



استخراج مساحت تحت پوشش برف کوهستان سبلان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست به روش

طبقه‌بندی شی‌گرا

بتول زینالی^{۱*}، احسان قلعه‌آ، شیوا صفری^۲

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۵

چکیده

پوشش برف و یخ یک منبع حیاتی بوده و به تغییرات اقلیم بسیار حساس می‌باشد. اندازه‌گیری دقیق و در فواصل زمانی منظم توزیع مکانی برف و یخ برای مدیریت منابع آبی ضروری می‌باشد. در این پژوهش اقدام به استخراج سطح پوشش برف کوهستان سبلان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ برای سال ۲۰۰۰ و لندست ۸ برای سال ۲۰۲۰ با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و همچنین با استفاده از شاخص‌های طیفی NDSI و NDSI_{NW} شد. نتایج بررسی نقشه‌های طبقه‌بندی مستخرج از روش شی‌گرا نشان داد که مساحت تحت پوشش برف برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۲۵۰۰ و ۱۹۵۴ کیلومترمربع می‌باشد که ضریب کاپا و صحت کلی برای هر دو سال به ترتیب ۰/۹۹ و ۹۹ درصد می‌باشد. سپس اقدام به استخراج مساحت تحت پوشش برف با استفاده از شاخص‌های طیفی NDSI و شاخص NDSI_{NW} شد. هر دو شاخص ذکر شده قادر به استخراج سطح پوشش برف با دقت نسبی مناسب در منطقه سرد و زمستانی هستند. ولی شاخص NDSI به دلیل اینکه تمایزی میان برف و آب قائل نمی‌شود مکن است نتایج متفاوتی در مناطقی با حضور عوارض آبی در ارتباط با استخراج مساحت تحت پوشش برف حاصل کند. در حالی که شاخص NDSI_{NW} با حذف پس‌زمینه عوارض آبی دقیق‌تر عمل می‌کند. در رابطه با تحقیق حاضر شاخص NDSI مقادیر مساحت تحت پوشش برف را ۲۶۱۰ و ۲۵۷۷ کیلومترمربع و شاخص NDSI_{NW} مقادیر ۲۵۷۷ و ۱۹۳۷ کیلومترمربع به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ استخراج کرده است که مساحت به دست آمده از شاخص NDSI_{NW} به دلیل حذف پس‌زمینه آبی منطقی‌تر بنظر می‌رسد.

کلمات کلیدی: طبقه‌بندی شی‌گرا، مساحت پوشش برف، شاخص‌های طیفی NDSI و NDSI_{NW}، کوهستان سبلان

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین منابع آب در مناطق کوهستانی، پوشش برف می‌باشد (شایان و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۴۰) که به طور قابل توجهی در میزان رواناب جاری شده در سطح زمین دخالت دارد (توماس^۱ و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۵۳۹؛ ووس^۲ و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۴). در عین حال، پوشش برف فصلی بر اجزای بیوتیک و کیفیت آب در رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارد (پاراجکا^۳ و همکاران، ۲۰۰۱: ۹). پوشش برف یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده‌ی آب شیرین بوده و بر سیستم هیدرولوژی ارتفاعات مختلف در مناطق کوهستانی تأثیر می‌گذارد (دونمز^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). تغییرات آب و هوایی تأثیر زیادی بر تنوع پوشش برف می‌گذارند (فرزین‌کیا و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۶۶) که به دنبال آن اثرات نامطلوب در رواناب حاصل از ذوب برف و تعادل جرم یخچال‌های طبیعی می‌گذارد (سود^۵ و همکاران، ۲۰۲۰: ۱). سنجش از راه دور با توجه به مزیتی که دارد می‌تواند مناطق بزرگ با وضوح مکانی و زمانی بالا را کنترل کند (منیکام و باروش^۶، ۲۰۲۰: ۳). این تکنولوژی توانایی اندازه‌گیری کمی خصوصیات فیزیکی برف و آب در مناطق دورافتاده و غیرقابل دسترس که اندازه‌گیری زمینی ممکن است گران‌قیمت و خطرناک باشد را فراهم می‌کند (کاستودیو^۷ و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۲۶). بنابراین می‌توان گفت در حوضه‌هایی که فاقد آمار دقیقی از پوشش برف می‌باشند می‌توان از این تکنولوژی برای استخراج پوشش برفی استفاده کرد (حقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۰۲). منطقه‌ی شمال غرب کشور منطقه‌ای کوهستانی بوده و برف حاصل از بارش‌های زمستانی نقش عمده‌ای در ایجاد جریان‌های فصلی و دائمی برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی و غیرکشاورزی در این منطقه ایفا می‌کند (بیات و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۱۱). کوهستان برف‌گیر سبلان واقع در شمال غرب کشور از جمله مناطق کوهستانی مهم کشور محسوب شده و لذا تعیین سطح پوشش برف در این منطقه جهت استفاده در پژوهش‌های کارشناسان علوم طبیعی، جغرافیدانان، مهندسين آب و برق ضروری به نظر می‌رسد و سنجش از دور و تصاویر حاصل از به‌عنوان ابزاری کارآمد در این امر محسوب می‌شوند. در پژوهش حاضر از روش طبقه‌بندی شی‌گرا و از بین شاخص‌های طیفی مورد استفاده توسط محققین شاخص NDSI (ژو^۸، ۲۰۰۶: ۳۰۲۷) و شاخص^۹ NDWI_{NS} (یان^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۰: ۴) برای تخمین سطح پوشش برف استفاده شده است. در مطالعه‌ای که توسط فیضی‌زاده و سیفی (۱۳۹۸) برای برآورد عمق برف با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و آب حاصل از آن انجام شده، از تصاویر ماهواره‌ای sentinel A1 و روش تداخل‌سنجی راداری (D-InSAR) برای برآورد عمق برف و تصاویر ماهواره‌ای Landsat ۸ و شاخص NDSI و روش طبقه‌بندی

1. Thomas
 2. Voss
 3. Parajka
 4. Donmez
 5. Sood

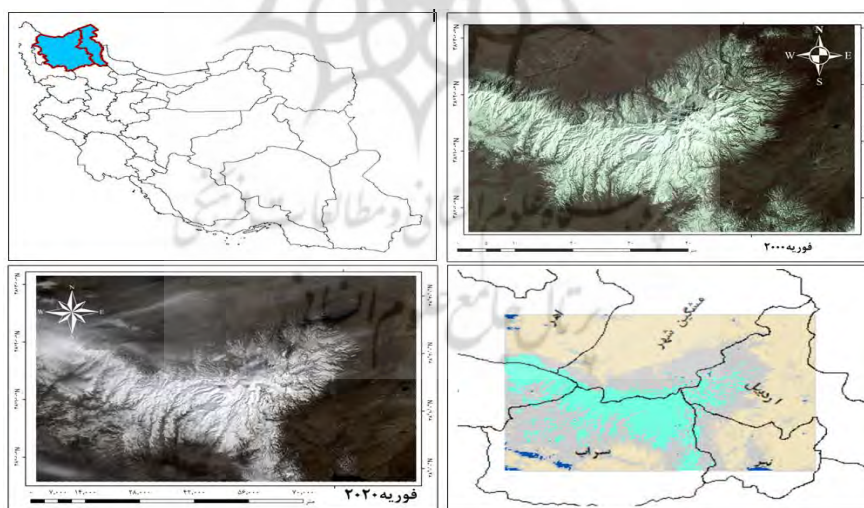
6. Manickam & Barros
 7. Custodio
 8. Xu
 9. Normalized Difference Water Index No Snow
 10. Yan

شی‌گرا موفق به برآورد سطح پوشش برف شده‌اند. حقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه‌ی بین تغییر اقلیم و میزان رواناب ناشی از برف در حوضه‌ی سراب لرستان پرداخته‌اند. آنها جهت انجام این کار اقدام به استخراج سطح پوشش برف با استفاده از شاخص تفاضلی نرمال شده برف (NDSI) بر روی تصویر لندست به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای این سنجنده استفاده کرده‌اند که این سطح پوشش برف استخراج‌شده را به عنوان ورودی به مدل هیدرولوژیکی رواناب ذوب برف (SRM⁷) جهت شبیه‌سازی رواناب مورد استفاده قرار داده‌اند. در مطالعه‌ای کدخدایی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی رواناب حاصل از برف در حوضه‌ی سهزاب در قسمت جنوبی سبلان پرداخته‌اند. آنها در این پژوهش از تصاویر سنجنده MODIS و با استفاده از الگوریتم Snow Map بر پایه شاخص NDSI اقدام به استخراج سطح پوشش برف کرده‌اند. در مطالعه‌ای دونمز و همکاران (۲۰۲۰) به اهمیت بررسی پوشش برف به عنوان منبع مهم تأمین کننده آب شیرین، در منطقه مدیترانه‌ای ترکیه به دلیل تغییر رژیم پوشش برفی این منطقه و در معرض خطر بودن کشاورزی و اکوسیستم منطقه پرداخته‌اند. آنها برای این کار از شاخص برف مقاوم در برابر آب (WRSI¹) بر روی داده‌های سنجنده مودیس و لندست ۸ استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که این شاخص بر روی داده‌های لندست به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای این سنجنده بهتر عمل می‌کند. یان و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای از شاخص‌های اصلاح شده آب و برف برای استخراج دریاچه و پوشش برف و یخ در سه ناحیه متفاوت از فلات تبت استفاده کردند. در این مطالعه از تصاویر سنجنده OLI، ETM+ و TM استفاده شده است. محققین در این پژوهش برای تفکیک و شناسایی بهتر انواع عارضه آبی و برف دو شاخص جدید با نام شاخص‌های تفاضلی نرمال شده آب با حذف پس‌زمینه آبی (NDWI_{NS}) و شاخص تفاضلی نرمال شده برف با محدود کردن پس‌زمینه آبی (NDSI_{NW}) پیشنهاد داده‌اند و توانایی این شاخص‌ها را در به تصویر کشیدن نقشه‌ی آب و برف و یخ در مقایسه با روش‌های قبلی استفاده شده نظیر NDSI و MNDWI به اثبات رسانده‌اند.

در این پژوهش سعی بر این است که با شاخص‌های طیفی برف NDSI و NDSI_{NW} اقدام به برآورد سطح پوشش برف در منطقه‌ی مورد مطالعه و بررسی نتایج حاصل از این شاخص‌ها شود. نوآوری پژوهش حاضر استفاده از شاخص جدید NDSI_{NW} مطرح شده توسط یان و همکاران (۲۰۲۰) در برآورد سطح پوشش برف می‌باشد که در هیچ یک از مطالعات داخلی دیگر مورد استفاده قرار نگرفته است. از سوی دیگر می‌توان به استفاده از طبقه‌بندی به‌روش شی‌گرا اشاره کرد که روشی جدید و با دقت بیشتر نسبت به طبقه‌بندی به‌روش پیکسل پایه است.

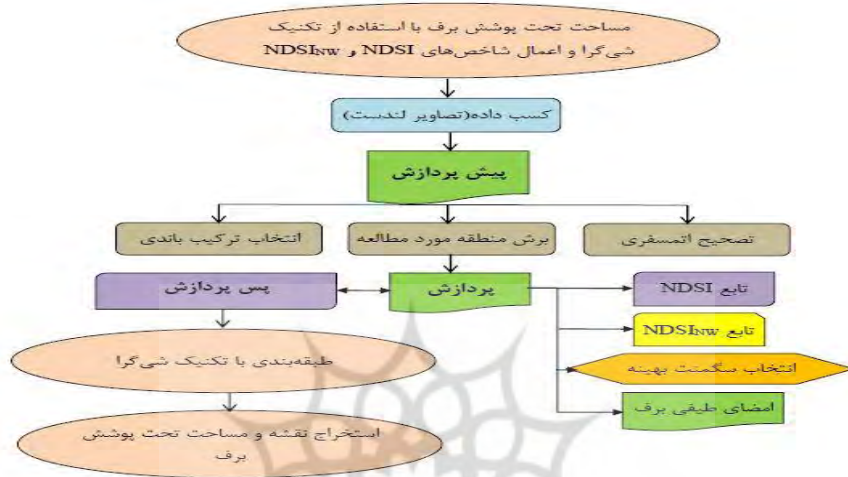
۲- مواد و روش

محدوده‌ی مورد مطالعه شامل کوهستان سبلان واقع در استان اردبیل و بخشی از استان آذربایجان شرقی به دلیل هم‌جواری با دامنه‌ی اطراف سبلان می‌باشد. بلندترین نقطه منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به کوه سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر از سطح دریا واقع در ۳۵ کیلومتری غرب شهر اردبیل و ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان مشکین‌شهر می‌باشد. این کوه در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی واقع شده است و به عنوان سومین قله‌ی بلند ایران پس از دماوند و علم‌کوه به شمار می‌رود. همچنین شهرستان‌های مهم سراب واقع در شرق استان آذربایجان شرقی با ارتفاع متوسط ۱۶۵۰ متر از سطح دریا با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۹۰ دقیقه شمالی و اهر واقع در شمال شرق این استان با ارتفاع متوسط ۱۳۵۰ متر از سطح دریا با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی، بدلیل متأثر بودن از اقلیم کوهستان سبلان جزو منطقه‌ی مورد مطالعه در نظر گرفته شده‌اند. شکل ۱ محدوده‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه
 Fig (1): Geographical location of the study area

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای سال ۲۰۲۰ و تصویر لندست ۵ برای سال ۲۰۰۰ استفاده شده که تصاویر هر دو سال مربوط به ماه فوریه به دلیل وجود برف کافی جهت استخراج مساحت تحت پوشش برف می‌باشد و سعی گردید تصاویری با حداقل خطا انتخاب شوند. شکل ۲، مراحل پژوهش و جدول ۱، مشخصات تصاویر مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل (۲): مراحل و روند پژوهش
Fig (2): Flowchart of the research

جدول (۱): اطلاعات تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ (متادیتا تصاویر)

Table (1): Information of Landsat 5 and 8 Satellite Images (Metadata Images)

نوع ماهواره و سنجنده	باند	طول موج (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
سنجنده TM لندست ۵	باند ۱ - آبی	۰/۴۵-۰/۵۲	۳۰
	باند ۲ - سبز	۰/۵۲-۰/۶۰	۳۰
	باند ۳ - قرمز	۰/۶۳-۰/۶۹	۳۰
	باند ۴ - مادون قرمز نزدیک	۰/۷۶-۰/۹۰	۳۰
	باند ۵ - مادون قرمز موج کوتاه ۱	۱/۵۵-۱/۷۵	۳۰
	باند ۶ - حرارتی	۱۰/۴۰-۱۲/۵۰	۱۲۰*۳۰
	باند ۷ - مادون قرمز موج کوتاه ۲	۲/۰۸-۲/۳۵	۳۰
سنجنده OLI لندست ۸	باند ۱ - ماورای آبی	۰/۴۳۵-۰/۴۵۱	۳۰
	باند ۲ - آبی	۰/۴۵۲-۰/۵۱۲	۳۰
	باند ۳ - سبز	۰/۵۳۳-۰/۵۹۰	۳۰
	باند ۴ - قرمز	۰/۶۳۶-۰/۶۷۳	۳۰
	باند ۵ - مادون قرمز نزدیک	۰/۸۵۱-۰/۸۷۹	۳۰
	باند ۶ - مادون قرمز موج کوتاه ۱	۱/۵۶۶-۱/۶۵۱	۳۰
	باند ۷ - مادون قرمز موج کوتاه ۲	۲/۱۰۷-۲/۲۹۴	۳۰
سنجنده TIRS لندست ۸	باند ۱۰ - مادون قرمز حرارتی ۱	۱۰/۶۰-۱۱/۱۹	۱۰۰*۳۰
	باند ۱۱ - مادون قرمز حرارتی ۲	۱۱/۵۰-۱۲/۵۱	۱۰۰*۳۰

۲-۱- پیش پردازش تصاویر

تصاویر اخذ شده پس از حصول اطمینان از عدم وجود خطاهای رایج و تصحیح اتمسفری با استفاده از مدل FLAASH^۱ در نرم افزار ENVI5.3، موزاییک شده، سپس قسمتی از تصویر بر اساس پژوهش برش داده شد. تصاویر در نرم افزار eCognition در سه کلاس آب، خاک و برف طبقه بندی شده سپس نتیجه طبقه بندی به نرم افزار ArcGIS انتقال داده شده و در آنجا مساحت تحت پوشش برف محاسبه شد.

۲-۲- سگمنت سازی

سگمنت ازی اساس کار طبقه بندی شی گرا می باشد و هر چقدر فرآیند سگمنت سازی با دقت بیشتری انجام شود، مستقیماً در کیفیت طبقه بندی تأثیرگذار خواهد بود (سیفی و همکاران، ۱۳۹۶: ۸۳). سگمنت سازی در واقع تقسیم یک تصویر به بخش های مختلفی است که به طور ایده آل مطابق با عوارض روی زمین می باشد (کاکه ممی و همکاران، ۱۳۹۹: ۳۲). در فرآیند سگمنت سازی مفسر می تواند با در نظر گرفتن پارامترهای مقیاس^۲، وزن داده شده به باندها، شکل، معیار نرمی، بافت و ضریب فشردگی تصویر، فرآیند سگمنت سازی تصویر را انجام دهد. برای سگمنت سازی در پژوهش حاضر باید مقیاسی انتخاب شود که بتواند برف موجود در نقاط مختلف تا جای ممکن استخراج کند. در نتیجه از روش سگمنت سازی چند تفکیکه با تجزیه و تحلیل نتایج سگمنت سازی با مقیاس های مختلف، با در نظر گرفتن اندازه مقیاس ۵ برای تصویر ۲۰۰۰ و مقیاس ۳۰ برای تصویر ۲۰۲۰ با مقادیر نرمی^۳ و پارامتر فشردگی^۴ به ترتیب ۰/۴ و ۰/۶ استفاده شده است.

۲-۳- طبقه بندی

طبقه بندی شی گرا تصویر یکی از روش های رایج برای طبقه بندی تصویر بوده که در آن علاوه بر ارزش های عددی از اطلاعات مربوط به بافت، شکل و تن رنگ در فرآیند طبقه بندی استفاده می شود. توانایی روش طبقه بندی پیکسل پایه هنگامی که اشیای متفاوت زمینی، با ارزش های عددی یکسان بر روی تصویر رقومی ثبت می شوند، محدود است (کاکه ممی و همکاران، ۱۳۹۹: ۳۲). در این پژوهش طبقه بندی در ۳ کلاس آب، خاک و برف برای هر دو سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ انجام شده است. پس از انجام سگمنت سازی سه کلاس آب، برف و خاک به تصویر معرفی شده و سپس پارامترهای لازم از جمله بافت، میانگین باندهای لازم با توجه به امضای طیفی برف و تن جهت انجام به نرم افزار معرفی شده و بر روی کلاس ها اعمال شد. سپس جهت نهایی شدن کار از سگمنت های

1. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube
 2. Scale

3. Shape
 4. Compactness

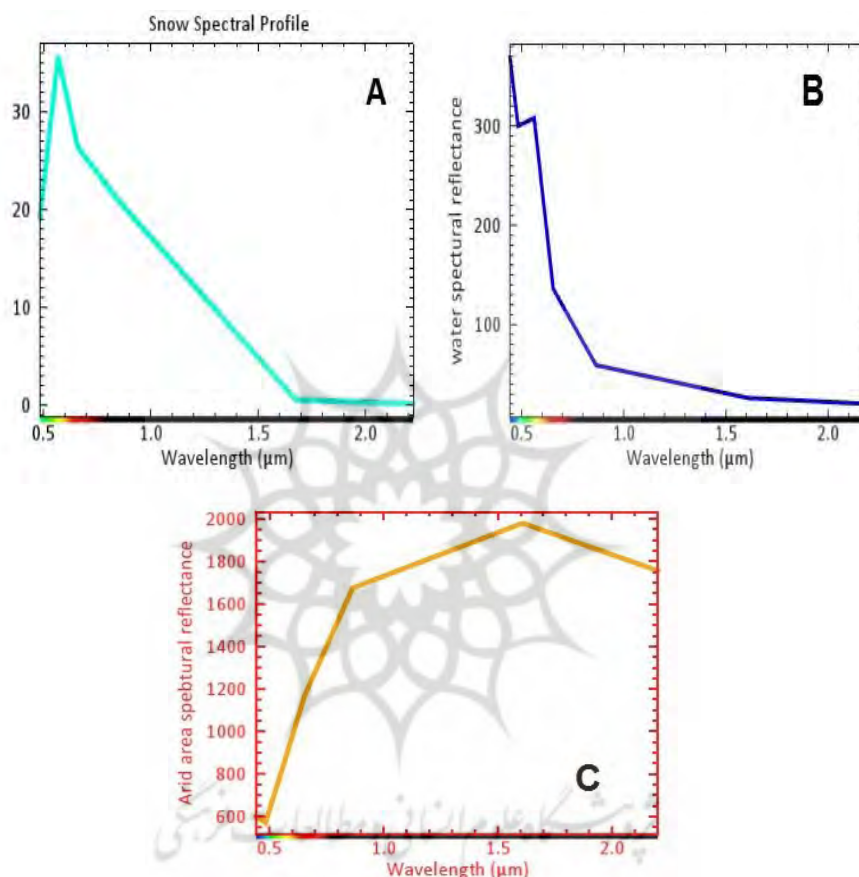
ایجاد شده تا زمان ایجاد اشباع کلاسی نمونه‌گیری انجام شد و با استفاده از تابع Classification طبقه‌بندی اجرا شد.

۲-۴- الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه‌ی قابلیت دستیابی به دقت بالا در فرآیند طبقه‌بندی به دلیل استفاده از اطلاعات مربوط به بافت، شکل، موقعیت و محتوا، علاوه بر اطلاعات طیفی را دارد (فیضی‌زاده، ۱۳۹۶: ۱۸۱). در فرآیند طبقه‌بندی با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه در روش طبقه‌بندی شی‌گرا، پیکسل‌ها بر اساس وزنشان به کلاس‌های مختلف نسبت داده می‌شود (طبقه‌بندی نرم). در این روش طبقه‌بندی، پیکسل آمیخته از یک درجه عضویت برای هر کلاس برخوردار است و بر اساس منطق فازی متناسب با بیشترین درجه عضویت در یک کلاس خاص طبقه‌بندی می‌شوند (سلمانی و همکاران به نقل از مینت و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰۸). به منظور کاربرد روش فازی در طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه، توابع عضویت چند بعدی به طور اتوماتیک تولید شده است. تمام کلاس‌های ارزیابی در این الگوریتم به وسیله ارزیابی ارزش‌هایی در محدوده صفر (عدم ارزیابی) تا یک (ارزیابی کامل) انجام می‌شود. بدیهی است که شی‌های تصویری مستقر در فضای عوارض نمونه‌ها، از درجه عضویت بالایی برای آن کلاس برخوردارند (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰۸).

۲-۵- امضای طیفی برف

بازتاب طیفی پدیده آب و SCG^۱ با استفاده از مدل FLAASH بر مبنای تصویر چند طیفی لندست بررسی شده است. آن چیزی که مشخص است این است که بازتاب پهنه آبی و SCG روند کاهشی و بازتاب زمین بایر روند افزایشی از باند مرئی به سمت باند مادون قرمز نشان می‌دهد. مطالعات قبلی از این ویژگی و با استفاده از نادیده گرفتن پس‌زمینه تصویر برای تشخیص دو پدیده آب و SCG استفاده می‌کردند. تفاوت‌های جزئی بین بازتاب طیفی این دو پدیده بررسی شده است که این تفاوت‌های جزئی عبارت‌اند از: (۱) بازتاب طیفی عوارض آبی از باند سبز به سمت مادون قرمز روند کاهشی، درحالی‌که بازتاب SCG حالت پایدار یا نوسانی از باند سبز به سمت باند مادون قرمز نشان می‌دهد. (۲) بازتاب طیفی SCG به صورت ناگهانی کاهش می‌یابد. درحالی‌که بازتاب پهنه‌ی آبی حالت پایدار یا کاهش ناچیزی را از باند مادون قرمز نزدیک به سمت مادون قرمز کوتاه نشان می‌دهد (یان و همکاران، ۲۰۲۰: ۶) (شکل ۳).



شکل (۳): (A) انعکاس طیفی برف، (B) انعکاس طیفی آب، (C) انعکاس طیفی خاک
Fig (3): (A) Spectral reflection of snow, (B) Spectral reflection of water, (C) Spectral reflection of soil

۲-۶- شاخص تفاضلی نرمال شده SCG با صرف نظر از آب ($NDSI_{NW}$)

تفاضل بین باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز کوتاه در ناحیه SCG بالا و در مناطق آبی پایین می ماند. نرمال سازی تفاضل باند مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز کوتاه مقدار شاخص را برای مناطق SCG با سطح بالا و برای مناطق آبی با سطح پایین حفظ می کند. برای کاهش چشمگیر تأثیر آب در این شاخص مقدار مثبت (۰/۰۵) از تفاضل مقدار بین باند مادون قرمز نزدیک و باند مادون قرمز کوتاه کم می شود. بنابراین شاخص $NDSI_{NW}$ برای استخراج SCG و نادیده گرفتن نویز حاصل از عوارض آبی استفاده می شود و در استخراج مساحت تحت پوشش برف می تواند دقیق تر عمل کند (هو و جیائو، ۲۰۱۵: ۱۱۵).

$$NDSI_{nw} = \frac{p_{NIR} - p_{SWIR1} - b}{p_{NIR} + p_{SWIR1}} \quad (1)$$

p_{NIR} : انعکاس طیفی باند مادون قرمز نزدیک

p_{SWIR1} : انعکاس طیفی باند مادون قرمز کوتاه

b : یک پارامتر تجربی بوده که بر اساس منطقه‌ی مورد مطالعه مقداردهی می‌شود که در اینجا مقدار ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است.

۲-۷- شاخص نرمال شده تفاضلی برف (NDSI/MNDWI)

شاخص NDSI بر مبنای نرمال‌سازی تفاضل باندهای سبز و SWIR1 بر روی تصاویر مودیس پیشنهاد شد (تیلور^۱ و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۲۵). مطابق با فیزیک سنجش از دور، NDSI بر مبنای این واقعیت است که بازتاب طیفی برف در باند مرئی بیشتر از بازتاب آن در محدوده‌ی مادون قرمز میانی است. بعد از یک دهه شاخص MNDW از ترکیب این دو باند برای استخراج عوارض آبی بر مبنای داده‌های لندست استفاده کرد (ژو، ۲۰۰۶). شاخص‌های NDSI و MNDWI جزو مطرح‌ترین روش‌ها برای پیاده‌سازی نقشه‌های SCG می‌باشند (رابطه‌ی ۲). با توجه به اینکه این شاخص پوشش سطحی برف را بدون نادیده گرفتن عوارض آبی استخراج می‌کند، در محاسبه این مقادیر می‌تواند دارای خطا باشد.

$$[NDSI/MNDWI] = \frac{p_{GREEN} - p_{SWIR1}}{p_{GREEN} + p_{SWIR1}} \quad (2)$$

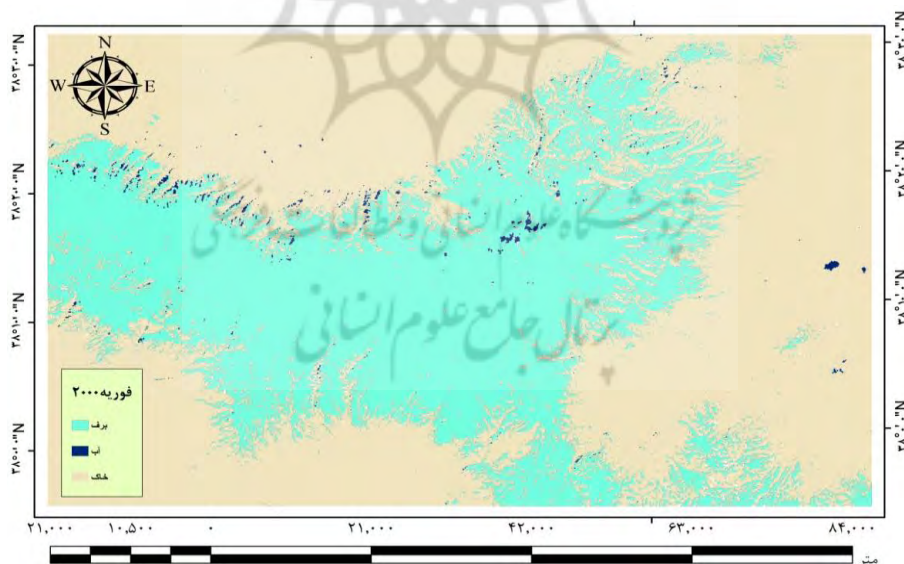
p_{GREEN} : انعکاس طیفی باند سبز

p_{SWIR1} : انعکاس طیفی باند مادون قرمز کوتاه..

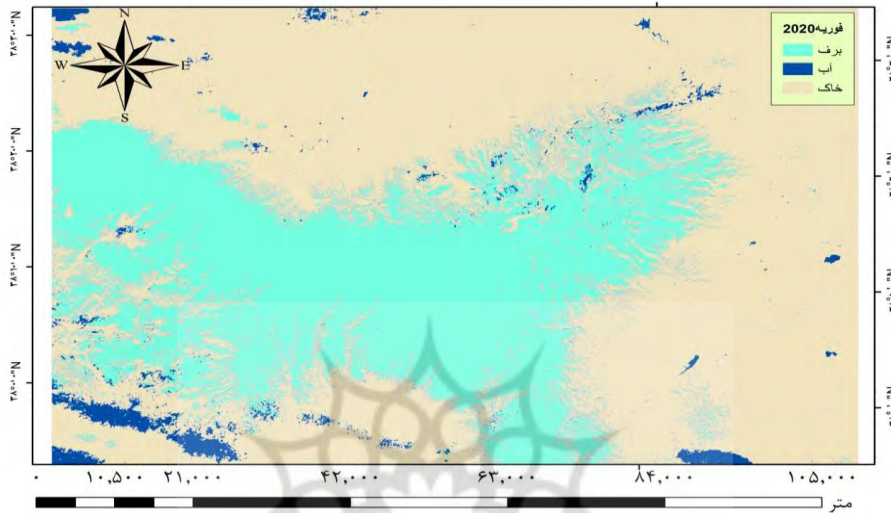
۳- یافته‌ها و بحث

در این پژوهش جهت حصول نقشه‌ی پوشش برف و مساحت تحت پوشش آن با استفاده از طبقه‌بندی به روش شی‌گرا و همچنین اعمال شاخص‌های NDSI و NDSI_{nw} استفاده شده است. در روش طبقه‌بندی شی‌گرا که سگمنت‌سازی اساس کار می‌باشد، از روش سگمنت‌سازی چند تفکیکه (Multi Resolution Segmentation) با انتخاب سگمنت مناسب از طریق آزمون و خطا برای تصاویر ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ استفاده شده است که عدد سگمنت ۵ برای تصویر ۲۰۰۰ و عدد ۳۰ برای سال ۲۰۲۰ استفاده شد و با انتخاب وزن مناسب برای باندها به خصوص در باندهای SWIR1 و باند سبز به دلیل تفاوت انعکاس طیفی برف و همچنین اعمال پارامترهای مناسب نظیر

بافت و میانگین باندها و با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه بر روی سه کلاس آب و خاک و برف اقدام به طبقه‌بندی شد. در پژوهش حاضر از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه به دلیل امکان اعمال اتوماتیک توابع و بهینه بودن زمان اعمال این الگوریتم و عدم دخالت کاربر (که می‌تواند منجر به ایجاد خطا در نتیجه نهایی شود) جهت انجام تکنیک شی‌گرا در طبقه‌بندی استفاده شده است. به طوری که سلمانی و همکاران (۱۳۹۶) و لایبرت و همکاران (۲۰۰۶) به بهینه بودن الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه در طبقه‌بندی شی‌گرا اشاره کرده‌اند. همچنین فیضی‌زاده (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه به نتایج قابل قبولی دست یافته و افزایش صحت در این الگوریتم را سگمنت‌سازی صحیح و انتخاب درست پارامتر مقیاس معرفی کرده است که در پژوهش حاضر نیز با تجزیه و تحلیل نتایج سعی در تعیین درست این پارامترها شده است. مساحت تحت پوشش برف استخراج شده با استفاده از روش شی‌گرا به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ مقادیر ۲۵۰۰ و ۱۹۵۴ کیلومتر مربع محاسبه شده است. شکل‌های ۴ و ۵ نقشه سطح پوشش برف به وسیله طبقه‌بندی شی‌گرا را نشان می‌دهد.



شکل (۴): پوشش سطح برف مربوط به فوریه ۲۰۰۰ به روش طبقه‌بندی شی‌گرا
Fig (4): Snow cover for February 2000 by object-oriented classification method



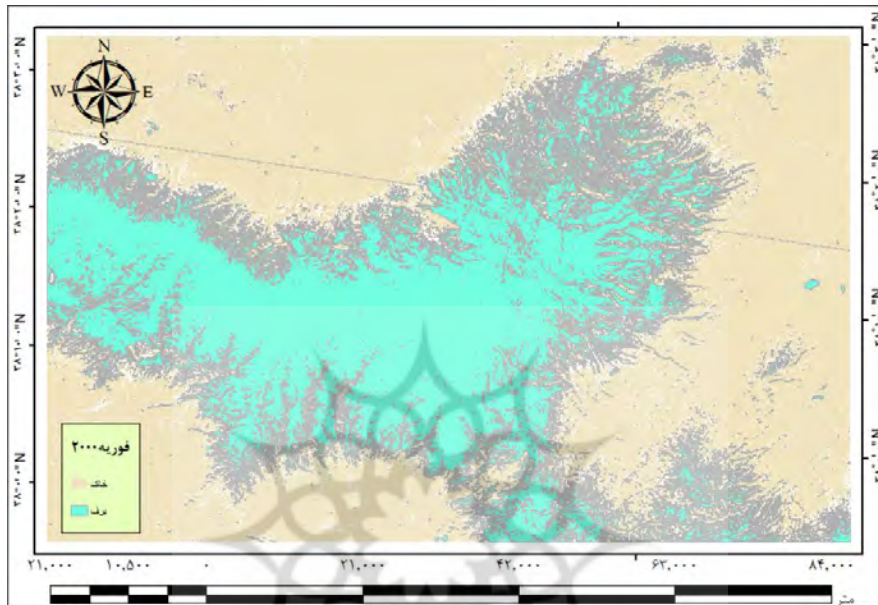
شکل (۵): پوشش سطح برف مربوط به فوریه ۲۰۲۰ به روش طبقه‌بندی شی‌گرا
Fig (5): Snow cover for February 2020 by object-oriented classification method

در ادامه با شاخص‌های NDSI و $NDSI_{NW}$ نیز اقدام به استخراج پوشش سطح برف شد (شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹) و با سطوح برف استخراج شده به روش طبقه‌بندی شی‌گرا مقایسه گردیدند. مقادیر ۲۵۵۷ و ۱۹۳۷ کیلومتر مربع با اعمال شاخص $NDSI_{NW}$ و ۲۶۱۰ و ۲۵۷۷ کیلومتر مربع با اعمال شاخص NDSI به عنوان مساحت تحت پوشش برف استخراج گردید (جدول ۲).

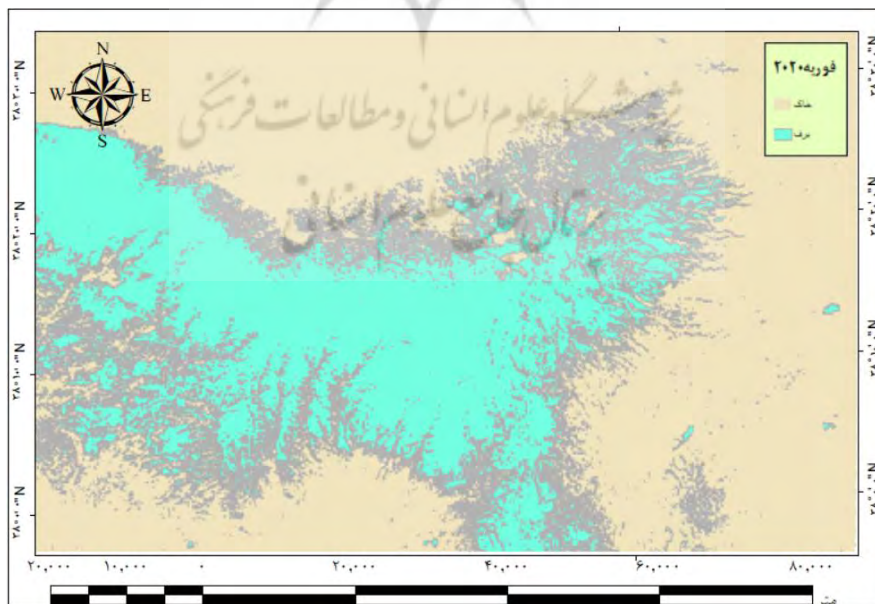
جدول (۲): مساحت‌های استخراج شده از روش‌های مختلف

Table (2): Areas extracted from different methods

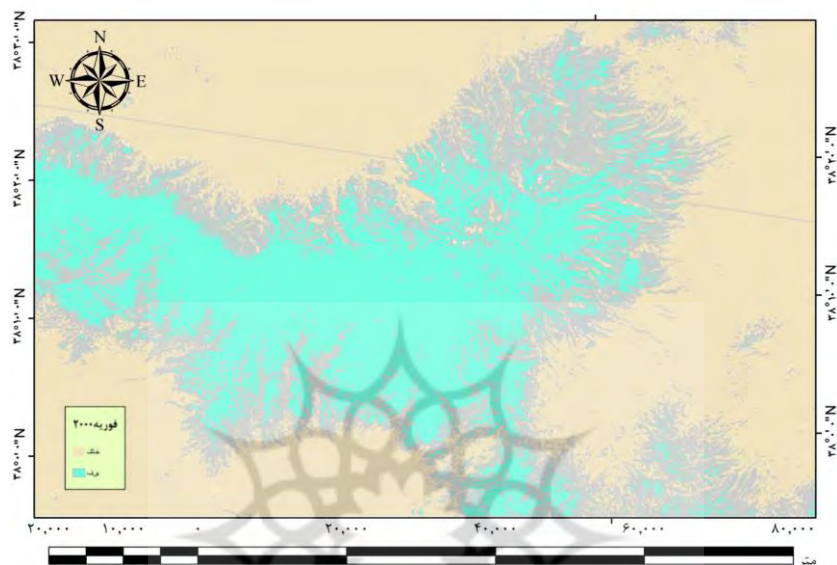
تصویر مورد استفاده	مساحت استخراج شده (کیلومتر مربع)		
	شاخص NDSI	شاخص $NDSI_{NW}$	روش شی‌گرا
فوریه ۲۰۰۰	۲۶۱۰	۲۵۷۷	۲۵۰۰
فوریه ۲۰۲۰	۲۵۷۷	۱۹۳۷	۱۹۵۴



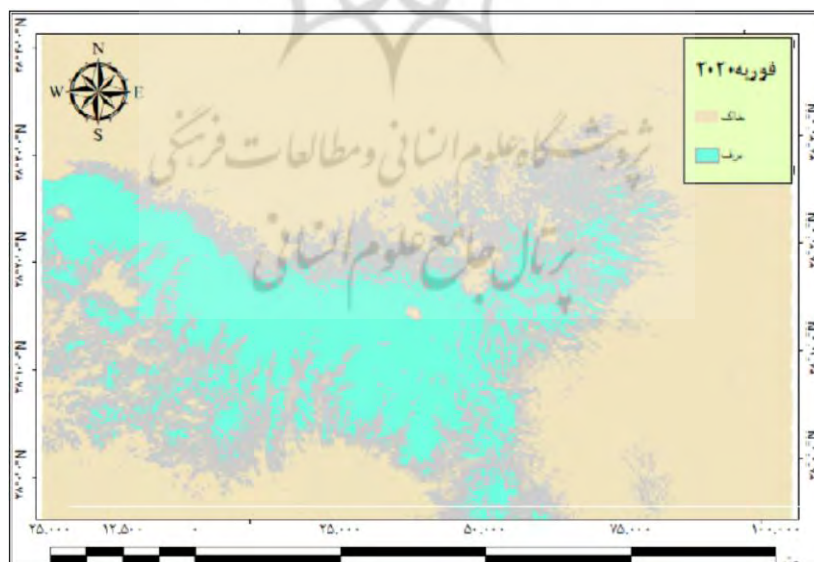
شکل (۶): اعمال شاخص NDSI سال ۲۰۰۰
Fig (6): Application of 2000 NDSI index



شکل (۷): اعمال شاخص NDSI سال ۲۰۲۰
Fig (7): Application of the 2020 NDSI index



شکل (۸): اعمال شاخص NDSI_{NW} سال ۲۰۰۰
Fig (8): Application of NDSI_{NW} index in 2000

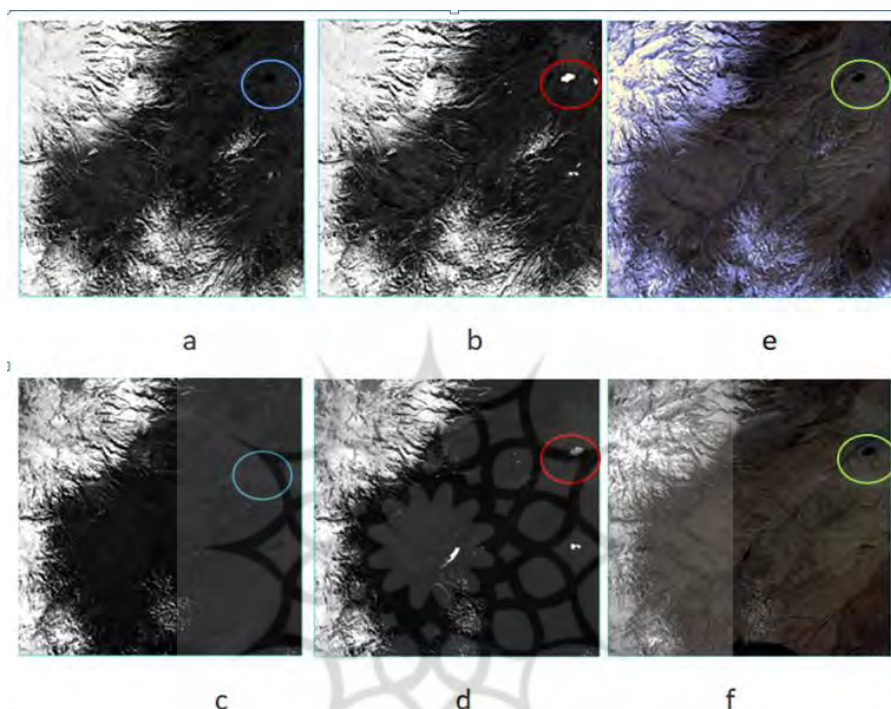


شکل (۹): اعمال شاخص NDSI_{NW} سال ۲۰۲۰
Fig (9): Application of NDSI_{NW} index 2020

عملکرد شاخص‌های طیفی NDSI و NDSI_{NW} در استخراج پوشش برف قابل قبول است ولی در منطقه‌ای با حضور آب، شاخص NDSI نشان‌دهنده‌ی مقادیر مثبت برای هر دو عارضه آب و برف می‌باشد. به همین خاطر

هر دو عارضه به خاطر شباهت طیفی آنها از باند سبز به سمت باند مادون قرمز کوتاه با تن سفید رنگ دیده می‌شوند. شاخص NDSI پوشش برف و یخ را بیشتر از آن چیزی که هست، به دلیل در نظر گرفتن آب به عنوان برف (Commission Error) نشان می‌دهد. بنابراین برای تشخیص آب از برف یا استخراج مساحت تحت پوشش برف در مناطقی با حضور آب مناسب نمی‌باشد. در مقابل شاخص $NDSI_{NW}$ توانسته به دلیل استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی و تفاوت انعکاس برف در این دو باند و تقریباً بدون تغییر یا کاهش ناچیز آب در این باندها و در نتیجه حذف پس زمینه آبی می‌تواند در استخراج پوشش برفی در مناطقی با عارضه‌های آبی موفق عمل کند (یان و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۵). شکل ۱۰ نتیجه اعمال شاخص NDSI و $NDSI_{NW}$ را در بخشی از تصویر با حضور عارضه‌ی آب نشان داده است. لازم به ذکر است در اغلب مطالعات از شاخص NDSI جهت شناسایی پوشش برفی استفاده شده که جهت رفع خطای مربوط به این شاخص از توابع و شاخص‌های دیگری نظیر شاخص پوشش گیاهی، تابع روشنایی یا دمای سطح زمین استفاده می‌شود که می‌تواند منجر به طولانی شدن عملیات شود. هر چند در بسیاری از موارد با این وجود نیز خطای مربوط به شاخص NDSI همچنان وجود دارد. در حالی که در مطالعه‌ی حاضر با اعمال شاخص $NDSI_{NW}$ مطرح شده توسط یان و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تکنیک شی‌گرا بدون نیاز به محاسبات اضافی پوشش برف به راحتی استخراج شد.

نقشه‌های طبقه‌بندی شده با استفاده از نمونه‌های اخذ شده از تصویر صحت‌سنجی شده و ضرایب صحت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی برای تصویر ۲۰۲۰ به ترتیب ۰/۹۹ و ۹۹ درصد و برای تصویر سال ۲۰۰۰ نیز به ترتیب ۰/۹۹ و ۹۹ درصد به دست آمده است. مقادیر بالای صحت کلی و ضریب کاپا به دلیل کلاس کم و استفاده از روش دقیق طبقه‌بندی شی‌گرا می‌باشد. همچنین نزدیک بودن مقدار مساحت تحت پوشش برف استخراج شده توسط شاخص $NDSI_{NW}$ مطرح شده توسط یان و همکاران در مقایسه با روش طبقه‌بندی شی‌گرا می‌تواند پیشنهاد خوبی برای استخراج SCG با پس‌زمینه عوارض آبی باشد. با وجود اینکه شاخص NDSI، شاخص خوبی در استخراج برف می‌باشد ولی در مناطقی با پس‌زمینه‌ی آبی ممکن است تحت تأثیر وجود آب نتایج حاصل از آن تغییر کند و در مواردی نظیر استخراج مساحت تحت پوشش برف نمی‌تواند قابل اعتماد باشد. در پژوهش حاضر مقادیر ۲۶۱۰ و ۲۵۷۷ کیلومتر مربع برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ توسط شاخص NDSI استخراج شده است. مقادیر ۱۹۵۴ کیلومتر مربع برای سال ۲۰۲۰ و ۲۵۰۰ کیلومتر مربع برای سال ۲۰۰۰ بر طبق طبقه‌بندی شی‌گرا بدست آمده است و مقایسه با نتایج حاصل از شاخص $NDSI_{NW}$ با مقادیر ۱۹۳۷ و ۲۵۷۷ به ترتیب برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ و با توجه به اینکه این شاخص عوارض SCG را با محدود کردن پس‌زمینه آبی استخراج می‌کند (یان و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۴)، دقیق‌تر به نظر می‌رسد.



شکل (۱۰): نتیجه حاصل از اعمال شاخص‌های NDSI و NDSI_{NW} در بخشی از تصویر. (a) تصویر شاخص NDSI_{NW} بر روی تصویر ۲۰۰۰، (b) تصویر شاخص NDSI بر روی تصویر ۲۰۰۰، (c) تصویر شاخص NDSI_{NW} بر روی تصویر ۲۰۲۰، (d) تصویر شاخص NDSI بر روی تصویر ۲۰۲۰، (e) بخشی از تصویر لندست ۵ فوریه ۲۰۰۰، (f) بخشی از تصویر لندست ۸ فوریه ۲۰۲۰

Fig (10): The result of applying NDSI and NDSI_{NW} indicators to a part of the image. (a) NDSI_{NW} index image on 2000 image, (b) NDSI index image on 2000 image, (c) NDSI_{NW} index image on 2020 image, (d) NDSI index image on 2020 image, (e) part of image Landsat 5 February 2000, (f) Part of the Landsat 8 February 2020 image

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی میزان پوشش برف به عنوان یکی از مهم‌ترین تامین‌کننده‌ی منابع آبی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق نتایج اعمال شاخص‌های NDSI و NDSI_{NW} در استخراج مساحت تحت پوشش برف با استفاده از تکنیک شی‌گرا مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج نقشه‌ی طبقه‌بندی و نتایج حاصل از اعمال شاخص‌ها هر دو شاخص قادر به استخراج پوشش برفی در منطقه سرد و زمستانی هستند ولی شاخص NDSI به دلیل محدود نکردن عوارض و سطوح آبی مختلف و یکی در نظر گرفتن آب و برف، مخصوصاً در مناطقی که حضور آب پررنگ است، در استخراج مساحت تحت پوشش برف دارای خطا می‌باشد. بنابراین در مناطقی با آب اندک یا فاقد آب می‌تواند شاخص بسیار مناسبی جهت استخراج مساحت تحت پوشش برف باشد. همچنین نقشه‌ی طبقه‌بندی شی‌گرا توانسته برف‌های اندک داخل دره‌ها و اطراف کوهستان را تشخیص دهد و توانسته

به ترتیب مقادیر سطح پوشش برف منطقه را ۲۵۰۰ و ۱۹۵۴ کیلومتر مربع برای فوریه ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ تخمین بزند. نتیجه اعمال شاخص‌ها هم مقادیر ۲۵۷۷ و ۱۹۳۷ با شاخص $NDSI_{NW}$ را به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰، و با شاخص $NDSI$ مقادیر ۲۶۱۰ و ۲۵۷۷ به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ استخراج کرده است. دلیل مقادیر عددی بالا بدست آمده توسط شاخص $NDSI$ در نظر گرفتن عارضه آب به عنوان برف بوده و به همین دلیل مقادیر مساحتی بالایی را نشان داده است. در مقابل شاخص $NDSI_{NW}$ با حذف پس‌زمینه‌ی آبی اعداد معقول‌تری را محاسبه کرده است. دلیل نزدیکی اعداد دو شاخص حضور آب اندک در منطقه می‌باشد. استفاده از شاخص جدید $NDSI_{NW}$ مطرح شده توسط یان و همکاران (۲۰۲۰) بر خلاف شاخص $NDSI$ توانست بدون در نظر گرفتن عارضه آب به عنوان برف و بدون نیاز به انجام عملیات اضافی حتی برف اندک موجود در دره‌ها را نیز استخراج کند.

خاطر نشان می‌شود جهت مطالعه دقیق‌تر و استخراج سطح پوشش برفی و عوارض مختلف آب تنها اعمال شاخص‌ها و استفاده از واریانس باندها نمی‌تواند کافی باشد و نیاز به بررسی‌های بیشتر از جمله مطالعه‌ی پوشش‌های اطراف بسترهای آبی به ویژه در مناطقی با شوری ساحل است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از روش‌های باینری نظیر روش OSTU (۱۹۹۷) که برای جداسازی تصویر پس‌زمینه از پیش‌زمینه است، استفاده شود. همچنین اعمال روش‌های مطرح شده در مناطق مختلف با توپوگرافی و موقعیت‌های مختلف پیشنهاد می‌شود.

۵-منابع

- Custodio, E., Cabrera, M.D.C., Poncela, R., Puga, L.O., Skupien, E., & Del Villar, A. (2016). Groundwater intensive exploitation and mining in Gran Canaria and Tenerife, Canary Islands, Spain. *Hydrogeological, environmental, economic and social aspects, Science of the Total Environment*, 557, 425–437.
- Donmez, C., Çiçekli, S.Y., Cilek, A., & Arslan, A. (2020). Mapping snow cover using landsat data: toward a fine-resolution water-resistant snow index. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 10.1007/s00703-020-00749-y.
- Farzinkia, R., Zanganehasadi, M., Amirahmadi, A., Zandi, R. (2019). The Relationship between Tectonic Activity and Its Impact on Land Subsidence in the Jovein Basin. *Hydrogeomorphology*, 6(20), 165-185.
- Feyzizade, B. (2019). Comparative evaluation of pixel basic and object-oriented processing techniques in the classification of Aster satellite images for the extraction of agricultural and garden land maps on the eastern shore of Lake Urmia. *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 109, 168-183.
- Haghizadeh, A., yousefi, H., yarahmadi, Y., & kiyani, A. (2020). Simulation of Climate Change Impact on Snowmelt Runoff (case study: Sarab Seyed Ali Watershed - Lorestan). *Water and Irrigation Management*, 10(1), 101-112.
- Hu, L., & Jiao, J. (2015). Calibration of a large-scale groundwater flow model using GRACE data: A case study in the Qaidam Basin, China. *Hydrogeology Journal*, 15, 112-129.
- Kadkhodaei, S., Jahanbakhsh Asl, S., & Valizadeh Kamran, K. (2020). The estimation of snowmelt runoff using SRM model (case study: Sahzab Catchment). *Geography and Planning*, 24(71), 319-337.
- Kakehmami, A., Ghorbani, A., Asghari Sarasekanrood, S., Ghale, E., & Ghafari, S. (2020). Study of the relationship between land use and vegetation changes with the land surface temperature in Namin County. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(2), 27-48.
- Laliberte, A., Koppa, J., Rango, A. (2006). Comparison of nearest neighbor and rule-based decision tree classification in an object-oriented environment. *USDA-ARS, Jornada Experimental Range*.
- Manickam, S., & Barros, A. (2020). Parsing Synthetic Aperture Radar Measurements of Snow in Complex Terrain: Scaling Behavior and Sensitivity to Snow Wetness and Land cover. *Journal remote sensing*, 12(483), 1-31.
- Notarnicola, C. (2020). Hotspots of snow cover changes in global mountain regions over 2000–2018. *Journal Remote Sensing of Environment*, 243, 1-19.
- Otsu, N.A. (1979). Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Trans Man Cybern*, 9, 62–66.

- Parajka J., Holko, L., & Kostka, Z. (2001). Distributed modelling of snow water equivalent- Coupling a snow accumulation and melt model and GIS. Institute of Hydrology. *Slovak Academy of Sciences*, 14, 86-102.
- Salmani, S., Ebrahimi, H., Mohammadzade, K., Valizade, K. (2019). Evaluation of various object-oriented classification techniques in land use extraction from Iconus satellite images. *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 111, 206-215.
- Seifi, H., & Feizizadeh, B. (2019). Application of interferometric method and radar remote sensing images to estimate the depth of snow and water discharge, Case Study: (Yamchi Basin). *Iran-Water Resources Research*, 15(1), 341-355.
- Seifi, H., & Ghorbani, I. (2019). Estimating snow cover trends using Object-Oriented Methods and images received from OLI and TIRS sensors (Case Study: Sahand Mountain). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(109), 77-91.
- Shayan, S., Yamani, M., Yadegari, M. (2017). Zoning of the Land Subsidence in the Hamedan Qarachai Watershed. *Hydrogeomorphology*, 3(9), 139-158.
- Sood, V., Singh, S., Taloor, A., Prashar, SH., & Kaur, R. (2020). Monitoring and mapping of snow cover variability using topographically derived NDSI model over north Indian Himalayas during the period 2008–19, <https://doi.org/10.1016/j.acags.2020.100040>.
- Taylor, R.G., Scanlon, B., Doll, P., Rodell, M., van Beek, R., Wada, Y., Longuevergne, L., Leblanc, M., Famiglietti, J., Edmunds, M., Konikow, L., Green, T.R., Chen, J.Y., Taniguchi, M., Bierkens, M.F.B., MacDonald, A., Fan, Y., Maxwell, R.M., Yechieli, Y., Gurdak, J.H., Allen, D., Shamsudduha, M., Hiscock, K., Yeh, P.J.F., Holman, I., & Treidel, H. (2013). Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4): 322–329.
- Thomas, A.C., Reager, J.T., Famiglietti, J., & Rodell, M. (2014). A GRACE-based water storage deficit approach for hydrological drought characterization. *Geophysical Research Letters*, 41(5), 1537–1545.
- Voss K.A., Famiglietti, J., Lo, M., de Linage, C., Rodell, M., & Swenson, S. (2013). Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for trans boundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region. *Water Resource Research*, 49: 27-39.
- Xu, H. (2006). Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033
- Yan, D., Huang, C., Ma, N., & Zhang, Y. (2020). Improved Landsat-Based Water and Snow Indices for Extracting Lake and Snow Cover/Glacier in the Tibetan Plateau. *Journal water*, 12, 1-16.

- Ghorbani, M., Asadi, A., Jabari, H., & Farsadizadeh, D. (2015). Extraction of Instantaneous Unit Graph Hydrocopy (IUH) Using Shannon Entropy Theory, *Journal of Watershed Management*, 5(10).
- Jena, S.K., & Tiwari, K.N. (2006). Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds, *Journal of Hydrology*, 319, 1-14.
- Khaleghi, S., Parvin Nia, M., & Montaseri, H. (2018). *Simulation of Moment Unit Hydrographs Using a Conceptual Linear Reservoir Model*, Master of Science in Civil Engineering, Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Yasuj University, 143 p.

