

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۲، پاییز ۱۳۹۶، صص ۴۴-۲۵

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۳

## بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از سنجش از دور

محمود خسروی<sup>۱</sup>

تقی طاوسی<sup>۲</sup>

کوهزاد رئیس پور<sup>۳</sup>

محبوبه امیدی قلعه محمدی<sup>۴\*</sup>

### چکیده

استان چهارمحال و بختیاری یکی از مناطق برفگیر کشور بوده و نزولات برفی آن نقش بسیار زیادی در وضعیت منابع آبی تأمین کننده آب منطقه مرکزی و جنوبی کشور دارد. در این پژوهش سعی شده است تا تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بررسی گردد. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و ETM+ در ماه‌های آوریل و سپتامبر در سال‌های ۲۰۰۳، ۱۹۹۱ و ۲۰۱۱ استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری طی دوره‌ی آماری (۲۰۱۱ نسبت به ۱۹۹۱) روندی کاهشی داشته است. برای بررسی روند تغییرات سال ۱۹۹۱ را سال مبنا قرار داده، که مقدار سطوح پوشش برف در ماه آوریل ۱۹۹۱ میلادی، ۱۷۵۸/۰۷ کیلومتر مربع بوده، این مقدار پوشش در ماه آوریل در سال ۲۰۰۳ میلادی، به ۱۱۲۸/۴۳ کیلومتر مربع رسیده، مساحت سطوح برف در آوریل ۲۰۱۱ میلادی ۹۷۹/۸۳ کیلومتر مربع بوده که

۱- دانشیار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۲- استاد گروه آب و هواشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۳- استاد یار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه زنجان.

۴- کارشناس ارشد دانشگاه سیستان و بلوچستان (نویسنده مسئول).

نسبت به سال ۱۹۹۱ میلادی ۷۷۸/۲۴ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است. مقدار سطوح پوشش برف در ماه سپتامبر ۱۹۹۱ میلادی برابر با ۸۰۲/۸۶ کیلومترمربع بوده، مقدار این سطوح در ماه سپتامبر ۲۰۰۳ به ۶۱۵/۸۳ کیلومترمربع رسیده که از ماه سپتامبر سال ۱۱۹۱ تا سپتامبر ۲۰۰۳ میلادی ۱۸۷/۰۶ کیلومترمربع کاهش پیدا کرده، مساحت پوشش برف در ماه سپتامبر ۲۰۱۱ میلادی برابر با ۶۰۱/۸۳ کیلومتر مربع بوده که نسبت به ماه سپتامبر ۲۰۱۱ میلادی به ۲۰۱/۰۳ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است.

**کلمات کلیدی:** سطح پوشش برف، سنجش از دور، لندست، ENVI، زردکوه بختیاری.

#### مقدمه

بر اساس مطالعات انجام گرفته حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور در مناطق برفگیر قرار داشته و از آب حاصل از ذوب برف تغذیه می‌کنند (نجفی و همکاران، ۱۳۸۳). بخش اعظم بارندگی‌ها در مناطق کوهستانی به شکل برف نازل می‌شود که در قسمت‌های کوهستانی و غیرقابل دسترس قرار دارند بنابراین مطالعه‌ی آنها با روش‌های زمینی بسیار هزینه‌بر، طاقت فرسا و در بسیاری موارد ناممکن است، بنابراین استفاده از فناوری‌های جدید، ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از فناوری سنجش از دور ماهواره‌ای در این مطالعات بسیار مفید خواهد بود. منابع آبی موجود در مناطق کوهستانی، متأثر از میزان بارش برف بوده و غالباً از طریق آب‌های حاصل از ذوب برف تغذیه می‌شوند و وضعیت بیلان آبی و رژیم آبدهی منابع آب موجود در این قبیل مناطق به میزان و سرعت ذوب برف و یا ماندگاری آن بر روی زمین و سطوح آبرگیر تغذیه‌ی آنها بستگی دارد. استان چهارمحال و بختیاری، سرزمینی ناهموار، کوهستانی و مرتفع از مناطق برفگیر کشور بوده بلندترین قله آن زردکوه بختیاری با ارتفاع ۴۵۴۸ متر از سطح دریا با داشتن یخچال‌های طبیعی منبع تأمین آب رودخانه‌های پر آب مانند کارون،

زاینده‌رود در ایران است که به عنوان ذخیره‌گاه منابع آب نقش تعیین‌کننده‌ای در زندگی مردم جنوب و مرکز کشور دارد. محدود بودن منابع آب شیرین در بسیاری از مناطق ایران (که از مناطق نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود) همچون استان چهارمحال و بختیاری که تأمین‌کننده‌ی آب بخشی از مناطق جنوبی و مرکز کشور است ضرورت مطالعه و بررسی سطوح پوشش برف را نشان می‌دهد. آلبیدوی بسیار بالای برف، در مقایسه با سایر سطوح طبیعی (به جز ابر)، امکان اندازه‌گیری سطح پوشش برف را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای فراهم آورده است. به دلیل این مشخصه خاص برف، سطح پوشش برف در نخستین تصاویر از ماهواره هواشناسی - TIROS 1 در آوریل ۱۹۶۰ به دست آمد (سینگنر و پوپهام، ۱۹۶۳)<sup>۱</sup>. پس از آن با شروع به کار ماهواره ESSA-3 در اواسط سال ۱۹۶۰ سطوح پوشش برف به صورت هفتگی از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. از سال ۱۹۶۶ به بعد نیز تخمین سطح پوشش برف در نیمکره شمالی به صورت هفتگی با آغاز به کار سنجنده AVHRR که بر روی ماهواره NOAA نصب شده بود، ادامه یافت (ماتسون و همکاران، ۱۹۸۶)<sup>۲</sup>. تولیدات منطقه‌ای پوشش برف، با دقت مکانی یک کیلومتر، به صورت عملیاتی و در ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ حوضه در آمریکای شمالی توسط مرکز ملی سنجش از دور انجام پذیرفت (کارل، ۱۹۹۰)<sup>۳</sup>. برف برای نخستین بار در سال ۱۹۶۰ در خاور کانادا توسط ماهواره TIROS-1 سنجش شد از آن پس این سنجش به وسیله ماهواره‌های با قدرت زمانی بالا چون GEOS و سری‌های لندست انجام پذیرفت (انگمن و همکاران، ۱۹۹۲)<sup>۴</sup>. با بررسی شرایط ریزش برف در مناطقی از کشور ژاپن بهترین دماهای شروع ذوب برف را دمای بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد معین

---

1- Singer, Popham

2- Matsun

3- Carroll

4- Engman

نمودند. رانگو<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۷۷) با استفاده از یک روش داده پردازش تصویر در تصاویر نوا مساحت پوشش برف را طی سال‌های ۱۹۷۳-۱۹۶۹ در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌های سند و کابل در پاکستان و افغانستان تعیین کردند و توانستند بین مساحت پوشش برف در حوضه‌ی آبخیز و دبی رودخانه رابطه‌ی معنی‌داری پیدا کنند. میلر<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) با در نظر گرفتن شرایط تغییر اقلیم در حوضه‌های رودخانه‌های ایالات متحده کالیفرنیا، آمریکا پیش‌بینی کرد که تا پایان قرن حاضر ذوب برف هر سال زودتر آغاز می‌گردد و ذخایر برف زمستانه به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. در ارتباط با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی IRS، گوپتا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۵) با کمک تصاویر ماهواره‌ی IRS3 در هندوستان مناطق با پوشش برفی خشک را از تر جدا کردند. طی سال‌های اخیر استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در سطح ایران نیز رشد چشمگیری داشته است و بسیاری از محققان در زمینه‌ی مطالعه و برآورد سطح پوشش برف حوضه‌های کوهستانی از این راهکار بهره‌مند شده‌اند. پرهت (۱۳۸۱) با انجام تغییراتی در الگوریتم سیمپسون و همکاران (۱۹۹۸) و ترکیبی از روش‌های تحلیل آستانه‌ای و تحلیل چند طیفی سطح پوشش برف را با استفاده از باندهای ۲، ۳ و ۴ سنجنده AVHRR ماهواره NOAA برای حوضه‌ی کارون استخراج کرد. نجف‌زاده و همکاران (۱۳۸۳) تغییرات سطح پوشش برف بخشی از حوضه‌ی زاینده رود را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی NOAA بررسی کردند و برای شبیه‌سازی جریان رودخانه مدل SRM را به کار گرفتند. نجفی ایگدیر و همکاران (۱۳۸۶)، رواناب حاصل از ذوب برف را با استفاده از سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه‌ی شهرچائی ارومیه، شبیه‌سازی کردند. رضائی و همکاران (۱۳۸۸)، در تحقیقی که به منظور بررسی و مطالعه‌ی یخچال طبیعی خرسان در

---

1- Rango  
2- Miller  
3- Gupta

زردکوه بختیاری و شناسایی برآورد پارامترهای مهم یخچال طبیعی از تصاویر ماهواره‌ای IRS و Aster و عکس‌های هوایی و مدل ارتفاعی رقومی منطقه با دقت بالا برای محاسبه پارامترهای مختلف یخچال طبیعی استفاده کردند و با به‌کارگیری الگوریتم‌های مختلف، طبقه‌بندی نظارت نشده بر روی تصاویر Aster قسمت‌های مختلف یخچال طبقه‌بندی و مرزبندی شد. ارشد و همکاران (۱۳۸۶) روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی کارون را در بازه‌ی گتوند تا ایستگاه فارسیات بر اساس چهار سری تصویر ماهواره‌ای لندست TM و IRS-LISS-III در دوره‌ی زمانی ۱۳۶۹-۱۳۸۲ مورد بررسی قرار دادند. شریفی و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهشی با به بهره‌گیری از اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در ۲۵۸ نقطه در سطح معادل ۵/۲ کیلومتر مربع در گردنه‌ی چری واقع در حوضه‌ی صمصامی از سرشاخه‌های کارون شمالی، کاربرد تحلیل خوشه‌ای در برآورد عمق برف و ارزیابی نتایج آن با استفاده از اطلاعات مشاهده‌ای صورت دادند. وفا خواه و همکاران (۱۳۹۰)، در مطالعه‌ای که انجام دادند به هدف مقایسه‌ی سطح پوشش برف در تصاویر ماهواره‌ی نوآ و سنجنده مودیس در حوضه‌ی آبخیز طالقان انجام دادند. فتاحی و وظیفه‌دوست (۱۳۹۰)، در مطالعه به منظور پایش سطح پوشش برف و دمای سطح برف حوضه‌ی های آبریز استان گلستان از داده‌های سنجنده MODIS طی دوره آماری ۹ سال (۲۰۰۸-۲۰۰۰) استفاده کردند و به منظور تعیین پتانسیل ریزش و ذوب برف از الگوریتم دمای سطح برف با استفاده از باندهای دمایی 31 و 32 MODIS و برای تشخیص سطوح پوشیده شده، برف، شاخص NDSI به کار گرفته شد. کتانی نجف آبادی (۱۳۹۱) در پژوهشی با استفاده از تصاویر MODIS طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۱-۲۰۰۰ با استفاده از شاخص NDSI به بررسی تغییرات سطح پوشش برف و رواناب در حوضه‌ی آبی کوه‌رنگ پرداخت به منظور بررسی برف مرز حوضه با استفاده از اصل افت محیطی دما و رابطه‌ی رگرسیونی، ارتفاع خطوط هم دمای

صفر را تعیین کرد. بررسی سطح پوشش برف نشان داد که ماه دسامبر در مقایسه با ماه‌های دیگر دارای بیشترین سطح پوشش برف و ماه‌های مارس و مه نیز به ترتیب در رتبه‌ی دوم و سوم قرار دارند. و به طور کلی سطح پوشش برف و ارتفاع برف مرز در طی دوره‌ی آماری (۲۰۱۱-۲۰۰۰) دارای نوسان بوده و روند معنی‌دار کاهشی و یا افزایشی را نشان نمی‌دهد. احمدی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست به مطالعه‌ی تغییرات زمانی و مکانی الگوی حرارتی شهری شیراز پرداخت و مکان‌های با دمای بالا را تعیین و بررسی نقطه‌ای به منظور ترسیم نقشه و تحلیل کاربری شهری پرداخت. استان چهارمحال و بختیاری یکی از مناطق برفگیر کشور بوده و نزولات برفی در آن نقش بسیار زیادی در وضعیت منابع آبی تأمین‌کننده‌ی آب مناطق مرکزی و جنوبی کشور (رودخانه‌های خروجی از آن به ویژه رودخانه‌های کارون و زاینده رود) دارد. وقوع خشک‌سالی‌های اخیر در این منطقه، با تغییر نوع ریزش‌های جوی از جمله نسبت مقدار برف به کل بارش همراه بوده و مقدار ریزش برف یا به عبارتی ضریب برف کاهش چشمگیری یافته است. طبیعتاً کاهش ریزش برف بر ماندگاری آن در برخی از سال‌ها به کمتر از ۹۰ روز تأثیر منفی داشته است. کاهش میزان و مدت ماندگاری برف موجب کاهش تغذیه منابع آب‌های زیرزمینی شده و منجر به کاهش آبدهی منابع آب و تغییر رژیم آبدهی آن‌ها گردید. در طی سال‌های اخیر چشمه‌ها و قنوات بسیاری خشکیده و آبدهی بسیاری از رودخانه به حد بسیار ناچیز و نزدیک به صفر رسیده است. در این پژوهش ابتدا موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد نظر شناسایی گردید، پس از آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که از منطقه‌ی مورد مطالعه در طول سال‌های متفاوت تهیه شده است، با استفاده از نرم افزار ENVI و به دست آوردن پیکسل‌های برفی با استفاده از شاخص NDSI که قابلیت بسیار خوبی برای جدا سازی برف و یخ از ابر و سایر پدیده‌ها دارد، به تهیه‌ی نقشه‌های پوشش برفی طی دوره‌های زمانی مختلف

پرداخته شد. سپس با استفاده از آنالیز الگوریتم‌های پردازش، تصاویر به دست آمده تحلیل و بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

### داده‌های سنجش از دور

جهت بررسی وضعیت پوشش برف و همچنین تغییر ارتفاع برف در ارتفاعات زردکوه، ابتدا چند سری تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ از منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه گردید. در انتخاب تصاویر نکاتی مد نظر گرفته شده، بدین ترتیب که بین دهه‌های ۲۰۱۳-۱۹۹۰ سه سال (۲۰۱۱، ۲۰۰۳، ۱۹۹۱) و در این سال‌ها دو ماه آوریل و سپتامبر (فروردین و شهریور) به عنوان اساس کار انتخاب شده است. این بازه یعنی ماه آوریل برای این در نظر گرفته شده است که قبل از آن امکان ریزش برف وجود دارد و تمامی سطوح، پوشیده از برف می‌باشد و ماه سپتامبر به دلیل اینکه تمامی سطوح پوشش برفی به دلیل افزایش دما ذوب می‌شود (این سال‌ها برای این انتخاب گردید که نماینده سال خشک و تر و متوسط از نظر بارندگی هستند) انتخاب گردید.

در اکثر مطالعاتی که در زمینه‌ی پژوهش حاضر صورت گرفته است بیش‌تر با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و نوا و قرار دادن آستانه و محاسبه‌ی شاخص NDSI به بررسی سطوح برف‌گیر پرداخته شده است. و خط پیشروی و پسروی برف را در سال‌های مختلف مطالعه نمودند و با تعیین سطح پوشش برف و پارامترهای هیدرولوژیکی برف به پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب آن پرداختند. برای انجام این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای Landsat TM & ETM و WRS Path 165 و WRS Row و 37 و سیستم مختصات متعلق به زون ۳۹ استفاده شده است. این تصاویر از تارنمای

سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده<sup>۱</sup> تهیه گردید. یکی از متغیرهای بسیار مهم و اساسی در شبیه‌سازی ذوب برف، پوشش برف در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. با توسعه‌ی فناوری سنجش از دور در دهه‌های اخیر پایش پوشش برف تسهیل شده است. سنجنده‌های مختلفی در سنجش پوشش برف کاربرد دارند. عمده‌ترین دلیل انتخاب ماهواره لندست در این پژوهش قدرت تفکیک زمانی و مکانی (۳۰×۳۰ متر) و از نظر طیفی برای آنالیز برف در این محدوده‌ی مطالعاتی مناسب می‌باشد و همچنین دسترسی رایگان به بانک اطلاعاتی آن کاربرد بیشتری داشته است.

### پردازش داده‌های سنجش از دور

داده به نوعی اطلاعات خامی اطلاق می‌گردد که پس از انجام پردازش‌های لازم برای هدفی خاص مورد تحلیل قرار گرفته و در نهایت به اطلاعات تبدیل می‌شود. تجزیه و تحلیل تصاویر سنجش از دور، از طریق روش‌ها و تکنیک‌های پردازش تصویر، شامل پردازش تصویر آنالوگ و پردازش تصویر رقومی صورت می‌گیرد. پردازش تصویر آنالوگ یا بصری بر روی کپی‌های سخت، مانند عکس‌های هوایی اعمال می‌شود. در تجزیه و تحلیل تصاویر از عناصر تفسیر، مانند شکل، اندازه، بافت، همراهی، تن، رنگ، پارالاکس، الگو، ارتفاع، سایه، مکان، استفاده می‌شود. پردازش تصویر رقومی مجموعه‌ای از تکنیک‌هایی است که برای دستکاری تصاویر با رایانه استفاده می‌شود (لرستانی و شهریار، ۱۳۹۰: ۱۵). که به شرح ذیل می‌باشد:

تصحیح و بهبود (پیش پردازش) تصاویر ماهواره‌ای، تصحیح هندسی، تصحیح رادیو متریک، شاخص استاندارد شده تفاضل برف، نمایش و بارزسازی تصویر، استخراج اطلاعات.

---

1- earthexplorer.usgs.gov



### تصحیح و بهبود (پیش پردازش) تصاویر ماهواره‌ای

پیش‌پردازش داده‌های خام، اساساً شامل کشیدگی کنتراست، حذف اثرات ناشی از خطاهای کالیبراسیون و انتقال و همچنین واضح‌سازی لبه می‌باشد (مالمیریان، ۱۳۸۳: ۱۹۶). مراحل را که برای رفع نقایص و خطاهای تصاویر خام دریافت شده از سنجنده‌ها با هدف تصحیح یا جبران خطاهای سیستماتیک صورت می‌گیرد را شامل می‌شود (لرستانی و شهریار، ۱۳۹۰: ۱۵). اصلاح و بهبود تصاویر به عملیات پیش از تحلیل اصلی گفته می‌شود.

### شاخص استاندارد شده تفاضل برف

در این پژوهش از شاخص NDSI<sup>۱</sup> برای پیش تصاویر استفاده شد، شاخص NDSI که قابلیت تفکیک و جداسازی طول موج پدیده‌ها بخصوص برف را از ابر و یخ را دارد به آنالیز تصاویر با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر پرداخته شد این شاخص از طریق رابطه‌ی (۱) محاسبه و برف را از دیگر سطوح زمینی متمایز می‌سازد.

$$\text{NDSI} = \frac{\text{Band}_2 - \text{Band}_5}{\text{Band}_2 + \text{Band}_5} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

حاصل به کارگیری شاخص NDSI این خواهد شد که پیکسل‌هایی با ارزش ۱- و ۱+ ایجاد خواهد شد که ارزش‌هایی که از ۱- تا صفر می‌باشند نشان‌دهنده‌ی مناطقی است که برف در آنها وجود ندارد و از صفر تا ۱+ مناطقی را شامل می‌شود که برف با توجه به سنگینی و سبکی (بسته به عمق آن) ضرایب مثبت را به خود اختصاص می‌دهد. هر قدر عمق برف بیشتر باشد، عدد مورد نظر به ۱ نزدیک‌تر و هر چه کم عمق‌تر باشد به صفر متمایل می‌شود. الگوریتم نقشه‌ی برفی لندست از باندهای ۲ و ۵ این سنجنده‌ها به طور اتوماتیک جهت استخراج شاخص برفی

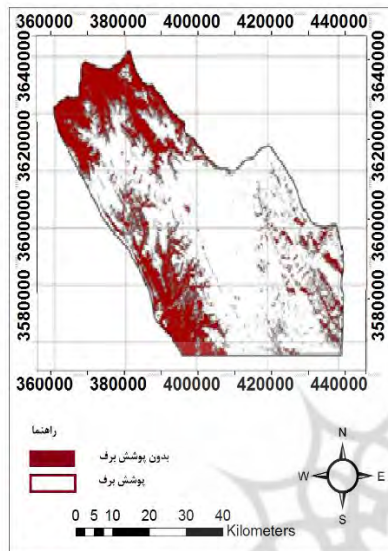
تفاضلی نرمال شده (NDSI) اجرا و اساس محاسبه می‌گردد (بشیر، ۲۰۰۸). طبقه بندی نظارت نشده یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در جداسازی پوشش برف از دیگر پوشش‌ها می‌باشد در روش دسته‌بندی نظارت نشده هیچ نوع اطلاعات مخزنی در سیستم دسته‌بندی وارد نمی‌شود. این روش براساس تکنیک‌های آنالیز دسته‌بندی قرار دارد. اساس کار دسته‌بندی در طبقه‌بندی نظارت نشده، روش خوشه‌ای می‌باشد. در روش خوشه‌ای که با استفاده روش طبقه‌بندی نظارت نشده صورت می‌گیرد، پیکسل‌ها بر اساس درجه‌ی روشنایی در خوشه‌های مشخص قرار می‌گیرند. پوشش برف نیز بر اساس روشنایی پیکسل‌ها در یک یا چند خوشه قرار می‌گیرند که درجه روشنایی پیکسل‌ها بستگی به عمق پوشش برف دارد. در فرآیند طبقه بندی نظارت نشده، اساس کاربر، طبقه‌بندی گروهی است، در یک طبقه قرار دادن پیکسل‌ها در سنجش از دور بر اساس ویژگی‌های طیفی مشابه آنها، فرآیندی است که به آن خوشه‌بندی گویند (ریچارد و ایکسوپینگ، ۲۰۰۶).

## بحث و نتایج

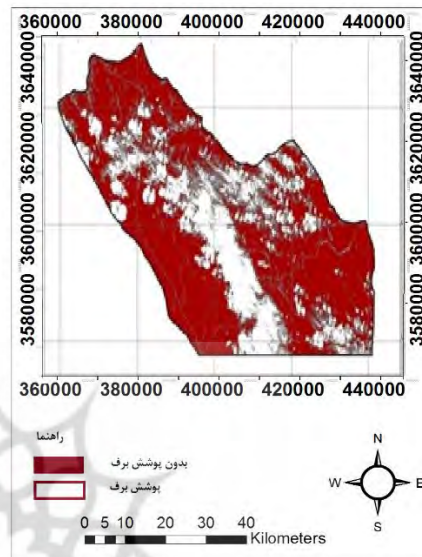
### پردازش داده‌های سنجش از دور سطح برف

داده‌های سنجش از دور می‌تواند ارزیابی‌های بهتری از محدوده‌های پوشش برف نسبت به روش‌های محاسبه سنتی ارائه دهد، بنابراین امروزه در روند مدیریت کارآمد منابع آبی، به کارگیری داده‌های سنجش از دور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به صورت عملیاتی انجام می‌گردد. قسمت اعظم پوشش برف در نقاط کوهستانی و صعب‌العبور واقع است و مطالعه و پایش نقطه به نقطه‌ی برف با روش‌های سنتی و استفاده از ایستگاه‌های برف سنجی تقریباً غیرممکن است. از این رو از داده‌های سنجش از دور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به دلیل نتایج بهتری که ارائه می‌دهد، استفاده می‌شود و همچنین با ترکیب سنجش

از دور با مدل‌های ذوب برف می‌توان آب معادل ذوب برف را تعیین کرد. مطالعات متعددی اهمیت اندازه‌گیری دقیق خصوصیات برف و یخ را به دلیل اینکه با اقلیم زمین و تغییرات اقلیمی مرتبط می‌باشند نشان داده‌اند. امروزه تکنولوژی سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره‌ای انقلابی را در عرصه‌ی مطالعه سطح پوشش برف به وجود آورده است. به طوری که اندازه‌گیری‌های سطح گستره‌ی برفی در طول زمان به صورت چشمگیری دقیق‌تر شده و هر چه بر طول ثبت داده‌های ماهواره‌ای افزوده می‌گردد، تعیین روندهای آماری که به لحاظ اقلیمی اهمیت دارند آسان‌تر می‌گردد. در مباحث زیر با استفاده از تصاویر سنجنده‌های LANDST و با استفاده از شاخص NDSI به تحلیل تغییرات سطح پوشش برف ماه‌های آوریل (فروردین) و سپتامبر (شهریور) یعنی زمان اوج پوشش برف و زمان اوج ذوب پوشش برف در منطقه (ارتفاعات زردکوه بختیاری) طی سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۱ (گام‌های زمانی تقریباً ۱۰ ساله) به منظور بررسی تغییرات سطوح پوشش برف پرداخته شده است. مراحل پیش‌پردازش (بررسی تغییرات سطوح پوشش برف با استفاده از شاخص تفاضلی نرمال شده برف (NDSI) و تصحیحات (رادایومتری، هندسی و ...))، پردازش، طبقه‌بندی و پس از طبقه‌بندی بر روی تصاویر انتخابی مذکور با استفاده از نرم‌افزار ENVI اعمال گردید. شاخص NDSI بر اساس مقادیر حداکثر پوشش برف هر پیکسل از تصاویر (مربوط به ماه آوریل و سپتامبر) اعمال شد. در نهایت مقادیر (نقشه‌های) حاصل از اعمال شاخص‌های فوق، به دو طبقه یا کلاس (سطوح پوشش برفی و سطوح غیرپوشش برفی) طبقه‌بندی گردید. پس از انجام طبقه‌بندی مساحت هر دو کلاس با هم جمع گردید تا تغییرات پوشش برفی و غیره برفی طی سال‌های مورد مطالعه بررسی و روند تغییرات مورد تحلیل قرار گیرد (امیدی قلعه محمدی، ۱۳۹۳).



شکل (۲) سطوح پوشش برف ارتفاعات  
زردکوه بختیاری سپتامبر (شهریور) ۱۹۹۱

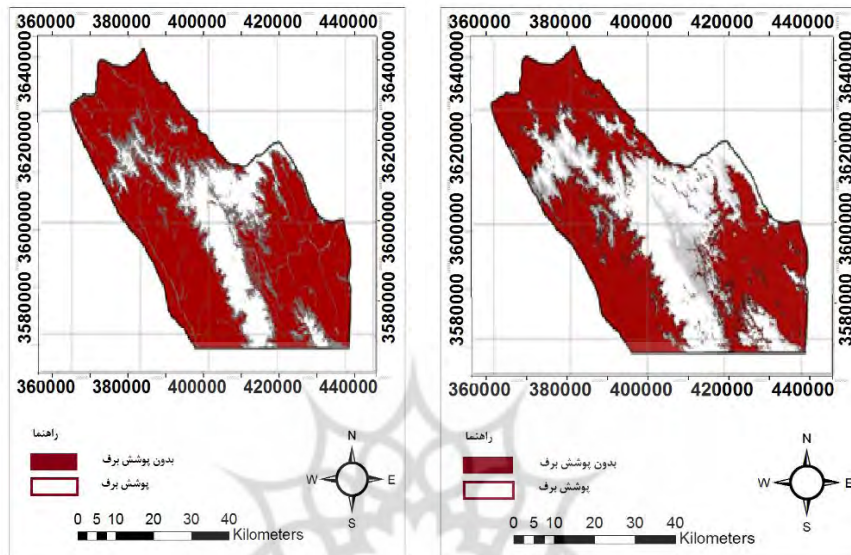


شکل (۱) سطوح پوشش برف ارتفاعات زردکوه  
بختیاری آوریل (فروردین) ۱۹۹۱

### نقشه‌ی پوشش برف استخراج شده ماه آوریل و سپتامبر ۱۹۹۱

شکل (۱) نقشه‌ی سطوح پوشش برف را در ارتفاعات زردکوه بختیاری ماه آوریل (فروردین) سال ۱۹۹۱ را نشان می‌دهد. این بازه‌ی زمانی یعنی ماه آوریل برای این در نظر گرفته شده است که قبل از آن امکان ریزش برف در منطقه وجود دارد و تمامی سطوح پوشیده از برف است و به خاطر دمای منطقه‌ی پوشش برف به مقدار ناچیزی ذوب می‌شود. این نقشه به عنوان نقشه‌ی مبنا برای ماه آوریل در نظر گرفته شد. سپس تغییرات سطوح برفی نشأت گرفته از وقوع تغییرات سطوح برفی دیگر سال‌ها (۲۰۰۳ و ۲۰۱۱) براساس این نقشه تحلیل گردید. بنابراین با توجه به محاسبه‌ای که با استفاده از شاخص NDSI بر روی تصاویر ماهواره‌ای این ماه انجام گرفت تعداد پیکسل‌های برفی را ۶۲/۸ درصد و پیکسل‌های بدون پوشش برف را

۳۸/۵ درصد نشان داد. مساحت پوشش برف ۱۷۵۸/۰۷ کیلومتر مربع و مساحت مناطق غیرپوشش برف ۶۸۲/۰۸ کیلومتر مربع کل منطقه را در این ماه پوشانده است. این وضعیت به خوبی نشان می‌دهد که تا آن زمان (ماه آوریل ۱۹۹۱) سطوح پوشش برفی از وضعیت مطلوبی برخوردار بوده و شواهدی از تغییرات اقلیمی مشاهده نشده است. شکل (۲) نقشه‌ی سطوح پوشش برف را در ارتفاعات زردکوه بختیاری ماه سپتامبر را نشان می‌دهد. ماه سپتامبر به این دلیل انتخاب گردید که تمامی سطوح پوشش برفی به دلیل افزایش دما ذوب می‌شوند و محدوده‌ی پوشش برف به حداقل گسترده‌گی خود می‌رسد. این نقشه نیز به عنوان نقشه‌ی مبنا برای ماه سپتامبر انتخاب گردید سپس تغییرات سطوح برفی نشأت گرفته از وقوع تغییرات سطوح برفی دیگر سال‌ها (۲۰۰۳ و ۲۰۱۱) بر اساس این نقشه تحلیل گردید. با محاسبه‌ای که با استفاده از شاخص NDSI بر روی تصاویر ماهواره‌ای این ماه انجام گرفت تعداد پیکسل‌های برفی را ۲۸/۵ درصد و پیکسل‌های بدون پوشش برف را ۷۱/۵ درصد نشان داد. مساحت پوشش برف ۸۰۲/۸۶ کیلومتر مربع و مساحت مناطق غیر پوشش برف ۱۶۳۷/۳۴ کیلومتر مربع کل منطقه را در این ماه پوشانده است. طبق جدول (۱) میزان تغییرات سالانه‌ی پوشش برف در این سال از ماه آوریل تا ماه سپتامبر ۳۸/۴ درصد کاهش برای سطوح برفی را نشان می‌دهد و مناطق غیر پوشش برف ۶۰/۱ درصد کاهش را نشان می‌دهد. در این سال مساحت پوشش برف، پس از گذشت یک دوره گرم (بهار، تابستان) حدود ۹۵۵/۲۲ کیلومتر مربع از کل مساحت پوشش برف، ذوب شده است.



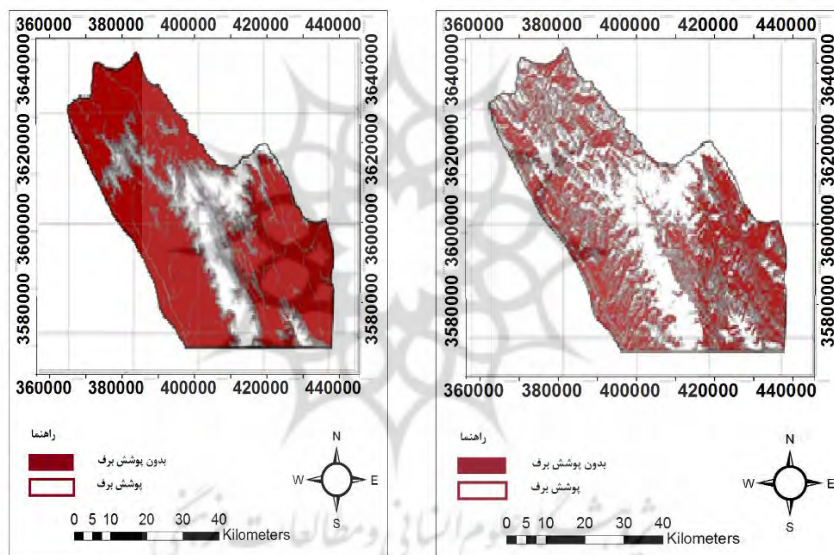
شکل (۴) سطوح پوشش برف ارتفاعات زردکوه بختیاری سپتامبر (شهریور) ۲۰۰۳

شکل (۳) سطوح پوشش برف ارتفاعات زردکوه بختیاری آوریل (فروردین) ۲۰۰۳

### نقشه‌ی پوشش برف استخراج شده ماه آوریل و سپتامبر ۲۰۰۳

شکل (۳) نقشه‌ی سطوح پوشش برف را در ارتفاعات زردکوه بختیاری ماه آوریل (فروردین) سال ۲۰۰۳ را نشان می‌دهد. با محاسبه‌ی شاخص NDSI بر روی تصاویر ماهواره‌ای این ماه درصد پیکسل‌های برفی را  $40/5$  درصد و پیکسل‌های بدون پوشش برف را  $59/5$  درصد نشان داده است. مساحت پوشش برف  $1228/43$  کیلومتر مربع و مساحت مناطق غیر پوشش برف  $1287/16$  کیلومتر مربع کل منطقه را در این ماه پوشانده است. شکل (۴) نقشه‌ی سطوح پوشش برف را در ارتفاعات زردکوه بختیاری ماه سپتامبر (شهریور) سال ۲۰۰۳ را نشان می‌دهد. تصاویر ماهواره‌ای این ماه تعداد پیکسل‌های برفی را  $21/6$  درصد و پیکسل‌های بدون پوشش برف را  $78/4$  درصد نشان داده است. مساحت پوشش برف  $615/83$  کیلومتر مربع و مساحت

مناطق غیرپوشش برف ۱۷۹۹/۶۷ کیلومتر مربع کل منطقه را در این ماه پوشانده است. طبق جدول (۱) میزان تغییرات سالانه پوشش برف در این سال از ماه آوریل تا ماه سپتامبر ۴۶/۶- درصد کاهش برای سطوح برفی را نشان می‌دهد و مناطق غیرپوشش برف ۲۴/۱ درصد کاهش را نشان می‌دهد. در این سال سطح پوشش برف پس از گذشت دوره گرم (بهار، تابستان) سال، حدود ۵۱۲/۵۱ کیلومتر مربع از کل مساحت برف کاهش یافته است.



شکل (۵) سطوح پوشش برف ارتفاعات زردکوه بختیاری آوریل (فروردین) ۲۰۱۱  
شکل (۶) سطوح پوشش برف ارتفاعات زردکوه بختیاری سپتامبر (شهریور) ۲۰۱۱

### نقشه‌ی پوشش برف استخراج شده ماه آوریل و سپتامبر ۲۰۱۱

شکل (۵) نقشه‌ی سطوح پوشش برف را در ارتفاعات زردکوه بختیاری ماه آوریل (فروردین) سال ۲۰۱۱ را نشان می‌دهد. با محاسبه شاخص NDSI بر روی تصاویر ماهواره‌ای این ماه تعداد پیکسل‌های برفی را ۴۱/۱ درصد و پیکسل‌های بدون

پوشش برف را ۵۸/۹ درصد نشان داده است. مساحت پوشش برف ۹۷۹/۸۳ کیلو متر مربع و مساحت مناطق غیرپوشش برف ۱۴۳۵/۶۶ کیلو متر مربع کل منطقه را در این ماه پوشانده است. شکل (۶) نقشه سطوح پوشش برف را در ارتفاعات زردکوه بختیاری ماه سپتامبر (شهریور) سال ۲۰۱۱ را نشان می‌دهد. تصاویر ماهواره‌ای این ماه تعداد پیکسل‌های برفی را ۱۷/۸ درصد و پیکسل‌های بدون پوشش برف را ۸۲/۲ درصد نشان داده است. مساحت پوشش برف ۶۰۱/۸۳ کیلومتر مربع و مساحت مناطق غیرپوشش برف ۱۸۱۳/۶۷ کیلو متر مربع کل منطقه را در این ماه پوشانده است. طبق جدول (۱) میزان تغییرات سالانه‌ی پوشش برف در این سال از ماه آوریل تا ماه سپتامبر ۵۵/۵- درصد کاهش برای سطوح برفی را نشان می‌دهد و مناطق غیرپوشش برف ۶۰/۴- درصد کاهش را نشان می‌دهد. در این سال سطح پوشش برف پس از گذشت دوره‌ی گرم (بهار، تابستان) سال، حدود ۳۷۸/۰۱ کیلومتر مربع از کل مساحت کاهش یافته است.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای برای اندازه‌گیری روند تغییرات سطح پوشش برف ارتفاعات زردکوه بختیاری استفاده شده است. روند این تغییرات با استفاده از داده‌های ماهواره LANDSAT و سنجنده TM و ETM<sup>+</sup> اندازه‌گیری شده که نتایج حاصل از این بررسی بیانگر این موضوع مهم است که مقدار سطوح پوشش برف در ماه آوریل ۱۹۹۱ میلادی، ۱۷۵۸/۰۷ کیلومتر مربع بوده است. این مقدار پوشش در ماه آوریل در سال ۲۰۰۳ میلادی، به ۱۱۲۸/۴۳ کیلومتر مربع رسیده است. سطوح پوشش برف به مقدار ۵۲۹/۶۴ کیلومتر مربع از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۰۳ کاهش پیدا کرده است همچنین مقدار مساحت سطوح برف در آوریل ۲۰۱۱ میلادی ۹۷۹/۸۳ کیلومتر مربع بوده که نسبت به سال ۱۹۹۱ میلادی ۷۷۸/۲۴ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است. مقدار سطوح پوشش برف در ماه سپتامبر ۱۹۹۱



میلادی برابر با ۸۰۲/۸۶ کیلومتر بوده است. مقدار این سطوح در ماه سپتامبر ۲۰۰۳ به ۶۱۵/۸۳ کیلومتر مربع رسیده است که از ماه سپتامبر سال ۱۹۹۱ تا سپتامبر ۲۰۰۳ میلادی ۱۸۷/۰۶ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است، همچنین مقدار مساحت پوشش برف در ماه سپتامبر ۲۰۱۱ میلادی برابر با ۶۰۱/۸۳ کیلومتر مربع بوده که نسبت به ماه سپتامبر ۲۰۱۱ میلادی به ۲۰۱/۰۳ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است. مساحت سطوح بدون پوشش برف در ماه آوریل ۲۰۱۱ میلادی برابر ۱۴۳۵/۶۶ کیلومتر مربع بوده که نسبت به سال ۱۹۹۱ میلادی ۷۵۳/۵۹ کیلومتر مربع افزایش پیدا کرده است. مقدار سطوح بدون پوشش برف در سپتامبر سال ۲۰۱۱ میلادی ۱۸۱۳/۶۷ کیلومتر مربع بوده است که نسبت به سپتامبر سال مینا (۱۹۹۱) ۱۰۳۵/۵۱ کیلومتر مربع افزایش پیدا کرده است.

## منابع

- احمدی، محمود، داوود عاشورلو و مهدی نارنگی فرد (۱۳۹۱)، تغییرات زمانی- مکانی الگوهای حرارتی و کاربردی شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده TM و ETM+، مجله‌ی سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم زمستان ۹۱، صص ۶۸-۵۵.
- ارشد، صالح؛ مرید، سعید و هادی میرابوالقاسمی (۱۳۸۶)، بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور: مطالعه‌ی موردی رودخانه‌ی کارون از گتوند تا فارسیات (۱۳۶۹-۱۳۸۹)، مجله‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهاردهم، شماره‌ی ششم، بهمن- اسفند ۱۳۸۶، صص ۱۸۰-۱۹۴.
- امید قلع محمدی، محبوبه (۱۳۹۳)، بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زرد کوه بختیاری با استفاده از سنجش از دور، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، استاد راهنما محمود خسروی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- پرهت، جهانگیر (۱۳۸۴)، مدل توزیعی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، رساله‌ی دکتری هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، صص ۲۱۱-۱۹۷.
- رضائی، یوسف؛ ولدان زوج، محمدجواد و فریبرز وزیری (۱۳۸۸)، بررسی یخچال طبیعی خرسان زرد کوه بختیاری به وسیله تصاویر ماهواره‌ای، مجله‌ی علوم زمین، بهار ۸۸، سال هجدهم، شماره ۷۱، صص ۱۶۷-۱۷۲.
- شریفی، محمدرضا؛ آخوندعلی، علی‌محمد؛ پرهت، جهانگیر و جهانگرد محمدی (۱۳۸۶)، کاربر تحلیل خوشه‌ای به منظور تخمین عمق برف (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی صمصامی)، مجله‌ی پژوهش‌های کشاورزی، آب، خاک، و گیاه در کشاورزی، جلد هفتم، شماره‌ی چهارم، صص ۳۷-۲۵.
- فتاحی، ابراهیم و مجید وطیفه دوست (۱۳۹۰)، برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه‌ی موردی حوضه‌های

- استان گلستان)، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره‌ی سوم، پاییز ۱۳۹۰، شماره‌ی ۱۰۲؛ ۱۷۴۰۳-۱۷۴۲۳.
- قنبرپور، محمدرضا (۱۳۸۱)، کاربرد سنجش از دور در تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی برف در مناطق کوهستانی، مجله‌ی علمی و فنی سازمان هواشناسی کشور، نیوار، شماره‌ی ۴۴ و ۴۵.
- لرستانی، قاسم و علی شه‌ریار (۱۳۹۰)، کاربرد ENVI در سنجش از دور (تحلیل و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای)، نشر انتخاب.
- مالمیریان، حمید، ۱۳۸۳، راهنمای تهیه نقشه‌های موضوعی از تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ سوم.
- نجف‌زاده، رضا؛ ابریشم‌چی، احمد؛ تجریشی، مسعود و حمید طاهری شهرآیینی (۱۳۸۳)، شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف، مجله‌ی آب و فاضلاب شماره‌ی ۱۲.
- نجفی ایگدیر، احمد؛ قدوسی؛ جمال؛ ثقفیان، بهرام و جهانگیر پرهت (۱۳۸۶)، برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه‌ی شهرچائی ارومیه، مجله‌ی پژوهش سازندگی در منابع طبیعی، ۱۸۵، صص ۱۷۷-۷۶.
- وفاخواه، مهدی؛ محسنی ساروی، محسن؛ مهدوی، محمد و سیدکاظم علوی‌پناه (۱۳۹۰)، مجله‌ی پژوهش‌های آبخیز داری (پژوهش و سازندگی)، شماره‌ی ۹۲، پاییز ۱۳۹۰، صص ۸۰-۹۴.
- Carrol, StevenS, Carrol, Thomas.Robertw, and Poston, R.W. (1999), **Spatial modeling and prediction of snow-water equivalent using ground-based, airborne, and satellite snow data**, Vol. 104: PP.19623-19629.
- Engman, Edwin. T., and R.J., Gurney, (1991), **Remote Sensing in Hydrology**, 1st Edit, Chapman and Hall, p 225.

- Gupta, Ram.Pratap, Haritashya, U.K. and Singh, P, (2005), **Mapping dry/wet snow cover in Indian Himalayas using IRS multispectral imagery**, Remote Sensing of Environment, Vol 97: PP. 458- 469.
- Matson M., Roeplewski, C.F. and Varnadore M.S. (1986), **An Atlas of Satellite-Derived Northern Hemisphere Snow Cover Frequency**, National Weather Service: Washington, P. 75.
- Matsuo, Takayo.Sasyo.y, (1981), **Non-melting Phenomena of Snow Flakes Obserred in sab Saturated air below freezing level**, Journal of Meteological Societyof Japan, Vol. 59: PP, 26-32.
- Miller, N., I, (2004), **Pot entail impacts of climate change on californiahydrology**, Journal of the American water Resours Association (JAWRA), Vol. 39: PP.771.
- Rango, Albert, Salomonson, V.V. and Foster, J.L. (1977), **Seasonal stream flow estimation in the Hymalayan region employing meteorological satellite snow cover observation**: Water Resources Research, 13, PP.109-112.
- Singer, F.S., & Popham, R.W, (1963), **Non-meteorological observations from weather satellites**, Astronautics and Aerospace Engineering, Vol. 1(3), PP. 89-92.