

پایش مکانی و زمانی سطح پوشش برف با تصاویر NOAA-AVHRR در بازه زمانی ۱۳۸۵-۹۳ (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بالیقلوچای)

برومند صلاحی^{۱*} و مهسا نخستین روحی^۲

چکیده

در کشور ایران و به خصوص در نواحی کوهستانی آن، بارش برف یکی از عوامل اصلی ذخیره آب به شکل‌های مختلف برای مصرف در فصول گرم سال است. حوضه آبخیز بالیقلوچای، در استان اردبیل واقع شده که به دلیل کوهستانی بودن دارای زمستان‌های سرد و پر بارش است. این حوضه، نقش مهمی در تأمین آب شرب و کشاورزی منطقه دارد. در پژوهش پیش‌رو، تغییرات سطح پوشش برف زمستانه در بازه زمانی ۹ ساله (۱۳۹۳-۱۳۸۵) بررسی شد. برای دستیابی به این هدف از تصاویر ماهواره NOAA-AVHRR و الگوریتم NDSI استفاده شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که شمال غرب و جنوب غرب منطقه به دلیل قرار گرفتن کوهستان سبلان و ارتفاعات بزقوش از وضعیت برف‌گیری مناسبی برخوردار هستند. همچنین نتایج نشان داد که حداکثر سطح پوشش برف حوضه، مربوط به دی‌ماه سال ۱۳۸۵ با مساحت ۱۱۸۲/۷ کیلومترمربع (۹۴/۹ درصد) و حداقل مساحت برف نیز مربوط به دی‌ماه سال ۱۳۸۹ با مساحت ۳۳/۸ کیلومترمربع (۲/۷ درصد) است. این امر نشان دهنده تغییرات بسیار شدید در میزان پوشش برف منطقه مورد مطالعه است و همچنین آسیب‌پذیری منابع آب وابسته به ذوب برف را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پوشش برف، حوضه آبخیز بالیقلوچای، سنجش از دور، NOAA-AVHRR، NDSI.

ارجاع: صلاحی ب. و نخستین روحی م. ۱۳۹۷. پایش مکانی و زمانی سطح پوشش برف با تصاویر NOAA-AVHRR در بازه زمانی ۱۳۸۵-۹۳ (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بالیقلوچای). مجله پژوهش آب ایران. ۳۰: ۸۹-۹۷.

1- استاد گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.

2- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: bromand416@yahoo.com

تاریخ پذیرش: 1396/05/16

تاریخ دریافت: 1395/07/08

مقدمه

در مناطق واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا و متوسط، پوشش برف از پارامترهای مهم و کاربردی در مطالعات هیدرولوژیکی و اقلیم‌شناسی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). برف دارای نقش اساسی در بیلان تابش است و به دلیل تأخیر بین زمان بارش تا تولید رواناب، رفتار متفاوتی را در هیدرولوژی نشان می‌دهد. این پدیده اقلیمی، بخشی مهمی از محیط، اقلیم، تعادل انرژی سطح زمین و منبع اصلی آب تازه در بسیاری از نواحی است (مونوز و همکاران، ۲۰۱۳). آب مورد نیاز بیش از یک‌ششم از جمعیت جهان از طریق ذوب برف فصلی و یخچال‌های طبیعی تأمین می‌شود؛ بنابراین پایش سطح برف امری ضروری است (لی و همکاران، ۲۰۰۸).

مناطق برف‌گیر ایران بیشتر در ارتفاعات کوهستانی واقع شده‌اند که در این نواحی، شبکه ایستگاه‌های دیده‌بانی و اندازه‌گیری برف توسعه نیافته است؛ در نتیجه امکان اندازه‌گیری دقیق و گسترده انباشت و ذوب برف در این مناطق وجود ندارد. نبود اطلاعات کافی و صحیح از ذخایر برفی منجر به استفاده نامناسب از آب حاصل از ذوب برف شده است که این امر، خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به دنبال دارد. در حوضه‌های شمال غرب ایران نیز بخش اعظم بارش‌ها به صورت برف است و در نتیجه، آب حاصل از ذوب برف در شکل‌گیری رواناب‌های سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی در این منطقه نقش مهمی دارد؛ بنابراین پایش زمانی و مکانی سطوح پوشیده از برف در این نواحی دارای اهمیت بسیار است (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۲).

ماهواره به عنوان بهترین وسیله شناخته شده است که می‌تواند پوشش برفی مناطق وسیعی از سطح زمین را استخراج کند (سیمپسون و همکاران، ۱۹۹۸). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با وسعت برداشت بالا در مقایسه با داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های زمینی بسیار مقرون به صرفه است. همچنین توانایی تصویربرداری ماهواره‌ها از یک منطقه، در مقاطع زمانی مختلف، مطالعه مؤثر و کارآمد پراکنش زمانی و مکانی برف را امکان‌پذیر کرده است. این ویژگی‌ها، مزیت تکنیک سنجش از دور را در برآورد سطوح پوشیده از برف که دائماً در اثر عوامل اقلیمی و توپوگرافی دچار تغییر می‌شود، نشان می‌دهند (قنبرپور و همکاران، ۱۳۸۴).

تاکنون پژوهش‌های مختلفی در داخل و خارج از کشور در زمینه برآورد سطوح پوشیده از برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. دینی و همکاران (۱۳۸۶)، با استفاده از داده‌های ماهواره نوآ سنجنده AVHRR و به‌کارگیری روش قرار دادن آستانه در این داده‌ها، به شناسایی سطوح برف‌گیر در ارتفاعات البرز مرکزی اقدام کردند. در این پژوهش، اساس تفکیک ابر و برف، اختلاف انعکاس آن‌ها در محدوده طول‌موج‌های مرئی و مادون‌قرمز بود. برای جداسازی برف از سایر نواحی شاخص NDSI^۱ به کار گرفته شد. با استفاده از داده‌های AVHRR در تاریخ ۱۳۸۳/۰۱/۰۶ مساحت سطوح برف‌گیر ۵۳۰۳ کیلومتر مربع محاسبه شد. قاسمی و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی تغییرات سطح پوشش برف حوضه آبریز زاینده‌رود را در فاصله زمانی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ میلادی با استفاده از تکنیک سنجش از دور محاسبه و تغییرات درصد پوشش برف ماه‌های مختلف را در دوره ۱۵ ساله بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین سطح پوشش برف حوضه، در ماه ژانویه مشاهده می‌شود.

ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۴) از طریق شاخص NDSI با اعمال آستانه‌هایی به شناسایی و تفکیک سطوح پوشیده از برف حوضه بهار در استان همدان به‌واسطه تصاویر سنجنده MODIS پرداختند. نقشه‌های سطح پوشیده از برف در این پژوهش، با احتساب خطای شاخص NDSI به‌طور متوسط دارای خطای کمتر از ۲۰ درصد بودند. وانگ و همکاران (۲۰۰۵) سطح پوشش برف بهار را در منطقه قطبی کانادا در شمال تری‌لاین^۲ با استفاده از مجموعه داده‌های NOAA-AVHRR ارزیابی کردند. شش فصل بهار طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۸۱ با سطح پوشش برف کم (۱۹۹۸، ۱۹۸۸ و ۱۹۸۴) و زیاد (۱۹۹۷، ۱۹۹۵ و ۱۹۸۵) بررسی شد. نتایج نشان داد که در فصل ذوب برف (بهار)، سطح پوشش برف برآورد شده از داده‌های NOAA، بیشتر از مقدار واقعی است؛ بنابراین در استفاده از این داده‌ها در زمان ذوب برف در عرض‌های بالای نیمکره شمالی باید دقت لازم به عمل آید. یانگ و همکاران (۲۰۱۴)، به پایش سطح پوشش برف کشور چین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای هواشناسی چینی پرداختند. در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای هواشناسی چینی

1- Normalized Difference Snow Index

2- Tree line

۴۷° تا ۴۸° طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه، معادل ۱۳۰۴ و ۴۵۶۱ متر از سطح دریا است که به ترتیب بر ارتفاعات سبلان و محل خروجی حوضه انطباق دارند. جهت شیب عمومی منطقه غربی- شرقی است. آبراهه‌هایی که از دامنه جنوبی کوهستان سبلان و دامنه‌های شمال غربی رشته‌کوه‌های بزقوش سرچشمه می‌گیرند، در شهرستان نیر به یکدیگر می‌پیوندند و رودخانه بالیقلوچای را تشکیل می‌دهند. این رودخانه از شهر اردبیل می‌گذرد و به رودخانه قره‌سو می‌ریزد. آب رودخانه اهمیت بالایی در کشاورزی شهرستان اردبیل دارد.

داده‌های پژوهش

در پژوهش حاضر، تصاویر ماهواره NOAA-AVHRR برای بازه زمانی ۹ ساله (۹۳-۱۳۸۵)، از تارنمای NOAA به صورت LAC^۳ دریافت شد. این تصاویر از نظر زمانی مربوط به دوره سرد سال (دی‌ماه تا اسفندماه) بود؛ به گونه‌ای که ۳ تصویر با فاصله زمانی تقریباً یک ماه برای هر سال انتخاب شد. در مجموع از ۱۵ تصویر از تصاویر چند زمانه ماهواره NOAA در این پژوهش استفاده شد. سری ماهواره‌های NOAA را سازمان ملی اقیانوس‌شناسی و جوی^۴ ایالات متحده آمریکا به فضا پرتاب کرده‌اند. سنجنده AVHRR با قدرت تفکیک مکانی ۱/۱ کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی ۱ روز، سنجنده تصویربرداری ماهواره‌های NOAA است (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۱). باندهای طیفی به کار رفته در NOAA-19 و محدوده طیفی آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- باندها و محدوده‌های طیفی ماهواره NOAA-19 (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۱)

شماره باند	نام باند	محدوده طیفی (میکرومتر)
۱	مرئی	۰/۵۸ - ۰/۶۸
۲	مادون قرمز نزدیک	۰/۷۲۵ - ۱
۳A	مادون قرمز نزدیک	۱/۵۸ - ۱/۶۴
۳B	مادون قرمز میانی	۳/۵۵ - ۳/۹۳
۴	مادون قرمز میانی	۱۰/۳ - ۱۱/۳
۵	مادون قرمز میانی	۱۱/۵ - ۱۲/۵

Fengyun-2E, Fengyun-2E, و Fengyun-3B برای تهیه نقشه‌های پوشش برف استفاده شد. در روش جدیدی که برای کشف اطلاعات پوشش برف به کار رفت، از ترکیب رادبومتر مرئی و مادون قرمز^۱ در ماهواره‌های FY-2D و FY-2E و تصویرگر تابش مایکروویو^۲ در ماهواره مدار قطبی FY-3B استفاده شد. مطابق صحت‌سنجی انجام شده، دقت تصاویر پوشش برف نهایی ۹۱/۲۸ درصد به دست آمد. سلکوویتز و فارستر (۲۰۱۶) با استفاده از شاخص NDSI و اعمال برخی پردازش‌های دیگر روی تصاویر Landsat-TM و ETM⁺ نقشه‌های پوشش برف و یخ را در مناطق واقع در عرض‌های بالا (قطب شمال) تهیه کردند. در این پژوهش، از تصاویر دریافت شده طی ۵ سال (۱ اوت تا ۱۵ سپتامبر) استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده، روش ارائه شده در این مطالعه، توانایی قابل قبولی در تهیه نقشه‌های پوشش برف و یخ دائمی در عرض‌های بالا دارد. به‌ویژه زمانی که دسترسی به منابع بسیار دقیق و پایش سنتی برف و یخچال طبیعی وجود نداشته باشد.

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره NOAA-AVHRR در برآورد سطح پوشش برف حوضه‌های وسیع کاربرد دارد. با توجه به این که ایستگاه صائین تنها ایستگاه برف‌سنجی در حوضه مورد مطالعه است و داده‌های ثبت شده توسط آن قابل تعمیم به سطح وسیع حوضه نیست، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک سنجنش از دور روش مناسبی در بررسی سطوح پوشش برف منطقه است. پژوهش حاضر با هدف برآورد سطح پوشش برف زمستانه حوضه آبخیز بالیقلوچای در بازه زمانی ۹ ساله (۹۳-۱۳۸۵) با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA-AVHRR انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

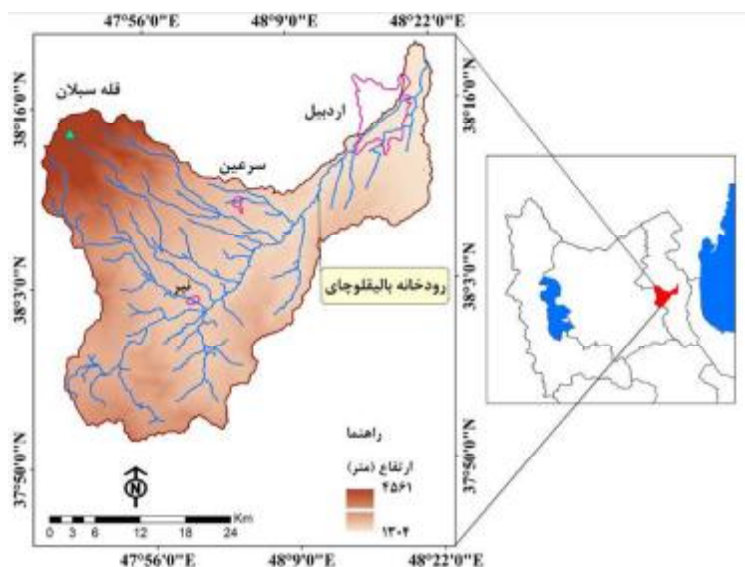
منطقه مورد مطالعه حوضه بالیقلوچای در غرب استان اردبیل با مساحت ۱۲۴۵/۷ کیلومترمربع، است. این حوضه در جنوب شهرستان مشکین‌شهر واقع شده است و قسمت‌هایی از شهرستان‌های اردبیل و نیر را پوشش می‌دهد. حوضه مورد نظر، بین ۳۷° تا ۳۸° عرض شمالی و

3- Local Area Coverage

4- National Oceanic and Atmospheric Administration

1- Visible and Infrared Spin Scan-Radiometer

2- Microwave Radiation Imager



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

اعمال شاخص برف تفاضلی نرمال شده

برای تعیین مناطق پوشیده از برف از شاخص NDSI استفاده شد. این شاخص به عنوان یک الگوریتم استخراج اتوماتیک برف به همراه آستانه‌هایی به کار می‌رود و به صورت پیکسل به پیکسل محاسبه می‌شود. با توجه به این که برف دارای بازتابندگی بالا در طیف مرئی و بازتابندگی پایین در مادون قرمز میانی است (نولین و لیانگ، ۲۰۰۰)، از شاخص NDSI برای تفکیک نواحی برفی از نواحی بدون برف استفاده می‌شود. شاخص ذکر شده براساس الگوریتم سیمپسون و همکاران (۱۹۹۸) و با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود:

$$NDSI = \frac{NOAA_{Band1} - NOAA_{Band3}}{NOAA_{Band1} + NOAA_{Band3}} \quad (2)$$

در معادله فوق، NDSI شاخص برف تفاضلی نرمال شده، $NOAA_{Band1}$ تصویر باند اول ماهواره NOAA در دامنه طیفی ۰/۶۸ - ۰/۵۸ میکرومتر (طیف مرئی) پس از انجام عملیات پیش‌پردازش و $NOAA_{Band3}$ تصویر باند سوم ماهواره NOAA پس از انجام عملیات پیش‌پردازش در دامنه طیفی ۳/۹۳ - ۳/۵۵ میکرومتر (مادون قرمز میانی) است (وفاخواه و همکاران، ۱۳۹۰).

پس از اعمال شاخص NDSI، پیکسل‌های دارای مقادیر بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۴ به عنوان پیکسل برفی انتخاب شدند. چرا که حداقل نیمی از مساحت این پیکسل‌ها توسط برف پوشیده می‌شود. سپس شاخص محاسبه شده

انتخاب داده مناسب

از جمله مشکلات اساسی در انتخاب تصویر برای برآورد سطح پوشش برف، وجود ابر در این تصاویر است. سطح پوشش برف محاسبه شده، زمانی دقت لازم را دارد که تصویر بدون ابر یا ابر ناچیزی داشته باشد. در این پژوهش، برای انتخاب تصاویر بدون ابر از معادله (۱) استفاده شد (میشرا و همکاران، ۲۰۱۶).

$$CCA\% = \frac{\text{تعداد کل پیکسل‌های ابری}}{\text{تعداد کل پیکسل‌های ابری تصویر}} \times 100 \quad (1)$$

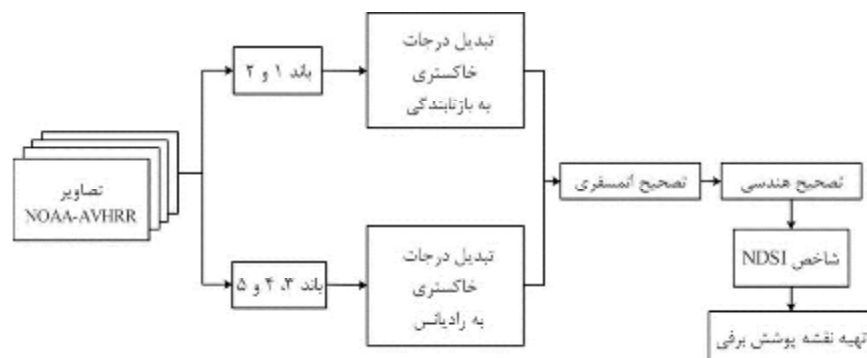
که $CCA\%$ همان درصد سطح پوشش ابر است. تصاویر دارای $CCA\%$ کمتر از ۵ درصد به عنوان تصاویر بدون ابر انتخاب شدند.

در مرحله آماده‌سازی داده‌ها، تصحیحات لازم برای اعمال پردازش‌های بعدی روی تصاویر منتخب انجام شد. ابتدا با کالیبراسیون تصاویر، درجات خاکستری باندهای ۱ و ۲ تبدیل به بازتابندگی و درجات خاکستری باندهای ۳، ۴ و ۵ تبدیل به رادیانس، سپس تصحیح اتمسفری با استفاده از روش منه‌ای تیرگی^۲ انجام شد. در گام بعدی با بهره‌گیری از روش مثلث‌بندی^۳ و نمونه‌برداری نزدیک‌ترین همسایه^۴ تصاویر حاصل از مراحل قبلی، زمین مرجع شدند.

1- Cloud Cover Percentage
2- Dark subtract
3- Triangulation
4- Nearest neighbor

پوشش برف از نرم‌افزار ArcGIS10.2.2 استفاده شد. همهٔ مراحل به کار رفته در روش پژوهش در شکل ۲ به صورت شماتیک ارائه شده است.

در محدودهٔ منطقهٔ مورد مطالعه، برش داده شد و همهٔ مراحل آماده‌سازی و پردازش در نرم‌افزار ENVI 5.1 انجام شد. نقشهٔ نهایی پوشش برف به صورت باینری تهیه می‌شود. (وفاخواه و همکاران، ۱۳۹۰). برای محاسبهٔ مساحت



شکل ۲- الگوریتم محاسبه شاخص NDSI در تصاویر NOAA-AVHRR

عاملی برای بالا بودن درجه حرارت این بخش در مقایسه با سایر بخش‌ها است. نتایج به دست آمده با نتایج سایر پژوهش‌ها مانند پژوهش روستایی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

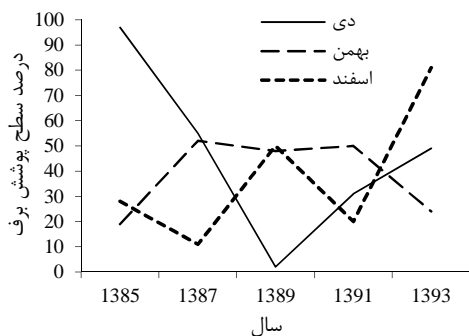
برای مقایسهٔ سطوح پوشش برف منطقهٔ مورد مطالعه، طی ۹ سال، نقشه‌های پوشش برف تهیه شده، در محیط نرم‌افزار ArcGIS به فرمت فایل وکتوری تبدیل و مساحت‌های پوشش برف محاسبه شد (جدول ۲).

بررسی مساحت‌های محاسبه شده نشان می‌دهد که در فصل زمستان سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳، حداکثر مساحت پوشش برف ۱۱۸۲/۷ کیلومترمربع (۹۴/۹ درصد) و مربوط به تاریخ ۱۳/۱۰/۱۳۸۵ و حداقل مساحت پوشش برف ۳۳/۸ کیلومترمربع (۲/۷ درصد) و مربوط به تاریخ ۹/۱۰/۱۳۸۹ بوده است. حداکثر سطح پوشش برف سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ در دی‌ماه، سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۳ در اسفندماه و سال در بهمن‌ماه رخ داده؛ بنابراین در این ۹ سال حداکثر سطح پوشش برف بیشتر مربوط به دی‌ماه و اسفندماه بوده است.

در شکل ۴، تغییرات سطح پوشش برف ماهانه فصل زمستان در بازهٔ زمانی مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، سطح پوشش برف دی‌ماه در سال‌های ۸۹-۱۳۸۵ به شدت کاهش یافته (۹۲/۲ درصد) و سپس تا سال ۱۳۹۳ دچار افزایش ۴۴ درصدی شده است. سطح پوشش برف

نتایج و بحث

در این پژوهش، پس از دریافت تصاویر ماهوارهٔ NOAA-AVHRR در بازهٔ زمانی ۹ ساله و انجام تصحیحات موردنیاز، نقشه‌های سطح پوشش برف زمستانه در این تصاویر با به‌کارگیری الگوریتم NDSI برای منطقهٔ مورد مطالعه تهیه شد. همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، این نقشه‌ها به صورت باینری و دارای دو طبقهٔ برفی و بدون برف هستند. براساس نقشه‌های استخراج شده، قسمت شمال غرب منطقه در فصل زمستان، همواره پوشیده از برف است؛ چرا که این ناحیه دارای حداکثر ارتفاع (بزرگ‌تر از ۳۰۰۰ متر) بوده و کوهستان سبلان در این قسمت واقع شده است؛ در نتیجه درجهٔ حرارت در این منطقه نسبت به سایر نواحی پایین‌تر است که این امر منجر به بارش برف و ماندگاری آن می‌شود. پس از آن، ناحیهٔ جنوب غربی حوضه نیز در اکثر نقشه‌ها پوشیده از برف است که به دلیل وجود ارتفاعات برقوقش با ارتفاع تقریبی ۲۰۰۰ تا ۲۷۰۰ متر در این بخش است. کمترین مقدار برف، عمدتاً در شمال شرق حوضه که منطبق بر خروجی حوضه است و پایین‌ترین ارتفاع منطقه را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین در مرکز حوضه نیز مقدار پوشش برف پایین است. ارتفاع کم در این نواحی منجر به بارش کمتر برف و در صورت بارش به دلیل درجهٔ حرارت بالا نسبت به سایر بخش‌ها برف به سرعت ذوب می‌شود. شهر اردبیل نیز که در شمال شرق حوضه واقع شده، خود



شکل ۳- روند تغییرات درصد سطح پوشش برف ماهانه

بهمن‌ماه از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۸۷ دچار افزایش ۳۵ درصدی شده و پس از آن تا سال ۱۳۹۱ به‌جز کاهش جزئی در سال ۱۳۸۹ تقریباً ثابت باقی مانده و در نهایت از سال ۱۳۹۱ تا سال ۱۳۹۳ حدود ۲۶ درصد کاهش داشته است. طی دوره زمانی مورد مطالعه، در اسفندماه سطح پوشش برف دارای نوسانات زیادی بوده و به‌صورت پیوسته دچار کاهش و افزایش شده؛ به گونه‌ای که از ۲۷ درصد در سال ۱۳۸۵ به ۸۲/۵ درصد در سال ۱۳۹۳ تغییر یافته است. در کل تغییرات سطح پوشش برف ماهانه، روند یکنواختی را نشان نمی‌دهد.

جدول ۲- مساحت‌های پوشیده از برف در تاریخ‌های تصویربرداری مختلف

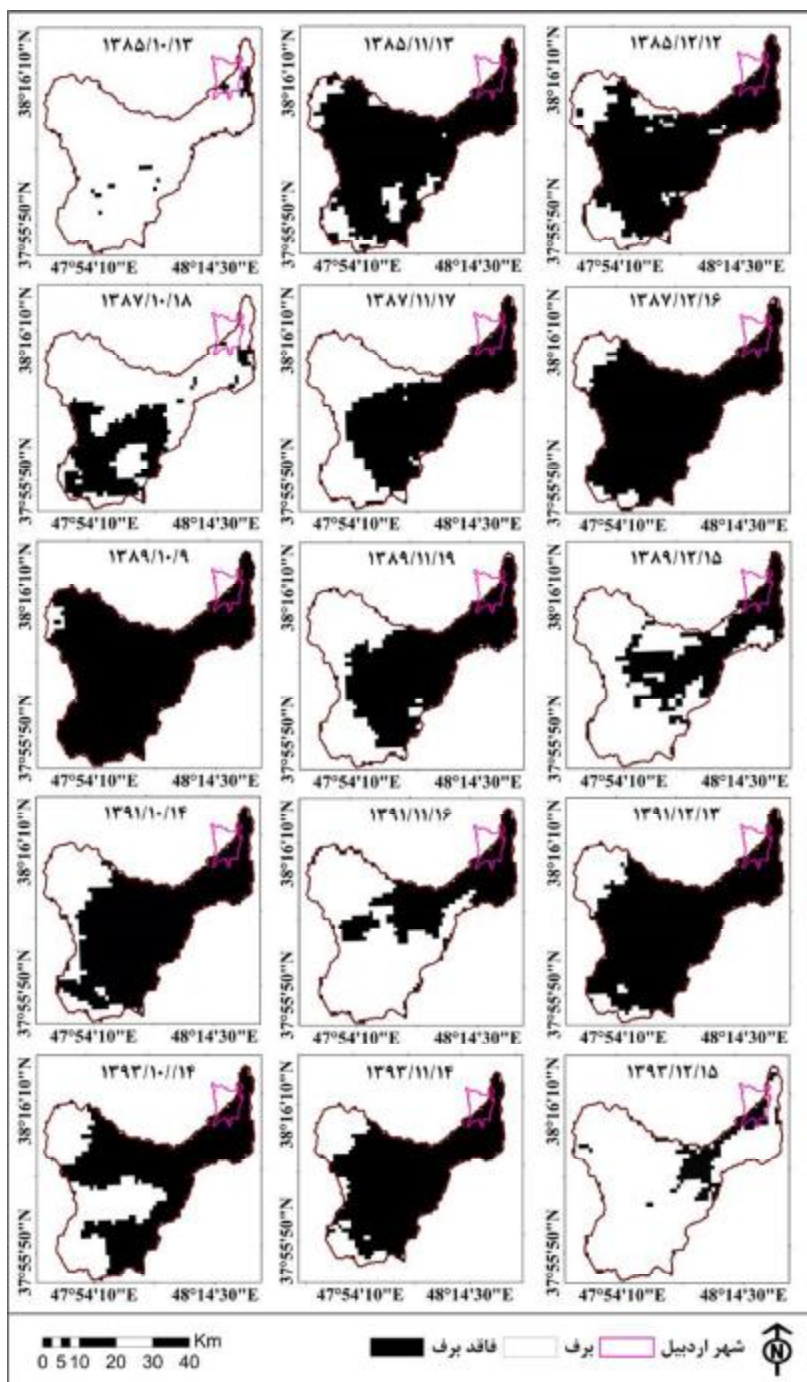
ردیف	تاریخ تصویربرداری	مساحت پوشش برف (کیلومتر مربع)	مساحت پوشش برف (درصد)
۱	۱۳۸۵/۱۰/۱۳	۱۱۸۲/۷	۹۴/۹
۲	۱۳۸۵/۱۱/۱۳	۲۲۵/۰	۱۸/۰
۳	۱۳۸۵/۱۲/۱۲	۳۳۶/۳	۲۷/۰
۴	۱۳۸۷/۱۰/۱۸	۶۹۷/۵	۵۵/۹
۵	۱۳۸۷/۱۱/۱۷	۶۵۹/۴	۵۲/۹
۶	۱۳۸۷/۱۲/۱۶	۱۶۰/۹	۱۲/۹
۷	۱۳۸۹/۱۰/۰۹	۳۳/۸	۰۲/۷
۸	۱۳۸۹/۱۱/۱۹	۵۹۶/۱	۴۷/۸
۹	۱۳۸۹/۱۲/۱۵	۶۱۴/۰	۴۹/۲
۱۰	۱۳۹۱/۱۰/۱۴	۳۸۷/۲	۳۱/۰
۱۱	۱۳۹۱/۱۱/۱۶	۶۴۱/۳	۵۱/۴
۱۲	۱۳۹۱/۱۲/۱۳	۲۵۲/۸	۲۰/۳
۱۳	۱۳۹۳/۱۰/۱۴	۵۸۳/۲	۴۶/۸
۱۴	۱۳۹۳/۱۱/۱۴	۳۱۳/۳	۲۵/۱
۱۵	۱۳۹۳/۱۲/۱۵	۱۰۲۷/۹	۸۲/۵

پوشش برف زمستانه سال‌های ۱۳۸۷-۹۳ با سال مینا (۱۳۸۵) نشان می‌دهد (شکل ۴) که سطح پوشش برف زمستانه در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۸۵ به ترتیب ۳، ۵/۶ و ۶ درصد کاهش؛ در حالیکه در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۸۵، ۲/۳ درصد افزایش یافته است.

برای مقایسه سطح پوشش برف هر سال با سال‌های دیگر، میانگین مقادیر سطح پوشش برف زمستانه هر سال محاسبه شد (جدول ۳). مطابق نتایج این جدول حداکثر و حداقل میانگین سطح پوشش برف به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۹۳ (۶۴۱/۴ کیلومتر مربع) و ۱۳۸۹ (۴۱۴/۶ کیلومتر مربع) بوده است. مقایسه درصد میانگین سطح

جدول ۳- میانگین سطح پوشش برف زمستانه و تغییرات آن

سال	میانگین سطح پوشش برف زمستانه	درصد میانگین سطح پوشش برف زمستانه	درصد تغییرات سطح پوشش برف زمستانه
۱۳۸۵	۵۸۱/۳	۲۲/۶۱	مینا
۱۳۸۷	۵۰۵/۹	۱۹/۶۸	-۲/۹۳
۱۳۸۹	۴۱۴/۶	۱۶/۱۳	-۶/۴۸
۱۳۹۱	۴۲۷/۱	۱۶/۶۱	-۶
۱۳۹۳	۶۴۱/۴	۲۴/۹۵	+۲/۳۴



شکل ۴- نقشه‌های سطح پوشش برف

مطالعه محاسبه شد. نقشه‌های تهیه شده و مساحت‌های پوشش برف محاسبه شده، نشان می‌دهد که شمال غرب و جنوب غرب حوضه آبخیز بالیقلوچای در فصل زمستان عمدتاً پوشیده از برف که علت آن به ترتیب وجود کوهستان سبلان و ارتفاعات بزقوش در این نواحی است. نواحی کم ارتفاع شامل خروجی (شمال شرق منطقه) و

نتیجه‌گیری

حوضه آبخیز بالیقلوچای در سه ماه فصل زمستان، شاهد بارش برف است. در این پژوهش، تصاویر بدون ابر ماهواره NOAA-AVHRR از هر ماه فصل زمستان در دوره آماری ۹ ساله (۹۳-۱۳۸۵) تهیه و با بهره‌گیری از الگوریتم NDSI، سطح پوشش برف تصاویر برای منطقه مورد

- داده‌های ماهواره‌ای MODIS و AVHRR و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). تحقیقات منابع آب ایران. ۳(۳): ۱-۸.
۳. روستایی ش. رحیم‌پور ت. و نخستین روحی م. ۱۳۹۵. آشکارسازی سطح پوشش برف حوضه آبریز تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA-AVHRR. دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری. دانشگاه تبریز. ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۵. ۷ ص.
۴. فاطمی س. ب. و رضائی ی. ۱۳۹۱. مبانی سنجش از دور. انتشارات آزاده. ۲۸۸ ص.
۵. فتاحی ا. مقیمی ش. و خورشیدی م. ۱۳۸۹. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای NOAA برای تعیین روند تغییرات سطح پوشش برف شمال غرب ایران. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. تهران. ۲۹ آذر الی ۱ دی ۱۳۸۹. ۸ ص.
۶. فتاحی ا. مقیمی ش. و خورشیدی م. ۱۳۹۲. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای NOAA برای تعیین روند تغییرات سطح پوشش برف شمال غرب ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۴(۱۴): ۱-۱۰.
۷. قاسمی م. طاهریان ا. و فتاحی نافچی ر. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات سطح پوشش برف حوزه آبریز زاینده‌رود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس. اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی. تهران. ۹ ص.
۸. قنبرپور م. ر. محسنی سارویم. ثقفیان ب. احمدی ح. و عباس‌پور ک. ۱۳۸۴. تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب. نشریه منابع طبیعی ایران. ۵۸(۳): ۵۰۳-۵۱۵.
۹. وفاخواه م. محسنی ساروی م. مهدوی م. و علوی‌پناه س. ک. ۱۳۹۰. مقایسه سطح پوشش برف در تصاویر ماهواره نوآ و سنجنده مودیس (مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان). نشریه پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). ۹۲(۹۲): ۸۰-۹۴.

مرکز حوضه، مقدار برف کمتری دارد. حداکثر سطح پوشش برف در بازه زمانی مورد مطالعه، ۱۱۸۲/۷ کیلومترمربع (۹۴/۹ درصد) و مربوط به تاریخ ۱۳۸۵/۱۰/۱۳ است؛ با این حال، سطح پوشش برف حداکثر در این سال‌ها بیشتر در دی‌ماه و اسفندماه رخ داده است. بررسی سطح پوشش برف هر ماه از فصل زمستان طی بازه زمانی مورد مطالعه، نشان می‌دهد که میزان پوشش برف ماهانه منطقه دارای تغییرات شدیدی است. حداکثر و حداقل میانگین سالانه سطح پوشش برف زمستانه به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۹۳ (۶۴۱/۴ کیلومترمربع) و ۱۳۸۹ (۶۱۴/۶ کیلومترمربع) بوده است. در کل نوسانات شدید سطح پوشش برف، نشان‌دهنده آسیب‌پذیری منابع آب وابسته به ذوب برف در منطقه مورد مطالعه است.

با توجه به اینکه تنها ایستگاه برف سنجی حوضه آبخیز بالیلوچای ایستگاه صائین است و داده‌های آن قابل تعمیم به کل حوضه نیست، برای صحت‌سنجی نتایج این پژوهش، می‌توان به نتایج پژوهش‌های انجام یافته در زمینه مشابه استناد کرد؛ برای نمونه رنگو همکاران (۱۹۷۷) در منطقه هیمالیا، فتاحی و همکاران (۱۳۸۹) در شمال غرب ایران، وفا خواه و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه آبخیز طالقان و روستایی و همکاران (۱۳۹۵) در حوضه آبریز تبریز، برای برآورد سطح پوشش برف از تصاویر NOAA-AVHRR استفاده کرده‌اند و به نتایج قابل قبولی دست یافته‌اند. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نیز تأییدکننده نتایج این پژوهشگران است و استفاده از آن‌ها در پژوهش‌های آینده برای مدیریت منابع آب منطقه پیشنهاد می‌شود.

منابع

۱. ایلدرمی ع. حبیب‌نژاد روشن م. صفری شاد م. و دلال اوغلو ع. ۱۳۹۴. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و شاخص NDSI به منظور تهیه نقشه پوشش برف (مطالعه موردی حوضه آبخیز بهار). فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی. ۱۵(۵۰): ۱۲۵-۱۴۰.
۲. دینی غ. ضیائیان فیروزآبادی پ. علیمحمدی سراب ع. و داداشی خانگاه س. ۱۳۸۶. بررسی سطوح برف‌گیر در البرز مرکزی با استفاده از

- Cryospheric change in China. *Global and Planetary Change*. 62: 210-218.
11. Mishra P. Zaphu V. V. Monica N. Bharda A. and Bandyopadhyay A. 2016. Accuracy assessment of MODIS fractional snow cover product for Eastern Himalayan catchment. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 1-9.
 12. Munoz J. Infante J. Lakhankar T. Khanbivardi R. Romanov P. Krakauer N. and Powell A. 2013. Synergistic use of remote sensing for snow cover and snow water equivalent estimation. *British Journal of Environment and Climate Change*. 3(4): 612-627.
 13. Nolin A. W. and Liang Sh. 2000. Progress in bidirectional reflectance modeling and applications for surface particulate media: Snow and soils. *Remote Sensing Reviews*. 14: 307-342.
 14. Rango A. Salomonson V.V. and Foster J. L. 1977. Seasonal stream flow estimation in the Himalayan region employing meteorological satellite snow cover observations. *Water Resources Research*. 13: 109-112.
 15. Selkowitz D. J. and Forster R. R. 2016. An automated approach for mapping persistent ice and snow cover over high latitude regions. *Remote Sensing*. 8(16): 1-21.
 16. Simpson J. J. Stitt J. R. and Sienko M. 1998. Improved estimates of the areal extent of snow cover from AVHRR data. *Journal of Hydrology*. 204 (1-4): 1-23.
 17. Wang L. Sharp M. Brown R. Derksen Ch. and Rivard B. 2005. Evaluation of spring snow covered area depletion in the Canadian Arctic from NOAA snow charts. *Remote Sensing of Environment*. 95: 453-463.
 18. Yang J. Jiang L. Shi J. Wu Sh. Sun R. and Yang H. 2014. Monitoring snow cover using Chinese meteorological satellite data over China. *Remote Sensing of Environment*. 143: 192-203.
 19. Zhang Y. Yann S. and Lu Y. 2010. Snow cover monitoring using MODIS data in Liaoning Province, Northeastern China. *Remote Sensing*. 2: 777-793.

