

ارزیابی کارایی توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان و عملگرهای فازی شیء‌گرا در برآورد سطح پوشش برف با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel – 2B مطالعه موردی: کوه آلمابلاغ

محمد قاسم ترکاشوند^۱

مصطفی موسی‌پور^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۱۵

چکیده

برآورد دقیق سطح پوشش برف به عنوان یکی از عملیات محوری و اساسی در زمینه مدیریت منابع آب، به ویژه در مناطقی که بارش برف سهم زیادی در نزولات جوی دارد محسوب می‌شود. بنابراین پایش پیوسته سطوح پوشیده از برف، از نظر مطالعات اقلیمی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی اهمیت ویژه‌ای دارد. امروزه در روند مدیریت کارآمد منابع آبی، به کارگیری داده‌های سنجنش از دور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به صورت عملیاتی اجرا می‌شود. پژوهش حاضر با هدف مقایسه عملکرد توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان و عملگرهای فازی شیء‌گرا در برآورد میزان سطح پوشش برف در کوه آلمابلاغ با استفاده از تصویر ماهواره Sentinel انجام گرفته است. در این راستا ابتدا عملیات پیش‌پردازش بر روی تصویر ماهواره‌ای اعمال گردید، سپس با استفاده از توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان شامل توابع خطی، چندجمله‌ای، پایه شعاعی و سیگموئید، فرآیند طبقه‌بندی پیکسل پایه انجام شد. همچنین پس از قطعه‌بندی، با استفاده از عملگرهای فازی شیء‌گرا شامل AND، OR، فرآیند طبقه‌بندی پیکسل پایه انجام شد. فرآیند طبقه‌بندی شیء‌گرا نیز انجام شد و میزان دقت هر کدام از نقشه‌های تولیدشده محاسبه گردید و در آخر براساس الگوریتمی که دارای بیشترین دقت بود، میزان سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه برآورد شد. در این تحقیق عملگر فازی AND دارای بیشترین مقدار دقت در نقشه‌های تولید شده در بین هر دو روش بود. لذا براساس نتایج تحقیق، روش‌های پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای به دلیل اینکه علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات مربوط به بافت، شکل، موقعیت، محتوا و ویژگی‌های هندسی نیز در فرآیند طبقه‌بندی استفاده می‌کنند در مقایسه با توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان، دستیابی به دقت بالاتر را امکان‌پذیر می‌سازند.

واژه‌های کلیدی: ماشین بردار پشتیبان، فازی، شیء‌گرا، سنجنش از دور، آلمابلاغ

۱- استادیار گروه جغرافیا (آب و هواشناسی)، دانشگاه پیام نور (نویسنده مسئول) gh.torkashvand@gmail.com

۲- کارشناس ارشد سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه پیام نور mostafa427@gmail.com

۱ - مقدمه

سطح پوشش برف یکی از سریع‌ترین پدیده‌های در حال تغییر در سطح زمین می‌باشد که به شدت بر آب و هوا، مقدار تابش و تعادل انرژی بین اتمسفر و زمین، سیکل هیدرولوژی و همچنین چرخه بیوژئوشیمیایی و حتی فعالیت‌های انسانی تأثیر می‌گذارد (Hou et al., 2019, Brown, 2000 Robinson et al., 1993). برآورد دقیق سطح پوشش برف به عنوان یکی از عملیات محوری و اساسی در زمینه مدیریت منابع آب، به ویژه در مناطقی که بارش برف سهم زیادی در نزولات جوی دارد محسوب می‌شود (داداشی و همکاران، ۱۳۹۳ به نقل از عادل، ۱۳۸۴). انباشت برف و ذوب تدریجی توده‌های برف، موجب فراهم آمدن شرایط مساعد برای نفوذ و تغذیه آب‌های زیرزمینی و ایجاد رودخانه‌های دائمی و فصلی در حوضه‌های آبریز می‌شود (صدیقی و همکاران، ۱۳۹۴ به نقل از مشایخی، ۱۳۶۹). از سوی دیگر رواناب حاصل از ذوب برف به دلیل نقش تأخیری آن، منبع اصلی تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و در برخی از موارد به دلیل هم‌زمانی با بارش‌های بهار، منشأ بروز سیلاب‌های مخرب با حجم جریان بیش از ظرفیت رودخانه‌ها می‌شود (میریغوب‌زاده و قنبرپور، ۱۳۸۹ به نقل از قنبرپور، ۱۳۸۳). در بسیاری از کشورهای نیمکره شمالی، ذوب برف منبع اصلی نیاز آبی برای فعالیت‌های اقتصادی، توسعه اجتماعی و رشد و گسترش آن‌ها می‌باشد (Horne, & Kawas, 1997). برآورد مقادیر آب بالقوه موجود از طریق تفسیر مقدار پوشش برف در حوضه‌های رودخانه‌ای در کشوری نظیر کشور ما که بخش اعظم آن کوهستانی است و مقادیر معتناهی از کل آب مصرفی اعم از آب‌های مصرفی شهری یا آبیاری زمین‌های کشاورزی از منابع نزولات کوهستانی حاصل می‌شود، دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای است (علیزاده ربیعی، ۱۳۹۱). بنابراین پایش پیوسته سطوح پوشیده از برف، از نظر مطالعات اقلیمی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی اهمیت ویژه‌ای دارد (رایگانی و همکاران، ۱۳۸۷ به نقل از Hall et al., ۱۹۹۸). از اواسط دهه ۱۹۷۰ انواع مختلفی از داده‌های سنجش از

دور با قدرت تفکیک مکانی متفاوت، برای برآورد میزان وسعت مکانی پوشش برف در مقیاس جهانی و همچنین در حوضه‌های آبریز محلی به کار رفته است (Pepe et al., 2010). محققان معتقدند که داده‌های سنجش از دور می‌توانند ارزیابی‌های بهتری از محدوده‌های پوشش برف نسبت به روش‌های مساحی سنتی ارائه دهند. از این رو امروزه در روند مدیریت کارآمد منابع آبی، به کارگیری داده‌های سنجش از دور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به صورت عملیاتی اجرا می‌گردد (میرموسوی و صبور، ۱۳۹۳). همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی در محیط GIS^۱ می‌توان به تهیه نقشه‌های پوشش برفی، ارزیابی تغییرات سطح پوشش برف با سری‌های زمانی مختلف، شناسایی برف از سایر عوارض و مدل‌سازی آن در سطح حوضه پرداخت (طالبی اسفندارانی و همکاران، ۱۳۹۰). در سنجش از دور، روش‌های پردازش تصویر به دو دسته کلی قابل تقسیم هستند. دسته اول روش‌هایی هستند که واحد پردازش آن‌ها پیکسل منفرد است. به این روش‌ها، روش‌های پیکسل مبنای^۲ گفته می‌شود. دسته دوم روش‌هایی است که واحد پردازش آن‌ها گروهی از پیکسل‌هاست که در این روش‌ها، واحد اصلی پردازش، گروه همگنی از پیکسل‌ها (به عنوان اشیای تصویری) است و بنابراین، تصویر در فضای شی پردازش می‌شود نه در فضای پیکسل. لذا به دلیل استفاده از شی به جای پیکسل منفرد، امکان تعریف خصوصیات دیگری علاوه بر خصوصیات طیفی، مانند ویژگی‌های شکل، اندازه، بافت و همسایگی نیز فراهم می‌شود (مومنی و همکاران، ۱۳۹۲). در سطح جهان، مطالعات زیادی در خصوص سنجش سطح برف و روند تغییرات آن با استفاده از سنجش از دور انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: مولگ^۳ و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای که بر روی نواحی کوهستانی ایتالیا انجام دادند به بررسی و کنترل پوشش برف تصاویر چند زمانه مودیس در مناطق با ارتفاع

1- Geographic Information System

2- Pixel Based Analysis

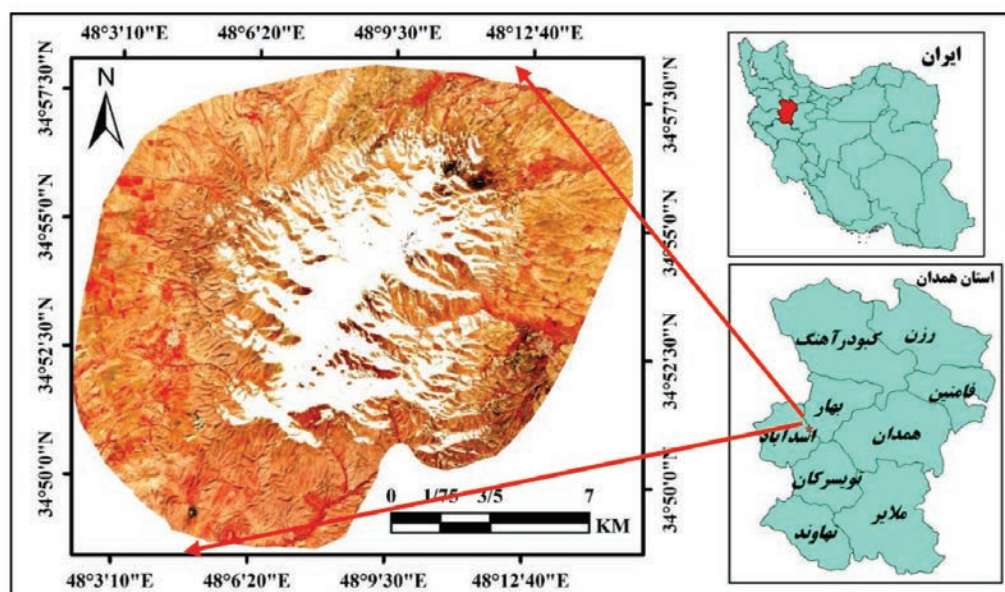
3- Molg

روشن‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه، هنگامی که اشیاء متفاوت زمینی با ارزش‌های عددی یکسان بر روی تصاویر رقومی ثبت می‌شوند محدود می‌گردد. برای حل این مشکل، روش طبقه‌بندی شیء گرا مطرح شده است. لذا در تحقیق حاضر، از مدل شیء گرا نیز به دلیل استفاده از شیء به جای پیکسل منفرد و امکان استفاده از اطلاعات مکانی و طیفی در فرآیند پردازش، استفاده شده است. همچنین در تحقیق حاضر، از تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری ماهواره Sentinel - 2B، به منظور استخراج سطح پوشش برف استفاده شده است که نسبت به تصاویر سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر، قابلیت بهتری در برآورد سطح پوشش برف خواهد داشت. لذا نوآوری تحقیق حاضر، استفاده از عملگرهای فازی شیء گرا، برای استخراج سطح پوشش برف از داده‌های ماهواره Sentinel - 2B با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر می‌باشد که با هدف مقایسه کارایی عملگرهای فازی شیء گرا نسبت به توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان در کوه آلمابلاغ شهرستان اسدآباد انجام گرفته است.

۲ - منطقه مورد مطالعه

کوه آلمابلاغ با ارتفاعی برابر با ۲۹۴۶ متر از سطح دریا، در شمال شهرستان اسدآباد و ۳۵ کیلومتری شمال غرب شهر همدان در محدوده جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد و یکی از ارتفاعات مهم غرب کشور و استان همدان به شمار می‌آید. براساس طبقه‌بندی آب و هوایی کوپن، کوه آلمابلاغ در زیر گروه آب و هوایی قاره ای با تابستان‌های خشک و زمستان‌های سرد و نیمه مرطوب (Dsb) قرار می‌گیرد. منطقه مذکور از پوشش گیاهی بسیار مناسب با تنوع گونه‌ای بالا، فرم‌های رویشی علفی، بوته‌ای و درختچه‌ای با کاربردهای دارویی و صنعتی برخوردار است (آستانی و همکاران، ۱۳۹۱). قدیمی‌ترین سنگ‌های این منطقه، نهشته‌هایی هستند که از سنگ‌های دگرگون شده آذرین بیرونی و درونی کم ژرفا،

زیاد پرداختند. در این مطالعه مجموعه تصاویر سری زمانی پوشش برف طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند و در نهایت نقشه‌های خروجی از ترکیب نقشه‌های پوشش برف آکوا و ترا به دست آمدند و بدین وسیله پیکسل‌های ابری و بدون مقدار را کاهش دادند. همچنین در این مطالعه از نقشه‌های پوشش برف به دست آمده از تصاویر سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست به منظور اعتبارسنجی نتایج استفاده شد که نتایج، بهبود طبقه‌بندی به وسیله ترکیب تصاویر آکوا و ترا را تأیید کرد. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۱) روند تغییرات پوشش برف در مناطق برف خیز ایران را با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در یک دوره ده ساله از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از آشکارسازی پوشش برف در این مطالعه حاکی از کاهش چشم‌گیر سطح پوشش برف در دوره ده ساله بوده است. میرموسوی و صبور (۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس و مقایسه بین روشن‌های طبقه‌بندی نظارت نشده و نظارت‌شده، به مطالعه پایش تغییرات پوشش برف در منطقه شمال غرب ایران در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ پرداختند. نقشه‌های خروجی مناسب‌ترین الگوریتم طبقه‌بندی، که در مطالعه آن‌ها طبقه‌بندی نظارت شده بود، نمایانگر کمترین مقدار پوشش برف در سال ۲۰۰۸ با ۱۰۴۰/۰۱ کیلومتر مربع و بیشترین مساحت پوشش برف مربوط به سال ۲۰۰۷ با ۱۰۴۷۱/۷۸ کیلومتر مربع می‌باشد. خسروی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM⁺ ماهواره لندست طی دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۱ پرداختند. نتیجه مطالعه این محققین بیانگر روند کاهشی مقدار سطوح برفی در سال ۲۰۱۱ نسبت به سال ۱۹۹۱ در منطقه مورد مطالعه بوده است. مرور پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که در مطالعات برآورد سطح پوشش برف، از الگوریتم‌های پیکسل پایه و تصاویر سنجنده مودیس بیشتر استفاده شده است. در حالی که توانایی



نگاره ۱: محدوده منطقه مورد مطالعه

توجه به کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه، به منظور بررسی وضعیت هندسی تصاویر ماهواره‌ای، از لایه‌های برداری جاده و آبراه‌های موجود در محدوده منطقه مورد مطالعه، از دقت هندسی تصاویر اطمینان حاصل گردید. سپس باندهای مورد نظر به صورت یک لایه اطلاعاتی با پسوند TIFF ذخیره شد. برای انجام فرآیند طبقه‌بندی توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان و محاسبه دقت آن‌ها از نرم‌افزار ENVI استفاده شد. از نرم‌افزار eCognition نیز برای قطعه‌بندی و طبقه‌بندی عملگرهای فازی شیء‌گرا و محاسبه دقت آن‌ها استفاده شد. در نهایت در محیط نرم‌افزار ArcMap، نقشه به دست آمده از الگوریتمی که بیشترین دقت را داشت، تبدیل به شیپ فایل گردید و مساحت سطح پوشش برف به دست آمد. نگاره ۲ نمایشگر مراحل انجام تحقیق می‌باشد.

۴- مبانی نظری تحقیق

۴-۱- ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان، یکی از متداول‌ترین طبقه‌بندی کننده‌های مورد استفاده در یادگیری ماشین^۳ است که داده‌ها را با استفاده از یک ابرصفحه جداکننده بهینه، تقسیم‌بندی می‌کند. یکی از مزیت‌های مهم ماشین بردار پشتیبان

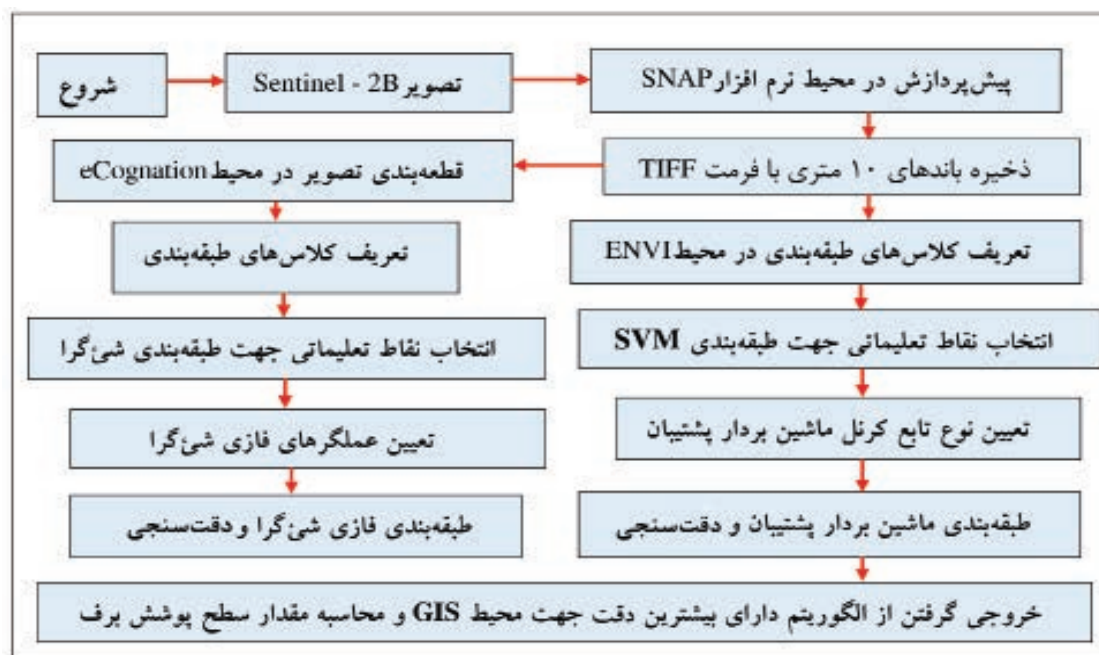
با میان لایه‌هایی از آهک‌های دولومیتی تبلور دوباره یافته، تشکیل شده‌اند و سن آن‌ها به پیش از تریاس نسبت داده شده است. از ویژگی‌های ساختاری جالب منطقه آلمابلاغ، ساختار گنبدی آن است و در نگاه کلی شبیه گنبدی است که مجموعه‌های قدیمی در بخش‌های مرکزی رخنمون دارد و واحدهای جوان‌تر، حلقه‌وار در اطراف مجموعه آلمابلاغ قرار گرفته‌اند (مجله و/یزدی کیان، ۱۳۸۶). نگاره ۱ نمایشگر موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان همدان می‌باشد. تصویر ماهواره‌ای موجود در نگاره ۱ مربوط به ترکیب باندی مادون قرمز، تصویر ماهواره Sentinel - 2B منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

۳- داده‌های مورد استفاده و روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، باندهای دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر ماهواره Sentinel - 2B شامل باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ مربوط به ۶ مارس ۲۰۲۰ میلادی برابر با ۱۶ اسفند سال ۱۳۹۸ می‌باشد. باندهای مورد نظر از سایت SentinelOnline با آدرس اینترنتی <https://sentinel.esa.int> دانلود گردید. به منظور اعمال تصحیحات رادیومتریکی از افزونه Sen2Cor^۱ موجود در نرم‌افزار SNAP^۲ استفاده شد. با

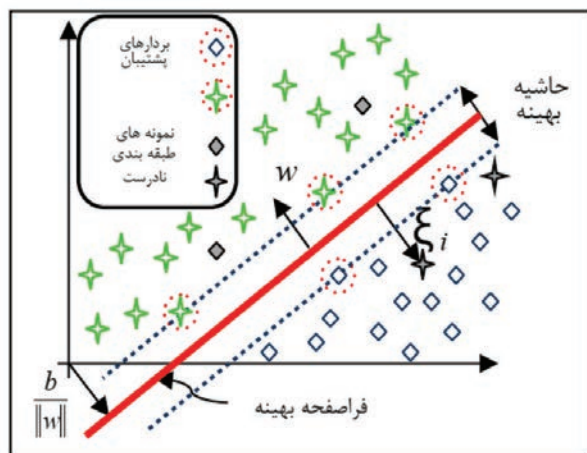
1- Plugin

2- Sentinel Application Platform



نگاره ۲: نمودار مراحل انجام تحقیق

دارد. به همین علت در طبقه‌بندی داده‌های چندطیفی و ابرطیفی روش مناسبی به‌شمار می‌رود. یکی از مزایای این الگوریتم این است که با نمونه‌های تعلیمی کوچک نیز می‌تواند دقت تصویر طبقه‌بندی شده خوبی ارائه دهد (دانشی و همکاران، ۱۳۹۵). در این الگوریتم برای تعریف نحوه قرارگیری ابرصفحه جداکننده، از کرنل‌هایی به شرح جدول ۱ استفاده می‌شود.



نگاره ۳: فراصفحه بهینه جداکننده دو کلاس در الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان (صمدزادگان و فردوسی، ۱۳۹۲)

برای کاربردهای سنجش از دور، توانایی آن در کارکردن با داده‌های با ابعاد بالا با استفاده از نمونه‌های نسبتاً کم آموزشی است (Jozdani et al, 2019, Vapnik, 1995). مدل ماشین بردار پشتیبان، یک الگوریتم یادگیری نظارت شده است که اغلب در تحلیل داده‌ها و تشخیص الگو، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Liuet al, 2020, Verrelst et al., 2015). ایده اصلی ماشین‌های بردار پشتیبان، یافتن یک فراصفحه بهینه به‌عنوان یک سطح تصمیم‌گیری برای جدا کردن دو کلاس با بیشترین حاشیه جداسازی می‌باشد (صمدزادگان و فردوسی، ۱۳۹۲ به نقل از Pham et al., ۲۰۰۷). در صورتی که نمونه‌ها به صورت خطی جداپذیر نباشند، با استفاده از یک کرنل غیرخطی به فضایی با ابعاد بالاتر منتقل می‌شوند و فراصفحه‌ای جداکننده در آن فضای جدید تعریف می‌شود (صمدزادگان و فردوسی، ۱۳۹۲ به نقل از Hric et al., ۲۰۱۱). نگاره ۳ نشان‌دهنده فراصفحه بهینه جداکننده دو کلاس می‌باشد. در واقع، ماشین بردار پشتیبان براساس مجموعه‌ای از داده‌های ورودی و آموزش نمونه‌ها، پیش‌بینی می‌کند که هر کدام از ورودی‌های داده شده به کدام یک از کلاس‌ها تعلق می‌گیرند (Priyadharshini et al, 2019). این الگوریتم به پدیده‌های فضاهای چندبعدی حساسیت کمتری

در این روش، پیکسل‌های مجاور با ارزش اطلاعاتی یکسان، یک واحد مجزا می‌باشند که به این واحدها سگمنت^۱ یا قطعه اطلاق می‌گردد. در واقع، قطعه‌ها مناطقی هستند که با یک یا چند معیار همگن در یک یا چند بعد در یک فضای مشخص تولید می‌شوند. بنابراین قطعه‌ها دارای اطلاعات طیفی اضافی مانند میانگین مقادیر در هر باند، میانه مقادیر، حداقل و حداکثر مقادیر، واریانس و غیره در مقایسه با تک پیکسل‌ها می‌باشند (Blaschke, 2010). به‌طور کلی این روش، از دو فرآیند کلی قطعه‌بندی و طبقه‌بندی تشکیل شده است (رحیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸ به نقل از Yan, 2003) در این رویکرد برای طبقه‌بندی تصاویر، علاوه بر استفاده از پارامتر طیفی، از پارامترهای فیزیکی و هندسی پدیده‌ها نیز برای ساخت سگمنت‌ها استفاده می‌شود (رحیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). قطعه‌بندی، با تکه کردن یک تصویر براساس ویژگی‌های مکانی به مناطق همگنی که فاقد همپوشانی هستند انجام می‌شود. فرآیند قطعه‌بندی، پیکسل‌های تصویر را به‌صورت رویکردی از پایین به بالا براساس معیار همگنی، برای تشکیل اشیاء بزرگ‌تر ادغام می‌کند و میزان ناهمگونی مکانی را کاهش می‌دهد (Sreekes et al, 2020). تلفیق روش‌های شیء‌گرا و فازی، طبقه‌بندی هر یک از قطعه‌های تصویری را با یک درجه عضویت مشخص فراهم می‌سازد. در این فرآیند، قطعه‌های تصویری با درجه عضویت متفاوت در بیش از یک کلاس طبقه‌بندی می‌شود و براساس درجه عضویت نسبت به هر کلاس، طبقه‌بندی آن قطعه تصویری صورت می‌گیرد که باعث افزایش دقت نهایی طبقه‌بندی می‌شود. در طبقه‌بندی شیء‌گرا، با تعیین ویژگی‌های مربوط به اطلاعات طیفی و ویژگی‌های هندسی کلاس‌ها در طی فرآیند پردازش تصویر، می‌توان از عملگرهای منطق فازی استفاده نموده و شرایط مناسب برای طبقه‌بندی را تعریف نمود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). در طبقه‌بندی فازی شیء‌گرا، به هر کدام از قطعه‌ها، درجه عضویتی بین صفر تا یک اختصاص داده می‌شود و تابع عضویت، درجه عضویت یک قطعه را به

جدول ۱: انواع کرنل‌های مورد استفاده در SVM

$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$	خطی ^۱
$K(x_i, x_j) = (gx_i^T x_j + r)^d, g > 0$	چندجمله‌ای ^۲
$K(x_i, x_j) = \exp(-g x_i - x_j ^2), g > 0$	پایه شعاعی ^۳
$K(x_i, x_j) = \tanh(gx_i^T x_j + r)$	سیگموئید ^۴

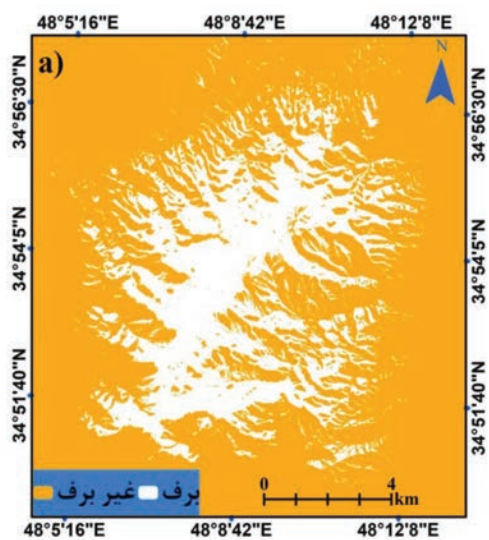
x_i, x_j مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی، g (گاما) یک پارامتر تعریف شده توسط کاربر به‌عنوان عرض کرنل، d درجه چندجمله‌ای، r اریب یا تمایل و T ماتریس واحد است. در کرنل‌های چندجمله‌ای، شعاعی و سیگموئید از پارامتری به‌عنوان پارامتر جریمه^۵ برای بهبود خطای طبقه‌بندی استفاده می‌شود که افزایش آن تا حدی باعث کم شدن خطای طبقه‌بندی می‌شود. همچنین در کرنل چندجمله‌ای و سیگموئید از یک مقدار به‌عنوان آستانه تحریک^۶ استفاده می‌شود (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

۴-۲- مدل شیء‌گرا

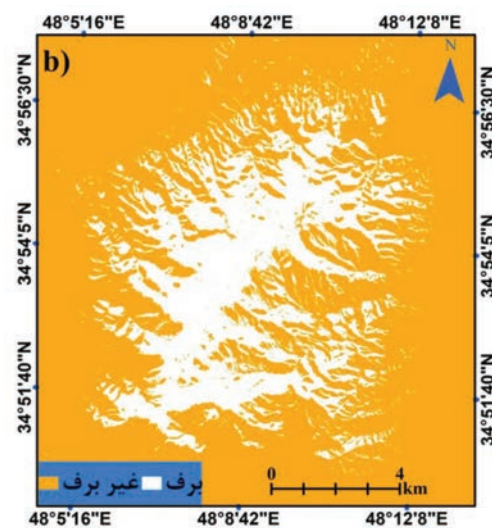
طی سال‌های اخیر با پدیدار شدن تصاویر قدرت تفکیک بالا، محدودیت‌های روش‌های پیکسل مبنا نیز روزبه‌روز برای این تصاویر برجسته‌تر شده است. با توجه به ناکارآمدی روش‌های پیکسل مبنا و تولید نتایج نامناسب و غیرواقعی این روش‌ها برای تصاویر قدرت تفکیک بالا، روش‌های پردازش مبتنی بر شیء معرفی شدند (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۲). تجزیه و تحلیل مبتنی بر شیء، یکی از تکنیک‌های پیشرفته پردازش تصویر است که برای ارزیابی تصاویر دیجیتالی و تضادهای معمول طبقه‌بندی پیکسل‌پایه، مبتنی بر روش‌های مختلف استفاده می‌شود. به‌طور سنتی تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر پیکسل، براساس اطلاعات موجود در هر پیکسل است در حالی که تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر شیء، مجموعه‌ای از پیکسل‌های مشابه به نام اشیاء یا اشیاء تصویر را در نظر می‌گیرد (Nanda et al, 2016).

- 1- Linear
- 2- Polynomial
- 3- Radial Basis Function
- 4- Sigmoid
- 5- Penalty Parameter
- 6- Bias

در محدوده مورد مطالعه، دو کلاس مناطق برفی و مناطق غیربرفی، برای برداشت نقاط تعلیماتی ایجاد شد و براساس پردازش بصری تصویر ماهواره‌ای، نقاط تعلیماتی مورد نیاز برای هر کلاس معین شد. به منظور طبقه‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، توابع کرنل خطی، چندجمله‌ای، پایه شعاعی و سیگموئید مورد استفاده قرار گرفت و نقشه طبقه‌بندی هر کدام به‌طور جداگانه تولید شد. نگاره‌های ۴ تا ۷ نمایشگر نقشه‌های تولیدشده از توابع کرنل الگوریتم ماشین بردار پشتیبان می‌باشد.



نگاره ۴: نقشه تولید شده از تابع خطی



نگاره ۵: نقشه تولید شده از تابع چندجمله‌ای

یک کلاس تعیین می‌کند. هر قطعه می‌تواند در بیش از یک کلاس عضویت داشته باشد (پیشماز/احمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول ۲ نشان‌دهنده عملگرهای فازی شی‌گرا می‌باشد.

جدول ۲: عملگرهای فازی شی‌گرا (Feizizadeh et al, 2017)

عملگر	علامت اختصاری	عملکرد
and (min)	AND	بیانگر اشتراک منطقی و شامل کمترین مقدار ارزش بازگشتی از ارزش‌های فازی
or (max)	OR	بیانگر اجتماع منطقی و شامل بیشترین مقدار ارزش بازگشتی از ارزش‌های فازی
Mean (geometric)	MGE	بیانگر میانگین هندسی ارزش‌های فازی
Mean (arithmetic)	MAR	بیانگر میانگین حسابی ارزش‌های فازی
Mean (geom. weighted)	MGWE	بیانگر میانگین هندسی وزن‌دار ارزش‌های فازی
and(*)	ALP	بیانگر اشتراک منطقی و حاصل ضرب ارزش‌های فازی

۳-۴- ارزیابی نتایج طبقه‌بندی

ارزیابی نتایج طبقه‌بندی، یکی از مراحل مهم پس از طبقه‌بندی است. بنابراین، این نکته را باید در نظر داشت که همیشه در کنار انجام طبقه‌بندی، نتایج آن نیز ارزیابی شوند. روش‌های مختلفی برای ارزیابی دقت وجود دارد. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی دقت، از دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شده است. برای این منظور، پس از انجام طبقه‌بندی، با استفاده از نقاط واقعیت زمینی، اقدام به ارزیابی دقت کلی و ضریب کاپای هر کدام از نقشه‌های طبقه‌بندی شده گردید. دقت کلی، میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد. ضریب کاپا، دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر ضریب کاپا، پس از حذف تأثیر شانس در طبقه‌بندی، مقدار تطابق با واقعیت زمینی را محاسبه خواهد کرد (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱: ۲۳۳).

۵- نتایج و بحث

پس از انجام تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی تصویر ماهواره‌ای، به منظور تهیه نقشه طبقه‌بندی سطح پوشش برف

ماهواره‌ای مورد استفاده می‌باشد.



نگاره ۸: قطعه‌بندی با مقیاس ۷۵، ضریب شکل ۰/۶ و ضریب فشردگی ۰/۸

پس از قطعه‌بندی تصاویر، برای کلاس‌های برف و غیربرف، براساس پردازش بصری تصویر، نقاط تعلیماتی مورد نیاز برای هر کلاس معین گردید. نگاره ۹ نشان‌دهنده برخی از نقاط تعلیماتی کلاس برف می‌باشد.



نگاره ۹: نمونه‌ای از نقاط تعلیماتی کلاس برف

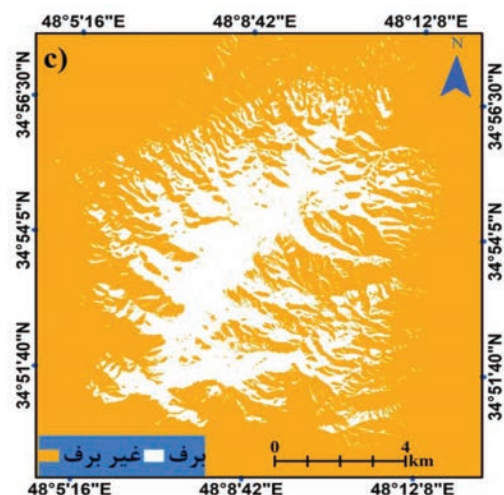
پس از انتخاب نمونه‌های تعلیماتی، پارامترهای مقادیر متوسط روشنایی^۱، میانگین^۲ و انحراف معیار^۳ به‌عنوان ویژگی‌های متمایزکننده کلاس‌ها، به‌منظور انجام فرآیند طبقه‌بندی شیء‌گرا انتخاب گردیدند. سپس با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی^۴، طبقه‌بندی شیء‌گرا برای هر کدام از عملگرهای فازی انجام گرفت. نقشه‌های به‌دست آمده از سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه با استفاده از عملگرهای فازی شیء‌گرا، در نگاره‌های ۱۰ تا ۱۵ ارائه شده است.

1- Brightness

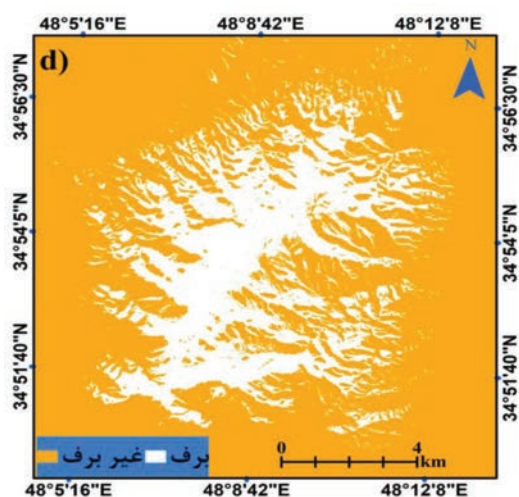
2- Mean

3- Standard Deviation

4- Nearest Neighbor



نگاره ۶: نقشه تولید شده از تابع پایه شعاعی

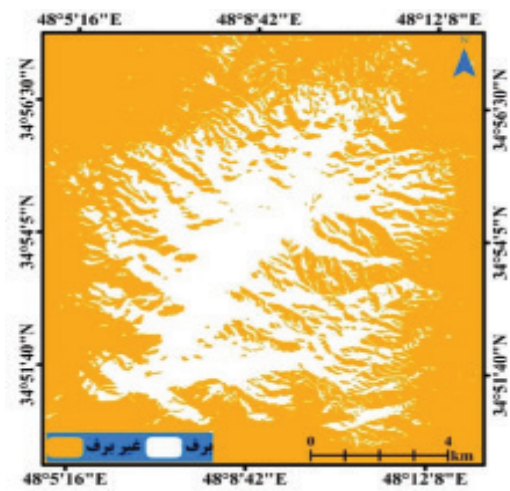


نگاره ۷: نقشه تولید شده از تابع سیگموئید

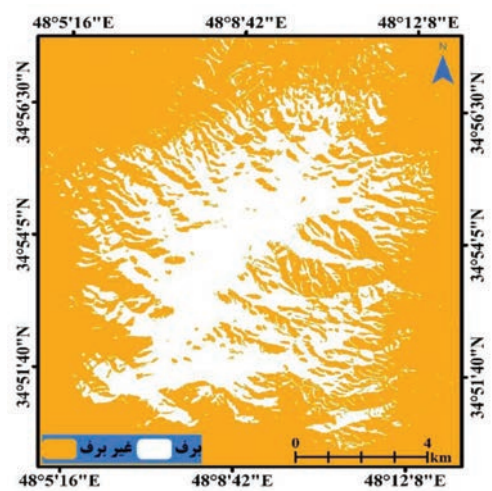
به منظور تهیه نقشه طبقه‌بندی عملگرهای فازی شیء‌گرا، تصویر ماهواره‌ای مورد نظر که در مراحل قبلی عملیات پیش‌پردازش بر روی آن انجام شده بود با فرمت TIFF، در نرم‌افزار eCognition فراخوانی شد و به‌صورت یک پروژه تعریف گردید. سپس دو کلاس برف و غیربرف برای انجام فرآیند طبقه‌بندی تعریف شد و برای هر کلاس نیز عملگر فازی مورد نظر معین گردید. برای قطعه‌بندی مناسب، قطعه‌بندی در مقیاس‌های مختلف با ضریب‌های وزنی شکل و فشردگی متفاوت انجام شد. کمیت‌های مقیاس ۷۵، ضریب شکل ۰/۶ و ضریب فشردگی ۰/۸، قطعه‌بندی مناسبی را ارائه می‌دادند. نگاره ۸ نشانگر قطعه‌بندی تصویر

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

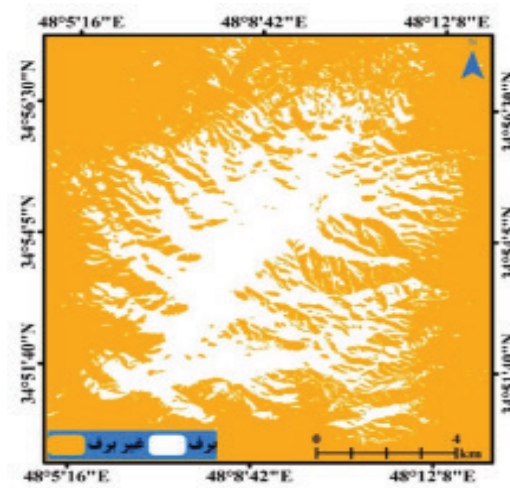
ارزیابی کارایی توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان و عملگرهای فازی شی‌گرا ... / ۱۸۳



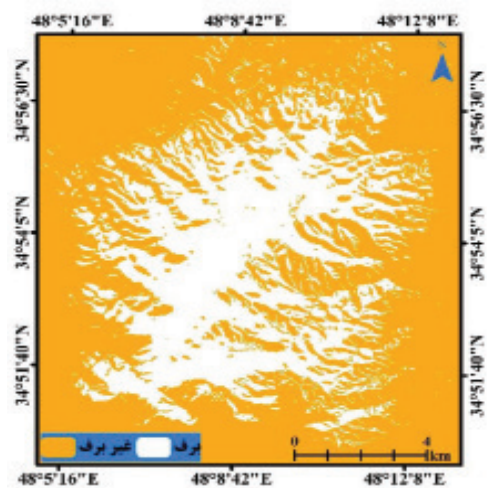
نگاره ۱۳: نقشه تولیدشده از عملگرفازی MAR



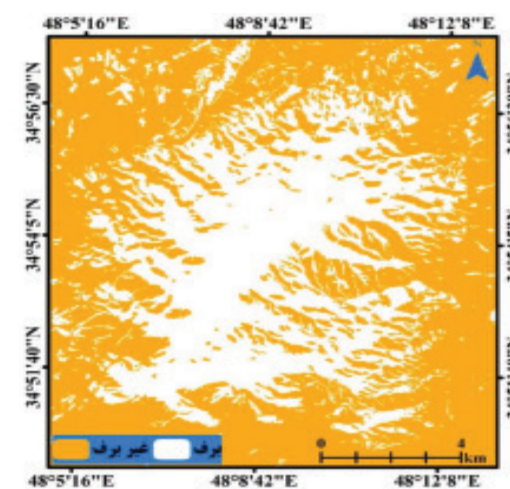
نگاره ۱۰: نقشه تولیدشده از عملگرفازی AND



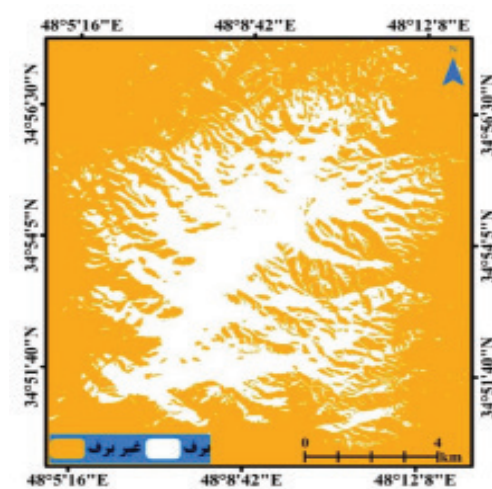
نگاره ۱۴: نقشه تولیدشده از عملگرفازی MGWE



نگاره ۱۱: نقشه تولیدشده از عملگرفازی OR



نگاره ۱۵: نقشه تولیدشده از عملگرفازی ALP



نگاره ۱۲: نقشه تولیدشده از عملگرفازی MGE

مساحت آن برحسب کیلومتر مربع محاسبه گردید. مقدار به‌دست آمده برای برآورد مساحت سطح پوشش برف در این تحقیق ۵۹ کیلومتر مربع می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، کارایی عملگرهای فازی شی‌گرا نسبت به توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان در استخراج و برآورد سطح پوشش برف با استفاده از باندهای ۱۰ متری ماهواره Sentinel - 2B مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از انجام عملیات پیش‌پردازش بر روی تصویر ماهواره‌ای، نقشه طبقه‌بندی توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان و عملگرهای فازی شی‌گرا تولید و میزان دقت آن‌ها برآورد گردید.

در این تحقیق از توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان خطی، چندجمله‌ای، پایه شعاعی و سیگموئید و همچنین از عملگرهای فازی شی‌گرا شامل MAR, MGE, OR, AND, MGWE و ALP استفاده شده است. نتایج تحقیق حاضر بیانگر این است که الگوریتم AND که بیانگر اشتراک منطقی و شامل کمترین مقدار ارزش بازگشتی از ارزش‌های فازی می‌باشد، با ۹۸ درصد در بین الگوریتم‌های مورد استفاده، دقت کلی بالاتری را ارائه می‌نماید.

در این تحقیق مشخص گردید، استفاده از باندهای دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر تصاویر ماهواره‌ای Sentinel - 2B و به‌کارگیری توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان و عملگرهای فازی شی‌گرا، کارایی لازم به منظور برآورد سطح پوشش برف در مناطق کوهستانی با دقت قابل قبول وجود دارد. لذا با توجه به کم هزینه بودن استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان با اطمینان، برای برآورد مساحت سطح پوشش برف در مناطق کوهستانی از این تصاویر استفاده نمود.

براساس نتایج این تحقیق، استفاده از عملگرهای فازی در پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای به‌دلیل اینکه علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات مربوط به بافت، شکل، موقعیت، محتوا و ویژگی‌های هندسی نیز در فرآیند

پس از تهیه نقشه سطح پوشش برف از طریق توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان و عملگرهای فازی شی‌گرا، اقدام به محاسبه دقت طبقه‌بندی هر کدام از الگوریتم‌های مورد استفاده شد. برای محاسبه دقت طبقه‌بندی، براساس پردازش بصری تصویر ماهواره‌ای، تعداد ۸۳ نقطه کنترل واقعیت زمینی از مناطق برفی و غیربرفی از تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق، انتخاب شد و دقت کلی و ضریب کاپا برای هر یک از توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان و عملگرهای فازی شی‌گرا محاسبه شد. جدول ۳ نمایانگر دقت کلی و ضریب کاپای به‌دست آمده در این تحقیق می‌باشد.

جدول ۳: نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی

الگوریتم	دقت کلی	ضریب کاپا
خطی	۹۴ درصد	۰/۸۶
چندجمله‌ای	۹۶ درصد	۰/۹۱
پایه شعاعی	۹۷ درصد	۰/۹۳
سیگموئید	۸۷ درصد	۰/۷۱
AND	۹۸ درصد	۰/۹۸
OR	۹۴ درصد	۰/۹۱
MGE	۹۶ درصد	۰/۹۴
MAR	۹۵ درصد	۰/۹۱
MGWE	۹۷ درصد	۰/۹۵
ALP	۹۶ درصد	۰/۹۴

با توجه به بالاتر بودن دقت طبقه‌بندی عملگر فازی شی‌گرای AND در این تحقیق، از نقشه طبقه‌بندی این عملگر به منظور برآورد مساحت سطح پوشش برف استفاده گردید. برای به‌دست آوردن مساحت سطح پوشش برف تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق، نقشه طبقه‌بندی تولیدشده از عملگر فازی شی‌گرای AND، از فرمت رستر به فرمت وکتور تبدیل گردید و شیپ فایل مناطق دارای برف در نرم‌افزار Arc Map استخراج و

منابع و مآخذ

- ۱- آستانی، پری پور، عزیزیان سروش؛ سجاد، محمود، امید (۱۳۹۱)، ارزیابی و امکان سنجی توانمندی های گردشگری منطقه حفاظت شده آلمابلاغ با استفاده از مدل SWOT، ششمین همایش ملی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران.
- ۲- ابراهیمی، غیبی، ملکوتی؛ هادی، ابوالحسن، حسین (۱۳۹۱)، روند تغییرات پوشش برف در مناطق برف خیز ایران با استفاده از داده های سنجنده مودیس، دو فصلنامه علمی و فنی نیوار، شماره ۷۸ و ۷۹، پاییز و زمستان ۱۳۹۱، صفحات ۱۲-۳.
- ۳- پیشنمازاحمدی، محمدزاده؛ مجید، کیوان (۱۳۹۶)، ارزیابی الگوی تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از تکنیک های فازی شیء گرا (مطالعه موردی: شهرستان کلیر)، نشریه جغرافیا و پایداری محیط، سال هفتم، شماره ۲۵، صفحات ۱۱۱ - ۹۵.
- ۴- خسروی، طاوسی، رئیس پور، امیدی قلعه محمدی؛ محمود، تقی، کوهزاد، محبوبه (۱۳۹۶)، بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از سنجش از دور، نشریه هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۲، پاییز ۱۳۹۶، صفحات ۴۴-۲۵.
- ۵- داداشی، مختاری، طیب، زرنگ، حسن آبادی؛ مریم، محمدحسین، علیرضا، نسیم، علی (۱۳۹۳)، محاسبه سطح برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (مطالعه موردی: استان تهران)، نخستین همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی در آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.
- ۶- دانشی، وفاخواه، پناهی؛ علیرضا، مهدی، مصطفی (۱۳۹۵)، مقایسه کارایی الگوریتم های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سیمینه رود)، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال هشتم، شماره ۲، صفحات ۸۶ - ۷۳.
- ۷- رایگانی، خواجه الدین، سلطانی کوپانی، براتی؛ بهزاد، طبقه بندی استفاده می نمایند در مقایسه با توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان، دست یابی به دقت بالاتر به منظور برآورد سطح پوشش برف را امکان پذیر می سازند. همچنین تحقیق حاضر نشان داد علی رغم کارایی بهتر عملگرهای فازی شیء گرا، توابع کرنل ماشین بردار پشتیبان نیز از دقت قابل قبولی در برآورد سطح پوشش برف برخوردار می باشند. به طوری که تابع کرنل پایه شعاعی، نسبت به سایر توابع ماشین بردار پشتیبان (خطی، چندجمله ای و سیگموئید) دارای دقت بیشتری در استخراج و برآورد سطح پوشش برف بود.
- برخلاف سایر تحقیقات گذشته مانند خسروی و همکاران (۱۳۹۶)، که از تصاویر ماهواره لندست با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و داداشی و همکاران (۱۳۹۳)، رایگانی و همکاران (۱۳۸۷)، میرموسوی و صبور (۱۳۹۳)، (Liu et al, (2020)، Lopez et al, (2008)، Molg et al, (2010) که از تصاویر سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر به منظور برآورد سطح پوشش برف استفاده کرده اند، در این تحقیق از باندهای دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر ماهواره سنتینل استفاده شده است. لذا با توجه به بهتر بودن قدرت تفکیک مکانی ماهواره سنتینل نسبت به سنجنده مودیس و ماهواره لندست، میزان سطح پوشش برف با دقت بیشتری استخراج و برآورد گردیده است.
- در این تحقیق مساحت سطح پوشش برف در تاریخ ۶ مارس ۲۰۲۰ میلادی برابر با ۱۶ اسفند سال ۱۳۹۸ به مقدار ۵۹ کیلومتر مربع برآورد گردید. با توجه به اهمیت دقت در استخراج و برآورد میزان سطح پوشش برف در مناطق کوهستانی، تحقیق حاضر می تواند الگوی مناسبی جهت پژوهشگران باشد. لذا برای پژوهش های بعدی پیشنهاد می گردد به منظور افزایش دقت برآورد سطح پوشش برف در مناطق کوهستانی، داده های سنجش از دور نوری با داده های راداری و تکنیک های تداخل سنجی تفاضلی راداری تلفیق گردد.

- ۱۴- فاطمی، رضائی؛ سیدباقر، یوسف، (۱۳۹۳)، مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، تهران.
- ۱۵- فیضی‌زاده، پیرنظر، زندکریمی، عابدی قشلاقی؛ بختیار، مجتبی، آرش، حسن (۱۳۹۴)، ارزیابی استفاده از الگوریتم‌های فازی در افزایش دقت نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده با روش‌های پردازش شی‌گرا، نشریه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۴، شماره ۹۴، صفحات ۱۱۷-۱۰۷.
- ۱۶- محجل، ایزدی‌کیان؛ محمد، لیلی (۱۳۸۶)، چین‌خوردگی‌های چندمرحله‌ای و سازوکار تشکیل آن‌ها در تکنونیک‌های موجود در ساختار گنبدی منطقه آلمابلاغ (باختر همدان)، نشریه علوم زمین، شماره ۶۶، سال ۱۷، صفحات ۱۳۳-۱۱۶.
- ۱۷- مؤمنی، خسروی، مستأجران؛ مهدی، ایمان، بهنوش (۱۳۹۲)، شی‌گرایی در پردازش تصاویر سنجش از دور، انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- ۱۸- میریعقوب‌زاده، قنبرپور؛ میرحسن، محمدرضا، (۱۳۸۹)، بررسی کاربرد نقشه‌های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در مدل‌سازی رواناب ذوب برف (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد کرج)، نشریه علوم زمین، تابستان ۱۳۸۹، سال نوزدهم، شماره ۷۶، صفحات ۱۴۱-۱۴۸.
- ۱۹- میرموسوی، صبور؛ سید حسین، لایلا، (۱۳۹۳)، پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه شمال غرب ایران، نشریه جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، تابستان ۱۳۹۳، صفحات ۱۸۱-۲۰۰.
- 20- Blaschke, T. (2010), Object based image analysis for remote sensing, Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 65, 2010. PP. 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- 21- Feizizadeh, B. Blaschke, T. Tiede, D. and Rezaei Moghaddam, M. H. (2017). Evaluation Fuzzy Operators of an Object Based Image Analysis for Detecting Landslides and their Changes. Journal of Geomorphology. 293, Part A, PP.240-254 <https://doi.org/10.1016/j>
- سید جمال‌الدین، سعید، سوسن (۱۳۸۷)، محاسبه تغییرات نقشه‌های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در دوره‌های فاقد تصویر، نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره ۴۴، تابستان ۱۳۸۷، صفحات ۳۳۱-۳۱۵.
- ۸- رحیم‌پور، مرید، کریمی، آیدین؛ مرتضی، سعید، نعمت‌الله، هارون (۱۳۹۸)، ارزیابی روش‌های پیکسل مبنا و شی‌گرا جهت تعیین تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه وان و مقایسه آن با حوضه دریاچه ارومیه، نشریه تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۵، شماره ۱، صفحات ۱۳-۱.
- ۹- رضایی‌مقدم، ولیزاده‌کامران، اندریانی، الماس‌پور؛ محمدحسین، خلیل، صغری، فرهاد (۱۳۹۴)، مقایسه روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در استخراج نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر لندست ۸ (مطالعه موردی: حوضه صوفی‌چای)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۲، صفحات ۱۸۳-۱۶۳.
- ۱۰- صدیقی، وفاخواه، جوادی؛ فاطمه، مهدی، محمد رضا، (۱۳۹۴)، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد لتیان)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال ششم، شماره ۱۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، صفحات ۵۴-۴۳.
- ۱۱- صمدزادگان، فردوسی؛ فرهاد، الهه (۱۳۹۲)، بررسی عملکرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری جمعیت مبنا به منظور بهینه‌سازی پارامترهای ماشین‌های بردار پشتیبان در طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتریک راداری، نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۳، شماره ۳، صفحات ۷۳-۶۵.
- ۱۲- طالبی اسفندارانی، علوی‌پناه، علی محمدی سراب، روستا؛ سمیه، سیدکاظم، عباس، حسن، (۱۳۹۰)، جداسازی ابر از برف در تصاویر مودیس با استفاده از الگوریتم Snow Map و الگوریتم ماسک ابر، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال سوم، شماره اول، بهار ۱۳۹۰، صفحات ۹۰-۷۱.
- ۱۳- علیزاده ربیعی، حسن، (۱۳۹۱)، سنجش از دور (اصول و کاربرد)، انتشارات سمت، تهران.

- Raj, K and Anandhi, V. (2019).Coconut Inventory and Mapping Using Object Oriented Classification. International journal of Current Microbiology and Applied Sciences, Vol.08, NO.08, PP, 58-65.
- 31- Rango, Albert, Salomonson, V.V. and Foster, J.L. (1977), Seasonal stream flow estimation in the Himalayan region employing meteorological satellite snow cover observation, Water Resources Research, 13, PP.109-112.
- 32- Sreekesh, S. Kaur, N and Sreerama Naik, S.R (2020), An OBIA and Rule Algorithm for Coastline Extraction from High and Medium Resolution Multispectral Remote Sensing Images, Journal of Remote Sensing in Earth Systems Sciences. <https://doi.org/10.1007/s41976-020-00032-z>
- geomorph.2017.06.002
- 22- Horne, F.E. & Kawas, M.L., (1997). Physics of the spatially averaged snowmelt process, Journal of Hydrology, No 191, P 179-207.
[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03063-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03063-6)
- 23- Hou, J. Huang, Ch. Zhang, Y. Guo, J. and Gu, J. (2019), Gap Filling of MODIS Fractional Snow Cover Products via Non-Local Spatio-Temporal Filtering Based on Machine learning Techniques, Journal of Remote Sensing, Vol 11(1).
<https://doi.org/10.3390/rs11010090>
- 24- Jozdani, Sh, E. Johanson, B.A. and Chen, D. (2019),Comparing Deep Neural Network Ensemble Classifiers and Support Vector Machine Algorithms for Object Based Urban Land Use/Land Cover Classification, Journal of Remote Sensing, Vol 11(14).<https://doi.org/10.3390/rs11141713>
- 25- Liu, C. Huang, Xi. Li, Xu. And Liang, T. (2020), MODIS Fractional Snow Cover Mapping Using Machine Learning Technology in a Mountainous Area, Journal of Remote Sensing, Vol 12(6), <https://doi.org/10.3390/rs12060962>
- 26 - Lopez, p. Sirguey, p. Arnaud, Y. Pouyaud, B. and Chevallier, P. (2008). Snow Cover monitoring in the Northern Patagonia Ice field using MODIS satellite images (2000-2006). Global and Planetary Change. Vol 61.
- 27- Molg, N. Rastner, P. Irsara, L. Notarnicola, C. Steurer, C. and Zebisch, M. (2010). Multi temporal MODIS snow cover monitoring over the alpine regions for civil protection applications in 30th EARSel symposium, 31st May, 3rd June.
- 28-Nanda, S. Yogesh palanivel, V. and Annadurai, R. (2016), SVM and OBIA based Comparative Analysis on LANDSAT Multi Temporal Data for Wetland Mapping, Indian Journal of Science and Technology, Vol 9(48).
- 29- Pepe, M. Boschetti, L. Brivio, P, A. and Rampini, A. (2010), Comparing the performance of fuzzy and crisp classifiers on remotely sensed images: a case of snow classification, International Journal of Remote Sensing, Vol. 31, No.23, PP. 6189-6203.<https://doi.org/10.1080/01431160903401395>
- 30-Priyadharshini, S. Rama Subramoniam, S. Ganesha

