومترمربع را شامل می‌شوند. مابقی ریف‌ها در حاشیه‌ی جزایر با عرض کم گسترش یافته‌اند [۱۲]. شکل (۲) موقعیت سایت لیزارد را نشان می‌دهد.

۲-۱-۲- منطقه مطالعاتی ۲: جزایر قشم و لارک

با بررسی‌های انجام‌شده و در نظر گرفتن امکانات و دسترسی‌های موجود، سایت قشم و لارک که هم از نظر وضعیت مرجانی دارای پوشش غنی می‌باشد و هم دسترسی مناسبی دارد به‌عنوان سایت دوم، انتخاب گردید. جزیره‌ی قشم در نزدیکی تنگه‌ی هرمز و بزرگ‌ترین جزیره‌ی خلیج فارس می‌باشد. این جزیره که در مختصات ۲۶° ۴۵' شمالی و ۵۵° ۴۹' شرقی قرار دارد چندین ریف مرجانی در ساحل خود دارد. 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 [۱۳]. از دو منطقه‌ی مذکور، منطقه‌ای که در قسمت جنوب شرقی جزیره قرار دارد و دارای ریف‌های حاشیه‌ای در امتداد خط ساحلی جزیره و کلونی‌های مرجانی تکه‌تکه^۳ به صورت پراکنده می‌باشد، برای نمونه‌برداری و مطالعه انتخاب گردید. علاوه بر این منطقه، به پیشنهاد کارشناسان خبره و آشنا با وضعیت منطقه، سایت دیگری نیز در نزدیکی جزیره‌ی لارک برای نمونه‌برداری انتخاب شد. این منطقه علاوه بر نزدیکی به منطقه اول از تنوع بالای گونه‌ها و وضعیت کدورت

⁴ Along track

⁵ Cross track

⁶ Topographic correction

⁷ Subset

¹ Fringing

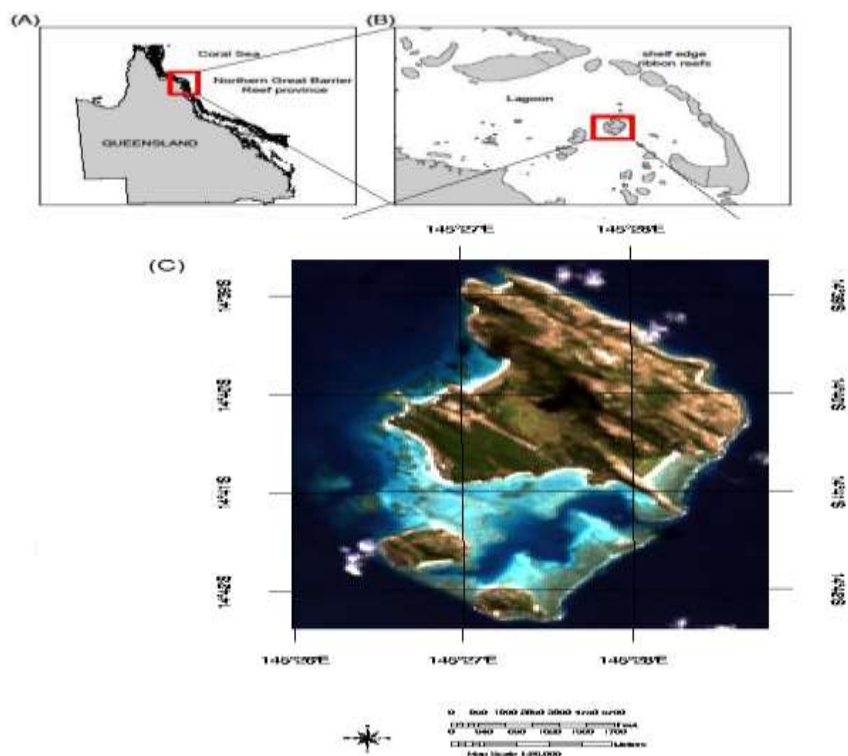
² Lagoon

³ Patch reef

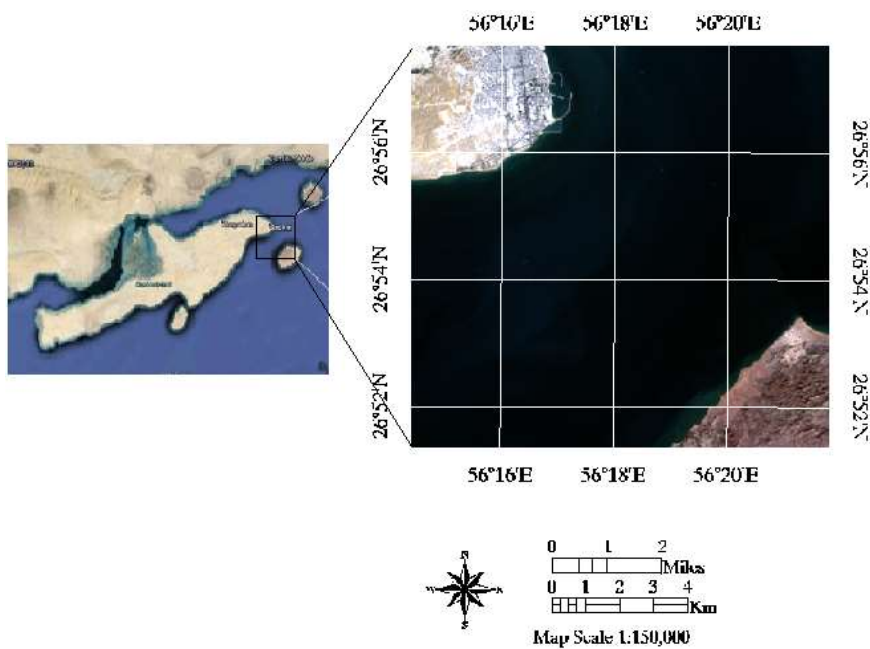
ارزیابی سه الگوریتم - مختلف طبقه بندی جهت تهیه نقشه...
 امیرمسعود چگونیان، مهدی مختارزاده، محمدجواد ولدان زوج

قسم و لارک را پوشش دهد، برای پردازش های بعدی
 انتخاب گردید.

لیزارد و زیر تصویری با ابعاد ۲۹۲*۳۶۳ برای سایت
 قسم و لارک که کل منطقه ی مورد مطالعه
 (۳۲ کیلومتر مربع در لیزارد و ۴۵ کیلومتر مربع در



شکل ۲: موقعیت سایت لیزارد



شکل ۳: موقعیت سایت مورد مطالعه در اطراف جزایر قسم و لارک

۲-۲-۲- داده‌های پوشش بستر دریا

داده‌های پوشش بستر دریا در سایت لیزارد مجموعه داده‌هایی است که در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ میلادی با استفاده از عکس‌برداری از پوشش بستر دریا در مناطق ساحلی جزیره لیزارد برداشت شده است [۱۵]. این نمونه‌برداری میدانی به صورت خطی و مطابق روش ارائه شده توسط رولفسما و فین انجام گرفته است [۱۶]. این مجموعه داده که حاصل تفسیر بصری ۷۰۰۰ عکس رقومی از پوشش بستر صخره‌های مرجانی است، به صورت آزاد از طریق اینترنت در دسترس می‌باشد [۱۴]. داده‌های پوشش بستر دریا در سایت قشم و لارک حاصل کار میدانی انجام شده در آبان ماه سال ۱۳۹۲ در مناطق مرجانی در ساحل جزایر قشم و لارک در خلیج فارس می‌باشد. این داده تشکیل شده از ۵۲۸ عکس رقومی است، که هر عکس در اصل یک نمونه از پوشش صخره‌های مرجانی می‌باشد. این نمونه‌برداری، دقیقاً مطابق با روش ارائه شده توسط رولفسما و فین در [۱۶] انجام گرفت.

۳-۲-۲- داده‌های عمق

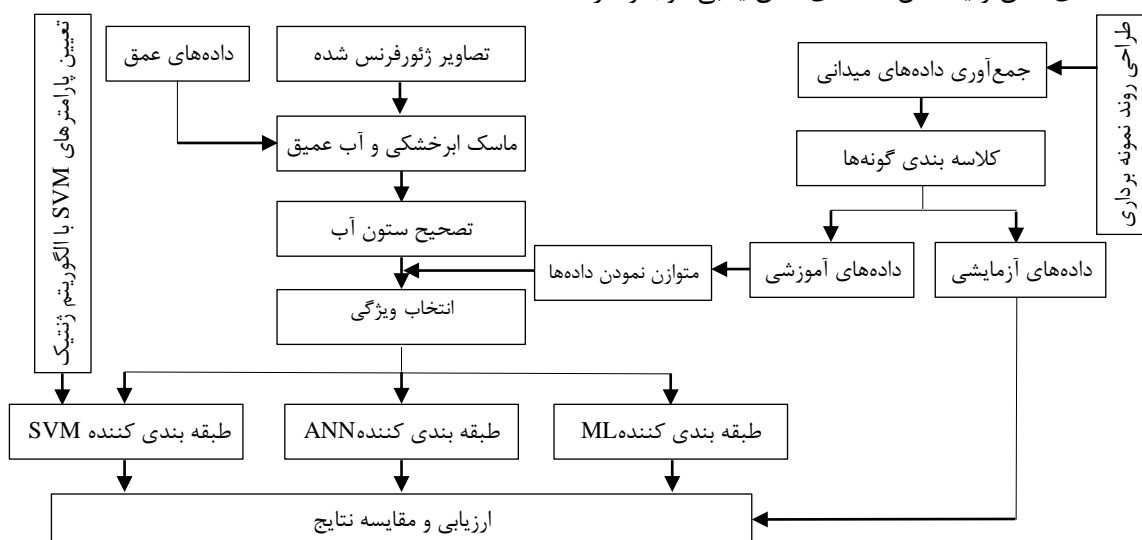
در طبقه‌بندی انجام شده در این تحقیق، نیاز به تعیین پیکسل‌های آب عمیق بود. این کار با استفاده از نقشه‌ی عمق و یا همان داده‌های عمق یابی موجود از

دو منطقه انجام شد. برای منطقه‌ی لیزارد از داده‌های عمق که توسط لئون تهیه شده است [۱۷] و به صورت آزاد از طریق اینترنت [۱۸] در دسترس قرار گرفته است، استفاده شد. این داده‌های عمق که حاصل تلفیق چندین روش عمق‌یابی می‌باشد در فرمت .txt ارائه شده است و فاصله‌ی نقاط نمونه‌برداری در آن ۲۰ متر می‌باشد. میانگین عمق در این منطقه ۱۶ متر و بیشترین عمق ۴۰ متر می‌باشد.

برای منطقه‌ی قشم و لارک، داده‌های عمق از سازمان نقشه‌برداری تهیه گردید. این داده‌ها از دو چارت دریایی با مجموعاً ۲۷۶۷ نقطه برداشتی تشکیل شده‌اند که فاصله‌ی نقاط نمونه‌برداری در آن‌ها ۵۰ متر می‌باشد. با آنالیز داده‌های این دو چارت عمق‌یابی معلوم گردید که میانگین عمق در این منطقه ۲۵ متر و بیشترین عمق ۷۰ متر می‌باشد.

۳-۲-۳- روش تحقیق

در شکل (۴) روند انجام تحقیق آمده است. این روند در هر دو منطقه‌ی مطالعاتی پیاده شده است. در ادامه هر مرحله به تفکیک شرح داده شده است.



شکل ۴: فلوچارت روش تحقیق

گونه در هر عکس و سپس در منطقه‌ی نمونه‌برداری مشخص می‌شود. این روش نمونه‌برداری مستلزم تعیین همزمان موقعیت غواص حین عکس‌برداری برای اطلاع از مکان هر تصویر می‌باشد. این کار با استفاده از گیرنده جی پی اس (GPS^۲) دستی انجام گرفت. به این صورت که با همزمان کردن ساعت دوربین و ساعت گیرنده GPS در حد ثانیه، و قرار دادن گیرنده GPS در یک کیسه‌ی ضد آب بر روی سطح آب و متصل کردن آن با یک نوار به غواص (به گونه‌ای که حتی المقدور گیرنده GPS در بالای سر غواص و دوربین در حین عکس‌برداری قرار گیرد)، این تعیین موقعیت انجام شد. شکل‌های (۵ و ۶) مراحل از روند برداشت میدانی داده‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۵: کیسه‌ی ضد آب برای قرار دادن GPS دستی



شکل ۶: غواص در حین عکس‌برداری و حمل گیرنده GPS دستی

بدین ترتیب در هر موقعیت که عکس اخذ شود، می‌توان موقعیت آن را از گیرنده GPS استخراج کرد. در زمان نمونه‌برداری گیرنده GPS دستی در حالت ردیابی^۳ و با نرخ^۱ یک ثانیه قرار داده شد. در نهایت

۲-۳-۱- نمونه‌برداری و آماده‌سازی داده‌های میدانی

در تشریح روند نمونه‌برداری پیاده شده در این تحقیق، به روش پیاده شده در سایت قشم و لارک اکتفا می‌گردد. مشابه این روند در سایت لیزارد برای نمونه‌برداری توسط ساندرس و همکاران انجام شده است [۱۵].

پس از تعیین منطقه‌ی مورد مطالعه با نظر کارشناسان، تعدادی محدوده در داخل منطقه که تنوع گونه‌ها در آن‌ها مناسب بود، برای نمونه‌برداری تعیین شدند. با غواصی در داخل محدوده‌های مورد نظر، نمونه‌برداری به صورت خطی^۱ انجام گرفت. نوارهای نمونه‌برداری در قشم و لارک بنا به صلاحدید متخصصان، با توجه به نحوه‌ی گسترش ریف‌ها در منطقه به صورت موازی با ساحل انتخاب شدند در مورد نمونه‌برداری خطی ذکر این نکته ضروری است که با توجه به نحوه‌ی گسترش گونه‌های موجود بر روی صخره‌های مرجانی که عموماً به شکل پوسته پیازی می‌باشد، رایج‌ترین روش نمونه‌برداری، استفاده از نمونه‌برداری خطی به صورتی است که با عمود شدن به جهت گسترش کلاس‌ها، تمام کلاس‌های موجود را قطع کند. در سایت قشم و لارک با توجه به وسعت اندک مناطق مرجانی و محدودیت‌های عملیاتی موجود دو نوار نمونه‌برداری کافی دانسته شد. نوار اول در ساحل قشم با طول حدود یک کیلومتر و نوار دوم در ساحل لارک با طول حدود ۸۰۰ متر و فاصله میان دو نوار حدود ۹ کیلومتر در نظر گرفته شد. در روش‌های سنتی برداشت با پهن کردن نوار در بستر، غواص اقدام به ثبت دستی گونه‌های قرارگرفته در امتداد نوار می‌نمود، در این روش غواص با غواصی در امتداد نوار به عکس‌برداری از پوشش بستر در فواصل زمانی معین پرداخت. در مرحله‌ی بعد، با تفسیر عکس‌ها، درصد پوشش هر

^۲ Global Positioning System

^۳ Tracking

^۱ Transect

لیزارد و ۶ کلاس ماسه، مرجان سخت، صخره، جلبک، مرجان نرم و خرده سنگ و مرجان مرده برای سایت قشم و لارک، به عنوان کلاس‌های اصلی انتخاب شدند. با مشخص کردن مکان هر عکس در پیکسل‌های تصویری، از درصد کلاس‌های موجود در عکس‌های قرار گرفته در هر پیکسل میانگین‌گیری شد تا با یک تقریب، درصد پوشش کلاس‌ها در هر پیکسل به دست آید. در عین حال با تعیین حد آستانه‌ی ۶، پیکسل‌هایی که تعداد عکس‌های (نمونه‌های) قرار گرفته در آن‌ها از این تعداد کمتر بود، حذف گردیدند.

در طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی با تصاویر متوسط مقیاس، به علت فقدان یا کمبود پیکسل‌های تصویری خالص که فقط شامل یک گونه باشند، از کلاس‌هایی که خود ترکیبی از کلاس‌های اصلی پوشش صخره‌های مرجانی هستند، استفاده شد. برای این منظور مطابق روش ارائه شده توسط مومبی و هاربرون در [۱۹]، با اندازه‌گیری میزان عدم مشابهت میان تمام نمونه‌های موجود با محاسبه‌ی معیار بری-کورتیس^۲ [۲۰] و رسم نمودار درختی برای نمونه‌های دو منطقه (شکل‌های ۹ و ۱۰) و قطع آن در حد آستانه‌ی ۰/۵، ۴ کلاس مطابق جدول (۱ و ۲)، برای دو منطقه حاصل گردید (در واقع به این دلیل که در هر دو منطقه تعداد گونه‌های غالب موجود ۴ گونه می‌باشد، حد آستانه به گونه‌ای انتخاب شد که ۴ کلاس با محوریت گونه‌ی غالب در هر یک ایجاد شود).

تعداد ۷۰۰۰ تصویر رقومی با موقعیت ثبت شده در سایت لیزارد و ۵۲۸ تصویر در سایت قشم و لارک، برداشت شد. شکل‌های (۷ و ۸)، عکس‌های گرفته شده و مسیرهای برداشتی را در مناطق لیزارد و قشم و لارک نشان می‌دهد که در محیط نرم‌افزار گوگل ارث نمایش داده شده است.



شکل ۷: مسیرهای نمونه‌برداری در سایت لیزارد [۱۵]



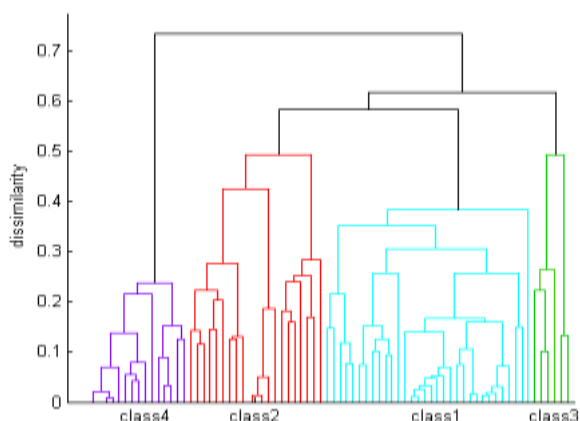
شکل ۸: عکس‌های اخذ شده در سایت قشم و لارک به همراه مسیر برداشتی

در مرحله بعد با تفسیر بصری تک‌تک عکس‌ها، درصد پوشش تمام گونه‌ها در عکس‌ها مشخص شد و در نهایت ۶ کلاس مرجان سخت، مرجان نرم، مرجان مرده، علف دریایی، جلبک و ماسه برای سایت

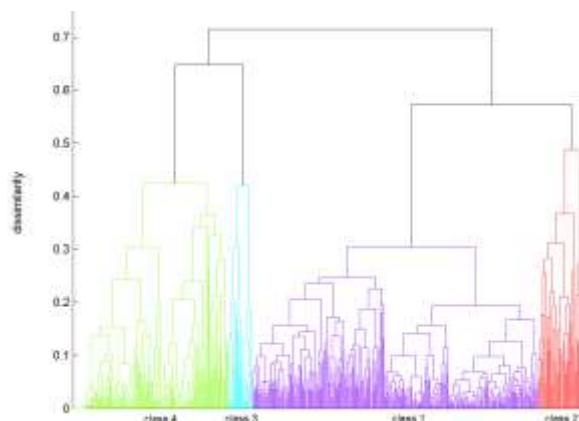
² Bray-Curtis

¹ Rate

ارزیابی سه الگوریتم - مختلف طبقه بندی جهت تهیه نقشه...
 امیرمسعود چگونیان، مهدی مختارزاده، محمدجواد ولدان زوج



شکل ۱۰: دندروگرام نمونه‌های برداشتی در منطقه قشم و لارک



شکل ۹: دندروگرام نمونه‌های برداشتی در منطقه لیزارد

۲-۳-۲- پیش پردازش تصاویر

در ابتدا باندهای مناسب که قدرت نفوذ در آب را دارند یعنی باندهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ (ساحلی^۱، آبی، سبز و قرمز) برای ورود به فرایند طبقه بندی انتخاب شدند. همچنین باند ۵ لندست ۸ (مادون قرمز نزدیک^۲) نیز به دلیل کارایی در پیش پردازشها انتخاب شد. به دلیل زمین مرجع بودن تصاویر لندست ۸ با خطای بیشینه حدود ۳۰ متر [۲۱ و ۲۲] و از طرفی دقت GPS دستی برای تعیین موقعیت نمونه‌ها که حدوداً ۱۰-۱۵ متر می‌باشد [۲۳]، از تصحیح هندسی^۳ صرف نظر شد. مشابه این کار در تحقیقات دیگر نیز صورت گرفته است [۴]. در ادامه با آستانه گذاری بر روی باند مادون قرمز نزدیک، اقدام به ماسک مناطق خشکی و ابر از تصاویر نمودیم برای ماسک پیکسل‌های آب عمیق از داده‌های عمق مربوط به هر منطقه استفاده کردیم. به این نحو که با درونیایی این داده‌ها در پیکسل‌های ۳۰*۳۰ متری، در لیزارد پیکسل‌های با عمق بیشتر از ۱۵ متر و در قشم و لارک به علت کدورت بالای آب، پیکسل‌های با عمق بیشتر از ۱۰ متر به عنوان

جدول ۱: کلاس‌های تعریف شده برای طبقه بندی در سایت

لیزارد

| کلاس / شماره گونه | مرجان سخت | مرجان نرم | مرجان مرده | علف دریایی | جلبک | ماسه |
|-------------------|-----------|-----------|------------|------------|------|------|
| ۱ | %۱۱ | %۷ | %۱ | %۱ | %۷۰ | %۱۰ |
| ۲ | %۳۱ | %۳۶ | %۳ | %۰ | %۲۴ | %۶ |
| ۳ | %۰ | %۰ | %۰ | %۶۳ | %۹ | %۲۸ |
| ۴ | %۲ | %۶ | %۱ | %۴ | %۱۸ | %۶۹ |

جدول ۲: کلاس‌های تعریفی برای طبقه بندی سایت قشم و

لارک

| کلاس / شماره گونه | مرجان سخت | ماسه | صخره | مرجان مرده | مرجان نرم | جلبک |
|-------------------|-----------|------|------|------------|-----------|------|
| ۱ | %۶۵ | %۱۶ | %۳ | %۱۵ | %۱ | %۰ |
| ۲ | %۱۷ | %۲۵ | %۴ | %۴۳ | %۱ | %۱۰ |
| ۳ | %۲۱ | %۱۲ | %۴۰ | %۱۰ | %۵ | %۱۲ |
| ۴ | %۷ | %۸۹ | %۰ | %۰ | %۰ | %۴ |

در نهایت تعداد ۵۰۴ پیکسل لندست برای سایت لیزارد انتخاب شد که از این میان تعداد ۲۵۲ پیکسل برای آموزش و مابقی برای ارزیابی استفاده شد. این تعداد در سایت قشم و لارک به ترتیب ۷۷ و ۳۸ پیکسل بود.

¹ Coastal

² Near infrared

³ Geometric correction

بیشترین تعداد داده‌ی آموزشی، برای سایر کلاس‌ها مطابق با توزیع داده‌های موجود در هر کلاس، داده‌ی آموزشی تولید می‌کند. این کار تا جایی ادامه می‌یابد که تعداد داده‌های آموزشی همه‌ی کلاس‌ها با تعداد داده‌ی آموزشی کلاس مبنا (کلاس با بیشترین تعداد داده) برابر گردد. اعمال فرایند بیش نمونه‌برداری به دلیل امکان تولید داده‌های غیرواقعی ممکن است نتایج را تحت تاثیر قرار دهد که برای به حداقل رساندن این تاثیر، دقت‌های به‌دست آمده با اجرای ۱۰ مرتبه فرایند طبقه‌بندی برای هر الگوریتم، ذکر گردیده‌اند. با انجام این فرایند، تعداد داده‌های آموزشی برای هر کلاس در منطقه‌ی لیزارد، ۱۲۷ پیکسل و در منطقه‌ی قشم و لارک ۱۶ پیکسل شد. در مجموع ۵۰۸ پیکسل برای لیزارد و ۶۴ پیکسل برای قشم و لارک، به‌عنوان داده‌های آموزشی وارد فرایند طبقه‌بندی گردید.

به دلیل وابستگی شدید شاخص‌ها به یکدیگر و تأثیری که این مسئله بر دقت طبقه‌بندی کننده‌ها مخصوصاً الگوریتم بیشترین احتمال دارد، انتخاب ویژگی^۶ با استفاده از روش انتخاب ویژگی اسکالر^۷ و با ارزیابی معیار فیشر^۸ [۲۷] انجام گرفت. پس از اعمال الگوریتم انتخاب ویژگی، چهار شاخص ۱ و ۲ و ۳ و ۶ که عرض از مبدأ نمودار نسبت لگاریتم طبیعی باندهای سبز- قرمز، آبی- قرمز، ساحلی- قرمز و ساحلی- آبی می‌باشند، به‌عنوان شاخص‌های بهینه در منطقه‌ی لیزارد و ۲ شاخص ۵ و ۶ که عرض از مبدأ نمودار نسبت لگاریتم طبیعی باندهای ساحلی- سبز و ساحلی- آبی می‌باشند، به‌عنوان شاخص‌های بهینه در منطقه‌ی قشم و لارک انتخاب شد.

پیکسل‌های آب عمیق ماسک شدند. باید گفت که منظور از آب عمیق، از منظر اپتیکی می‌باشد، یعنی در این مناطق موج رسیده به سنجنده، فاقد اطلاعات از بستر می‌باشد. به دلیل استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده در این تحقیق و عدم وجود ضرایب کالیبراسیون معتبر برای لندست ۸ تا زمان تدوین این نوشتار، از تصحیح رادیومتریکی^۱ تصاویر صرف‌نظر شد. با توجه به عدم مشاهده 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 نمی‌باشد [۲۴]، از انجام تصحیح درخشندگی^۲ نیز صرف‌نظر شد. تصحیح ستون آب^۳ به روش ارائه شده توسط لایزنگا [۲۵] انجام گرفت. در این تصحیح باید ابتدا یک منطقه که پوشش بستر آن از یک کلاس مثلاً ماسه است، به الگوریتم معرفی شود. شناسایی چنین منطقه‌ای با استفاده از عکس‌های برداشت شده از پوشش بستر و تشخیص یک منطقه شامل ۱۹ پیکسل با پوشش غالب ماسه در لیزارد و ۱۶ پیکسل با پوشش غالب ماسه در قشم و لارک، انجام شد. مقادیر شاخص مستقل از عمق که به تعداد ترکیب‌های دوتایی از تعداد باندها یعنی ۶ عدد می‌باشد، جایگزین مقادیر ۴ باند اصلی در ادامه‌ی تحقیق شد.

۲-۳-۳- پیاده‌سازی الگوریتم‌های طبقه‌بندی

در ابتدا به دلیل متوازن نبودن تعداد داده‌های آموزشی^۴ مربوط به کلاس‌های مختلف و تأثیری که این مسئله بر دقت طبقه‌بندی کننده‌هایی نظیر ANN و SVM خواهد داشت، با استفاده از روش بیش نمونه‌برداری^۵ [۲۶] تعداد داده‌های آموزشی ضمن افزایش، متوازن گردید. این روش با مبنا قرار دادن کلاس با

^۱ Radiometric correction

^۲ Sun glint correction

^۳ Water column correction

^۴ Imbalanced data

^۵ Oversampling

^۶ Band selection

^۷ Scalar band selection

^۸ Fisher score

می باشد نیز محاسبه گردید. تمام دقت‌ها به صورت اعتبارسنجی متقابل با دو دسته داده‌ی آموزشی و ارزیابی، محاسبه شده‌اند. برای به حداقل رساندن تاثیر فرایند بیش نمونه برداری و همچنین جلوگیری از قرارگرفتن در اکسترم‌های محلی، نتایج طبقه بندی با میانگین گیری بین ۱۰ بار تکرار هر الگوریتم، به دست آمدند. برای ارزیابی کامل تر میان الگوریتم‌های طبقه بندی مورد استفاده در این تحقیق، با تغییر در تعداد کلاس‌های حاصل از فرایند کلاسه بندی و تغییر در تعداد داده‌های آموزشی مورد استفاده، به مقایسه‌ی ۳ الگوریتم طبقه بندی پرداخته شد. تمامی مراحل تحقیق در محیط نرم افزار متلب برنامه نویسی و پیاده گردید.

۳- نتایج

در شکل (۱۱) تصویر طبقه بندی شده با ۳ الگوریتم پیشنهادی در حالت ۴ کلاسه در سایت لیزارد آمده است. در این شکل به جز قسمت‌های خشکی و آب عمیق که ماسک شده است، ۴ کلاس دیگر مطابق رنگ بندی، مشخص شده‌اند. این ۴ کلاس به صورت ترکیبی از گونه‌های مرجان، ماسه و ... هستند که درصد گونه‌های موجود در هر کلاس و گونه‌ی غالب هر کلاس، از جدول (۱) قابل مشاهده است.

در طبقه بندی کننده‌ی SVM که به صورت کرنل مبنای^۱ و با استفاده از تابع رادیال^۲ پیاده شد، برای تعیین پارامترهای C و γ از الگوریتم جستجو در شبکه^۳ استفاده شد. تابع هدف انتخاب شده برای بهینه سازی، بر اساس دقت کل به دست آمده از الگوریتم SVM، با آموزش و اعتبارسنجی بر روی داده‌های آموزشی به صورت اعتبارسنجی متقابل^۴ تعیین شد.

شبکه عصبی استفاده شده در این تحقیق، از ۱ لایه‌ی میانی با ۱۰ نرون تشکیل شده است. تابع فعال سازی، تابع سیگموئید انتخاب شد و برای آموزش شبکه از الگوریتم گرادیان توأم مدرج پس انتشار^۵ استفاده شد [۲۸]. اعتبارسنجی و بهینه سازی الگوریتم شبکه عصبی با معیار خطای میانگین مربعات^۶ و استفاده از ۴۰٪ از داده‌های آموزشی که از فرایند آموزش کنار گذاشته شده‌اند، انجام شد.

۲-۳-۴- روش ارزیابی نتایج

نتایج طبقه بندی با استفاده از تشکیل ماتریس ابهام بر روی داده‌های آزمایشی و بررسی پارامترهای حاصل از این ماتریس از جمله دقت کل، دقت تولیدکننده^۷ (PA) و دقت کاربر^۸ (UA) ارزیابی گردید. به دلیل عدم تناسب میان داده‌های آزمایشی موجود از کلاس‌های مختلف، پارامتر دقت کل به سمت کلاس با تعداد داده‌های بیشتر میل می کند و به همین دلیل پارامتر دقت متوسط^۹ که تأثیر کمتری از این مسئله دارد نیز محاسبه شد. همچنین ضریب کاپا^{۱۰} که بیانگر دقت طبقه بندی فارغ از تأثیر طبقه بندی تصادفی

¹ Kernel based

² Radial basis function

³ Grid search

⁴ Cross validation

⁵ Scaled conjugant gradient backpropagation

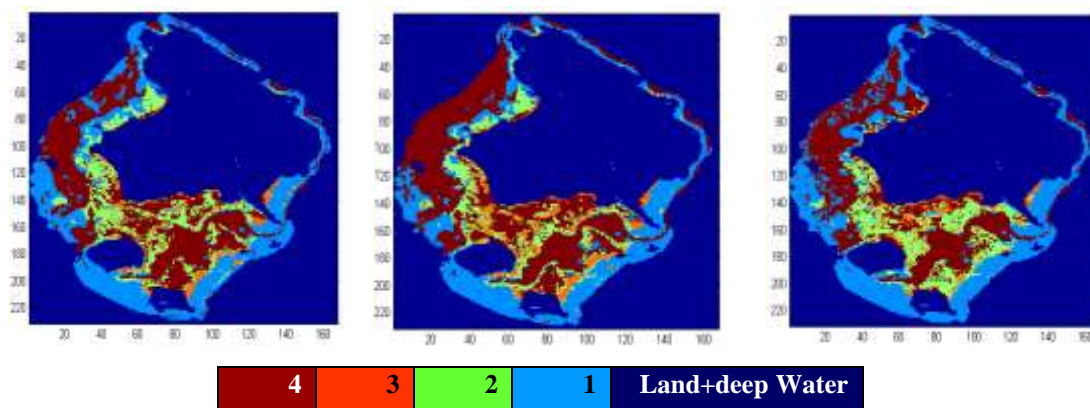
⁶ Mean square error

⁷ Producer accuracy

⁸ User accuracy

⁹ Average accuracy

¹⁰ Kappa coefficient



شکل ۱۱: تصویر طبقه‌بندی شده سایت لیزارد: از راست به چپ الف) ML (ب) SVM (پ) ANN

مشاهده می‌شود. جدول (۳) نتایج طبقه‌بندی با ۳ الگوریتم را بر روی ۴ کلاس معرفی شده در جدول (۱)، در سایت لیزارد نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، نتایج طبقه‌بندی بیشترین احتمال دارای بیشترین نویز هستند. کمترین نویز در نتایج الگوریتم SVM

جدول ۳: ماتریس ابهام حاصل از ۱۰ تکرار برای ۳ الگوریتم در سایت لیزارد

| الگوریتم | ML | | | | | SVM | | | | | ANN | | | | |
|----------------|----|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|----|-------|-------|-------------------|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | دقت کاربر | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | دقت کاربر | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | دقت کاربر |
| کلاس ۱ | ۸۹ | ۲۰ | ۷ | ۱۱ | ۷۰/۰۸ | ۹۱ | ۲۰ | ۱۰ | ۶ | ۷۱/۶۵ | ۱۰۷ | ۷ | ۶ | ۷ | ۸۴/۲۵ |
| کلاس ۲ | ۴ | ۷ | ۱ | ۷ | ۳۶/۸۴ | ۳ | ۸ | ۴ | ۴ | ۴۲/۱۱ | ۴ | ۷ | ۳ | ۵ | ۳۶/۸۴ |
| کلاس ۳ | ۲ | ۱ | ۸ | ۰ | ۷۲/۷۳ | ۰ | ۳ | ۸ | ۰ | ۷۲/۷۳ | ۱ | ۴ | ۶ | ۰ | ۵۴/۵۵ |
| کلاس ۴ | ۵ | ۹ | ۱۳ | ۴۱ | ۶۰/۲۹ | ۱ | ۷ | ۱۲ | ۴۸ | ۷۰/۵۹ | ۴ | ۷ | ۸ | ۴۹ | ۷۲/۰۶ |
| دقت تولیدکننده | ۸۹ | ۱۸/۹۲ | ۲۷/۵۹ | ۶۹/۴۹ | | ۹۵/۷۹ | ۲۱/۰۵ | ۲۳/۵۳ | ۸۲/۷۶ | | ۹۲/۲۴ | ۲۸ | ۲۶/۰۹ | ۸۰/۳۳ | |
| | | | | | ضریب کاپا = ۴۸/۷۸ | | | | | ضریب کاپا = ۵۰/۰۲ | | | | | ضریب کاپا = ۵۵/۵۳ |
| | | | | | دقت متوسط = ۶۱/۶۸ | | | | | دقت متوسط = ۶۲/۹۱ | | | | | دقت متوسط = ۶۴/۵۳ |
| | | | | | دقت کل = ۶۶/۵۸ | | | | | دقت کل = ۶۶/۸۲ | | | | | دقت کل = ۷۱/۷ |

یافته‌اند. در واقع کلاس ۳ بیشتر از مقدار واقع^۱ برآورد شده‌است. این مسئله از توجه به تفاوت مقادیر دقت کاربر و دقت تولیدکننده برای این کلاس نیز مشخص می‌شود. همچنین هر ۳ الگوریتم برآورد خوبی از کلاس ۲ نداشته‌اند و این کلاس در هر سه روش با دقت زیر ۵۰٪ طبقه‌بندی شده است. در مقایسه‌ی ۳ الگوریتم با استفاده از معیارهای کلی دقت باید گفت که بهترین عملکرد را در هر ۳ معیار دقت کلی، دقت

همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، هر سه روش طبقه‌بندی عملکرد یکسانی در مورد کلاس‌های با بیشترین و کمترین دقت داشته‌اند به نحوی که همگی کلاس‌های ۱ و ۲ را با دقت حدود ۷۵٪ طبقه‌بندی کرده‌اند. همچنین هر ۳ روش کلاس ۳ را با دقت نسبتاً مناسبی برآورد نموده‌اند. هر چند که با بررسی ماتریس ابهام طبقه‌بندی مشخص شد که تعدادی از پیکسل‌های کلاس‌های ۱ و ۴ به کلاس ۳ تعلق

^۱ Overestimate

مناسب برای طبقه بندی تصاویر متوسط مقیاس را نشان می دهد.

برای بررسی تأثیر تعداد کلاس ها بر دقت هر کدام از روش های طبقه بندی، به مقایسه ی نتایج طبقه بندی با الگوریتم های پیشنهادی در حالت های ۲ کلاسه تا ۵ کلاسه با تعداد حداقل ۴ نمونه در هر پیکسل، در سایت لیزارد پرداختیم. جدول (۵) نتایج به دست آمده از طبقه بندی و درصد گونه های موجود در هر کلاس را نشان می دهد.

مطابق انتظار و با توجه به جدول (۵) به خوبی مشخص است که با افزایش تعداد کلاس ها دقت طبقه بندی کاهش یافته است. منتهی این کاهش دقت روند ثابتی نداشته است، به گونه ای که در حالت دو کلاسه به طور متوسط دقت سه روش طبقه بندی در حدود ۰.۸۰٪، در حالت ۳ کلاسه در حدود ۰.۷۵٪، در حالت ۴ کلاسه در حدود ۰.۷۰٪ و در حالت ۵ کلاسه در حدود ۰.۶۰٪ برآورد شد که کاهش با شیب بیشتر را در حالت گذر از طبقه بندی ۴ کلاسه به ۵ کلاسه نشان می دهد. از طرف دیگر اگر بخواهیم روند کاهش دقت با افزایش تعداد کلاس ها را در الگوریتم های مختلف مقایسه کنیم، خواهیم دید که الگوریتم بیشترین احتمال بیشترین کاهش دقت و الگوریتم SVM کمترین کاهش دقت را با افزایش تعداد کلاس ها نشان می دهند. به گونه ای که علیرغم برتری حدود ۰.۴٪ نتایج این الگوریتم نسبت به دو الگوریتم دیگر در حالت دو کلاسه، در سایر حالت ها این الگوریتم دقت به مراتب پایین تری را نشان می دهد. در طرف دیگر الگوریتم SVM پایدارترین نتایج با تغییر تعداد کلاس ها و الگوریتم ANN بهترین نتایج را نشان می دهد.

متوسط و ضریب کاپا، الگوریتم شبکه عصبی داشته است. این الگوریتم افزایش حدود ۰.۵٪ دقت کل را نسبت به الگوریتم بیشترین احتمال نشان می دهد. این در حالی است که الگوریتم SVM بهبود حدود ۰.۱٪ را در دقت متوسط نسبت به الگوریتم ML نشان می دهد. در عین حال نتیجه ی طبقه بندی هر سه روش با دقت کل حدود ۰.۷۰٪ و ضریب کاپای حدود ۰.۵۰٪ نشان دهنده ی محتوای اطلاعاتی نسبتاً مناسبی است که طبقه بندی تصاویر متوسط مقیاس در سطح کم جزئیات^۱ در اختیار قرار می دهد. در ادامه به ارزیابی نتایج طبقه بندی در منطقه ی قشم و لارک پرداخته شد. جدول (۴) نتایج طبقه بندی با ۳ الگوریتم را بر روی ۴ کلاس معرفی شده در جدول (۲)، در سایت قشم و لارک نشان می دهد.

همان طور که در جدول (۴) مشاهده می شود، در سایت قشم و لارک الگوریتم های طبقه بندی ML و SVM عملکرد یکسانی در مورد کلاس های با بیشترین و کمترین دقت داشته اند به نحوی که هر دو کلاس های ۱ و ۲ را با دقت حدود ۰.۷۵٪ طبقه بندی کرده اند. همچنین هر دو روش کلاس های ۳ و ۴ را با دقت تقریباً پایینی (۰.۵۰٪-۰.۶۰٪) برآورد نموده اند. در این میان الگوریتم ANN برای تمام کلاس ها نتایج تقریباً مشابه و با دقت ۰.۵۰٪-۰.۶۰٪ حاصل کرده است. در مقایسه ی ۳ الگوریتم با استفاده از معیارهای کلی دقت باید گفت که بهترین عملکرد را در هر ۳ معیار دقت کلی، دقت متوسط و ضریب کاپا در سایت قشم و لارک، الگوریتم SVM داشته است. این الگوریتم افزایش حدود ۰.۷-۰.۸٪ در دقت متوسط را نسبت به روش های ML و ANN نشان می دهد. در سایت قشم و لارک تنها نتایج طبقه بندی با الگوریتم SVM با دقت کل حدود ۰.۷۰٪ و ضریب کاپای حدود ۰.۵۵٪، محتوای اطلاعاتی نسبتاً

^۱ Coarse detail

جدول ۴: ماتریس ابهام حاصل از ۱۰ تکرار برای ۳ الگوریتم در سایت قشم و لارک

| الگوریتم | ML | | | | | SVM | | | | | ANN | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| | کلاس ۱ | کلاس ۲ | کلاس ۳ | کلاس ۴ | دقت کاربر | کلاس ۱ | کلاس ۲ | کلاس ۳ | کلاس ۴ | دقت کاربر | کلاس ۱ | کلاس ۲ | کلاس ۳ | کلاس ۴ | دقت کاربر |
| ۱ | ۱۲ | ۲ | ۰ | ۲ | ۷۵ | ۱۲ | ۲ | ۰ | ۲ | ۷۵ | ۹ | ۲ | ۱ | ۴ | ۵۶/۲۵ |
| ۲ | ۰ | ۷ | ۱ | ۲ | ۷۰ | ۱ | ۸ | ۱ | ۰ | ۸۰ | ۲ | ۶ | ۲ | ۰ | ۶۰ |
| ۳ | ۰ | ۰ | ۱ | ۲ | ۳۳/۳۳ | ۰ | ۱ | ۲ | ۰ | ۶۶/۶۷ | ۰ | ۱ | ۲ | ۰ | ۶۶/۶۷ |
| ۴ | ۰ | ۴ | ۰ | ۵ | ۵۵/۵۶ | ۲ | ۲ | ۱ | ۴ | ۴۴/۴۴ | ۲ | ۲ | ۰ | ۵ | ۵۵/۵۶ |
| دقت تولیدکننده | ۱۰۰ | ۵۳/۸۵ | ۵۰ | ۴۵/۴۵ | | ۸۰ | ۶۱/۵۴ | ۵۰ | ۶۶/۶۷ | | ۶۹/۲۳ | ۵۴/۵۵ | ۴۰ | ۵۵/۵۶ | |
| ضریب کاپا = ۵۱/۴۳ | | | | | ضریب کاپا = ۵۴/۷۶ | | | | | ضریب کاپا = ۴۰/۹۷ | | | | | |
| دقت متوسط = ۵۸/۴۷ | | | | | دقت متوسط = ۶۶/۵۳ | | | | | دقت متوسط = ۵۹/۶۲ | | | | | |
| دقت کل = ۶۵/۷۹ | | | | | دقت کل = ۶۸/۴۲ | | | | | دقت کل = ۵۷/۸۹ | | | | | |

جدول ۵: نتایج طبقه‌بندی در حالت‌های ۲ تا ۵ کلاس در سایت لیزارد

| گونه/ شماره کلاس | مرجان سخت | مرجان نرم | مرجان مرده | علف دریایی | جلبک | ماسه | دقت متوسط | دقت کل | ضریب کاپا |
|------------------|-----------|-----------|------------|------------|------|------|-----------|--------|-----------|
| ۱ | ٪۱۳ | ٪۱۱ | ٪۱ | ٪۱ | ٪۶۲ | ٪۱۱ | ML ۸۴/۲۷ | ۸۲/۷۳ | ۶۲/۹ |
| ۲ | ٪۱ | ٪۲ | ٪۰ | ٪۱۳ | ٪۱۵ | ٪۶۹ | SVM ۷۹/۸۶ | ۷۹/۱۲ | ۵۴/۹۹ |
| ۳ | ٪۱۳ | ٪۱۱ | ٪۱ | ٪۱ | ٪۶۲ | ٪۱۱ | ANN ۸۱/۶۶ | ۷۹/۷۲ | ۵۶/۴۳ |
| ۱ | ٪۰ | ٪۰ | ٪۰ | ٪۶۳ | ٪۹ | ٪۲۸ | ML ۷۳/۸۷ | ۷۵/۱ | ۵۳/۴۱ |
| ۲ | ٪۱ | ٪۲ | ٪۰ | ٪۵ | ٪۱۶ | ٪۷۶ | SVM ۷۸/۴۶ | ۷۵/۵ | ۵۵/۲۵ |
| ۳ | ٪۱۳ | ٪۱۱ | ٪۱ | ٪۱ | ٪۶۲ | ٪۱۱ | ANN ۷۴/۶۹ | ۷۵/۵ | ۵۳/۸۷ |
| ۱ | ٪۱۱ | ٪۷ | ٪۱ | ٪۱ | ٪۷۰ | ٪۹ | ML ۶۴/۰۶ | ۶۹/۲۳ | ۵۰/۹ |
| ۲ | ٪۳۱ | ٪۳۶ | ٪۳ | ٪۰ | ٪۲۴ | ٪۶ | SVM ۷۰/۵۷ | ۷۴/۰۹ | ۵۹/۰۸ |
| ۳ | ٪۰ | ٪۰ | ٪۰ | ٪۶۳ | ٪۹ | ٪۲۸ | ANN ۷۳/۳۵ | ۷۵/۳ | ۶۰/۸۷ |
| ۴ | ٪۲ | ٪۶ | ٪۰ | ٪۴ | ٪۱۸ | ٪۶۸ | | | |
| ۱ | ٪۲۱ | ٪۴۶ | ٪۳ | ٪۰ | ٪۲۳ | ٪۷ | ML ۵۷/۷۷ | ۵۳/۸۵ | ۳۶/۶۲ |
| ۲ | ٪۵ | ٪۲۹ | ٪۱ | ٪۲ | ٪۲۵ | ٪۳۷ | SVM ۶۱/۳۸ | ۶۷/۲۱ | ۵۱/۴۳ |
| ۳ | ٪۱۱ | ٪۶ | ٪۱ | ٪۰ | ٪۷۰ | ٪۱۰ | ANN ۶۲/۱۳ | ۷۴/۴۹ | ۵۹/۷۷ |
| ۴ | ٪۰ | ٪۰ | ٪۰ | ٪۶۳ | ٪۹ | ٪۲۸ | | | |
| ۵ | ٪۲ | ٪۲ | ٪۰ | ٪۵ | ٪۱۶ | ٪۷۶ | | | |

ارزیابی سه الگوریتم - مختلف طبقه بندی جهت تهیه نقشه...
امیرمسعود چگونیان، مهدی مختارزاده، محمدجواد ولدان زوج

۴- بحث و تحلیل نتایج

سعی شده است که تعداد و نوع کلاس‌های شرکت کننده در طبقه بندی، الگوریتم طبقه بندی و الگوریتم‌های پیش پردازش به کار گرفته شده و تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده حتی المقدور مشابه باشند (تعداد کلاس‌ها=۴ و الگوریتم طبقه بندی بیشترین احتمال).

بحث و تحلیل نتایج این تحقیق در ۳ قسمت ارائه می شود. در قسمت اول به بررسی نتایج کلی طبقه بندی صرف نظر از الگوریتم‌های مختلف پرداختیم. برای بررسی هر چه بهتر این مسئله، نتایج تحقیقات مشابه به همراه نتایج این تحقیق در جدول (۶) آمده است. برای امکان پذیر شدن مقایسه میان نتایج

جدول ۶: مقایسه‌ی نتایج طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای در مناطق مختلف جهان با تحقیق حاضر

| مرجع | زمان برداشت داده‌ی زمینی | زمان اخذ تصویر | دقت کل | کلاس‌های طبقه بندی شده و دقت هر کلاس در روش بیشترین احتمال | سنجنده مورد استفاده | سایت مطالعاتی |
|------------|--------------------------|----------------|--------------|--|---------------------|--------------------------|
| [۶] | جولای و اوت ۱۹۹۵ | نوامبر ۱۹۹۰ | دقت کل = ۷۳٪ | مرجان ۸۶٪- ماسه ۸۳٪- جلبک ۴۷٪- علف دریایی ۵۹٪ | TM | دریای کارائیب |
| [۲۹] | ۱۹۹۰ | فوریه ۲۰۰۲ | دقت کل = ۶۳٪ | مرجان - جلبک - صخره - ماسه | ETM+ | جزیره شیراهو در ژاپن |
| [۴] | سپتامبر و آوریل ۲۰۰۱ | آوریل ۲۰۰۰ | دقت کل = ۷۷٪ | خرده سنگ و مرجان مرده ۷۲٪- ماسه ۹۳٪- جلبک ۸۱٪- مرجان ۱۰٪ | ETM+ | پلینزی فرانسه |
| [۳] | ۲۰۰۴-۲۰۰۳ | نوامبر ۲۰۰۰ | دقت کل = ۵۷٪ | صخره ۸۰٪- مرجان ۴۰٪- جلبک ۹۱٪- ماسه ۴۸٪- گل و رسوبات ۳۶٪ | ETM+ | خلیج پاناما |
| [۸] | ۲۰۱۲-۲۰۱۱ | اکتبر ۲۰۱۱ | دقت کل = ۸۴٪ | مرجان - جلبک - صخره - ماسه | Worldview-2 | جزیره لیزارد در استرالیا |
| تحقیق حاضر | ۲۰۱۲-۲۰۱۱ | جولای ۲۰۱۳ | دقت کل = ۶۷٪ | جلبک ۷۰٪- مرجان ۳۷٪- علف دریایی ۷۳٪- ماسه ۶۰٪ | OLI | جزیره لیزارد در استرالیا |
| تحقیق حاضر | نوامبر ۲۰۱۳ | دسامبر ۲۰۱۳ | دقت کل = ۶۶٪ | مرجان ۷۵٪- خرده سنگ و مرجان مرده ۷۰٪- صخره ۳۳٪- ماسه ۵۶٪ | OLI | خلیج فارس |

به بیشترین دقت کلاسی در طبقه بندی می‌رسند همان‌طور که بنفیلد بیان کرده است [۲۳]، کاملاً تابع شرایط محیطی و وضعیت آب می‌باشد، و در تحقیقات مختلف نیز کلاس‌های متفاوتی دقت بیشینه پیدا کرده‌اند. این مسئله در این تحقیق نیز اثبات شد به گونه‌ای که در سایت لیزارد کلاس جلبک با بالاترین

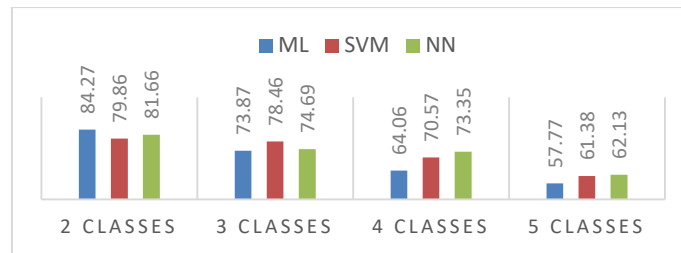
اگر در بررسی جدول (۶) از مواردی نظیر تفاوت سنجنده‌های OLI با TM و ETM+ و تفاوت‌های اندک در بعضی از کلاس‌های شرکت کننده در طبقه بندی صرف نظر کنیم، به خوبی متوجه موافقت و مطابقت روند کلی نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات مشابه در سایر نقاط جهان می‌شویم. این مسئله که کدام کلاس‌ها

با نگاهی به جدول (۵) و درصد گونه‌های هر کلاس در طبقه‌بندی ۵ کلاسه نمایان می‌شود. آنجا که کلاس‌های ۱ و ۲ هر کدام حداقل از ۳ گونه با درصد پوشش بالای ۲۰٪ تشکیل شده‌اند، که این مسئله باعث ایجاد سردرگمی طیفی برای این کلاس‌ها می‌شود.

در قسمت دوم به بررسی و تحلیل نتایج حاصل از مقایسه‌ی ۳ الگوریتم طبقه‌بندی پرداختیم. مطابق توضیحات ارائه‌شده در مقدمه‌ی تحقیق، انتظار می‌رفت که الگوریتم SVM در مسائلی مشابه مسئله‌ی مطرح در این تحقیق یعنی با تعداد داده‌های آموزشی کم تعداد و به صورت مخلوط نتایجی به مراتب بهتر از الگوریتم ML ارائه کند. این مسئله در جداول ۳ و ۴ به وضوح دیده شد، جایی که الگوریتم SVM به خصوص با افزایش تعداد کلاس‌ها، افزایش تا ۷٪، را در دقت متوسط طبقه‌بندی نسبت به الگوریتم ML نشان می‌دهد. درعین حال با مشاهده‌ی شکل (۱۱) که تصویر طبقه‌بندی شده را برای ۳ الگوریتم نشان می‌دهد، مشخص است که تصویر طبقه‌بندی شده با الگوریتم ML به مراتب نویزی‌تر از نتیجه‌ی به‌دست آمده با SVM و ANN می‌باشد. آنچه که در این تحقیق از ابتدا انتظار آن نمی‌رفت و نتایج نشان دهنده‌ی آن هستند، برتری الگوریتم شبکه عصبی نسبت به SVM در نتایج سایت لیزارد بود، که با توجه به تعداد داده‌های آموزشی مورد نیاز برای آموزش شبکه در این الگوریتم، غیرقابل پیش‌بینی بود. به گونه‌ای که الگوریتم ANN به‌طور متوسط افزایش ۲٪ دقت متوسط طبقه‌بندی را نسبت به الگوریتم SVM نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد علت این مسئله را باید در شرایط پیچیده‌ی موجود در این مسئله‌ی طبقه‌بندی و توانایی الگوریتم شبکه عصبی برای برخورد با چنین شرایطی جستجو نمود. شرایط پیچیده‌ای که بیشتر معلول شرایط محیطی مسئله از جمله تأثیر ستون آب، شباهت طیفی بالای کلاس‌ها، پیکسل‌های آمیخته و باندهای وابسته می‌باشد. برتری الگوریتم SVM نسبت به ANN در پایداری

دقت طبقه‌بندی شد (حدود ۸۰٪) در حالی که در سایت قشم و لارک کلاس مرجان با بالاترین دقت (حدود ۷۵٪) طبقه‌بندی شد. به نظر می‌رسد این مسئله به دلیل درصد بالای گونه‌ی غالب در این کلاس‌ها و آمیختگی اندک گونه‌های آن‌ها با سایر کلاس‌ها باشد. همچنین در تمام الگوریتم‌ها کلاس‌های علف دریایی و ماسه با دقت‌های نسبتاً خوبی (با در نظر گرفتن همزمان دقت کاربر و دقت تولیدکننده) طبقه‌بندی شدند (۶۰٪-۸۰٪). در ضمن دیده شد که کلاس مرجان در سایت لیزارد در همه‌ی روش‌ها با دقت زیر ۶۰٪ طبقه‌بندی شد که به دلیل عدم وجود گونه‌ی غالب با درصد بالا در این کلاس می‌باشد. گونه‌های مرجان نرم و سخت که به ترتیب ۳۶٪ و ۳۱٪ از پوشش این کلاس را در بر گرفته‌اند، از نظر ماهیتی و طیفی بسیار متفاوت می‌باشند و در اغلب تحقیقات نیز از یکدیگر مجزا می‌شوند. در نهایت با توجه به اختلاف در نوع گونه‌های طبقه‌بندی شده با دقت بیشینه در تحقیقات مختلف، می‌توان گفت که در این موارد بیش از اینکه وضعیت تفکیک‌پذیری گونه‌ها بر میزان دقت طبقه‌بندی آن‌ها تأثیر بگذارد، مسئله‌ی خلوص و درصد گونه‌ی غالب در فرایند کلاسه‌بندی گونه‌هاست که دقت طبقه‌بندی کلاس‌ها و گونه‌های غالب آن‌ها را کنترل می‌کند. تأثیر خلوص و بالا بودن درصد پوشش گونه‌ی غالب بر دقت طبقه‌بندی در جای دیگری نیز قابل مشاهده است. همان‌طور که در ذیل جدول (۵) توضیح داده شد، روند کاهش دقت از طبقه‌بندی ۲ کلاسه تا ۵ کلاسه، در گذر از حالت ۴ کلاسه به ۵ کلاسه تسریع شده و شیب کاهش دقت افزایش می‌یابد. علت این مسئله با توجه به نمودار درختی رسم شده برای نمونه‌ها در شکل (۹) به خوبی قابل درک است. با توجه به این شکل می‌توان گفت که برای رسیدن از ۴ کلاس به ۵ کلاس، باید حد آستانه‌ی عدم تشابه کلاس‌ها را از ۵۸ به ۴۸ کاهش دهیم و این مسئله یعنی افزایش شدید میزان مشابهت در میان کلاس‌ها. این افزایش میزان مشابهت

جدول (۵)، در طبقه بندی ۲ کلاس دقت حاصل از الگوریتم ML بیشتر از SVM و ANN است، این در حالی است که با افزایش کلاسها، این روند معکوس می شود. این مسئله در شکل (۱۲) به خوبی مشهود است.



شکل ۱۲: نتایج طبقه بندی در سایت لیزارد با تغییر در تعداد کلاسها

شبکه عصبی در این منطقه دقتی پایین تر از دو الگوریتم دیگر حاصل کرده است. این کاهش دقت به دلیل کاهش شدید تعداد داده های آموزشی در منطقه ی قشم و لارک نسبت به سایت لیزارد و حساسیت بالای روش شبکه عصبی نسبت به این مسئله است. در حالی که روش SVM به دلیل توانایی بالا در آموزش دیدن با داده های آموزشی کم تعداد، در این شرایط نیز قابلیت بالای خود را حفظ کرده است. نکته ی دیگر که در نتایج حاصله در این سایت مطالعاتی مشاهده گردید، پایداری بسیار بالای نتایج الگوریتم SVM نسبت به ANN بود، که در تعداد اجراهای بالا اثبات گردید. در نهایت به بررسی پاسخ این پرسش می پردازیم که آیا اصولاً استفاده از تصاویر ماهواره ای متوسط مقیاس برای طبقه بندی پوشش صخره های مرجانی در منطقه ی خلیج فارس توجیه پذیر می باشد یا خیر؟ برای پاسخ به این پرسش دیدگاه یکتایی وجود ندارد. یک دیدگاه سخت گیرانه در این خصوص این است که نقشه ی تولید شده باید هر کلاس را در سطح اطمینان ۹۵٪ طبقه بندی کند. اما دیدگاه دوم بیان می کند که حتی نقشه ای با دقت ۶۰٪ برای هر کلاس نیز بهتر از عدم وجود اطلاعات برای یک منطقه است [۶]. به نظر می رسد برای منطقه ای مانند

بالاتر نتایج آن است به شکلی که در اجراهای مختلف نتایج این روش در سطح بسیار پایین تری نسبت به نتایج ANN نوسان داشت.

برای مقایسه ی نتایج الگوریتم های طبقه بندی به یک حالت اکتفا نشد و عملکرد این روشها در طبقه بندی با تعداد کلاس های مختلف بررسی شد. مطابق توضیحات

این مسئله را دو عامل سبب می شود. عامل اول کاهش تعداد داده های آموزشی مربوط به هر کلاس با افزایش تعداد کلاسها می باشد، که برتری روش های SVM و ANN را بر روش ML در استفاده از داده های آموزشی کم تعداد اثبات می کند. عامل دوم، کاهش خلوص و افزایش آمیختگی کلاس های تعریفی با افزایش تعداد کلاسها می باشد. به نظر می رسد این کلاس های فاقد گونه ی غالب با درصد پوشش بالا، مهم ترین عامل کاهش دقت طبقه بندی باشند، در عین حال الگوریتم های SVM و ANN بسیار بهتر از روش ML این کلاسها را تفکیک می نمایند.

در قسمت سوم به بررسی نتایج پیاده سازی تحقیق در منطقه ی قشم و لارک، برای تعیین میزان تعمیم پذیری نتایج تحقیق پرداختیم.

همان طور که در جدول (۴) مشاهده می شود، در منطقه ی قشم و لارک نیز الگوریتم SVM نتایجی به مراتب بهتر از الگوریتم ML به همراه داشته است. این مسئله از مقایسه ی هر ۳ معیار کلی دقت مشهود است. افزایش دقت متوسط SVM نسبت به ML در حدود ۸٪ می باشد. این در حالی است که برخلاف آنچه در سایت لیزارد مشاهده شد، الگوریتم

مقابله با مسائل در شرایط پیچیده‌ی فیزیکی (الگوریتم ANN) می‌باشد.

پیاپی سازی تحقیق بر روی مناطق مرجانی خلیج فارس، در حاشیه‌ی جزایر قشم و لارک، علاوه بر این که قابلیت تصاویر ماهواره‌ای متوسط مقیاس را برای طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی این منطقه با وجود کمبود بالای آب اثبات نمود، این مسئله را نیز نشان داد که با کاهش شدید در تعداد داده‌های آموزشی، بر خلاف الگوریتم SVM که قابلیت خود را حفظ می‌نماید، دقت طبقه‌بندی الگوریتم شبکه عصبی به شدت افت می‌کند و عملکردی به مراتب ضعیف‌تر از روش بیشترین احتمال نشان می‌دهد. در نهایت تعمیم‌پذیری نتایج به دست آمده در سایت لیزارد، حداقل در مورد الگوریتم SVM اثبات گردید.

این تحقیق نشان داد که برای مسئله‌ی طبقه‌بندی پوشش صخره‌های مرجانی که غالباً نیز با مشکل کمبود داده‌های میدانی و وجود داده‌های آموزشی مخلوط روبروست، استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی SVM، به دلیل دقت مطلوب به دست آمده در هر دو منطقه و پایداری بالای نتایج، نسبت به دو الگوریتم ML و ANN ارجحیت دارد.

از موارد عدم قطعیت در این تحقیق می‌توان به کم بودن تعداد داده‌های آزمایشی برای ارزیابی دقیق تعدادی از کلاس‌ها، در طبقه‌بندی ۴ و ۵ کلاس اشاره کرد. برای مثال می‌توان از کلاس‌های ۲ و ۳ در طبقه‌بندی ۴ کلاس نام برد. طبیعی است که دقت کلاسی به دست آمده برای این کلاس‌ها چندان قابل اعتماد نیست و برای رسیدن به نتایج قابل اعتماد نیاز به جمع‌آوری داده‌های آزمایشی بیشتر برای این کلاس‌ها می‌باشد که البته با شرایط پیچیده و هزینه‌ی بالای نمونه‌برداری در دریا امری دشوار می‌باشد. به عنوان جمع‌بندی باید گفت که نتایج ارائه شده در این تحقیق صرفاً نتایجی اولیه از یک تحقیق در این حوزه می‌باشد و باید این نکته را خاطر نشان نمود که برای انجام

صخره‌های مرجانی خلیج فارس که هنوز اطلاعات اولیه نیز در مناطقی از آن در دست نیست، دیدگاه دوم ارجحیت داشته باشد. این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ توانست با دقت متوسط حدود ۷۰٪، ۴ کلاس ماسه، مرجان، صخره و مرجان مرده را در جزایر قشم و لارک تفکیک کند. این نکته وقتی اهمیت می‌یابد که بدانیم در بسیاری از مناطق خلیج فارس هنوز اطلاعاتی در این سطح هم در دسترس نیست. این در حالیست که مطابق آنچه گرین و همکاران ذکر کرده‌اند، دقت کل حداقل ۶۰٪ برای تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش بستر صخره‌های مرجانی با هدف تعیین مناطق غنی پوششی مناسب می‌باشد [۳ و ۳۰].

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که علاوه بر مشکل شباهت طیفی گونه‌های موجود بر صخره‌های مرجانی که باعث کاهش دقت طبقه‌بندی این گونه‌ها می‌شود، مشکل دیگر و شاید عمده‌ترین مشکل به ناهمگونی مکانی پوشش بر روی این صخره‌ها بر می‌گردد که باعث شده است برای حل این مشکل از فرایند کلاس‌بندی گونه‌ها استفاده شود. با این حال این روش در مواردی، به علت ناهمگونی بسیار زیاد در پوشش و یا افزایش تعداد کلاس‌های مدنظر برای طبقه‌بندی، کلاس‌هایی بسیار آمیخته با درصد پایین حضور گونه‌ی غالب ارائه می‌دهد، که این مسئله موجب کاهش شدید دقت طبقه‌بندی مشابه آنچه در طبقه‌بندی ۵ کلاس دیده شد، می‌شود.

از سوی دیگر این تحقیق قابلیت روش‌های طبقه‌بندی غیر پارامتریک نظیر SVM و شبکه عصبی را نسبت به روش سنتی ML که در اکثر قریب به اتفاق تحقیقات بر روی آبسنگ‌های مرجانی به کار گرفته می‌شود، نشان داد. این برتری مخصوصاً با افزایش تعداد کلاس‌ها، مشهود است. علت این برتری، قابلیت این الگوریتم‌ها در توانایی آن‌ها برای آموزش با داده‌های آموزشی کم تعداد و مخلوط (الگوریتم SVM) و توانایی

خواجه نصیرالدین طوسی و همچنین از مهندس امید صدیقی، مهدی بلوکی، محمد غواصی و دکتر محمد شریف رنجبر، که در انجام این تحقیق مساعدت و یاری نمودند، تشکر کنند.

تحقیقات بیشتر و قابل اعتمادتر در این حوزه نیاز به جمع‌آوری داده‌های میدانی بیشتر می‌باشد.

قدردانی

نویسندگان لازم می‌دانند از دکتر محمود رضا صاحبی و دکتر یاسر مقصودی از دانشگاه

مراجع

- [1] J. Nybakken, "Marine Biology: an ecological approach." ed: San Francisco, 2001.
- [2] J. A. Goodman, J. Samuel, and R. Stuart, "Coral reef remote sensing, A guide for mapping, monitoring and management". 436p, 2013.
- [3] S. L. Benfield, H. M. Guzman, J. M. Mair, and J. A. T. Young, "Mapping the distribution of coral reefs and associated sublittoral habitats in Pacific Panama: a comparison of optical satellite sensors and classification methodologies", International Journal of Remote Sensing, vol. 28, pp. 5047-5070, 2007.
- [4] P. Capolsini, S. Andréfouët, C. Rion, and C. Payri, "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, vol. 29, pp. 187-200, 2003.
- [5] E. Hochberg, "Capabilities of remote sensors to classify coral, algae, and sand as pure and mixed spectra", Remote Sensing of Environment, vol. 85, pp. 174-189, 2003.
- [6] P. Mumby, E. Green, A. Edwards, and C. Clark, "Coral reef habitat mapping: how much detail can remote sensing provide? ", Marine Biology, vol. 130, pp. 193-202, 1997.
- [7] S. Andréfouët, P. Kramer, D. Torres-Pulliza, K. E. Joyce, E. J. Hochberg, R. Garza-Pérez, et al., "Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments", Remote Sensing of Environment, vol. 88, pp. 128-143, 2003.
- [8] C. Roelfsema and S. Phinn, "Integrating field data with high spatial resolution multispectral satellite imagery for calibration and validation of coral reef benthic community maps", Journal of Applied Remote Sensing, vol. 4, pp. 043527-043527-28, 2010.
- [9] S. Andréfouët, "Coral reef habitat mapping using remote sensing: a user vs producer perspective. Implications for research, management and capacity building", Journal of Spatial Science, vol. 53, pp. 113-129, 2008.
- [10] G. M. Foody and A. Mathur, "The use of small training sets containing mixed pixels for accurate hard image classification: Training on mixed spectral responses for classification by a SVM", Remote Sensing of Environment, vol. 103, pp. 179-189, 2006.
- [11] A. P. M. Henriques, A. D. Dória Neto, and R. F. Amaral, "Classification of multispectral images in coral environments using a hybrid of classifier ensembles", Neurocomputing, vol. 73, pp. 1256-1264, 2010.
- [12] S. A. Rees, B. N. Opdyke, P. A. Wilson, L. K. Fifield, and V. Levchenko, "Holocene evolution of the granite based Lizard Island and MacGillivray reef systems, Northern Great Barrier Reef", Coral Reefs, vol. 25, pp. 555-565, 2006.
- [13] J. Kavousi, J. Seyfabadi, H. Rezai, and D. Fenner, "Coral reefs and communities of Qeshm Island, the Persian Gulf", Zool Stud, vol. 50, pp. 276-283, 2011.
- [14] Available: www.usgs.gov, 2015

- [15] M. I. Saunders, C. M. Roelfsema, S. R. Phinn, R. F. C. Canto, C. J. Brown, and J. X. Leon. (2013). Benthic and substrate cover data derived from photo-transect surveys in Lizard Island Reef conducted on December 10-15, 2011, Available: <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.807404>, 2015
- [16] C. Roelfsema and S. Phinn, "A Manual for Conducting Georeferenced Photo Transects Surveys to Assess the Benthos of Coral Reef and Seagrass Habitats," 2009.
- [17] J. X. Leon, S. R. Phinn, S. Hamylton, and M. I. Saunders, "A 20 m spatial resolution seamless multisource Digital Elevation/Depth Model for Lizard Island, northern Great Barrier Reef," in Supplement to: Leon, Javier X; Phinn, Stuart R; Hamylton, Sarah; Saunders, Megan I (2013): Filling the 'white ribbon' - A seamless multisource Digital Elevation/Depth Model for Lizard Island, northern Great Barrier Reef. <http://issues.pangaea.de/browse/PDI-4073>, International Journal of Remote Sensing, submitted, ed: PANGAEA, 2012.
- [18] Available: <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.804566>, 2015
- [19] P. J. Mumby and A. R. Harborne, "Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs", Biological Conservation, vol. 88, pp. 155-163, 1999.
- [20] J. R. Bray and J. T. Curtis, "An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin", Ecological monographs, vol. 27, pp. 325-349, 1957.
- [21] B. L. Markham, J. C. Storey, and J. R. Irons, "Landsat Data Continuity Mission, now Landsat-8: six months on-orbit," in SPIE Optical Engineering+ Applications, 2013, pp. 88661B-88661B-9.
- [22] J. Storey, M. Choate, and K. Lee, "Landsat 8 Operational Land Imager On-Orbit Geometric Calibration and Performance", Remote Sensing, vol. 6, pp. 11127-11152, 2014.
- [23] S. Benfield, H. Guzman, J. Mair, and J. Young, "Mapping the distribution of coral reefs and associated sublittoral habitats in Pacific Panama: a comparison of optical satellite sensors and classification methodologies", International Journal of Remote Sensing, vol. 28, pp. 5047-5070, 2007.
- [24] S. B. Kay, "Radiative transfer modelling for sun glint correction in marine satellite imagery," Doctor of Philosophy in Biological Sciences, University of Exeter, 2011.
- [25] D. R. Lyzenga, "Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data", International Journal of Remote Sensing, vol. 2, pp. 71-82, 1981.
- [26] F. Fernández-Navarro, C. Hervás-Martínez, and P. Antonio Gutiérrez, "A dynamic over-sampling procedure based on sensitivity for multi-class problems", Pattern Recognition, vol. 44, pp. 1821-1833, 2011.
- [27] T. S. Furey, N. Cristianini, N. Duffy, D. W. Bednarski, M. Schummer, and D. Haussler, "Support vector machine classification and validation of cancer tissue samples using microarray expression data", Bioinformatics, vol. 16, pp. 906-914, 2000.
- [28] M. F. Møller, "A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning", Neural networks, vol. 6, pp. 525-533, 1993.
- [29] H. Kayanne, S. Harii, Y. Ide, and F. Akimoto, "Recovery of coral populations after the 1998 bleaching on Shiraho Reef, in the southern Ryukyus, NW Pacific", Marine Ecology Progress Series, vol. 239, pp. 93-103, 2002.
- [30] P. J. M. Edmund P. Green, Alasdair J. Edwards, Christopher D. Clark, Remote Sensing Handbook
- [31] for Tropical Coastal Management. paris: UNESCO, 2000.



Evaluation of Classification Algorithms for Coral Reefs Habitat Mapping Using Medium Resolution Satellite Images

Amir Masoud Chegoonian¹, Mehdi Mokhtarzade², Mohamad Javad Valadan Zoej³

- 1- Master of Remote Sensing, Department of Photogrammetry & Remote Sensing, Faculty of Geodesy & Geomatics engineering, K.N.Toosi University of Technology
- 2- Assistant Professor, Department of Photogrammetry & Remote Sensing, Faculty of Geodesy & Geomatics engineering, K.N.Toosi University of Technology
- 3- Associate Professor, Department of Photogrammetry & Remote Sensing, Faculty of Geodesy & Geomatics engineering, K.N.Toosi University of Technology

Abstract

In the present research, the effectiveness of classification algorithms on coral reef habitat mapping was evaluated using Landsat-8 images acquired in 2013. For this purpose, Except Maximum Likelihood algorithm that is common method in coral reef habitat mapping, the efficiency of Neural Network and Support Vector Machine were estimated, as well. Along with data collected from diving in Lizard Island, eastern Australia, the research was accomplished by generalizability of the results to coral reef of Queshm and Larak Islands, Persian Gulf. For this, parallel to getting satellite images, through diving operations, field data were gathered from Queshm and Larak Islands. Depends on the number of classes, the results are varied, so that, Maximum Likelihood has the best efficiency in 2-class classification. However, increasing the number of classes shows more efficiency for Support Vector Machine and Neural Network. In 4-class classification, Support Vector Machine and Neural Network, improve the classification accuracy by 7% and 9% respectively. Implementation of methods in Queshm and Larak Islands shows the generalizability of Support Vector Machine results in this region by 8% improvement in comparison to ML and overall accuracy about 68%, whilst ANN shows the worst results in this region with overall accuracy of 58%, which is because of sensitivity of this algorithm to the number of training data. The capability of SVM to handle mixed pixels and training data deficit issues, cause it to be the best classifier in this case. Finally, because of appropriate performance in both regions and more robustness of results, the SVM by using medium resolution satellite images is selected as the optimized algorithm for mapping of coral reef habitats.

Key words: Coral reefs, Sattelite images, Classification algorithms, Persian Gulf

Correspondence Address: Department of Photogrammetry & Remote Sensing, Faculty of Geodesy & Geomatics engineering, Khaje Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran
Tel: +98 931 2047257
Email: achegoonian@mail.kntu.ac.ir