

## بررسی اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف در دهه‌های آینده با رویکرد مدیریت منابع آب

(مطالعه موردی: حوضه آبخیز منتهی به سد امیرکبیر)

فاطمه فلاحتی<sup>۱</sup>، بهلول علیجانی<sup>۲</sup>، محمد سلیقه<sup>۳</sup>

۱. نویسنده مسئول: دانشجوی دکترای آب و هواشناسی،

دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

Email: Falahati\_fp@yahoo.com

۲. استاد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران،

ایران

۳. دانشیار، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران،

ایران

دریافت: ۹۷/۵/۳۰ پذیرش: ۹۷/۷/۱۰

### چکیده

**مقدمه:** ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر پوشش و ذوب برف در مدیریت منابع آب رودخانه‌هایی که با ذوب برف تغذیه می‌شوند، بسیار با اهمیت است. چنین تغییراتی تأثیر مستقیم بر رژیم هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب دارد. پیش‌بینی سطح پوشش برف ناشی از تغییرات دما در آینده و در نتیجه الگوی جریان روان‌آب ناشی از ذوب برف، در عرصه‌های گوناگونی از جمله مدیریت خطر سیل، خشکسالی و... کاربرد دارد. از طرفی مزیت‌های استفاده از فناوری‌های نوین و سنجش از دور در مطالعات اقلیمی و ارزیابی‌های اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف تا حد زیادی مغفول مانده است. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات سطح پوشش برف در سال‌های آتی با تلفیق علم سنجش از دور، فناوری‌های نوین و مدل‌های اقلیمی به منظور مدیریت ریسک سیل می‌باشد.

**روش:** در این مطالعه، تصاویر ۸ روزه ماهواره MODIS مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ با

توجه به دقت مناسب و کاهش خطای پوشش ابر در آنها، استخراج شد، پس از دریافت و ذخیره تصاویر ماهواره‌ای پوشش برف، برای مشاهده و کاربرد تصاویر از نرم‌افزار ERDAS استفاده شد. سپس محدوده مورد مطالعه برش داده شد و در نهایت با استفاده از تعداد پیکسل برفی و سایز پیکسل‌ها، سطح پوشش برف محاسبه و در نرم‌افزار ArcGIS خروجی مورد نظر استخراج و مساحت سطح برفی با فواصل زمانی ۸ روز در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ کنترل شد. در مرحله بعد با استفاده از آخرین مدل‌های اقلیمی CMIP5 تحت چهار سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 تغییرات دما و بارش در فواصل زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ استخراج و با استفاده از ارتباط بین پوشش برف، دما و بارش، سطح پوشش برف برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ با فاصله زمانی ده ساله تخمین زده شد.

**یافته‌ها:** تراکم پوشش برف در منطقه مورد مطالعه، مطابق داده‌های مشاهداتی و تصاویر ماهواره‌ای، از ماه نوامبر شروع و در ژانویه به بیشترین مساحت خود می‌رسید. همچنین از ماه فوریه به بعد گستره پوشش برف کاهش یافته و در نهایت در ماه ژوئن پوشش برف منطقه، کمترین مساحت را داشت. بررسی تغییرات دما و بارش آینده با استفاده از سناریوهای اقلیمی نشان داد که میانگین دمای حوضه بالادست سد امیرکبیر به نسبت دوره پایه (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵) افزایش و بارش سالانه نسبت به دوره پایه مذکور، روند کاهشی خواهد داشت. در نتیجه با استفاده از ارتباط بین پوشش برف، دما و

همچنین، پوشش برف، به سبب پتانسیل آن در ذخیره آب، برای آشامیدن، کشاورزی، تولید نیروی

برق آبی و نقش آن در سیلاب بااهمیت است. [۲]

برخی محققان معتقدند که داده‌های سنجش از دور می‌تواند ارزیابی‌های بهتری از محدوده‌های پوشش برف نسبت به روش‌های مساحی سنتی ارائه دهد.

[۳] از این رو امروزه در روند مدیریت کارآمد منابع آبی، به کارگیری داده‌های سنجش از دور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به صورت عملیاتی اجرا می‌گردد. [۴]

اطلاعات ماهواره‌ای مورد نیاز در تعیین سطح تحت پوشش برف نیز شامل بازتابش و گسیل طیفی است که توسط سنجنده‌های نوری-الکترونیکی<sup>۲</sup> ثبت می‌شوند. این سنجنده‌ها تشعشعات بازتابش و گسیل شده از زمین را به صورت سیگنال‌های الکتریکی ثبت می‌کنند که قابل تبدیل به تصاویر دو بُعدی برای رویت می‌باشند. پردازش و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای هم به صورت پردازش رقومی و هم به صورت

تفسیر عکس انجام می‌گیرد. [۵]

بدین منظور سنجنده‌های متعددی در مدار قرار گرفته‌اند که طیف‌های قابل رویت، مادون قرمز و گرمایی را در اختیار قرار می‌دهند. از میان آنها سنجنده‌های MSS، TM و EMT<sup>+</sup> ماهواره لندست، HRV ماهواره اسپات، AVHRR ماهواره نوا، MODIS ماهواره ائوس، MESSR ماهواره مس و LISS ماهواره ای-آر-اس برای تعیین میدان‌های برفی توصیه شده‌اند. [۶]

بارش، سطح پوشش برف آینده با روند کاهش مواجه شد.

**نتیجه‌گیری:** مطالعه و اندازه‌گیری سطح برف به

عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب، بسیار حائز اهمیت است. با توجه به شرایط سخت فیزیکی محیط‌های کوهستانی، امکان اندازه‌گیری دائم میدانی، برای تخمین منابع برفابی و تشکیل پایگاه داده‌ها وجود ندارد. به همین دلیل استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی مناطق برف‌گیر و ارزیابی تغییرات آن بسیار مهم است. همچنین با توجه به روند افزایش دما و کاهش بارش، سطح برف در منطقه نیز کاهش یافته و در نتیجه میزان آب ذخیره شده در برف که در فصول گرم منبع تأمین آب منطقه است با نقصان مواجه می‌گردد. بنابراین برآورد سطح پوشش برف در آینده می‌تواند گام اساسی در زمینه مدیریت منابع آب و مدیریت ریسک مخاطرات مرتبط با آب از جمله سیل و خشکسالی به شمار آید.

**کلمات کلیدی:** تغییر اقلیم، سطح برف، MODIS، سنجش از دور و GIS، سناریوهای اقلیمی

## مقدمه

از نظر اقلیم‌شناسان و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی و اتمسفری را مطالعه می‌کنند، پایش برف یک ضرورت است و برآورد دقیق سطح پوشش آن به عنوان یکی از عملیات محوری و اساسی در زمینه مدیریت منابع آب، به‌ویژه در مناطقی که بارش برف سهم زیادی در نزولات جوی دارد محسوب می‌شود. [۱]

<sup>1</sup> reflected and/or emitted radiation

<sup>2</sup> electro-optical sensors

فوپا و همکاران در سال ۲۰۰۲ به منظور تخمین سطح پوشش برف در سطح، از داده‌های AVHRR<sup>۱</sup> استفاده کردند. در این تحقیق از سه روش PCA<sup>۲</sup> برای شناسایی خالص‌ترین پیکسل‌های تصویر استفاده شده است. [۷]

مالچر و هیدینگر در سال ۲۰۰۱ با استفاده از عکس‌های ماهواره MODIS<sup>۳</sup> سطح پوشش برف چهار زیرحوضه از یک حوضه در شرق اتریش را به دست آوردند و با استفاده از مدل ذوب برف، روان‌آب ناشی از ذوب را شبیه‌سازی کردند. [۸]

میلر و همکاران در سال ۲۰۱۰، با در نظر گرفتن شرایط تغییر اقلیم در حوضه‌های ایالت کالیفرنیا آمریکا پیش‌بینی کردند که تا پایان قرن حاضر ذوب برف هر سال زودتر آغاز می‌شود و ذخایر برف زمستانه ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. [۹]

باندیوادی و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم به ارزیابی روان‌آب ناشی از ذوب برف در ناحیه هیمالیای شرقی پرداخته و افزایش روان‌آب را در تمام سناریوها برای ۲۰۴۰ حداکثر اعلام کردند. [۱۰]

در ایران نیز با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک پایش سطح برف به منظور برنامه‌ریزی محیطی مطلوب و مدیریت منابع آب اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین مطالعات مختلفی در زمینه برآورد سطح برف انجام شده است. از جمله شفیع‌زاده مقدم که از تصاویر ASTER<sup>۴</sup> برای برآورد سطح برف در تصاویر MODIS در منطقه سوریان استان فارس

استفاده کرد وی از دو مدل ارتقای شاخص و ارتقای سطح پوشش برای ارتقای شاخص NDSI<sup>۵</sup> و سطح پوشیده شده از برف در هر پیکسل MODIS استفاده کرد. [۱۱]

داداشی خانقاه نیز با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، به مطالعه پوشش برف در حوزه‌های کرج و لتیان پرداخت. در این تحقیق روش NDSI با ۹۲ درصد دقت دقیق‌ترین روش انتخاب شد. [۱۲]

در این پژوهش نیز از آنجاکه بخشی از بارش در حوضه آبخیز مورد مطالعه به صورت برف است، آب حاصل از ذوب برف تأثیر زیادی در تغذیه آب رودخانه به‌ویژه در توسعه اجتماعی-اقتصادی ساکنان استان البرز و غرب تهران دارد. از این‌رو، برای تضمین دسترسی به آب در آینده در حوضه بالادست سد امیرکبیر، درک ارتباط یا واکنش میان تغییر اقلیم، ذوب برف و یخ و روان‌آب در مدیریت

آینده آب ضروری است. هدف این پژوهش، بررسی نحوه اثرگذاری بارش و دمای آینده روی مساحت پوشش برف در حوضه بالادست سد امیرکبیر است. برخلاف مطالعات پیشین، در این تحقیق علاوه بر پایش سطح برف، با استفاده از مدل‌های ارائه شده در پنجمین گزارش ارزیابی IPCC (AR) و

شبیه‌سازی اقلیم آینده، سطح برف در دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ نیز برآورد شده که در ترسیم وضعیت منابع آب منطقه مؤثر می‌باشد.

### روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبخیز بالادست سد امیرکبیر است که در محدوده‌ای بین عرض

<sup>۱</sup> advanced very high resolution radiometer

<sup>۲</sup> principal component analysis

<sup>۳</sup> moderate resolution imaging spectroradiometer

<sup>۴</sup> advanced space borne thermal & reflection radiometer

<sup>۵</sup> normalized difference snow index

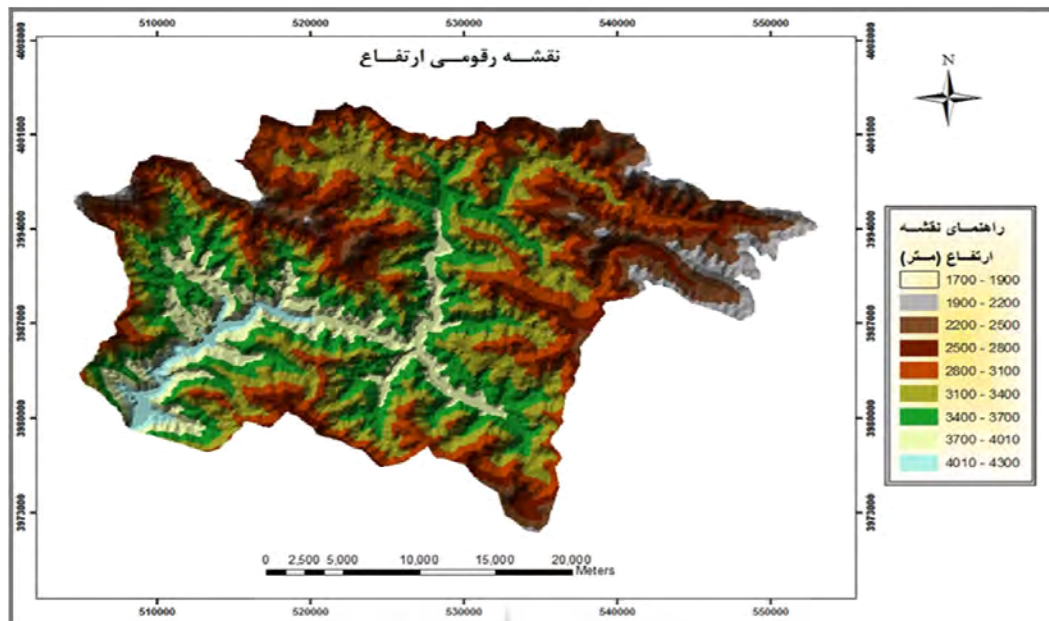
۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر، ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر، ۱۷۰۰-۲۰۰۰ متر، ۳۵۰۰-۴۰۰۰ متر و ۴۵۰۰-۴۰۰۰ متر تقسیم شده است. شکل شماره ۲ نقشه رقمی ارتفاع و شکل شماره ۳ منحنی آلتی متری یا منحنی توزیع مساحت بر حسب ارتفاع در حوضه را نشان می‌دهد.

در این پژوهش از آمار داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک طالقان و کرج و نیز آمار داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری گچسار، شهرستانک و سد کرج به منظور پایش دما و بارش منطقه استفاده شد که پس از پهنه بندی و تحلیل فضایی به روش kriging توسط نرم‌افزار GIS و بازسازی و صحت سنجی، مبنای بررسی تغییرات آینده حوضه قرار گرفت. در انتخاب ایستگاه‌های مبنای معیارهایی چون وجود آمار طولانی مدت و نواقص کم آماری در نظر گرفته شد. دوره پایه به منظور بررسی میانگین دما و بارش در محدوده مورد مطالعه از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ می‌باشد.

جغرافیایی ۳۵-۵۳ تا ۳۶-۱۰ (دقیقه- درجه) شمالی و طول جغرافیایی ۵۱-۳ تا ۵۱-۳۵ (دقیقه- درجه) شرقی در دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های البرز واقع شده و از نظر تقسیمات کشوری به استان البرز تعلق دارد. موقعیت جغرافیایی منطقه و محدوده حوضه مورد مطالعه در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. حوضه آبخیز بالادست سد امیرکبیر عمدتاً کوهستانی بوده و حداکثر ارتفاع آن ۴۳۰۰ متر، ارتفاع متوسط آن حدود ۳۰۰۰ متر و مساحت آن حدود ۸۴۲/۹ کیلومتر مربع می‌باشد. به منظور برآورد پارامترهایی از قبیل مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، بالاترین و پایین ترین نقاط ارتفاعی، از نقشه‌های رقمی ارتفاع (DEM) در محیط نرم‌افزار GIS استفاده شده است. ارتفاع متوسط هریک از زیرحوضه‌ها با استفاده از روش میانگین وزنی و محاسبه شیب رودخانه با استفاده از نیم‌رخ طولی رودخانه صورت گرفته است. این منطقه با توجه به اختلاف بیشترین و کمترین ارتفاع، به شش منطقه هیپسومتریک



شکل شماره ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه



شکل شماره ۲: نقشه رقومی ارتفاع

#### پوشش برف در منطقه

در این پژوهش به منظور تهیه اطلاعات زمینی پوشش برف در حوضه بالادست سد امیرکبیر، از ۲۸۸ تصویر پوشش برف روزانه (با دوره ۸ روزه) سنجنده MODIS (MOD10A100) در دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۶، استفاده شد. پس از دریافت و ذخیره تصاویر ماهواره‌ای پوشش برف، برای مشاهده و تغییر فرمت این تصاویر از نرم‌افزار ERDAS استفاده شد. سپس محدوده مورد مطالعه برش داده شد و در نهایت با استفاده از تعداد پیکسل برفی و سایز پیکسل‌ها، سطح پوشش برف محاسبه و در نرم‌افزار ArcGIS خروجی مورد نظر استخراج گردید.

#### مدل‌سازی تغییر اقلیم و تخمین پوشش برف آینده

پوشش برف پارامتر مهمی در الگوی روان‌آب در حوضه بالادست سد امیرکبیر محسوب می‌شود. ذخیره آب به شکل برف و یخ در حوضه به تعدیل

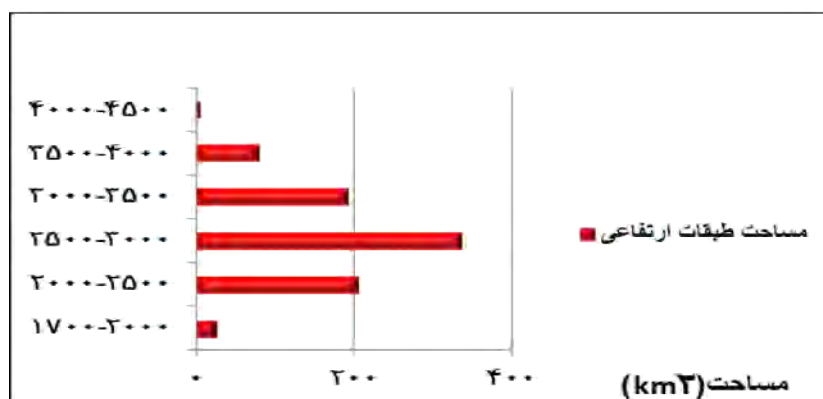
روان‌آب ناشی از الگوی بارش کمک می‌کند. در این پژوهش، به منظور تخمین پوشش برف در آینده بر اساس رابطه مساحت پوشش برف با دما و اندازه بارش، دما و بارش آینده از مدل‌های گردش عمومی<sup>۱</sup> استخراج شد. مدل‌های ارائه شده در فاز CMIP5<sup>۲</sup> [۱۳] در مقایسه با فاز CMIP3 کیفیت مکانی بهتری دارند [۱۴]، بنابراین در این تحقیق GCMهای مختلف ارائه شده در فاز CMIP5 مورد توجه قرار گرفتند. در مدل‌های اجرا شده برای پنجمین گزارش ارزیابی IPCC (AR5)، سناریوهای RCP<sup>۳</sup> جایگزین سناریوهای SRES<sup>۴</sup> شدند. [۱۵] سناریوهای RCP نشان‌دهنده محرکه‌های تابشی هستند و در میان آنها، سناریوی RCP2.6 سناریوهای انتشار و محرکه‌های تابشی کم تقریباً با سناریوهای B1 یا B2 مطابقت دارند.

<sup>1</sup> General circulation model (GCM)

<sup>2</sup> coupled model intercomparison project

<sup>3</sup> representative concentration pathways

<sup>4</sup> special report on emissions scenarios



شکل شماره ۳: منحنی آلتی متری یا منحنی توزیع مساحت بر حسب ارتفاع



شکل شماره ۴: تغییرات میانگین دمای ماهانه در دوره پایه

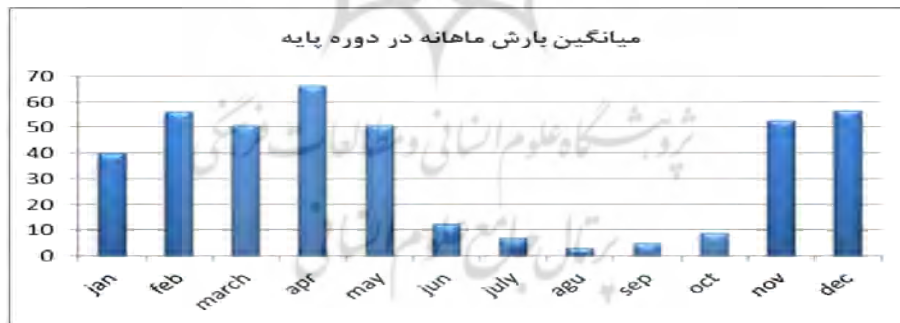
زده است. در سناریوی RCP4.5، میزان غلظت CO<sub>2</sub> تا سال ۲۱۰۰، PPM650 تخمین زده شد و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشتهای تابشی را ۴/۵ وات بر متر مربع تخمین زده است. در سناریوی RCP2.6، میزان غلظت CO<sub>2</sub> را تا سال ۲۱۰۰، PPM490 تخمین زده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشتهای تابشی تا ۲/۶ وات بر متر مربع تخمین زده است.

میزان جمعیت در سال ۲۱۰۰ در سناریوی RCP8.5 حدود ۱۲ میلیارد نفر خواهد بود که این میزان جمعیتی بین سناریوی A1 و A2 در سری SRES است. بر اساس سناریوی RCP8.5 میزان تولید ناخالص داخلی در کشورهای توسعه یافته به دلیل افزایش جمعیت و سطح پایین توسعه

سناریوی RCP8.5 محرکه‌های تابشی و سناریوهای انتشار زیاد تقریباً با سناریوهای A1 یا A2 تطابق را نشان می‌دهد. همچنین سناریوهای RCP4.5 و RCP6.0 حالت متوسط دارند. این سناریوها بر اساس نتایج حاصل از برخی فراسنج‌های اجتماعی-اقتصادی، تکنولوژیکی و همچنین میزان غلظت برخی گازها برای دهه‌های آینده طراحی شده‌اند. در سناریوی RCP8.5، میزان غلظت CO<sub>2</sub> تا سال ۲۱۰۰، PPM1370 تخمین زده شده است و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشتهای تابشی را تا ۸/۵ وات بر مترمربع تخمین زده است. در سناریوی RCP6، میزان غلظت CO<sub>2</sub> تا سال ۲۱۰۰، PPM850 تخمین زده شد و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشتهای تابشی، تا ۶ وات بر مترمربع تخمین

تخمین زده شده است که اندکی کمتر از میزان در نظر گرفته شده در سناریوی A2 از سری سناریوهای SRES است. در سناریوی RCP2.6، به دلیل رشد پایین جمعیت و رشد تکنولوژی‌های جدید، به‌طور کلی میزان استفاده از انرژی و سوخت‌های فسیلی کمتر از سایر سناریوها در نظر گرفته شده است. در این سناریو میزان استفاده از زغال سنگ بیش از سناریوهای RCP4.5 و RCP6 است، ولی در مقابل میزان استفاده از انرژی‌های نو در این سناریو بیش و میزان استفاده از انرژی نفت کمتر از دو دیگر سناریو در نظر گرفته شده است. با توجه به میزان جمعیت در نظر گرفته شده در سناریوی RCP8.5 و نیاز جمعیت ساکن در کره زمین به تأمین انرژی، استفاده از انواع انرژی (به جز انرژی زیستی) در این سناریو بیش از دیگر سناریوها در نظر گرفته شده است. [۱۶]

تکنولوژی پایین است. در مقابل سناریوی RCP2.6 میزان جمعیت را تا سال ۲۱۰۰ حدود ۷ میلیارد نفر پیش‌بینی کرده است. در این سناریو رشد تکنولوژی‌ها جدید نسبت به دیگر سناریوها بیشتر و به دلیل نرخ رشد جمعیت پایین و استفاده از انرژی‌های نو، میزان تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای پایین‌تر از دیگر سناریوهاست. در سناریوی RCP4.5 میزان رشد جمعیت کمتر از سناریوی RCP2.6 تخمین زده شده است اما در دیگر پارامترهای مؤثر در تغییرات اقلیمی (مانند نرخ استفاده از انرژی‌های نو، رشد تکنولوژی و...)، نسبت به سناریوی RCP2.6 ضعیف‌تر در نظر گرفته شده است، در نتیجه سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت این سناریو در واداشت‌های تابشی بیش از سناریوی RCP2.6 است. در سناریوی RCP6 میزان جمعیت جهانی حدود ۹ میلیارد نفر



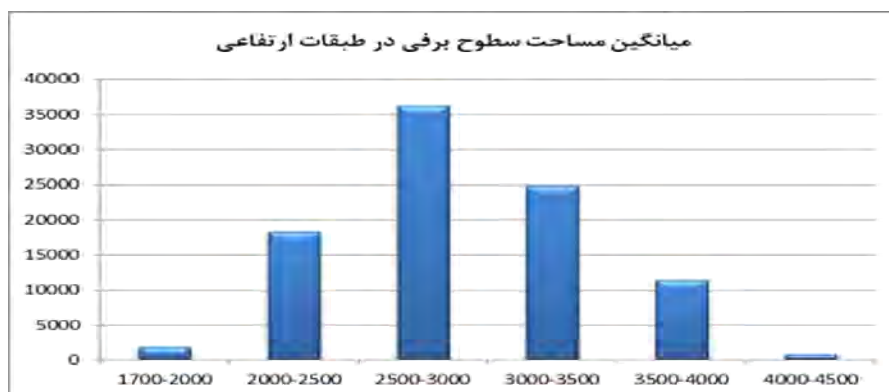
شکل شماره ۵: تغییرات میانگین بارش ماهانه در دوره پایه

در این مطالعه مدل (NCC(144\*96) و (NCAR(288\*192)، تحت چهار سناریوی RCP4.5، RCP2.6، RCP6.0 و RCP8.5 برای پنج دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۰-۲۰۴۹، ۲۰۵۰-۲۰۵۹، ۲۰۶۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۷۹) انتخاب شد. هدف از انتخاب این سناریوها، پیش‌بینی بیشترین، کمترین و حدوسط تغییرات اقلیم آینده است. پس از انتخاب سناریوها و مدل‌ها، مدل Delta Method IPCC AR5 به عنوان مدل ریزمقیاس نمایی انتخاب شد.

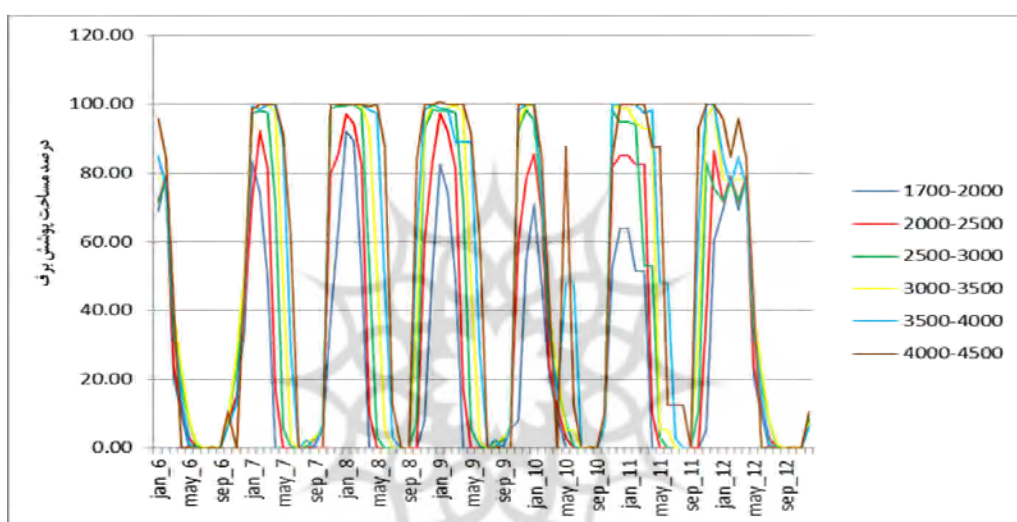
<sup>1</sup> Norwegian Climate Centre

<sup>2</sup> National Center for Atmospheric Research





شکل شماره ۶: میانگین مساحت برف در طبقات مختلف ارتفاعی در سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۱۵



شکل شماره ۷: تغییرپذیری ماهانه پوشش برف (به درصد) در ارتفاع‌های متفاوت

## یافته‌ها

برفی از ماه نوامبر شروع می‌شود و در ماه ژانویه به بیشترین مساحت خود می‌رسد. همچنین از ماه فوریه به بعد سطوح برفی کاهش می‌یابد و در نهایت در ماه ژوئن پوشش برف منطقه به کمترین مساحت می‌رسد. در طول ماه‌های نوامبر تا فوریه در ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر، درصد چشمگیری برف (حدود ۷۵ درصد) دیده می‌شود. شکل شماره ۷ تغییرپذیری ماهانه پوشش برف را (به درصد) در ارتفاع‌های متفاوت نشان می‌دهد.

به منظور تعیین اقلیم آینده (دما و بارش) با استفاده از مدل Delta Method IPCC AR5، دو مدل

طبق آمار بررسی شده میانگین دمای سالانه در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۵) ۸۱/۱۲ سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۲۷/۳۴ میلی‌متر می‌باشد. شکل شماره ۴ نشان‌دهنده میانگین دمای ماهانه در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۵) و شکل شماره ۵ میانگین بارش ماهانه در دوره آماری مذکور می‌باشد.

براساس داده‌های مشاهداتی و تصاویر ماهواره‌ای در دوره آماری (۲۰۰۶-۲۰۱۲)، مطابق شکل شماره ۶ گستره پوشش برف در ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر ناچیز بوده و با افزایش ارتفاع ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. از نظر فصلی نیز، گسترش سطوح



GCM (144\*96) NCC و (288\*192) NCAR، تحت چهار سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 برای چهار دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۳۰، ۲۰۳۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۶۰) ریزمقیاس نمایی شد. اجرای مدل در سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۵ ارزیابی شد. نتایج نشان داد بین دمای ریزمقیاس شده و دمای ماهانه مشاهده شده ضریب همبستگی زیادی وجود دارد (جدول شماره ۱)، بنابراین مدل Delta Method IPCC AR5 توانایی زیادی در شبیه‌سازی تغییرات دما در یک منطقه دارد.

جدول شماره ۱: ضریب همبستگی دما و بارش اندازه‌گیری شده و دما و بارش ریزمقیاس شده

پارامتر اقلیمی	
ضریب همبستگی	دما
۹۳	دما
۸۹	بارش

میانگین دما و بارش ریزمقیاس شده خروجی دو مدل گردش عمومی جو ((NCC(144\*96) و (NCAR(288\*192) طی دهه‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ مطابق جدول شماره ۲ محاسبه شد. بررسی تغییرات دما نشان می‌دهد میانگین دمای حوضه بالادست سد امیرکبیر به نسبت دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۵) افزایش می‌یابد به طوری که میانگین آن در دهه‌های آینده و سناریوهای مختلف بین ۰/۹ تا ۳/۲ درجه سانتی‌گراد در مدل NCC و بین ۰/۷ تا ۳/۳ درجه سانتی‌گراد در مدل NCAR افزایش خواهد داشت. با

مقایسه دما در مدل‌های مختلف مشخص شد، بیشترین دما (در دهه ۲۰۶۰) در مدل NCAR تحت سناریوی RCP8.5 رخ می‌دهد و افزایش دما با نزدیک شدن به سال ۲۰۶۰ بیشتر می‌شود. در این مدل میانگین دما در دهه ۲۰۶۰ حدود ۱/۶، ۲/۲، ۲/۸ و ۳/۳ به ترتیب برای سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 افزایش می‌یابد. میانگین دما در سناریوی RCP8.5 روند افزایشی بیشتری نسبت به دو سناریوی دیگر دارد. روند تغییرات میانگین دمای سالانه نشان می‌دهد دما حدود ۰/۰۶ درجه سانتی‌گراد در هر سال افزایش می‌یابد. نتایج بررسی آثار تغییر اقلیم بر بارش سالانه، نشان‌دهنده روند کاهشی در بارش منطقه، طی دهه‌های آینده نسبت به دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۵) است. در مدل NCC نسبت به مدل دیگر، روند کاهش در بارش کمتر است. بر اساس مدل‌های GCM میانگین تغییرات در بارش در دهه ۲۰۶۰ با کاهش ۴/۶، ۵/۶، ۳/۴ و ۷/۸ میلی‌متر به ترتیب برای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 همراه است. به طور کلی، بیشترین میزان کاهش در دهه ۲۰۶۰، برای سناریوی RCP8.5 پیش‌بینی شده است. روند تغییرات میانگین بارش سالانه نشان می‌دهد کاهش بارش حدود ۰/۱۳ میلی‌متر (۰/۳۸ درصد) در سال است.

جدول شماره ۲: دما و بارش سالانه در دوره‌های آینده برای GCMها و RCPهای مختلف

پارامترها	دوره آتی	NCAR(288*192)				NCC(144*96)				GCM
		RCP8.5	RCP6	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP6	RCP4.5	RCP2.6	
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	دهه ۲۰۲۰	۱۴/۶۱	۱۴/۰۱	۱۴/۴۱	۱۳/۵۱	۱۳/۷۱	۱۳/۹۱	۱۴/۲۱	۱۴/۰۱	
	دهه ۲۰۳۰	۱۴/۶۱	۱۴/۴۱	۱۴/۶۱	۱۴/۳۱	۱۴/۰۱	۱۴/۱۱	۱۴/۴۱	۱۴/۱۱	
بارش (میلی‌متر)	دهه ۲۰۴۰	۱۵/۱۱	۱۴/۸۱	۱۴/۷۴	۱۴/۳۹	۱۴/۳۱	۱۴/۴۱	۱۴/۶۱	۱۴/۲۶	
	دهه ۲۰۵۰	۱۵/۶۱	۱۵/۲۱	۱۴/۸۸	۱۴/۴۱	۱۵/۶۱	۱۴/۷۱	۱۴/۹۱	۱۴/۴۱	
بارش (میلی‌متر)	دهه ۲۰۶۰	۱۶/۱۱	۱۵/۶۱	۱۵/۰۱	۱۴/۴۳	۱۶/۰۱	۱۴/۹۱	۱۵/۴۱	۱۴/۵۶	
	دهه ۲۰۲۰	۳۱/۴۸	۲۸/۱۸	۲۶/۵۸	۲۶/۹۸	۲۸/۹۸	۳۰/۳۸	۲۷/۳۸	۳۱/۶۸	
	دهه ۲۰۳۰	۳۲/۰۸	۲۸/۵۸	۲۷/۶۸	۲۸/۳۸	۲۸/۳۸	۳۰/۴۸	۲۷/۳۸	۳۱/۱۸	
	دهه ۲۰۴۰	۳۱/۴۸	۲۸/۹۸	۲۸/۷۸	۲۹/۸۱	۲۷/۷۸	۳۰/۵۸	۲۷/۷۸	۳۰/۶۸	
بارش (میلی‌متر)	دهه ۲۰۵۰	۳۰/۸۳	۲۹/۲۵	۲۹/۸۸	۳۱/۲۵	۲۷/۰۸	۳۰/۷۸	۲۸/۲۷	۳۰/۱۸	
	دهه ۲۰۶۰	۳۰/۲۱	۲۹/۵۸	۳۰/۹۸	۳۱/۶۸	۲۶/۴۸	۳۰/۸۸	۲۸/۶۸	۲۹/۶۸	

جدول شماره ۳: سطح پوشش برف در دوره‌های آینده برای GCMها و RCPهای مختلف

پارامترها	دوره آتی	NCAR(288*192)				NCC(144*96)				GCM
		RCP8.5	RCP6	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP6	RCP4.5	RCP2.6	
مساحت پوشش برف (کیلومتر مربع)	دهه ۲۰۲۰	۳۸۵/۶۰۵	۴۸۹/۹۹۵	۴۲۲/۴۰۵	۴۲۵/۹۹۵	۳۹۷/۱۹۵	۳۹۲/۳۹۵	۴۲۵/۲۰۵	۴۳۵/۹۹۵	
	دهه ۲۰۳۰	۳۶۵/۶۰۵	۳۶۰/۴۰۵	۳۶۵/۶۰۵	۳۷۲/۸۰۵	۳۸۰/۰۰۵	۳۶۷/۵۹۵	۳۷۰/۴۰۵	۳۷۷/۵۹۵	
بارش (کیلومتر مربع)	دهه ۲۰۴۰	۳۵۸/۶۵۵	۳۵۹/۹۷۵	۳۵۰/۲۸۵	۳۶۱/۸۲۵	۳۴۸/۸۰۵	۳۴۸/۴۰۵	۳۵۵/۶۰۵	۳۶۴/۰۰۵	
	دهه ۲۰۵۰	۳۳۱/۶۱۵	۳۲۱/۲۱۵	۳۴۹/۱۲۵	۳۵۰/۴۰۵	۳۳۱/۶۱	۳۳۳/۲۰۵	۳۴۸/۴۰۵	۳۵۰/۴۰۵	
دهه ۲۰۶۰	۲۸۱/۶۱۵	۳۰۱/۶۱۵	۳۱۵/۰۰۵	۳۲۹/۹۲۵	۲۸۸/۶۸	۳۰۹/۵۳۵	۳۲۴/۳۲۵	۳۳۸/۰۷۵	۲۰۶۰	

### پیش‌بینی برف در آینده

ریزش‌های جوئی بوده و از آنجا که ریزش برف، در فصل سرد عمدتاً در ارتفاعات اتفاق می‌افتد و تا شروع فصل ذوب ذخیره می‌گردد، لذا ذوب تدریجی آب باعث تغذیه تدریجی منابع آب می‌شود. از طرفی با توجه به عواملی نظیر صعب‌العبور بودن مناطق برف‌گیر، پایش و مطالعه خصوصیات برف و روند تغییرات آن و نیز ارزیابی‌های اثر تغییر اقلیم به منظور استفاده در برنامه‌ریزی‌های محیطی به‌ویژه مدیریت منابع آب، با استفاده از پوشش وسیع تصاویر ماهواره‌ای، فناوری‌های نوین، سنسجش از دور و نیز کاربرد مدل‌های اقلیمی امکان‌پذیر می‌گردد که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. در این میان، بهره‌گیری از تصاویری با قدرت تفکیک مکانی و زمانی زیاد، بسیار مفید

با افزایش دما و کاهش بارش، وسعت پوشش برف کاهش می‌یابد. سطوح برفی با استفاده از دما و بارش تصویرسازی شده مدل‌های (۲۸۸×۱۹۲) NCAR و NCC(۱۴۴×۹۶) و تحت RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 و مشاهده ارتباط بین پوشش برف، دما و بارش، پوشش برف برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ در فاصله زمانی ۱۰ ساله تخمین زده شد. طبق جدول شماره ۳، مساحت برف در سناریوی RCP8.5 که بیشترین افزایش دما رخ داد، به کمترین میزان خود رسیده است.

### نتیجه‌گیری

برف به دلیل فاصله زمانی بین نزول تا زمان پیوستن به ذخایر آب سطحی یا زیرزمینی متفاوت با دیگر

سطح برف، زمان ذوب برف نیز دستخوش تغییر می‌شود که در صورت ذوب زودرس برف در بهار به دلیل افزایش دما و هماهنگی با بارش‌های رگباری بهاره می‌تواند منجر به افزایش خطر سیل گردد.

نتایج این پژوهش، درخصوص روند تغییرات دما در سناریوهای مختلف و کاهش سطح برف، با نتایج پژوهش‌های مرنگو و همکارانش [۱۴]، ون وورن و همکارانش [۱۵]، اختر و همکارانش [۱۷] و گان و همکارانش مطابقت دارد، [۱۸] لذا باید به منظور مدیریت ریسک بحران‌های مرتبط با آب نظیر سیل و خشکسالی و نیز مدیریت منابع آب، ارزیابی تغییرات ناشی از تغییر اقلیم به‌ویژه دما، بارش، سطوح برفی، ذخایر برفی و زمان ذوب برف با دید همه‌جانبه و نگرش سیستمی مدنظر قرار گیرد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بدین وسیله بر خود لازم می‌دانند تا از تمام کسانی که به نحوی در انجام این مقاله یاری رساندند، قدردانی و تشکر کنند.

است. در این مطالعه از تصاویر MODIS با قابلیت فراوان در برف‌سنجی استفاده شد و برای بررسی آثار تغییر اقلیم بر آینده سطوح برفی در حوضه بالادست سد امیرکبیر از آخرین مدل‌های اقلیمی CMIP5 تحت چهار سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 استفاده شد. تصاویر پوشش برف MODIS از محدوده مورد مطالعه نشان داد که پوشش برف در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر نسبتاً قابل توجه است. طی ماه‌های دسامبر تا مارس درصد پوشش برف در ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر زیاد است و در ماه‌های ژوئن و جولای سطح پوشش برف به ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر محدود می‌شود. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما بیانگر روند افزایشی آن و بر بارش حاکی از روند کاهشی آن است. افزایش دما در فصل‌های پاییز و زمستان منجر به کاهش شکل بارش به صورت برف شده و در نتیجه سطوح برفی کاهش یافته و پاسخگوی نیاز آبی منطقه، از نظر توزیع تدریجی منابع آب در فصول گرم نیست. همچنین با افزایش دما و کاهش

## References

1. Adeli O. Climatology of snowfall in northwestern of Iran. Master Thesis. GIS & remote sensing center of Tabriz University. 2005. [In Persian]
2. Rango A, Shalaby A. Operational Applications of Remote Sensing in Hydrology. Success, Prospects and Problems, Hydrological Sciences Journal (Journal Des Sciences Hydrologiques). 1998; 43(6): 947-968.
3. Metcalfe R A, Buttle J M. Semi distributed water balance dynamics in a small Boreal Forest Basin. Journal of Hydrology. 1999; Vol.226. No.66.
4. Johansson B, Cves R, Fergusun R, et al. Using remote sensing data to update the simulated snow pack of the HBV runoff model. Proceeding symposium of Remote Sensing and Hydrological 2000, Santa Fe New Mexico, USA. IAHS Pub.2001; No.267
5. Avery T E, Berlin G L. Fundamentals of remote sensing and Air photo Interpretation. Fourth Edit, Macmillan Pub. 1992; pp. 472
6. Hall D K, Riggs G A, Salomonson V et al. Earth Observing System (EOS) Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Global Snow-Cover Maps. Remote sensing and Hydrology. 2001. p. 55-60.
7. Foppa N, Wunderle S, Hauser A. Spectral Unmixing of NOAA-AVHRR data for snow cover estimation. Proceedings of EASEL-LISSIG-Workshop Observing our Cry sphere from Space, Bern. 2002. pp. 155-162.
8. Malcher P, Heidinger M. Processing and data assimilation scheme for satellite snow cover products in the hydrological model. Envisnow. 2004. 1-40.
9. Miller N I, Bashford K E and Sterm E. Potential impacts of climate change on California hydrology. Journal of the American Water resources Association (JAWRA). 2004. 39(4):771-784.
10. Bandyopadhyay A, Bhadra A, Maza M et al. Monthly variations of air temperature lapse rates in Arunachal Himalaya. Journal of Indian Water Resources Society. 2014. V. 34 (3). P: 16-25.
11. Shafizade M H. Feasibility Promote the Power of MODIS Sensor use Simultaneous ASTER Images to Estimate the Surface Area of Snow, Master Thesis, Tarbiat Moddares University. 2008. [In Persian]
12. Dadashi Kh S. Detection snow cover using image processing algorithms in Karaj and Latyan watershed, MA Thesis, Shahid Beheshti University. 2008. [In Persian]
13. Taylor KE, Stouffer R. J, Meehl GA. an overview of CMIP5 and the experiment design, Bull. Am. Meteorol. Soc. 2012; 93(4): 485-498, doi: 10. 1175/BAMS- D-11-00094. 1.
14. Marengo JA, Chou SC, Torres RR, Giarolla A, Alves LM, Lyra A. Climate change in central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. 2014. Working Paper No.73
15. Van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, et al. The representative concentration pathways: An overview. Climatic change. 2011; 109: 5- 31.
16. Khadka D, S. Babel M, Shrestha S, Nitin K. Tripathi. Climate change impact on glacier, snowmelt, and runoff in Tamakoshi basin in the Hindu Kush Himalayan (HKH) region. Journal of Hydrology. 2014; 511: 49- 60.
17. Akhtar M, Ahmad N, Booij MJ. The impact of climate change on the water resources of Hindu Kush Karakorum Himalaya region under different glacier coverage scenarios. J. Hydrol. 2008. 355(1-4):148-163.
18. Gan R, Luo Y, Zuo Q, Sun L. Effects of projected climate change on the glacier and runoff generation in the Naryn River Basin, Central Asia, Journal of Hydrology. 2015. 523:240-251.

# Investigating the effect of climate change on snow cover with the approach of water resources management in the coming decades

(Case study: Basin of watershed leading to Amir Kabir dam)

**Corresponding author: Fatemeh Falahati**, PhD student of **Meteorology**, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran

**Email:** Falahati\_fp@yahoo.com

**Bohloul Alijani**, Professor, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran

**Mohammad Saliqeh**, Associate Professor, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran

**Accepted:** August 21, 2018

**Received:** October 2, 2018

## Abstract

**Background:** Assessing the effects of climate change on changes in snow cover and melting behavior is very important in water management. These changes will have a direct impact on the hydrological regime and water resource management. The prediction of snow cover surface due to temperature changes in the future is applicable in a variety of fields including flood risk management, drought, etc. On the other hand, the advantages of using modern technologies and remote sensing in climatic studies and assessing the effects of climate change on snow cover have largely been neglected. The purpose of this research is to investigate changes in snow cover levels in future by integrating remote sensing science, new technologies, and climatic models for flood risk management.

**Method:** In this study, the 8-day images of the MODIS satellite were extracted from 2010-2015 due to proper accuracy and reduction of cloud cover error; after receiving and storing satellite images of snow cover, software ERDAS was used to view and change the format of these images. Then, the study area was clipped and finally, the snow cover surface was calculated and extracted based on the number and the size of snow pixels using ArcGIS software. Snow surface area was controlled with 8-day intervals during 2010-2015. In the next step, temperature and precipitation variations were extracted using the latest CMIP5 climatic models and four scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 from 2020-2060. The snow cover was estimated for the years 2020-2060 with a 10-year interval using the relationship between snow cover, temperature, and precipitation.

**Findings:** The observational data and satellite imagery showed that the snow cover density began in November in the study area and reached its largest area in January. In addition, since February, the snow cover has declined, and the snow cover had the smallest area in June. Investigation of temperature and precipitation changes using climate scenarios showed that the average temperature of the basin of Amir Kabir Dam in comparison with the base period (2015/1985) would be increased and the annual rainfall of the base period would be decreased. As a result, the surface of snow cover would be come down with a decreasing trend by considering the relationship between snow cover, temperature, and precipitation.

**Conclusion:** The results show that snow level is important to study and measure as one of the main sources of water supply. Due to the hard physical conditions of mountainous terrain, there is no permanent ground measurement for estimating retrofitting resources and the formation of databases. Therefore, the use of satellite imagery is very important in identifying the snowfield areas and assessing its changes. In addition, the snow level in the area is also reduced due to the increasing temperature and decreasing rainfall, and the amount of water stored in the snow, which are the source of water supply in the warm seasons, will be reduced. So estimating the snow cover level in future can be a major step forward in managing water resources and risk management of water-related risks, including floods and droughts.

**Keywords:** climate change, snow cover area, MODIS, remote sensing & GIS, climate scenarios