

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بازفت صمصامی)

نوید دهقانی^۱، هدی قاسمیه^{۲*}، سیدجواد ساداتی نژاد^۳، خلیل قربانی^۴

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه کاشان

۲. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۳. دانشیار، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۴. دانشیار، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۹/۰۳؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۱/۲۹)

چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن، سبب برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین به وجود آورده است. سیاست‌های راهبردی توسعه در این منطقه، به دلیل نیاز به آب در منطقه مرکزی از یک سو و محدودیت‌های منابع آب از سوی دیگر، با چالشی بزرگ روبه‌رو شده است. در این پژوهش، ابتدا مدل بارش- رواناب WetSpa برای حوضه آبخیز بازفت صمصامی به عنوان یکی از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبخیز کارون واسنجی شد. سپس مقادیر دما و بارش برای دوره آتی براساس سناریوهای تغییر اقلیم با خروجی‌های مدل چرخش عمومی جو HadCM3 برای سه سناریوی A_1B ، A_2 و B_1 ، با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شدند. آن‌گاه به منظور شبیه‌سازی رواناب حوضه، داده‌ها به مدل WetSpa معرفی شد. در نهایت نتایج، کارایی مدل LARS-WG در برآورد باران و دما را تأیید کرد. همچنین نتایج نشان داد رواناب در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و دوره آماری ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه سناریو به ترتیب به میزان متوسط $8/86\%$ و $4/83\%$ درصد افزایش پیدا کرده و در دوره آماری ۲۰۴۱-۲۰۷۰ به میزان متوسط $7/25\%$ درصد کاهش یافته است. این موضوع، نشان‌دهنده تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب در دوره آینده میانی در حوضه آبخیز مطالعاتی است. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده، اتخاذ سیاست‌های برنامه‌ریزی به منظور سازگاری با تغییر اقلیم برای حوضه آبخیز بازفت صمصامی ضرورت دارد.

کلیدواژگان: تغییر اقلیم، حوضه آبخیز بازفت صمصامی، سناریو، مدل‌سازی هیدرولوژیک (WetSpa)، LARS-WG.

مقدمه

مقدار رواناب حوضه را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. عبدو و همکارانش [۶] از مدل HadCM3^۲ و ریزمقیاس‌گردانی آماری برای ارزیابی تأثیر اقلیم بر هیدرولوژی در حوضه گیلجل‌ابی^۳ در اتیوپی استفاده کردند. یافته‌های آنها نشان داد حجم رواناب در دوره زمانی ۲۰۷۱-۲۰۹۹ تحت سناریوهای A₂ و B₂ به ترتیب ۱۱/۶ و ۱۰/۱ درصد کاهش خواهد یافت. کمال و همکارانش [۷] برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی زیرحوضه قره‌سو (در شمال غربی حوضه کرخه) در دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی، از مدل اقلیم جهانی HadCM3 تحت سناریوی انتشار A₂ از مجموع سناریوی SRES^۴ استفاده کردند. آنها مدل بارش- رواناب SIMHYD^۵ را برای دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ واسنجی و صحت‌سنجی کردند و پس از ارزیابی مدل با داده‌های مشاهداتی در دوره پایه، داده‌های اقلیمی ریزمقیاس‌شده را به مدل بارش- رواناب معرفی کردند، نتایج تحقیق آنها نشان داد رواناب منطقه در این دوره، تغییری بین ۹۰ تا ۷۰- درصد در ماه‌های مختلف خواهد داشت. لیو و کولیبالی [۸] توانایی سه مدل مبتنی بر داده ریزمقیاس آماری، شبکه عصبی پیشخور تأخیری و رگرسیون چندگانه تکاملی را در ریزمقیاس کردن دما و بارش روزانه در دو ایستگاه شمال کانادا بررسی کردند و خروجی بهترین مدل را به‌منظور بهبود پیش‌بینی دوهفته‌ای متغیرهای هیدرولوژیکی به دو مدل HBV^۶ و BNN^۷ وارد کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد استفاده از داده‌های ریزمقیاس، پیش‌بینی دبی متوسط و دبی پیک جریان ورودی را به ترتیب ۱۸ و ۲۶ درصد بهبود داده است. لاله‌سیاه و همکارانش [۹] با استفاده از دو مدل HadCM3 و CSIRO^۸ تحت دو سناریوی A₂ و B₁ تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه رودخانه کارون را طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ بررسی کردند که نتایج به‌دست‌آمده، بیانگر افزایش دما و کاهش بارش در منطقه بود. سیلبرستین و همکارانش [۱۰] با استفاده از مدل‌های GSM به شبیه‌سازی مقدار رواناب در ۱۳ حوضه رودخانه‌ای در جنوب غربی استرالیا پرداختند. نتایج نشان از افزایش ۰/۷ تا ۱/۳ درجه‌ای

صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته، سبب افزایش دمای کره زمین و تغییر در دیگر پارامترهای اقلیمی شده است که در نوشته‌های علمی به آن پدیده تغییر اقلیم اطلاق می‌شود. طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱، طی دوره صدساله منتهی به سال ۲۰۰۵، دمای متوسط جهانی به میزان ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است [۱]. با آنکه علل واقعی تغییرپذیری اقلیمی به‌طور کامل شناخته نشده است، فرضیه‌هایی به‌عنوان عوامل مؤثر در این تغییرات مطرح شده‌اند که نتیجه همه این فرضیه‌ها، تغییر پارامترهای دما و بارش است. وقوع تغییر اقلیم به‌خصوص در کشور ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌تواند تأثیر شایان توجهی بر منابع آبی آینده داشته باشد. ارزیابی پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای احتمالی آن بر فرایندهای چرخه هیدرولوژی حوضه آبخیز، کمک فراوانی به چالش‌های مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در دوره‌های آتی خواهد کرد. بررسی مطالعات انجام‌شده در این زمینه نشان می‌دهد پرداختن به این مسئله در مقیاس‌های محلی می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای برنامه‌ریزی‌های آینده استفاده شود [۲].

مشاهده تحقیقات گذشته نشان می‌دهد بسیاری از این پژوهش‌ها پس از ریزمقیاس‌نمایی، کاربرد داده‌ها را در مدل‌سازی فرایند بارش- رواناب ارزیابی نکرده‌اند چون بیشتر مدل‌های هیدرولوژیکی- توزیعی، به داده‌ها و اطلاعات اندازه‌گیری‌شده فراوانی نیاز دارند که در بسیاری از حوضه‌های آبخیز از جمله کشور ایران، چنین داده‌های اندازه‌گیری‌شده وجود ندارد و این مسئله، کاربرد مدل‌های یادشده را با مشکل مواجه ساخته است. بنابراین، در انتخاب مدل مناسب، باید به مؤلفه‌هایی مانند توزیعی یا یکپارچه‌بودن، فیزیکی یا تجربی‌بودن ساختار آن، ساده یا پیچیده‌بودن و در دسترس‌بودن یا نبودن داده‌های مورد نیاز به‌عنوان ورودی مدل و یا برای واسنجی توجه داشت [۳]. در واقع، مدل‌های هیدرولوژیکی، چهارچوبی را برای بررسی رابطه بین اقلیم و منابع آب فراهم می‌کنند [۴]. مینویل و همکارانش [۵] با استفاده از پنج مدل GCM، تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کانادا را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها بیانگر افزایش ۱ تا ۱۴ درجه‌ای دما و ۹ تا ۵۵ درصدی بارش فصلی بود که

2. HadCM3: Hadley Centre Climate Model
3. Gilgel Abay
4. SRES: Special Report on Emissions Scenarios
5. SIMHYD: Simple Hydrology (A Lumped Conceptual Daily Rainfall- Runoff Model)
6. HBV: Hydrologiska Byråns Vattenavdelning
7. BNN: Bayesian Neural Network
8. CSIRO: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Climate Model

1. IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

تحقیق ایشان، نشان‌دهنده روند کاهش رواناب از سال ۱۹۶۰ به بعد بود؛ به طوری که تغییرات بارش، تابش خورشیدی، دمای هوا و سرعت باد به ترتیب ۵۶، ۱۴، ۱۳ و ۵ درصد و سایر پدیده‌ها در مجموع، ۱۲ درصد در روند کاهش رواناب اثر گذاشته‌اند. در این مطالعه همچنین کاهش شایان توجه رواناب در بخش‌های جنوبی و شمال شرقی منطقه، به کاهش بارش نسبت داده شده است؛ در حالی که کاهش تابش خورشیدی و افزایش دما هوا، از عوامل عمده افزایش رواناب به صورت جزئی در بخش شمالی بودند. سهرابیان و همکارانش [۱۵] تأثیر تغییر اقلیم بر آینده حوضه آبخیز گالیکش در استان گلستان را با دخالت مدل هیدرولوژی IHACRES بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که رواناب در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه سناریو به ترتیب به میزان ۳۷/۶، ۴۳/۴ و ۹۴/۷ مترمکعب در ثانیه کاهش یافته است که نشان از تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه در دوره آتی دارد. حسینی و همکارانش [۱۶] مدل‌سازی بارش-رواناب در شرایط تغییر اقلیم را به منظور پیش‌بینی جریان‌های آتی حوضه صوفی‌چای با استفاده از مدل بارش-رواناب IHACRES انجام داد که نتایج به دست آمده از تحقیق ایشان نشان داد اختلاف میان مدل‌های اقلیمی تحت سناریوی انتشار B₁ برای هر دو دوره آتی نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۳۰) و دور (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و همچنین تحت سناریوی انتشار A₂ (۲۰۱۱-۲۰۳۰) برای دوره نزدیک به خصوص در فصول گرم سال، نسبتاً اندک است؛ اما تحت سناریوی انتشار A₂ و دوره دور، اختلاف‌ها بسیار شایان توجه‌اند. همچنین عدم قطعیت انتخاب سناریوهای انتشار مختلف برای دوره نزدیک کم و برای اواسط قرن، بیشتر است. گودرزی و همکارانش [۱۷] تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب سطحی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه بررسی کردند. نتایج بررسی تغییرات رواناب سطحی نشان داد متوسط رواناب سالانه بلندمدت در دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه به ترتیب ۵/۴، ۲۲/۳۵ و ۶۵/۴ درصد کاهش می‌یابد. براساس نتایج سناریوهای مختلف، حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره‌های آتی، با مشکل کاهش رواناب سطحی، کاهش بارندگی و افزایش دما روبه‌رو خواهد بود. با توجه به سوابق تحقیق یادشده، در بیشتر تحقیقات اثر تغییر اقلیم روی منابع آب با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی یکپارچه و داده‌محور بررسی شده و کمتر از مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی و

دما و کاهش ۱۶ درصدی بارش در بیشتر از ۵۰ درصد حوضه‌ها و در نتیجه، کاهش رواناب داشت. حمیدیان‌پور و همکارانش [۱۱] تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های بار و طاغان نیشابور تحت دو سناریوی A₂ و B₂ مدل HadCM3 و روش ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM^۱ را ارزیابی کردند که نتایج آن، بیانگر افزایش دما، کاهش بارندگی و رواناب در حوضه مطالعاتی بود. باوای و همکارانش [۱۲] تأثیرات تغییر اقلیم را بر رواناب و پوشش برف در حوضه‌های مرتفع رشته‌کوه‌های آلپ در شرق سوئیس بررسی کردند. ایشان مدل Alpine3D^۲ را برای داده‌های ۳۵ ایستگاه هواشناسی خودکار برای دوره مشاهداتی و اسنچی کردند تا بتوانند تغییرات رواناب و برف را برای دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۵ پیش‌بینی کنند. در نهایت، نتایج نشان داد تغییرات در پوشش برف برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ متوسط بوده؛ در نیمه دوم قرن، شدید می‌شود و در اواخر قرن، ارتفاعات دارای پوشش برفی حدود ۸۰۰ متر بالاتر می‌رود؛ به این معنا که دیگر اثری از برف در ارتفاعات پایین‌تر نخواهد بود و فصل برف به ۵ تا ۹ هفته در سال کاهش خواهد یافت. آشفته و بزرگ حداد [۱۳] به ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب با استفاده از مدل ریزمقیاس‌گردانی WGLARS^۳ تحت سناریوی A₂ مدل HadCM3 و مدل بارش-رواناب IHACRES^۴ در حوضه آبخیز آیدوغموش پرداختند. نتایج به دست آمده بیانگر کاهش متوسط بلندمدت رواناب سالانه در سه دوره زمانی آتی نسبت به دوره پایه است. لی و همکارانش [۱۴] تأثیرات تغییر اقلیم و پوشش گیاهی بر رواناب در منطقه کوهستانی حوضه رودخانه هایه^۵ در شمال چین در پنج دهه گذشته را مطالعه کردند و دیدند که آب و هوا و غلظت دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر در این حوضه به طور شایان توجهی در پنج دهه گذشته تغییر کرده است. ایشان در مطالعه خود از مدل CLM4^۶ برای تعیین کمیت تغییرات مکانی و زمانی رواناب در سراسر منطقه استفاده کردند. نتایج

1. SDSM: Statistical DownScaling Model
2. Alpine3D: Physically Based Snow Model that is a Detailed Energy-Balance Model and Focuses on Snow-Ice-Soil Energy and Mass Fluxes (without Lateral, Gravity Driven Flows) in Rugged Terrain
3. LARS-WG: Long Ashton Research Station Weather Generator
4. IHACRES: Identification of Unit Hydrograph and Componenets from Rainfall, Evaporation and Streamflow Data
5. Haihe
6. CLM: Community Land Model (Release 4)

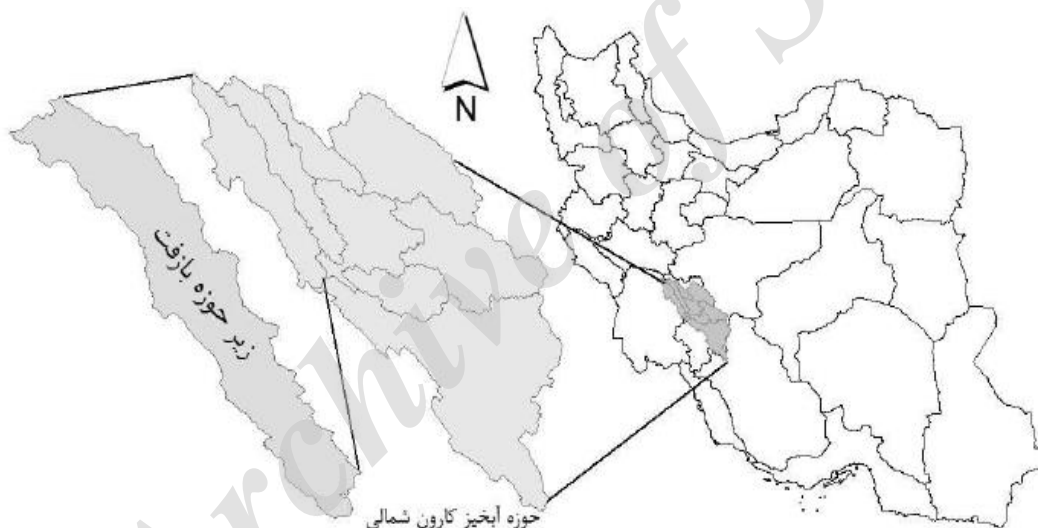
آبخیز، زیرحوضه آبخیز و شبکه سلولی با گام‌های زمانی مختلف را دارد [۱۸].

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعه شده در این پژوهش، حوضه آبخیز بازفت صمصامی است. این حوضه با فرارگرفتن در محدوده جغرافیایی ۳۴° ۴۹ تا ۳۰° ۵۰ طول شرقی و ۳۱° تا ۳۹° عرض شمالی، یکی از زیرحوضه‌های کارون شمالی است که در شمال غربی استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. وسعت این حوضه، ۲۱۳۳ کیلومتر مربع؛ بارش متوسط سالانه، ۹۶۶ میلی‌متر؛ بیشترین ارتفاع، ۴۱۳۵ متر و کمترین ارتفاع، ۸۴۴ متر از سطح دریاست. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

فرایندمحور استفاده شده است. در مدل‌های یکپارچه، تمام یا قسمتی از حوضه آبخیز با ویژگی‌های همگن در نظر گرفته می‌شود و متغیرها و پارامترها به‌طور متوسط برای کل سطح همگن و بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی آنها اعمال می‌شود؛ در حالی که در مدل‌های توزیعی، توزیع مکانی پارامترها و عوامل مؤثر بر فرایند در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، در این تحقیق تلاش می‌شود تأثیر اقلیم بر منابع آب سطحی حوضه آبخیز بازفت صمصامی (به‌عنوان یکی از حوضه‌های اصلی کارون) با استفاده از یک مدل توزیعی و فرایندمحور بررسی شود. یکی از این مدل‌ها، مدل هیدرولوژیکی توزیعی Wetspa^۱ است. مدل Wetspa، یک مدل پیوسته هیدرولوژیکی-فیزیکی است که قابلیت پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی بیلان آبی، فرسایش و انتقال رسوب، کیفیت آب و مدیریت آبخیز را در مقیاس حوضه



شکل ۱. موقعیت حوضه مطالعه شده در استان چهارمحال و بختیاری و کشور ایران

روش تحقیق

الف) ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها با استفاده از مدل LARS- WG 5 و مدل سازی تغییر اقلیم

در مطالعات تغییر اقلیم ابتدا لازم است تا داده‌های دوره پایه مشخص شوند. بدین‌منظور داده‌های مورد نیاز در پژوهش حاضر شامل مقادیر روزانه بارش، دما و تبخیر و تعرق در دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۰۹ مختص به ایستگاه‌های مرگک،

چهل‌گرد و شهرکرد، از سازمان آب منطقه‌ای و اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری تهیه شدند. آن‌گاه به‌منظور ارزیابی تغییرات متغیرهای اقلیمی بارش و دما در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۰، از خروجی‌های مدل اقلیمی HADCM3 در مدل تولید داده LARS-WG استفاده شد. مدل لارس، از یک توزیع نیمه‌تجربی برای تقریب توزیع‌های احتمالاتی سری‌های خشک و مرطوب، بارش، کمترین و بیشترین دماها و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند. توزیع نیمه‌تجربی به‌منابۀ تابع توزیع احتمال تجمعی تعریف

1. WetSpa: Water an Energy Transfer between Soil, Plant and Atomospher

دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش ارزیابی شد و پس از آن داده‌ها به منظور شبیه‌سازی رواناب حوضه، به مدل WetSpa معرفی شدند. همچنین به منظور ارزیابی توانایی مدل یادشده در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، از آزمون مقایسه میانگین (T-test) و آزمون مقایسه واریانس (Levene) استفاده شد.

ب) شبیه‌سازی بارش-رواناب با استفاده از مدل WetSpa^۲

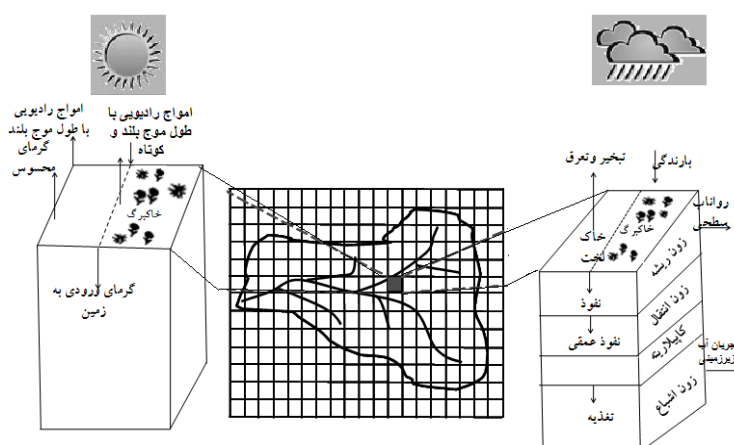
مدل WetSpa، نخستین بار توسط وانگ و همکارانش [۲۰] برای پیش‌بینی انتقال آب و انرژی بین خاک، گیاهان و اتمسفر در حوضه آبخیز تهیه شد. در این مدل برای هر شبکه سلولی، چهار لایه در جهت عمودی در نظر گرفته می‌شود که عبارت‌اند از: لایه تاج پوشش، زون ریشه، زون انتقال و زون اشباع. فرایندهای هیدرولوژیکی مدل یادشده عبارت‌اند از بارش، ذوب برف، ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، رواناب سطحی، نفوذپذیری، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی، جریان زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و بیلان آب (شکل ۲).

ورودی‌های این مدل، شامل داده‌های رقمی و داده‌های اقلیمی-هیدرولوژیکی است [۲۱]. داده‌های رقمی که با فرمت رستری وارد مدل می‌شوند، شامل نقشه کاربری اراضی، نقشه بافت خاک و مدل رقمی ارتفاع هستند. به علاوه، لایه‌های نقطه‌ای، موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و مرز حوضه آبخیز نیز وارد مدل می‌شود. داده‌های اقلیمی-هیدرولوژیکی، شامل بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل و دما (در صورت کوهستانی بودن منطقه و وجود تجمع برف در حوضه) است. این داده‌ها با فرمت نوشتاری تهیه و وارد مدل می‌شوند. در این پژوهش به منظور تهیه مدل رقمی ارتفاع حوضه مطالعه شده، از مدل رقمی آماده کل ایران به اندازه سلولی ۳۰ متر استفاده شد. بدین منظور، مرز حوضه آبخیز بازفت صمصامی برش داده شد و مدل رقمی ارتفاع برای حوضه مد نظر به دست آمد. از آنجا که در مطالعات قبلی، اندازه بهینه سلول در مدل رقمی ارتفاع، ۹۰ متر گزارش شده، در این مطالعه برای اجرای مدل WetSpa، اندازه سلولی مدل رقمی ارتفاع موجود به اندازه سلولی ۹۰ متر تغییر داده شد.

می‌شود. برای استفاده از مدل لارس، حداقل ۲۰ تا ۳۰ سال داده روزانه توصیه شده است. لارس برای تولید سری‌های زمانی روزانه دما و بارش در آینده، نیاز به معرفی فایل سناریوی تغییر اقلیم دارد. این فایل، تغییرات اقلیمی دوره آتی را نسبت به دوره پایه (تغییرات نسبی در بارندگی و تغییرات مطلق در کمترین و بیشترین دمای) براساس خروجی مدل‌های GCM^۱ مشخص می‌کند. مدل گردش عمومی جو HADCM3، یکی از مدل‌های جفت‌شده اقیانوسی جو است که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده است. قدرت تفکیک جو این مدل، شبکه‌ای با ابعاد ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی و قدرت تفکیک اقیانوسی آن، ۱/۲۵ درجه عرض جغرافیایی و ۱/۲۵ درجه طول جغرافیایی است. سناریوهای تغییر اقلیم تأییدشده IPCC، سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب بدینانه، متوسط و خوشبینانه هستند که A1B، توصیفی از جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است، به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهش خواهد بود. سناریوی A2، توصیفی از جهان بسیار ناهمگن است که مدام با افزایش جمعیت جهانی و منطقه‌ای و با محور رشد اقتصادی همراه است. سناریوی B1، جهانی همگرا با جمعیت جهانی را توصیف می‌کند؛ اما با تغییرات سریع در ساختارهای اقتصادی نسبت به خدمات و اطلاعات اقتصادی و معرفی فناوری‌های پاک و منابع مؤثر است [۱۹]. در این تحقیق ابتدا براساس داده‌های مشاهداتی دوره‌های گذشته و بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه تغییر اقلیم برای دوره آماری پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۹، داده‌های بارش و دما شبیه‌سازی شدند. سپس خروجی‌های مدل که شامل دمای کمینه و بیشینه روزانه، بارش و انحراف معیار آنهاست، با داده‌های پایه مقایسه شدند. پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، این مدل در ادامه کار برای ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و تولید داده مصنوعی برای دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ با استفاده از سناریوهای A1B، A2 و B1 تأییدشده توسط IPCC اجرا شده و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای یادشده برای دوره آتی تولید شد. سپس تغییرات متغیرهای

۲. مطالب یادشده در این بخش، از راهنمای مدل تهیه شده است.

1. GCM: General Circulation Model



شکل ۲. ساختار مدل WetSpa

نیاز در Arc View عبارت‌اند از: Spatial Analyst، 3D Analyst، Create Thissen Polygon و WetSpa. با فعال کردن این الحاقیه‌ها، روند آماده کردن پارامترهای مکانی مورد نیاز مدل در شش مرحله انجام شد. در هر یک از این مراحل، نقشه‌های مربوط به پارامترهای مکانی آن ساخته و با فرمت ASCII در پوشه مربوط به آن ذخیره شدند. داده‌های هواشناسی نیز از ایستگاه‌های مرغک، چهل گرد و شهرکرد و داده‌های دبی از ایستگاه هیدرومتری مرغک به دست آمدند و پس از بررسی‌های آماری با فرمت نوشتاری تهیه و در پوشه مختص به مدل قرار داده شدند. در این پژوهش، دوره آماری هفت ساله در نظر گرفته شد که داده‌های مختص به سال‌های ۱۹۸۱-۱۹۸۴ برای دوره واسنجی مدل و داده‌های مربوط به بازه زمانی ۱۹۸۵-۱۹۸۷ برای دوره اعتبارسنجی انتخاب شدند. پس از آماده‌سازی کل داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز و سپس اجرای مدل، واسنجی مدل به صورت سعی و خطا و نیز به صورت اتوماتیک با استفاده از نرم‌افزار PEST انجام شد. تعداد ۱۱ پارامتر عمومی در مدل WetSpa برای واسنجی با دامنه‌های مشخص وجود دارد که عبارت‌اند از فاکتور تصحیح تبخیر و تعرق پتانسیل، فاکتور تصحیح جریان زیرسطحی، ضریب افت آب زیرزمینی، رطوبت اولیه خاک، ذخیره آب زیرزمینی اولیه، بیشترین ذخیره آب زیرزمینی، دمای پایه برای ذوب برف، ضریب روز-دما، ضریب روز-درجه بارش، توان رواناب سطحی و شدت بارش مربوط به $a=1$ است. انتخاب پارامترهای واسنجی براساس مطالعات قبلی از مدل

نقشه کاربری اراضی نیز با توجه به نقشه کاربری تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع به دست آمد و با استفاده از تصاویر Google Earth اصلاح شد. به منظور تهیه نقشه بافت خاک حوضه آبخیز بازفت مصصامی، از نمونه‌های خاک سطحی استفاده شد که توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شده بود. در نهایت نقشه بافت خاک کل حوضه آبخیز مطالعه شده با استفاده از روش درون‌یابی تیسن در نرم‌افزار Arc GIS 10.3 تهیه شد. آن‌گاه لایه مدل رقومی ارتفاع، لایه رقومی کاربری اراضی با کدهای مربوط به کلاس کاربری اراضی در جدول استاندارد کاربری اراضی و لایه رقومی بافت خاک با کدهای مربوط به کلاس‌های بافت خاک در جدول استاندارد بافت خاک با اندازه سلولی 90×90 متر در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3 تهیه و به فرمت ASCII فایل تبدیل شدند و سرانجام در پوشه مربوط به آن از مدل ذخیره شدند. این اقدام با استفاده از پارامترهای پیش‌فرض مدل WetSpa صورت گرفت. این پارامترها عبارت‌اند از پارامترهای پیش‌فرض کلاس‌های بافت خاک، پارامترهای پیش‌فرض کلاس‌های کاربری اراضی و مقادیر پیش‌فرض ضریب رواناب پتانسیل [۲۱]. همچنین فایل‌های با فرمت shp مربوط به پلیگون مرز حوضه آبخیز، نقاط ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی به‌طور جداگانه در پوشه مربوط به ایستگاه‌ها ذخیره شدند. سیستم مختصات همه لایه‌ها، متریک و از نوع UTM, WGS, 1984 و زون ۳۹ شمالی انتخاب شدند. پس از ذخیره داده‌ها و اطلاعات یادشده، ادامه کار در محیط نرم‌افزار Arc View 3.2 انجام شد. الحاقیه‌های مورد

نشان داد در هیچ ماه از سال، اختلاف معناداری بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در سطح ۰/۰۵ درصد وجود ندارد. همچنین در ادامه تحقیق، مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و تولید داده‌های مصنوعی با استفاده از سناریوهای A1B، A2 و B1 اجرا شده و بدین ترتیب مقادیر روزانه متغیرهای یادشده تولید شد. پس از آنالیز داده‌های تولیدشده توسط مدل LARS-WG برای ارزیابی توانایی مدل در تولید داده‌های هواشناسی ایستگاه‌ها در دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۰، از آزمون t-test و رسم نمودار استفاده شد و نتایج تجزیه و تحلیل شد (جدول ۱ و شکل‌های ۳ و ۴). همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود در هر سه دوره زمانی، میانگین دمای سالانه افزایش شایان توجهی در آینده خواهد داشت، به‌طوری که افزایش حدود ۲/۸۲ درصدی نسبت به دوره پایه پیدا می‌کند. به‌طور کلی، روند تغییرات سناریوی A2 در آینده نسبت به بقیه سناریوها، شدیدتر و بدبینانه‌تر است؛ زیرا این سناریو، توصیف‌کننده دنیای ناهمگن با رشد سریع جمعیت است که به مسائل محیط زیستی و تأثیرات ناشی از رشد سریع اقتصادی توجهی ندارد. به‌بیان دیگر، طبق این سناریو، افزایش شدید دما می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت‌های صنعتی برای کسب سود اقتصادی بیشتر، بی‌توجهی به توسعه پایدار، رشد بی‌رویه جمعیت و به تبع آن، افزایش فعالیت‌های انسانی مخرب باشد. به‌طور کلی، بسیاری از تحقیقات انجام‌شده، نشانگر افزایش دما در آینده هستند. وجود روند افزایشی در دمای ایستگاه‌ها می‌تواند در فرایند ذوب برف مؤثر باشد. از طرف دیگر، اقلیم منطقه با افزایش دما به سمت شرایط خشک‌تر تغییر می‌یابد و به دلیل اینکه وقوع سیلاب‌های آتی و شدید با دوره‌های بازگشت بالا، از مشخصه‌های مناطق خشک می‌باشد؛ بنابراین تحت شرایط افزایش دما، وقوع سیل‌های آتی و شدیدتر انتظار می‌رود. از طرفی، در شکل ۴ مشاهده می‌شود که افزایش باران در همه سناریوها به‌جز سناریوی A2 در دوره آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰) مشاهده می‌شود که با پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط طالب مراد [۲۳] در دشت همدان- بهار، که بارش را در سناریوی A2 و در دوره زمانی (۲۰۷۱-۲۱۰۰) کمتر از دوره پایه پیش‌بینی کرده بود، همخوانی دارد.

WetSpa و با توجه به شرایط منطقه و عوامل تأثیرگذار روی رواناب سطحی انجام شد. این پارامترها دارای تعاریف فیزیکی هستند و در کنترل رواناب و هیدروگراف خروجی حوضه آبخیز تأثیر مهمی دارند، اما تعیین کردن آنها در مقیاس شبکه سلولی مشکل است. بنابراین، برای تطبیق بهتر پارامترها در مدل توزیعی، واسنجی این پارامترها در مقابل داده‌های رواناب مشاهده‌ای ترجیح داده می‌شود [۲۱] و [۲۲]. پس از واسنجی پارامترهای مدل، اعتبارسنجی پارامترهای واسنجی‌شده با اجرای مدل برای یک دوره مستقل و مقایسه نتایج با داده‌های مشاهده‌شده صورت گرفت. این مرحله کمک می‌کند تا اطمینان حاصل شود که واسنجی انجام‌شده فقط درباره آمار انتخابی، صحیح نیست و برای هر زمانی معتبر است. در این تحقیق بازه زمانی ۱۹۸۵-۱۹۸۷ برای اعتبارسنجی انتخاب شد و مدل واسنجی‌شده برای این دوره اجرا و اعتبارسنجی شد. آن‌گاه داده‌های آتی بارش، دما و تبخیر و تعرق که از مدل LARS-WG به‌دست آمده بودند، به‌منظور شبیه‌سازی رواناب در دوره آتی به مدل معرفی شدند. در نهایت، برای ارزیابی بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسبه‌شده و مشاهده‌ای، نمایه‌های ارزیابی انحراف مدل^۱، ناش-ساتکلیف، نمایه کارایی ناش-ساتکلیف برای ارزیابی جریان‌های پایین^۲، نمایه کارایی ناش-ساتکلیف برای ارزیابی جریان‌های بالا^۳، ریشه میانگین مربعات خطا^۴، میانگین قدرمطلق خطا^۵، ضریب تعیین^۶ و ضریب همبستگی^۷ استفاده شد.

نتایج و بحث

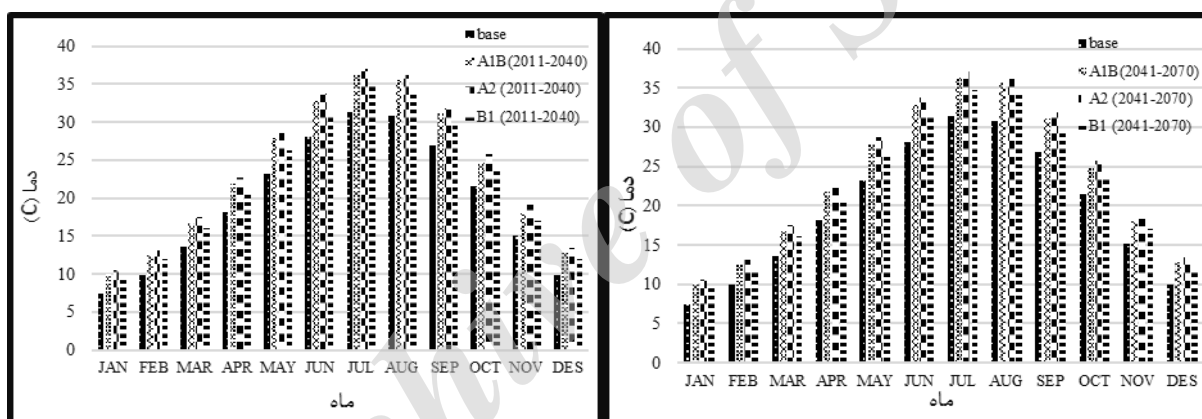
الف) نتایج مدل‌سازی اقلیمی با استفاده از مدل LARS-WG

نتایج عملکرد مدل LARS-WG در مرحله ارزیابی با استفاده از آزمون‌های مقایسه میانگین و واریانس نشان داد کمترین دما، بیشترین دما و بارش شبیه‌سازی‌شده، تطابق بسیار خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد. همچنین نتایج

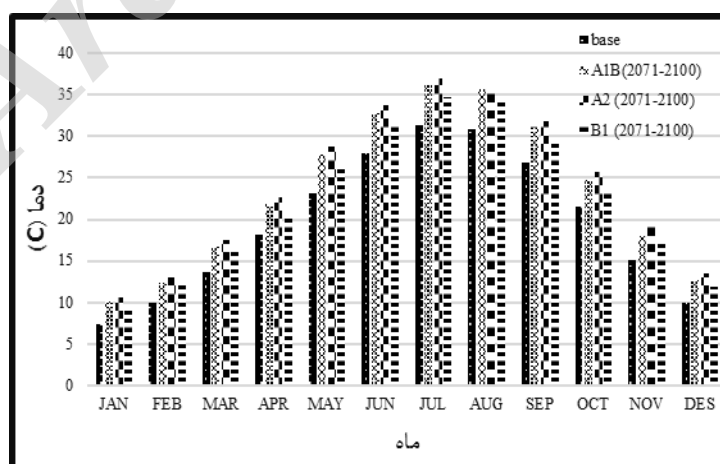
1. Model Bias
2. NSL: Nash-Sutcliffe for Low Flow
3. HNS: Nash-Sutcliffe for High Flow
4. RMSE: Root Mean Square Error
5. MSE: Mean Absolute Error
6. Determination Coefficient
7. Correlation Coefficient

جدول ۱. مقادیر Pvalue در آزمون t و F برای مقایسه اختلاف میانگین‌ها و واریانس‌های ماهانه دوره مشاهداتی و دوره پایه بدون سناریو

ماه	بارش			دما	
	آماره t	آماره F	آماره P	کمترین دما آماره t	بیشترین دما آماره t
ژانویه	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۱۰	۱/۶۴	۰/۶۹
فوریه	۰/۸۲	۰/۵۵	۰/۱۸	۱/۵۱	-۰/۴۹
مارس	۰/۷۴	۰/۹۲	۰/۸۷	۱/۰۵	۱/۴۴
آوریل	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۲۶	۱/۴۲	-۳/۰۰۷
می	۰/۷۱	۰/۰۹۷	۰/۰۶	۱/۸۰	۰/۸۰
ژوئن	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۰۵۷	۱/۷۹	۰/۴۳
جولای	۰/۴۸	۰/۲۱	۱	۱	۰/۰۰
اگوست	۰/۷۹	۰/۴۷	۰/۰۶	۱/۹۸	-۰/۸۵
سپتامبر	۰/۶۱	۰/۹۷	۰/۱۱	۴/۹۶	-۱/۹۵
اکتبر	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۱۶	۱/۵۵	-۰/۹۶
نوامبر	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۲۴	۱/۴۳	۰/۷۱
دسامبر	۰/۴۷	۰/۶۹	۰/۹۷	۱/۰۱	۰/۶۹

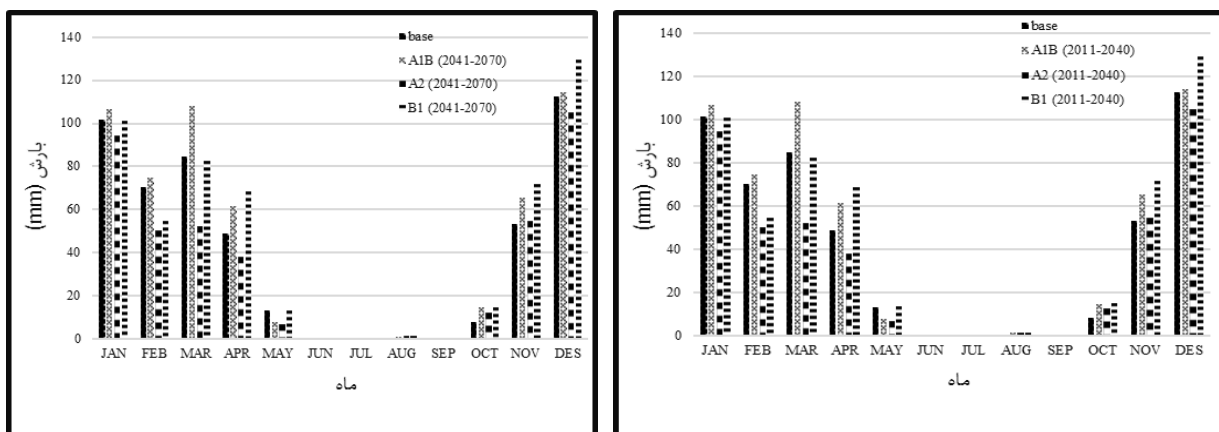


الف) دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۴۰؛ ب) دوره آماری (۲۰۴۱-۲۰۷۰)

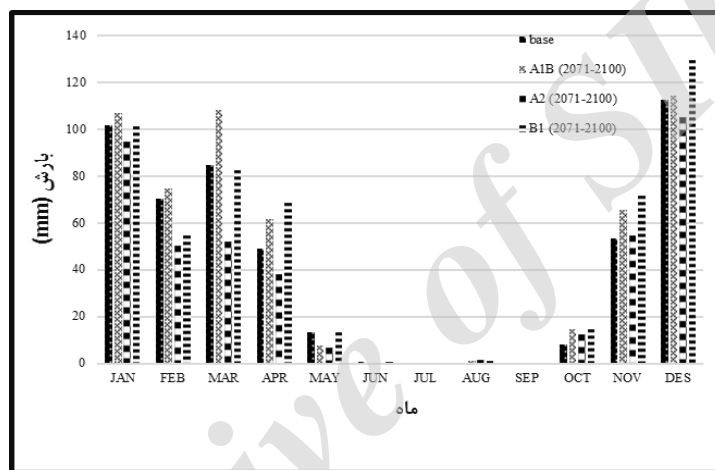


ج) دوره آماری (۲۰۷۱-۲۱۰۰)

شکل ۳. تغییرات ماهانه دمای متوسط در دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه



الف) دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۴۰؛ ب) دوره آماری (۲۰۴۱-۲۰۷۰)



ج) دوره آماری (۲۰۷۱-۲۱۰۰)

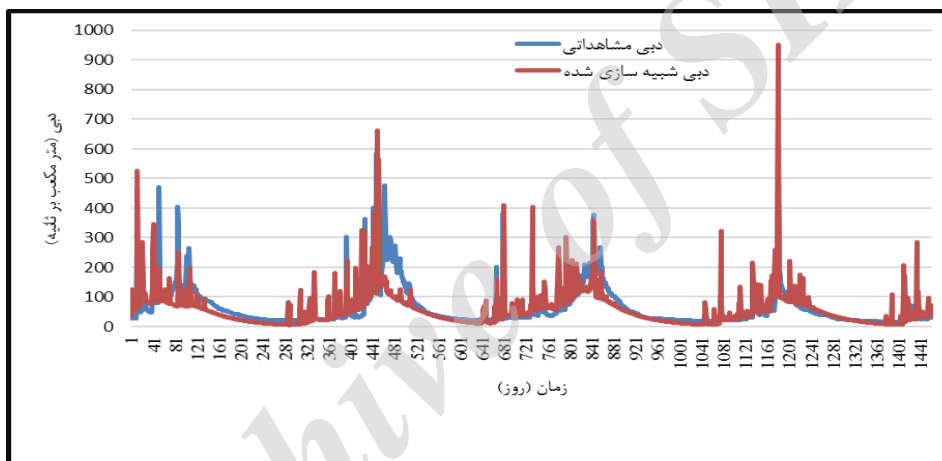
شکل ۴. تغییرات ماهانه باران در دوره‌های آبی تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه

۱۹۸۴) و صحت‌سنجی (۱۹۸۵-۱۹۸۷) نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، مدل توانسته به‌خوبی با معیار ناش-ساتکلیف ۰/۶۵ و ۰/۶۳ درصد به‌ترتیب در دوره واسنجی و صحت‌سنجی، الگوی تغییرات رواناب منطقه مطالعه‌شده را شبیه‌سازی کند. در این منطقه معیار ناش-ساتکلیف در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای جریان‌های کم به‌ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۷۱ و برای جریان‌های حداکثر در هر دو مرحله ۰/۶۵ برآورد شد که نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل است.

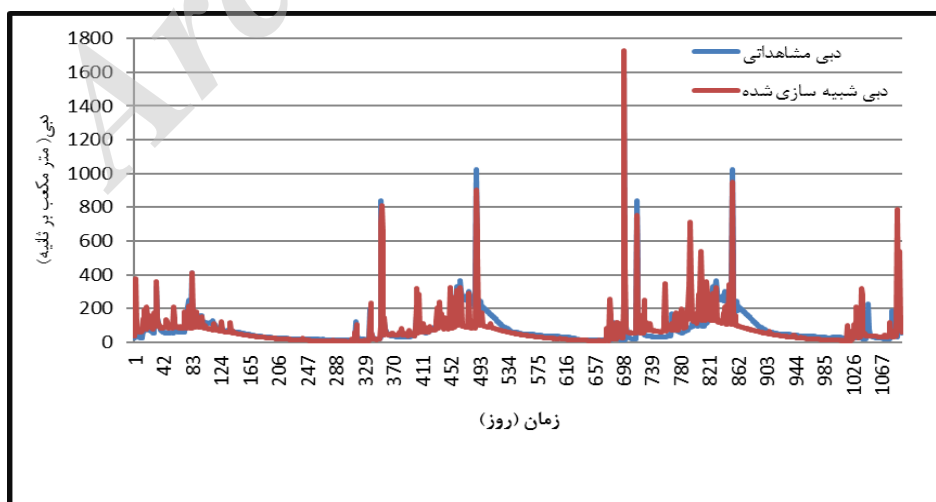
ب) شبیه‌سازی بارش-رواناب با استفاده از مدل **WetSpa** نتایج به‌دست‌آمده از واسنجی پارامترهای مدل WetSpa به‌صورت دستی و سپس با PEST در جدول ۲ یاد شده است. با توجه به جدول یادشده، از بین فاکتورهای موجود، فاکتور ضریب افت آب زیرزمینی (Kg) دارای بیشترین حساسیت و پس از آن فاکتور تصحیح تبخیر و تعرق (Kep) و همچنین ضریب روز درجه بارش (Krain) دارای کمترین حساسیت است. شکل‌های ۵ و ۶ نیز وضعیت عملکرد مدل WetSpa را در دوره واسنجی (۱۹۸۱-

جدول ۲. مقادیر پارامترهای به دست آمده از کالیبراسیون مدل

مقدار	پارامتر	علامت
۰/۰۱	فاکتور بی بعد جریان زیرسطحی (-)	K_i
۰/۰۱۷	ضریب افت آب زیرزمینی (بر روز)	K_g
۱/۳۵	رطوبت اولیه خاک (میلی متر)	K_{ss}
۰/۰۳	فاکتور تصحیح تبخیر و تعریق پتانسیل (میلی متر)	K_{ep}
۵۰	ذخیره آب زیرزمینی اولیه (میلی متر)	G_o
۵۰۰	بیشترین ذخیره آب زیرزمینی (میلی متر)	G_{mx}
۰/۰۵۱	ضریب دمای آستانه (درجه سانتی گراد)	T_o
۰/۹۱	ضریب روز دما (میلی متر بر درجه سانتی گراد بر روز)	K_{sw}
۰/۰۰۰۱	ضریب روز درجه بارش (بر درجه سانتی گراد بر روز)	K_{rn}
۷	توان رواناب سطحی برای شدت بارندگی صفر (-)	K_{run}
۱۶۷	بیشترین شدت بارش (میلی متر بر روز)	P_{mx}



شکل ۵. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای با شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی (۱۹۸۱-۱۹۸۴) در حوضه آبخیز بازفت صمصامی



شکل ۶. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای با شبیه‌سازی شده در دوره صحت‌سنجی (۱۹۸۵-۱۹۸۷) در حوضه آبخیز بازفت صمصامی

جدول ۳. مقادیر معیارهای ارزیابی مدل طی دوره واسنجی و صحت‌سنجی

معیار	واسنجی	اعتبارسنجی
ناش- ساتکلیف	۰/۶۵	۰/۶۳
ناش- ساتکلیف برای جریان‌های کم	۰/۷۵	۰/۷۱
ناش- ساتکلیف برای جریان‌های زیاد	۰/۶۵	۰/۶۵
انحراف مدل	۰/۰۹۵	۰/۰۷۱
جذر میانگین مربعات خطا	۰/۰۸	۰/۰۱۲
میانگین مطلق خطا	۰/۲۴	۰/۲۵

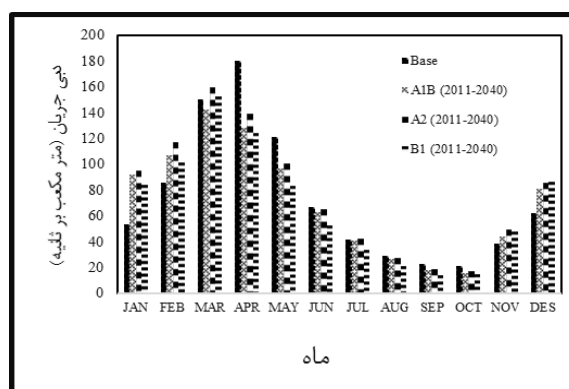
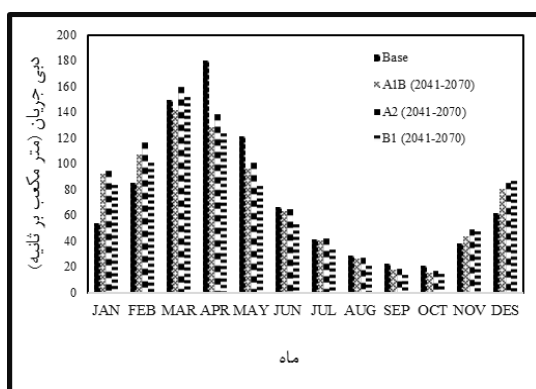
نتایج به‌دست‌آمده نشان داد متوسط رواناب سالانه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ در سناریوی A1B به‌میزان ۶ درصد افزایش، در سناریوی A2 به‌میزان ۹/۸۸ درصد افزایش و در سناریوی B1 به‌میزان ۱۰/۷۲ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد متوسط رواناب سالانه در دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ در سناریوی A1B به‌میزان ۱/۲ درصد، در سناریوی A2 به‌میزان ۱۶/۱۲ درصد کاهش و در سناریوی B1 به‌میزان ۴/۴۳ درصد کاهش می‌یابد. متوسط رواناب سالانه در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در سناریوی A1B به‌میزان ۷/۹۸، در سناریوی A2 به‌میزان ۲/۷۸ درصد و در سناریوی B1 به‌میزان ۳/۷۴ درصد افزایش خواهد یافت (جدول ۴). همچنین میزان دبی ماهانه در سه دوره آتی برای هر سه سناریو نسبت به دوره مشاهده‌شده، در ماه‌های ژانویه، فوریه، می، نوامبر و دسامبر افزایش می‌یابد و در ماه‌های دیگر سال با توجه به افزایش دما و کاهش بارش، کاهش می‌یابد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان به این جمع‌بندی رسید که مدل هیدرولوژیکی توزیعی بارش- رواناب WetSpa، توانایی خوبی در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز مطالعاتی دارد که نتیجه به‌دست‌آمده با نتایج تحقیقات لیو و همکارانش [۸]، بهره‌مند [۲۴]، نورمحمد و همکارانش [۲۵]، زینی‌وند و همکارانش [۲۶] و در نهایت صفری و همکارانش [۲۷]، همخوانی و مطابقت دارد.

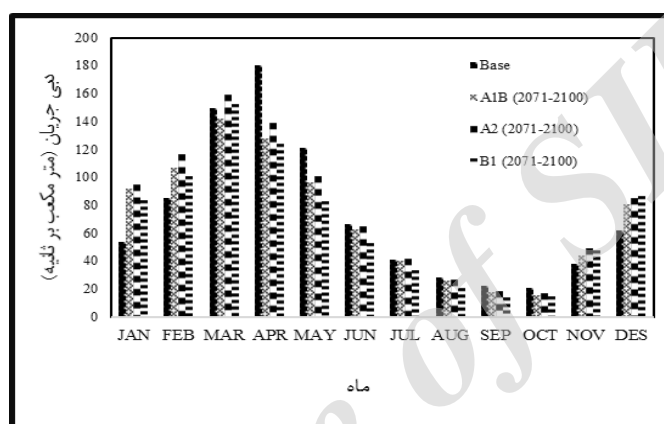
ج) نتایج پیش‌بینی رواناب در دوره‌های اقلیمی آتی پس از واسنجی مدل، سری زمانی رواناب ماهانه حوضه مطالعاتی در دوره‌های آماری ۲۰۱۱-۲۱۰۰ برای نمونه‌های بارش و دمای تولیدشده حاصل از مدل LARS-WG برای هر سه سناریوی A1B، A2 و B1 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی WetSpa شبیه‌سازی شد. سپس متوسط رواناب برای هر یک از سناریوها در دوره‌های آتی با متوسط رواناب مشاهداتی بررسی شد.

جدول ۴. متغیرهای آماری دبی سالانه تحت سناریوهای A1B، A2 و B1

دوره	متغیر آماری دبی سالانه	سناریو A1B	سناریو A2	سناریو B1
۱۹۷۱-۲۰۰۹	میانگین	۷۲/۴۷	۷۲/۴۷	۷۲/۴۷
	انحراف معیار	۲۳/۶۳	۲۳/۶۳	۲۳/۶۳
۲۰۱۱-۲۰۴۰	میانگین	۷۸/۴۷	۸۱/۴۵	۸۳/۱۹
	انحراف معیار	۲۲/۶۷	۲۵/۵۱	۱۵/۰۱
۲۰۴۱-۲۰۷۰	میانگین	۷۱/۲۷	۵۶/۳۵	۶۸/۰۴
	انحراف معیار	۱۹/۵۴	۱۰/۶۱	۲۰/۰۱
۲۰۷۱-۲۱۰۰	میانگین	۸۰/۴۵	۷۵/۲۵	۷۶/۲۱
	انحراف معیار	۲۶/۲۳	۲۱/۴۰	۲۲/۸۰



الف) دوره آماری (۲۰۱۱-۲۰۴۰): ب) دوره آماری (۲۰۴۱-۲۰۷۰)



ج) دوره آماری (۲۰۷۱-۲۱۰۰)

شکل ۷. میانگین طولانی مدت ماهانه رواناب طی دوره مشاهده شده و دوره های تغییرات اقلیمی سناریوهای A1B، A2 و B1

نتیجه گیری

به طور کلی، شناخت و تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما و رواناب و آبدهی سطحی در مباحث مهندسی منابع آب و هیدرولوژی بسیار ضروری است. پیش بینی های کوتاه مدت برای پیش بینی وقوع سیلاب و پیش بینی های بلندمدت برای مدیریت حوضه آبخیز بسیار ضروری است. از طرف دیگر، تأثیرات تغییر اقلیم بر جنبه های مختلف بشر به خصوص منابع آب انکار پذیر است. مطالعات انجام شده در حوضه آبخیز بازفت صمصامی و نتایج سناریوهای بررسی شده، بیانگر این موضوع است که حوضه یادشده در آینده به سمت اقلیمی با رطوبت کمتر و دمای بیشتر پیش می رود. بنابراین، تحت شرایط تغییر اقلیم پیش بینی شده و با توجه به تغییرات مورد انتظار در بارش و دما و به تبع آن افزایش تبخیر و تعرق، احتمالاً در آینده سیل های بیشتری در حوضه مشاهده خواهد شد. این موضوع ممکن است به این علت باشد که با توجه به روند

افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم در دوره های آتی، نظام بارشی حوضه بیشتر به حالت بارانی گرایش یابد. در این صورت ذوب تدریجی برف ها، تعدیل آبدهی رودخانه را ممکن است مختل کند و در نتیجه بخش بزرگ تری از بارش به صورت رواناب جریان یابد. به همین دلیل، باید اقدامات مدیریتی صحیح در این حوضه با در نظر گرفتن تأثیرات تغییر اقلیم انجام گیرد و راه کارهای مناسبی در راستای مقابله با سیل های مخرب و یا کاهش خسارت های ناشی از آنها ارائه شود. همچنین با توجه به اینکه اثر تغییر اقلیم در مناطق مختلف می تواند متفاوت باشد، بنابراین نتیجه ای که در یک منطقه با شرایط خاص به دست می آید، نمی توان به منطقه ای دیگر تعمیم داد. بنابراین، به منظور مقایسه نتایج این پژوهش با تحقیقات انجام شده باید تحقیقاتی که در این منطقه یا مناطق اطراف با شرایط مشابه انجام شده است، ارزیابی شود.

منابع

- [1]. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007 Summary for policy makers. In: IPCC. Climate change: The physical Science basic, Contribution of working group first to the Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge university press. 2007; 450 p.
- [2]. Alizade A, Sayyari N, Hesami-Kermani MR, Banayan Avval, M, Farid Hosseini E, Assessment of effects of climate change on water resources and agriculture water using, Water and Soil Journal, 2010; (24): 815-835.
- [3]. Zeinivand H., and De Smedt F, Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment transport at watershed scale, World Environmental & Water Resources Congress (EWRI), 2009; 17-21 May, Kansas City, USA.
- [4]. Zehabion B, Goodarzi MR, Massah A. Application of SWAT model for estimating runoff in future periods affected by climate change, Journal of Climatology. 2010; third and fourth number, 43-58 [Persian].
- [5]. Minville M, Brissette F, Leconte R. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed, Journal of Hydrology, 2008; 358 (1-2): 70– 83.
- [6]. Abdo KS, Fiseha BM, Rientjes T, Gieske ASM, and Haile AT., Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana Basin, Ethiopia. Hydrological Processes. 2009; 23 (26): 3661-3669.
- [7]. Kamal A, Massah Bavani A, Gudarzi M. Assessment of Hydrological impacts of climate change on Qareh Soo sub-basin, 2nd National Congress on Dam Construction, Islamic Azad University of Zanjan, Zanjan, 2010; Iran, 10 pp. [Persian].
- [8]. Liu X, Coulibaly P. Downscaling ensemble weather predictions for improved week-2 hydrologic forecasting. Journal of Hydrometeorology. 2011; (12): 1564-1580.
- [9]. Laleh Siyah M, Fatahi E, Mahsafar H. The impact of climate change on river basin runoff Karum, the first national conference of the desert. 2012; 15 p [Persian].
- [10]. Silberstein R, Aryal D, Jacqueline P, Mark B, Michael C, Stephen B, Lidia H, Geoffrey B, Michele VN, McFarlane D. Climate change and runoff in south-western Australia. Journal of Hydrology. 2012; 475: 441-455
- [11]. Hamidiyan M, Soltani J, Ghandehari GH. Assess the impact of climate change on runoff chatchment Bar and Taghan Nishapur times the output of general circulation models (HadCM3). The first National Conference on Water and meteorology Iran, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. 2013; 11 p. [Persian].
- [12]. Bavay M, Grünewald T, Lehning M. Response of snow cover and runoff to climate change in high Alpine catchments of Eastern Switzerland. Adv. Water Resources. 2013; (55): 4-16.
- [13]. Ashofteh PS, Bozorg Hadad O. Provide probabilistic approach to evaluate the effects of climate change on runoff. Journal of Water Resources, the sixth year. 2013; 66-51 [Persian].
- [14]. Lei H, Yang D, Huang M. Impacts of climate change and vegetation dynamics on runoff in the mountainous region of the Haihe River basin in the past five decades. Journal of Hydrology, 2014; (511): 786-79.
- [15]. Sohrabiyan E, Meftah M, Ghorbani KH, Goliyan S, Zakeriniya M. The effect of climate change on hydrology model with the involvement of discharge areas (Case Study: Galikesh Area in Golestan Province). Journal of Soil and Water Conservation, the second number. 2014 ; 111 125. [Persian].
- [16]. Hosseini SH, Ghorbani MA, Massah A. Rainfall-runoff modeling in the field of climate change in order to predict future trends Sofi Chay. Journal of Watershed Management. 2015; Issue 11. [Persian].
- [17]. Godarzi M, Salahi B, Hosseini SA. The effect of climate change on surface runoff changes (Case Study: Oroomeyeh). Ecohydrology. 2015; (2): 175-189. [Persian].
- [18]. Zeinivand H., and De Smedt F, Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment transport at watershed scale, World Environmental & Water Resources Congress (EWRI), 2009; 17-21 May, Kansas City, USA.
- [19]. Semenov, MA, Brooks RJ, BarrowEM, Richardson CW, Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diver's climates, Climate Research, 1998; (10): 95-107.
- [20]. Wang Z, Batelaan O, De Smedt F. "A distributed model for Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere". Journal of Physical Chemistry Earth, 1996; 21:189-193.

- [21]. Liu YB., De Smet F, WetSpa of Manual, 2004; 1-126.
- [22]. Liu YB, De Smedt F, WetSpa Extension, A GIS-based hydrologic model for flood prediction and watershed management and erosion and sediment transport simulation, Documentation and User Manual. 2004; 155 PP.
- [23]. Talebmorad H, The effects of climate change on surface and underground water resources comprehensive hydrological model HydroGeoSphere in Hamedan-Bahar plain, Master Thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology. 2011
- [24]. Bahreman A, Simulating the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modeling and GIS. PhD thesis of Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije universiteit Brussel, Brussels, Belgium. 2006; 150
- [25]. Nurmohamed R, Naipal S, De Smedt F, Hydrologic modeling of the upper suriname river basin using WetSpa and Arcview GIS, Journal of Spatial Hydrology, 2006; 6 (1): 1-17.
- [26]. Zeinivand H., and De Smedt F, Prediction of snowmelt floods with a distributed hydrological model using a physical snow mass and energy balance approach, Natural Hazards Journal, 2010; 54 (2): 451-468.
- [27]. Safari A, De Smedt F, Moreda F, WetSpa model application in the distributed model intercomparison project (DMIP2). Journal of Hydrology. 2012; (418): 78-89.

Archive of SID