

مواد و روش‌ها

با توجه به پیشرفت‌های موجود در چند دهه گذشته، توسط کشورهای مختلف سنجنده‌ها و ماهواره‌های متعدد و متنوعی طراحی و به فضا ارسال شده که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، سنجنده MODIS است که بر روی ماهواره‌های TERRA و AQUA نصب شده است. ماهواره‌های مذکور، با توجه به قابلیت‌های فنی و اپتیکی خود تصاویر متنوعی را در باندهای مختلف الکترومغناطیس عرضه می‌دارند. تصاویر ماهواره‌ای مادیس به دلیل دوره بازگشت یک روزه و قدرت تفکیک زمینی بهتر نسبت به ماهواره‌های مشابه برای تهیه نقشه‌های سطح پوشیده از برف مناسب است. هرچند در استفاده از تصاویر مادیس به علت قدرت تفکیک مکانی پایین، آن دسته از پوشش‌های برفی که در داخل دره‌های کوهستانی هستند، قابل استخراج نیستند. در تصاویر ماهواره‌ای تشخیص ابر از برف اهمیت دارد. به منظور آماده‌سازی و تبدیل داده‌های خام تصاویر خام حسگر مادیس که از ماهواره‌های Terra و Aqua دریافت شد. بر روی داده‌ها سه عملیات تبدیل فرمت، تطابق زمینی و کالیبراسیون انجام شد. در این مرحله تصحیحات به صورت کلی بوده و تصاویر از لحاظ هندسی، رادیومتریکی و اتمسفریک نیز به صورت دقیق‌تری تصحیح شدند. زمین مرجع نمودن داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس با توجه به قدرت تفکیک ۵۰۰ متر و با در نظر گرفتن این‌که هر پیکسل از تصاویر، سطحی معادل ۵۰۰*۵۰۰ متر را می‌پوشاند، ضرورت دارد. برای ژئورفرنس کردن یا زمین مرجع نمودن شکل از نرم‌افزار ENVI استفاده شده است. منظور بررسی تغییرات زمانی - مکانی پوشش برف حوضه بالادست هامون و نقش آن در تغییرات مساحت آب تالاب‌ها، از تصاویر سنجنده مادیس و شاخص NDSI استفاده شد.

نتایج و بحث

توزیع زمانی بلندمدت پوشش برف ماهانه نشان داد بیشترین مساحت برف به ترتیب در ماه فوریه، مارس و ژانویه است. بررسی روند تغییرات ماهانه سطح پوشیده از برف نشان داد مساحت برف با شیب تندی کاهش می‌یابد، به طوری که تقریباً در خردادماه در اکثر سال‌ها پوشش برف به حد صفر می‌رسد. در برخی سال‌ها هم تعداد ماه‌های بدون برف به بیش از ۶ ماه می‌رسد. بیشترین مساحت تحت پوشش برف در فوریه سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ بوده است در حالی که بیشترین مساحت

پایش برف در بالادست حوضه و ارتباط آن با تغییرات مساحت آب هامون‌ها با استفاده از سنجش از دور

فاطمه درگاهیان^۱، یوسف موسیوند^۲، سمانه رضوی زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹

DOI: 10.22034/18.64.90

چکیده مبسوط

مقدمه

آب ورودی به تالاب‌هایی که در مناطق جغرافیایی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند ناشی از نزولات جوی باران و برف ارتفاعات بالادست حوزه‌های آبخیز منتهی به آن‌هاست. به منظور بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات آن‌ها پایش نزولات جوی در بالادست به ویژه برف از اهمیت شایانی برخوردار است. با توجه به شرایط سخت فیزیکی محیط‌های کوهستانی، امکان اندازه‌گیری دائم زمینی جهت تخمین منابع برفی وجود ندارد. به همین جهت استفاده از داده‌های سنجش از دور به منظور پایش تغییرات سطح برف می‌تواند کمک بسیار خوبی باشد. تغییرات زمانی - مکانی پوشش برف حوضه بالادست هامون هیرمند در مناطق برف‌گیر شمال شرق حوضه در افغانستان می‌تواند در تغییرات مساحت آب تالاب‌های نقش داشته باشد. کاهش بارش برف و مساحت تحت پوشش برف پدیده‌ای جهانی و متأثر از پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم است که مناطق مختلف را با شدت و ضعف تحت تأثیر قرار داده است و کشور افغانستان در منطقه‌ای واقع شده که آسیب‌پذیری بیشتری داشته است. تغییرات دما در بالادست حوضه مساحت تحت پوشش برف را متأثر و مقدار و توزیع آب ورودی به هامون‌ها را متأثر می‌کند. آگاهی از تغییرات پوشش برف بالادست حوضه و ارتباط آن در تغییرات آب هامون‌ها می‌تواند به مدیریت منابع آب دشت سیستان کمک کند.

۱- دانشیار پژوهشی، عضو هیئت علمی بخش تحقیقات بیابان موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. * نویسنده مسئول fatemeh.dargahian@gmail.com

۲- پژوهشگر مرکز فضایی ماهدشت، کرج، ایران.

۳- استادیار پژوهشی، عضو هیئت علمی بخش تحقیقات بیابان موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

پوشش آب در سال‌هایی بوده که بارش‌های سیلابی از بالادست حوضه به سمت هامون‌ها با تأخیر یک تا دو ماه روانه شده است. بیشترین مساحت آب مربوط به ماه‌های آوریل ۲۰۰۵ و می ۲۰۰۷ و کمترین مساحت آب مربوط به آوریل ۲۰۱۸ است که هامون‌ها کاملاً خشک و فقط چاه‌نیمه‌ها دارای آب هستند. روند تغییرات مساحت پوشش برف و مساحت پوشش آب کاهشی بوده است و شیب روند تغییرات کاهشی در سری زمانی داده‌های مربوط به مساحت آب تندتر از برف است. توزیع زمانی ماهانه بارش برف در بالادست حوزه آبریز هامون‌های سیستان نشان داد که فوریه و سپس مارس بیک مساحت پوشش برف بوده‌اند. توزیع زمانی ماهانه مساحت آب نیز نشان داد که بیک مساحت پوشش سطح آب با دو ماه تأخیر در ماه‌های آوریل و می است. در ماه‌های نوامبر و دسامبر که مساحت آب به حداقل می‌رسد بارش برف شروع به خیز می‌نماید.

نتیجه‌گیری

تالاب‌های هامون در مناطق جغرافیایی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند و آب ورودی به آن‌ها ناشی از نزولات جوی در ارتفاعات بالادست حوزه‌های آبخیز است. در این راستا، هرگونه تغییرات طبیعی و مدیریت انسانی در بالادست می‌تواند منجر به تغییرات پوشش آب هامون‌های هیرمند شود. توزیع زمانی ماهانه بارش برف نشان داد که فوریه و مارس بیشترین سطح پوشش برف را دارند. پنج تا شش ماه از سال هیچ برفی روی زمین نمی‌بارد و چند ماه متوالی تأمین منابع آبی از طریق ذخیره برف قطع می‌شود. توزیع زمانی ماهانه سطح آب نشان داد که اوج پوشش سطح آب در ماه‌های فروردین و اردیبهشت با دو ماه تأخیر بوده است. بین مساحت پوشش برف در بالادست حوضه و سطح آبی هامون در مقیاس ماهانه رابطه معناداری وجود ندارد. اما در مقیاس سالانه رابطه نسبتاً معناداری وجود دارد، به طوری که ضریب تبیین مساحت آب و برف نزدیک به ۰/۵ است، بنابراین میزان بارش برف در ارتفاعات بالادست در تغییرات محدوده آبی هامون مؤثر است، اما به دلیل ورود آب حاصل از ذوب برف از سمت ورودی‌های متعدد به تالاب و مدیریت آن در بالادست ضریب تبیین خوبی با تغییرات ماهانه نداشته و دارای ضریب تبیین نسبتاً قابل قبولی با تغییرات مساحت سالانه است.

کلیدواژه‌ها: ارتفاعات برف‌گیر، بالادست حوضه، تصاویر مادیس، مساحت آب هامون‌ها.

مقدمه

یکی از صفات مشترک همه پیش‌بینی‌های مربوط به تغییرات اقلیمی، گرم شدن میانگین دمای هوا، در نزدیکی سطح زمین است. از تأثیرات منفی گرمایش جهانی، کاهش آب رودخانه‌ها و سطح آب

دریاچه‌ها، بخصوص در محیط‌هایی است که به ذوب تدریجی برف وابسته‌اند [۴۱]. بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ناشی از ذوب برف در بالادست حوضه آبریز زاینده‌رود کاهش حجم رواناب سالانه در زیرحوضه، کاهش شدید رواناب تولید شده در فصول بهار و تابستان و افزایش رواناب در فصول زمستان و پاییز را نشان داد [۲]. بررسی تغییرات سری زمانی (۲۰۰۵-۱۹۵۶) تعداد روزهای برفی در غرب میانی ایران با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال کاهش تعداد روزهای برفی در ماه‌های مارس و نوامبر را نشان داد [۳۳]. حیدری [۱۵] در آذربایجان غربی با استفاده از آمار برف مربوط به ۷ ایستگاه سینوپتیک با دوره زمانی متفاوت حداقل ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۲ نشان داد که در ایستگاه‌های شمالی روند کلی نزول بارش از سال ۲۰۰۰ به وقوع پیوسته است. نظری شیخی و همکاران [۳۱] با ارزیابی تغییر خط برف ناشی از تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز الشتر نشان دادند، خط برف ماه ژانویه بین تراز ۱۰۰ تا ۱۱۰۰ متر در سال‌های مختلف نوسان کرده است که بالا رفتن خط برف در حوضه می‌تواند از تبعات تغییر اقلیم، افزایش دما و تغییر الگوی بارش بشمار رود.

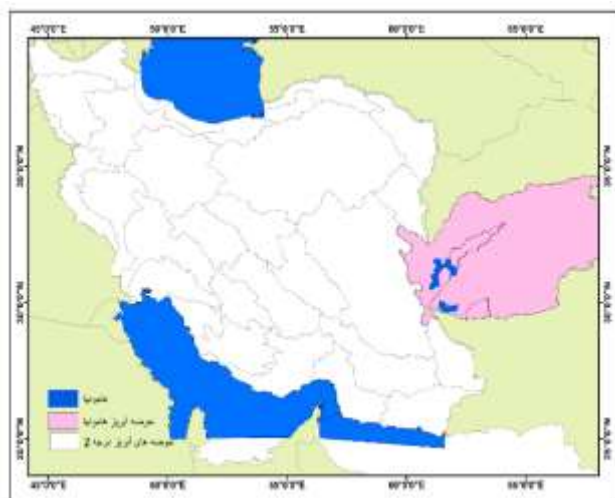
برف، یک منبع عمده جریان آب در هر منطقه است. از این رو، آگاهی از توزیع زمانی و مکانی برف برای مدیریت مناسب منابع آب محدود در هر منطقه‌ای ضروری است. با توجه به شرایط سخت فیزیکی محیط‌های کوهستانی، امکان اندازه‌گیری دائم زمینی جهت تخمین منابع برفی و تشکیل پایگاه داده‌ها وجود ندارد. به همین جهت استفاده از داده‌های سنجش از دور به منظور پایش تغییرات سطح برف بسیار مؤثر است. به علت ابرناکی مناطق برف‌گیر در فصل زمستان، اطلاع از سطح پوشیده از برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مشکل است، بنابراین جهت مدیریت بهتر منابع آب در مناطق کوهستانی، استفاده از روش‌های کمکی برای اطلاع از سطح پوشیده از برف ضروری است [۱۸]. در دو دهه اخیر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعات زیادی در زمینه پوشش برف انجام شده است. بررسی تغییرات زمانی- مکانی پوشش برف استان کردستان با استفاده از محصولات سنجنده مادیس در بازه زمانی ۱۷ ساله (۱۳۹۶-۱۳۷۹) نشان داد که روند افزایشی دما موجب آب شدن سطوح برفی در سطح استان شده است [۴۳]. پایش پوشش برف و تغییرپذیری مکانی و زمانی آن در دامنه‌های جنوبی البرز نشان داد که پوشش در اوایل پاییز و اواخر زمستان رو به افزایش و در ژانویه و به‌ویژه فصل بهار به میزان فزاینده‌ای در حال کاهش است. این وضعیت نشان‌دهنده کوتاه شدن دوره تداوم پوشش برف و افزایش دوره ذوب آن است [۵]. بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست TM و ETM+ نشان داد که سطوح پوشش برف روندی کاهشی داشته است [۲۰]. برای تشخیص سهم ناهمواری‌ها (جهت و میزان شیب دامنه) در ریزش برف در دو طرف دامنه شمالی و جنوبی کوهستان الوند از تلفیق مدل NDSI و مدل همسازها استفاده شد، نتایج نشان داد روند پوشش برف در دو طرف دامنه الوند در دهه

اخیر رو به کاهش است [۲۴]. پایش سطح پوشش برف شمال غرب ایران با استفاده از داده‌های MODIS نشان داد بیشترین مساحت تحت پوشش برف در سطح منطقه دارای روند کاهشی است که این روند بیانگر اثر گرمایش جهانی و اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش است [۱۱]. تجزیه و تحلیل روند تغییرات پوشش برف در محدوده رشته‌کوه زاگرس با استفاده از تصاویر مادیس نشان داد که سال ۲۰۰۹ نقطه عطفی در پوشش برف زاگرس به شمار می‌رود و از این سال به بعد تا سال ۲۰۱۶ برای تمامی ماه‌ها به‌جز ماه نوامبر تغییرات پوشش برف کاهشی است [۲۷]. بررسی تغییرات روزهای همراه با پوشش برف در حوضه زاینده‌رود با استفاده از تصاویر مادیس در دوره زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ نشان داد سهم بارش ماه‌های پاییزی رو به افزایش اما سهم بارش ماه‌های زمستانه رو به کاهش است [۲۱]. تغییرات پوشش برف در ارتفاعات البرز مرکزی با استفاده از داده‌های پوش-برف و دمای سطح زمین ماهواره ترا و آکوا سنجنده مادیس در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ نشان داد دمای سطح زمین و برف-پوش دارای روند معکوس، خصوصاً در فصول زمستان و پاییز هستند [۱۴].

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اپتیکال سنتینل ۲ در سال ۱۳۹۷ در شهرستان اردبیل و سرعین سطح پوشش برف از طریق شاخص NDSI به دست آمده و از تصاویر ماکروویو سنتینل ۱ عمق برف بررسی شد نتایج نشان داد کمترین میزان و عمق برف در دامنه‌های شرقی و بیشترین مقدار آن در دامنه‌های غربی بوده است [۴]. بررسی تغییرات مکانی-زمانی پوشش و ماندگاری برف در دامنه شمالی البرز مرکزی با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS و نمایه NDSI برای برآورد پهنه پوشش برف در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نشان داد که پهنه پوشش برف در ماه ژانویه نزدیک به ۲۲۰ کیلومتر در سال افت کرده است، که این افت با افزایش میانگین دمای این ماه همبستگی منفی معنی‌داری داشت [۶]. تغییرات زمانی-مکانی پوشش برف ایران طی دوره سرد سال، با استفاده از داده‌های پوشش برف سنجنده مادیس ماهواره ترا، طی دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۸ بررسی شد. کانون اصلی پوشش برف ایران، در دوره سرد سال، در مناطق مرتفع بیش از ۴۰۰۰ متر به‌دست آمده است. روند تغییرات پوشش برف، در تمامی ماه‌های مورد مطالعه، منفی و بیشینه شدت کاهشی پوشش برف نیز متعلق به ژانویه بوده است. نقطه تغییر نیز در همین ماه و سال ۲۰۰۸ محاسبه شد که از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. روند کاهشی درخورد توجه پوشش برف ایران، در دوره سرد، تهدید بزرگی برای منابع آبی ایران به شمار می‌رود [۱]. بررسی تغییرات فضایی-زمانی پوشش برف و آب معادل برف حوضه‌های کارون، کرخه و دز، نشانگر روند کاهشی مساحت پوشش برف و حجم آب معادل برف در اکثر ماه‌ها بود [۳۸]. اثرات یک رویداد خشک‌سالی بر سطح پوشش برف تا ۵ ماه در منطقه باقی خواهد ماند. بیشترین تأثیر خشک‌سالی پس از دو ماه در منطقه پوشش برف ظاهر می‌شود و شاخص خشک‌سالی که بیشترین ارتباط را با تغییرات پوشش برف

دارد، پنجره زمانی ۲ ماهه SPI (SPI2) است [۳].

با توجه به روند افزایش دما براساس مدل‌های اقلیمی در ده‌های آتی روند کاهشی مقدار بارش و مساحت تحت پوشش برف بیشتر خواهد شد [۱۶]. با توجه به نقش مهمی که برف در تعدیل آب و هوای فعلی ایفا می‌کند، بررسی سهم کاهش برف پیش‌بینی شده در گرم شدن آینده بسیار مهم است [۸]. به‌طوری که با توجه به تمام سناریوهای مدل‌های تغییر اقلیم میزان بارش برف بهاری در نیمکره شمالی حدود ۸٪ نسبت به سطح ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ در هر درجه سانتی‌گراد افزایش دمای جهانی کاهش می‌یابد [۳۰]. در محدوده کوه سیرانواد در جنوب اسپانیا که دارای آب و هوا مدیترانه‌ای است با توجه به سناریو ۸٫۵ (RCP8.5) برای دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰، کاهش قابل‌توجهی در منطقه پوششی برف نشان داده شده است [۳۴]. طی سال‌های اخیر تغییر اقلیم در آلپ‌های اروپا منجر به کاهش مدت زمان پوشش برف و همچنین افزایش فراوانی و شدت امواج گرمای تابستان شده است [۷]. پوشش برف در برابر گرم شدن آب و هوا، به‌ویژه تغییرات دما، آسیب‌پذیر است. در رشته‌کوه هیمالیا در ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر برف کاهش اما در ارتفاعات بالای ۵۰۰۰ متر برف افزایش داشته است [۳۹]. بررسی داده‌های دمای سطح زمین و پوشش برف در حوضه مانا در هند نیز نشان داد که حداکثر و میانگین دمای سطح رو به افزایش و درصد پوشش برف از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ به دلیل افزایش دمای سطح، اندکی کاهش یافته است [۳۶]. تغییرات پوشش برف هیمالیا با استفاده از داده‌های پوشش برف MODIS از ۲۰۰۰-۲۰۱۵ نشان‌دهنده افزایش حداقل و حداکثر دمای هوای منطقه و کاهش معنی‌دار پوشش برف است [۳۵]. بررسی تغییرات پوشش برف در کوه‌های آند نشان داد که هر سال ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر بر ارتفاع خط برف مرز افزوده می‌شود که این امر به تغییرات دما مرتبط است [۴۰]. مدت زمان پوشش برف برای کل منطقه تیان‌شان یک روند کاهشی را نشان می‌دهد [۲۲]. در منطقه هونزای پاکستان تغییرات پوشش برف از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ نشان داد مساحت برف دارای روند کاهشی است که با افزایش میانگین دمای ماهانه و سالانه و کاهش بارش بستگی دارد؛ بنابراین افزایش دما و کاهش بارندگی به ذوب برف کمک می‌کند که می‌تواند باعث سیل و کمبود آب در مناطق پایین‌دست شود [۲۶]. در فلات چینگهای-تبت داده‌های سنجنش از دور روزانه پوشش برف از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ نشان داد ذوب برف منجر به افزایش خطر سیلاب‌ها شده است [۲۲]. مطالعه تفاوت عمودی فنولوژی برف و واکنش آن به تغییرات اقلیمی در کوه‌های مرتفع آلپ با استفاده از داده‌های سنجنش از دور از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ نشان داد فنولوژی برف به‌طور قابل‌توجهی با تغییر دما و بارش در بیشتر ارتفاعات مرتبط است، آستانه ارتفاع ۳۶۰۰ متر برای تفکیک اهمیت نسبی دما و بارندگی برای تعداد روزهای همراه با برف و سطح پوشیده از برف مشخص می‌شود [۴۵]. بنابراین کاهش بارش برف و مساحت تحت پوشش برف



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز ایران و افغانستان در منطقه

Fig 1. The location of the watershed of Iran and Afghanistan in the region

این رو طولانی ترین رود واقع در میان سند و فرات به شمار می آید. این رود از بلندی های کوه بابایغما در ۴۰ کیلومتری غرب کابل از رشته کوه هندوکش در افغانستان سرچشمه می گیرد. در بالادست حوضه آبریز هلمند بیشتر بارش ها به صورت برف است. در شکل ۱ موقعیت حوضه های آبریز هامون در ایران و افغانستان نشان داده شده است.

روش کار

برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی مناطق کوهستانی بوده که در تأمین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی به صورت جریان های تأخیری در فصول پرآبی و جریان های کمینه در فصول کم آبی و تولید انرژی نقش ارزنده ایفا می کند. از سوی دیگر رواناب حاصل از ذوب برف به دلیل نقش تأخیری آن، منبع اصلی تغذیه سفره های آب زیرزمینی و در برخی از موارد به دلیل هم زمانی با بارش های بهاره منشأ بروز سیلاب های مخرب با حجم جریان بیش از ظرفیت رودخانه ها می شود [۲۵]. با توجه به پیشرفت های موجود در چند دهه گذشته، توسط کشورهای مختلف سنجنده ها و ماهواره های متعدد و متنوعی طراحی و به فضا ارسال شده که یکی از مهم ترین آن ها، سنجنده MODIS است که بر روی ماهواره های TERRA و AQUA نصب شده است. ماهواره های مذکور، با توجه به قابلیت های فنی و اپتیکی خود تصاویر متنوعی را در باندهای مختلف الکترومغناطیس عرضه می دارند. تصاویر ماهواره ای مادیس به دلیل دوره بازگشت یک روزه و قدرت تفکیک زمینی بهتر نسبت به ماهواره های مشابه برای تهیه نقشه های سطح پوشیده از برف مناسب است که در این تحقیق برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفت. رایگان و همکاری [۲۶] در تحقیقی که به وسیله تصاویر این ماهواره در زیر حوزه قلعه شاهرخ انجام شد، نشان دادند که این تصاویر از دقت قابل ملاحظه ای برخوردار هستند

پدیده های جهانی و متأثر از پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم است که مناطق مختلف را با شدت و ضعف تحت تأثیر قرار داده است و کشور افغانستان در منطقه ای واقع شده که آسیب پذیری بیشتری داشته است. یخچال های طبیعی بیشتر در منطقه شمال شرقی آن واقع شده اند و مطالعات نشان می دهد که بسیاری از یخچال های طبیعی عقب نشینی کرده اند و اندازه دریاچه های دره-حوضه به دلیل ذوب برف و یخ در این منطقه افزایش یافته است. بررسی تغییرات آب و هوا در افغانستان نشان داد زمستان در مقایسه با تابستان گرم تر می شود [۳۲]. تغییرات دما در بالادست حوضه مساحت تحت پوشش برف را متأثر و مقدار و توزیع آب ورودی به هامون ها را متأثر می کند. از این رو، آگاهی از تغییرات پوشش برف بالادست حوضه و ارتباط آن با تغییرات آب هامون ها می تواند به مدیریت منابع آب دشت سیستان کمک کند.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز هامون در دو کشور ایران و افغانستان واقع شده است. هامون هیرمند در ایران زیرمجموعه حوضه آبریز مرزی شرق است. مساحت این حوضه، ۳۳۷۳۱ کیلومترمربع است. رود های مهمی که از خراسان جنوبی به سوی دریاچه هامون جریان دارند، رود شور نهبندان و رود بندان هستند. بخش افغانی حوضه آبریز به نام هلمند از زیر حوضه های متعددی تشکیل شده است. در قسمت های بالادست حوضه که دارای ارتفاعات بیش از ۴۰۰۰ متر است در فصل سرد بارش ها به شکل برف است. میزان بارش برف و در نتیجه سطح پوشش آن در سال های مختلف متفاوت است. آب ناشی از ذوب برف در شاخه های متعددی وارد هامون ها می شود که مهم ترین آن هیرمند است. هیرمند از رود های پرآب افغانستان و آسیا به شمار می رود و طول آن ۱۱۰۰ کیلومتر است؛ از

[۳۷]. هرچند در استفاده از تصاویر مادیس به علت قدرت تفکیک مکانی پایین، آن دسته از پوشش‌های برفی که در داخل دره‌های کوهستانی هستند، قابل استخراج نیستند.

در تصاویر ماهواره‌ای تشخیص ابر از برف اهمیت دارد. در محدوده مادون‌قرمز میانی ابر دارای بازتابندگی زیادی است و به رنگ سفید ظاهر می‌شود در حالی که بازتابندگی برف نزدیک به صفر بوده و سیاه دیده می‌شود. برف تازه از برف کهنه نیز قابل تشخیص است. برف تازه در ناحیه مادون‌قرمز نزدیک دارای بازتابش بالایی است و همچنین برف در ناحیه مادون‌قرمز میانی دارای بازتابش بسیار پائین است. پس می‌توان گفت برفی که در مادون‌قرمز میانی دارای بازتابش بسیار کمی است از طرف دیگر در مادون‌قرمز نزدیک نیز دارای بازتابش کمتری است، برف کهنه و فشرده است که ممکن است یخ را نیز شامل شود.

به منظور آماده‌سازی و تبدیل داده‌های خام تصاویر خام حسگر مادیس از ماهواره‌های Terra و Aqua دریافت شد. بر روی داده‌ها سه عملیات تبدیل فرمت، تطابق زمینی^۱ و کالیبراسیون^۲ انجام شد. تبدیل داده‌های خام با استفاده از نرم‌افزار IMAPP^۳ صورت گرفته و در آن علاوه بر انجام تصحیحات، تبدیل فرمت آن‌ها به فرمت HDF^۴ نیز انجام شد. لازم به ذکر است در این مرحله تصحیحات به صورت کلی بوده و لازم است تصاویر از لحاظ هندسی، رادیومتریکی و اتمسفریک به صورت دقیق‌تری تصحیح شوند که این مراحل نیز توسط سیستم IMAPP انجام شد. زمین مرجع نمودن داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس با توجه به قدرت تفکیک ۵۰۰ متر و با در نظر گرفتن این‌که هر پیکسل از تصاویر، سطحی معادل ۵۰۰*۵۰۰ متر را می‌پوشاند، ضرورت دارد. برای ژئورفرنس کردن یا زمین مرجع نمودن شکل از نرم‌افزار ENVI استفاده شده است.

شاخص پوشش برف NDSI

بازتابندگی سطح برف به شدت از تغییر عواملی چون دانه‌بندی، شکل، محتوی آب، زبری سطح، ژرفا و ناخالصی برف و همچنین زاویه فرود خورشیدی و زاویه انعکاس تأثیر می‌پذیرد. افزایش سن برف از میزان بازتابندگی آن در نواحی طیفی مرئی و فروسرخ نزدیک می‌کاهد که عامل اصلی این کاهش افزایش دانه‌بندی برف به دلیل ذوب و انجماد دوباره آن است. میزان امواج کوتاه و بلند که در سطح برف دریافت می‌شود می‌تواند منبع مهمی برای فرایند ذوب برف باشد. شاخص پوشش برفی NDSI یک نسبت‌گیری طیفی است که از اختلاف طیفی باندهای مادون‌قرمز و باند مرئی سنجنده MODIS استفاده می‌کند. این شاخص از برتری‌های بازتاب طیفی برف که در باند مرئی دارای بازتاب بالا و محدوده طیفی مادون‌قرمز دارای بازتاب پایین است، برای بازسازی برف از ابر و نواحی بدون پوشش

1. GeoLocation
2. Callibration
3. International MODIS/AIRS Processing Package
4. Hierarchical Data Format

برفی استفاده می‌کند.

$$NDSI = \frac{\text{float}(b4) - \text{float}(b6)}{\text{float}(b4) + \text{float}(b6)} \quad (۱)$$

که در آن از رفلکتانس باندهای ۴ و ۶ سنجنده مادیس استفاده می‌شود. شاخص پوشش برفی همراه با آستانه‌گذاری طیفی بر روی باند ۲ و ۴ رابطه‌ای پایدار در استخراج نقشه پوشش برفی را ارائه می‌نماید. همچنین جریان شبیه‌سازی شده در سال آبی ۸۱-۸۰ در حوزه آبخیز سد کرج با ضریب تبیین ۰/۴۶۷۸ و تفاضل حجم ۰/۱۲۹۲ مترمکعب بر ثانیه نشان از دقت داده‌های حاصل از نقشه‌های پوشش برفی به دست آمده از تصاویر MODIS دارد [۲۵]. تهیه نقشه سطح تحت پوشش برف در استان اردبیل با استفاده از تصاویر ماهواره و شاخص پوشش برفی (NDSI) نشان داد شاخص پوشش برفی همراه با آستانه‌گذاری طیفی بر روی باند ۲ و ۴ رابطه‌ای پایدار در استخراج نقشه پوشش برفی است [۲۸]. با توجه به اینکه بازتاب برف و آب نزدیک به هم است لذا نیاز است سطوح آبی را از شکل NDSI ماسک شود. برای این کار ابتدا فرمول زیر را روی شکل پیاده شده است.

$$LE(0) = \frac{\text{Float}(b4) - \text{float}(b2)}{\text{float}(b4) + \text{float}(b2)} \quad (۲)$$

سپس شکل ماسک به دست آمده را در شکل به دست آمده از شاخص برف ضرب شده است.

$$Mask\ water * NDSI \quad (۲)$$

ترکیب شاخص و آستانه‌گذاری

شاخص NDSI به تنهایی نتایج بسیار خوبی را به دست نمی‌دهد. لذا به منظور دستیابی به نتایج بهتر و نیز برای جلوگیری از قرار گرفتن آب و ابر در گروه برف می‌بایست NDSI بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۴ باشد و باند ۲ بزرگ‌تر از ۰/۱۱ و باند ۴ نیز بزرگ‌تر مساوی ۰/۱۰ باشد.

$$(b1 \geq 0.4) \text{ and } (b2 \geq 0.11) \text{ and } (b4 \geq 0.10) \quad (۳)$$

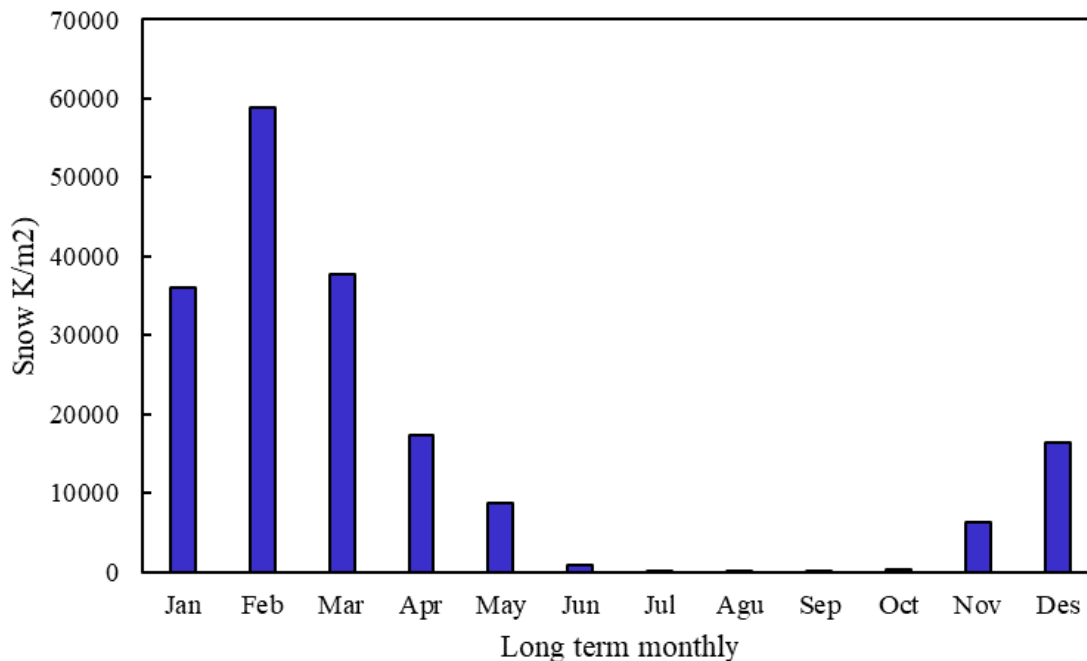
که در آن b1 برابر شاخص NDSI و b2, b4 باندهای ۲ و ۴ مادیس هستند.

تا این مرحله از کار پوشش‌های برفی شناسایی شد، اما نتایج به دست آمده، برخی پیکسل‌های ابر که رفتار طیفی شبیه به پیکسل‌های برف دارند را نیز شامل می‌شود (ابرهایی که بلورهای یخ و برف دارند). برای پیشگیری از این خطا، نتایج به دست آمده (ماسک مناطق برف) را در شاخص پوشش برفی ضرب کرده تا داده‌ها به جای نمایش به صورت پیکسل‌های برف و غیر برف، به صورت یک طیف از ۰ تا ۱۰۰ درصد، احتمال وجود برف را نشان دهند.

مساحت آب هامون‌ها

پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم روی داده‌ها، پارامترها و شاخص‌های موردنیاز برای جداسازی آب از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شد.

5. Normalized Difference Snow Index



شکل ۲- توزیع ماهانه بلندمدت مساحت پوشش برف ماهانه در بالادست حوزه آبخیز هامون

Fig 2. Long-term monthly distribution of monthly snow cover area in the upstream of Hamoun catchment

مساحت برف به ترتیب در ماه فوریه، مارس و ژانویه است (شکل ۲). بررسی روند تغییرات ماهانه سطح پوشیده از برف نشان داد مساحت برف با شیب تندی کاهش می‌یابد. به طوری که تقریباً در خردادماه در اکثر سالها پوشش برف به حد صفر می‌رسد. در برخی سالها هم تعداد ماههای بدون برف به بیش از ۶ ماه می‌رسد (شکل ۳). بیشترین مساحت تحت پوشش برف در فوریه سالهای ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ بوده است (شکل ۴ تا ۶). درحالی که بیشترین مساحت پوشش آب در سالهایی بوده که بارشهای سیلابی از بالادست حوضه به سمت هامونها با تأخیر یک تا دو ماه روانه شده است. بیشترین مساحت آب مربوط به ماههای آپریل ۲۰۰۵ و می ۲۰۰۷ و کمترین مساحت آب مربوط به آپریل ۲۰۱۸ است که هامونها کاملاً خشک و فقط چاهنیمهها دارای آب هستند.

روند تغییرات مساحت پوشش برف و مساحت پوشش آب کاهشی بوده است. شیب روند تغییرات کاهشی در سری زمانی دادههای مربوط به مساحت آب تندتر از برف است (شکل ۱۰). توزیع زمانی ماهانه بارش برف در بالادست حوضه آبریز هامونهای سیستان نشان داد که فوریه و سپس مارس پیک مساحت پوش برف هستند. توزیع زمانی ماهانه مساحت آب نیز نشان داد که پیک مساحت پوشش سطح آب با دو ماه تأخیر در ماههای آپریل و می بوده است (شکل ۱۱). در ماههای نوامبر و دسامبر که مساحت آب به حداقل می‌رسد بارش برف شروع به خیز می‌نماید.

همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است بین مساحت ماهانه پوشش برف در بالادست حوضه و مساحت آب هامونها ارتباط معنی داری وجود ندارد. اما بررسی ارتباط سالانه مجموع مساحت

شاخص^۱ NDWI

این شاخص با استفاده از اختلاف باندهای مادون قرمز و سبز اقدام به شناسایی بدنه‌های آبی می‌کند
(۴)

$$NDWI = (\text{greenBand} - \text{NIRBand}) / (\text{greenBand} + \text{NIRBand})$$

شاخص^۲ MNDWI

این شاخص نیز با استفاده از اختلاف بین باند مادون قرمز و سبز، اقدام به جداسازی بدنه‌های آبی می‌کند

$$MNDWI = (\text{Green} - \text{SWIR}_1) / (\text{Green} + \text{SWIR}_1) \quad (۵)$$

شاخص^۳ WRI

این شاخص با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی، قرمز و سبز، اقدام به جداسازی بدنه‌های آبی می‌کند
(۶)

$$WRI = ((\text{greenBand} + \text{redBand}) / (\text{NIRBand} + \text{SWIRBand}))$$

شاخص^۴ NDVI

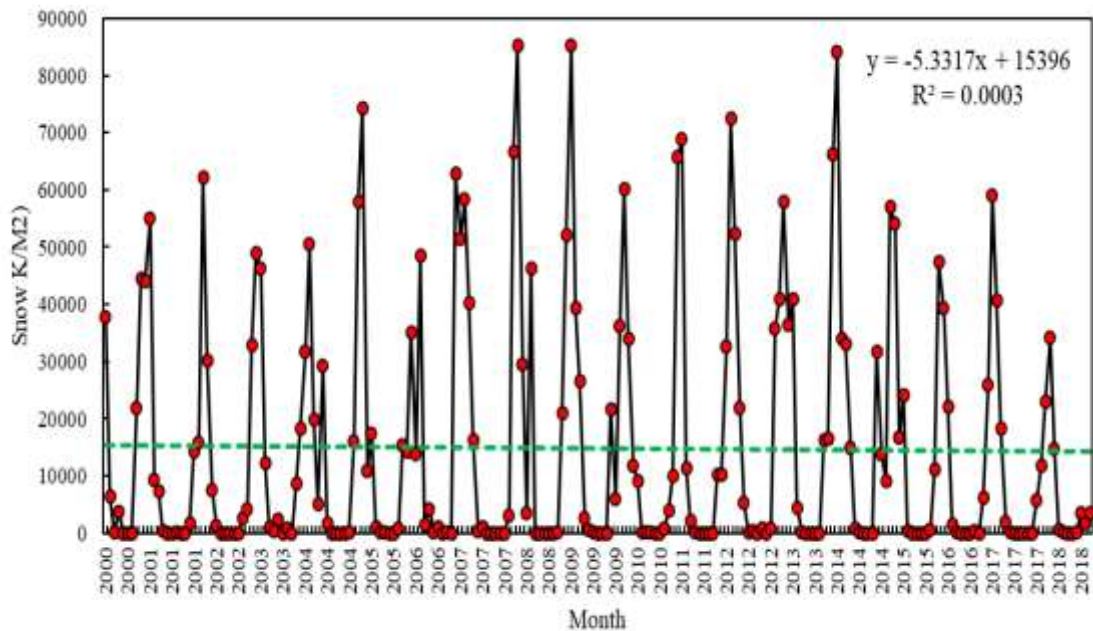
این شاخص نیز با استفاده از اختلاف بین باند مادون قرمز و قرمز، اقدام به جداسازی بدنه‌های آبی می‌کند
(۷)

$$NDVI = (\text{NIRBand} - \text{redBand}) / (\text{NIRBand} + \text{redBand})$$

نتایج

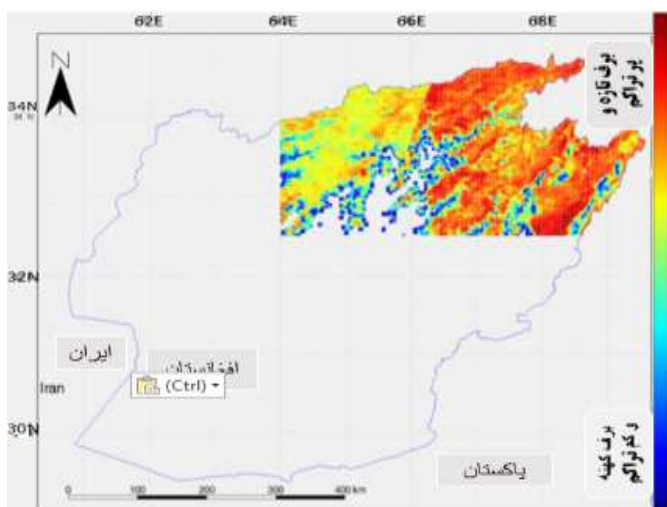
توزیع زمانی بلندمدت پوشش برف ماهانه نشان داد بیشترین

1. Normalized Difference Water Index
2. Modified Normalized Difference Water Index
3. Water Ratio Index
4. Normalized Difference Vegetation Index



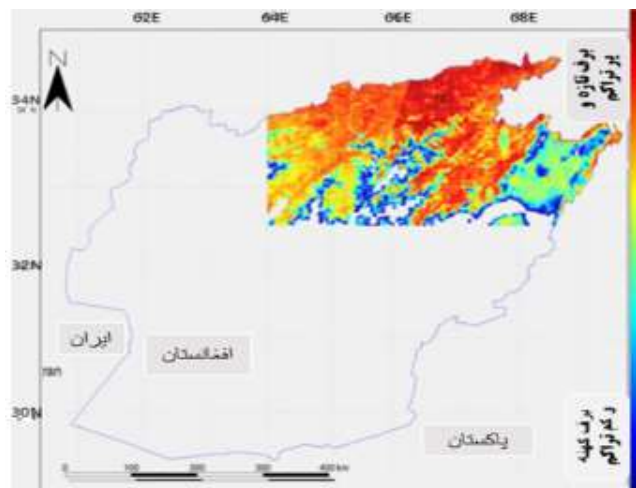
شکل ۳. روند تغییرات مساحت پوشش برف ماهانه در بالادست حوزه آبخیز هامون

Fig 3. Changes in the area of monthly snow cover in the upstream of the Hamoon catchment area



شکل ۵ پوشش برف فوریه ۲۰۰۹

Fig 5. February 2009 snow cover



شکل ۴ پوشش برف فوریه ۲۰۰۸

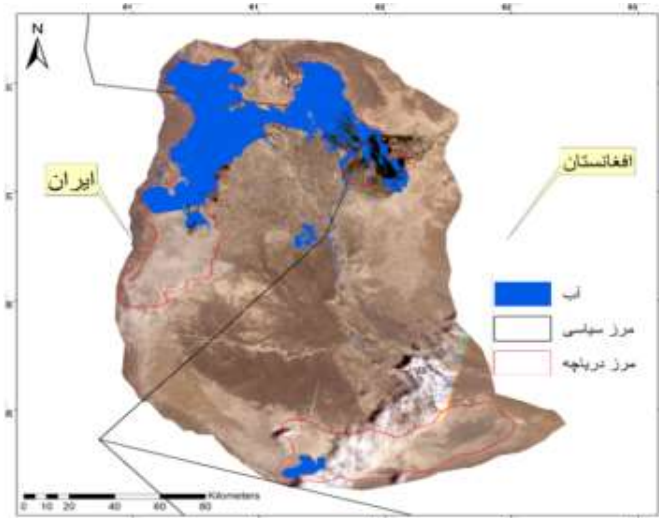
Fig 4. February 2008 snow cover

آن از حالت جامد، ریز و مداوم بودن به بارش‌های مایع، کوتاه‌مدت، رگباری و دانه‌درشت تبدیل شده است. در نتیجه تغییر اقلیم بارش‌های حدی برف در برخی سال‌ها مانند فوریه ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ خودنمایی می‌کند. اما در مجموع تعداد رخداد‌های برفی کم و کوتاه‌مدت شده و بارش‌های برف چند روزه گاهی مواقع جای خود را به رگبارهای برف چند ساعته که بلافاصله ذوب می‌شوند، داده است. در بالادست حوضه آبریز مورد مطالعه افزایش دما می‌تواند یکی از مهمترین عوامل کاهش مساحت برف باشد که با مطالعات دیگری که عامل افزایش دما را در کاهش مساحت برف موثر می‌دانند

پوشش برف و مجموع مساحت پوشش سطح آب رابطه نسبتاً معنی‌داری را تبیین می‌کند به طوری که ضریب تبیین مساحت آب و برف نزدیک به ۰/۵ است، بنابراین میزان بارش برف در ارتفاعات بالادست در مساحت آب هامون‌ها مؤثر است (شکل ۱۳).

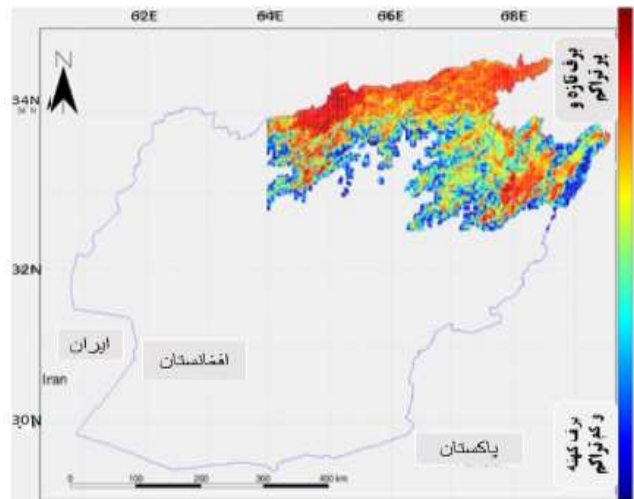
بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم، تغییر نوع بارش‌ها از جامد به مایع در نتیجه افزایش دما است. صرف‌نظر از تغییرات مقدار بارش در نواحی مختلف ماهیت بارش‌ها تغییر کرده و ویژگی‌های



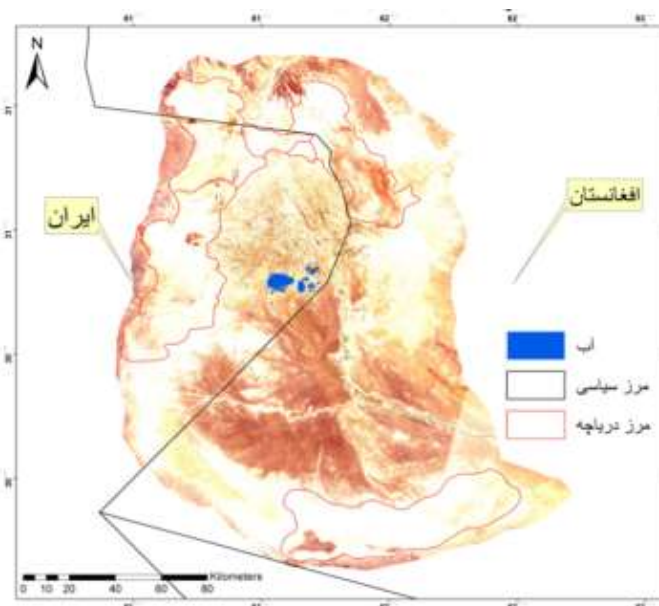
شکل ۷. پوشش آب آپریل ۲۰۰۵

Fig 7. February 2005 water cover



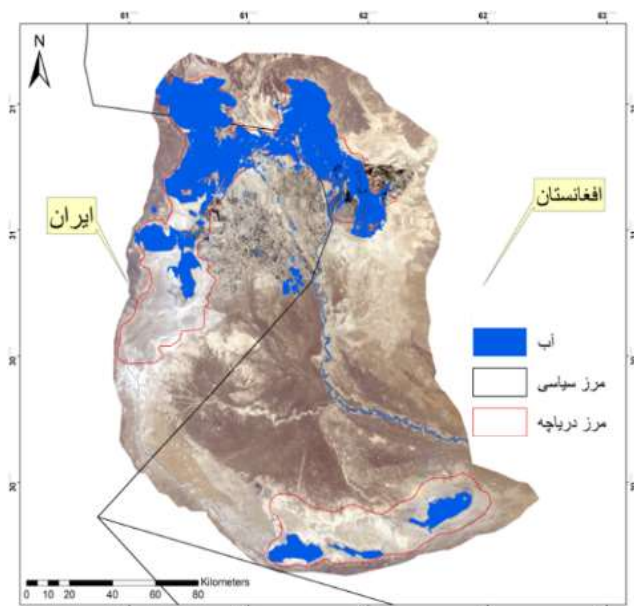
شکل ۶. پوشش برف فوریه ۲۰۱۴

Fig 6. February 2014 snow cover



شکل ۹. پوشش آب آپریل ۲۰۱۸

Fig 9. February 2018 water cover

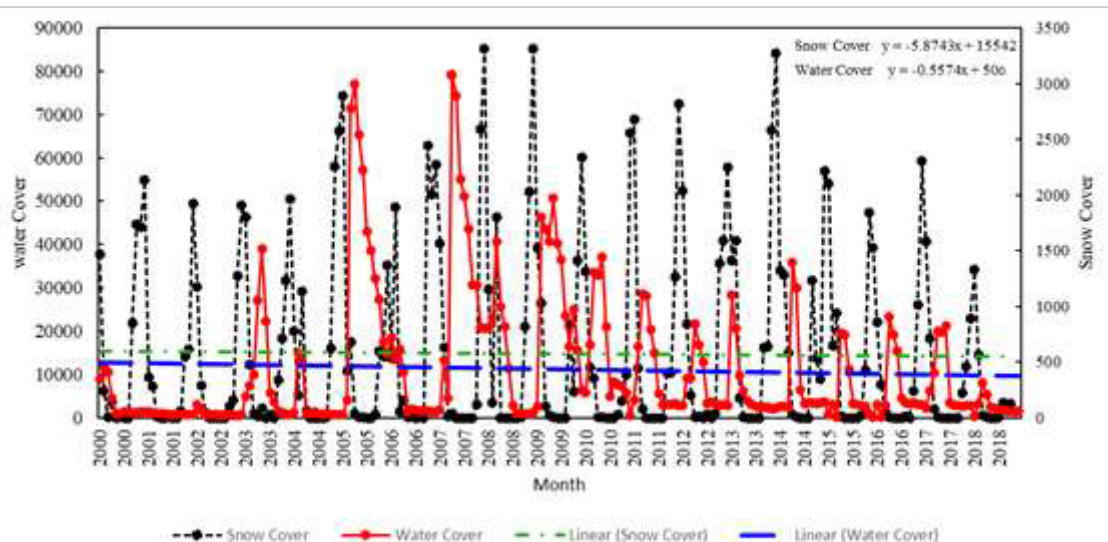


شکل ۸. پوشش آب آپریل ۲۰۰۷

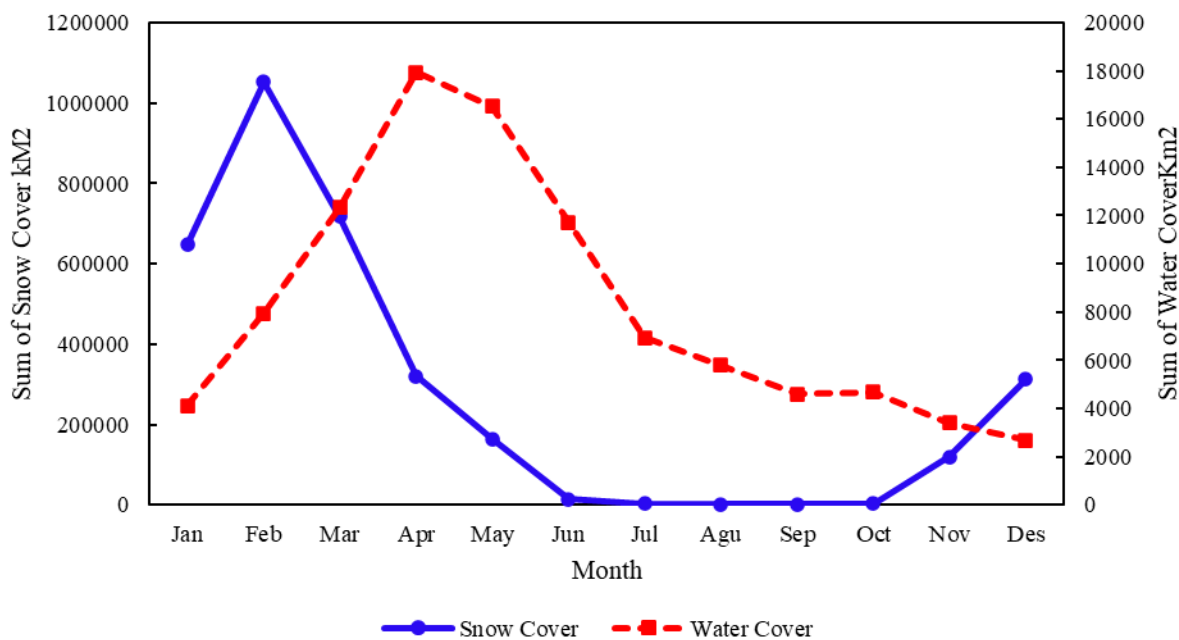
Fig 9. February 2018 water cover

منابع آب حاصل از ذوب برف تغذیه نمی‌شوند. تغییرات مساحت پوشش برف در این حوضه کاهش یافته است؛ این کاهش مساحت پوشش برف پدیده‌های فراگیر و جهانی و پیامد تغییر اقلیم است که حوزه‌های آبخیز عرض‌های میانی نیز از این امر مستثنی نبوده بلکه آسیب‌پذیری بیشتری هم می‌توانند داشته باشند. روند تغییرات مساحت پوشش برف نشان داد که در طول دوره آماری مورد مطالعه ۱۳۴۰ کیلومترمربع از مساحت تحت پوشش برف در حوضه مورد مطالعه کاسته شده است. کاهش مساحت تحت پوشش برف خود می‌تواند در تشدید پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن مؤثر باشد و کنترل و مدیریت حقا به تعیین شده و مورد نیاز هامون‌ها با

مطابقت دارد [۹، ۱۲، ۴۴ و ۴۶]. در ایران بارش برف شدت تابع ارتفاع و عرض جغرافیایی است [۲۹]. در حوزه آبریز مورد مطالعه هم ارتفاع و عرض جغرافیایی مهمترین عوامل مؤثر در بارش برف هستند. در ایران ژانویه بیشترین بارش برف را دارد [۱۰، ۱۳ و ۱۹]. اما در حوضه آبخیز مورد مطالعه که در شرق ایران واقع شده است ماه فوریه بیشترین مساحت برف را دارد [۲۳]. که با نتایج این مطالعه کاملاً مطابقت دارد. پس از فوریه بیشترین مساحت پوشش برف در ماه مارس بوده است. در بیشتر سال‌های مورد مطالعه تعداد ماه‌هایی که فاقد پوشش برف است بین ۵ تا ۶ ماه است. بنابراین در بیش از ۶ ماه از سال هامون‌ها از



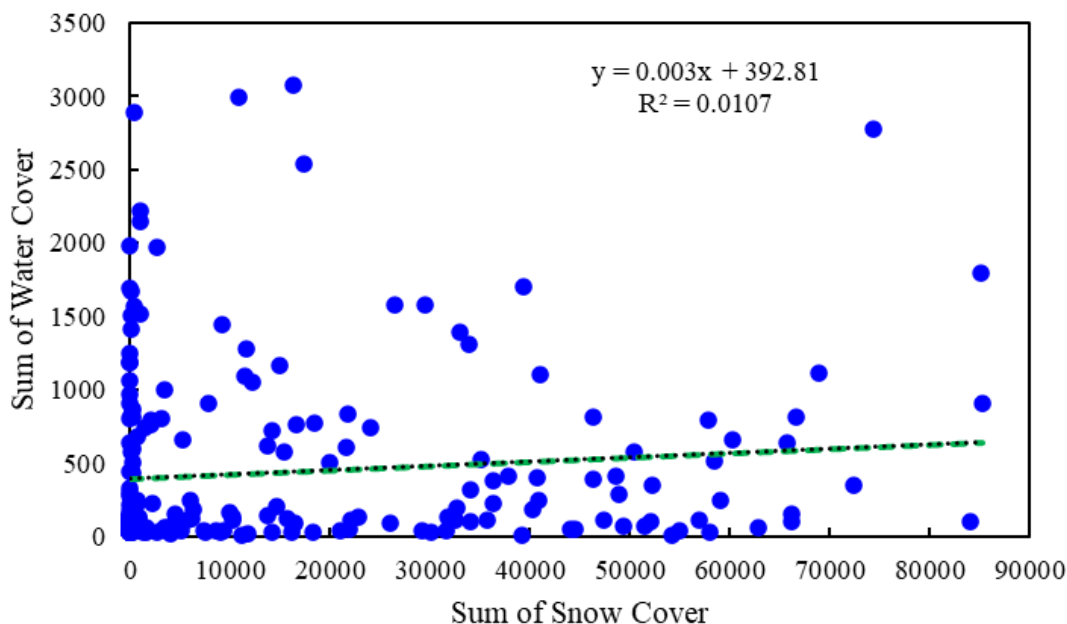
شکل ۱۰- مقایسه روند تغییرات مساحت پوشش برف بالادست حوضه و مساحت آب ماهانه هامون‌ها در پایین‌دست حوضه
 Fig 10. Comparison of changes in the monthly snow cover area upstream of the basin and the monthly water area in the downstream of the basin



شکل ۱۱- توزیع زمانی ماهانه بارش برف در بالادست حوضه آبریز و مساحت آب هامون‌ها در پایین‌دست حوضه
 Fig 11. Monthly temporal distribution of snowfall in the upstream of the catchment and the water area of Hamuns in the downstream of the catchment

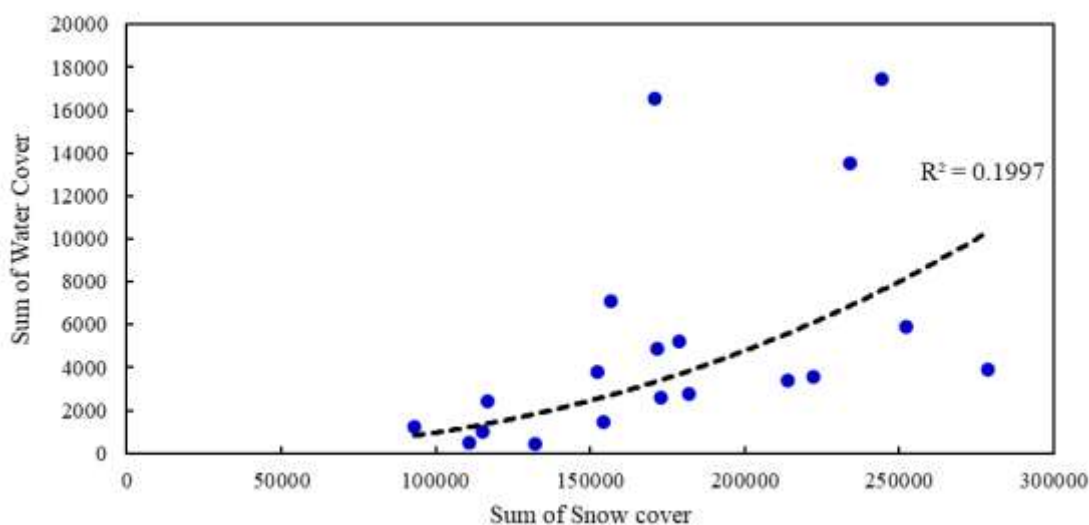
این رودخانه با احداث سد و توسعه زمین‌های زیر کشت متاثر شده و در همراهی با کاهش بارش و افزایش دما در بالادست حوضه منجر به کاهش دبی ورودی به هامون‌ها شده است. از آنجایی که آب حاصل از ذوب برف بالادست حوضه تنها از طریق رودخانه هیرمند به هامون‌ها نمی‌رسد و از طریق رودخانه‌ها و آبراهه‌های فصلی دیگری به هامون‌ها می‌رسد و متاسفانه آماری از آن‌ها موجود نیست،

دقت و شدت بیشتری کنترل و مانع از رسیدن آب به پایین‌دست حوضه بویژه در محدوده ایران شود. در این حوزه آبریز آب حاصل از ذوب برف در بالادست از طریق رودخانه‌های دائمی و فصلی متعددی وارد هامون‌ها می‌شود. مهمترین رودخانه ورودی به هامون‌ها از سمت افغانستان رودخانه هیرمند است. آب حاصل از ذوب برف به همراه سایر بارش‌ها در



شکل ۱۲- ارتباط بین مساحت پوشش برف ماهانه در بالادست حوضه و مساحت آب هامون‌های سیستان

Fig 12. The relationship between the area of monthly snow cover in the upstream of the basin and the water area of Hamuns in Sistan



شکل ۱۳- ارتباط بین مساحت سالانه آب هامون‌ها و پوشش برف سالانه در بالادست حوضه هامون‌های سیستان

Fig 13. The relationship between the annual water area of the Hamuns and the annual snow cover in the upstream of the Hamuns basin in Sistan.

بند بخش‌آباد بر روی رودخانه فراه که دومین رودخانه مهم ورودی آب به هامون‌ها است و همچنین بدلیل فراوانی، شدت و تداوم خشکسالی‌های آتی در کل حوضه و رخداد تغییر اقلیم، از مساحت پوشش برف و همچنین مساحت آب هامون‌ها کاسته خواهد شد. با توجه به شرایط پیشرو در حوضه آبریز مورد مطالعه بیشتر شاهد رخدادهای برف حدی و سنگین و سیلاب‌های سنگینی خواهیم بود که کشور افغانستان چاره‌ای جز رهاسازی آن به سمت ایران را ندارد. به‌منظور هرگونه برنامه‌ریزی در زمینه مدیریت آب در دشت سیستان علاوه بر تغییرات اقلیمی اقدامات عملیاتی کشور همسایه

لذا بررسی ارتباط بین تغییرات مساحت برف ماهانه و تغییرات مساحت ماهانه آب هامون‌ها ارتباط خوبی را نشان نداده است. اما به دلیل اینکه آب حاصل از ذوب برفی که در نهایت وارد هامون‌ها می‌شود نه تنها از طریق هیرمند بلکه از سمت ورودی‌های متعدد به تالاب وارد می‌شود مجموع مساحت پوشش سالانه برف دارای ضریب تبیین نسبتاً خوبی با مجموع دبی سالانه آب هامون‌ها است. هرچند در سال‌های اخیر با احداث سد کمال‌خان بر روی قسمت انتهایی هیرمند در افغانستان و هدایت آب این رودخانه به شوره‌زار گودزره که مانع رسیدن آب به هامون‌های سیستان شده و با احداث

Research, 16(1), 394-407. (In Persian)

5. Azizi, G. Rahimi, M. Mohammadi, H. Khoshakhlagh, F. 2017. Spatio-temporal variations of snow cover in the southern slope of central Alborz. *Physical Geography Research Quarterly*, 49(3), 381-393. (In Persian)

6. Bahrami Pichagchi, H. Raini Sarjaz, M. Nowroz Valashdi, R. 2019. Investigating the effect of global warming on temporal and spatial changes of snow cover and its durability in the northern slopes of central Alborz. *Agricultural Meteorology*, 8(1), 15-25. (In Persian)

7. Carlson, B. Z. Hébert, M. Van Reeth, C. Bison, M. Laigle, I. Delestrade, A. 2020. Monitoring the Seasonal hydrology of alpine wetlands in response to snow cover dynamics and summer climate: a novel approach with sentinel-2. *Remote Sensing*, 12(12), 1959.

8. Diro, G. T. Sushama, L. 2020. Contribution of snow cover decline to projected warming over North America. *Geophysical Research Letters*, 47(1), e2019GL084414.

9. Dong, C. Menzel, L. 2020. Recent snow cover changes over central European low mountain ranges. *Hydrological Processes*, 34(2), 321-338.

10. Entezami, H. Mojarrad, F. Darand, M. Shahabi, H. 2021. Investigating the Changes in Snow Cover in Sefidrood Drainage Basin using Remote Sensing. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(2), 1-18. (In Persian)

11. Fattahi E, moghimi S. 2019. Investigation of snow cover changes affected by climate change In North West of Iran Journal of Applied researches in Geographical Sciences, 19 (54): 47-63. (In Persian)

12. Freudiger, D. Kohn, I. Stahl, K. Weiler, M. Seibert, J. 2020. What is the contribution of snow and glacier to discharge in Swiss alpine headwater catchments under climate change? In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 18192).

13. Ghassabi, Z. Fathi, M. rezazadeh, P. rangbar saadatabadi, A. 2020. Dynamic and Synoptic Conditions of Heavy Snowfall Occurrence in Tehran Province, Case study: January 2018. *Nivar*, 44(110), 29-42. (In Persian)

14. Halabian, A. H. Sehlhi, S. 2020. Relationship between spatio-temporal changes of snow cover and ground surface temperature in Middle Alborz. *Natural Geography*, 13(47), 53-75.

15. Heidari, H. 2022 of West Azerbaijan province. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 7(26), 110-92. (In Persian)

16. Javadinejad, S. Dara, R. Jafary, F. 2020. Climate change scenarios and effects on snow-melt runoff. *Civil Engineering Journal*, 6(9), 1715-1725. (In Persian)

را مد نظر قرارداد. چون به‌هرحال هامون‌ها در پایین‌ترین قسمت انتهایی حوضه واقع شده‌اند که بارش سالانه آن کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر است که بارش آن و هر گونه برنامه‌ریزی در آن تابع شرایط بالادست و البته زکات در دیپلماسی در اخذ حقیقه از قبل تعیین شده طی قراردادهای قبلی بین دو کشور است که طی دهه اخیر بشدت نقض شده است و اگر مقدار آن در برخی سال‌ها رعایت شده توفیق اجباری و ناشی از سرریز سیلاب‌ها بوده در صورتی که توزیع زمانی مقدار حقیقه که اهمیت زیادی دارد، رعایت نشده است.

سپاسگزاری

این طرح مستخرج از طرح مطالعاتی بررسی روند تغییرات مساحت پوشش برف در بالادست حوزه آبخیز هامون‌های سیستان (افغانستان) و ارتباط آن با تغییرات مساحت آب هامون‌ها است که بدینوسیله از مساعدت معاونت پژوهشی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

فاطمه درگاهیان: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله و کنترل نتایج

یوسف موسیوند: انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری

سمانه رضوی‌زاده: مشاوره، بازبینی متن مقاله

منابع مورد استفاده

1. Ahmadi, M. seyedmirzaei, Z. 2022. Snow Cover Variability in the Cold Period of the Year in Iran Based on MODIS Measurements. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 14(1), 59-72. (In Persian)

2. Ahmadi, A. Khoramian, A. Safavi, H. 2015. Assessment of Climate Change Impacts on Snow-Runoff Processes A Case Study: Zayandehroud River Basin. *Iran-Water Resources Research*, 11(2), 70-82. (In Persian)

3. Aghelpour, P. Guan, Y. Bahrami-Pichagchi, H. Mohammadi, B. Kisi, O. Zhang, D. 2020. Using the MODIS sensor for snow cover modeling and the assessment of drought effects on snow cover in a mountainous area. *Remote Sensing*, 12(20), 3437. (In Persian)

4. Asghari, S. Modirzadeh, R. 2020. Estimation of changes in snow depth in Ardabil and Sarein city using Sentinel1 satellite data with Radar interferometry method. *Iran-Water Resources*

28. Mohammadpour, A. Mohammadpour, R. 2015. investigation of changes in the snow cover of Ardabil province using MODIS sensor images (in the crop year 2017-2018), the second international conference on new ideas in agriculture, environment and tourism, Ardabil, Institute Eco-minded supporters of the ideal environment. (In Persian)
29. Montazeri, M. Fanei, R. 2018. Identification of Snowfall Areas in Iran using Cluster Analysis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(16), 241-258. (In Persian)
30. Mudryk, L. Santolaria-Otín, M. Krinner, G. Ménégos, M. Derksen, C. Brutel-Vuilmet, C. Essery, R. 2020. Historical Northern Hemisphere snow cover trends and projected changes in the CMIP6 multi-model ensemble. *The Cryosphere*, 14(7), 2495-2514.
31. Nazari Sheikhi, M. Taghvi Gudarzi, S. Kaedi, N. 2013, evaluation of the change of border snow caused by climate change in the basin of Al-Shatar city, the 12th Congress of the Geographical Society of Iran focusing on land development, the Islamic Iranian model of progress, Najaf Abad, Islamic Azad University, Najaf Abad Branch. (In Persian)
32. Nasimi, M. N. Sagin, J. Wijesekera, N. T. S. 2020. Climate and Water Resources Variation in Afghanistan and the Need for Urgent Adaptation Measures.
33. Oji, Ruholah, Davodi, M. 2014. the effect of climate change on the trend and variability of snowfall, a case study: Middle West of Iran, the 5th Regional Conference on Climate Change, Tehran, and Meteorological Organization. (In Persian)
34. Pulido-Velazquez, D. Collados-Lara, A. J. Pardo-Igúzquiza, E. 2020. Assessing impacts of future potential climate change scenarios on snow cover area by using cellular automata models and Montecarlo simulations. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 13636). (In Persian)
35. Rani, S. 2021. Appraising the changing climate and extent of snow in the Kashmir Himalaya using MODIS data. *Advances in Remote Sensing for Natural Resource Monitoring*, 269-286.
36. Rawat, M. Karwariya, S. Raushan, R. Kanga, S. Taloor, A. K. Thapliyal, A. 2021. Snow cover and land surface temperature assessment of Mana basin Uttarakhand India using MODIS satellite data. In *Water, Cryosphere, and Climate Change in the Himalayas* (pp. 159-174). Springer, Cham.
37. Rayegani, B. Khawaje al-Din S.J. Soltani Kopaei, S. 2014. preparation of maps of the snow-covered surface using MODIS satellite images under the Shahrokh Castle basin, the first regional conference on the exploitation of water resources in the Karun and Zayandeh Rood basins (opportunities and challenges) Shahrekord,
17. Jin, H. Chen, X. Zhong, R. Wu, P. Ju, Q. Zeng, J. Yao, T. 2022. Extraction of snow melting duration and its spatiotemporal variations in the Tibetan Plateau based on MODIS product. *Advances in Space Research*.
18. Karimi, H. Zainivand, Hossein. Haqizadeh, Ali. Mir Yaqubzadeh ,M. H. 2016. Simulation of snow cover level and runoff caused by its melting in Hero-Dehnu watershed in Lorestan province. *Research paper on watershed management*, 8 (16): 89-77. (In Persian)
19. kashki, A. Haji mohammadi, H. 2017. Synoptic systems analysis took occurrence of heavy snow in the northern provinces of Iran A case study is January 31 to February 3, 2014. *Iran-Water Resources Research*, 13(2), 1770-181. (In Persian)
20. Khosravi, M. Tavousi, T. Raeespour, K. Omidi Ghaleh mohammadi, M. 2017. A Survey on Snow Cover Variation in Mount Zardkooh-Bakhtyare Using Remote Sensing (R.S). *Hydrogeomorphology*, 4(12), 25-44. (In Persian)
21. keikhosravi, M. Masoodian, A. 2017. Trend Analysis of Snow-covered Days in Iran based on Remote Sensing Data. *Geography and Environmental Planning*, 28(1), 49-60. (In Persian)
22. Li, Y. Chen, Y. Li, Z. 2020. Climate and topographic controls on snow phenology dynamics in the Tianshan Mountains, Central Asia. *Atmospheric Research*, 236, 104813.
23. Mahmoodzade, A. B. Varade, D. Shimada, S. 2020. Estimation of snow depth in the Hindu Kush Himalayas of Afghanistan during peak winter and early melt season. *Remote Sensing*, 12(17), 2788. (In Persian)
24. Maryanaji, Z. Darvishi, M. 2018. Investigating the Role of Hydrogeomorphologic Factors and Climatic Changes in Snow Cover in the Alvand. *Hydrogeomorphology*, 5(16), 159-175. (In Persian)
25. Mir Yaghoobzadeh, M. H. Ghanbarpour, M. R. 2010. Investigation to MODIS Snow Cover Maps Usage in Snowmelt Runoff Modeling (Case Study: Karaj Dam Basin). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 19(76), 141-148. (In Persian)
26. Moazzam, M. F. U. Rahman, G. Ali, K. S. Lee, B. G. 2022. Spatio-temporal snow cover change in the early twenty-first century using improved MODIS dataset: a case study of District Hunza, Pakistan. *Climate Dynamics*, 1-17. (In Persian)
27. Mohammadi Ahmadm Mahmoudi, P. Khorani, A. 2019. Snow Cover Changes of Zagros Range in 2001-2016 Using Daily Data of MODIS. *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(2), 355-371. (In Persian)

43. Solaimani, K. Darvishi, S. Shokrian, F. rashidpour, M. 2018. Monitoring of temporal-spatial variations of snow cover using the MODIS image (Case Study: Kurdistan Province). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 10(3), 77-104. (In Persian)
44. Thakur, B. Kalra, A. Lakshmi, V. Lamb, K. W. Miller, W. P. Tootle, G. 2020. Linkage between ENSO phases and western US snow water equivalent. *Atmospheric Research*, 236, 104827.
45. Wang, H. Zhang, X. Xiao, P. Zhang, K. Wu, S. 2022. Elevation-dependent response of snow phenology to climate change from a remote sensing perspective: A case survey in the central Tianshan Mountains from 2000 to 2019. *International Journal of Climatology*, 42(3), 1706-1722.
46. You, Q. Wu, T. Shen, L. Pepin, N. Zhang, L. Jiang, Z. AghaKouchak, A. 2020. Review of snow cover variation over the Tibetan Plateau and its influence on the broad climate system. *Earth-Science Reviews*, 201, 103043.
38. Sherfat M, Yarahmadi D, Fathnia A, Mirhashemi H. 2022. Monitoring Snow Cover Changes and the Volume of Snow Water Equivalent Using MODIS and AMSR-2/AMSR-E Sensor Data (Case Study: Karun, Karkheh and Dez Basins). *GeoRes* , 37 (2) :231-239. (In Persian)
39. Satti, Z. Naveed, M. Shafeeque, M. Ali, S. Abdullaev, F. Ashraf, T. M. Li, L. 2022. Effects of climate change on vegetation and snow cover area in Gilgit Baltistan using MODIS data. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
40. Saavedra, F. A. Kampf, S. K. Fassnacht, S. R. Sibold, J. S. 2018. Changes in Andes snow cover from MODIS data, 2000–2016. *The Cryosphere*, 12(3), 1027-1046.
41. Sabour, L. Mirmousavi, S. 2014. Study of snow precipitation changes trend in North West of Iran. *Geography and Environmental Planning*, 25(3), 119-136. (In Persian)
42. Seifi, H. Gorbani, 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. (In Persian)

Snow Monitoring in the Upper Reaches of the Basin and its Relationship with the Changes in the Water Area of Hamoun Using Remote Sensing

Fatemeh. Dargahian*¹, Yosef. Mousivand² and Samaneh. Razavizadeh³

Received: 2023.08.20 Accepted: 2022.12.31

Abstract

Introduction:

The water entering wetlands located in arid and semi-arid geographical areas is caused by the atmospheric precipitation of rain and snow in the upper elevations of the watersheds leading to them. In order to investigate the factors affecting their changes, it is very important to monitor the atmospheric precipitation in the upstream, especially the snow. Due to the harsh physical conditions of mountainous environments, there is no possibility of permanent ground measurement to estimate snow resources. For this reason, using remote sensing data to monitor snow level changes can be a great help. Temporal-spatial changes in the snow cover of the Hamoon Hirmand basin in the north-east snow-bearing areas of the basin in Afghanistan can play a role in the changes in the water area of the wetlands. The reduction of snowfall and the area covered by snow is a global phenomenon and is affected by the phenomenon of global warming and climate change, which has affected different regions with severity and weakness, and the country of Afghanistan, is located in a region that is more vulnerable. Is. Temperature changes in the upstream of the basin affect the area covered by snow and affect the amount and distribution of water entering the Hamoons. Knowledge of the changes in the snow cover upstream of the basin and its relation to the water changes in the Hamoons can help the management of the water resources of the plain. Sistan help.

Materials and methods:

According to the progress made in the last few decades, various sensors and satellites have been designed and sent into space by different countries, one of the most important of which is the modis sensor, which is installed on the TERRA and AQUA satellites. The mentioned satellites, according to their technical and optical capabilities, provide various images in different electromagnetic bands. Modis satellite images are suitable for preparing maps of the snow-covered surface due to its one-day return period and better ground resolution than similar satellites. However, in the use of modis images, due to the low spatial resolution, those snow covers that are inside the mountain valleys cannot be extracted. It is important to distinguish clouds from snow in satellite images. In order to prepare and convert the raw data of modis sensor raw images received from Terra and Aqua satellites. Three operations of format conversion, ground matching and calibration were performed on the data. At this stage, the corrections are general and it is necessary to correct the geometric, radiometric and atmospheric images in a more precise

1. Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. fatemeh.dargahian@gmail.com

2. Researcher of Mahdasht Space Studies Center. Karaj, Iran.

3. Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

manner, and these steps were also carried out. It is necessary to reference the modis sensor satellite data with the resolution of 500 meters and considering that each pixel of the images covers an area equal to 500*500 meters. ENVI software has been used to georeference the figure. In order to investigate the temporal-spatial changes of the snow cover of the upstream Hamoon basin and its role in the changes of the water area of the wetlands, the images of the Madis sensor and the NDSI index were used.

Results and Discussions:

The long-term time distribution of monthly snow cover showed that the largest snow area is in February, March and January, respectively. Examining the trend of monthly changes in the snow-covered surface showed that the snow area decreases with a steep slope, so that almost in the month of June, the snow cover reaches zero in most years, and in some years, the number of months without snow reaches It reaches more than 6 months, the largest area covered by snow was in February of 2008, 2009 and 2014, while the largest area covered by water was in the years when the flood rains from the upstream of the basin towards the Hamoons with a delay of one It has been two months. The highest water area is related to the months of April 2005 and May 2007 and the lowest water area is related to April 2018, when the Hamoons are completely dry and only the semi-wells have water. The change trend of snow cover area and water cover area is decreasing. The slope of the decreasing change trend in the time series of data related to water area is faster than that of snow. The monthly temporal distribution of snowfall in the upstream of the Hamoons catchment area of Sistan showed that February and then March are the peaks of the snow-covered area. The monthly time distribution of the water area also showed that the peak of the water surface coverage area is in the months of April and May with a delay of two months. In the months of November and December, when the water area is reduced to a minimum, the snowfall starts to rise.

Conclusion:

Hamoon wetlands are located in arid and semi-arid geographical areas, and the water entering them is caused by precipitation in the upper reaches of the watersheds. Any natural changes and human management in the upstream can lead to changes in the water cover of Hirmand hamoons. The monthly time distribution of snowfall showed that February and March have the peak area of snow cover. There is no snow on the ground for 5 to 6 months of the year, and the supply of water resources through snow storage is cut off for several months in a row. The monthly time distribution of the water area showed that the peak of the water surface coverage area is in the months of April and May with a delay of two months. There is no significant relationship between the area of snow cover in the upstream of the basin and the water area of Hamoons on a monthly scale; However, on an annual scale, there is a relatively significant relationship, so that the coefficient of explanation of water and snow area is close to 0.5, so the amount of snowfall in the upstream heights is effective in the water area of Hamoons, but due to the entry of water from melting snow from the inlets Many of the wetlands and its management in the upstream do not have a good explanatory coefficient with monthly changes and have a relatively acceptable explanatory coefficient with annual area changes The monthly time distribution of snowfall showed that February and March have the peak area of snow cover. There is no snow on the ground for 5 to 6 months of the year, and the supply of water resources through snow storage is cut off for several months in a row. The monthly time distribution of the water area showed that the peak of the water surface coverage area is in the months of April and May with a delay of two months. There is no significant relationship between the area of snow cover in the upstream of the basin and the water area of Hamoons on a monthly scale; However, on an annual scale, there is a relatively significant relationship,

so that the coefficient of explanation of water and snow area is close to 0.5, so the amount of snowfall in the upstream heights is effective in the water area of Hamoons, but due to the entry of water from melting snow from the inlets Many of the wetlands and its management in the upstream do not have a good explanatory coefficient with monthly changes and have a relatively acceptable explanatory coefficient with annual area changes.

Keywords: *Upstream of the basin, the heights of the snow catchers, the water area of Hamoons, Modis images.*

Acknowledgement

This plan is derived from the study plan to investigate the trend of changes in the area of snow cover in the upstream of the watershed of Hamoons in Sistan (Afghanistan) and its relationship with the changes in the water area of Hamoons.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that they have no conflict of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this research.

Data Availability Statement

The data and results used in this research will be available through correspondence with the corresponding author.

Authors' contribution

Fatemeh Dargahian: Conceptualization, statistical analysis, writing the first version of the article and controlling the results

Yosef Mousivand: Performing software analysis

Samaneh Razavizadeh: Consultation, revision of the text of the article