

بررسی قطعیت داده‌های سنجش از دور در مدل‌های برآورد منابع آب

ناشی از ذوب برف

علمی پژوهشی

اسلام گله بان^۱، مهرنگ دوستی رضایی^۲، فرهاد نصیری^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵

صفحات: ۲۴-۷

چکیده:

سد شهرچای یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب و کشاورزی شهر ارومیه می‌باشد. ذخایر برفی این حوضه منبع تأمین آب راهبردی برای کشاورزی حوضه می‌باشد که با افزایش دما به صورت رواناب در پایین دست حوضه مورد بهره برداری قرا می‌گیرد. لذا اطلاع از ذخایر برفی و رواناب ناشی از آن در طول سال در مدیریت منابع آب حوضه اهمیت ویژه‌ای را دارا می‌باشد. روش‌های مختلفی برای برآورد رواناب ناشی از ذوب برف وجود دارد که معمولاً به صورت ترکیبی از داده‌های هواشناسی و سنجش از دور استفاده می‌کنند که در این پژوهش از داده‌های پوشش برف سنجنده (MODIS)، مجموعه داده‌های تحلیل مجدد ERA-LAND و پایگاه داده بارش GPM که تماماً محصولات سنجش از دوری می‌باشد به عنوان ورودی مدل رواناب ذوب برف (SRM) استفاده گردید. و رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه آبریز سد شهرچای با استفاده از تصاویر و محصولات ماهواره‌ای در سال آبی ۱۳۹۸ به صورت روزانه برآورد شد و خروجی‌های مدل بر اساس داده‌های روزانه دبی رودخانه اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه برده سور اعتبارسنجی شد. نتایج نشان می‌دهد که SRM در حوضه مورد مطالعه با ضریب تعیین (R^2) بالای ۰/۸ و درصد خطای حجمی ۲،۲۱- از عملکرد خوبی برخوردار بوده است.

کلمات کلیدی: ذوب برف، رواناب، مدل SRM، سنجش از دور، MODIS، ERA5-LAND

^۱ کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران؛ Galehban.eslam@ut.ac.ir

^۲ مدیر دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، آذربایجان غربی، ایران؛ mehrangd@yahoo.com

^۳ رئیس گروه تلفیق و بیلان شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، آذربایجان غربی، ایران؛ Farhad.n.g@gmail.com

مقدمه

مخرب می‌گردد (سیدی علم آباد، ۱۳۸۷). نبود آمار و اطلاعات کافی از جمله مشکلات محاسبه مقدار دقیق رواناب ناشی از ذوب برف می‌باشد، از این رو محققین به روش‌هایی روی آورده‌اند که با استفاده از آن بتوانند مقدار رواناب ناشی از ذوب برف را شبیه‌سازی نمایند. استفاده از فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای پیشرفت‌های قابل توجهی در مطالعات برف ایجاد کرده است که با استفاده از این روش‌ها می‌توان پارامترهای برف را تخمین و به‌عنوان ورودی مدل‌ها استفاده نمود (رنگو، ۱۹۹۳؛ رانگو، ۱۹۹۴؛ دانگ، ۲۰۱۸). علاوه بر این از آنجایی که پارامترهای هواشناسی مورد استفاده برای ورودی مدل را از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی که در محدوده شهرها قرار دارند و با مناطق مستعد برف فاصله داشته دریافت می‌گردد، می‌تواند موجب بروز خطا در نتایج گردد. از این رو امروزه پایگاه داده‌های اقلیمی همچون ERA5-LAND، پایگاه داده GPM و پایگاه داده CHIRPS با تولید پارامترهای مورد نیاز به صورت پیوسته و با قدرت تفکیک مکانی مناسب کمک شایانی به بهبود شبیه‌سازی‌های مرتبط نموده است. از جمله مدل‌های ذوب ناشی از ذوب برف مدل (SRM) می‌باشد (رنگو و همکاران، ۲۰۱۸). این مدل به منظور مدیریت منابع آب، آبیاری و ذخیره آب، توسط محققان سوئیس ارائه گردیده است. اساس این مدل روش درجه-روز می‌باشد. این مدل در بسیاری از مطالعات برای ارزیابی تأثیر عوامل آب و هوایی بر دبی رودخانه در حوزه‌های آبخیز کوهستانی استفاده شده است (پندی و همکاران، ۲۰۱۴؛ طاهر و همکاران، ۲۰۱۱؛ تکلی و همکاران، ۲۰۰۵؛ الیاس و همکاران، ۲۰۱۵). مدل SRM توسط سازمان جهانی هواشناسی برای شبیه‌سازی مورد آزمایش قرار گرفته است که در مقایسه با سایر مدل‌ها با داشتن حداقل خطا دقیق‌ترین مدل برای شبیه‌سازی ذوب برف تشخیص داده شده

برف یکی از مؤلفه‌های، سیکل هیدرولوژیکی در بسیاری از مناطق دنیا بوده و ذوب آن دربرگیرنده بخش اصلی جریان کل در بسیاری از مناطق کوهستانی دنیا نیز می‌باشد (رنگو و همکاران، ۱۹۹۵). برف روی کوه‌ها می‌تواند به عنوان نوعی برج آب^۱ طبیعی در مناطق کوهستانی تلقی شود که به صورت طبیعی آب را ذخیره و در فصول بعدی به عنوان منبع آب مورد استفاده قرار می‌دهد. آب حاصله از یخچال-های طبیعی و برف فصلی منبع تأمین آب بیش از یک ششم از جمعیت جهان می‌باشد، که ممکن است به علت بروز پدیده گرمایش کره زمین در معرض خطر بی‌آبی باشند (کلین و بارنت، ۲۰۰۳). ایران به عنوان کشوری با اقلیم نیمه خشک و خشک شناخته می‌شود که مشکل کم‌آبی همواره یکی از مسائل زیست محیطی آن بوده است (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹). و در سالیان گذشته با تغییر اقلیم این منابع آب به ویژه برج آب‌ها نایاب یا با کمبود چشمگیری مواجه شده است. از آنجایی که برج آب‌ها در مناطق کوهستانی بهترین عامل در تأمین آب در فصول گرم سال به ویژه برای کشاورزان محسوب می‌شود، آگاهی از خصوصیات فیزیکی برف، به عنوان یک منبع حیاتی و پارامتری کلیدی در مطالعات هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب در مناطقی که بارش برف دارای سهم زیادی در نزولات جوی است؛ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (رسولی و ادهمی، ۱۳۸۴). تعیین حجم آب برف جهت استفاده در پژوهش‌های کارشناسان علوم طبیعی، جغرافیدانان، مهندسين آب و برق ضروری به نظر می‌رسد. دسترسی به مطالعه ذخایر برفی به منظور مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی مؤثر منابع آب حائز اهمیت بسیار می‌باشد. در مناطق غرب کشور، بیشترین حجم رواناب، حاصل ذوب برف بوده که موجب وقوع سیلاب‌های شدید و

ذوب برف قادر به شبیه‌سازی رواناب با ضریب تمییز ۵۲ درصد و تفاضل حجمی ۲۳,۲ است. جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به منظور برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه شهرچای، برای سال آبی ۹۲ با استفاده از تصاویر روزانه ماهواره‌ترا- مادیس با تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و مدل SRM، رواناب ناشی از ذوب برف را شبیه‌سازی نمودند. نتایج شبیه‌سازی بیانگر دقت بالای این مدل است. در تحقیقات پیشین صورت گرفته از داده‌های پوشش برفی ماهواره‌ای و داده‌های مشاهداتی استفاده گردیده است اما در این پژوهش سعی شده است تمامی متغیرها و پارامترهای مورد نیاز ورودی مدل از محصولات ماهواره‌ای استفاده شود از این رو با توجه به اینکه یکی از سدهای حائز اهمیت در شمال غرب کشور و به ویژه استان آذربایجان غربی سد شهرچای می‌باشد در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایگاه- داده های اقلیمی، داده‌های ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری ذخایر برفی حوضه آبریز سد شهرچای مورد بررسی قرار گرفته و آب حاصل از ذوب برف برای سال آبی ۱۳۹۸ مدل سازی گردید.

ارتفاع منطقه از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا در خروجی حوضه واقع در ایستگاه کشتیبان، تا ۳۵۸۶ متر در مرز ایران و ترکیه، متغیر است. بخشی از آب رودخانه برای مصرف آب آشامیدنی شهرستان ارومیه توسط این سد تأمین و مابقی پس از آبیاری باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی از داخل شهر ارومیه می‌گذرد و سپس در محلی به نام دماغه حصار وارد دریاچه ارومیه می‌گردد. شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز سد شهرچای را نشان می‌دهد.

است WMO (۱۹۸۶). همچنین مطالعات متعددی به منظور شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل SRM صورت گرفته است. در پژوهشی کخدایی و همکاران (۱۳۹۹) به منظور شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه آبریز سهزاب (از زیر حوضه های قسمت جنوبی سبلان) برای سال ۸۹-۹۰ از تصاویر سطح برف MODIS مدل SRM، استفاده نمودند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ارزیابی مدل SRM با استفاده از دو شاخص ضریب همبستگی و تفاضل حجمی به ترتیب برابر با ۸۱ و ۲/۳ درصد می‌باشد. همتی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی به منظور شبیه‌سازی جریان در حوضه آبخیز تکاب از مدل رواناب ذوب برف SRM، برای سال های آبی ۸۳ الی ۸۵ استفاده نمودند. نتایج نشان می‌دهد که مدل، قابلیت و توانایی شبیه‌سازی جریان رواناب حاصل از ذوب برف را دارا است. نظم فر و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به منظور بررسی چگونگی ارتباط رواناب سطحی در خروجی حوضه آبی دهگلان در ارتباط با تغییرات پوشش برف در ارتفاعات؛ رواناب ناشی از ذوب برف را با استفاده از مدل رواناب ذوب برف مورد بررسی قرار دادند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل رواناب

مواد و روش

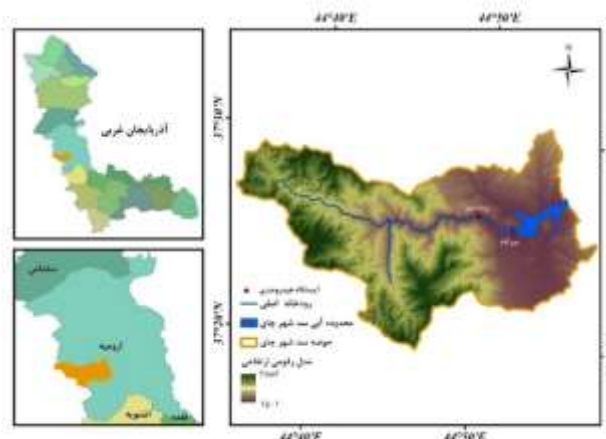
۱- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش حوضه آبریز سد شهرچای ارومیه واقع در شهرستان ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. مساحت تقریبی آن ۳۲۵ کیلومتر مربع است، موقعیت جغرافیایی آن بین $35^{\circ} 44'$ تا $28^{\circ} 45'$ طول شرقی و $37^{\circ} 32'$ تا $37^{\circ} 62'$ عرض شمالی واقع شده است.

۲- داده‌های میدانی

۱-۲- داده‌های مشاهداتی

داده‌های مشاهداتی مورد نیاز در این پژوهش از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان غربی (برای اخذ داده‌های ایستگاه سینوپتیک)، سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی (برای اخذ اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و بارانسنجی) دریافت شد. این داده‌ها شامل اطلاعات دما و بارش روزانه و ماهانه و دبی میانگین جریان روزانه رودخانه می باشند. جدول (۱) مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سد شهرچای ارومیه

نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		نوع ایستگاه	نام ایستگاه
	درجه	دقیقه	درجه	دقیقه		
۱۳۲۸	۴۵	۰۳	۳۷	۴۰	سینوپتیک	ارومیه
۱۵۷۲	۴۴	۵۹	۳۷	۴۰	هیدرومتری	برده سور

ماموریت توپوگرافی رادار شاتل (SRTM) یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM) تقریباً جهانی است که مجموعه داده رقومی ارتفاعی را با وضوح بالا با استفاده از داده‌های SAR باند C تولید می‌کند. که نسبت به سایر مدل‌های رقومی ارتفاعی به علت دسترسی آسان، رایگان و دقت مناسب بسیار فراگیر شده است (فار و همکاران، ۲۰۰۷؛ سان و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۲- داده‌های ماهواره ای

در این مطالعه از داده‌های مدل رقومی ارتفاعی *SRTM* برای تحلیل توپوگرافی حوضه، محصول پوشش برف روزانه مادیس، داده‌های *ERA5-LAND*، *GPM* جهت استخراج دما و بارش استفاده شده است. جزئیات این داده‌های ماهواره‌ای در جدول (۲) آورده شده است.

مدل رقومی ارتفاعی SRTM

تصاویر سنجنده مادیس

سنجنده مادیس (MODIS) از جمله سنجنده های مطالعات منابع زمینی است که توسط سازمان فضایی ایالات متحده آمریکا (NASA) در دسامبر سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شده است. سنجنده مادیس با دارا بودن ۳۶ باند قادر است اطلاعات دریافتی از سطح زمین را در محدوده طیفی ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر و عرض پوشش ۲۳۳۰ کیلومتر ثبت نماید. این تصاویر برای بررسی انواع پدیده های زمینی از جمله اقلیم، اقیانوس، بیابان، جنگل، کشاورزی و ... استفاده می شود شیائو (۲۰۰۹). و این امکان را به ما می دهد که پدیده هایی مانند ابرها، یخچال ها، آتش سوزی ها، شدت بلایای طبیعی و ... را بررسی کنیم. قدرت تفکیک مکانی باندهای این سنجنده از ۲۵۰ متر تا ۱۰۰۰ متر متغیر است.

داده های تحلیل مجدد ERA5-LNAD

پارامترهای اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش شامل داده های ERA5-LAND می باشد. این داده ها به عنوان بخشی از اجرای سرویس تغییرات آب وهوایی کوپرنیک (C3S) در اروپا، مرکز اروپایی پیش

بینی میان برد آب و هوا (ECMWF) اقدام به تولید داده های جهانی تحلیل مجدد آب و هوایی و اقلیمی نمود. اساس این داده ها سیستم یکپارچه پیش بینی (IFS) می باشد. این داده ها شامل پارامتر دمای حداقل، دمای حداکثر، میانگین دمای هوا، بارش و ... می باشد. که با قدرت تفکیک مکانی ۱۱ کیلومتر به صورت ساعتی در دسترس می باشد (مونوزساباتر و همکاران، ۲۰۲۱).

بارش GPM

GPM به معنی "مأموریت اندازه گیری بارش جهانی" و یک پروژه بین المللی برای اندازه گیری بارش در سراسر جهان است. این پروژه با همکاری بین ناسا و سازمان هواشناسی ژاپن (JAXA) برای بهبود دقت در پیش بینی های هواشناسی و خشکسالی و ... در سطح جهان شکل گرفته است. محصول نهایی این ماهواره IMERG نام دارد و دارای قدرت تفکیک مکانی ۰/۱×۰/۱ درجه است ماهواره اصلی آن در ۲۷ فوریه سال ۲۰۱۴ از مرکز فضایی تانگاشیما ژاپن پرتاب شد (هافمن و همکاران، ۲۰۱۵).

جدول ۲. داده های ماهواره ای مورد استفاده

نوع داده	نماد	منبع	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی
مدل رقومی ارتفاعی زمین	DEM	SRTM	۳۰ متر	*
حداکثر دمای روزانه	T-max	ERA5-Land	۱۱۱۳۲ متر	ساعتی
حداقل دمای روزانه	T-min	ERA5-Land	۱۱۱۳۲ متر	ساعتی
میانگین دما روزانه	T-mean	ERA5-Land	۱۱۱۳۲ متر	ساعتی
پوشش برفی	Snow Cover	MODIS/006/MOD10 A1	۵۰۰ متر	روزانه
بارش	precipitation	CHIRPS	۲۷۸۳۰ متر	ساعتی
بارش	precipitation	GPM	۱۱۱۳۲ متر	ساعتی
بارش	ERA5	ERA5-Land	۱۱۱۳۲ متر	ساعتی

$$Q_{n+1} = [Cs_n \cdot a_n(T_n + \Delta T_n) \cdot S_n + Cr_n \cdot P_n] \frac{A \cdot 1000}{86400} (1 * K_{n+1}) Q_n K_{n+1}$$

Q : دبی روزانه (متر مکعب بر ثانیه)، C : ضریب رواناب برف، Cr : ضریب رواناب باران، a : فاکتور درجه - روز (سانتیمتر بر درجه سانتیگراد بر روز)، T : درجه حرارت ایستگاه مبنا (درجه سانتیگراد)، DT : تفاضل درجه حرارت ایستگاه مبنا با درجه حرارت در محل متناظر متوسط ارتفاع هیپسومتریک حوضه، S : پوشش نسبی برف، P : بارشی که در تولید رواناب شرکت می-کند (سانتیمتر)، A : مساحت حوضه یا ناحیه انتخابی (کیلومتر مربع)، n : توالی روزها در طی دوره پیش‌بینی یا شبیه‌سازی و K : ضریب فروکش می‌باشد (مارتینگ، ۱۹۸۳).

۴- ارزیابی نتایج

۴-۱- ارزیابی داده اقلیمی و بارش

۳- ساختار مدل SRM

مدل SRM به منظور مدیریت منابع آب، آبیاری و ذخیره آب، توسط محققان سوئیدی ارائه گردیده است. اساس این مدل روش درجه-روز می باشد. مدل SRM توسط سازمان جهانی هواشناسی برای شبیه‌سازی مورد آزمایش قرار گرفته است که در مقایسه با سایر مدل‌ها با داشتن حداقل خطا دقیق‌ترین مدل برای شبیه‌سازی ذوب برف تشخیص داده شده است (مارتینگ، ۱۹۷۵). این مدل رواناب ناشی از ذوب برف و بارش باران را به صورت روزانه محاسبه کرده و مازاد بر آن را در فروکش جریان و دبی از حوضه طبق معادله (۱) برآورد می نماید.

معادله (۱)

معیار ارزیابی مدل: در این مطالعه برای ارزیابی مدل SRM از دو معیار دقت کمی، شامل ضریب تعیین R^2 و درصد خطای حجمی D_v به شرح روابط زیر استفاده شد (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸).

$$R^2 = 1 - (\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2 / \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2)$$

معادله (۵)

در رابطه فوق، R^2 : ضریب تعیین، Q_{mi} : دبی اندازه-گیری شده در روز i ام (m^3/s)، Q_{ci} : دبی محاسبه شده در روز i ام، Q_a و (m^3/s) : میانگین دبی اندازه-گیری شده روزانه (m^3/s) در طول دوره آماری که داده های آن برای مدل سازی استفاده شده و n تعداد روز است.

$$D_v = \frac{V_R - V'_R}{V_R} * 100$$

معادله (۶)

در رابطه فوق، D_v : درصد خطای حجمی بین کل رواناب اندازه-گیری شده و شبیه سازی شده، V_R : حجم رواناب اندازه-گیری شده، V'_R : حجم رواناب شبیه سازی شده می باشد.

نتایج و بحث

ارزیابی دمای هوای داده های تحلیل مجدد

جدول (۳) نتایج ارزیابی پارامترهای دمای هوای حداقل، حداکثر و میانگین ERA5-LAND را در بازه زمانی مورد بررسی در دو مقیاس روزانه و ماهانه نشان می دهد. براساس نتایج به دست آمده هر سه پارامتر در مقیاس روزانه و ماهانه R^2 بالای ۰/۹ را دارا می باشند. در مقیاس روزانه و ماهانه دمای میانگین کم-ترین nRMSE به ترتیب به میزان ۰/۱۳ و ۰/۱۰ را کسب نموده است و دمای حداقل نیز بیشترین مقدار

به منظور ارزیابی و صحت سنجی داده های اقلیمی تحلیل مجدد و بارش های ماهواره ای از آماره های زیر استفاده شده است.

$$R^2 = 1 - (\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2)$$

معادله

(۲)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / n}$$

معادله

(۳)

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}}$$

معادله

(۴)

ضریب تعیین (R^2) بیان کننده روند برآوردها است و هر چه به عدد یک نزدیک تر باشد روند برآوردها دقیق تر است. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بیان کننده تفاوت میان مقدار برآورد شده توسط مدل و مقدار واقعی است. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) مقدار این آماره بیان کننده وضعیت مدل سازی است. مقدار کمتر از ۱۰٪ و وضعیت ایده آل، بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به ترتیب نشانگر وضعیت مناسب و متوسط مدل در برآورد و بیشتر از ۳۰٪ نشان دهنده عدم اطمینان به مدل است (حیدری مطلق و همکاران، ۱۴۰۲). که در این پژوهش ارزیابی در سه مقیاس روزانه، ماهانه صورت گرفته است بدین ترتیب پارامترهای اقلیمی دمای حداقل و حداکثر، دمای میانگین و بارش ERA-LAND، بارش GPM و بارش CHIRPS با داده های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک ارومیه مقایسه و مطلوب ترین پایگاه داده برای استفاده در مدل SRM انتخاب گردید.

۲-۴- ارزیابی مدل SRM

بالای آن در برآورد پارامترهای مذکور داشته است و از آنجایی که از نظر زمانی پیوسته و از نظر مکانی از قدرت تفکیک مکانی مطلوبی برخوردار بوده است در این پژوهش جایگزین داده‌های سینوپتیک به منظور استفاده در مدل SRM می‌گردد.

خطای nRMSE را در هر دو مقیاس روزانه و ماهانه به ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۴۳ به دست آورده است. علاوه بر این نتایج آماره خطای RMSE نیز نشان می‌دهد که در مقایسه با دو پارامتر حداقل و حداکثر از خطای پایین و مطلوب تری برخوردار بوده است. در نهایت نتایج به دست آمده از این پایگاه داده نشان از دقت

جدول ۳. نتایج ارزیابی پارامترهای اقلیمی دمای هوای ERA5-LAND

پارامتر	R2	RMSE	nRMSE
دمای حداقل روزانه	۰,۹۲	۳,۱۹	۰,۵۷
دمای حداقل ماهانه	۰,۹۷	۲,۴۳	۰,۴۳
دمای حداکثر روزانه	۰,۹۸	۲,۴۰	۰,۱۷
دمای حداکثر ماهانه	۰,۹۹	۱,۹۳	۰,۱۷
دمای میانگین روزانه	۰,۹۸	۱,۵۵	۰,۱۳
دمای میانگین ماهانه	۰,۹۹	۱,۱۴	۰,۱۰

است. در مقیاس ماهانه نیز نتایج نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R2) در هر سه پایگاه داده بالاتر از ۰/۷ بوده که بیشترین آن مربوط به بارش GPM به میزان ۰/۸۶ بوده است. علاوه بر این کمترین مقدار آماره خطای RMSE بارش ماهانه مربوط به بارش GPM به میزان ۹/۳۲ میلی‌متر در ماه و بیشترین آن مربوط به بارش ERA5-LAND به میزان ۱۱/۱۵ میلی‌متر در ماه می‌باشد. همچنین آماره خطای nRMSE در مقیاس ماهانه نیز نشان می‌دهد که بارش GPM با خطای کمتر از ۰/۳۰ نسبت به دو پایگاه بارشی دیگر از عملکرد مطلوب‌تری برخوردار است. از این بارش GPM در هر دو مقیاس روزانه و ماهانه دقت بیشتری در مقایسه با داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک ارومیه داشته است بنابراین در این پژوهش جایگزین داده‌های سینوپتیک به منظور استفاده در مدل SRM می‌گردد.

ارزیابی بارش ماهواره‌ای

جدول (۴) نتایج ارزیابی بارش ماهواره‌ای ERA5-LAND، CHIRPS و GPM را در دو مقیاس روزانه و ماهانه در بازه زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در مقیاس روزانه بارش GPM بالاترین R2 به میزان ۰/۴۶ و بارش CHIRPS پایین ترین مقدار این آماره را به میزان ۰/۲۶ را دارد. همچنین کمترین مقدار آماره خطای RMSE بارش روزانه مربوط به بارش GPM به میزان ۳/۲۱ میلی‌متر در روز و بیشترین آن مربوط به بارش CHIRPS به میزان ۴/۹۲ میلی‌متر در روز می‌باشد. همچنین آماره خطای nRMSE در مقیاس روزانه نیز نشان می‌دهد که بارش GPM از خطای پایین تری نسبت به دو پایگاه بارشی دیگر برخوردار

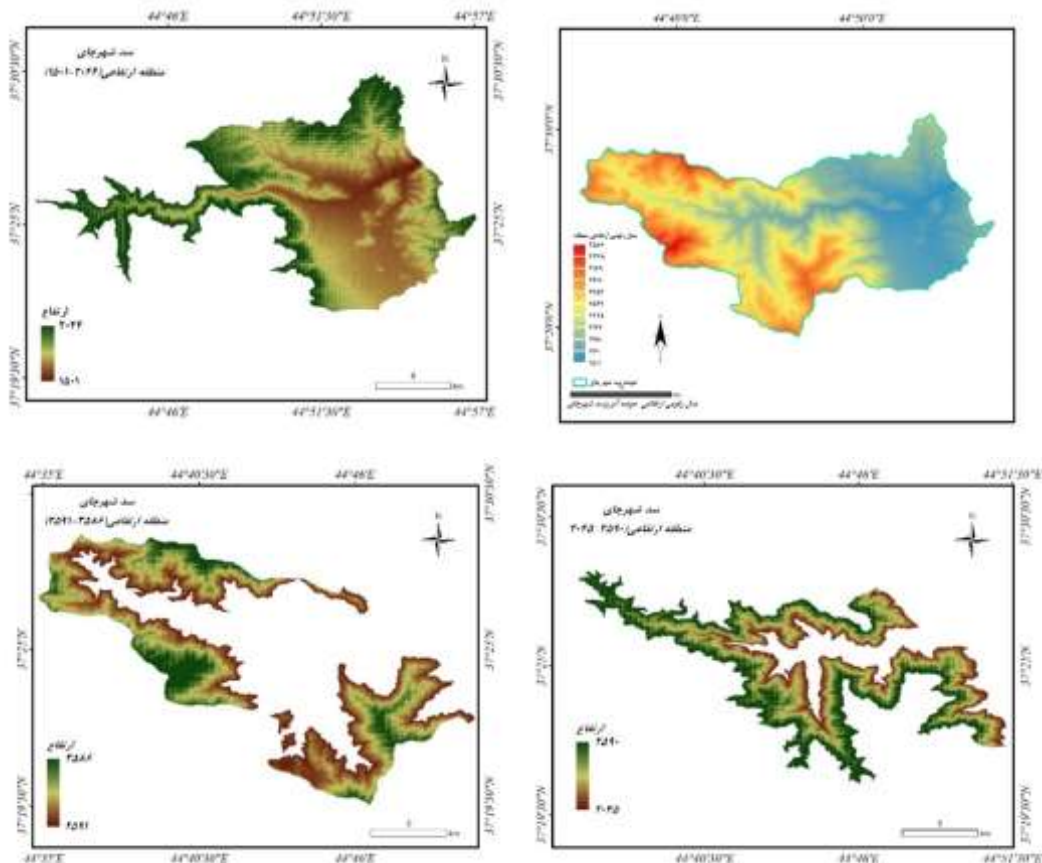
جدول ۴. نتایج ارزیابی بارش ماهواره‌ای ERA5-LAND، CHIRPS و GPM در دو مقیاس روزانه و ماهانه

بارش	R2	RMSE	NRMSE
روزانه ERA5-LAND	۰,۳۵	۴,۳۲	۴,۵۵
ماهانه ERA5-LAND (تجمعی)	۰,۷۷	۱۱,۱۵	۰,۳۹
روزانه CHIRPS	۰,۲۶	۴,۹۲	۵,۱۸
ماهانه CHIRPS (تجمعی)	۰,۸۱	۱۰,۵۲	۰,۳۶
روزانه GPM	۰,۴۶	۳,۲۱	۲,۶۳
ماهانه GPM (تجمعی)	۰,۸۶	۹,۳۲	۰,۲۹

واسنجی پارامترهای مدل SRM

منحنی هیپسومتری حوضه آبریز سد شهر چای می‌بایست مساحت حوضه های آبریز به طبقات ارتفاعی تقسیم گردد. که در این پژوهش حوضه آبریز سد شهر چای به ۳ طبقه ارتفاعی با حدود ۵۰۰ متر تقسیم شده است شکل (۲). مشخصات طبقات ارتفاعی حوضه آبریز سد شهر چای در جدول (۵) نشان داده شده است.

شکل (۲) مدل رقومی ارتفاعی زمین حوضه سد شهر چای را نشان می‌دهد. که دامنه تغییرات آن از ۱۵۰۱ متر تا ۳۵۸۶ متر می‌باشد. بیشترین ارتفاعات در قسمت های غربی حوضه قرار گرفته و در قسمت های غربی که سد شهر چای قرار دارد کمترین ارتفاعات را در بر می‌گیرد. در تحلیل مدل SRM جهت استخراج



شکل ۲. مدل رقومی ارتفاعی حوضه آبریز سد شهر چای

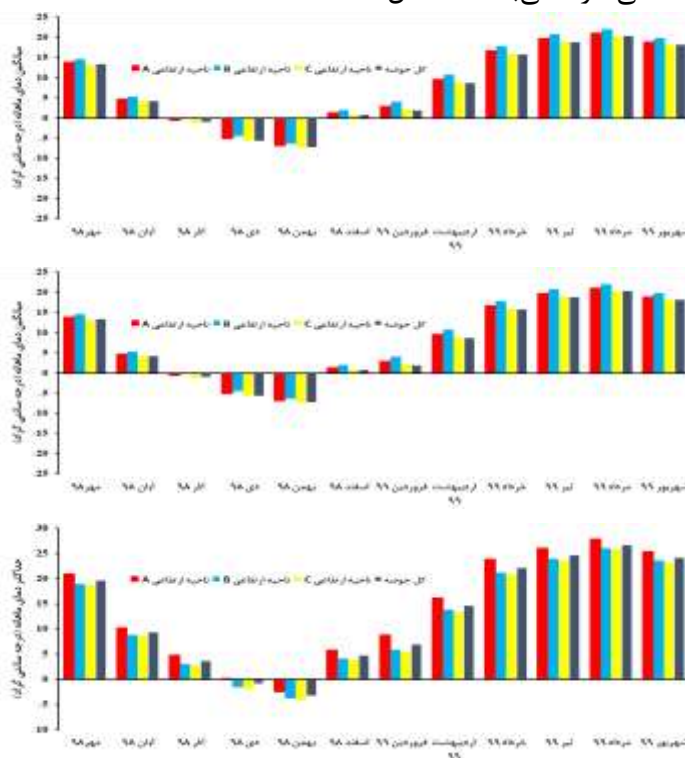
جدول ۵. مشخصات طبقات ارتفاعی حوضه آبریز سد شهر چای

نام طبقه	طبقه ارتفاعی (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت (%)	ارتفاع متوسط (متر)
A	۱۵۰۱-۲۰۴۴	۱۳۷	۴۰,۰۶	۱۷۵۶
B	۲۰۴۵-۲۵۹۰	۹۱	۲۷,۹۰	۲۳۳۳
C	۲۵۹۱-۳۵۸۶	۹۸	۳۰,۰۳	۲۸۴۸
جمع	جمع	۳۲۵	۱۰۰	۲۲۴۵

تغییرات دما

شکل (۳) تغییرات دمای میانگین، حداقل و حداکثر ماهانه ERA5-LAND حوضه آبریز سد شهر چای در سال آبی ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده میانگین دمای ماهانه در منطقه ارتفاعی A، ۱۶/۴۲ درجه سانتی گراد، منطقه B، ۱۷/۲۵ درجه سانتی گراد، منطقه C، ۱۵/۷۲ درجه سانتی گراد و در کل حوضه ۱۵,۸۹ درجه سانتی گراد می‌باشد. حداقل

دمای ماهانه در منطقه ارتفاعی A، ۱۱/۰۱ درجه سانتی گراد، منطقه B، ۹/۵۹ درجه سانتی گراد، منطقه C، ۹/۲۵ درجه سانتی گراد و در کل حوضه ۱۰/۰۸ درجه سانتی گراد می‌باشد. همچنین حداکثر دمای ماهانه در منطقه ارتفاعی A، ۲۳/۱۴ درجه سانتی گراد، منطقه B، ۲۱/۲۶ درجه سانتی گراد، منطقه C، ۲۰/۹۶ درجه سانتی گراد و در کل حوضه ۲۱/۹۶ درجه سانتی گراد می‌باشد.

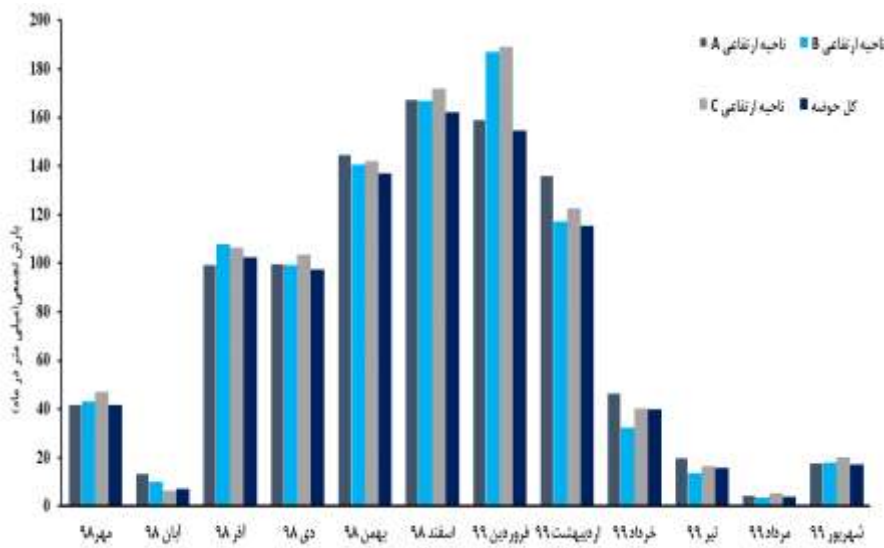


شکل ۳. تغییرات دمای میانگین، حداقل و حداکثر ماهانه حوضه آبریز سد شهر چای در سال آبی ۱۳۹۸

تغییرات بارش

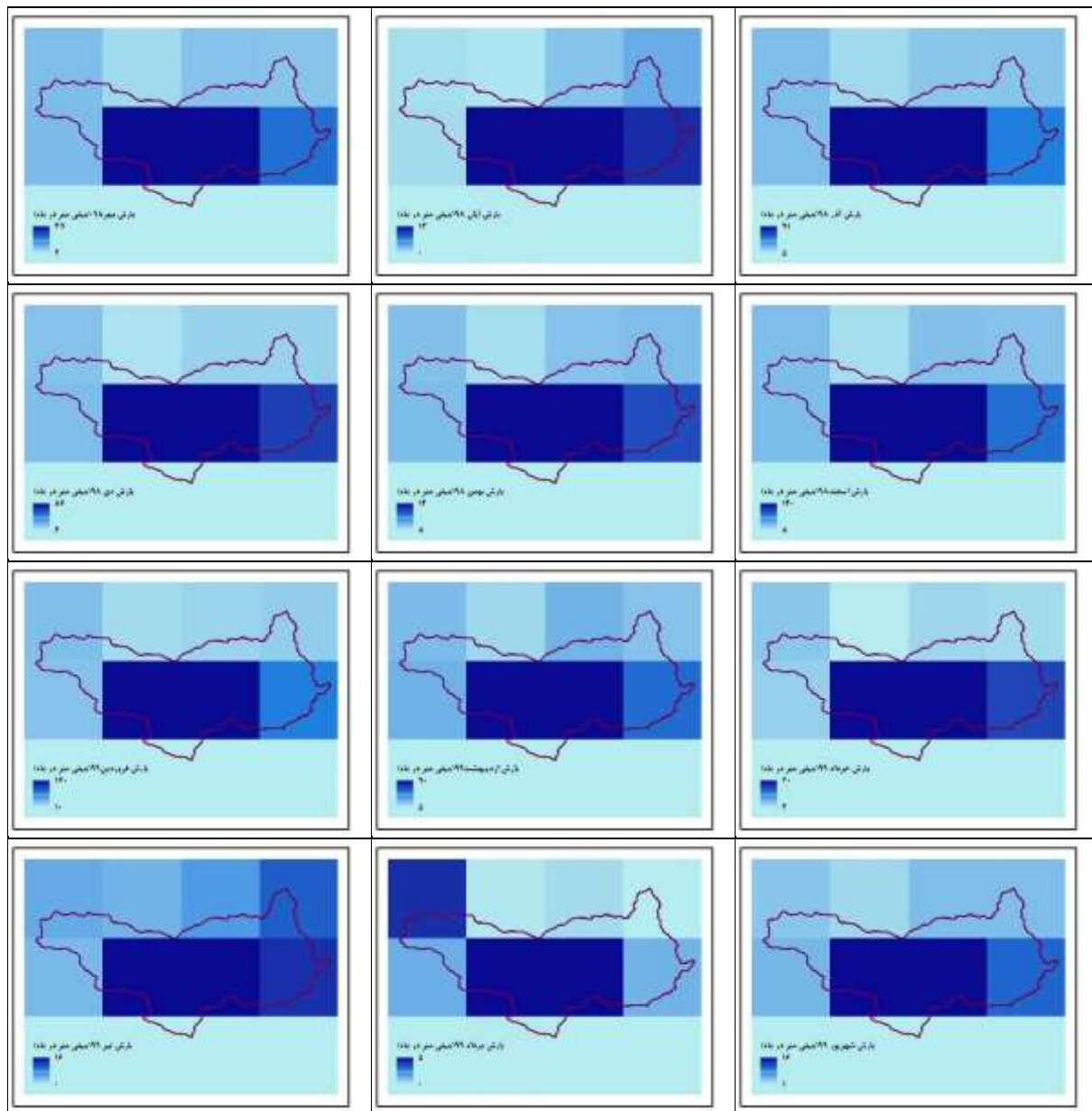
بیشترین بارش تجمعی ماهانه صورت گرفته در اسفند ۱۳۹۸ به میزان ۱۶۷/۴۴ میلی متر و کمترین مقدار آن در مرداد ۱۳۹۹ به میزان ۴/۸۶ میلی متر صورت گرفته است. در طبقه ارتفاعی B نیز بیشترین بارش تجمعی ماهانه صورت گرفته در فروردین ۱۳۹۹ به میزان ۱۸۷/۱۷ میلی متر و کمترین مقدار آن در ماه مرداد به میزان ۳/۷۱ میلی متر صورت گرفته است. در طبقه ارتفاعی C نیز بیشترین بارش تجمعی ماهانه صورت گرفته در فروردین ۱۳۹۹ به میزان ۱۸۸/۹۸ میلی متر و کمترین مقدار آن در ماه مرداد به میزان ۵/۳۶ میلی متر بوده گرفته است. شکل (۵) تغییرات بارش تجمعی ماهانه حوضه آبریز سد شهر چای در سال آبی ۱۳۹۸ را از ابتدای ماه مهر ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۹ را نشان می دهد.

شکل (۴) بارش تجمعی ماهانه GPM حوضه آبریز سد شهر چای را در سال آبی ۱۳۹۸ بر اساس طبقات ارتفاعی و کل حوضه نشان می دهد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که میانگین بارش تجمعی ماهانه در طبقه ارتفاعی A، ۷۹/۳۶ میلی متر در ماه، در طبقه ارتفاعی B، ۷۸/۶ میلی متر در ماه، در طبقه ارتفاعی C، ۹/۸۰ میلی متر و میانگین بارش تجمعی کل حوضه ۷۴/۵۸ میلی متر در ماه می باشد. همچنین بیشترین بارش تجمعی ماهانه صورت گرفته در کل حوضه آبریز شهر چای در ماه اسفند ۱۳۹۸ به میزان ۱۶۲/۶ میلی - متر و کمترین مقدار آن در ماه مرداد به میزان ۳/۸۵ میلی متر صورت گرفته است. در طبقه ارتفاعی A نیز



شکل ۴. بارش تجمعی ماهانه حوضه آبریز سد شهر چای در سال آبی ۱۳۹۸

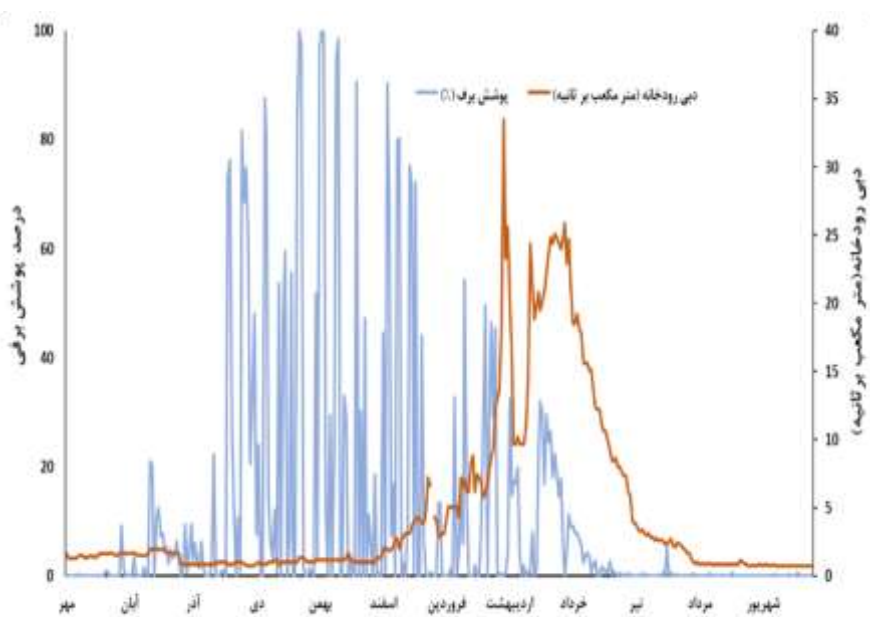
شکل ۵. تغییرات بارش تجمعی ماهانه حوضه آبریز سد شهر چای در سال آبی ۱۳۹۸



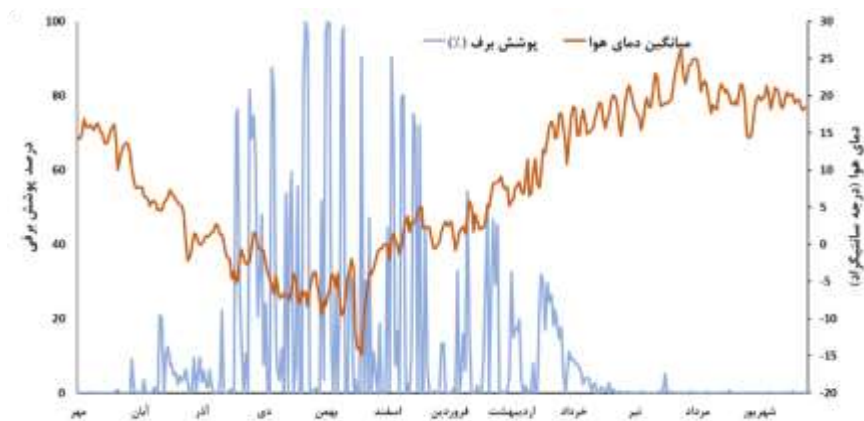
شبیه‌سازی رواناب ذوب برف

از برف را نسبت به دمای هوای حوضه آبریز سد شهر چای در بازه‌ی مورد بررسی را نشان می‌دهد. براساس این نمودار روند تغییرات این دو پارامتر معکوس یکدیگر بوده به طوری که با کاهش دما روند افزایش پوشش برف در سطح حوضه صورت گرفته است و با افزایش دما سطح پوشیده از برف نیز کاهش پیدا می‌کند. همچنین شکل (۸) تغییرات سطح پوشش برف و بارندگی در حوضه آبریز سد شهرچای را نشان می‌دهد. بارش در سطح حوضه در فصل گرم سال باعث افزایش دبی رودخانه ای می‌گردد که متاثر از دمای هوای حوضه می‌باشد.

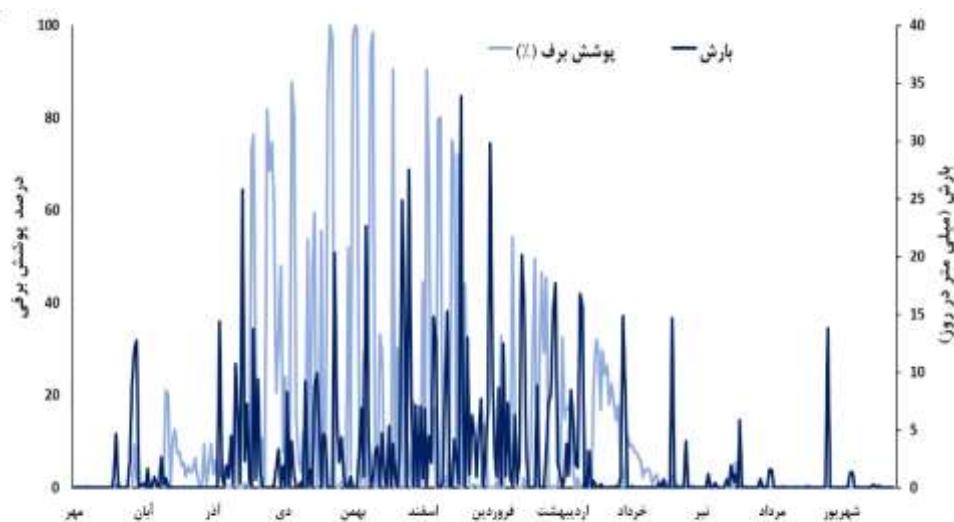
شکل (۶) تغییرات سطح پوشش برف به دست آمده از تصاویر مادیس را نسبت به دبی رودخانه‌ای (مترمکعب برثانیه) در حوضه آبریز سد شهر چای ارومیه در بازه‌ی زمانی (یک مهر ۱۳۹۸ تا یک شهریور ۱۳۹۹) را نشان می‌دهد. بیشترین سطح پوشیده شده از برف در حوضه در از اواخر آذر ماه ۱۳۹۸ تا اواسط اسفند ماه صورت گرفته است و دبی رودخانه ای نیز از اواخر اسفند ۱۳۹۹ روند صعودی به خود گرفته است که با کاهش سطح پوشیده از برف این مقدار نیز کاهش پیدا می‌کند. همچنین شکل (۷) تغییرات سطح پوشیده



شکل ۶. تغییرات سطح پوشش برف و دبی رودخانه در حوضه آبریز سد شهرچای



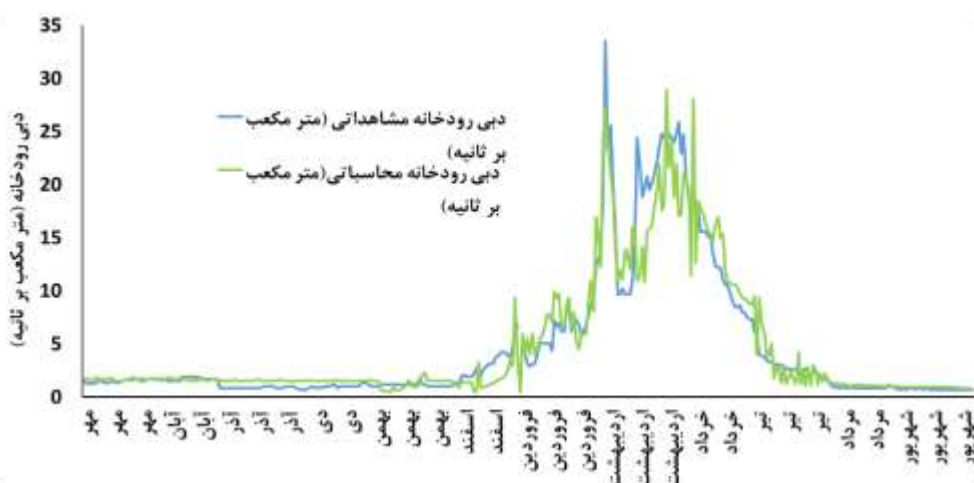
شکل ۷. تغییرات سطح پوشش برف و میانگین دمای هوا در حوضه آبریز سد شهرچای



شکل ۸. تغییرات سطح پوشش برف و بارندگی در حوضه آبریز سد شهرچای

سد شهر ارومیه نشان می‌دهد که حجم رواناب مشاهداتی ۱۴۳/۳۰ میلیون متر مکعب و حجم رواناب محاسباتی ۱۴۶/۳۲ میلیون متر مکعب می‌باشد. همچنین آماره ضریب تبیین (R^2) ۰/۸۷ و درصد خطای حجمی ۲/۲۱- درصد می‌باشد. از این رو نتایج به دست آمده نشان از عملکرد مناسب این مدل در شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف بوده است

شکل (۹) تغییرات دبی محاسبه شده با استفاده از مدل SRM و دبی مشاهداتی حوضه آبریز سد شهر چای را در بازه‌ی زمانی مورد بررسی را نشان می‌دهد. در فصول سرد سال به دلیل دمای پایین حوضه دبی رودخانه‌ای نشان داده نشده است. با پایان یافتن فصل سرد سال و افزایش دما دبی رودخانه‌ای افزایش پیدا کرده و حداکثر آن نیز فصل بهار صورت می‌گیرد. جدول (۶) نتایج ارزیابی رواناب شبیه‌سازی شده در حوضه آبریز



شکل ۹. تغییرات دبی محاسباتی و مشاهداتی حوضه آبریز سد شهر چای

جدول ۶. نتایج ارزیابی رواناب شبیه سازی شده در حوضه آبریز سد شهر چای ارومیه

پارامتر یا معیار ارزیابی	مقدار	واحد
حجم رواناب مشاهداتی	۱۴۳.۳۰	میلیون متر مکعب
حجم رواناب محاسباتی	۱۴۶.۳۲	میلیون متر مکعب
میانگین دبی مشاهداتی	۴.۵۴	متر مکعب بر ثانیه
میانگین دبی محاسباتی	۴.۷۱	متر مکعب بر ثانیه
(DV) درصد خطای حجمی	-۲.۲۱	درصد
ضریب تعیین دبی مشاهداتی و محاسباتی (R^2)	۰.۸۷۲	بی‌بعد

نتیجه گیری

بررسی و اطلاع دقیق از میزان ذخایر برفی و رواناب ناشی از آن می‌تواند به مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی مؤثر منابع آبی کمک نماید از این رو در این مطالعه با استفاده از مدل SRM؛ رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه آبریز سد شهرچای ارومیه در سال آبی ۱۳۹۸ با استفاده از تصاویر و محصولات ماهواره‌ای برآورد گردید و بر اساس داده‌های ایستگاه هیدرومتری برده سور مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه اعتبارسنجی دقت بالایی را بین دبی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده SRM نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که داده‌های پوشش برف MODIS، داده‌های تحلیل

مجدد ERA5-LAAND و بارش GPM برای اجرای مدل SRM در حوضه آبریز سد شهرچای از عملکرد مناسبی برخوردار بوده است و به نظر می‌رسد این پایگاه داده‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای اطلاعات مشاهداتی که به عنوان ورودی مدل استفاده می‌شود باشند. از این رو پیشنهاد می‌شود که مدل SRM به عنوان ابزاری کمکی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی استفاده شود. و اشتراک داده‌ها و اطلاعات می‌تواند بهبود قابل توجهی در مدل سازی، مدیریت آبیاری، تامین آب شرب و سایر استفاده‌های آبی داشته باشد.

منابع

همتی، ز.، و سلیمانی، ک.، و میریعقوب زاده، م. ۱۳۹۸. کاربرد مدل SRM و داده‌های ماهواره ای MODIS در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف (مطالعه ی موردی: حوضه ی آبخیز تکاب). سنجش از دور و GIS ایران، ۱۱(۲)، ۷۹-۹۲.

کدخدایی، س.، و جهان بخش اصل، س.، و ولی زاده کامران، خ. ۱۳۹۹. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل (SRM) مطالعه موردی: حوضه آبریز سهزاب). جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۴(۷۱)، ۳۱۹-۳۳۷.

نظم فر، ح.، و مرادی، م. ۱۳۹۵. شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از داده های سنجش از دور (مطالعه موردی: حوضه آبی دهگلان). جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۰(۵۵)، ۲۷۳-۲۸۹.

جهانبخش اصل، س.، و دین پژوه، ی.، و عالی نژاد، م.، و ولی زاده کامران، خ.، و پرهیزکار، م. ۱۳۹۵. شبیه سازی رواناب ذوب برف در حوضه شهرچای با استفاده از مدل

رسولی، ع.، و ادهمی، س. (۱۳۸۶). محاسبه آب معادل از پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجنده MODIS جغرافیا و توسعه، ۵(پیاپی ۱۰)، ۳۶-۲۳.

طاووسی، ت.، محمودی، پ.، سرگلزایی مقدم، ف. ۱۳۸۹. مقایسه گسترش مکانی اقلیم های خشک و نیمه خشک در ایران طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷(۱ پیاپی ۳۸)، ۱۰۵-۹۴.

سیدی علم آباد، م.، و مرادی، ح.، و قنبرپور، م. (۱۳۸۸). برآورد رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره ای IRS و کاربرد مدل های آماری (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زرینه رود). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳(۹)، ۴۴-۳۵.

dominated basins of the Upper Rio Grande basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 525-546.

Panday, P. K., Williams, C. A., Frey, K. E., & Brown, M. E. (2014). Application and evaluation of a snowmelt runoff model in the Tamor River basin, Eastern Himalaya using a Markov Chain Monte Carlo (MCMC) data assimilation approach. *Hydrological Processes*-۵۳۳۷, (۲۱) ۲۸, ۵۳۵۳.

Tahir, A. A., Chevallier, P., Arnaud, Y., Neppel, L., & Ahmad, B. (2011). Modeling snowmelt-runoff under climate scenarios in the Hunza River basin, Karakoram Range, Northern Pakistan. *Journal of hydrology*-۱۰۴, (۲-۱) ۴۰۹, ۱۱۷.

Dong, C. 2018. Remote sensing, hydrological modeling and in situ observations in snow cover research: A review. *Journal of*

stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*. ۱-۲۱, (۱) ۲,

Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Xie, P., & Yoo, S. H. (2015). NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). *Algorithm theoretical basis document (ATBD) version*. (۲۶) ۴,

Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., ... & Thépaut, J. N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, (۹) ۱۳, ۴۳۴۹-۴۳۸۳.

Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., ... & Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*. (۲) ۴۵,

Sun, G., Ranson, K. J., Kharuk, V. I., & Kovacs, K. (2003). Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter. *Remote Sensing of Environment*, (۴) ۸۸, ۴۰۱-۴۱۱.

Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D., Froking, S., Li, C., ... & Moore III, B. (2005). Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. *Remote sensing of environment*, 95(4), 480-492.

AC00151885, A. (Ed.). (1986). *Intercomparison of models of snowmelt-runoff*. Secretariat of the WMO.

SRM. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان), ۲۷(۳) (پیاپی ۶۳), ۱-۱۴.

همتی، ز.، و سلیمانی، ک.، و میریعقوب زاده، م. ۱۳۹۸. کاربرد مدل SRM و داده های ماهواره ای MODIS در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف (مطالعه ی موردی: حوضه ی آبخیز تکاب). سنجش از دور و GIS ایران, ۱۱(۲), ۷۹-۹۲.

Tekeli, A. E., Akyürek, Z., Şorman, A. A., Şensoy, A., & Şorman, A. Ü. (2005). Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97(2), 216-230.

Elias, E. H., Rango, A., Steele, C. M., Mejia, J. F., & Smith, R. (2015). Assessing climate change impacts on water availability of snowmelt-*Hydrology*. ۵۸۳-۵۷۳, ۵۶۱,

Rango, A. 1993. II. Snow hydrology processes and remote sensing. *Hydrological Processes*, (۲) ۷, ۱۳۸-۱۲۱.

Rango, A.; Martinec, J.; Roberts, R. Relative Importance of glacier contribution to water supply in a changing climate. *World Resour. Rev.*. ۵۰۳-۴۸۷, ۳, ۲۰۰۸

Rango, A. (1994). Application of remote sensing methods to hydrology and water resources. *Hydrological Sciences Journal*, (۴) ۳۹, ۳۲۰-۳۰۹.

Rango, A., Martinec, J. 1995. Revisiting the degree-day method for snowmelt computations 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 31(4), 657-669.

Klein, A. G., Barnett, A. C. (2003). Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2000–2001 snow year. *Remote Sensing of Environment*, 86(2), 162-176.

Martinec, J. (1975). Snowmelt-runoff model for stream flow forecasts. *Hydrology Research*, (۳) ۱, ۱۴۵-۱۵۴.

Martinec, J., Rango, A., & Major, E. (۱۹۸۳), *The snowmelt-runoff model (SRM) user's manual* (No. (REPT-۸۳B۰۲۵۱

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ... & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with

Examining the certainty of remote sensing data in models for estimating water resources derived from snowmelt runoff

¹Eslam Galehban, ²Mehrneg Dosti Rezaei, ³Farhad Nasiri

Abstract

Shahrchay Dam is one of the main sources for providing drinking water and irrigation to the city of Urmia. The snow reserves in this basin serve as a strategic water supply for the agricultural sector and are utilized as runoff in the lower part of the basin as temperatures rise. Therefore, having information about snow reserves and the runoff derived from them throughout the year is of special importance in water resources management of the basin. There are various methods available for estimating runoff derived from snowmelt, typically using a combination of meteorological data and remote sensing. In this study, the snow cover data from the MODIS, the ERA-LAND reanalysis dataset, and the GPM precipitation database, all of which are products of remote sensing, were used as inputs for the snowmelt runoff model (SRM). The daily runoff resulting from snowmelt in the Shahrchay Dam Basin was estimated using satellite images and products in the water year of (September 2019 to August 2020). And The model outputs were validated based on the daily river discharge data measured by the Barde Sour station. The results indicate that the Snowmelt Runoff Model (SRM) performed well in the studied basin, with a coefficient of determination (R^2) exceeding 0.8 and a (DV) -2.21.

Keywords: Snowmelt, runoff, SRM model, remote sensing, MODIS, ERA5-LAND.