

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1403.10.2.6.0

درصد همانندی: ۱۹٪

مقایسه الگوریتم‌های کنی، منطق فازی و طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش جنگل تصادفی در استخراج خطوط ساحلی (مطالعه موردی بندر لاور)

فاطمه باقری^۱، اصغر میلان^{۲*}، علیرضا وفائی نژاد^۳، محمود پیروزیان^۴^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

f.bagheridizabadi@mail.sbu.ac.ir

a_milan@sbu.ac.ir

^{۲*} نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

a_vafaei@sbu.ac.ir

^۳ دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

m_pirooznia@sbu.ac.ir

^۴ استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

چکیده

ایران با دارا بودن بیش از شش هزار کیلومتر خط ساحلی، جزو یک چهارم اول کشورهای جهان از نظر دسترسی به خطوط ساحلی است. تعیین موقعیت خط ساحلی و کمی‌سازی آن یکی از مهم‌ترین برنامه‌های مهندسی و مدیریت مناطق ساحلی محسوب می‌شود. از این رو مدیریت سواحل نیاز به روش‌های نوین، سریع و مقرون‌به‌صرفه برای پایش دائمی سواحل دارد چراکه روش‌های مستقیم نقشه‌برداری ساحلی، بسیار وقت‌گیر و پرهزینه بوده و نمی‌تواند تأمین‌کننده نیاز به پایش‌های مداوم خطوط ساحلی باشد. به این منظور، داده‌های سنجش‌ازدور با کمترین هزینه و کوتاه‌ترین زمان، در گستره جغرافیایی وسیع‌تر راهکاری مناسب در این راستا می‌باشد. یکی از روش‌های مقرون‌به‌صرفه در این راستا، استخراج خطوط ساحلی با استفاده از روش‌های نوین پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. بنابراین هدف از این مطالعه، استخراج خطوط ساحلی با استفاده از الگوریتم کنی، منطق فازی و طبقه‌بندی نظارت‌شده با رویکرد شیء‌گرایی و مقایسه دقت آن‌ها در تشخیص خط ساحلی است که به صورت موردی در بندر لاور انجام شد. برای این منظور از تصاویر ماهواره Sentinel-2A استفاده شد. سپس با در نظر گرفتن ناحیه مرطوب/خشک به عنوان نماینده خط ساحلی، لبه‌یابی با استفاده از الگوریتم کنی، منطق فازی و طبقه‌بندی با رویکرد شیء‌گرایی به روش جنگل تصادفی روی تصویر انجام و خط ساحلی بندر لاور از هر سه روش استخراج شد، در نهایت به منظور صحت‌سنجی نتایج، خط ساحلی حاصل از پردازش تصویر با استفاده از هر سه روش، با خط ساحلی رقمی سازی شده به وسیله کاربر خبره، مقایسه شد که به ترتیب دقت حاصل از روش کنی ۸۸٪، منطق فازی ۹۰٪ و طبقه‌بندی شیء‌گرا ۹۳٪ بود و نتایج بیانگر عملکرد مناسب جنگل تصادفی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها بود.

واژه‌های کلیدی: تصاویر سنتینل، الگوریتم کنی، منطق فازی، طبقه‌بندی، رویکرد شیء‌گرایی، الگوریتم جنگل تصادفی

۱. مقدمه

بیش از ۷۰ درصد سطح کره زمین را آب فرا گرفته است و منابع آبی همیشه به‌عنوان یکی از مسائل حیاتی بشر مطرح بوده و این مسئله در کشوری مانند ایران که دارای گستره وسیع آبی می‌باشد، اهمیت ویژه‌ای دارد، چراکه در حال حاضر بیش از ۸۵ درصد تبادل تجاری کشور ما از طریق دریا انجام می‌شود.

هیدروگرافی کشورهای ساحلی سهم بسزایی را در برنامه‌های زیرساختی و توسعه پایدار آن کشورها ایفا می‌نماید و بالأخص تعیین خطوط ساحلی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم هیدروگرافی، نقش بسزایی در این زمینه دارد. تعیین موقعیت خط ساحلی در طی زمان از دیرباز مورد توجه برنامه‌ریزان و مهندسان ساحلی بوده است. کمی‌سازی خط ساحلی و تعیین موقعیت آن از جنبه‌های مختلفی اهمیت دارد، از جمله حفاظت از مناطق ساحلی، توسعه و مدیریت مناطق ساحلی، توسعه پایدار نواحی ساحلی، جلوگیری از فرسایش ساحلی، جلوگیری از تداخل منافع سازمان‌های مرتبط با ساحل، پیش‌بینی موقعیت خط ساحلی در آینده، مکان‌یابی صحیح سازه‌های ساحلی و کاربردهای نظامی.

مناطق ساحلی از پویاترین مناطق سطح زمین هستند که در فرایندهای زمانی- مکانی دائماً در حال دگرگونی و تغییر هستند. این فرایندها نقش اساسی در تغییرات خط ساحلی ایفا می‌کنند. از این رو ارائه یک تعریف بنیادی از «خط ساحلی» پیش از انجام هر تحقیقی در مناطق ساحلی لازم و ضروری است. با توجه به ماهیت دینامیکی خط ساحلی و تغییر آن در مقیاس زمانی و مکانی، ارائه یک تعریف واحد برای آن مشکل است. تعریف انتخابی باید خط ساحلی را هم در مقیاس زمانی و هم در مقیاس مکانی مورد توجه قرار دهد. بسیاری از محققان، خط ساحلی را محل برخورد آبی و خشکی در نظر گرفته‌اند [۱]. در این تحقیق نیز، خط مرطوب/خشک^۱ یا حد بالاروی آب به‌عنوان نماینده خط ساحلی در نظر گرفته شده است.

این تحقیق با هدف استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصاویر به‌منظور استخراج خطوط ساحلی از داده‌های سنجش دور در هیدروگرافی جهت سرعت بخشیدن به پایش دریاها و خطوط ساحلی و کم کردن هزینه‌ها به‌منظور مدیریت هر چه بهتر سواحل انجام شد. با رشد و پیشرفت فناوری‌های فضایی در سال‌های اخیر به‌منظور بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، همچون تصاویر هوایی و فضایی طیفی، داده‌های راداری و داده‌های لیدار در زمینه استخراج خطوط ساحلی مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است. بنابراین یکی از روش‌های نوین و توانمند که اخیراً از آن برای استخراج خط ساحلی از منابع موجود به کار گرفته شده، استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای است. یکی از مزیت‌های استفاده از این روش عدم نیاز به نقش مستقیم کاربر در استخراج خط ساحلی است که این خود سبب صرفه‌جویی در هزینه‌های زمانی و نیروی انسانی می‌شود. از طرفی فرایند استخراج خط ساحلی در این روش به‌مراتب سریع‌تر از زمانی است که کار به شیوه‌های مرسوم انجام می‌شود. بنابراین ضرورت تحقیقاتی از این دست به‌منظور رسیدن به اهداف مورد نظر اجتناب‌ناپذیر است.

۲. مروری بر تحقیقات گذشته

تاریخ تولید نقشه‌های خط ساحلی به سال ۱۸۰۷ بازمی‌گردد، زمانی که نقشه‌های خط ساحلی با روش سنتی نقشه‌برداری میدانی مرسوم به دست می‌آمد. بعدها در سال ۱۹۲۷، عکاسی هوایی وارد عمل شد [۲]. در سال‌های اخیر نیز، تصاویر سنجش‌ازدور به‌طور گسترده‌تری در استخراج و نقشه‌برداری خطوط ساحلی استفاده شده‌اند و امکان استخراج خطوط ساحلی با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر سنجش‌ازدور فراهم شده است و به سهولت تولید نقشه‌های خط ساحلی کمک کرده است [۳]. روش‌های مختلفی برای استخراج اتوماتیک خط ساحلی از تصاویر سنجش‌ازدور به کمک پردازش تصاویر پیشنهاد شده است که می‌توان آن‌ها را به چهار دسته اصلی دسته‌بندی کرد [۴].

با استفاده از آشکارساز لبه برای تعیین و تمایز آب و خاک و در نتیجه استخراج خط ساحلی استفاده کردند [۵].

تحقیقات اخیر، منطق فازی، هوش مصنوعی و الگوریتم‌های تکاملی مرتبط مانند شبکه عصبی مصنوعی^۳، الگوریتم ژنتیک، جنگل تصادفی^۴ و ماشین بردار پشتیبان^۵ را برای تعیین ویژگی‌های یک خط ساحلی برای طبقه‌بندی، تشخیص و در نتیجه پیش‌بینی تغییرات در طول یک خط ساحلی پیشنهاد می‌کنند.

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر سنجنش‌ازدور در پژوهش زنگ هانو و همکاران [۱۰] با استفاده از تابع هسته Sigmoid به عنوان طبقه‌بندی‌کننده بهینه به کار گرفته شد. این مطالعه کاهش قابل توجهی را در خطای طبقه‌بندی برای یک فضای نمونه کوچک نشان می‌دهد و دقت ۹۶٫۸۳ درصد را در استخراج خط ساحلی ایجاد می‌کند. با این حال، برخی از محدودیت‌های الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند آموزش طولانی مدت و تناسب بیش‌ازحد وجود دارد. برای غلبه بر این مشکلات، هو و همکاران [۱۱] تکنیک جدیدی را بر اساس طبقه‌بندی فرایند گاوسی پیشنهاد کردند که نه تنها قابل اعتماد بود، بلکه منجر به استخراج دقیق خط ساحلی شد. در نهایت، یک ایده جدید بر اساس نسبت باندهای طیفی در مجموعه‌ای از تحقیقات اخیر به کار گرفته شده است که نتایج نشان می‌دهد، این روش در استخراج خط ساحلی از تصاویر سنجنش‌ازدور قوی‌تر و کارآمدتر است. چنین تکنیکی در کار کلاریس، امیویت و همکاران [۱۲، ۱۳] استفاده شد.

همچنین بولیتیکس و همکارانش قابلیت‌های روش RF و حالت‌های مختلف آن را معرفی و مقایسه کردند و آن را در زمینه آنالیز داده‌های بیوانفورماتیک ارزیابی کردند [۱۴]. کریمینسی و همکارانش نیز در تحقیق دیگری استفاده از RF را در یادگیری نیمه-نظارت‌شده ماشینی به منظور طبقه‌بندی در تصاویر پزشکی و پردازش‌های رایانه‌ای بررسی کردند [۱۵]. نیز و همکارانش نیز طبقه‌بندی با الگوریتم‌های SVM، RF، ANN و^۶ MLC را مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند [۱۶] و نشان دادند که RF از نظر دقت و زمان محاسبات

الف. رویکردهای آستانه‌گذاری باند: در این حالت یک مقدار آستانه یا از طریق روش تطبیقی محلی یا از طریق آزمون و خطا به دست می‌آید. چنین رویکردی به طور گسترده در کاربردهای استخراج خط ساحلی استفاده می‌شود، زیرا اجرای آن آسان است و قادر به دستیابی به دقت خوبی می‌باشد [۵].

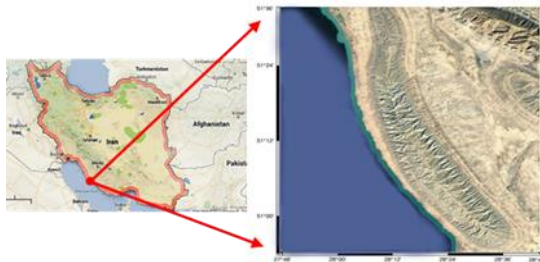
ب. تکنیک‌های طبقه‌بندی: تکنیک طبقه‌بندی که به سادگی یک تصویر را به دو ویژگی زمین و آب تقسیم می‌کند و به دنبال آن، مرز بین این عناصر به عنوان خط ساحلی استخراج می‌شود که به صورت طبقه‌بندی نظارت‌شده و طبقه‌بندی بدون نظارت می‌باشد [۶، ۷].

پ. الگوریتم‌های ریاضی تشخیص لبه: این روش از فیلترهای پردازش تصویر خاصی مانند Canny، Sobel و ... برای تشخیص خطوطی که خط ساحلی را نشان می‌دهند، استفاده می‌کند [۸].

ت. رویکردهای ترکیبی: این رویکرد از ترکیب منابع مختلف داده مانند تصاویر اپتیک، SAR و LIDAR برای تشخیص خط ساحلی استفاده می‌کند [۹].

آل شیخ و همکاران تکنیکی را بر اساس رویکرد آستانه هیستوگرام برای نظارت و تشخیص تغییرات در یک خط ساحلی پیشنهاد کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که وقتی این تکنیک به تنهایی به کار می‌رود، با طبقه‌بندی منطقه پوشش گیاهی به عنوان آب منجر به خطای (ε) در طبقه‌بندی می‌شود. با این حال، آن‌ها توانستند در ترکیبی از تکنیک‌های آستانه هیستوگرام و نسبت باندها، برای یک هدف مشخص در مجموعه‌ای از ۹ تصویر لندست با باندهای انتخاب‌شده بین ۴ و ۵ و ۲ به دقت بالای ۱٫۳ پیکسل برسند [۲].

لیو و همکاران تکنیک طبقه‌بندی تصویر را برای استخراج یک خط ساحلی از مجموعه تصویر به دست آمده از رادار و اپتیک پیشنهاد کردند. آن‌ها در این مطالعه از روش لونبرگ-مارکارت^۲ برای استخراج خط ساحلی استفاده کردند و پس از آن از سرعت همگرایی برازش منحنی گاوسی تکراری



شکل ۱. محدوده جغرافیایی لاور ساحلی

۲-۳. داده‌ها و نرم‌افزارهای استفاده شده در این تحقیق

در انتخاب تصویر مناسب به منظور استخراج خط ساحلی، توجه به تغییرات فصلی و زمانی در منطقه مطالعاتی بسیار اهمیت دارد. هدف، انتخاب مناسب‌ترین زمان در لحظه تصویربرداری می‌باشد، تصویر باید در زمانی اخذ شود که دریا در پایدارترین حالت ممکن باشد و نوسانات خط ساحلی در هنگام عبور سنجده حداقل باشد، زیرا پارامترهای اقلیمی از جمله بارش، باد و طوفان‌ها موجب نوسانات خط ساحلی شده و برای مدت کوتاهی آن را تغییر می‌دهد.

برای این منظور تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2A که یک سنجنده چند طیفی با سیزده باندها و دارای توان تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر می‌باشد، با انتخاب زمان مناسب اخذ شد. همچنین جهت صحت‌سنجی نتایج، Shape File خط ساحلی بندر لاور که توسط یک فرد خبره دیجیت شده بود، مورد استفاده قرار گرفت و به منظور پردازش تصویر ماهواره‌ای و تولید لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.8، Snap، Python 3.11 و eCognition developer 9 استفاده شد.

۳-۳. روش پیشنهادی تحقیق

برای استخراج خط ساحلی در این تحقیق از روش تکنیک آشکارسازی لبه و طبقه‌بندی شیء گرا به روش RF استفاده شد و بعد از استخراج خط ساحلی به مقایسه، ارزیابی و صحت‌سنجی نتایج پرداخته شد. روش انجام این تحقیق در نمودار شکل (۲) نشان داده شده است.

عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. نتایج اکثر این تحقیقات نشان از این دارد که طبقه‌بندی RF روشی مناسب برای طبقه‌بندی است.

با توجه به مطالب گفته‌شده، هدف از این مطالعه، بررسی و ارزیابی دقت تکنیک‌های مختلف پردازش تصویر به منظور استخراج خط ساحلی بندر لاور با استفاده از منابع داده موجود است و برای این منظور، تکنیک آشکارسازی لبه (الگوریتم کنی^۷ و منطق فازی) و تکنیک طبقه‌بندی شیء گرا به روش RF مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند. از آنجاکه در تحقیقات پیشین، عمدتاً روش‌های دیگری برای استخراج خط ساحلی ارزیابی شده‌اند و تاکنون مقایسه‌ای جامع بین تکنیک‌های آشکارسازی لبه (شامل الگوریتم کنی و منطق فازی) و تکنیک طبقه‌بندی شیء گرا به روش RF انجام نشده است، بنابراین این مطالعه با هدف پر کردن این خلأ، این سه روش را بررسی و مقایسه کرده است.

۳. مواد و روش‌ها

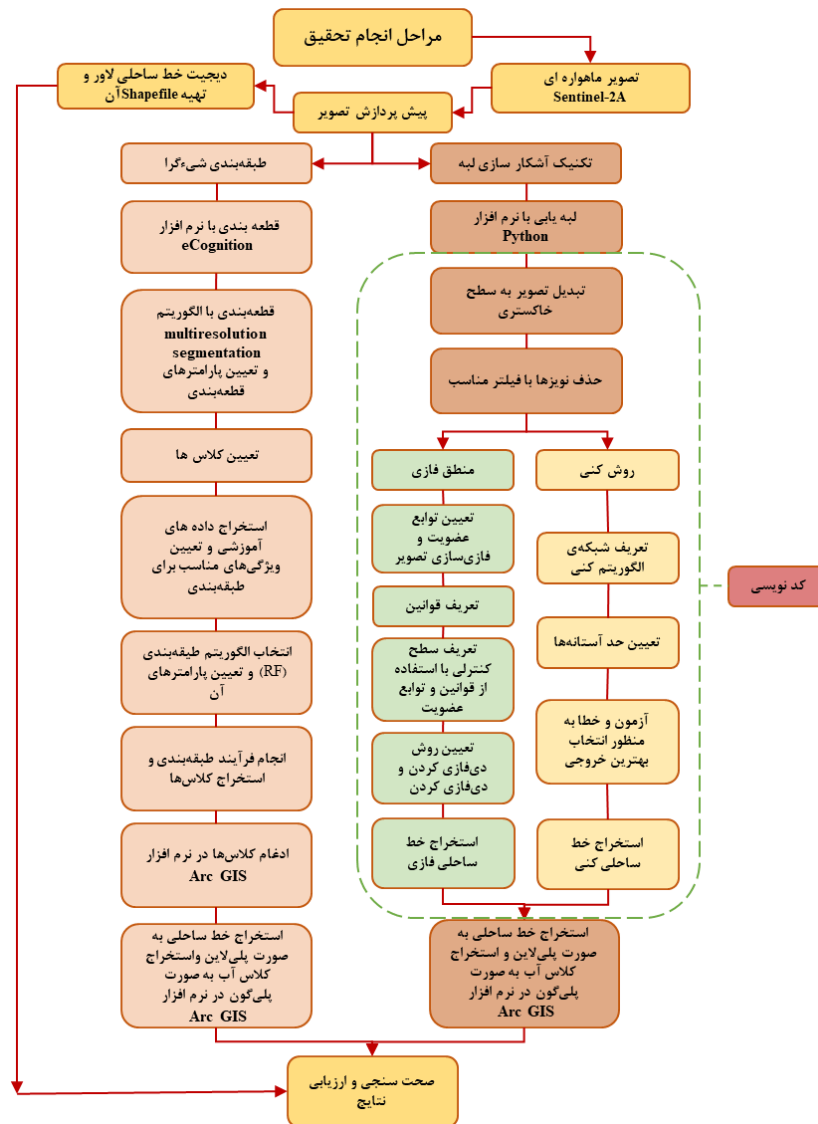
۳-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در این تحقیق بندر لاور واقع در جنوب ایران است. این منطقه در روستای لاور ساحلی در شهرستان دشتی، ۶۸ کیلومتری بخش کاکلی و ۱۲۹ کیلومتری جنوب بوشهر واقع شده است. از شمال به شهرستان‌های دشتستان و تنگستان، از جنوب به شهرستان‌های دیر و جم، از غرب به شهرستان تنگستان و خلیج فارس و از شرق به شهرستان فراه‌بند فارس محدود می‌شود. طول جغرافیایی لاور ساحلی ۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی آن ۲۸ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی است. این منطقه آب و هوایی گرم و خشک دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۶۰ متر است. این بندر یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های اقتصادی ایران به شمار می‌رود و همواره تحت تأثیر تهدیدات زیست‌محیطی شامل تغییرات زیاد در بستر و سطح دریا به علت فعالیت‌های انسانی و حجم بالای تخریب (خساک‌برداری از کوه‌ها و لایه‌های رسوبی و خاکریزی در دریا) قرار دارد.

از راهکارهای پرکاربرد در تمایز بین قطعات مختلف است. آشکارسازی لبه در اصل یک تکنیک پردازش تصویر به‌منظور یافتن مرزهای اشیای درون تصویر با توجه

۱-۳-۳. تکنیک آشکارسازی لبه

بیشتر کاربردهای موردنیاز به‌واسطه پردازش تصاویر نیازمند قطعه‌بندی^۸ در تصویر هستند. در این میان شناسایی لبه^۹ یکی



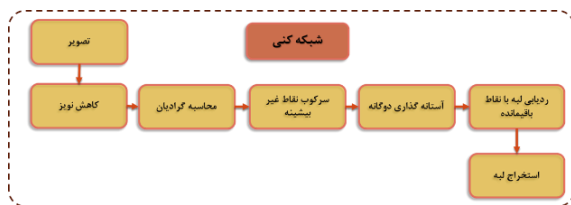
شکل ۲. نمودار کلی تحقیق

بنابراین پیش از بیان نحوه پیاده‌سازی این دو روش به توضیح مختصری از آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۳-۳-۱. روش کنی

در بحث شناسایی لبه، ورودی‌ها که در اینجا همان تصاویر ماهواره‌ای هستند نقش اساسی را ایفا می‌کنند. عموماً تصاویر ماهواره‌ای عاری از نویز نیستند و نویزها در شناسایی لبه مشکلاتی را به وجود می‌آورند. پارامترهای مختلفی برای امتیازدهی به الگوریتم‌های تشخیص لبه وجود دارد. یکی از این پارامترها توانایی شناسایی لبه با وجود این نویزها می‌باشد.

به تفاوت در مقدار روشنایی پیکسل‌های آن است [۱۷]. یک لبه را می‌توان تغییر ناگهانی در روشنایی^{۱۰} تصویر لبه، حاشیه بین یافته‌های بارز و اطراف آن‌ها (پس‌زمینه) تعریف کرد. در یک تصویر باینری، میزان تغییر روشنایی بین صفر و یک است [۱۸]. ویژگی‌های کمی و بصری تصویر مانند میزان نویز، روشنایی و... از موارد مؤثر در آشکارسازی لبه اشیای درون تصویر هستند [۶]. در این تحقیق به‌منظور استخراج خط ساحلی در مرحله اول با استفاده از تکنیک آشکارسازی لبه از دو روش کنی و منطق فازی استفاده شد.



شکل ۳. نمودار الگوریتم کنی

با توجه به شکل (۳) در روش کنی برای استخراج لبه در مرحله اول یک فیلتر متوسط‌گیری از نوع گوسین روی تصویر اعمال می‌شود تا نویز تصویر کاهش یابد. در مرحله دوم مقدار روشنایی^{۱۷} و جهت گرادیان^{۱۸} محاسبه می‌شود تا لبه‌های تصویر برجسته شود و کنی برای این منظور از فیلتر سوبل استفاده می‌کند. هدف الگوریتم کنی پیدا کردن مرکز لبه‌های تصویر است. در تصویر گرادیان، جاهایی که لبه وجود دارد، ضخامت بالاست. به همین منظور در مرحله سوم، نقاط غیر بیشینه تصویر سرکوب می‌شوند تا در نتیجه آن ضخامت لبه‌های تصویر کاهش پیدا کند و تصویر مناسب مراحل بعدی شود. در مرحله آستانه‌گذاری دوگانه، دو حد آستانه (حد آستانه بالا و حد آستانه پایین) برای تصویر گرادیان (تصویر خروجی مرحله سوم)، انتخاب می‌شود، اگر مقدار پیکسلی بزرگ‌تر از حد آستانه بود، به مقدار یک و اگر کمتر از آن بود به مقدار صفر تبدیل می‌شود تا یک تصویر باینری به دست آید و در مرحله آخر نیز تکلیف پیکسل‌های ضعیف مشخص شده و لبه‌های تصویر استخراج می‌شوند.

۳-۱-۳-۲. روش منطق فازی

الگوریتم‌های کلاسیک لبه‌یابی، سال‌ها به‌عنوان تنها راهکار محققان برای تشخیص لبه در تصاویر استفاده می‌شدند؛ اما با پیدایش نظریه فازی، مبحث تشخیص لبه به روش فازی یا FEDGE^{۱۹} مطرح شد که در مقایسه با الگوریتم‌های کلاسیک نتایج بهتری را به دنبال دارد. ضمن آنکه امکان جداسازی لبه‌های قوی از لبه‌های ضعیف با استفاده از قواعد فازی آسان‌تر است. جهان واقعی پیچیده است و این پیچیدگی از عدم قطعیت و ابهام در آن ناشی می‌شود. به همین دلیل بسیاری از مسائل در دنیای واقعی با نظریه مجموعه‌های کلاسیک قابل حل نیستند، در مجموعه‌های

عمده روش‌های شناسایی لبه از یک فیلتر^{۱۱} دوبعدی استفاده می‌کنند تا تصاویر را به دو بخش لبه و غیرلبه تقسیم کنند [۱۹]. روش‌های کلاسیک تشخیص لبه عمدتاً از یک عملگر دوبعدی که نسبت به بالا بودن گرادیان در تصویر حساس است استفاده می‌کنند و در نواحی یکنواخت آن‌ها را به صفر می‌رسانند [۲۰]. از جمله آشکارسازهای لبه در روش کلاسیک می‌توان آشکارسازهای لاپلاسیان^{۱۲}، گرادیان^{۱۳}، کنی^{۱۴}، سوبل^{۱۵} و پرویت^{۱۶} را نام برد که در این میان، آشکارساز کنی قوی‌ترین آشکارساز لبه محسوب می‌شود [۲۱]. لبه‌یاب کنی توسط جان‌اف کنی در سال ۱۹۸۶ ایجاد شد و یکی از بهترین الگوریتم‌های لبه‌یابی در بین الگوریتم‌های کلاسیک تا به امروز است. نکته‌ای که در مورد تمام این آشکارسازها وجود دارد، این است که حساسیت آن‌ها به نویز بسیار زیاد است. و از آنجایی که در عمل تصاویر همراه با نویز هستند، باید به دنبال راهکاری برای حذف اثر نویز بود، تا اثر نویز بر آشکارساز لبه به حداقل برسد. روش مرسوم می‌توان جهت حذف اثر نویز برای آشکارسازی لبه به کار برد، این است که ابتدا توسط فیلتری مناسب (فیلتر حذف نویز)، نویز تصویر را تا حد ممکن حذف و سپس الگوریتم آشکارساز موردنظر را برای آشکارسازی لبه اعمال کرد. در واقع با این راهکار باید تمام پیکسل‌های تصویر در دو مرحله پردازش شوند. ضمن آنکه میزان کار را بودن فیلتر آشکارساز لبه به کارایی فیلتر اول (فیلتر حذف نویز) بستگی دارد و اینکه این فیلتر تا چه حد می‌تواند نویز را حذف کند. با توجه به کارایی بهتر لبه‌یاب کنی در این تحقیق از میان لبه‌یاب‌های مرسوم، لبه‌یاب کنی جهت استخراج خطوط ساحلی انتخاب شد. این الگوریتم لبه‌یابی از سه بخش اصلی تضعیف نویز، پیدا کردن نقاطی که احتمال لبه بودن آن‌ها زیاد است و حذف نقاطی که احتمال لبه بودن آن‌ها کم است، تشکیل شده است. این لبه‌یاب شامل چهار ورودی، یک تصویر ورودی، یک پارامتر به نام سیگما جهت مقدار نرم‌کنندگی تصویر، یک حد آستانه بالا (Th) و یک حد آستانه پایین (TI) می‌باشد و در پنج مرحله لبه‌یابی را انجام می‌دهد، در شکل (۳) نمودار الگوریتم کنی نشان داده شده است.

انواع توابع عضویت در منطق فازی عبارت‌اند از: نقطه‌ای، خطی، چندضلعی منقطع، دوزنقه‌ای، مستطیلی، مثلثی، L شکل، S شکل و تابع عضویت گاوسی و از مهم‌ترین الگوریتم‌های استنتاج فازی می‌توان به الگوریتم استنتاج تاکاگی سوگنو، سوکاتو و ممدانی اشاره کرد که در میان این الگوریتم‌ها، الگوریتم استنتاج فازی سوگنو و ممدانی بیشترین کاربردها را دارند، در این مقاله نیز از الگوریتم استنتاج فازی ممدانی و تابع عضویت دوزنقه‌ای استفاده شد [۲۶].

سیستم استنتاج ممدانی توسط ممدانی و اسیلیان در سال ۱۹۶۵ پیشنهاد شد، این سیستم به دلیل داشتن طبیعت بصری و تفسیری از قوانین، به‌طور گسترده‌ای در سیستم‌های پشتیبانی تصمیم استفاده می‌شود و می‌تواند به هر دو صورت چند ورودی و چند خروجی و چند ورودی و یک خروجی پیاده‌سازی شود. در این سیستم روش غیرفازی‌سازی نسبت به سایر سیستم‌های استنتاج متفاوت است. روش‌های غیرفازی‌سازی در سیستم استنتاج ممدانی به‌صورت مرکز ثقل ناحیه^{۲۰}، نیمساز ناحیه^{۲۱}، کوچک‌ترین ماکزیمم^{۲۲}، بیشترین ماکزیمم^{۲۳}، میانگین ماکزیمم^{۲۴}، میانگین وزنی^{۲۵}، مجموع وزنی^{۲۶} می‌باشند، [۲۷] که عموماً مرکز ثقل ناحیه به دلیل دقت بالا، پیوستگی در خروجی، پایداری در برابر نویز و انعطاف‌پذیری بیشترین کاربرد را دارد. این روش با در نظر گرفتن وزن تمامی مقادیر خروجی، پاسخی دقیق و قابل‌اعتماد ارائه می‌دهد، بنابراین در این مقاله نیز به‌منظور غیرفازی کردن از روش مرکز ثقل ناحیه، استفاده شد.

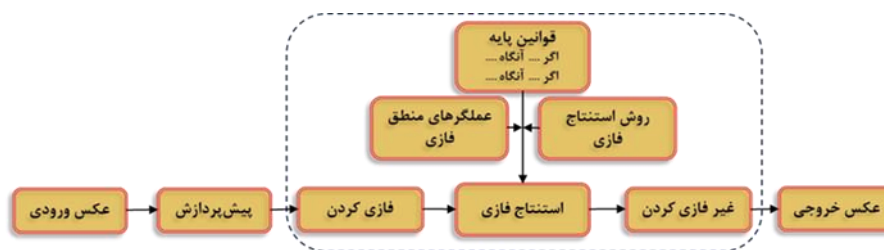
استفاده از سیستم‌های فازی روزبه‌روز گسترش یافته و کاربرد آن در زمینه‌های مختلفی به کار گرفته شده است، از جمله در بینایی ماشین و پردازش تصاویر، آشکارسازی لبه نیز یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در بینایی ماشین و پردازش تصویر است که در این بخش به آن پرداخته می‌شود. مراحل اصلی در تشخیص لبه به روش فازی عبارت‌اند از: پیش‌پردازش تصویر، فازی‌سازی تصویر، موتور استنتاج و غیر فازی‌سازی. در شکل (۵) مراحل لبه‌یابی فازی نشان داده شده است.

کلاسیک یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست، یا صفر است یا یک، در نقطه مقابل مجموعه کلاسیک، مجموعه فازی قرار دارد [۲۲]. تئوری مجموعه‌های فازی ابزار قدرتمند برای مدیریت عدم قطعیت و ابهام است. اگرچه سیستم‌های فازی برای توصیف پدیده‌های غیرقطعی و نامعین به کار می‌روند، اما خود این تئوری ساختاری دقیق و مبتنی بر اصول ریاضی دارد [۲۳]. منطق فازی، اولین بار در سال ۱۹۶۱ توسط پروفسور لطفی زاده معرفی شد [۲۴] و با گذشت زمان رشد و کاربرد عملی پیدا کرد. در منطق فازی، متغیرها زبانی هستند نه عددی، این منطق مقابل منطق باینری یا ارسطویی قرار دارد که همه چیز را فقط به دو صورت بله یا خیر می‌بیند و در بازه بین صفر و یک تغییر می‌کند [۲۵]. یک سیستم استنتاج فازی در اصل، نگاهی از فضای ورودی به خروجی می‌باشد که به‌منظور کنترل و تصمیم‌گیری، تجربیات بشر را با استفاده از توابع عضویت و قوانین فازی پیاده‌سازی می‌کند. شکل (۴) معماری سیستم استنتاج فازی را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشخص است این سیستم به‌طور کلی از سه جزء ساخته شده است: فازی‌ساز، موتور استنتاج فازی و غیر فازی‌ساز.



شکل ۴. نمودار سیستم استنتاج فازی

در این سیستم ابتدا متغیرهای صریح توسط فازی‌ساز به متغیرهای زبانی تبدیل می‌شود. سپس موتور استنتاج این متغیرهای زبانی را با استفاده از الگوریتم‌های استنتاج که به‌صورت قوانین «اگر... آنگاه» می‌باشد و با استفاده از عملگرهای فازی مانند OR و AND به هم مرتبط‌اند، ارزیابی و استنتاج می‌کند و پس از اعمال همه قوانین، خروجی به‌وسیله واحد غیرفازی‌ساز به مقدار صریح یا عددی تبدیل می‌شود [۲۶].



شکل ۵. نمودار کلی مراحل لبه یابی به روش فازی

۳-۲-۱. طبقه بندی ترکیبی به روش الگوریتم جنگل

۳-۲. طبقه بندی شیء گرا

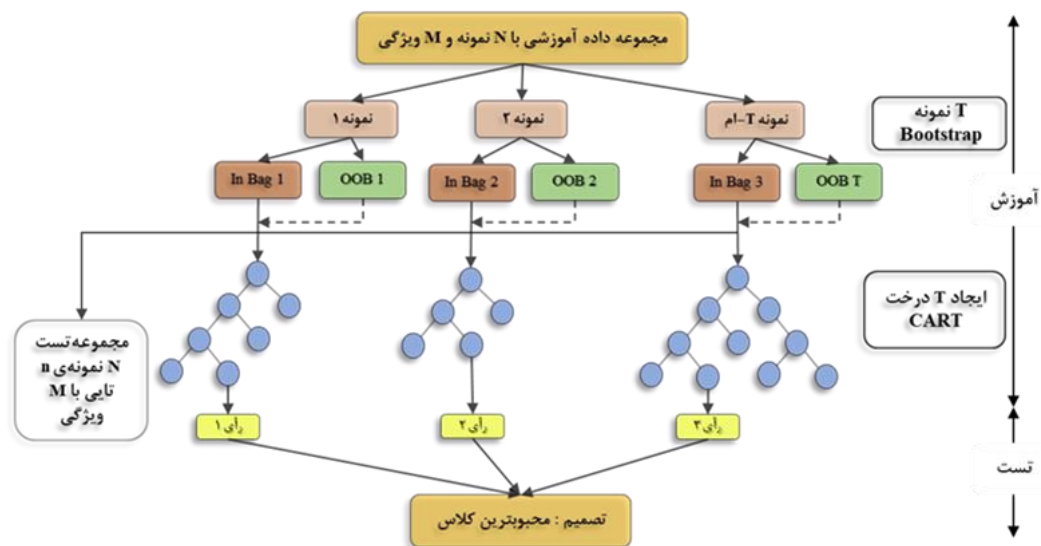
تصادفی یا RF

در سال‌های اخیر الگوریتم‌های هوشمند مدرن، نقش مهمی در طبقه بندی داده‌های سنجش از دور داشتند. مهم ترین الگوریتم‌های هوشمند عبارت‌اند از شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین‌های بردار پشتیبان، درخت تصمیم^{۲۸} و الگوریتم‌های ترکیبی یا گروهی^{۲۹} که در این بخش به منظور طبقه بندی از الگوریتم ترکیبی یا همان سیستم چند طبقه کننده استفاده شده است. سیستم چند طبقه بندی کننده^{۳۰} (MCS) که با عنوان مجموعه طبقه بندی کننده‌ها^{۳۱} نیز شناخته می‌شود، یک رویکرد ترکیبی در یادگیری ماشین است که برای افزایش دقت و پایداری مدل‌های طبقه بندی استفاده می‌شود. در این روش، به جای استفاده از یک طبقه بندی کننده منفرد، چندین طبقه بندی کننده به صورت هم‌زمان یا ترکیبی به کار گرفته می‌شوند و خروجی نهایی با استفاده از روش‌های تصمیم گیری مانند رأی گیری اکثریت، میانگین گیری وزنی یا الگوریتم‌های تقویتی (مانند Boosting و BAGging^{۳۲}) تعیین می‌شود. در سال ۲۰۰۱ چن و همکارانش استفاده از روش طبقه بندی ترکیبی Boosting و BAGging را به منظور طبقه بندی داده‌های سنجش از دور مورد مطالعه قرار دادند.

یکی از جدیدترین روش‌های MCS، روش RF، می‌باشد که عبارت است از یک طبقه بندی کننده با مجموعه‌ای از درخت‌ها که توسط برمن معرفی شده است [۳۰]. این روش در امتداد کار قبلی برمن در سال ۱۹۹۶ برای بهبود عملکرد روش BAGging معرفی شد [۳۱]. یکی از مزیت‌های این روش قابلیت اجرای موازی با پردازنده‌های چند هسته‌ای است، که در سال‌های اخیر استفاده‌های بسیاری از آن در زمینه

در مرحله دوم به منظور استخراج خط ساحلی از طبقه بندی شیء گرا استفاده شد. شیء به گروهی از پیکسل‌ها گفته می‌شود که از نظر خصوصیات مکانی و طیفی به هم شباهت دارند. طبقه بندی از دیدگاه شیء گرایی، اختصاص تعدادی از اشیاء تصویر به یک کلاس خاص مطابق با توصیف کلاس می‌باشد. طبقه بندی شیء گرا، فرایندی سه مرحله‌ای است. چنانچه پیشتر بیان شد اغلب کاربردهای مورد نیاز به واسطه پردازش تصاویر نیازمند قطعه بندی در تصویر هستند. از این رو به منظور طبقه بندی شیء گرا، ابتدا لازم است تا قطعه بندی تصویر با یک سطح تعمیم مورد قبول (فاکتور مقیاس) انجام گیرد و سپس مجموعه نواحی آموزشی از نتایج مرحله قبل برای کلاس‌های مورد نظر انتخاب شده و در آخر بر پایه نواحی آموزشی انتخاب شده، طبقه بندی نهایی صورت می‌پذیرد [۲۸]، بدیهی ترین تفاوت بین آنالیزهای تصویری پیکسل مبنای آنالیزهای تصویری شیء گرا در این است که در آنالیزهای تصویری شیء گرا، واحدهای اساسی پردازش، اشیاء تصویر یا قطعات هستند و نه پیکسل‌های مجزا. به طور کلی مزایای رویکرد شیء مبنای مقابل روش پیکسل مبنای شامل؛ استفاده از ویژگی‌های مکانی همچون مساحت، طول، عرض و جهت، بهره گیری از ویژگی‌های مورفولوژیکی همچون پارامترهای شکل و بافت و استفاده از ویژگی‌های متن تصویر^{۲۷} همچون رابطه با همسایگان و تحلیل مجاورت‌ها می‌باشد [۲۹]. در این پژوهش به منظور قطعه بندی تصویر از روش قطعه بندی چند مقیاسه و به منظور طبقه بندی از روش طبقه بندی ترکیبی به روش RF استفاده شد.

روش طبقه‌بندی RF به‌طور اختصار، بدین صورت است که در ابتدا T نمونه خودراه‌انداز^{۳۳} از داده آموزشی بیرون کشیده می‌شود و سپس از هر نمونه خودراه‌انداز β یک درخت طبقه‌بندی و رگرسیون^{۳۴} (CART) هرس نشده ایجاد می‌شود که برای انشعاب در هر گره CART، تنها یکی از M ویژگی انتخاب شده به‌صورت تصادفی، استفاده می‌شود. در نهایت، خروجی طبقه‌بندی بر اساس یک رأی اکثریت از پیش‌بینی‌های تمام تک‌درخت‌های آموزش دیده ایجاد می‌شود. روند کلی الگوریتم در شکل (۶) نشان داده شده است [۳۴].



شکل ۶. روند کلی الگوریتم جنگل تصادفی

نمونه‌های OOB تا آخرین نمونه از طریق درخت‌ها استفاده می‌شود و تعداد دفعاتی که طبقه‌بندی نادرست باشد شمارش می‌شود که در نهایت با میانگین‌گیری از تمام درخت‌ها، نرخ خطای OOB کلی تولید می‌شود. این خطا بدون بایاس^{۳۶} است و می‌تواند برای ترسیم رابطه بین خطای OOB و تعداد درخت‌ها استفاده شود. تعداد درخت‌ها باید به اندازه کافی باشد تا نرخ خطا پایدار (ثابت) شود [۳۵].

RF به دلیل انتخاب زیرمجموعه تصادفی برای تولید هر یک از درخت‌های تصمیم، طبقه‌بندی‌کننده‌های پایه با انعطاف‌پذیری بالایی را تولید می‌کند که باعث قابلیت تعمیم^{۳۷} خوبی می‌گردد. در یک طبقه‌بندی مبتنی بر RF، لازم است دو پارامتر توسط کاربر مشخص شود، یکی اندازه

پزشکی، بازی‌های کامپیوتری، پردازش آنالیز [۳۲] و پردازش تصاویر شده است [۳۳].

چنانچه بیان شد در این مقاله به‌منظور طبقه‌بندی جهت استخراج خط ساحلی از الگوریتم ترکیبی به روش RF استفاده شد. این روش توسعه روش BAGging است که تفاوت اصلی آن با BAGging در انتخاب ویژگی تصادفی است. هنگام ساختن یک درخت تصمیم، در هر گام از انتخاب انشعاب، RF ابتدا مجموعه‌ای از ویژگی‌ها را به‌طور تصادفی انتخاب می‌کند و سپس پروسه انتخاب انشعاب مرسوم را داخل مجموعه ویژگی ادامه می‌دهد [۳۴].

یک مجموعه داده خودراه‌انداز، مجموعه‌ای از نقاط انتخابی به‌طور تصادفی است که با جایگذاری از مجموعه داده آموزشی بیرون کشیده شده است. برای اینکه همیشه اندازه نمونه آموزشی اولیه ثابت بماند، مجموعه داده خودراه‌انداز یک نسخه کپی از نقاط را به کار می‌برد. درحالی‌که هر درخت در جنگل با استفاده از مجموعه داده متفاوتی ساخته می‌شود که در آن حدود یک‌سوم نقاط از هر نمونه خودراه‌انداز استفاده نمی‌شود، به این نقاط، داده خارج از کیسه^{۳۵} (OOB) گفته می‌شوند. به‌طور متوسط، هر نقطه آموزشی در حدود ۳۶٪ دفعات خارج از کیسه خواهد بود. بنابراین، می‌توان با استفاده از داده OOB برآوردی از نرخ خطای طبقه‌بندی بر اساس داده آموزشی به دست آورد.

به منظور تسهیل در فرایند لبه‌یابی و استخراج بهتر خط ساحلی تصویر به یک تصویر سطح خاکستری تبدیل شد. در ادامه به منظور حذف نویز اولیه تصویر، سه فیلتر Gaussian، Median و Blur با کرنل ۵ در ۵ در قالب یک تابع در شبکه‌ی کنی کدنویسی شد و حد آستانه بالا و پایین (TI=150, Th=255) با آزمون و خطا تعیین شد. نتایج در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷. نتایج حاصل از الگوریتم کنی با استفاده از سه فیلتر Blur، Median و Gaussian

و در نهایت با بررسی نتایج حاصل از سه فیلتر مذکور، نتیجه حاصل از الگوریتم کنی با استفاده از فیلتر Median به‌عنوان نماینده خط ساحلی انتخاب شد، زیرا پیوستگی خط ساحلی در آن به‌خوبی حفظ شده بود و از دقت بیشتری برخوردار بود.

همان‌طور که در شکل (۸) مشخص است، در مناطقی که سطح پوشش منطقه جزر و مدی زیاد بوده به دلیل کنتراست کم تصویر، لبه‌ها ضعیف هستند و فرایند لبه‌یابی با دقت انجام نگرفته است. بنابراین در ادامه به منظور بهبود فرایند استخراج خطوط ساحلی، روش منطق فازی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۸. خط ساحلی استخراج شده با استفاده از الگوریتم کنی

۳-۴. پیاده‌سازی روش فازی

در روش منطق فازی نیز برای استخراج خطوط ساحلی از کد نویسی در نرم‌افزار پایتون استفاده شد. همانند مرحله قبل پس از فراخوانی کتابخانه‌ها و توابع موردنیاز به منظور تسهیل در

M که یک زیرمجموعه تصادفی از ویژگی‌هاست و دیگری تعداد درخت‌ها (T). انتخاب پارامتر M بر روی نرخ خطای نهایی مؤثر است. اگر M افزایش یابد، هم وابستگی^{۳۸} بین درخت‌ها و هم قدرت (صحت طبقه‌بندی) تک‌درخت در جنگل افزایش می‌یابد. نرخ خطا با وابستگی، رابطه مستقیم دارد و متناسب است [۳۶].

۴. پیاده‌سازی روش‌های پیشنهادی

در این قسمت ابتدا نحوه پیش‌پردازش تصویر بررسی می‌شود و سپس به ترتیب مراحل پیاده‌سازی روش کنی، فازی و طبقه‌بندی شیء گرا بیان شده و در نهایت به صحت‌سنجی و ارزیابی نتایج پرداخته می‌شود.

۴-۱. پیش‌پردازش تصویر

با توجه به نمودار شکل (۲) ابتدا باید پیش‌پردازش‌های لازم روی تصویر موردنظر انجام شود. برای این منظور بعد از انتخاب تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2A از منطقه موردنظر، تصویر به‌منظور کنترل کیفیت داده‌ها و آگاهی از وجود خطاهای هندسی و رادیومتری و میزان پوشش ابر در نرم‌افزار اسنپ موردبررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2A سیزده باند طیفی دارد، بنابراین در ادامه باندهای مناسب به‌منظور پردازش انتخاب شدند. برای این منظور از باندهای B1، B2، B3 و B8 استفاده شد که شامل یک ترکیب RGB مناسب برای تفکیک مرز آب و خشکی است که کمترین همبستگی را دارند، به همراه یک بخش مادون‌قرمز نزدیک (B8) که بهترین محدوده از امواج الکترومغناطیس برای جداسازی آب از زمین است. با توجه به اینکه هر چهار باند موردنظر دارای دقت ۱۰ متری هستند نیازی به یکسان‌سازی دقت باندها نبود و تصویر موردنظر برای ورود به مراحل بعدی آماده شد.

۴-۲. پیاده‌سازی روش کنی

در این مطالعه به‌منظور استخراج خط ساحلی با استفاده از الگوریتم کنی از کد نویسی در نرم‌افزار پایتون استفاده شد. ابتدا کتابخانه‌ها و توابع موردنیاز فراخوانی شدند، سپس

مهم‌ترین قسمت یک سیستم استنتاج فازی قوانین اگر-آنگاه فازی است که در این قسمت چهار قانون به صورت زیر تعریف شد.

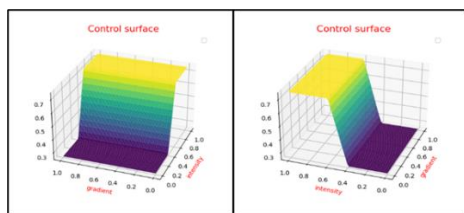
rule1= ctrl.Rule(intensity["low"] & gradient["low"], edge["no"])

rule2=ctrl.Rule(intensity["high"]& gradient["high"], edge["yes"])

rule3=ctrl.Rule(intensity["high"] & gradient["low"], edge["no"])

rule4=ctrl.Rule(intensity["low"] & gradient["high"], edge["no"])

با استفاده از این قوانین یک سیستم کنترلی و یک شبیه‌ساز (که با استفاده از آن بتوانیم ورودی‌های دلخواه را به سیستم داده و خروجی متناظر سیستم فازی را محاسبه کنیم) تعریف شد. یک نمودار رایج که در سیستم‌های کنترلی وجود دارد، صفحه کنترلی است که بر اساس ورودی‌ها رسم می‌شود. برای این منظور ابتدا یک فضای دوبعدی با دامنه بین صفر و یک و تعداد نمونه ۶۰ تایی در هر بعد ایجاد شد. سپس با دو حلقه تودرتو مقادیر از فضای دوبعدی به شبیه‌ساز ورودی داده شد و خروجی به‌عنوان لبه در z جاگذاری گردید و پس از پردازش انجام شده، صفحه کنترلی به صورت شکل (۱۰) حاصل شد.



شکل ۱۰. صفحه کنترلی از دو نمای متفاوت

و در نهایت دو ورودی، یکی تصویر تعدیل شده با فیلتر گوسین و دیگری گرادیان تصویر وارد سیستم کنترلی شد و خروجی به‌عنوان خط ساحلی استخراج شد (در این روش به منظور غیرفازی کردن از روش Centroid استفاده شد).

در مقایسه با روش قبل، در این روش خط ساحلی در مناطق جزر و مدی با دقت بهتری استخراج شدند. خروجی حاصل از روش منطق فازی، در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

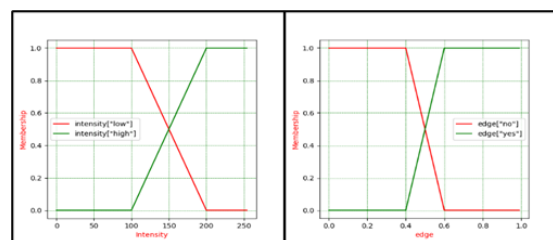
فرایند لبه‌یابی و استخراج بهتر خطوط ساحلی ابتدا تصویر به یک تصویر سطح خاکستری تبدیل شد، سپس به منظور حذف نویزهای اولیه از فیلتر گوسین با مقدار سیگمای ۲ و کرنل ۳×۳ استفاده شد. در ادامه برای آشکارسازی بهتر لبه‌ها از گرادیان عمودی و افقی استفاده شد و به این منظور فیلتر سوبل عمودی و افقی روی تصویر اعمال شد. سیستم در نظر گرفته شده برای استنتاج فازی در این مقاله، سیستم استنتاج فازی ممدانی بود.

پس از آن سیستم کنترل استنتاج فازی و فضای کاری متغیرها به منظور فازی‌سازی طراحی شد که دارای سه متغیر بود، دو ورودی، یکی تصویر تعدیل شده با فیلتر گوسین و دیگری گرادیان تصویر (برای گرادیان x و y) و یک خروجی که همان لبه تصویر بود. سپس مجموعه‌های فازی که دامنه تعریف متغیرهای ورودی و متغیر خروجی سیستم فازی موردنظر ما را پوشش می‌دهد، مشخص شدند و در ادامه به منظور تعیین درجه تعلق مجموعه‌های فازی ورودی و خروجی از تابع عضویت ذوزنقه‌ای طبق فرمول زیر استفاده شد.

$$\text{tramf}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} \text{if } x \leq a, 0 \\ \text{if } a \leq x \leq b, \frac{x-a}{b-a} \\ \text{if } b \leq x \leq c, 1 \\ \text{if } c \leq x \leq d, \frac{d-x}{d-c} \\ \text{if } d \leq x, 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$= \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right)$$

سپس نمودار حاصل از تابع عضویت Intensity و Edge به صورت شکل (۹) حاصل شد.



شکل ۹. نمودار تابع عضویت Intensity و Edge

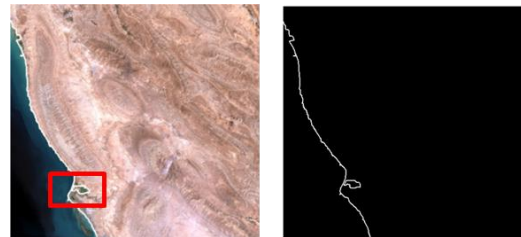
نیز میزان همگنی ابعاد شیء‌های تصویری را کنترل می‌کند و انتخاب بهینه آن موجب ایجاد تمایز بین عوارض مختلف می‌شود. به کارگیری پارامتر ناهمگنی ساختاری با وزن زیاد، لزوم کاهش فاکتور مقیاس به همان نسبت را ایجاد می‌کند تا به نوعی از ادغام عوارض مجاور جلوگیری شود. پروسه انتخاب پارامترهای قطعه‌بندی باید به گونه‌ای باشد که تمامی این مؤلفه‌ها، هم‌زمان و به صورت موازی با یکدیگر انتخاب شوند تا شیء‌های متناسب با منطقه مورد نظر ایجاد شود. برای قطعه‌بندی تصویر مورد نظر پس از سعی و خطا و ارزیابی بصری قطعه‌بندی در نهایت پارامترهای زیر برای قطعه‌بندی چند مقیاسه تصویر انتخاب شد. در جدول (۱) پارامترهای قطعه‌بندی چند مقیاسه برای تصویر لیست شده است. پس از تعیین پارامترهای قطعه‌بندی، تصویر قطعه‌بندی شده حاصل شد.

جدول ۱. پارامترهای قطعه‌بندی چند مقیاسه برای تصویر

پارامترهای قطعه‌بندی	نرمی	فشردگی	ناهمگونی طیفی	مقیاس
مقدار	0.5	0.5	0.6	500

۴-۴-۲. استخراج داده آموزشی

برای طبقه‌بندی تصاویر قطعه‌بندی شده احتیاج به داده‌های آموزشی می‌باشد. با توجه به اینکه هدف فقط استخراج خط ساحلی منطقه مورد مطالعه بود، بنابراین فقط از دو کلاس آب و خشکی استفاده و داده‌های آموزشی برای آن دو کلاس استخراج شد. انتخاب این داده‌های آموزشی در نرم‌افزار eCognition Developer با توجه به دانش فرد خبره انجام و در ادامه این داده‌های آموزشی به‌عنوان یک نقشه موضوعی به نرم‌افزار eCognition Developer معرفی شد. این قطعه‌های آموزشی برای آموزش کلاس‌ها به‌منظور طبقه‌بندی به روش جنگل تصادفی معرفی شدند. در شکل (۱۲) این داده‌های آموزشی نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱۱. خط ساحلی حاصل از روش منطق فازی

۴-۴-۴. پیاده‌سازی روش طبقه‌بندی شیء‌گرا

برای استخراج خط ساحلی با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا ابتدا تصویر مورد نظر به قطعه‌های مختلف ناحیه‌بندی شد، سپس داده‌های آموزشی از تصویر قطعه‌بندی شده استخراج شد و ویژگی‌های مناسب جهت تفکیک دو کلاس آب و خشکی تعیین و به‌منظور طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش RF روی شیء‌های تصویری استفاده شد و در نهایت خط ساحلی استخراج شد.

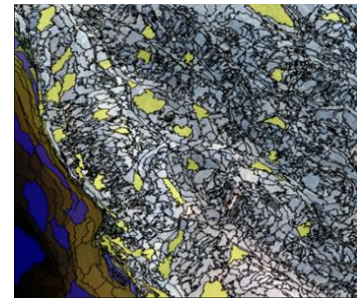
۴-۴-۱. قطعه‌بندی تصویر

به‌منظور طبقه‌بندی شیء‌گرا ابتدا تصویر مورد نظر به قطعه‌های مختلف ناحیه‌بندی شد و شیء‌های تصویری حاصل شد که به آن فرایند قطعه‌بندی تصویر گفته می‌شود. برای انجام قطعه‌بندی تصویر از الگوریتم قطعه‌بندی چندمقیاسه در محیط نرم‌افزار eCognition Developer استفاده شد. در این روش، قطعه‌بندی از سطح پیکسل شروع می‌شود و با توجه به شرایط تعیین شده، قطعه‌بندی تا رسیدن به اشیاء تصویری در مقیاس و پارامترهای تعیین شده ادامه پیدا می‌کند [۳۷].

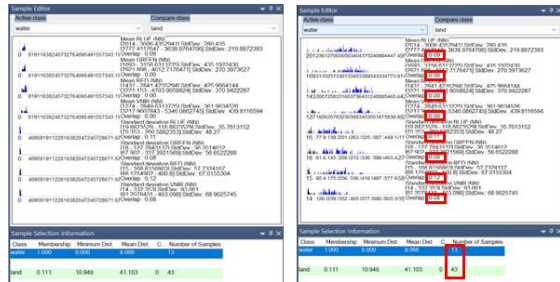
این الگوریتم چندین پارامتر از قبیل فشردگی، نرمی و مقیاس دارد که باید متناسب با هر تصویر تعیین شود.

یکی از مشکلات مهم در قطعه‌بندی، ایجاد قطعه‌بندی یکنواخت است که برای این منظور باید پارامترهای قطعه‌بندی به صورت بهینه انتخاب شود. شاخص فشردگی رابطه مستقیمی با نسبت محیط یک شیء تصویری به تعداد پیکسل‌های تشکیل دهنده آن شیء تصویری دارد. هر چه شکل شیء از حالت مربعی خارج شود مقدار ناهمگنی افزایش می‌یابد. برای کنترل این ناهمگنی، وزن بیشتری به شاخص فشردگی اختصاص داده می‌شود. پارامتر عدد مقیاس

صفر نزدیک‌تر باشد، ویژگی موردنظر جهت تفکیک دو کلاس مناسب‌تر است و هر چه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، آن ویژگی نمی‌تواند گزینه مناسبی برای تفکیک دو کلاس موردنظر باشد.



شکل ۱۲. داده‌های آموزشی برای طبقه‌بندی



۴-۳. استخراج ویژگی و طبقه‌بندی تصویر قطعه‌بندی‌شده

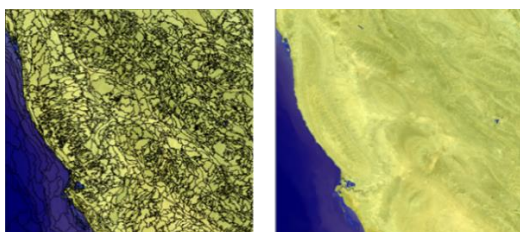
شکل ۱۳. مقایسه نمونه‌های آموزشی دو کلاس خشکی و آب در فضای ویژگی جهت طبقه‌بندی تصویر

ویژگی‌های استخراج‌شده بر اساس روش همپوشانی گوسین شده جهت طبقه‌بندی تصویر، در شکل (۱۵) قابل مشاهده است. جدول (۳) ویژگی‌های استخراج‌شده برای طبقه‌بندی تصویر را نشان می‌دهد که شامل میانگین باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ و انحراف معیار آن‌ها می‌باشد.

جدول ۳. ویژگی‌های استخراج‌شده برای طبقه‌بندی تصویر

ویژگی‌های استخراج‌شده برای طبقه‌بندی تصویر	
Mean B2 (Blue)	SD(B2)
Mean B3 (Green)	SD(B3)
Mean B4 (Red)	SD(B4)
Mean B8 (VNIR)	SD(VNIR)

پس از استخراج ویژگی‌های مناسب، از الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد تا شیء‌های حاصل از قطعه‌بندی، برچسب‌گذاری شده و طبقه‌بندی گردد. این الگوریتم از روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر رأی‌گیری می‌باشد و از مهم‌ترین پارامترهای آن تعداد درخت و ریشه‌های آن می‌باشد که در این تحقیق تعداد درخت‌ها ۱۰۰ و ۵ ریشه برای آن در نظر گرفته شد. شکل (۱۴) تصویر طبقه‌بندی‌شده حاصل از این الگوریتم را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. تصویر طبقه‌بندی‌شده حاصل از الگوریتم جنگل تصادفی

بعد از اینکه تصویر قطعه‌بندی شد، با استفاده از نمونه‌های آموزشی که به عنوان لایه نقشه موضوعی به نرم‌افزار معرفی شدند، تصویر قطعه‌بندی شده متناسب با منطقه موردنظر با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی طبقه‌بندی می‌شود. با توجه به اینکه در طبقه‌بندی شیء گرا، ویژگی‌ها نقش بسیار مهمی در نتایج طبقه‌بندی دارند، در انتخاب آن‌ها باید دقت نمود. در این راستا با توجه به متفاوت بودن بارز میانگین بازگشتی مقدار طیف رادیومتریکی پیکسل‌های تشکیل‌دهنده اشیا در کلاس‌های آب و خشکی، استفاده از ویژگی میانگین طیفی بازگشتی و همچنین انحراف معیار اشیا تشکیل‌شده در آب و خشکی جهت تفکیک ساحل از دریا، مناسب به نظر می‌رسد.

برای انتخاب ویژگی‌های مناسب برای تفکیک دوبه‌دوی کلاس‌ها با دقت بالا، از روش همپوشانی تابع توزیع نرمال مربوط به داده‌های آموزشی دو کلاس بر مبنای ویژگی موردنظر استفاده شد. به‌طور مثال، همان‌طور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، برای دو کلاس آب و خشکی به ترتیب ۱۳ و ۴۳ نمونه انتخاب شد، پس از رسم تابع توزیع نرمال داده‌های آموزشی انتخاب‌شده بر مبنای میانگین و انحراف معیار آن‌ها بر اساس ویژگی‌های میانگین هر لایه، انحراف معیار، میزان پوشش مشترک داده‌های آموزشی به ترتیب ۰، ۰، ۹، ۰، ۰، ۰، ۰، ۱۱، ۰، ۰، ۸، ۰، ۰، ۱۲، ۰، ۰، ۸، ۰، ۰ بودند. این مقادیر به‌دست آمده برای پوشش‌های مشترک، بیانگر این است که ویژگی انتخاب‌شده برای تفکیک دو کلاس مناسب است. بدیهی است که هر چه این مقدار به

نیز به همین ترتیب تبدیل به پلی گون شدند. در جدول (۴) مساحت کلاس آب در روش های مختلف نشان داده شده است.

جدول ۴. مساحت کلاس آب در روش های مختلف

روش	کنی	فازی	قطعه بندی
اختلاف مساحت کلاس آب برحسب کیلومتر مربع	۲۱۹/۱۷۶	۱۸۵/۰۰۲	۱۳۶/۵۲

به این صورت که اختلاف مساحت بین مساحت رقومی شده کلاس آب، با مساحت کلاس آب به دست آمده از هر سه روش (کنی، فازی و شیء گرای) محاسبه و به عنوان خطای روش پیشنهادی در نظر گرفته شد. در جدول (۵) میزان اختلاف مساحت کلاس آب در هر روش نشان داده شده است.

جدول ۵. اختلاف مساحت کلاس آب در روش های مختلف نسبت به مساحت کلاس آب مرجع

روش	کنی	فازی	قطعه بندی
اختلاف مساحت کلاس آب برحسب کیلومتر مربع	۲۱۹/۱۷۶	۱۸۵/۰۰۲	۱۳۶/۵۲

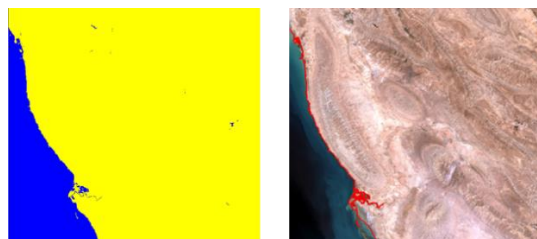
در ادامه برای محاسبه دقت هر روش از نسبت این اختلاف به مقدار مساحت رقومی شده کلاس آب به عنوان شاخصی برای ارزیابی دقت خط ساحلی استخراج شده استفاده شد. در جدول (۶) میزان دقت هر روش نشان داده شده است. همان طور که در جدول (۶) مشخص است، دقت حاصل از روش قطعه بندی ۹۳٪ محاسبه شد که در مقایسه با دو روش دیگر، دقت بالاتری بود.

جدول ۶. دقت هر روش

روش قطعه بندی	روش فازی	روش کنی	روش ها
۹۳٪	۹۰٪	۸۸٪	دقت

برای بیان خطا به صورت دقت از فرمول ۲ استفاده شد که در آن A اختلاف مساحت کلاس آب رقومی شده به صورت بصری و خطای آنالیز و B مساحت کلاس آب رقومی شده است.

با توجه به اینکه تصویر طبقه بندی حاصل از روش شیء گرای در دو کلاس آب و خشکی کلاسه بندی گردید، برای دستیابی به خط ساحلی باید مرز بین دو کلاس استخراج می شد، بنابراین با استفاده از آنالیزهای GIS در ابتدا شیء های طبقه بندی شده که به صورت جداگانه برچسب گذاری شده بودند، در دو کلاس آب و خشکی با یکدیگر تلفیق شده و هر کدام از این کلاس ها تشکیل یک پلی گون واحد با مرز مشخص با پلی گون همسایه را می دهد و می توان مرز بین این دو کلاس را به عنوان پلی لاین که همان خط ساحلی می باشد، استخراج کرد. شکل (۱۵) شیء های برچسب گذاری شده و تلفیق شده در دو کلاس آب و خشکی و خط ساحلی استخراج شده را نشان می دهد.



شکل ۱۵. تصویر تلفیق شده شیء های برچسب گذاری شده و خط ساحلی استخراج شده از روش قطعه بندی

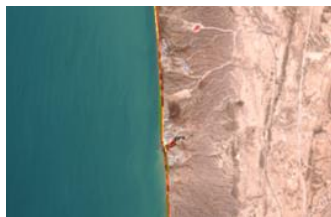
۴-۵. صحت سنجی

بعد از هر تحقیقی به منظور تحلیل نتایج به دست آمده و کارایی الگوریتم های مورد استفاده، باید کیفیت نتایج را ارزیابی کرد. از این رو بعد از استخراج خطوط ساحلی اقدام به ارزیابی میزان صحت و دقت نتایج حاصل شد. روش های مختلفی به منظور ارزیابی دقت وجود دارد، از جمله مقایسه اختلاف طول خطوط به دست آمده یا محاسبه اختلاف مساحت کلاس آب در هر روش با مقدار مینا و مرجع که در این مقاله به منظور صحت سنجی، از اختلاف مساحت کلاس های آب استفاده شد.

به همین منظور ابتدا مرز بین دو کلاس آب و خشکی رقومی شد و همانند مرحله قطعه بندی، با استفاده از آنالیز GIS محدوده دو کلاس آب و خشکی به پلی گون تبدیل شد و به عنوان مبنای ارزیابی دقت، از مساحت کلاس آب استفاده شد. خطوط ساحلی استخراج شده از روش کنی و منطق فازی

شد و از آن‌ها به‌عنوان واحدهای محاسباتی استفاده شد. پس از ایجاد این شیء‌های تصویری در دو کلاس آب و خشکی داده‌های آموزشی جمع‌آوری و تصویر موردنظر، با استفاده از الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی طبقه‌بندی شد. با توجه به اینکه مرز بین دو کلاس آب و خشکی به‌عنوان خط ساحلی تعریف می‌شود، برای استخراج این خط ساحلی پس از برچسب‌گذاری شیء‌های تصویری و تلفیق آن‌ها به دو کلاس آب و خشکی از آنالیزهای GIS استفاده شد تا مرز بین این دو کلاس به‌عنوان خط ساحلی استخراج گردد. در نهایت خط ساحلی استخراج‌شده با هر سه روش ارزیابی شد که نتایج حاکی از دقت بیشتر (۹۳٪) الگوریتم جنگل تصادفی بود.

در دو روش لبه‌یابی کنی و منطق فازی اگرچه در مناطقی که سطح جزر و مدی منطقه کم بود تفکیک مرز آب و خشکی به‌خوبی انجام شد (شکل ۱۷)، اما در مناطقی که سطح پوشش منطقه جزر و مدی آب زیاد بود، این تفکیک به‌خوبی انجام نگرفت و برای رسیدن به دقت بیشتر با استفاده از این دو روش نیاز به آزمون و خطای بیشتری در تعیین حد آستانه‌ها است.



شکل ۱۷. در مناطقی که سطح پوشش جزر و مدی کم است، خطوط استخراج‌شده با دقت خوبی بر هم منطبق هستند.

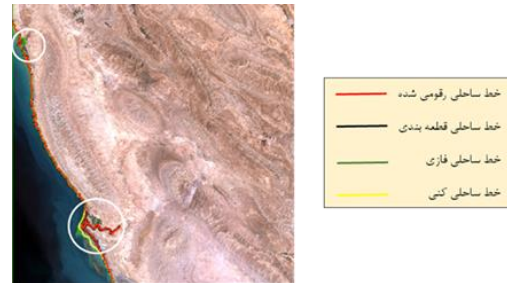
در حالی که چنانچه در شکل (۱۸) مشاهده می‌شود، در روش RF، خط ساحلی با دقت خوبی در مناطق جزر و مدی استخراج شده است.



شکل ۱۸. دقت روش طبقه‌بندی در مناطق جزر و مدی

$$Accuracy = \frac{A}{B} = \frac{1970.111 - 136.52}{1970.111} * 100 = 93\% \quad (2)$$

در شکل (۱۶) خطوط ساحلی استخراج‌شده قابل مشاهده است که نشان می‌دهد دقت حاصل از روش طبقه‌بندی در مقایسه با دو روش دیگر بیشتر است.



شکل ۱۶. خطوط ساحلی استخراج‌شده

۵. نتیجه‌گیری

با در دسترس قرار گرفتن تصاویر ماهواره‌ای دامنه کاربردهای این تصاویر در مطالعات محیطی و اقیانوس‌شناسی افزایش یافته است. از طرف دیگر توسعه الگوریتم‌های پردازش تصویر از قبیل رویکردهای شیء‌گرایی و روش‌های یادگیری ماشین این امکان را برای محققان سنجش‌ازدور به وجود آورده است که از این الگوریتم‌ها به‌عنوان ابزاری برای تفسیر و پردازش تصاویر استفاده نمایند؛ بنابراین در این مطالعه سعی بر آن شد که با استفاده از تصاویر Sentinel-2A و به‌کارگیری الگوریتم‌های مختلف لبه‌یابی مانند کنی، منطق فازی و روش طبقه‌بندی و طبقه‌بندی نظارت‌شده به استخراج خط ساحلی منطقه مورد مطالعه پرداخته شود. جهت نیل به این هدف در ابتدا پس از پیش‌پردازش‌های انجام‌گرفته بر روی تصویر، تصویر موردنظر با استفاده از کد نویسی در نرم‌افزار پایتون به‌وسیله الگوریتم کنی و منطق فازی لبه‌یابی شد و خط ساحلی از این دو روش استخراج شد و بر اساس آن منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار GIS به‌صورت دو کلاس آب و خشکی طبقه‌بندی شد. سپس، در مرحله بعد به‌منظور لبه‌یابی با استفاده از رویکرد شیء‌گرایی، تصویر با استفاده از طبقه‌بندی چند مقیاسه، به شیء‌های کوچک‌تر تقسیم‌بندی

- [4] WILLERSLEV E. Methods of extracting a coastline from satellite imagery and assessing the accuracy. Proceedings of the Geospatial Crossroads GI_Forum. 2011.
- [5] Liu H, Jezek KC. A complete high-resolution coastline of Antarctica extracted from orthorectified Radarsat SAR imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2004;70(5):605-16.
- [6] Guariglia A, Buonamassa A, Losurdo A, Saladino R, Trivigno ML, Zaccagnino A, et al. A multisource approach for coastline mapping and identification of shoreline changes. 2006.
- [7] Wang C, Zhang J, Ma Y. Coastline interpretation from multispectral remote sensing images using an association rule algorithm. International Journal of Remote Sensing. 2010;31(24):6409-23.
- [8] Mason DC, Davenport IJ. Accurate and efficient determination of the shoreline in ERS-1 SAR images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1996;34(5):1243-53.
- [9] Gens R. Remote sensing of coastlines: detection, extraction and monitoring. International Journal of Remote Sensing. 2010;31(7):1819-36.
- [10] Zhang H, Jiang Q, Xu J. Coastline extraction using support vector machine from remote sensing image. J Multim. 2013;8(2):175-82.
- [11] Hu X, Qin Z, Wang J, Su G, editors. Coastline extraction on remote sensing image using Gaussian process classification. 2015 International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation; 2015: Atlantis Press.
- [12] Cassé C, Viet PB, Nhung PTN, Phung HP, Nguyen LD, editors. Remote sensing application for coastline detection in Ca Mau, Mekong Delta 2012: Vietnam National University-HCM City Publishing House.
- [13] Budhiman S, Parwati E. Digital Image Processing of SPOT-4 for Shoreline Extraction in Lampung Bay. International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES). 2017;11(1):1-10.
- [14] Boulesteix AL, Janitza S, Kruppa J, König IR. Overview of random forest methodology and practical guidance with emphasis on computational biology and bioinformatics. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 2012;2(6):493-507.
- [15] Criminisi A, Shotton J, Konukoglu E. Decision forests for classification, regression, density estimation, manifold learning and semi-supervised learning. Microsoft Research Cambridge, Tech Rep MSRTR-2011-114. 2011;5(6):12.

بنابراین این نتایج نشان می‌دهد که روش جنگل تصادفی به دلیل استفاده از ویژگی‌های بافتی و طیفی در فرایند طبقه‌بندی، عملکرد بهتری در تفکیک مرز آب و خشکی دارد. علاوه بر این، روش‌های مبتنی بر لبه‌یابی مانند کنی و منطقی فازی، وابستگی زیادی به تنظیم دقیق پارامترهای آستانه دارند که در مناطق با تغییرات جزر و مدی بالا دقت آن‌ها را کاهش می‌دهد. در نهایت، ترکیب روش‌های شیء‌گرایی و یادگیری ماشین می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود دقت استخراج خط ساحلی در شرایط مختلف محیطی استفاده شود.

۶. پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود تا آستانه‌گذاری‌ها با استفاده از روش‌های مختلف بهینه‌سازی انجام شود و نتایج مورد بررسی قرار گیرد که قطعاً نتایج بهتری تولید خواهد شد. همچنین با توجه به قابلیت بالای تصاویر راداری در تفکیک مرز آب و خشکی و در دسترس بودن تصاویر راداری ماهواره Sentinel-1، پیشنهاد می‌شود این تحقیق با استفاده از تصاویر راداری نیز انجام شود تا بتوان نتایج حاصل از تصاویر اپتیک و راداری را نیز مقایسه نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از مجموعه نشریه هیدروفیزیک، ویراستاران و سردبیر محترم آن جناب آقای دکتر محمود مرادی به دلیل کمک‌های صبورانه و سخاوتمندانه‌شان در انتشار این مقاله صمیمانه تشکر می‌کنند.

مراجع

- [1] Boak EH, Turner IL. Shoreline definition and detection: a review. Journal of coastal research. 2005;21(4):688-703.
- [2] Alesheikh AA, Ghorbanali A, Nouri N. Coastline change detection using remote sensing. International Journal of Environmental Science & Technology. 2007;4:61-6.
- [3] M.-Muslim A, Foody GM, Atkinson PM. Shoreline mapping from coarse-spatial resolution remote sensing imagery of Seberang Takir, Malaysia. Journal of Coastal Research. 2007;23(6):1399-408.

- [30] Breiman L. Bagging predictors. Machine learning. 1996;24:123-40.
- [31] Breiman L. Random forests. Machine learning. 2001;45:5-32.
- [32] Saffari A, Leistner C, Santner J, Godec M, Bischof H, editors. On-line random forests. 2009 IEEE 12th international conference on computer vision workshops, iccv workshops; 2009: IEEE.
- [33] Bosch A, Zisserman A, Munoz X, editors. Image classification using random forests and ferns. 2007 IEEE 11th international conference on computer vision; 2007: Ieee.
- [34] Zhou Z-H. Ensemble methods: foundations and algorithms: CRC press; 2012.
- [35] Zhou X, Liu X, Zhang Z, editors. Automatic extraction of lakes on the Qinghai-Tibet Plateau from Sentinel-1 SAR images. 2019 SAR in Big Data Era (BIGSAR DATA); 2019: IEEE.
- [36] Al-Ruzouq R, Shanableh A, Gibril MB, Kalantar B, editors. Multi-scale correlation-based feature selection and random forest classification for LULC mapping from the integration of SAR and optical Sentinel images. Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV; 2019: SPIE.
- [37] Baatz M. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. Angewandte geographische informationsverarbeitung. 2000;12-23.
- [16] Nitze I, Schulthess U, Asche H. Comparison of machine learning algorithms random forest, artificial neural network and support vector machine to maximum likelihood for supervised crop type classification. Proceedings of the 4th GEOBIA, Rio de Janeiro, Brazil. 2012;79:3540.
- [17] Zulkifile FA, Hassan R, Asmuni H, M. Othman R. Shoreline detection, in Tanjung Piai, Malaysia by improving the low brightness and contrast of SPOT-5 images using the NIR-HE method. International Journal of Image and Data Fusion. 2016;7(2):172-88.
- [18] Qidwai U, Chen C-h. Digital image processing: an algorithmic approach with MATLAB: CRC press; 2009.
- [19] Melin P, Mendoza O, Castillo O. An improved method for edge detection based on interval type-2 fuzzy logic. Expert Systems with Applications. 2010;37(12):8527-35.
- [20] Kim D-S, Lee W-H, Kweon I-S. Automatic edge detection using 3×3 ideal binary pixel patterns and fuzzy-based edge thresholding. Pattern Recognition Letters. 2004;25(1):101-6.
- [21] Alshennawy AA, Aly AA. Edge detection in digital images using fuzzy logic technique. International Journal of Computer and Information Engineering. 2009;3(3):540-8.
- [22] Ponce-Cruz P, Ramírez-Figueroa FD. Intelligent control for labview: Springer; 2010.
- [23] Wang L-X. A course in fuzzy systems. 1999.
- [24] Zadeh LA. Fuzzy sets. Information and control. 1965;8(3):338-53.
- [25] Cox E, O'Hagan M, Taber R, O'Hagen M. The fuzzy systems handbook with cdrom: Academic Press, Inc.; 1998.
- [26] Sumathi S, Paneerselvam S. Computational intelligence paradigms: theory & applications using MATLAB: crc Press; 2010.
- [27] Wang Y, Chen Y. A Comparison of Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems for Traffic Flow Prediction. J Comput. 2014;9(1):12-21.
- [28] Whiteside T, Ahmad W, editors. A comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for mapping land cover in northern Australia. Proceedings of SSC2005 Spatial intelligence, innovation and praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute; 2005.
- [29] Sibaruddin HI, Shafri H, Pradhan B, Haron N, editors. Comparison of pixel-based and object-based image classification techniques in extracting information from UAV imagery data. IOP conference series: earth and environmental science; 2018: IOP Publishing.

پی‌نوشت‌ها

1. Wet/dry boundary
2. Levenberg-Marquardt
3. Artificial Neural Networks
4. Random Forest
5. Support Vector Machines
6. Maximum Likelihood Classification
7. Canny
8. Segmentation
9. Edge detection
10. Intensity
11. Filter
12. Laplacian
13. Gradient
14. Canny
15. Sobel
16. Prewitt
17. Intensity
18. Gradient Direction
19. Fuzzy Edge Detection
20. Centroid of area
21. Bisector of area
22. Smallest of maximum
23. Largest of maximum

24. Mean of maximum
25. Weighted average
26. Weighted sum
27. Contextual Attributes
28. Decision Trees
29. Ensemble Methods
30. Multi-Classifer System
31. Classifier Ensemble
32. Bootstrap AGGREGatING
33. Bootstrap
34. Classification And Regression Tree
35. Out-of-Bag
36. Unbiased
37. Generalization Ability
38. Correlation