

تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب ناشی از ذوب برف (مطالعه موردی: حوضه آبریز شهرچای ارومیه)

سعید جهانبخش اصل^۱

یعقوب دین پژوه^۲

محمدحسین عالی نژاد^۳

چکیده

با توجه به اهمیت بارش برف در تأمین آب مناطق مختلف بویژه در نواحی کوهستانی، برآورد دقیق آب معادل برف و همچنین تغییرات سطح پوشش آن می‌تواند در بخش‌های کشاورزی، انرژی، مدیریت مخزن و هشدار سیل مؤثر باشد. در این مطالعه، رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه شهرچای تحت شرایط تغییر اقلیم، بررسی شد. برای این منظور نخست، سطح پوشش برف برای سال آبی ۹۱-۹۲ با استفاده از تصاویر روزانه ماهواره ترا-مودیس در محیط نرم‌افزار ENVI استخراج گردید. سپس در نرم‌افزار GIS مشخصات فیزیوگرافی حوضه بدست آمد. در مرحله بعد با وارد کردن داده‌های پوشش برف، متغیرهای هواشناختی و پارامترهای لازم به مدل SRM، رواناب ناشی از ذوب برف شبیه‌سازی شد. سپس خروجی ۶ مدل گردش عمومی جو تحت سه سناریوی A_1B ، A_2 و B_1 با مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شدند، سپس از طریق مقایسه خروجی مدل‌ها در دوره آتی با دوره پایه بصورت ماهانه توسط شاخص‌های آماری بهترین مدل و سناریو برای تولید داده‌های دمای هوا و بارش در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰ انتخاب شد. در نتیجه برای تولید بارش از مدل HADCM3 تحت سناریوی A_1B و برای تولید دما نیز از مدل MPEH5 و

۱- استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

۳- دانشجوی دکتری رشته آب و هواشناسی دانشگاه تبریز، نویسنده مسئول

تحت سناریوی A₂ استفاده شد. برای برآورد میزان تغییر رواناب ناشی از ذوب برف در شرایط تغییر-اقلیم میزان تغییرات داده‌های دما و بارش ماهانه تحت مدل و سناریوهای منتخب در دوره آتی با دوره پایه در طول دوره شبیه‌سازی به مدل SRM وارد شد. نتایج نشان داد که رواناب ناشی از ذوب برف در اواخر فصل بهار کاهش می‌یابد. همچنین دبی اوج در مقایسه با دوره پایه زودتر ظاهر شده و مقدار آن نسبت به دوره پایه بیشتر پیش بینی شد.

واژگان کلیدی: برف، تغییر اقلیم، سنجش از دور، SRM, LARS-WG, شهرچای.

مقدمه

برف یکی از اشکال بارش است که به دلیل طبیعت ایجاد تأخیر در تبدیل آن به رواناب، تفاوت خاصی با سایر مؤلفه‌های بیلان آب دارد. تغییرات دما و بارش در یک حوضه بر بیلان آب و انرژی آن حوضه اثر می‌گذارد، بنابراین، پارامتر مذکور عامل مهمی در تغییرات آب و هوایی یک منطقه محسوب می‌شود. تعیین تغییرات زمانی ذوب برف و آب معادل برف برای کشاورزی، پیش‌بینی سیلاب و مدیریت مخازن یک منطقه بسیار حائز اهمیت است. شمال غرب کشور در ناحیه کوهستانی قرار دارد و قسمت عمده بارش‌ها در این منطقه به صورت برف می‌باشد. رواناب ناشی از ذوب برف نقش مهمی در تغذیه رودخانه‌های این منطقه دارد و سهم قابل توجهی در توسعه کشاورزی و اقتصادی منطقه دارد. مطالعات علمی نشان داده است که پدیده تغییر اقلیم آثار قابل توجهی بر بارش، تبخیر و تعرق، رواناب و در نهایت بر تأمین آب دارد. تغییرات اقلیم، بزرگی، فراوانی و خسارت ناشی از وقایع حدی آب و هوایی، هزینه‌های دسترسی به آب در برابر افزایش تقاضا را افزایش می‌دهد (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۹۳: ۴۹). بنابراین، ارزیابی رواناب ناشی از ذوب برف و تأثیر تغییر اقلیم بر روی آن برای مدیریت منابع آب ضروری به نظر می‌رسد. تخمین دقیق رواناب حوضه‌های آبخیز در مناطق کوهستانی با پوشش برف فصلی، نیاز به یک الگوریتم مناسب برای تخمین رواناب ناشی از ذوب برف به عنوان جزئی از سیستم مدل‌سازی دارد (بیلز و کلاین، ۲۰۰۳: ۴۴۹). مدل SRM^۱ برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ به منظور شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌های کوچک کوهستانی ارائه شد (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸: ۶). مالچر و

هیدینگر^۱ (۲۰۰۱) با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس سطح پوشش برف چهار زیر حوضه از حوضه انزال در شرق اتریش را بدست آورده و با استفاده از مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف را شبیه‌سازی کردند. مدل SRM جهت شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در ارتفاعات آلپ سوئیس توسط سیدل و مارتینک^۲ (۲۰۰۲) بکار گرفته شد و رواناب ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست، اسپات و نووا برای ۱۳ زیرحوضه محاسبه شد. اخیراً از مدل SRM برای مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر روی رواناب ذوب برف استفاده شده است (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸: ۱۵). طاهر و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از مدل SRM به تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب ذوب برف حوضه رودخانه هونزاد در پاکستان پرداختند. یانگ گنگ^۳ و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ذوب برف حوضه کایدو در شمال غربی چین پرداختند، آن‌ها از خروجی مدل HADCM3 با سناریوهای مختلف بهره بردند. نتایج حاکی از افزایش رواناب در فصل بهار و کاهش قابل ملاحظه آن در فصل تابستان بود. نجف‌زاده و همکاران (۱۳۸۳) تغییرات سطح پوشش برف را در یکی از زیر-حوضه‌های حوضه آبریز زاینده‌رود (پلاسجان) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نووا در دو سال زراعی شامل سال‌های ۷۲-۱۳۷۰ استخراج کردند. این پژوهشگران همچنین برای شبیه‌سازی رواناب از مدل SRM استفاده کردند طوری که مدل، دبی جریان روزانه را با ضریب تعیین ۰/۹۵ شبیه‌سازی کرد. رسولی و ادهمی (۱۳۸۶)، در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس و براساس الگوریتم‌های مختلف سطح پوشش برف حوضه آبریز آچی چای را محاسبه کردند. قربانی‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، در مطالعه‌ای با استفاده از مدل ذوب برف SRM و همچنین مدل جهانی تغییر اقلیم ECHAM4 به پیش‌بینی توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف برای نیم قرن آینده (شامل دو دوره‌ی ۲۵ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰) در حوضه‌ای در کارون پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که زمان بیشینه‌ی جریان از بهار به زمستان انتقال خواهد یافت و پیش‌بینی شد که در این حوضه دبی زمستان با افزایش حدود ۱۰ درصدی، دبی بهار با کاهش و دبی تابستان با کاهش

1-Malcher and Heidinger

2-Seidel and Martinec

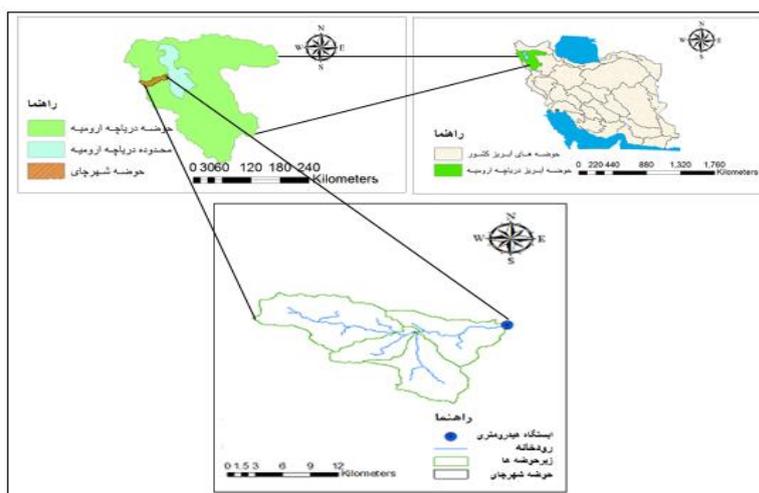
3- Yonggang

نسبی رو به‌رو شود. فتاحی و همکاران (۱۳۹۰)، برای شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه آبریز بازفت از تصاویر ماهواره‌ای ۸ روزه مودیس و مدل SRM استفاده کردند. نتایج کاربرد مدل، شبیه‌سازی موفق و قابل‌قبولی را نشان داد. قاسمی و فتاحی (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به استناد نتایج حاصل از پیش‌آگاهی‌های اقلیمی بر اساس خروجی‌های مدل‌های چرخه عمومی جو (HadCM3-GCM) روند تغییرات رواناب ذوب برف در حوضه آبریز بختیاری با استفاده از مدل SRM مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دمای حوضه در دهه‌های آینده از روند افزایشی برخوردار خواهد بود و به تبع آن سطح پوشش برف بر اساس بررسی‌های هیپسومتریک حوضه کاهش خواهد یافت. ولیکن با توجه به افزایش درجه حرارت و روند افزایشی ذوب برف، رواناب حوضه از روند افزایشی برخوردار نخواهد بود و یک رابطه منفی بین دمای هوای سالانه و نسبت درصد پوشش برف وجود خواهد داشت.

رودخانه شهرچای در استان آذربایجان غربی قرار دارد. این رود از مرکز شهر ارومیه می‌گذرد و مهم‌ترین منبع تأمین آب این شهرستان بشمار می‌رود. سد شهرچای در ۱۲ کیلومتری بالادست این شهر و بر روی این رودخانه احداث شده و نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز در بخش‌های تأمین آب شهری، کشاورزی و صنعت منطقه ایفا می‌کند. هدف این مطالعه، مدل‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از خروجی مدل‌های GCM در نرم‌افزار SRM برای تجزیه و تحلیل تأثیرات تغییر اقلیم در افق (۲۰۲۰-۲۰۳۰-۲۰۱۱)، با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای موجود در حوضه شهرچای ارومیه است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز شهرچای ارومیه در قسمت غربی دریاچه ارومیه واقع شده است. مساحت تقریبی آن ۱۶۷/۷۵ کیلومتر مربع است، موقعیت جغرافیایی آن بین $۳۷^{\circ} ۳۲'$ تا $۳۷^{\circ} ۴۸'$ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع ایستگاه طول شرقی و $۳۲^{\circ} ۳۷'$ تا $۳۷^{\circ} ۴۸'$ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع ایستگاه هیدرومتری برده‌سور ۱۵۹۱ متر و حداکثر ارتفاع حوضه معادل ۳۵۷۴ متر (واقع در مرز ایران و ترکیه) می‌باشد. متوسط بارش سالانه حوضه حدود ۶۱۴/۹ میلی‌متر می‌باشد. سرشاخه‌های این حوضه در ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه واقع است. شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز شهرچای ارومیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز شهرچای ارومیه در استان آذربایجان غربی.

در این مطالعه جهت شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف، همزمان از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی هیدرولوژیکی رواناب استفاده شد. سپس با استفاده از خروجی ۶ مدل گردش عمومی جو و ریزمقیاس‌نمایی آن (توسط مدل LARS-WG تحت سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1) با استفاده از شاخص‌های آماری مرسوم (R^2 و EMRS) بهترین مدل برای تولید داده‌های دما و بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ انتخاب شد. در مرحله بعد میزان تغییرات بارش و دما در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در مقایسه با دوره نظیر پایه برای هر سناریو محاسبه شد و این ارقام به عنوان ورودی به مدل SRM وارد شد. بدین‌منظور نخست با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به دست آمده از سنجنده مودیس در محیط نرم‌افزار ENVI سطح پوشش برف در حوضه شهرچای ارومیه در سال آبی ۱۳۹۲ اندازه‌گیری شد. همچنین از داده‌های دما و بارش ایستگاه سینوپتیک ارومیه و میزان دبی روزانه جریان رودخانه در ایستگاه هیدرومتری برده‌سور (واقع در خروجی حوضه) در دوره آماری دی ماه سال ۹۱ الی خرداد ماه سال ۹۲ استفاده شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

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
۱۵۹۱	۴۴	۶۲	۳۷	۴۲	هیدرومتری	برده‌سور

در این مطالعه اطلاعات هواشناسی و سطح پوشش برفی (از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای) به عنوان ورودی مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب ذوب برف، استفاده شد. اطلاعات مذکور شامل دو بخش به شرح زیر بودند:

ابتدا مشخصات فیزیوگرافی حوضه شامل مرز حوضه، نقشه آبراهه‌ها، مساحت و مناطق ارتفاعی از نقشه DEM بدست آمد. برای این منظور از الحاقیه Hec-GeoHMS در محیط نرم افزار GIS استفاده شد. سپس سطح پوشش برفی از پردازش تصاویر سنجنده مودیس که در فواصل زمانی ۸ روزه از سایت نووا دریافت شد که سطح پوشش برف حوضه مورد مطالعه در فاصله زمانی دو تصویر از این داده‌ها درون‌یابی شد.

بطوریکه اشاره شد برای شبیه‌سازی جریان حاصل از ذوب برف در منطقه مورد مطالعه از مدل SRM استفاده شد. در این مدل، رواناب ناشی از بارندگی و ذوب برف در هر روز محاسبه و به دبی پایه رودخانه اضافه گردید و سپس رواناب روزانه با استفاده از معادله زیر تخمین زده شد (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸: ۸).

$$Q_{n+1} = [C_{sn} \cdot a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + C_{rn} P_n] \frac{10000}{86400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \quad (۱)$$

رابطه (۱): Q : دبی روزانه ($m^3 \cdot s^{-1}$), C_s : ضریب رواناب برف، a : عامل درجه روز ($cm \cdot ^\circ C^{-1} \cdot d$), T : درجه حرارت ایستگاه مینا ($^\circ C$), ΔT : گرادیان حرارتی هر ناحیه ارتفاعی، S : نسبت مساحت پوشش برف به مساحت کل حوضه (به درصد)، C_R : ضریب رواناب باران، P : مقدار بارش برف و باران (cm)، A : مساحت حوضه (km^2), $\frac{10000}{86400}$: ضریب تبدیل واحد $cm \cdot km^2 \cdot d^{-1}$ به m^3/s , K : ضریب فروکش جریان، n : شماره روز در یک دوره محاسباتی.

هریک از پارامترهای مذکور با اندازه‌گیری یا بر اساس نظرات کارشناسی و با استفاده از خصوصیات حوضه، روابط فیزیکی، تجربی و روابط همبستگی بدست آمدند (مک کوئین و همکاران، ۱۹۹۸: ۵۴۸)

معیار ارزیابی مدل: در این مطالعه برای ارزیابی مدل SRM از دو معیار دقت کمی، شامل ضریب ناش ساتکلیم (N-S) و درصد خطای حجمی D_v به شرح روابط زیر استفاده شد (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸: ۷).

$$N - S = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

N-S: ضریب ناش ساتکلیم، Q_i : دبی اندازه‌گیری شده در روز i ام، Q'_i : دبی محاسبه‌شده در روز i ام (m^3/s) و Q_a : میانگین دبی اندازه‌گیری شده روزانه (m^3/s) در طول دوره آماری که داده‌های آن برای مدل‌سازی استفاده شده و n تعداد روز است.

$$D_v = \frac{V_R - V'_R}{V_R} * 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

D_v : درصد خطای حجمی (که با توجه به رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده بدست می‌آید)، V_R : حجم رواناب اندازه‌گیری شده، V'_R : حجم رواناب شبیه‌سازی شده می‌باشد (رانگو و مارتینگ، ۱۹۹۸: ۷).

مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG

مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG توسط راسکو^۱ و همکاران (۱۹۹۱) و سیمنوف و بارو^۲ (۱۹۹۷) ارائه گردید. LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط آب و هوای پایه و آینده به کار می‌رود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۸).

1 - Racsko

2-Semenov and Barrow

در این مطالعه از مدل مذکور برای تولید داده‌های بارش و دمای حوضه شهرچای در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) استفاده شده است. شرح بیشتر این مدل در منابع بابائیان و کوان (۲۰۰۴) و سمونوف و همکاران (۱۹۹۸) بطور کامل ارائه شده است. از میان مدل‌های موجود، تعداد ۶ مدل برای این مطالعه انتخاب شد؛ دلیل این انتخاب، وجود سه سناریو در این مدل‌ها است و این در حالی است که در بعضی از مدل‌ها کمتر از سه سناریو موجود است. مشخصات مدل‌های مذکور در جدول ۲ آورده شده است. برای انتخاب بهترین مدل GCM از مدل‌های ذکر شده ابتدا داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی بصورت روزانه در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۶۷) به مدل وارد شد و برای ۶ مدل مذکور و تحت سه سناریوی A_1B ، A_2 و B_1 برای دوره آماری آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱ داده‌های بارش و دما تولید شدند. داده‌های مذکور در ۵۰ سری تصادفی تولید شد و میانگین پارامترهای مورد نظر (دمای متوسط و بارش) به صورت ماهانه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ استخراج شد. به منظور بررسی عملکرد مدل‌ها و مقایسه نتایج، معیارهایی لازم است تا در تحقیق مورد استفاده قرار گیرد که از بین معیارهای مرسوم، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE^۱) و ضریب تعیین (R^2) بشرح روابط زیر استفاده شد.

رابطه: (۴)

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

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)(Q_i - \bar{Q}_i)}{\sigma_{P_i} * \sigma_{Q_i}} \right]^2$$

رابطه: (۵)

که در آن P_i : داده‌های دوره مشاهداتی و O_i : داده‌های دوره تولید شده برای دوره آتی است و n : تعداد داده‌ها و σ : انحراف معیار داده‌ها است.

1- Root Mean Square Error

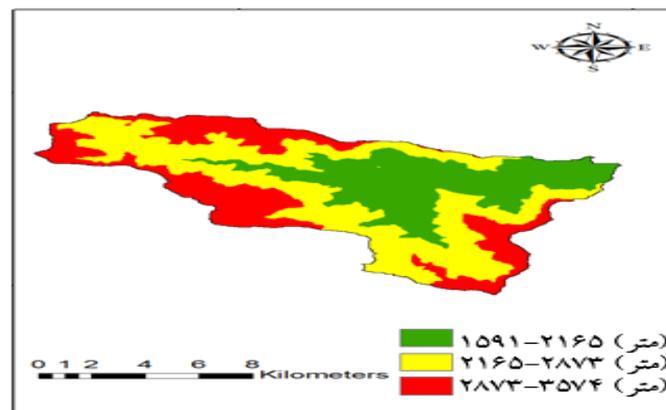
جدول ۲- مشخصات مدل‌های به کاررفته در این مطالعه (سمنوف و همکاران، ۲۰۱۰: ۳).

ردیف	نام مدل	کشور سازنده	تفکیک مکانی (درجه)	منبع
۱	GFCM21	آمریکا	۲*۲/۵	Wang et al. 2004.
۲	HADCM3	انگلستان	۲/۵*۳/۷۵	Gordon et al. 2000.
۳	INCM3	روسیه	۴*۵	Galim et al. 2003.
۴	IPCM4	فرانسه	۲/۵*۳/۷۵	Hourdin et al. 2006.
۵	MPEH5	آلمان	۱/۹*۱/۹	Roeckner et al. 1996
۶	NCCCS	آمریکا	۱/۴*۱/۴	Collins et al. 2000.

یافته‌ها و بحث

با استفاده از نقشه ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه، ابتدا نقشه جهت جریان^۱، نقشه تراکم جریان^۲ و نقشه آبراهه‌ها ترسیم شد و با معرفی نقطه خروجی به برنامه (ایستگاه هیدرومتری برده سور) مرز حوضه مشخص و کلاس‌بندی حوضه بر اساس سه منطقه ارتفاعی انجام شد. شکل ۲ نقشه تراز ارتفاعی را نشان می‌دهد و در جدول ۳ نتایج محاسبات هیپسومتریک در حوضه شهرچای ارائه شده است.

1 - Flow Direction
2 - Flow Accumulation

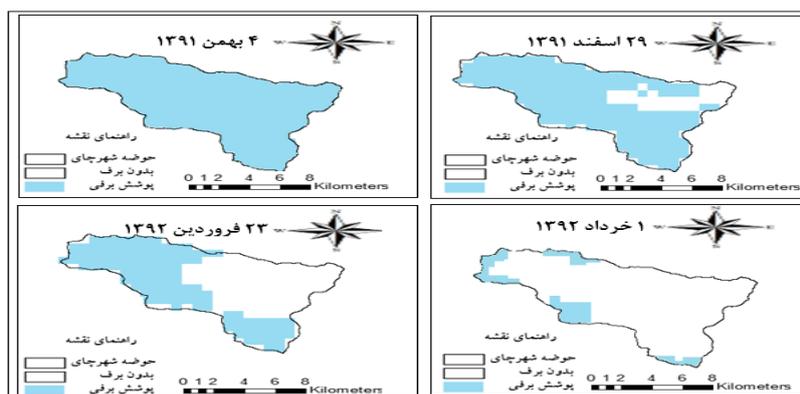


شکل ۲- نقشه مناطق ارتفاعی حوضه شهرچای.

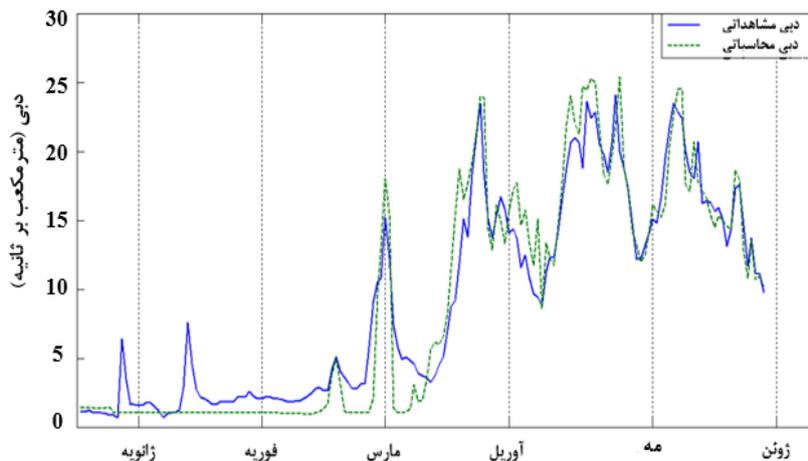
جدول ۳- نتایج محاسبات هیپسومتریک در حوضه شهرچای.

ارتفاع متوسط (متر)	درصد مساحت (%)	مساحت (کیلومتر مربع)	طبقه ارتفاعی (متر)
۱۹۶۲	۱۷/۸۵	۳۱/۵۵	۱۵۹۱-۲۱۶۵
۲۵۳۴	۶۲/۹۱	۱۱۱/۲	۲۱۶۵-۲۸۷۳
۳۰۳۸	۱۹/۲۴	۳۴	۲۸۷۳-۳۵۷۴
۲۵۳۰	۱۰۰	۱۷۶/۷۵	جمع

در شکل ۳ تصاویر پوشش برف را در ۴ روز منتخب در طول دوره آماری مورد مطالعه نشان داده شده‌اند. در این اشکال قسمت رنگی مشخص کننده برف می‌باشد. همان‌طور که از این اشکال مشهود است سطح پوشش برف در روز ۴ بهمن ۹۱ همه حوضه را پوشانده است. ولی در حالت کلی با بالا رفتن درجه حرارت هوا در همین سال (۲۹ اسفند) بخش‌های پست حوضه عاری از پوشش برف شده و در ۲۳ فروردین ۹۲ تقریباً نیمی از حوضه فاقد پوشش برفی است و در نهایت در اول خرداد ۹۳ بجز بخش‌های مرتفع حوضه تقریباً همه جای حوضه فاقد پوشش برفی می‌باشد. شکل ۴ نتیجه شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف حوضه شهرچای در دوره پایه را نشان می‌دهد، همان‌طور که از شکل مشهود است مدل SRM به خوبی توانسته است که رواناب را شبیه‌سازی کند.



شکل ۳- تصاویر پوشش برف در چهار روز منتخب و متفاوت در حوضه شهرجای ارومیه.

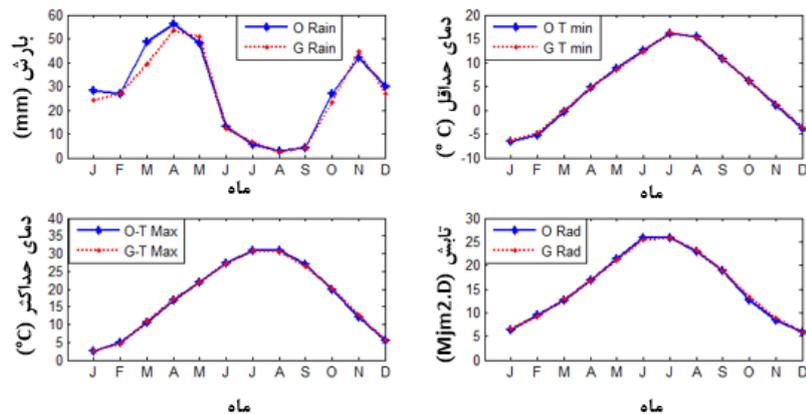


شکل ۴- تغییرات دبی محاسباتی و مشاهداتی در دوره آماری دی ماه ۹۱ الی خرداد ماه ۹۲.

اعتبارسنجی مدل LARS-WG بر روی ایستگاه سینوپتیک ارومیه

شکل ۵ نتایج مقایسه داده های محاسباتی و مشاهداتی دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش را در ایستگاه سینوپتیک ارومیه برای دوره پایه نشان می‌دهد. بر اساس این شکل توانمندی مدل LARS-WG در مدل‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش در

ایستگاه سینوپتیک ارومیه کاملاً با داده‌های دیدبانی شده مطابقت دارد. همچنین توانمندی مدل در مدل‌سازی بارش بسیار خوب و قابل قبول می‌باشد.



شکل ۵- مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی دوره پایه ایستگاه سینوپتیک ارومیه.

با مقایسه داده‌های مشاهداتی و تولید شده شامل میانگین ماهانه بارش، دمای حداقل و حداکثر توسط ۶ مدل مذکور با شاخص‌های ذکر شده، بهترین مدل و سناریو برای تولید داده‌ها در دوره آتی مشخص شد. نتایج این مقایسه در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. از این جدول می‌توان نتیجه گرفت که از بین مدل‌های موجود، مدل HADCM3 تحت سناریوی A_1B ، بهترین نتیجه را برای بارش و مدل MPEH5 تحت سناریوی B_1 ، بهترین نتیجه را برای دمای متوسط پیش‌بینی کردند.

جدول ۴- نتایج مقایسه بارش مدل‌های گردش عمومی جو با دوره پایه.

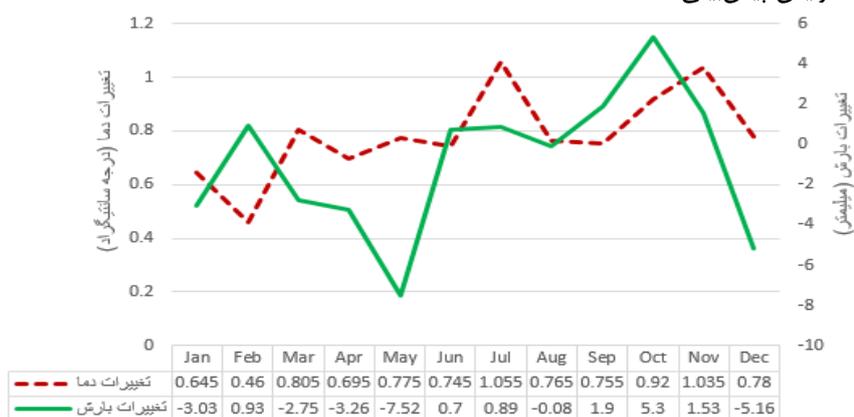
بارش B_1		بارش A_2		بارش A_1B		مدل	R
RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2		
۵/۳۳	۰/۹۲	۵/۳۸	۰/۹۳۳	۵/۴۵	۰/۹۳۵	GFCM21	۱
۳/۷	۰/۹۶	۴/۱۵	۰/۹۵	۳/۵	۰/۹۷	HADCM3	۲
۳/۷	۰/۹۸	۶/۰۵	۰/۸۹۲	۳/۷۹	۰/۹۹۵۶	INCM3	۳
۳/۵۵	۰/۹۶	۳/۶	۰/۹۷	۴/۷۹	۰/۹۴۴	IPCM4	۴

۴/۴	۰/۹۹۵۴	۴/۳۶	۰/۹۴۶	۷/۲	۰/۸۷۶	MPEH5	۵
۵/۷۴	۰/۹۹۹۵	۴	۰/۹۴۹	۴/۹۳	۰/۹۳	NCCCS	۶

جدول ۵- نتایج مقایسه دمای متوسط مدل‌های گردش عمومی جو با دوره پایه.

R	مدل	دمای متوسط A_1B		دمای متوسط A_2		دمای متوسط B_1	
		RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
۱	GFCM21	۰/۸۶۵	۰/۹۹۹۵	۰/۸۲	۰/۹۹۷۵	۰/۸۹	۰/۹۹۹۵
۲	HADCM3	۰/۸۷	۰/۹۹۹۲	۱/۰۴	۰/۹۹۹۷	۰/۸۴	۰/۹۹۹۶
۳	INCM3	۱/۲۲	۰/۹۹۶۸	۱/۰۴	۰/۹۹۸۳	۰/۹۷۵	۰/۹۹۹۱
۴	IPCM4	۱/۱۱	۰/۹۹۹۳	۰/۸۵	۰/۹۹۹۵	۱/۱	۰/۹۹۹۵
۵	MPEH5	۰/۸۹	۰/۹۹۹۵	۰/۸۱۵	۰/۹۹۹۳	۰/۹۳	۰/۹۹۹۳
۶	NCCCS	۱/۲۵	۰/۹۹۹۲	۱/۳۴	۰/۹۹۶۸	۱/۲۳	۰/۹۹۹۲

در مرحله بعد میزان تغییرات پارامترهای بارش و دمای متوسط نسبت به دوره پایه برای ماه‌های ژانویه تا ژوئن (که شبیه‌سازی در آن انجام شده بود) به عنوان شاخصی برای تغییر اقلیم به مدل SRM وارد و مدل تحت شرایط تغییر اقلیم اجرا شد. شکل ۶ تغییرات دمای متوسط و بارش ماهانه را تحت سناریو و مدل منتخب نشان می‌دهد. همانطور که از شکل می‌توان فهمید در طول دوره شبیه‌سازی (ژانویه تا ژوئن) پارامتر بارش با کاهش و پارامتر دما با افزایش پیش‌بینی شده است.

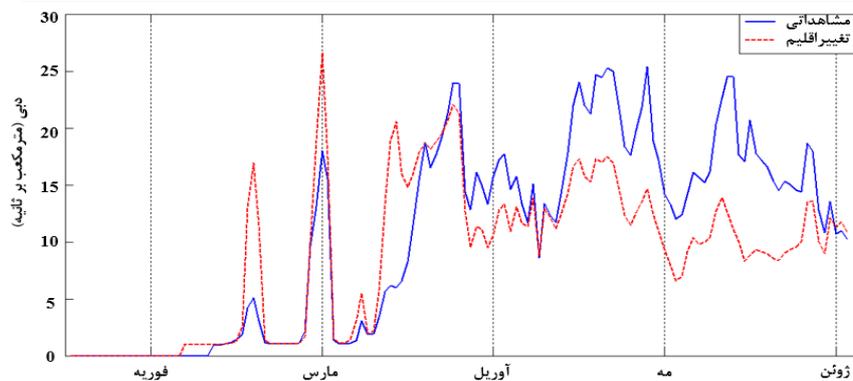


شکل ۶- تغییرات میانگین دمای متوسط و بارش دوره آبی نسبت به دوره پایه.

شکل ۷ نتایج شبیه سازی تحت شرایط تغییر اقلیم را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل، مقایسه رواناب دوره کنونی با رواناب ناشی از تغییر اقلیم نشان داد که رواناب ناشی از ذوب برف در اواسط فصل بهار به طور محسوسی کاهش می‌یابد و دبی اوج نیز زودتر و شدیدتر از دوره پایه رخ خواهد داد. جدول ۶ نتایج ارزیابی مدل SRM را در شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف دوره کنونی و آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) در حوضه شهرچای و در محل ایستگاه هیدرومتری برده‌سور را نشان می‌دهد، بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد تأثیر پدیده تغییر اقلیم به صورت کاهش حجم جریان رودخانه بویژه در بهار (دوره گرم) سال پیش‌بینی شده است.

جدول ۶- مقایسه رواناب شبیه سازی شده ناشی از ذوب برف با مقادیر مشاهداتی دوره پایه دوره پایه با دوره آتی در حوضه شهرچای با مدل SRM.

	رواناب زمستان (میلیون متر مکعب)	رواناب تابستان (میلیون متر مکعب)	مجموع (میلیون متر مکعب)
رواناب مشاهداتی (دوره پایه)	۹/۳۳۹	۱۲۳/۱۱	۱۳۲/۴۴
رواناب محاسباتی (دوره پایه)	۵/۰۸۷	۱۲۴/۸۵۹	۱۲۹/۹۴
رواناب محاسباتی (دوره آتی)	۴/۶۰۱	۹۸/۴۴۹	۱۰۳/۰۵



شکل ۷- مقایسه رواناب برف سال آبی ۹۱-۹۲ و آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) با سناریوهای مختلف.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب ناشی از ذوب برف با در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای موجود که هدف اصلی این مطالعه بوده‌است به خوبی ترسیم شد. با وجود کاهش ۴ درصدی بارش این تأثیر به صورت کاهش ۲۸/۵۲ درصدی رواناب خصوصاً در اواخر اردیبهشت و خرداد ماه که به لحاظ کشاورزی زمان مهمی می‌باشد، پیش‌بینی شد. دلیل آن بر هم خوردن توزیع بارش می‌باشد که بارش فصل پاییز افزایش و بارش فصول زمستان و بهار کاهش خواهد داشت و شبیه-سازی برف نیز در فصولی انجام شده است که کاهش بارش بیشتری رخ خواهد داد. همچنین زمان ذوبی اوج که در حال حاضر در ماه اردیبهشت رخ می‌دهد با شدت بیشتری در ماه فروردین رخ خواهد داد که این به معنی وقوع سیلاب‌های زود هنگام و شدیدتر می‌باشد. نتایج این مطالعه در انطباق با مطالعات دیگر است به طوری‌که در مطالعه یانگ و همکاران (۲۰۱۳) نیز وضعیت مشابهی به دلیل افزایش دما در دوره آبی برای رواناب ذوب برف پیش-بینی شد. همچنین در مطالعه قربانی‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، شرایط به طور مشابه حاکی از انتقال ذوبی اوج از بهار به سمت زمستان (و کاهش آن در بهار) می‌باشد. نتایج این مطالعه زنگ خطر جدی برای حوضه شهرچای به شمار می‌رود. زیرا نتایج نشان داد که در این حوضه رواناب رودخانه کاهش خواهد یافت. بنابراین، تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی با مشکل مواجه خواهد شد.

منابع

- بابائیان، ا. نجفی نیک، ز. زایل عباسی، ف. حبیبی نوخندان، م. ادب، ح و ملبوسی، ش. (۱۳۸۸) ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، *جغرافیا و توسعه*، ۱۶: ۱۳۵-۱۵۲.
- رسولی، ع و ادهمی، س. ۱۳۸۶. محاسبه آب معادل از پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجنده مودیس. *جغرافیا و توسعه*. (۱۰) ۳۶-۲۳.
- فتاحی، ا. دلاور، م و قاسمی، ا. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی با استفاده از مدل SRM، مطالعه موردی: حوضه آبریز بازفت. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. (۲۳): ۱۴۱-۱۲۹.
- قاسمی، ا و فتاحی، ا. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حاصل از ذوب برف مطالعه موردی (حوضه آبریز بختیاری)، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران.
- قربانی زاده خرازی، ح. صدقی، ح. ثقفیان، ب. پرهت، ج. ۱۳۸۸. بررسی اثر تغییر اقلیم بر توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه‌ی کارون. *مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران*. ۳ (۹): ۴۵-۵۰.
- کارآموز، م و عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۳. *هیدرولوژی پیشرفته*. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران). چاپ سوم.
- نجف زاده، ر. ابریشم چی، ا. تجریشی، م و طاهری شهرآئینی، ح. ۱۳۸۳. شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف. *مجله آب و فاضلاب*. (۵۲): ۱۱-۲.
- Babaeian, Kwon W T and Im E.S. 2004. *Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea*. Meteorological Research Institute of Ima, crl Final project Report.
- Bales R.C. and Cline D. 2003. *Snow hydrology and water resources: western united sates, In Handbook of Weather, Climate and Water: Dynamics, Climate, Physical Meteorology, Weather Systems, and Measurements*, Ed. Potter T.D., Colman B.R., Wiley-Interscience, 10:443-459.
- Malcher P. and Heidinger M. 2001. *Processing and data assimilation scheme for satellite snow cover products in the hydrological model*. Envisnow EVG1-CT- 2001-00052.

- McCuen R. H.1998. Hydrologic analysis and design. Printice-Hall Pub., Inc. N.J., PP.548.
- Racsko, P. Szeidl, L and Semenov, M. A. 1991. ***Serial approach to local Stochastic Weather Models. Ecological Modeling.***
- Rango A. and Martinec J. 1998. The snowmelt runoff model (SRM) user's manual, version 4, URL: [ftp // hydrolab . arsusda. gov/ pub / srm / srm4.pdf](ftp://hydrolab.arsusda.gov/pub/srm/srm4.pdf).
- Seidel K. and Martinec J. 2002. ***Hydrological applications of Satellite Snow Cover mapping in the swiss Alps. Proceedings of Earsel-Lissig-Workshop Observing Our Cryosphere from Space***, Bern, March 11-13.
- Semenov M A, Brooks R G, Barrow E M and Richardson C W. 1998. ***Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates. Climate Research.*** CR 10:95-107
- Semenov M A and Barrow E M.1997. ***Use of a stochastic weather Generator in the Development of Climate Change Scenarios.*** Climate Change.
- Semenov, MA. Donatelli, M. Stratonovitch, P. Chatzidaki, E, Baruth, B (2010) ELPIS: a dataset of local-scale daily climate scenarios for Europe. *Clim Res* 44:3–15.
- Tahir A A, Chevallier P, Arnaud Y and Ahmad B. 2011. “Snow cover dynamics and hydrological regime of the Hunza River basin, Karakoram Range, Northern Pakistan,” ***Hydrology and Earth System Sciences***, no. 7, pp. 2275–2290.
- Yonggang Ma, Yue Huang, Xi chen, Yongping Li, Anming Bao. 2013. Modelling Snowmelt Runoff under climate change scenarios in an ungauged Mountainous watershed, Northwest China. *Mathematical problems in Engineering*. Article Hindawi. ID 808565, 9 pages.