

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بابلرود

نگارنده:

تکتم ایمانی

اساتید راهنما

دکتر مهدی دل‌قندی

دکتر صمد امام‌قلی زاده

استاد مشاور

دکتر زهرا گنجی نوروزی

بهمن ۱۳۹۹

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که هر لحظه وجودم را از چشمه سار پر از عشق چشمانشان

سیراب می کنند....

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب و دانش را به من عطا فرمود تا بتوانم این مقطع تحصیلی را به پایان رسانده و گامی در راستای اعتلای علم بردارم.

از استاتید راهنمای گرانقدرم **جناب آقای دکتر دلقندی و جناب آقای**

دکتر امامقلی زاده و استاد مشاور بزرگوارم **خانم دکتر گنجی نوروزی**

که وجودشان همیشه قوتی برای انجام کارهایم بوده است و بدون شک انجام این پایان نامه بدون کمک و راهنمایی های ارزنده آنها امکان پذیر نبوده است، کمال تشکر را دارم.

تعهدنامه

اینجانب **تکتم ایمانی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه «**بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بابلرود**» تحت راهنمایی جناب آقای **دکتر دلقدی و دکتر امامقلی زاده** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

تغییرات اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسانی منجر به تأثیر معناداری بر میانگین دمای جهانی، سطح دریا و بارندگی شدید و غیره شده است. تغییرات احتمالی خصوصیات رواناب به دلیل تغییرات اقلیم یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های حال حاضر در برنامه ریزی طولانی مدت حفاظت از منابع آب و حفاظت از سیلاب است. از این رو بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار است. از سوی دیگر، عدم قطعیت قابل توجهی در تجزیه و تحلیل تأثیرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های منابع آبی و هیدرولوژیکی وجود دارد. بنابراین، در این تحقیق تأثیرات تغییر اقلیم بر خصوصیات رواناب حوضه آبریز بابلرود مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، ۲۲ مدل AOGCM و دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌های (GHG) (RCP4.5 و RCP8.5) برای تعیین سناریوهای تغییر اقلیم انتخاب شد. ΔP که تفاوت بین بارش بلند مدت سی ساله دوره‌های آتی (۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۵۰-۲۰۲۱) و دوره گذشته است در مقیاس ماهانه برای هر مدل AOGCM و هر سناریوی انتشار محاسبه گردید. سپس ΔP برای سه سطح احتمالاتی (۰/۷۵، ۰/۵۰، ۰/۲۵ و ۰/۹۰) از تابع توزیع تجمعی (CDF) استخراج گردید. با استفاده از بارش روزانه اندازه گیری شده در دوره‌ی گذشته (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و روش عامل تغییر، سری زمانی بارش روزانه تحت سه سطح احتمالاتی برای دوره‌ی آتی تولید گردید. در مرحله بعد، دبی طراحی برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال برای دوره‌ی گذشته و دوره‌های آتی محاسبه شد. به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر خصوصیات رواناب، مدل بارش-رواناب WMS استفاده گردید. مدل WMS به ترتیب با ۳ و ۲ رخداد بارش واسنجی و اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد که مدل بارش-رواناب انتخابی می‌تواند با دقت مناسبی دبی اوج و حجم رواناب را شبیه‌سازی نماید. همچنین مشخص گردید که در دوره‌های آتی، در ماه‌های سرد سال افزایش بارش و در ماه‌های گرم سال کاهش بارش را شاهد خواهیم بود. به طور کلی می‌توان گفت در شرایط تغییر

اقلیم (در هر سناریوی انتشار) مقدار دبی و حجم سیلاب برای باران طرح با دوره بازگشت‌های مختلف افزایش خواهد یافت.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، حوضه آبخیز بابلرود، رواناب، ریزمقیاس نمائی، مدل‌های AOGCM،

مدل WMS/HEC-1

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	۱
مقدمه	۱
ضرورت انجام تحقیق	۴
هدف از انجام تحقیق	۴
ساختار پایان	۴
فصل دوم	۷
کلیات و مرور بر منابع	۷
موارد پایه و مفهومی تغییر اقلیم	۸
مفهوم تغییر اقلیم	۸
سناریوهای اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه ای	۸
سناریو های غیر اقلیمی	۹
سناریوهای اقلیمی	۱۱
ریز مقیاس نمایی	۱۳
عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم	۱۳
مدلهای بارش رواناب	۱۴
قابلیت ها، مزیت ها و کاربرد مدل	۱۵
مروری بر منابع	۱۶
مروری بر منابع داخلی	۱۶
مروری بر منابع خارجی	۲۰
فصل سوم	۲۵
مواد و روشها	۲۵
منطقه مورد مطالعه	۲۶
موقعیت جغرافیایی	۲۶
داده های بارندگی و دبی	۲۸
شرح مدل WMS	۲۹

۲۹	خلاصه ای از نحوه کار با مدل
۳۰	تعیین CN (curve number)
۳۲	واسنجی مدل WMS
۳۴	اعتبار سنجی مدل WMS
۳۶	باران طرح
۳۶	محاسبه تداوم بارش طرح
۳۷	تعیین مقدار بارش طرح ۲۴ ساعته برای دوره بازگشت‌های مختلف
۳۸	نحوه توزیع باران طرح
۳۸	تولید سناریوهای اقلیمی بارش برای دوره آتی
۴۵	فصل چهارم
۴۶	تهیه ی نقشه های مورد نیاز محیط مدل WMS
۴۹	تعیین CN و درصد غیر قابل نفوذ
۴۹	نتایج واسنجی مدل WMS
۵۳	نتایج اعتبارسنجی مدل WMS
۵۶	نتایج تولید سناریوهای تغییر اقلیم
۵۶	تعیین مقادیر ΔP
۵۹	تعیین مقادیر ΔP به صورت احتمالاتی
۶۰	نتایج تغییرات ΔP در سطوح مختلف احتمالاتی
۶۱	تغییرات ΔP در ماه های مختلف
۶۱	تغییرات ΔP در دو سناریو RCP4.۵ و RCP8.۵ و دو دوره آتی
۶۲	ریزمقیاس کردن و تولید سناریوهای روزانه تغییر اقلیم
۶۲	نتایج باران طرح
۷۳	فصل پنجم
۷۳	نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات
۷۷	پیشنهادهات
۷۸	منابع
۸۶	Abstrac

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۲) میزان انتشار گاز CO ₂ در چهار سناریوی انتشار RCP	۱۱
شکل (۱-۳) منطقه مورد مطالعه	۲۷
شکل (۲-۳) نمودار جریان انجام تحقیق	۴۳
شکل (۱-۴) نمایی از مدل رقومی ارتفاع (DEM)	۴۷
شکل (۲-۴) شبکه آبراهه ها	۴۸
شکل (۳-۴) نمایی از مرز حوضه	۴۸
شکل (۴-۴) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده برای رگبار شماره ۱ در مرحله واسنجی	۵۰
شکل (۵-۴) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده برای رگبار شماره ۲ در مرحله واسنجی	۵۰
شکل (۶-۴) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده برای رگبار شماره ۳ در مرحله واسنجی	۵۱
شکل (۷-۴) نمودار برازش خط یک به یک	۵۳
شکل (۸-۴) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده برای رگبار شماره ۴ در مرحله اعتبار سنجی	۵۴
شکل (۹-۴) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده برای رگبار شماره ۵ در مرحله اعتبار سنجی	۵۴
شکل (۱۰-۴) نمودار ΔP برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP4.5 (دوره آتی اول)	۵۷
شکل (۱۱-۴) نمودار ΔP برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP4.5 (دوره آتی دوم)	۵۷
شکل (۱۲-۴) نمودار ΔP برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP8.5 (دوره آتی اول)	۵۸
شکل (۱۳-۴) نمودار ΔP برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP8.5 (دوره آتی دوم)	۵۸
شکل (۱۴-۴) میانگین ΔP سطح احتمال ۵۰/۵۰ (برای دو سناریو انتشاری و دو دوره آتی)	۶۱
شکل (۱۵-۴) هیدروگراف نتایج بارش طرح برای دوره گذشته (۱۹۸۹-۲۰۱۸) با دوره بازگشت ۵۰ ساله	۶۴
شکل (۱۶-۴) درصد تغییرات دبی طرح در سناریو RCP4.5 دوره آتی اول نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف	۶۷
شکل (۱۷-۴) درصد تغییرات دبی طرح در سناریو RCP8.5 دوره آتی اول نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف	۶۷
شکل (۱۸-۴) درصد تغییرات دبی طرح در سناریو RCP4.5 دوره آتی دوم نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف	۶۸
شکل (۱۹-۴) درصد تغییرات دبی طرح در سناریو RCP8.5 دوره آتی دوم نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف	۶۸
شکل (۲۰-۴) درصد تغییرات حجم طرح در سناریو RCP4.5 دوره آتی اول نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف	۶۹
شکل (۲۱-۴) درصد تغییرات حجم طرح در سناریو RCP8.5 دوره آتی اول نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف	۶۹
شکل (۲۲-۴) درصد تغییرات حجم طرح در سناریو RCP4.5 دوره آتی دوم نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف	۷۰
شکل (۲۳-۴) درصد تغییرات حجم طرح در سناریو RCP8.5 دوره آتی دوم نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف	۷۰

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۱-۳) مقادیر بارندگی (میلیمتر) در ایستگاه تبخیرسنجی وزارت نیرو فیروزجاه (۱۳۸۲-۱۳۹۶).....	۲۸
جدول (۲-۳) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق.....	۲۸
جدول (۳-۳) مقدار CN برای پوشش‌های سطحی با توجه به نفوذپذیری خاک.....	۳۱
جدول (۵-۳) مشخصات بارش استفاده شده در ارزیابی مدل.....	۳۴
جدول (۶-۳) مشخصات مدل‌های AOGCM منتخب.....	۳۹
جدول (۱-۴) مقادیر بهینه شده نتایج اجرای واسنجی پارامترهای مدل WMS.....	۴۹
جدول (۲-۴) مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی رویدادها در مرحله واسنجی.....	۵۰
جدول (۳-۴) مقادیر شاخص های کارایی مدل در مرحله واسنجی مدل WMS.....	۵۲
جدول (۴-۴) مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی رویدادها در مرحله اعتبار سنجی.....	۵۳
جدول (۵-۴) مقادیر شاخص های کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی مدل WMS.....	۵۵
جدول (۶-۴) استخراج ΔP در سه سطح احتمالاتی، تحت دو سناریوی انتشار در دوره های آتی (MM/D).....	۶۰
جدول (۷-۴) مقادیر باران طرح با دوره بازگشت‌های مختلف در هر کدام از سناریوهای تغییر اقلیم و دوره گذشته.....	۶۳
جدول (۸-۴) مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب برای باران طرح در دوره گذشته (۱۹۸۹-۲۰۱۸) و در دوره بازگشت های مختلف.....	۶۴
جدول (۹-۴) درصد تغییرات سیلاب طرح در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته (سطح احتمال ۰/۵).....	۶۵
جدول (۱۰-۴) درصد تغییرات سیلاب طرح در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته (سطح احتمال ۰/۷۵).....	۶۵
جدول (۱۱-۴) درصد تغییرات سیلاب طرح در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته (سطح احتمال ۰/۹۰).....	۶۶

فصل اول

مقدمه

مقدمه

ر شد صنایع و کارخانه‌ها از یک طرف و جنگل زدائی و محیط زیست از طرف دیگر باعث افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین طی دهه‌های اخیر شده است. مهم ترین اثر این پدیده افزایش درجه حرارت اتمسفر کره زمین بوده که در نوشته‌های علمی از آن به عنوان گرم شدن سراسری نام می‌برند. تأثیر این افزایش تنها بر میزان درجه حرارت اتمسفر زمین نبوده و دیگر متغیرهای اقلیمی را نیز تحت تأثیر خود قرار داده که در نهایت منجر به شکل‌گیری پدیده تغییر اقلیم گردیده است (دل‌قندی، ۱۳۹۱).

تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی که در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ بدهد (مالمیر، ۱۳۹۳). حساسیت اقلیم معیاری از پاسخ اقلیم به عوامل به وجود آورنده تغییر اقلیم است که به عنوان مقدار متوسط گرم شدن جهانی اتمسفر زمین در اثر افزایش دو برابری غلظت CO_2 تعریف می‌شود در حساسیت اقلیم کره‌ی زمین، عدم قطعیت بالایی دیده می‌شود به طوریکه در حال حاضر حساسیت اقلیم بین ۲ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد پیش بینی شده است و عنوان گردیده است که بهترین تخمین برای حساسیت اقلیم ۳ درجه سانتی‌گراد است و احتمال اینکه کمتر از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد باشد بسیار اندک است (هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷).

پدیده‌ی تغییر اقلیم به دلیل ابعاد علمی و کاربردی آن (اثرات محیطی و اقتصادی-اجتماعی) از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی، (مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن) بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم، طراحی شده و عمل می‌نماید (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۸).

این پدیده با ایجاد خشکسالی و تأثیر بر میزان شدت و تداوم آن، موجب کاهش پوشش گیاهی و به تبع آن تأثیر بر پاسخ‌های هیدرولوژیک در سطح حوضه‌ی آبخیز می‌گردد (گواردیولا و همکاران، ۲۰۱۱).

¹ Intergovernmental Panel Of Climate Change

² Guardiola

با توجه به آشکار شدن تغییرات اقلیمی در اکثر مناطق دنیا و اثرات آن بر بخش های مختلف چرخه آب، آگاهی از وضعیت منابع آب به منظور مدیریت صحیح منابع و برنامه ریزی برای آینده ضروری است. سورفلیت و تولوس (۲۰۱۳) گزارش دادند، افزایش دمای هوا در اثر تغییر اقلیم، موجب تغییر رژیم بارشی از برف به سمت باران، تغییر مقدار و شدت رواناب، نسبت برف به باران و میزان آب ذخیره شده در توده برف خواهد شد و میزان بارش روی برف، در ارتفاعات میانی و پست کوهستان کاهش و در مناطق مرتفع افزایش می یابد که در نهایت بر دبی اوج جریان روزانه تأثیر گذار خواهد بود.

از آنجایی که تغییر اقلیم موجب تغییراتی در میزان دما و بارش می شود دبی رودخانه ها را تحت تأثیر خود قرار می دهد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). شناخت عوامل و میزان این تغییر پذیری، در پیش بینی ها و برنامه ریزی های دقیق محیطی و اقتصادی نقش قابل ملاحظه ای دارد. به عنوان مثال، در ایجاد شرایط مذکور شناخت عوامل مؤثر می تواند در پیش بینی دوره های پر باران، کم باران و برنامه ریزی های دقیق محیطی و اقتصادی نقش قابل ملاحظه ای داشته باشد (یاراحمدی و عزیزی، ۱۳۸۶). اعمال سیاست های جدید برای طراحی پروژه های آبی می تواند باعث پیش بینی بهتر دبی سیلاب و در نتیجه کاهش آثار تخریبی آن باشد (هو سینگ و والیس، ۱۹۹۳). به عبارت دیگر بر سی تغییرات دبی سیلاب رودخانه در اثر پتانسیل تغییرات اقلیمی در آینده، بینش ارزشمندی می دهد که چگونه رواناب حوضه به این تغییرات واکنش نشان می دهد و مدیران را در اولویت بندی عوامل مؤثر بر روند سیل خیزی حوضه به منظور برنامه ریزی جهت کنترل سیلاب یاری می کند (حسام هروی و همکاران، ۱۳۹۹).

¹ Surfleet and tullos

² Hosking and Wallis

ضرورت انجام تحقیق

حوضه بابلرود یکی از حوضه‌های مهم شمال کشور می‌باشد که تاکنون مطالعه‌ای در زمینه اثر سناریوهای جدید تغییر اقلیم بر دبی این رودخانه صورت نگرفته است. لذا با توجه به وجود مراکز کشاورزی، صنعتی و جمعیت روستایی و شهری اطراف رودخانه لازم است که تأثیر تغییر اقلیم بر دبی رودخانه مورد بررسی قرار گیرد تا به کمک آن متخصصان مدیریت منابع آب بتوانند برنامه‌ریزی مناسب‌تری را برای سال‌های آتی ارائه نمایند. و تمهیدات لازم برای مقابله و یا سازگاری با شرایط جدید را اتخاذ نمایند.

هدف از انجام تحقیق

این تحقیق با هدف تعیین اثرات سناریوهای جدید تغییر اقلیم بر دبی رودخانه بابلرود صورت پذیرفت. از اهداف این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- ۱- تولید سناریوهای بارش برای دوره‌های آتی (تحت تأثیر تغییر اقلیم)
- ۲- ارزیابی مدل بارش-رواناب WMS برای حوضه مورد مطالعه
- ۳- تعیین دبی رودخانه تحت سناریوهای تغییر اقلیم با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار.

ساختار پایان نامه

در فصل اول پایان نامه، مقدمه، ضرورت انجام تحقیق، هدف از انجام تحقیق ذکر شده است. در فصل دوم ابتدا کلیاتی درباره پدیده تغییر اقلیم و در انتها به مرور تحقیقات پیشین در زمینه مورد تحقیق اشاره شده است. در فصل سوم روش انجام تحقیق، کلیاتی درباره منطقه مورد مطالعاتی، معرفی روش‌ها و نرم افزار مورد استفاده شده و در فصل چهارم نتایج و بحث مربوط به داده‌های خروجی نرم افزار در تعیین دبی

رودخانه ارائه گردیده است. در آخر، فصل پنجم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهاداتی در رابطه با موضوع تحقیق پرداخته شده است.

فصل دوم

کلیات و مرور بر منابع

موارد پایه و مفهومی تغییر اقلیم

مفهوم تغییر اقلیم^۱

اقلیم کره زمین از چهار جزء شامل اتمسفر، کریوسفر، بیوسفر و هیدروسفر تشکیل شده است که در ادامه به شرح مختصری از آن‌ها پرداخته می‌شود. اتمسفر در بر گیرنده‌ی هوای اطراف کره زمین می‌باشد که از گازهای مختلفی پر شده است. در میان این گازها، گازهای گلخانه‌ای و در رأس آن‌ها گاز دی اکسید کربن تأثیر عمده‌ای بر دمای اتمسفر دارد، به گونه‌ای که عمدتاً عبور نورخورشید که با طول موج کوتاه بوده از این گازها عبور نموده و به زمین می‌رسند و پس از گرم شدن زمین، امواج مادون قرمز که دارای طول موج بلندی می‌باشند از سطح زمین ساطع شده و با این گازها برخورد می‌کنند. این گازها امواج با طول موج بلند (مادون قرمز) را جذب کرده و باعث گرم شدن اتمسفر می‌شوند. گرم شدن کره‌ی زمین نیز خود بر وضعیت اجزاء دیگر سیستم اقلیم تأثیر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم را موجب می‌گردد (بادآو همکاران، ۲۰۰۱).

سناریوهای اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای

هرگونه تغییر در میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین، باعث برهم خوردن تعادل بین اجزاء سیستم اقلیم کره زمین می‌گردد. اما اینکه در آینده چه مقدار از این گازها به وسیله جوامع بشری وارد اتمسفر زمین شده و به تبع آن چه وضعیتی برای سیستم اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست، لذا بصورت کاملاً غیر قطعی و تحت سناریوهای مختلفی ارائه شده است (دلقندی، ۱۳۹۱). این سناریوها در دو بخش مجزای سناریوهای غیر اقلیمی (انتشار) و سناریوهای اقلیمی قابل تفکیک هستند که در ادامه شرح مختصری از آنها ارائه می‌شود.

^۱ Climate Change

^۲ Baede

سناریو های غیر اقلیمی^۱

از عوامل اصلی افزایش گازهای گلخانه‌ای، فعالیت‌های اقتصادی جوامع و متعاقب آن رشد صنایع و کارخانه‌ها و تغییرات کاربری اراضی می‌باشند. انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده به روند توسعه اقتصادی، اجتماعی، رشد تکنولوژی و جمعیت جهان بستگی دارد به این سناریوها که در واقع بیانگر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده هستند، سناریوی انتشار^۲ اطلاق می‌شود. هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC) که در سال ۱۹۸۸ به وسیله سازمان هواشناسی (WMO) و برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNEP) تأسیس شد، وظیفه شناخت تمام جنبه‌های پدیده تغییر اقلیم را عهده‌دار است. IPCC در گزارش پنجم خود در سال ۲۰۱۰، سناریوهای جدید تحت عنوان^۳ RCP را براساس میزان واداشت تابشی ارائه کرد. این سناریوها معرف مسیرهای جدیدی از سیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها می‌باشند که شامل چهار سناریو RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 هستند و تقریباً RCPهای 4.5، 6.0، 8.5 با سناریوهای قدیمی B1، A1B و A2 مطابقت دارند (مارنگو^۴ و همکاران، ۲۰۱۴؛ خارین^۵ و همکاران، ۲۰۱۳). IPCC در سال ۲۰۰۱ گزارش ویژه‌ای که حدود چهار زیر سناریوی مختلف SRES که در برگیرنده طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت انسان در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق می‌بود را تدوین کرد. هر کدام از این زیر سناریوها مربوط به یکی از گروه‌های A1، A2، B1 و B2 می‌باشد. سناریوی RCP2.6، توسط سیستم مدلسازی IMAGE از مؤسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است.

¹ Non-Climatic Scenario

² emission scenario

³ Representative Concentration Pathway

⁴ Mareng

⁵ Kharin

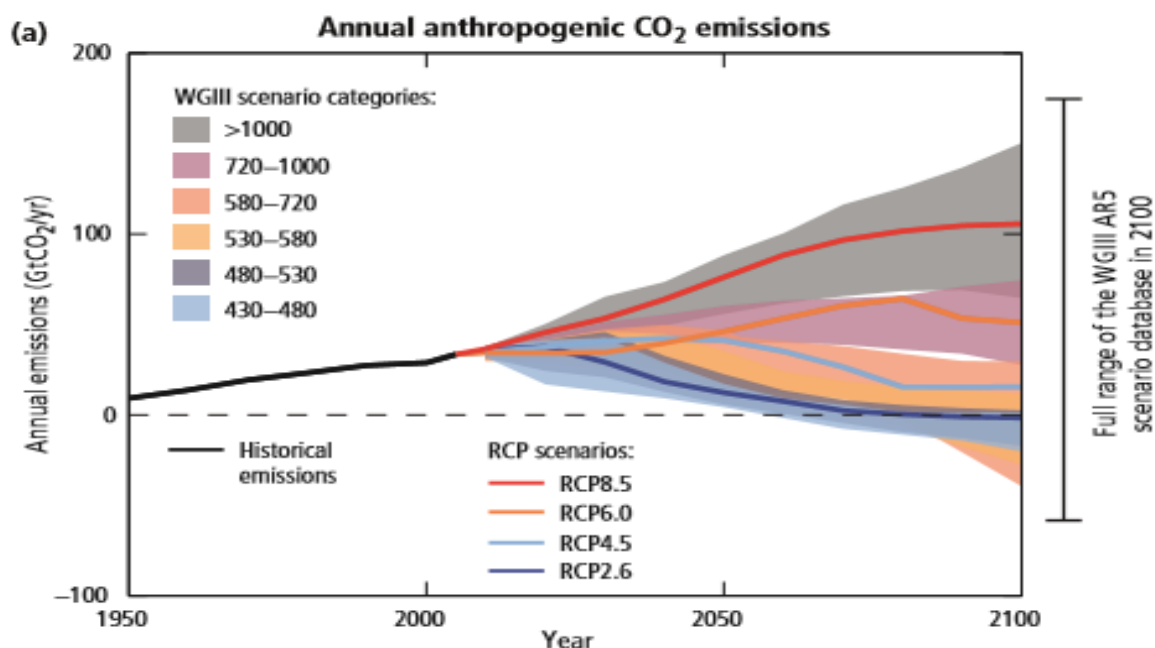
مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته و در سال ۲۱۰۰ به ۲/۶ وات بر متر مربع می‌رسد.

سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM و مؤسسه‌ی JGCRI در شمال غرب اقیانوس آرام طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع ثابت می‌ماند.

در سناریوهای RCP6.0، RCP4.5 و RCP2.6 با کاهش واداشت‌های تابشی، میزان افزایش دی اکسید کربن نیز کاهش می‌یابد. سناریو انتشار RCP6.0 توسط گروه مدل‌سازی AIM در مؤسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند.

سناریوی RCP8.5 توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و مؤسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در مؤسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد. این سناریو دربرگیرنده بیشترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است، که بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، پیش خواهد رفت. به طوریکه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این سناریو میزان غلظت دی اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰، به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت (ژانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۶؛ کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). شکل (۲-۱) وضعیت چهار سناریو RCP از نظر میزان انتشار CO2 تا سال ۲۱۰۰ را نشان می‌دهد.

¹ Zhang et al



شکل (۱-۲) میزان انتشار گاز CO2 در چهار سناریوی انتشار RCP

سناریوهای اقلیمی^۱

با توجه به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن افزایش میانگین دمای سطح کره زمین در دوره‌های آتی، چگونگی تغییرات متغیرهای اقلیمی در مقیاس‌های منطقه‌ای بطور صریح مشخص نمی‌باشد. لذا به دلیل مشکل بودن پیش‌بینی وضعیت اقلیم منطقه‌ای تحت پدیده تغییر اقلیم، راه جایگزین، مشخص کردن وضعیت‌های ممکن اقلیم آینده بوده که "سناریوی اقلیمی" نامیده می‌شود (کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم،^۲ ۱۹۹۹).

در حال حاضر معتبرترین و پیشرفته‌ترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی و شبیه‌سازی سیستم اقلیم جهانی، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس - اتمسفر گردش عمومی جو^۳ که بعد از این AOGCM

^۱ Climatic Scenario

^۲ Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (IPCC-TGCI)

^۳ Atmosphere- Ocean General Circulation Model

اطلاق می‌گردد، می‌باشد (ویلیبی و هریس، ۲۰۰۶).

مدل‌های AOGCM بر اساس روابط ریاضی در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل می‌گردند. به منظور شبیه سازی اقلیم کره زمین فرایندهای اصلی اقلیمی (اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین، یخ پوخته و زیست کره) در مدل‌های فرعی جداگانه شبیه‌سازی می‌شوند. سپس تمام مدل‌های فرعی مربوط به اتمسفر و اقیانوس با یکدیگر جفت شده و مدل‌های گردش عمومی اقیانوس- اتمسفر (AOGCM) را تشکیل می‌دهند (کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۱۹۹۹).

شبیه سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته و آینده توسط مدل‌های AOGCM

به منظور بررسی وضعیت گذشته اقلیم کره زمین، مقادیر مشاهداتی گازهای گلخانه‌ای، نوسانات تابش خورشیدی و ذرات معلق ناشی از فواران‌های آتشفشانی تا سال ۲۰۰۰، بعنوان ورودی به مدل‌های AOGCM ارائه شده و در این دوره متغیرهای اقلیمی بصورت سری زمانی شبیه‌سازی می‌گردند. سپس به منظور شبیه‌سازی وضعیت این متغیرها در دوره‌های آتی، نیاز به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی برای این مدل‌ها می‌باشد بدین منظور ابتدا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده در سناریوهای انتشار (که معمولاً تا سال ۲۱۰۰ می‌باشند) توسط مدل‌های دیگر به غلظت و نهایتاً به میزان نیروی تابشی تبدیل شده و این مقادیر به عنوان ورودی برای مدل‌های AOGCM ارائه می‌شوند. نتایج ناشی از شبیه‌سازی مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای انتشار، سری زمانی متغیرهای اقلیمی را تا سال ۲۱۰۰ ارائه می‌دهد (دلقندی، ۱۳۹۱).

¹ Wilby and Harris

ریز مقیاس نمایی^۱

در مطالعات ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای یکی از مشکلات اصلی در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM، بزرگ بودن مقیاس مکانی سلول محاسباتی آن‌ها، نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به عبارتی، مدل، شرایط توپوگرافی، پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرد، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده مورد بحث کاملاً متفاوت باشد. بنابراین خروجی مدل‌های AOGCM بایستی با توجه به شرایط منطقه ریزمقیاس گردند تا قابلیت استفاده در مقیاس کوچک را داشته باشند. روش‌های متداول ریزمقیاس کردن عبارتند از: روش تناسبی^۲، روش درونیابی اطلاعات سلول‌های مجاور^۳، روش‌های آماری^۴ و روش دینامیکی^۵ که با استفاده از روش‌های مختلف ریزمقیاس کردن می‌توان تغییرات اقلیمی در آینده را مورد بررسی قرارداد (مساح بوانی، ۱۳۸۵).

عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم

در مطالعات تغییر اقلیم عدم قطعیت^۶ هنگامی مطرح می‌شود که از چندین مدل اقلیم یا مدل اثر^۷ استفاده گردد و یا در استفاده از این مدل‌ها فرضیه‌ها (مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای) و روش‌های مختلفی به کار گرفته شود. بنابراین در بررسی اثرات تغییر اقلیم لازم است که عدم قطعیت‌های موجود در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر، در ارزیابی تغییر اقلیم، منابع متعددی از عدم قطعیت‌ها وجود دارد، که نادیده گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم باعث می‌شود تا از میزان قطعیت خروجی

¹ Downscaling

² Proportional Downscaling

³ Interpolating Neighbor Cells Information

⁴ Statistical Downscaling

⁵ Dynamic Downscaling

⁶ Uncertainty

⁷ impact model

نهائی سیستم کاسته شود. لذا در این مطالعات، لازم است ابتدا منابع عدم قطعیت در مباحث تغییر اقلیم شناخته شود و سپس به تجزیه و تحلیل آن در سیستم مورد مطالعه پرداخته شود. مهمترین منابع عدم قطعیت در مباحث تغییر اقلیم عبارتند از سناریوهای انتشارگازهای گلخانه‌ای، شبیه‌سازی مدل‌های AOGCM، روش‌های مختلف کوچک مقیاس کردن خروجی مدل‌های AOGCM و استفاده از مدل‌های اثر (مانند مدل‌های مختلف بارش-رواناب). اما در نظر گرفتن همه منابع عدم قطعیت در مطالعات مربوط به اثرات تغییر اقلیم به سادگی امکان‌پذیر نیست. از طرفی مطالعاتی که در زمینه تأثیرات تغییر اقلیم صورت گرفته است، بیانگر اهمیت بیشتر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (لوبل^۱، ۲۰۰۶؛ روییز راموس و مینگوئز^۲، ۲۰۱۰؛ حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵؛ حسینی‌خواه و همکاران، ۱۳۹۳؛ دلقندی، ۱۳۹۱؛ آشفته و مساح‌بوانی، ۱۳۹۱). بنابراین در این تحقیق با توجه به اهمیت عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، محدوده‌های عدم قطعیت مربوط به این دو مورد در محاسبات مربوطه اعمال گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

مدل‌های بارش رواناب

با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در منطقه نیمه خشک کره زمین و نیز با وجود محدودیت منابع آب در عصر حاضر، لزوم مدیریت و برنامه‌ریزی جهت استفاده بهینه از منابع آب بدیهی به نظر می‌رسد. در زمینه مهندسی رودخانه بدون اطلاع از دبی جریان، این برنامه‌ریزی امکان‌پذیر نمی‌باشد. به این دلیل کارشناسان و متخصصان منابع آب همواره به دنبال روابطی بین مقادیر بارندگی و رواناب حاصل از آن در حوضه‌های آبریز و در شرایط مختلف زمانی و مکانی بودند. هم‌اکنون جهت پیش‌بینی سیلاب، مدل‌های بارش - رواناب فراوانی با قابلیت‌ها و پیچیدگی‌های متفاوت به کار برده می‌شوند.

¹ Lobell

² Ruiz-Ramos and Mínguez

WMS از جمله مدل‌های جدیدی است که برای مهندسين آب توسعه پیدا کرده است. هدف این سیستم، ایجاد مدل‌های هیدرولوژیکی دقیق حوضه آبریز می‌باشد (نلسون^۱ و همکاران ، ۱۹۹۴). WMS در اصل، جهت بدست آوردن مقادیر پارامترهای ورودی برای مدل‌های قدیمی از قبیل HEC-1 و TR20 از داده‌های GIS، گسترش یافته است (جولین^۲ و همکاران، ۱۹۹۵). به منظور شبیه‌سازی رواناب و دبی حوضه قرآن تالار، مدل WMS مورد استفاده قرار گرفت. سیستم مدلسازی حوضه آبریز در واقع همان مدل WMS از محصولات جدید در زمینه مدیریت جامع حوضه آبریز بوده که با همکاری دانشگاه برینگهام و گروه هیدرولوژی مهندسين ارتش آمریکا در سال ۲۰۰۴ طراحی شده است.

قابلیت‌ها، مزیت‌ها و کاربرد مدل

برخی از قابلیت‌های مدل WMS عبارتند از:

- ۱- تهیه TIN و DEM و اصلاح آن‌ها
- ۲- استفاده از نقشه‌های raster و CAD به عنوان background Image برای بررسی صحت داده‌های رقومی و نتایج آنالیزها
- ۳- استخراج آبراهه‌ها و نمایش مسیر جریان
- ۴- حوضه‌بندی بر مبنای مدل رقومی و آبراهه‌های استخراج شده
- ۵- حوضه‌بندی به صورت conceptual بر مبنای مدل رقومی TIN با داشتن مسیر آبراهه‌ها و مرز تقریبی حوضه
- ۶- برآورد ضریب رواناب و شماره منحنی نفوذ توسط لایه‌های GIS
- ۷- محاسبه زمان تمرکز بر اساس روابط متنوع از جمله کریپچ و کربای

¹ Nelson et al

² Julien et al

۸- استفاده از مدل‌های HEC-HMS، HEC-1، TR55، Rational برای برآورد رواناب

۹- قابلیت اتصال به نرم‌افزارهای HEC-HMS، HEC-RAC، ArcGIS برای انجام آنالیزهای هیدرولوژیکی (اکبرپور و همکاران، ۱۳۸۴).

شاید مهم‌ترین مزیت این مدل، امکان بهره گرفتن از مزایای GIS است. WMS با وجود این که یک سیستم کامل اطلاعات جغرافیایی را در بر نمی‌گیرد، ولی می‌تواند مستقل و بدون نرم افزارهای واسط عمل نماید که از مزیت‌های مدل WMS نسبت به سایر مدل‌های مشابه می‌باشد. علاوه بر این WMS با بسیاری از ساختارهای متفاوت نگه‌داری داده در سیستم اطلاعات جغرافیایی سازگار است و می‌تواند اطلاعات مکانی مورد نیاز خود را با ساختار و فرمت‌های تعریف شده آن‌ها دریافت نماید. این نرم افزار به طور کلی برای تمامی مطالعات مربوط به حوضه‌های آبریز، پهنه‌بندی سیلاب و مدلسازیهای هیدرولوژیکی و هیدرولیک حوضه آبریز مفید و بسیار کاربردی می‌باشد.

مروری بر منابع

مروری بر منابع داخلی

مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴)، اثرات پدیده تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان را با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 تحت دو سناریوی انتشار B2 و A2 در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان‌دهنده کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت در هردو دوره به خصوص در دوره دوم می‌باشد که سناریوی A2 شرایط بحرانی‌تری را نشان می‌دهد. هم چنین، با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی دبی ورودی به سد چادگان را شبیه‌سازی کردند که نتایج این بررسی افت جریان ورودی به سد بود.

رزاقیان و همکاران (۱۳۹۵)، به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز بابلرود پرداختند. ایشان با استفاده از خروجی مدل Hadcm3 و مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG تحت سناریوهای A2، B1 و A1B برای دوره‌های زمانی اول (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و دوم (۲۰۸۰-۲۰۹۹) رواناب حوضه را شبیه سازی نمودند. برای این منظور، مدل بارش- رواناب IHACRES استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد تحت شرایط تغییر اقلیم میانگین رواناب ماهانه ۱۵ تا ۱۸/۵ درصد کاهش خواهد یافت.

حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه رودخانه کر پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های دما و بارش ماهانه مربوط به مدل HadCMC طی دوره پایه (۱۹۷۲-۲۰۰۱) و آتی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) تحت سناریو انتشار A2 و مدل بارش- رواناب IHACRES رواناب حوضه را شبیه سازی نمودند. نتایج مدل IHACRES نشان داد که تحت شرایط تغییر اقلیم رواناب سالانه آتی حدود ۹ درصد نسبت به دوره مشاهداتی تحت سناریو A2 کاهش می‌یابد.

حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از مدل HadCM3 و روش ریز مقیاس نمایی آماری SDSM به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بارو طلاغان نیشابور تحت دو سناریو A2 و B2 پرداختند که نتایج نشان از افزایش دما، کاهش بارندگی و رواناب در حوضه داشت.

آشفته و بزرگ حداد (۱۳۹۲)، در پژوهشی به ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب حوضه آیدوغموش با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG تحت سناریو A2 مدل Hadcm3 و مدل بارش-رواناب IHACRES پرداختند. نتایج نشان می‌دهند که متوسط رواناب سالانه بلند مدت در سه دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه، کاهش می‌یابد.

سهرابی‌ان و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه تحت سه سناریو A2، A1B و B1 با دخالت مدل هیدرولوژیکی در حوضه گالیکش استان گلستان پرداختند. نتایج مدل IHACRES

نشان داد که رواناب در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه سناریو به ترتیب میزان ۴/۴۳، ۶/۳۷، ۷/۹۴ متر مکعب بر ثانیه کاهش پیدا کرده که نشان از تاثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه، در دوره آتی دارد. مالمیر و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قره سو با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل Hadcm3 و شبکه عصبی پویا، تحت دو سناریو اقلیمی A2 و B2 پرداختند. نتایج مدل اقلیمی، نشان دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی در دوره مورد نظر نسبت به دوره پایه می‌باشد. عجم زاده و ملائی نیا (۱۳۹۵)، به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس پرداختند. آن‌ها به منظور ریز مقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو از نرم افزار های LARS-WG و SDSM استفاده کرده‌اند. نتایج بیانگر کاهش رواناب در ماه‌های آوریل، می، جون و اکتبر و افزایش در سایر ماه‌ها می‌باشد.

آشفته و مساح بوانی (۱۳۹۱) به بررسی اثرات عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه قرنقو پرداختند. در این پژوهش از مقادیر دما و بارش ماهانه هفت مدل AOGCM تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B2 برای دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ و دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که در دوره آتی برای سناریوی A2، دمای حوضه بین ۰/۲ تا ۳ و برای B2 بین ۰/۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین محدوده تغییرات بارش برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و سناریوی A2، بین ۹۳ درصد کاهش تا ۱۳۹ درصد افزایش و برای B2 بین ۶۱ درصد کاهش تا ۱۵۷ درصد افزایش پیش‌بینی شده است. نتایج حاکی از وزن بالای مدل HadCM3 در شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش بوده و نتایج شبیه‌سازی رواناب با استفاده از IHACRES نشان می‌دهد که متوسط رواناب سالانه در دوره آتی افزایش و ضریب تغییرات دبی کاهش خواهد یافت.

یعقوبی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز گاوهرود بین سال‌های (۲۰۹۹-۲۰۱۶) تحت سناریو A2 و استفاده از نرم افزار ریزمقیاس نمایی SDSM پرداختند. برای شبیه

سازی بارش -رواناب در آینده تحت تأثیر اقلیم از نرم افزار HYMOD استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده کاهش میانگین رواناب دورره پیش‌بینی شده نسبت به دوره‌های مشاهداتی به میزان ۵ تا ۲۳ درصد می‌باشند.

کریمی و عارف (۱۳۹۷)، به پیش‌بینی رواناب حوضه آبخیز خوانسار هرات تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی مشکان پرداختند. در این تحقیق برای شرایط تغییر اقلیم آینده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM و داده‌های Hadcm3 تحت سناریو A2 استفاده شد. شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و پیش‌بینی رواناب حوضه در دوره ۳۰ ساله ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از نرم افزار WMS و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS انجام شد. نتایج به دست آمده بیانگر افزایش ۶ درصدی بارندگی در دوره پیش‌بینی نسبت به دوره گذشته بوده و همچنین میزان رواناب حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه، ۹ درصد کاهش پیدا کرده است.

قبادیان و همکاران (۱۳۹۱)، به پیش‌بینی سیلاب حاصل از بارش حوضه آبریز قره سو با استفاده از نرم افزار WMS، مدل HEC-HMS پرداختند. در این پژوهش برای کالیبره کردن مدل از سه رگبار مشاهده ای به همراه سه سیل همزمان در خروجی هر زیر حوضه استفاده کردند. براساس دو هیدرو گراف مشاهده‌ای، مدل واسنجی و با استفاده از هیدروگراف دیگر، مورد ارزیابی واقع شد. نتایج نشان از برازش مناسب دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف شبیه‌سازی شده دارد.

گودرزی و همکاران (۱۳۹۷)، به ارزیابی عملکرد مدل IHCREs جهت شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه درطول دوره آماری پایه جهت بررسی تغییرات اقلیمی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در سه مقیاس روزانه، ماهانه، سالانه پرداختند. بدین منظور ۱۰ شاخص مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف نشان داد که مدل IHACRES در شبیه‌سازی جریان‌های روزانه و ماهانه دقت قابل قبولی را دارد. مقایسه بین جریان روزانه و ماهانه نیز نشان داد که نتایج شبیه‌سازی جریان ماهانه نسبت به

جریان روزانه قابل قبول تر است. با توجه به بررسی مقادیر جریان سالانه، مدل IHACRES مقادیر جریان سالانه را نسبت به مقادیر روزانه و ماهانه ضعیف شبیه‌سازی نموده و دارای دقت کمی است.

پورکاظمی و همکاران (۱۳۸۷)، مدل WMS/HEC-HMS را در حوزه آبریز کامه ارزیابی و واسنجی کردند. جهت کالیبره کردن از چهار رگبار مشاهده‌ای به همراه چهار سیل همزمان در خروجی حوزه استفاده کردند. براساس سه هیدروگراف مشاهده‌ای مدل واسنجی و با هیدروگراف دیگر مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان از برازش مناسب دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده دارد و در رسیدن به دبی اوج اختلاف زمانی نیز مساوی یا کمتر از نیم ساعت برآورد گردید.

نوری و همکاران (۱۳۹۱)، به پیش‌بینی سیلاب حوضه آبریز قروه با استفاده از مدل WMS و HEC-HMS پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد مدل بارش رواناب WMS ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز می‌باشند.

گنجی خرم دل و همکاران (۱۳۹۲)، به برآورد دبی پیک حوضه آبریز رودخانه سراب دوره با استفاده از مدل WMS پرداختند. آن‌ها با اسفاده از مدل WMS و با توجه به هیدروگراف خروجی حوضه، ضریب CN معادل ۶۵، ۷۰، ۷۵ را محاسبه و نظر به پوشش گیاهی حوضه، ضریب $CN=65$ را برای دبی طراحی ۶۷ مترمکعب بر ثانیه برای سیلاب انتخاب نمودند.

مروری بر منابع خارجی

ستگن^۱ و همکاران (۲۰۱۱)، تغییرات پیش‌بینی شده بارش و دمای ماهانه را با استفاده از ۱۵ مدل گردش

^۱ Setegn

عمومی بررسی نمودند و در مرحله بعد با استفاده از مدل SWAT به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر حوضه دریاچه تانا در اتیوپی به تعیین اثرات تغییرات دما و بارش روزانه بر تغییرات جریان و سایر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی پرداختند. نتایج آن‌ها تحت سناریو انتشار A2 در چهار مدل از نه مدل گردش عمومی بیانگر کاهش معنی‌دار جریان سالانه در دوره (۲۱۰۰-۲۰۸۰) بود.

مندیزابل^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر رخداد سیل و اثرات آن بر انسان در حوضه رودخانه دبا پرداختند. در این پژوهش از مدل هیدرولوژیکی MIKESHE-MIKE11 و از چهار مدل RCM استفاده شد. نتایج نشان از افزایش دبی بیشینه با دوره بازگشت ۴۰ سال برای ۳ مدل بین 14 ± 9 و 15 ± 8 درصد در دوره ۲۰۴۰-۲۰۰۱ داشت و افزایش آن برای دو مدل در دوره ۲۰۸۰-۲۰۴۱ بین 8 ± 12 و 10 ± 19 درصد پیش‌بینی شد. همچنین، مناطق سیل خیز و شدت خطرات آن افزایش خواهد یافت.

کلانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۲)، به بررسی تغییرات رواناب در حوضه دانوب با استفاده از ۲۱ مدل RCM تحت سناریوهای تغییر اقلیم A1B و مدل بارش رواناب HBV پرداختند. در این پژوهش همه مدل‌ها یک افزایش ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را تا پایان قرن ۲۱ نشان داده‌اند. همچنین اثر مدل‌ها کاهش ۵ تا ۳۰ درجه‌ای رواناب و افزایش بارش را برای سال‌های آتی پیش‌بینی کرده‌اند.

هانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۶)، در حوضه رود وی با استفاده از فرضیه‌های Budy ko و روش SVM سهم نسبی تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسان را بر تغییرات رواناب مشخص کرده‌اند. نتایج به دست آمده نشان دادند که رواناب تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی کاهش بیشتری دارد.

استیل^۴ و همکاران (۲۰۰۸)، نیز تأثیر تغییر اقلیم را بر هیدرولوژی جریان رودخانه برای نه حوضه در کشور ایرلند با استفاده از مدل گردش عمومی ECHAM5 و سناریو انتشار A1B، بررسی کردند در این پژوهش

¹ Mendizabal

² Kling

³ Huang

⁴ Steele

از مدل مفهومی بارش رواناب HBV-light برای تولید جریان رودخانه در دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۰۰ و دوره آینده ۲۰۲۱-۲۰۶۰ استفاده گردیده در مرحله اول داده‌های بارش و دما از مدل ECHAM5 استخراج شده و در مرحله بعد با اسفاده از روش ریز مقیاس کردن مکانی تناسبی، ریز مقیاس شده و به مدل بارش رواناب معرف گردید و به این نتیجه رسیدند که بارش زمستانه و تابستانه به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد و میزان دبی تحت تأثیر تغییر اقلیم تغییر خواهد کرد.

هریچه^۱ و همکاران (۲۰۰۷)، که اثر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه‌های آبریز کشور لبنان را با استفاده از مدل بارش رواناب MEDOR و مدل‌های اقلیمی مورد بررسی قرار دادند، عنوان نمودند، که حداکثر دبی جریان به ازای افزایش دو درجه‌ای دمای محیط، ۱۵ روز تا ۱ ماه زودتر رخ می‌دهد.

کادین بویرو^۲ و همکاران (۲۰۱۰)، به منظور شبیه‌سازی دبی‌های رودخانه با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی و سه مدل گردش عمومی تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 به بررسی تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه لاورنس واقع در کانادا تحت تأثیر تغییر اقلیم پرداختند. با توجه به پیش‌بینی شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی ناشی از خروجی هر سه مدل، دبی در زمستان و بهار به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد.

گامیندوگا^۳ و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از مدل HEC-HMS و داده‌های سنجش از دور به شبیه‌سازی رواناب در ۱۰ زیر حوضه در آفریقا پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که می‌توان از این مدل هیدرولوژیکی با کمک داده‌های سنجش از دور در حوضه‌های پیچیده برای شبیه‌سازی رواناب استفاده کرد. سو^۴ و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از مدل VIC تحت سه سناریو انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و بر اساس خروجی‌های ۲۰ مدل گردش عمومی جو تأثیر تغییر اقلیم بر روی شش حوضه در فلات تبت را برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی رواناب بررسی کردند که نتایج بیانگر افزایش ۲ تا ۴ درصدی

¹ Hreiche

² Boyer

³ Gumindoga

⁴ Su

دما در حوضه‌های شمالی و ۱/۲ تا ۲/۸ درصدی در مناطق جنوبی و همچنین افزایش بارش در آینده نزدیک و دور به ترتیب ۵ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ درصد است. نتایج شبیه‌سازی رواناب، نشان از افزایش ۲/۷ تا ۲۲/۴ درصدی در حجم رواناب سالانه منطقه را در دوره آتی دارد.

زو^۱ و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از دو روش به بررسی میزان تأثیر تغییر اقلیم و فعالیت‌های بشری بر کمیت رواناب حوضه رود Huaihe پرداختند. نتایج نشان داد فعالیت‌های بشری تأثیر کم‌تری نسبت به تغییر اقلیم در کاهش رواناب دارند.

الصافی^۲ و ساروکالیگ (۲۰۲۰)، به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه حوضه هاروی در استرالیا تحت شرایط تغییرات آب‌وهوایی پرداختند. سپس جریان رودخانه با استفاده سناریوهای RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 بررسی شد. نتایج نشان داد، جریان سالانه تحت هر سه سناریو تا نیمه قرن کاهش خواهد یافت و این کاهش در سناریو RCP4.5 بیشتر خواهد بود و در سناریوهای مختلف این کاهش جریان در انتهای قرن شدت می‌یابد، به طوری که تا نیمه قرن و انتهای قرن به ترتیب ۱۷-۲۷ درصد و ۲۳-۵۲ درصد جریان سالانه رودخانه کاهش خواهد یافت.

¹ Zhu

² Al-Safi and Sarukkalige

فصل سوم

مواد و روش‌ها

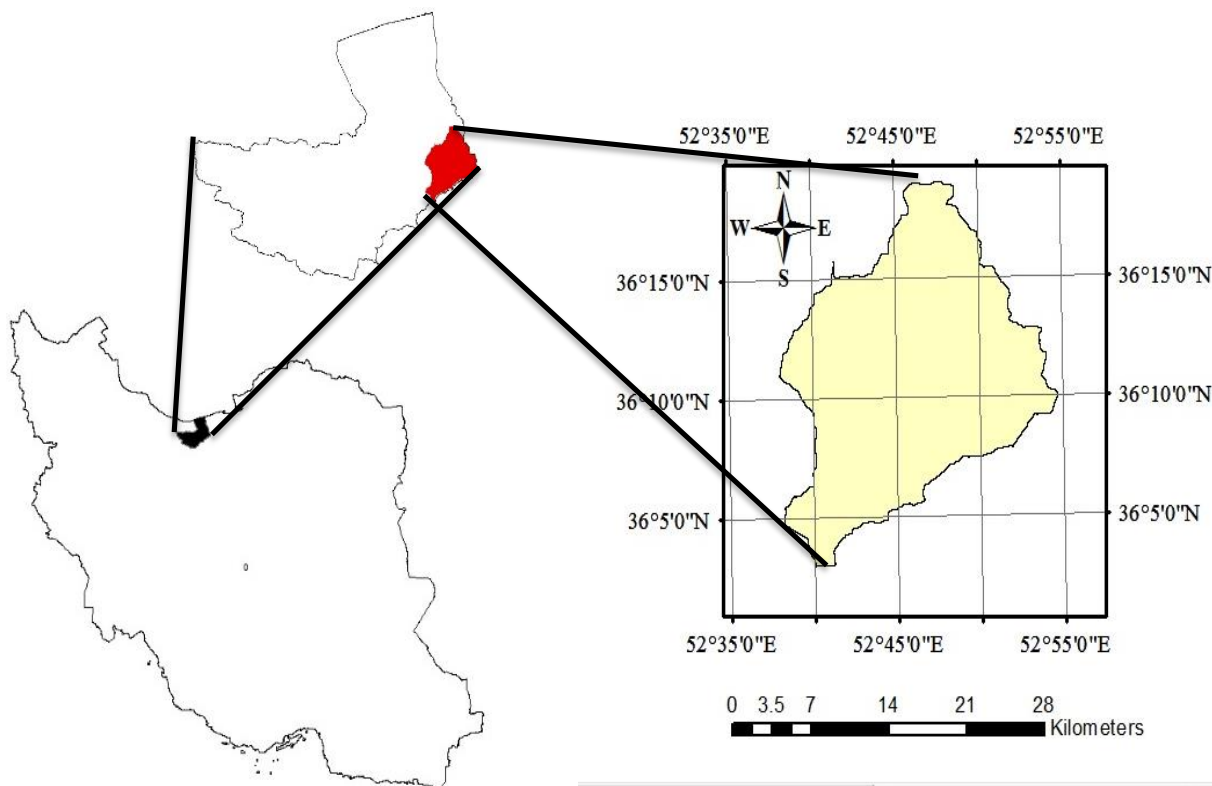
مقدمه

در این فصل، ابتدا منطقه مورد مطالعه بررسی و ویژگی‌های آن ارائه می‌شوند. سپس نحوه آماده‌سازی داده‌های ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری و داده‌های GCM مورد نیاز توضیح داده می‌شود. در نهایت روش تحقیق و مراحل کار استفاده شده، به صورت خلاصه شرح داده می‌شوند.

منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی

حوضه آبریز بابلرود با مساحت ۱۱۲۹/۸۸ کیلومتر مربع شبیه مخروطی است که قاعده آن در ارتفاعات ۲۸۵۰ متری جنوب بابل و رأس آن در دره-رودخانه بابلرود واقع است. بابلرود از دامنه‌های شمالی کوه‌های البرز سرچشمه گرفته و در محله دهکلان از بهم پیوستن چندین رودخانه به نام‌های آذر، کرسنگ، ازرود و اسکیم به وجود می‌آید. به طرف پایین دست و در محله سیاه‌کلا محله (جنوب غرب بابل) نیز رودخانه‌های بولک، کلارود و آبندان به بابلرود می‌پیوندند و از میان شهر بابل می‌گذرند. بابلرود در بخش کوهستانی به صورت دره-رودخانه با شیب قابل ملاحظه جریان دارد، ولی به محض ورود به پهنه ساحلی خزر (قران‌کلا و امیرکلا) شیب زمین به سرعت کاهش یافته و رودخانه به دلیل شیب اندک به صورت پيچان‌رود به جریان خود ادامه می‌دهد. طول بابلرود ۸۰ کیلومتر و میانگین عرض آن قریب به ۸۰ متر و درازای آن در پهنه ساحلی خزر در حدود ۴۰ کیلومتر است (کیاء، ۱۳۹۱). موقعیت حوضه آبریز رودخانه بابلرود و حوضه مورد مطالعه در شکل (۱-۳) ارائه شده است



شکل (۳-۱) منطقه مورد مطالعه

بر روی رودخانه بابلرود ایستگاه‌های هیدرومتری مختلفی از جمله قران تالار، کشتارگاه، میاندشت، پاشاکلا، سماءگوش و گاوزن محله وجود دارد. منطقه مورد مطالعه، شاخه‌ی ابتدایی بابلرود است. حوضه‌ی آبخیز قران تالار، به عنوان یکی از زیرحوضه‌های آبخیز بابلرود است که در ارتفاعات منطقه مرکزی سلسله جبال البرز، در استان مازندران واقع شده است. مساحت این حوضه $401/55$ کیلومتر مربع است. حوضه از نظر مختصات جغرافیایی بین 52° درجه و $38'$ دقیقه تا 52° درجه و $55'$ دقیقه طول شرقی و 36° درجه و $2'$ دقیقه تا 36° درجه و $18'$ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. علت انتخاب این حوضه، به بکر بودن منطقه از لحاظ شرایط آب و هوایی و دستکاری کمتر منطقه مربوطه می‌گردد. هر تغییری که در این منطقه رخ دهد، بر کل آب موجود در بابلرود تأثیرگذار خواهد بود، بنابراین، حوضه‌ی مورد مطالعه دارای اهمیت خاصی است ایستگاه هیدرومتری قران تالار که در طول جغرافیایی $52^\circ 46'$ و عرض جغرافیایی $36^\circ 18'$

قرار دارد و در سال ۱۳۲۸ تأسیس شده است از سطح دریا ۱۱۵ متر می باشد. بر اساس روش دمارتن، منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای مرطوب می باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳). متوسط بارش سالانه در ایستگاه تبخیرسنجی فیروز جاه در یک دوره ی آماری ۱۵ ساله (۱۳۸۲-۱۳۹۶) ۹۵۹/۸۹۲ میلیمتر می باشد. متوسط ماهانه ۱۵ سال آمار بارش در ایستگاه تبخیرسنجی وزارت نیرو فیروز جاه در جدول (۱-۳) ارائه شده است.

جدول (۱-۳) مقادیر بارندگی (میلی متر) در ایستگاه تبخیرسنجی وزارت نیرو فیروز جاه (۱۳۸۲-۱۳۹۶)

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	پارامتر
۱۱۲/۳	۹۸/۷۷	۸۲/۴	۵۴/۴	۷۳/۵	۷۶/۶	۷۴/۸	۶۷/۸	۶۷/۵	۸۳/۷	۵۷/۶	۱۱۰/۴	متوسط بارش(mm)

داده های بارندگی و دبی

در مطالعات تغییر اقلیم در ابتدا لازم است تا داده های دوره پایه مشخص شوند. به منظور انجام این تحقیق، داده های پایه مورد استفاده شامل داده های مشاهداتی بارش و رواناب به صورت روزانه با مراجعه به شرکت آب منطقه ای استان مازندران اخذ گردید. آمار به دست آمده مربوط به سال های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۶ بود که به دلیل نقص آمار و یا هم دوره نبودن آمار بارش و رواناب، سال ۱۳۹۰-۱۳۹۵ در نظر گرفته شد و از آمار ایستگاه های هیدرومتری قران تالار و ایستگاه تبخیر سنجی وزارت نیرو فیروز جاه به ترتیب برای تغییرات رواناب و متغیر بارش استفاده شد که مشخصات ایستگاه های مورد استفاده در جدول (۲-۳) قابل مشاهده است.

جدول (۲-۳) مشخصات ایستگاه های مورد استفاده در تحقیق

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	سال تأسیس
فیروز جاه	تبخیرسنجی	۵۲°۳۹'	۳۶°۱۱'	۷۸۷	۱۳۸۲
قران تالار	هیدرومتری	۵۲°۴۶'	۳۶°۱۸'	۱۰۲	۱۳۲۸

شرح مدل WMS

خلاصه‌ای از نحوه کار با مدل

در ابتدا DEM حوضه که توسط نرم‌افزار Global Mapper ساخته شده بود به مدل وارد گردید. سپس سیستم تصویر لایه ارتفاعی مشخص شد و سیستم اندازه‌گیری متریک قرار گردید. جهت ترسیم شبکه آبراهه‌ها، ابتدا به ماژول map رفته و برای coverage گزینه drainage قرار داده و سپس ماژول drainage فعال گردید و مرحله زیر انجام می‌گردد.

Drainage Module → Dem / Compute Topaz Flow Data

در صورت وجود گسیختگی در آبراهه‌ها و عدم اتصال آن‌ها به یکدیگر مدل ارتفاعی رقومی باید اصلاح گردد. مرحله بعد، مرحله ترسیم مرز حوضه آبریز است برای رسم حوضه اصلی به ماژول drainage رفته و به کمک ابزار outlet در انتهای رودخانه اصلی خروجی تعیین و مراحل زیر به ترتیب انجام می‌گردد.

۱) Dem / Dem → Stream Arc

۲) Dem / Define Basin

۳) Dem / Basin → Polygon

۴) Dem / Compute Basin Data

با انتخاب منوی display / display option مشخصات فیزیوگرافیک حوضه از جمله شیب و مساحت و طول آبراهه‌ها قابل مشاهده می‌گردد.

از مدل‌های بارش-رواناب موجود در مدل WMS، مدل HEC-1 مستقلاً در داخل خود مدل قابلیت اجرا دارد ولی مدل بارش-رواناب HEC-HMS موجود در مدل WMS تنها قابلیت نمایش خروجی‌های مدل HEC-HMS را دارا می‌باشد. بنابراین در این تحقیق برای شبیه‌سازی رواناب از مدل HEC-1 موجود در مدل WMS استفاده گردید.

تعیین^۱ CN

شماره منحنی خاک (CN) بیانگر پتانسیل ایجاد رواناب است. مقدار CN بین صفر تا ۱۰۰ متغیر می‌باشد به گونه‌ای که در مقدار صفر روانابی به وجود نخواهد آمد و برای مقدار ۱۰۰، همه بارش‌ها به رواناب تبدیل خواهد شد. برای محاسبه میزان تلفات بارش با استفاده از روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، CN طبق جداولی که از سوی این سازمان ارائه شده، معین می‌گردد. مقادیر CN در ابتدا براساس نوع پوشش گیاهی و یا کاربری اراضی منطقه از نقشه‌هایی که به عنوان نقشه‌های کاربری اراضی موجود می‌باشند، استخراج می‌گردد. سپس با توجه به نوع گروه هیدرولوژیکی خاک که بسته به میزان سرعت نفوذ آب در خاک متغیر است، به کمک جدول (۳-۳)، CN منطقه تعیین می‌گردد.

مقادیر شماره منحنی خاک برای کاربری اراضی مختلف و گروه‌های خاک طبق جدول (۳-۳) می‌باشد (صفوی، ۱۳۸۸).

^۱ curve number

جدول (۳-۳) مقدار CN برای پوشش‌های سطحی با توجه به نفوذپذیری خاک

گروه هیدرولوژیک خاک				کاربری اراضی
D	C	B	A	
۹۱	۸۸	۸۱	۷۲	۱- اراضی کشاورزی:
۸۱	۷۸	۷۱	۶۲	- بدون استفاده از روش‌های آبخیزداری
				- با استفاده از روش‌های آبخیزداری
۸۹	۸۶	۷۹	۶۸	۲- مراتع و چمنزارها:
۸۰	۷۴	۶۱	۳۹	- با تراکم ضعیف (پوشش گیاهی کمتر از ۵۰ درصد)
۷۸	۷۱	۵۸	۳۰	- با تراکم خوب (پوشش گیاهی بیشتر از ۷۵ درصد)
				۳- علفزارها با پوشش گیاهی بیشتر از ۷۵ درصد
۸۳	۷۷	۶۶	۴۵	۴- اراضی جنگلی:
۷۷	۷۰	۵۵	۲۵	- تراکم درختان کم، پوشش گیاهی ضعیف و فاقد مالچ
				- تراکم درختان زیاد، پوشش گیاهی خوب و فرق چرای دام
۸۰	۷۴	۶۱	۳۹	۵- فضای باز، باغچه‌ها، پارک‌ها، زمین‌های بازی گلف، گورستان‌ها و ...:
۸۴	۷۹	۶۹	۴۹	- دارای پوشش گیاهی بیش از ۷۵ درصد
۹۵	۹۴	۹۲	۸۹	- دارای پوشش گیاهی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد
۹۳	۹۱	۸۸	۸۱	۶- نواحی تجاری و اداری که ۸۵ درصد سطوح نفوذناپذیر است
				۷- نواحی صنعتی که ۷۲ درصد سطوح نفوذناپذیر است
				۸- نواحی مسکونی ^(۱)
				اندازه متوسط قطعات
				میانگین درصد سطوح نفوذناپذیر ^(۱)
				(%)
۹۲	۹۰	۸۵	۷۷	(m ^۲)
۸۷	۸۳	۷۵	۶۱	مسواوی یا کمتر از ۵۰۰
۸۶	۸۱	۷۲	۵۷	۱۰۰۰
۸۵	۸۰	۷۰	۵۴	۱۵۰۰
۸۴	۷۹	۶۸	۵۱	۲۰۰۰
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۴۰۰۰
				۹- سطوح روکش‌شده پارکینگ‌ها، بام‌ها، سواره‌روها ^(۱) و ...
				۱۰- خیابان‌ها و معابر:
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	- روکش‌شده دارای جدول و جوی برای جمع‌آوری آب‌های سطحی
۹۱	۸۹	۸۵	۷۶	- شن‌ریزی شده یا روکش‌شده با جوی‌های خاکی در حاشیه آن
۸۹	۸۷	۸۲	۷۲	- خاکی، روکش‌نشده

برای تعیین گروه‌های هیدرولوژیک خاک، بر اساس نوع خاک و طبق جدول شماره (۳-۴) که از سوی

حفاظت خاک آمریکا امکان پذیر می‌باشد (چاو، ۱۳۸۸).

جدول (۳-۴) تعیین گروه خاک بر اساس نوع خاک با توجه به گزارش اداره خدمات حفاظت خاک آمریکا

گروه خاک	نوع خاک
A	سیلت ریز دانه، ماسه عمیق، لوس عمیق
B	لوس کم عمق، لوم ماسه‌ای
C	لوم‌های رسی، لوم ماسه‌ای کم عمق، خاک‌های دارای مواد آلی ناچیز، خاک‌هایی که معمولاً رس زیاد دارند
D	خاک‌هایی که با رطوبت به نحو چشمگیری متورم می‌شوند، رس خمیری سنگین و بعضی خاک‌های شور

معمولاً گروه هیدرولوژیکی A خاک، مربوط به سواحل دریا و رودخانه‌ها بوده که بافت سبک و شنی دارند. گروه D نیز مربوط به بیابان‌های کویری با خاک‌های رسی و یا مناطق با عمق بسیار کم خاک و پوشش سخت و سنگلاخی و شیب زیاد مثلاً نقاط مرتفع کوه‌ها می‌باشد. بنابراین باید توجه داشت که اکثر مناطق زراعی، جنگل‌ها، مراتع و دشت‌ها جزء گروه‌های B و C هیدرولوژیک خاک می‌باشند. در اکثر مناطقی که مورد بررسی قرار می‌گیرد به ویژه مناطق وسیع‌تر، به دلیل وسعت کم گروه‌های A و D هیدرولوژیک خاک معمولاً از آن‌ها صرف‌نظر می‌گردد (چاو، ۱۳۸۸).

لازم به ذکر است که در این مرحله هدف تخمین مناسبی از CN برای انجام شبیه‌سازی حوضه توسط مدل می‌باشد که مراحل واسنجی با دقت بیشتری انجام پذیرد و گرنه در هر حال، پارامتر CN یکی از پارامترهای واسنجی مدل WMS می‌باشد. در این مدل برای محاسبه تلفات بارش از روش (SCS) و برای محاسبه هیدروگراف رواناب از هیدروگراف واحد شنايدر استفاده شد.

واسنجی مدل WMS

واسنجی فرآیندی است که طی آن مقادیر پارامترهای معرفی شده به مدل با هدف دسترسی به نتایج همگون با داده‌های واقعی و طبیعی تصحیح می‌شوند (عصاره، ۱۳۸۵؛ موسوی ندوشنی، ۱۳۸۴). واسنجی

یکی از بخش‌های اصلی ارزیابی عملکرد مدل است. هدف از واسنجی یک مدل بارش-رواناب، تعیین برخی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز به منظور تعمیم آن در موقعیت‌های دیگر می‌باشد.

در این مطالعه با بررسی بارش‌های روزانه و ساعتی در یک بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ (که داده‌های هیدرومتر موجود بودند) مشخص گردید، اکثر رخداد‌های بارش روزانه و ساعتی با هم تناسبی نداشته لذا تعداد محدودی رخداد بارش که بارش روزانه و ساعتی آن با هم همخوانی داشتند انتخاب گردید. با این وجود برای همین تعداد رخداد بارش بعضاً دبی سیلاب اندازه‌گیری نشده بود بنابراین با بررسی همه‌ی رخداد‌های بارش ۵ واقعه بارش انتخاب گردید که بارش روزانه و ساعتی آن تا حدودی همخوانی داشته باشد و برای آن‌ها دبی سیلاب متناسب نیز ثبت شده باشد سعی گردید به این طریق خطای ناشی از اندازه‌گیری داده‌ها به حداقل برسد با بررسی انجام شده ۵ رخداد بارش که شرایط فوق‌الذکر را دارا بودند برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفتند که ۳ واقعه برای واسنجی و ۲ مورد هم برای برای ارزیابی مدل انتخاب گردید. مشخصات این رخداد‌های بارش در جدول (۳-۵) ارائه شده است. پارامترهای مورد واسنجی مدل عبارتند از شماره منحنی (CN)، درصد غیرقابل نفوذ، TP و CP می‌باشد. زمان تأخیر حوضه (TP) برابر است با متوسط زمانی که تمام نقاط حوضه در هیدروگراف خروجی مشارکت می‌نمایند. به لحاظ کمی زمان تأخیر حوضه برابر است با فاصله زمانی بین مرکز بارش (نقطه میانی بارش) و زمانی که دبی به نقطه پیک خود می‌رسد و CP ضریب مربوطه به مساحت حوضه می‌باشد. بعد از پایان مرحله شبیه‌سازی، با استفاده از شاخص‌های آماری مشخصات هیدروگراف محاسبه شده با هیدروگراف مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار می‌گیرد چنانچه برازش مناسب باشد، مقادیر پارامترهای تعیین شده مورد قبول واقع می‌شود در غیر این صورت عملیات واسنجی پارامترها تکرار می‌گردد.

جدول (۳-۵) مشخصات بارش استفاده شده در ارزیابی مدل				
مرحله	بارش	تاریخ رخداد	مقدار بارش (میلی متر)	مدت بارش (ساعت)
واسنجی	۱	۹۰/۸/۱۵	۴۳/۸	۱۴/۵
	۲	۹۴/۱۲/۱۰	۴۴/۲	۲۸/۵
	۳	۹۴/۱۲/۲۶	۱۱/۴	۱۷/۵
اعتبار سنجی	۴	۹۴/۱۱/۱۴	۱۰/۶	۸/۵
	۵	۹۵/۱/۲۹	۲۱/۲	۱۰

اعتبار سنجی مدل WMS

ارزیابی مدل با پارامترهایی که از طریق واسنجی اصلاح شده‌اند را اعتبارسنجی گویند. اگر مدلی، شبیه سازی خوبی در مرحله اعتبارسنجی داشته باشد، قادر خواهد بود که رخدادهای آینده را به خوبی پیش‌بینی کند (کیا، ۱۳۹۳). در فرایند ارزیابی می‌بایست مدل را با پارامترهای بهینه حاصل از مرحله واسنجی برای سری جدیدی از داده‌ها اجرا نمود.

مقدار درصد متوسط خطای پیش‌بینی از معادله (۳-۱) تعیین می‌شود.

$$Er = |(1 - \lambda)| \times 100 \quad (۳-۱)$$

شاخص Er نشان دهنده روند کلی مقدار خطا می‌باشد. لیکن بایستی در نظر داشت که این شاخص زمانی می‌تواند گویای مقدار واقعی خطا باشد که مقدار ضریب R^2 و خط برازش یافته ضعیف نباشد.

در این تحقیق علاوه بر آماره Er از آماره‌های راندمان مدل (EFF)، میانگین ریشه دوم خطا ($RMSE$)، $RMSE$ نرمال شده ($NRMSE$)، ضریب باقیمانده (CRM) و ضریب ناش - ساتکلیف (NSE) برای واسنجی و ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت که در ادامه روابط مربوط به این آماره‌ها آورده شده است.

$$EFF = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^m (Q_{oi} - Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^m (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2}\right) \times 100 \quad (۳-۲)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ci} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_{oi})^2} \quad (3-3)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (3-4)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (3-5)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (3-6)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ci} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n Q_{oi}} \times 100 \quad (3-7)$$

که در این فرمول‌ها O_i مقادیر مشاهداتی، P_i مقادیر شبیه‌سازی شده، $\bar{O}$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده و n تعداد سال‌های آماری مورد مطالعه است. ناش - ساتکلیف یک ضریب بی بعد است که می‌تواند مقداری بین $-\infty$ تا یک باشد و مقدار یک در این شاخص، نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است. اگر NSE بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد، عملکرد مدل خوب، اگر NSE بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ باشد عملکرد مدل رضایتبخش، و اگر NSE کوچک‌تر از ۰/۳۶ باشد، عملکرد مدل نامطلوب ارزیابی می‌شود (باگینسکا^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). RMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد مدل در مقایسه با داده‌های مشاهداتی چقدر است. حداقل مقدار RMSE صفر است که نشان‌دهنده ی کارایی عالی و یا خوب مدل در شبیه‌سازی متغیر مورد بررسی می‌باشد. RMSE همچنین می‌تواند با تقسیم شدن به

¹ Baginska

مقدار میانگین داده‌های مشاهداتی به عنوان RMSE نرمال شده (NRMSE) که ضریبی بدون بعد است تعریف می‌شود. شاخص CRM نشانگر تمایل مدل برای برآورد بیش از حد یا کمتر از حد در مقایسه با مقادیر مشاهداتی است. چنانچه تمام مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی با هم برابر شوند، مقدار عددی آماره‌های RMSE، CRM و NRMSE برابر صفر می‌شود (مریو،^۱ ۲۰۰۹؛ ماتارا،^۲ ۲۰۱۷). BIAS خطای کل در حجم جریان (mm/yr) بوده، مقادیر مثبت و منفی این ضریب نشان دهنده بیشتر یا کمتر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است (کروک،^۳ ۲۰۰۵).

باران طرح

باران طرح^۴ از نظر تئوری به دوره‌ای از یک بارندگی شدید همراه با باد گفته می‌شود که بتواند ارتفاع مشخصی از نظر مقدار بارش و شدت بارش تولید نماید و برای سازه آبی خطرناک باشد (علیزاده، ۱۳۸۹). مقدار باران طرح بسته به دوره بازگشت متفاوت می‌باشد. هرچه دوره بازگشت باران طرح را بیشتر در نظر بگیریم مقدار باران طرح نیز افزایش می‌یابد. انتخاب دوره بازگشت باران طرح، بسته به اهمیت سازه دارد.

محاسبه تداوم بارش طرح

در ایستگاه‌های هواشناسی معمولاً بارندگی‌ها در هر شبانه‌روز یکبار اندازه‌گیری و تحت عنوان بارش ۲۴ ساعته ثبت می‌شود. بارش ۲۴ ساعته به این معنی نیست که بارش به مدت ۲۴ ساعت ادامه داشته باشد. ممکن است در طول ۲۴ ساعته یک بارش و یا چندین رگبار صورت گرفته باشد که جمع بارندگی آن‌ها ثبت می‌شود به همین دلیل در اکثر روش‌های طراحی بارش ۲۴ ساعته ملاک قرار می‌گیرد نه مقدار بارشی

¹ Mereu

² Mattar

³ Croke

⁴ Design storm

که در یک رگبار خاص ریزش داشته است (علیزاده، ۱۳۸۹). بنابراین در این تحقیق باران طرح با تداوم ۲۴ ساعته استفاده گردید.

تعیین مقدار بارش طرح ۲۴ ساعته برای دوره بازگشت‌های مختلف

در این تحقیق به منظور به دست آوردن شدت بارندگی در دوره بازگشت‌های مختلف، در ایستگاه هواشناسی فیروز جاه از رابطه تجربی استفاده گردید. قهرمان (۱۳۸۳)، رابطه کلی (۳-۶) را برای باران طرح در تداوم-هایی برابر t و دوره بازگشت‌های مختلف T ارائه نمود.

$$R_t^T = At^B[a_1 + a_2 \ln(T - a_3)]R_{60}^{10} \quad (۳-۸)$$

که در آن R_t^T : مقدار بارندگی در دوره بازگشت T ساله و مدت بارندگی (t) مورد نظر (میلی‌متر)، A و B : ضرایب ثابت محلی، t : مدت بارش طرح (ساعت)، a_1 ، a_2 ، a_3 : ضرایب رابطه، R_{60}^{10} : مقدار باران یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله بر حسب میلی‌متر است.

طبق پیشنهاد قهرمان (۱۳۸۳)، برای بارش‌های بیش‌تر از ۹ ساعت، A و B به ترتیب ۰/۱۵۸۹ و ۰/۴۳۶۱ و مقادیر a_1 و a_2 و a_3 به ترتیب ۰/۵۵۶۵ و ۰/۱۹۴۸ و ۰/۸ تعیین گردید. برای مناطق شمال کشور (رابطه ۷-۳) برای R_{60}^{10} پیشنهاد گردید (قهرمان، ۱۳۸۳).

$$R_{60}^{10} = 9.99 + 0.212(R_{1440}^2) \quad (۳-۹)$$

که در این رابطه R_{1440}^2 : میانگین حداکثر بارش روزانه می‌باشد. مقدار باران طرح برای دوره‌های آتی و گذشته با استفاده از روابط فوق محاسبه می‌گردد. از آنجایی که در طراحی سازه‌ها بسته به اهمیت آن از دوره بازگشت‌های مختلف برای محاسبه باران و دبی طرح استفاده

می‌شود لذا در این تحقیق به منظور کاربردی بودن نتایج تحقیق برای مطالعات مختلف از دوره بازگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله برای محاسبه باران طرح استفاده گردید.

نحوه توزیع باران طرح

پانی و هاراگان^۱ (۱۹۸۱)، معتقدند که الگوی بارش باید برای هر حوزه با استفاده از داده‌های بارندگی همان حوزه تهیه شود زیرا برای مناطقی که اقلیم متفاوت دارند این الگو یکسان نخواهد بود. در این مطالعه ابتدا ۲۲ بارش روزانه در ایستگاه فیروز جاه استخراج شد. سپس الگوی توزیع ۲۲ بارش بر روی نمودار ترسیم گردید تا الگوی کلی بارش روزانه منطقه تعیین گردد. الگوی حاصل شده بارش با الگوهای موجود در مدل WMS مقایسه گردید و مشخص شد که با الگوی type1A-24hour (موجود در مدل WMS) مشابهت مناسبی داشت. بنابراین از این الگوی بارش برای تبدیل باران طرح به الگوی توزیع باران طرح استفاده گردید.

تولید سناریوهای اقلیمی بارش برای دوره آتی

همانطور که پیش از این گفته شد در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشند. در این تحقیق به منظور تولید سناریوهای اقلیمی، از خروجی ۲۲ مدل AOGCM تحت دو سناریو انتشار RCP4.5، RCP8.5 مربوط به گزارش پنجم IPCC در سال ۲۰۱۰ (AR5) استفاده گردید. مشخصات این مدل‌ها در جدول (۳-۶) آورده شده است.

¹ Pani and Haragan

جدول (۳-۶) مشخصات مدل‌های AOGCM منتخب

شماره مدل	نام مدل	وضوح
1	ACCESS1-3	1/875×1/25
2	BCC-CSM1-1	2/81×2/81
3	BNU-ESM	2/81×2/81
4	CANESM2	2/81×2/81
5	CCSM4	1/25×0/94
6	CESM1-BGC	1/25×0/94
7	CESM1-CAM5	1/25×0/94
8	CMCC-CM	0/75×0/75
9	CNRM-CM5	1/4×1/4
10	CSIRO-MK3-6-0	1/875×1/8
11	ES-EARTH	1/25×1/12
12	FGOALS-G2	2/81×2/81
13	FIO-ESM	2/81×2/81
14	GFDL-CM3	2/5×2
15	GISS-E2-R	2/5×2
16	HadGEM2-ES	1/875×1/25
17	INMCM4	2×1/5
18	IPSL-CM5A-LR	3/75×1/89
19	IPSL-CM5B-LR	3/75×1/89
20	MIROC5	1/4×1/4
21	MIROC-ESM-CHEM	2/81×2/81
22	MPI-ESM-LR	1/875×1/8

هر ۲۲ مدل انتخابی تحت دو سناریو انتشار RCP4.5، RCP8.5 (بحرانی‌ترین و حد متوسط سناریو ها از نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای) اقدام به شبیه سازی پارامترهای اقلیمی در دوره آتی می‌نمایند. به دلیل بزرگ بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM، در این مدل‌ها شبیه سازی نوسانات اقلیمی (نوسانات روزانه یا ماهانه) همراه با اغتشاش می‌باشد، به گونه‌ای که مقایسه خروجی این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی نشان از وجود اختلاف در نوسانات متغیر مورد مطالعه دارد. این در حالی است که مقایسه میانگین بلند مدت این متغیرها با داده‌های مشاهداتی حاکی از توانایی بالای این مدل‌ها در شبیه‌سازی

میانگین بلند مدت متغیرهای اقلیمی است. لذا بمنظور حذف اغتشاشات غیر معتبر درون مدلی این مدل‌ها در محاسبات و تقویت میزان تغییرات اقلیمی موجود، معمولاً بجای استفاده مستقیم از داده‌های AOGCM در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌ای این داده‌ها استفاده می‌شود، که بهترین طول دوره آماری برای سیگنال‌های تغییر اقلیم ۳۰ سال می‌باشد (کارتر^۱ و همکاران، ۱۹۹۶؛ کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم^۲، ۱۹۹۹). لذا با توجه به موجودیت آمار متغیرهای اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ به عنوان دوره پایه و همچنین دو دوره ۳۰ ساله ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به عنوان دوره‌های آتی انتخاب گردیدند. این مجموع داده‌ها از طریق مرکز توزیع داده که توسط IPCC در سال ۱۹۹۸ شکل گرفته قابل دسترس می‌باشد. جهت دسترس به داده‌های مربوط به منطقه در دوره‌های ۳۰ ساله پایه و آینده با وارد کردن مختصات مکانی موقعیت مورد نظر و همچنین طول آماری مورد نیاز، سری‌های زمانی متغیر اقلیمی (بارش) در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) به صورت ماهانه به دست می‌آید. با در دست داشتن شبیه سازی متغیر اقلیمی مورد نظر در دوره گذشته توسط مدل‌های AOGCM می‌توان با محاسبه تغییرات متغیر اقلیمی مورد نظر در دوره آتی نسبت به دوره گذشته، سناریو تغییر اقلیم (change Field) آن متغیر را به دست آورد. برای دما از اختلاف بین دو متغیر و برای بارندگی از نسبت بین آن‌ها استفاده می‌شود (جونز و هولم^۴، ۱۹۹۶). به مقادیر به دست آمده سناریوی تغییر اقلیم اطلاق (change Field) می‌شود. لذا برای محاسبه سناریو تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM مقادیر "نسبت" برای بارندگی (رابطه ۳-۸) بین میانگین ۳۰ ساله در دوره‌های آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) و دوره شبیه سازی پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) توسط همان مدل

¹ Carter et al

² Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (IPCC-TGCI A)

³ Data Distribution Centery

⁴ Jones and Hulme

برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود، این مقادیر بیانگر میزان میانگین ۳۰ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد (دلقندی، ۱۳۹۱).

$$\Delta P_i = (PGCM, fut, i / PGCM, base, i) \quad (10-3)$$

در رابطه فوق ΔP_i بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به بارندگی برای میانگین بلند مدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{PGCM}, fut, i$ میانگین ۳۰ ساله بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، $\bar{PGCM}, base, i$ میانگین ۳۰ ساله بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد.

از آنجایی که مقیاس محاسباتی مدل‌های AOGCM با مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد و ارزیابی و تعیین اثرات تغییر اقلیم نیازمند سناریوهایی با وضوح مکانی بالا است، بنابراین جهت انجام مطالعه اثرات تغییر اقلیم در یک منطقه نیاز به کوچک مقیاس نمودن خروجی این مدل‌ها است. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای منطقه‌ای از سناریوهای مدل‌های AOGCM وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های استفاده از اطلاعات سلول‌های اصلی، درونیابی اطلاعات سلول‌های مجاور و روش‌های آماری و دینامیکی اشاره کرد. در این تحقیق از روش کوچک مقیاس کردن مکانی تناسبی (عامل تغییر) استفاده شده است. در این روش، متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات مربوط به سلولی استخراج می‌شود که منطقه مورد مطالعه در آن قرار دارد. برای کوچک مقیاس کردن زمانی عامل تغییر^۱ مطابق (رابطه ۳-۱۱) سناریو تغییر اقلیم در مقادیر اندازه‌گیری شده (۱۹۷۱-۲۰۰۰) (مشاهداتی)، ضرب می‌شود تا سری زمانی سناریو اقلیمی در آینده به دست آید (ویلی و هریس^۲، ۲۰۰۶).

$$P = P_{base} \times \Delta P \quad (11-3)$$

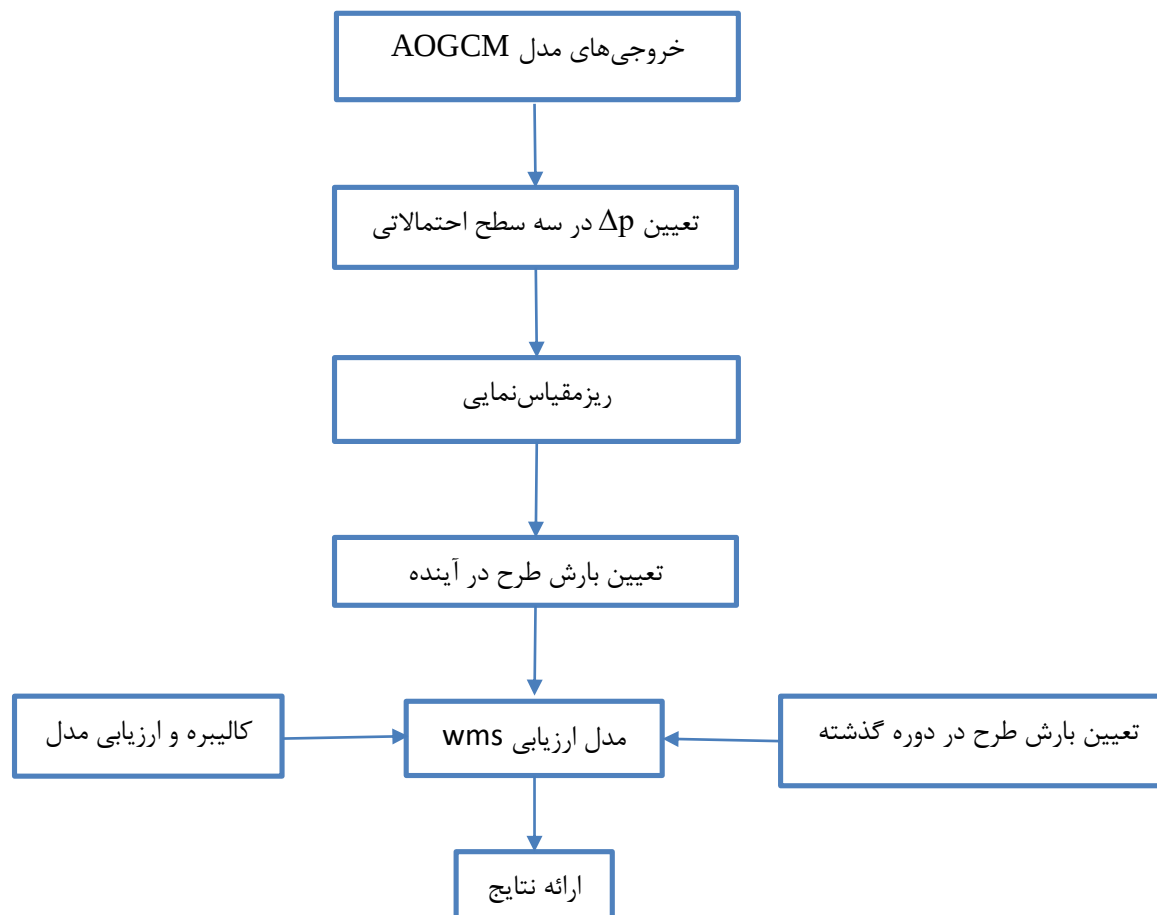
¹ Change Factor

² Wilby and Harris

در رابطه (۱۱-۳) P_{base} بارش روزانه مشاهداتی در دوره پایه، P بارش تولیدی از پدیده تغییر اقلیم در دوره های آتی و ΔP بیانگر سناریو تغییر اقلیم بارندگی کوچک مقیاس شده می باشند. برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم در نظر گرفتن همه منابع عدم قطعیت به سادگی امکان پذیر نمی باشد (مینگوئزو روییز- راموس^۱، ۲۰۱۰). لذا در این تحقیق مهم ترین منابع عدم قطعیت مدل های AOGCM و سناریوهای انتشار مورد بررسی قرار گرفت. برای تولید سناریوهای اقلیمی بارش به این صورت عمل گردید که مقادیر ΔP توسط رابطه (۱۰-۳) برای هر مدل AOGCM تحت هر یک از سناریوهای انتشار RCP8.5 و RCP4.5 برای هر ماه و هر دوره آتی جداگانه محاسبه گردید. به عبارت دیگر برای تولید سناریوهای اقلیمی در هر دوره آتی و تحت هر سناریوی انتشار، برای هر ماه ۲۲ تا ΔP محاسبه گردید.

سپس با استفاده از نرم افزار Easy Fit، بهترین تابع توزیع بر مقادیر ΔP ها برازش داده شد و تابع توزیع تجمعی احتمالاتی (CDF) ΔP برای هر ماه، از تابع توزیع بهینه مربوطه استخراج گردید. سپس مقادیر ΔP در سطوح احتمالاتی ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۰/۹۰ از CDF مربوطه استخراج گردید. این عمل برای هر ۱۲ ماه تکرار گردید. به طور خلاصه می توان گفت که برای هر دوره آتی، تحت هر سناریو انتشار RCP8.5 و RCP4.5 برای هر ماه تعداد ۳ تا ΔP در سه سطوح احتمالاتی ۰/۵۰ و ۰/۷۵ و ۰/۹۰ تعیین گردید. با استفاده از این ΔP ها و رابطه (۱۱-۳) سری زمانی بارش روزانه برای هر کدام از دوره های آتی و تحت هر کدام از سناریوهای انتشار تولید گردید (سناریوهای تغییر اقلیم). در مرحله بعد، باران طرح با دوره بازگشت های مختلف برای سناریوهای تغییر اقلیم تعیین شد و وارد مدل ارزیابی شده گردید تا رواناب ناشی از سناریوهای تغییر اقلیم مشخص گردد. در نهایت با مقایسه رواناب تولیدی این سناریوها و دوره گذشته، تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه (دبی رودخانه) مشخص می گردد. روش انجام تحقیق به صورت خلاصه در شکل (۲-۳) آورده شده است.

^۱ Ruiz-Ramos and Minguez



شکل (۲-۳) نمودار جریان انجام تحقیق

فصل چہارم

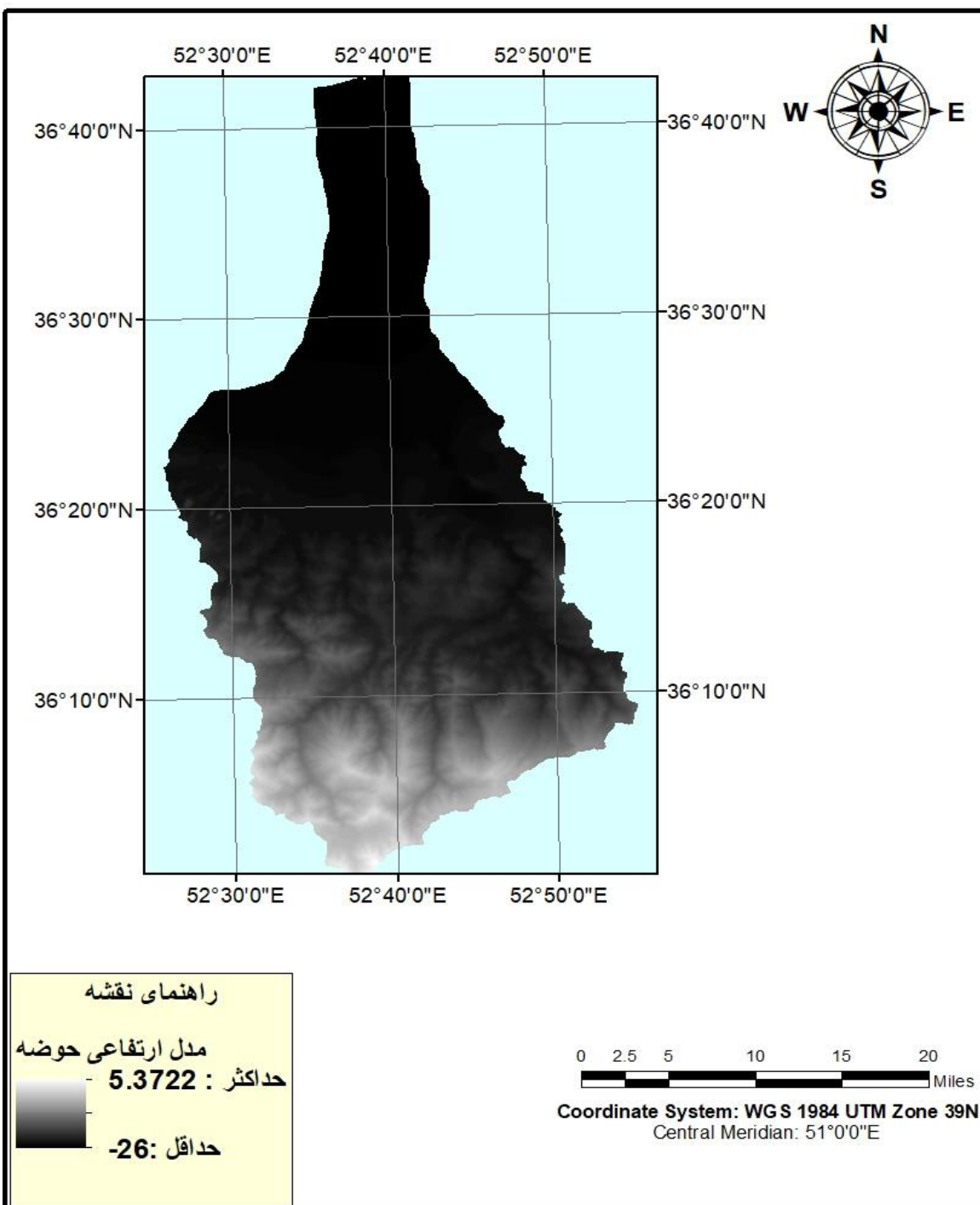
نتائج و بحث

مقدمه

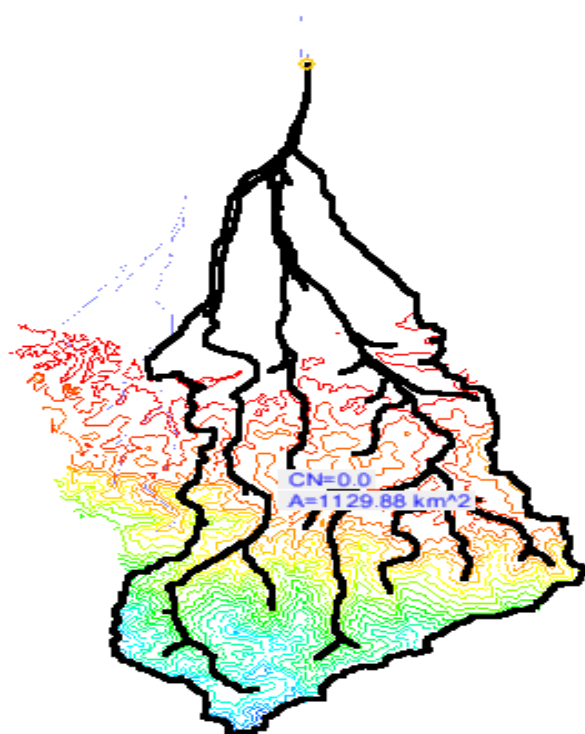
در این فصل نتایج حاصل از ارزیابی مدل هیدرولوژیکی WMS و همچنین نتایج حاصل از بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱، ۲۰۹۹-۲۰۷۰ برای دو سناریوی انتشار RCP4.5، RCP8.5 ارائه می‌گردد.

تهیه نقشه‌های مورد نیاز محیط مدل WMS

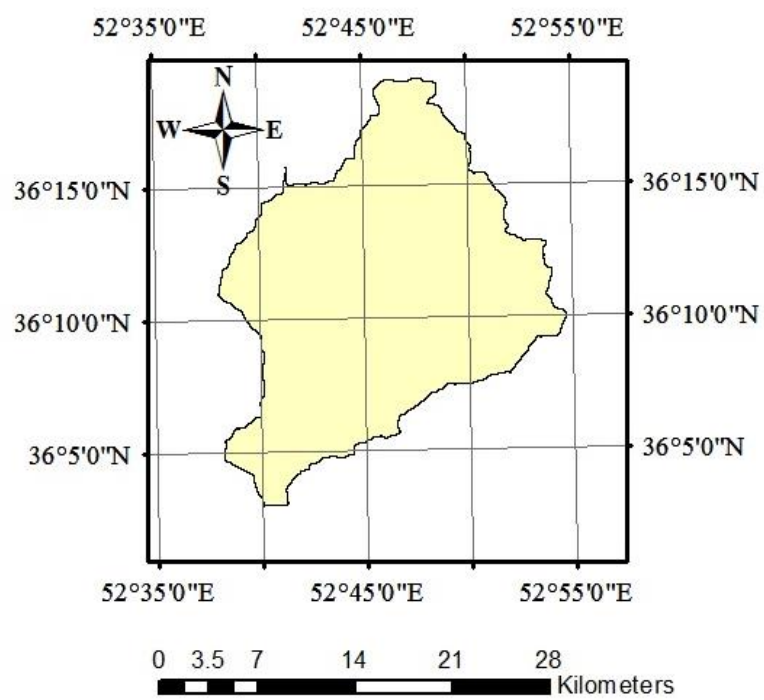
از روی نقشه رقومی (DEM) نقشه توپوگرافی منطقه استخراج شد و بر اساس این نقشه شبکه آبراهه‌ها ترسیم گردید و با انتخاب محل ایستگاه هیدرومتری بر روی شبکه آبراهه، مرز حوضه بالا دست ایستگاه تعیین شد. در شکل (۴-۱)، (۴-۲) و (۴-۳) به ترتیب نمایی از مدل رقومی ارتفاع، شبکه آبراهه‌ها و نمایی از مرز حوضه نشان داده شده است.



شکل (۴-۱) نمایی از مدل رقومی ارتفاع (DEM)



شکل (۲-۴) شبکه آبراهه‌ها



شکل (۳-۴) نمایی از مرز حوضه

تعیین CN و درصد غیر قابل نفوذ

با تعیین درصد هر کدام از کاربری‌های اراضی و مشخص نمودن CN مربوط به این کاربری‌ها متوسط وزنی CN منطقه ۷۴ تعیین شد. از آنجایی که درصد مناطق غیر قابل نفوذ یکی از پارامترهای مدل برای واسنجی می‌باشد مقدار تقریبی این مناطق از روی نقشه کاربری اراضی ۱۰ درصد تعیین شد.

نتایج واسنجی مدل WMS

به منظور واسنجی مدل از میان ۵ رگبار مشاهداتی، ۳ رگبار شماره ۱، ۲ و ۳ انتخاب شد. با داشتن مقدار اولیه پارامترهای واسنجی مدل (CN، TP، CP) و درصد غیر قابل نفوذ) رواناب ناشی از ۳ رخداد بارش ذکر شده شبیه‌سازی گردید و با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفتند. با تغییر مقادیر پارامترهای واسنجی مدل، نتایج شبیه‌سازی به نتایج مشاهداتی نزدیک‌تر گردید که نتایج مربوط به پارامترهای واسنجی شده در جدول (۱-۴) ارائه شده است. با توجه به اهمیت دبی پیک و حجم سیلاب، خطای نسبی (رابطه ۴-۱) مدل در برآورد دبی پیک و حجم سیلاب در جدول (۲-۴) ارائه شده است. در ادامه شکل هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی برای هر سه رخداد بارش نیز، در اشکال (۴-۴) تا (۴-۶) آورده شده اند.

$$\text{درصد اختلاف} = \frac{X_m - X_s}{X_m} \times 100 \quad (1-4)$$

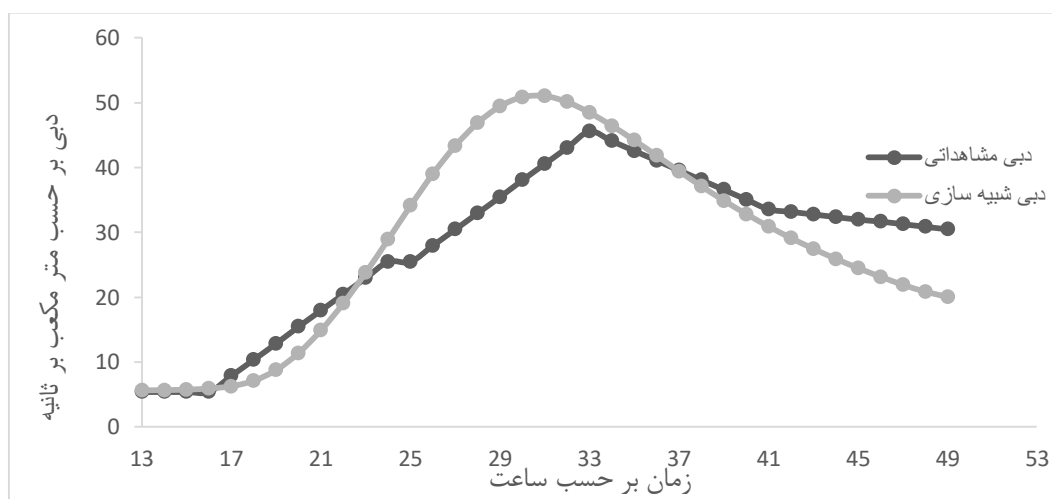
در رابطه بالا، X نمایانگر مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب، اندیس m و S نیز به ترتیب معرف مقدار مشاهداتی و شبیه‌سازی می‌باشند.

جدول (۱-۴) مقادیر بهینه شده نتایج اجرای واسنجی پارامترهای مدل WMS

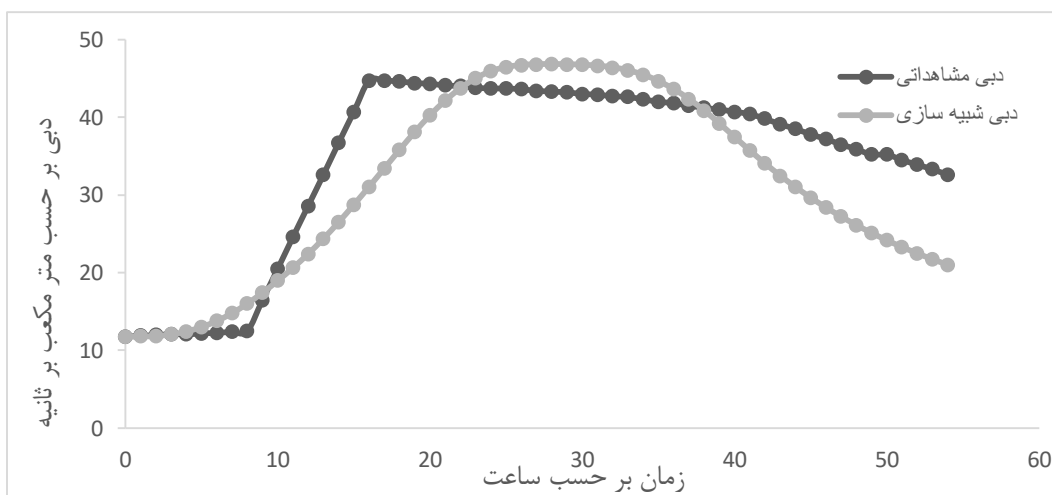
پارامترهای کالیبراسیون	مقادیر بهینه
شماره منحنی	۷۲
درصد غیر قابل نفوذ	۱۵٪
TP(hr)	۱۲
CP	۰/۵۶

جدول (۴-۲) مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رویدادها در مرحله واسنجی

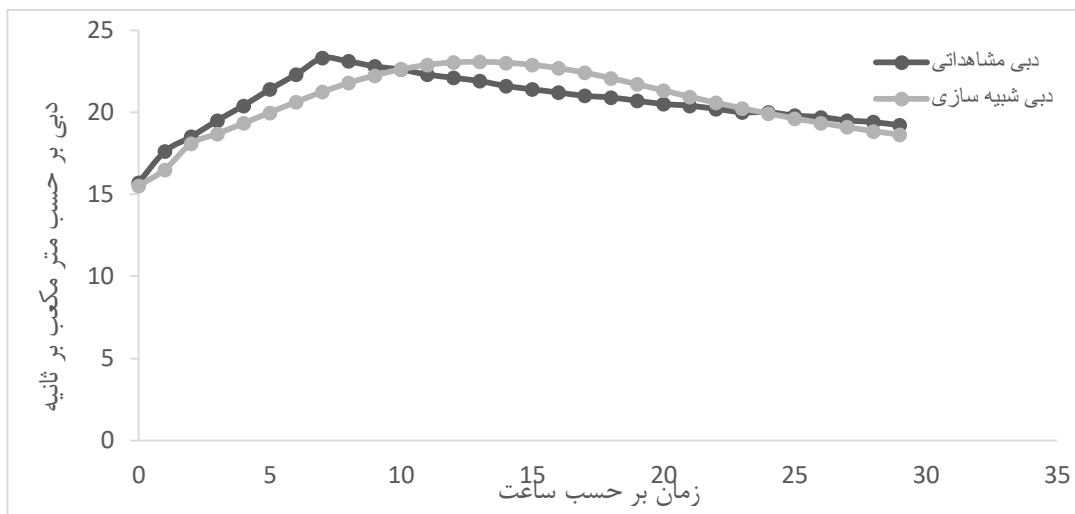
رویداد	پارامتر	دبی اوج (m^3/s)		اختلاف		حجم جریان (m^3)		اختلاف
		شبیه‌سازی	مشاهداتی	%	%	شبیه‌سازی	مشاهداتی	%
۱		۵۱/۰۵	۴۵/۶	۱۱/۹		۳۷۹۶۴۳۸	۳۷۳۷۳۵۸	۱/۵
۲		۴۶/۸۰	۴۵	۴		۶۱۹۵۸۹۹	۶۸۰۶۵۲۰	۸/۹
۳		۲۳/۰۷	۲۳/۳	۰/۹۹		۲۱۹۹۳۳۷	۲۲۰۰۱۴۰	۰/۰۳۶
میانگین		-	-	۵/۶		-	-	۳/۵



شکل (۴-۴) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای رگبار شماره ۱ در مرحله واسنجی



شکل (۴-۵) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای رگبار شماره ۲ در مرحله واسنجی



شکل (۴-۶) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای رگبار شماره ۳ در مرحله واسنجی

از جدول (۴-۱) پیداست که در مرحله واسنجی مقدار CN از ۷۴ به ۷۲ تغییر نموده است و درصد مساحت غیر قابل نفوذ ۵ درصد نسبت به مقدار اولیه افزایش یافته است.

برای تعیین توانایی مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در مرحله واسنجی، از مقایسه دبی شبیه‌سازی و مشاهداتی در زمان‌های مختلف استفاده شد که شاخص‌های آماری مربوط به این مقایسه در جدول (۴-۳) ارائه گردیده است. مقایسه دبی اوج شبیه‌سازی و مشاهداتی در سه بارش شماره ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهد که حداکثر خطای نسبی مدل در شبیه‌سازی دبی اوج حدود ۱۲ درصد و مربوط به بارش شماره ۱ می‌باشد در دو شماره دیگر مقدار خطا کاهش چشمگیری می‌یابد به طوری که در شماره سوم مقدار خطا حدود ۱ درصد می‌باشد به طور کلی میانگین خطای مدل در شبیه‌سازی دبی اوج برای مرحله واسنجی حدود ۵/۶ درصد می‌باشد. خطای مدل در مورد حجم رواناب شبیه‌سازی شده حتی از خطای مربوط به دبی اوج نیز کمتر می‌باشد به طوریکه حداکثر خطا حدود ۹ درصد و حداقل آن حدود ۰/۰۴ درصد می‌باشد و میانگین خطای مدل در شبیه‌سازی حجم رواناب حدود ۳/۵ درصد تعیین گردید با توجه به منفی و مثبت بودن خطا

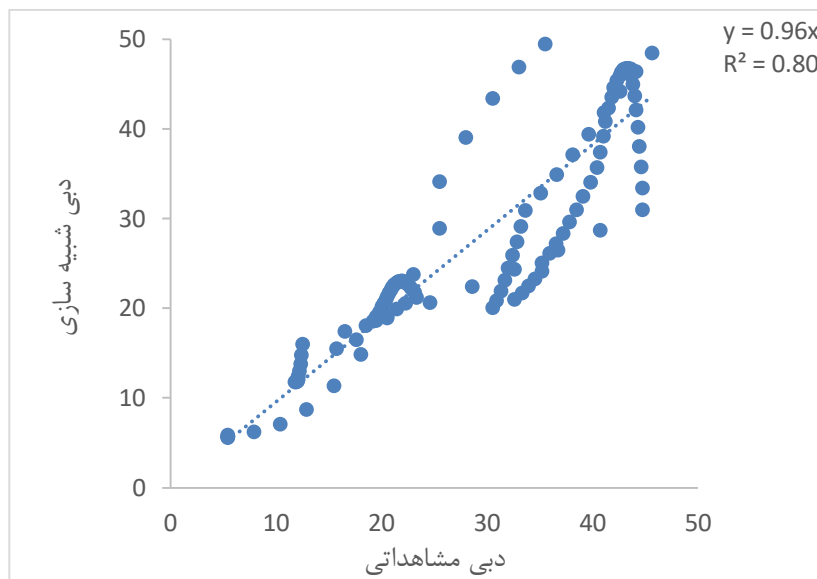
در بارش‌های مختلف نمی‌توان ادعا نمود که مدل دبی اوج و حجم سیلاب را بیشتر یا کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد می‌کنند.

جدول (۳-۴) مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در مرحله واسنجی مدل wms

رویداد	مرحله	EFF (%)	NRMSE (%)	CRM (m ³ /s)	NSE	R ²	Bias (%)	Er (%)
۱	واسنجی	۶۸/۵۴	۲۴/۰۴	-۰/۰۱۶	۰/۶۹	۰/۷۹	۱/۶	۳
۲	واسنجی	۶۹/۱۷	۱۸/۴۳	۰/۰۸۹	۰/۶۹	۰/۷۹	-۸/۹	۹
۳	واسنجی	۶۲/۹۱	۴/۸۳	۰/۰۰۰۵۲	۰/۶۳	۰/۷۴	-۰/۰۵	۱
میانگین		۶۶/۹	۱۵/۸	۰/۰۳۵	۰/۶۷	۰/۷۷	۳/۵	۴/۳

همانگونه که از اشکال (۴-۴) تا (۶-۴) پیداست با اینکه مدل در شبیه‌سازی دبی اوج و حجم سیلاب بسیار خوب عمل نموده است اما در شبیه‌سازی شکل هیدروگراف خطای بیشتری مرتکب گردیده است که شاخص‌های آماری مربوط به مقایسه هیدروگراف شبیه‌سازی و مشاهداتی برای سه رخداد مرحله واسنجی مندرج در جدول (۴-۳) نیز این مطلب را تأیید می‌کنند.

برای داشتن یک دید کلی نسبت به مرحله واسنجی، کل مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی دبی سه رخداد مورد استفاده در مرحله واسنجی، در یک نمودار یک به یک مورد مقایسه قرار گرفتند که نتیجه در شکل (۴-۷) ارائه شده است. همانگونه که از این نمودار پیداست ضریب تعیین در محدوده‌ی قابل قبولی ($R^2 = ۰/۸۰$) قرار دارد و خطای مربوط به خط برازش خط یک به یک ۴ درصد می‌باشد (که این خطا از مقایسه شیب خط برازش داده شده با شیب خط یک به یک حاصل می‌شود یعنی: $Er = |1 - 0.96| \times 100 = 4\%$).



شکل (۷-۴) نمودار برازش خط یک به یک

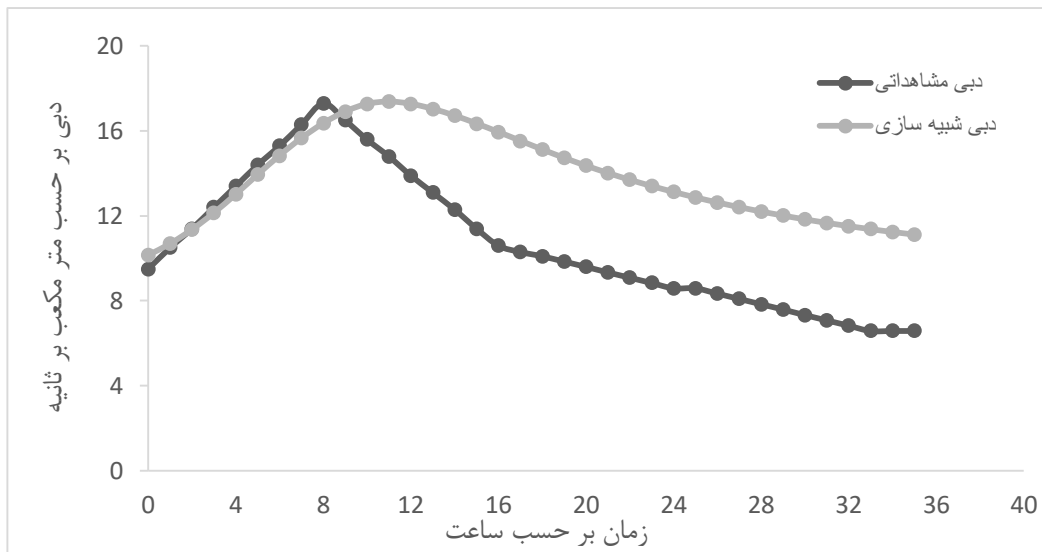
نتایج اعتبارسنجی مدل WMS

جهت اعتبار سنجی و ارزیابی مدل از ۲ شماره ۴ و ۵ که در واسنجی مورد استفاده قرار نگرفتند، استفاده گردید. نتایج اعتبار سنجی مدل در برآورد دبی اوج و حجم سیلاب در جدول (۴-۴) ارائه گردیده است در ادامه مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در مرحله اعتبارسنجی مدل در شکل‌های (۸-۴) و (۴-۹) ارائه و شاخص‌های آماری مربوط به این مقایسه در جدول (۵-۴) نمایش داده شده‌اند.

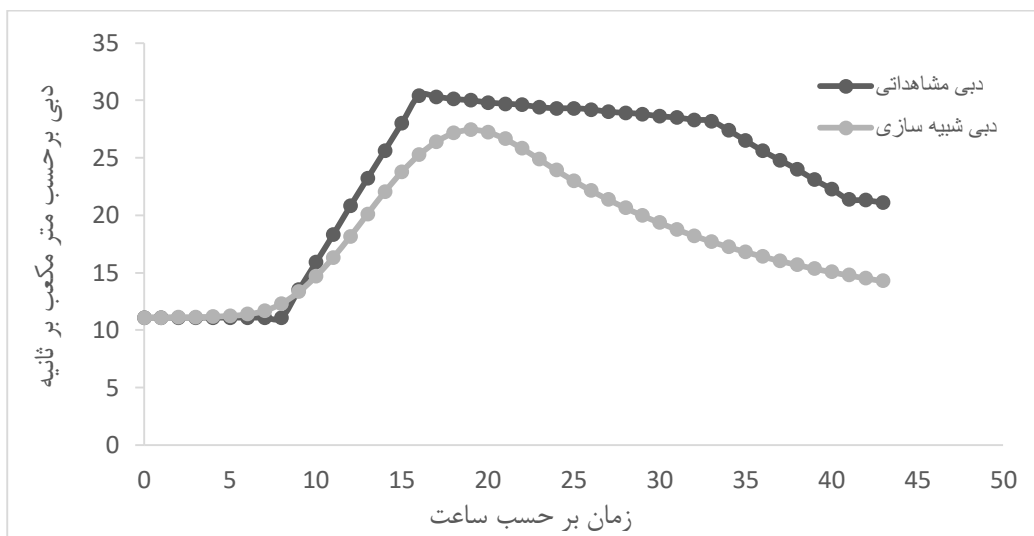
جدول (۴-۴) مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رویدادها در مرحله اعتبار سنجی						
پارامتر رویداد	دبی اوج (m^3/s)		اختلاف		حجم جریان (m^3)	
	شبیه‌سازی	مشاهداتی	%	%	شبیه‌سازی	مشاهداتی
۴	۱۷/۳۷	۱۷/۳	۰/۴۰		۱۷۹۳۴۵۸	۱۳۷۱۹۲۴
۵	۲۷/۴۶	۳۰/۴	۹/۷		۲۸۷۱۵۹۴	۳۶۱۶۳۸۰
میانگین	-	-	۵/۱		-	-

با توجه به جدول (۴-۴) مقدار خطای نسبی برای شبیه‌سازی دبی اوج برای دو رخداد بارش مرحله اعتبارسنجی حدود ۱۰ درصد و ۵/۰ درصد تعیین شده است که می‌توان عنوان نمود متوسط قدر مطلق

خطای مدل در شبیه‌سازی دبی اوج در این مرحله حدود ۵ درصد می‌باشد و در مورد حجم سیلاب خطای مدل بیشتر می‌باشد و میانگین قدر مطلق خطای مدل در برآورد حجم سیلاب حدود ۲۵ درصد است که رقم قابل قبولی می‌باشد و به طور کلی با توجه به خطای مدل در برآورد دبی اوج و حجم سیلاب می‌توان گفت مدل با دقت خوبی این دو پارامتر را شبیه‌سازی نموده است.



شکل (۴-۸) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای رگبار شماره ۴ در مرحله اعتبار سنجی



شکل (۴-۹) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای رگبار شماره ۵ در مرحله اعتبار سنجی

جدول (۵-۴) مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی مدل wms

رویداد	مرحله	EFF (%)	NRMSE (%)	CRM (m ³ /s)	NSE	R ²	Bias (%)	Er (%)
۴	اعتبارسنجی	-۴۵/۴۶	۳۵/۳۵	-۰/۲۹	-۰/۴۵	۰/۶۸	۲۹	۲۲
۵	اعتبارسنجی	۳۱/۱۶	۲۵/۸۳	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۷۲	-۲۰/۵	۲۲
میانگین		۳۸/۳	۳۰/۶	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۷	۲۴/۸	۲۲

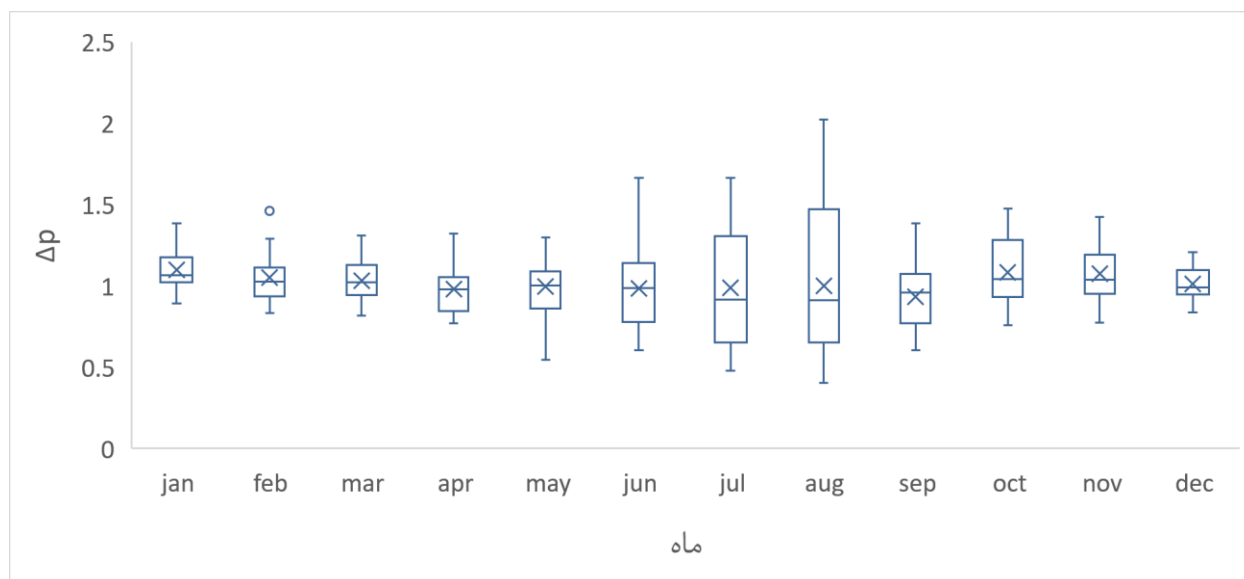
با دقت در شکل‌های (۸-۴) و (۹-۴) می‌توان دریافت که مدل توانسته شکل کلی هیدروگراف را به خوبی شبیه‌سازی نماید اما در هر دو رخداد بارش مدل توانسته بازوی پایین رونده هیدروگراف مشاهداتی را به خوبی شبیه‌سازی نماید. شاخص‌های آماری مندرج در جدول (۵-۴) که مربوط به مقایسه دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی در زمان‌های مختلف است این موضوع را تأیید می‌کنند. به طوریکه آماره EFF و NSE نشان از راندمان حدود ۳۷ درصد مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف دارد اما بقیه آماره‌ها خطای کمتری را برای برآورد هیدروگراف در نظر گرفته‌اند به طوریکه NRMSE، Bias و Er خطای مدل را در برآورد هیدروگراف به ترتیب حدود ۳۰، ۲۵ و ۲۲ درصد تعیین نمودند که همه این آماره‌ها در بازه قابل قبول قرار دارند و نشان از کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب دارند و با دقت در مقدار آماره CRM نیز می‌توان متوجه شد که در شماره ۵ به طور کلی مدل برآورد کمتری از دبی‌های مشاهداتی داشته است و در شماره ۴ برآورد مدل کمتر از مقادیر اندازه‌گیری بوده است مقدار R² ناشی از نمودار یک به یک دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی نیز در محدوده قابل قبولی قرار دارد و به طور کلی می‌توان گفت مدل توانسته است با دقت خیلی مناسبی مقدار دبی اوج و حجم سیلاب را برآورد نماید و در برآورد هیدروگراف سیلاب نیز دقت مناسبی داشته است. لازم به ذکر است مقداری از خطای مدل ناشی از نامناسب بودن داده‌های اندازه‌گیری می‌باشد که بعضاً مقدار بارش روزانه با مجموع بارش ساعتی همان روز هم خوانی نداشته و همچنین مقادیر دبی اندازه‌گیری نیز عاری از خطا نمی‌باشند و لذا خطای حدود ۳۰ درصد برای مدل‌های بارش-رواناب خطای مناسبی محسوب می‌گردد. در مطالعات مشابهی که در کشور صورت گرفته‌اند

به دلیل کمبود داده مناسب معمولاً محققین برای ارزیابی مدل از همین تعداد رخداد بارش استفاده نمودند به عنوان مثال قبادیان و همکاران (۱۳۹۱)، به شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در حوضه آبریز قره سو با استفاده از مدل WMS پرداختند که برای واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب از ۲ و ۱ رخداد بارش استفاده کردند. الماسی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب سطحی در حوضه آبخیز بازفت پرداختند که برای واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب از ۴ و ۳ رخداد بارش استفاده کردند. پریسوز و همکاران (۱۳۹۷)، به شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بارش رواناب با استفاده از الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای اصلاح شده در حوضه سد وشمگیر گلستان پرداختند که برای واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب از ۳ و ۳ رخداد بارش استفاده کردند.

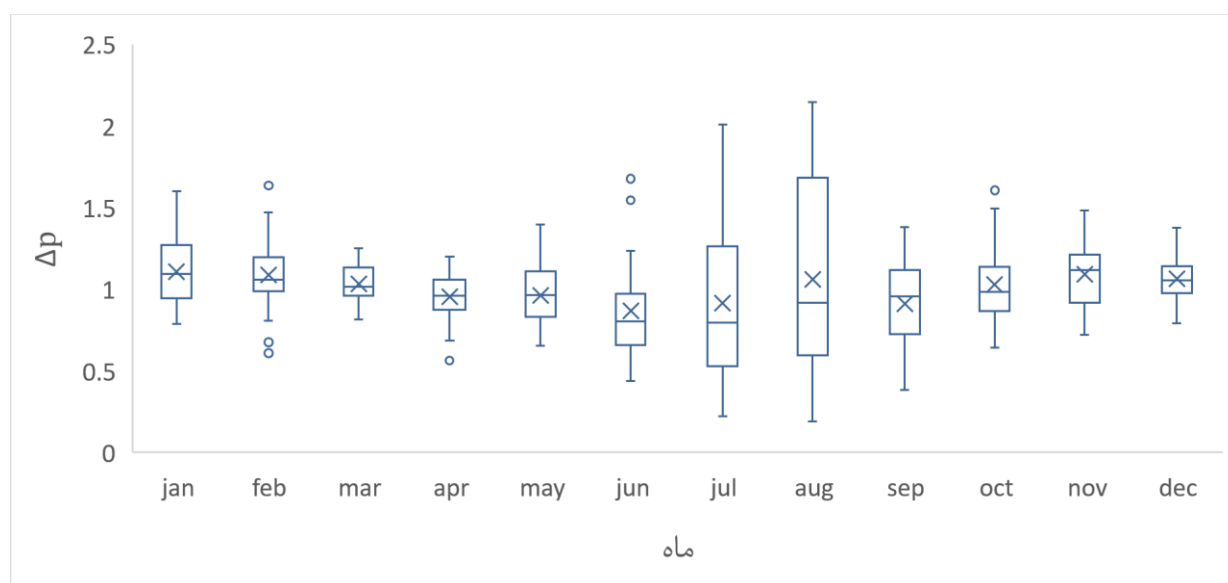
نتایج تولید سناریوهای تغییر اقلیم

تعیین مقادیر ΔP

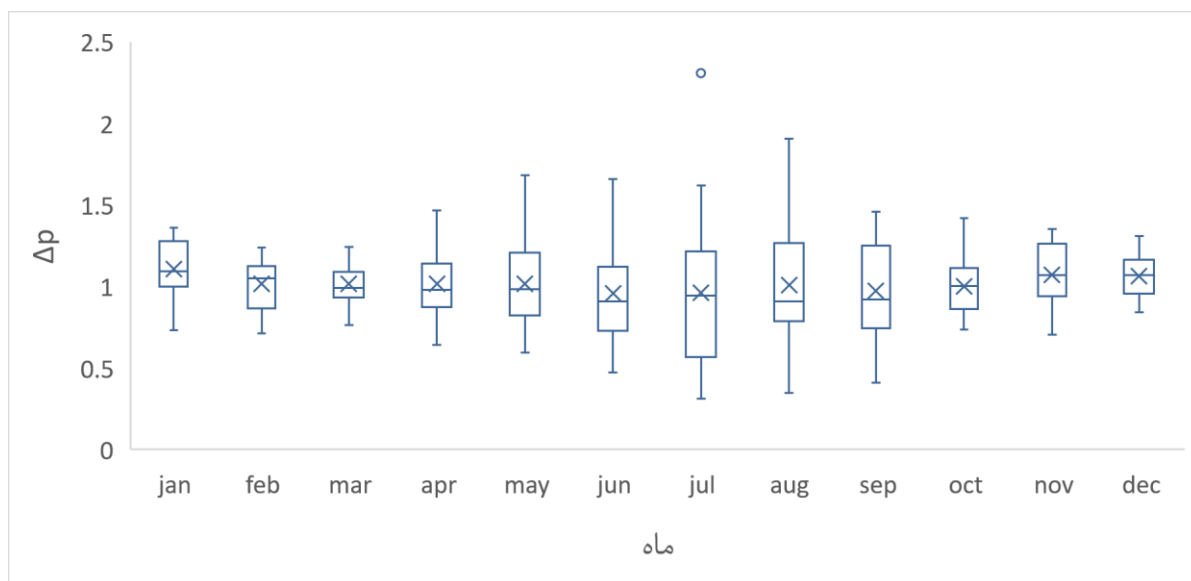
در این تحقیق از ۲۲ مدل AOGCM تحت دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم، در دو دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۱، ۲۰۹۹-۲۰۷۰ استفاده شده است. در مرحله اول مقادیر ماهانه بارش برای دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ و دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۱، ۲۰۹۹-۲۰۷۰ از مدل‌های AOGCM اخذ گردید. مقادیر ماهانه ΔP برای هر مدل AOGCM تحت هر سناریوی انتشار توسط رابطه (۳-۱۰) محاسبه شد. مقادیر ΔP ماهیانه برای مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آتی ۲۰۲۱-۲۰۵۰، ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در شکل‌های (۴-۱۰) تا (۴-۱۳) ارائه شده است.



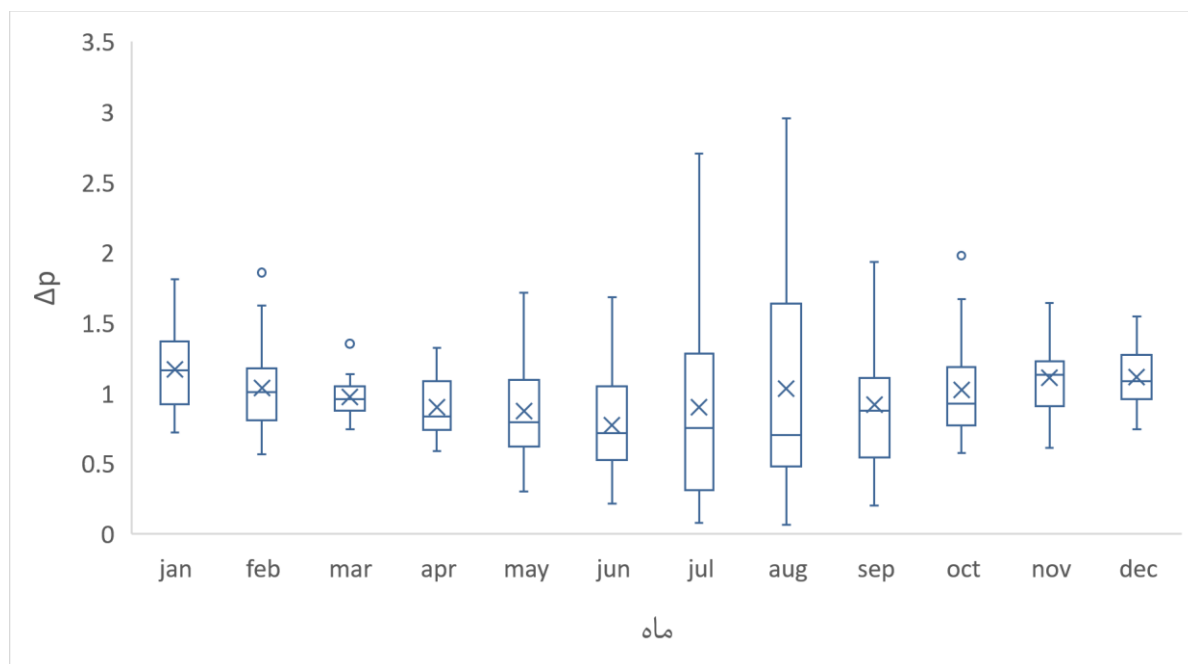
شکل (۴-۱۰) نمودار ΔP برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP4.5 (دوره آتی اول)



شکل (۴-۱۱) نمودار ΔP برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP4.5 (دوره آتی دوم)



شکل (۴-۱۲) نمودار ΔP برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP8.5 (دوره آتی اول)



شکل (۴-۱۳) نمودار ΔP برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP8.5 (دوره آتی دوم)

با توجه به اشکال (۴-۱۰) تا (۴-۱۳) مشخص می‌گردد مدل‌های مختلف AOGCM مقادیر مختلفی برای ΔP تخمین زده‌اند که این نشان از عدم قطعیت این مدل‌ها برای پیش‌بینی بارش دوره‌های آتی می‌باشد. با دقت در اشکال (۴-۱۰) تا (۴-۱۳) مشخص می‌شود که عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در تعیین ΔP در ماه‌های گرم سال که مقدار بارندگی کمتر می‌باشد، افزایش می‌یابد. همچنین، اگر چارک ۰/۵ را مبنا قرار دهیم مشاهده می‌شود که مقدار ΔP از ماه ژانویه کاهش می‌یابد در ماه‌های گرم سال به حداقل می‌رسد و دوباره روند افزایشی به خود می‌گیرد. لازم به ذکر است هرچند مدل‌های AOGCM در ماه‌های گرم سال عدم قطعیت بالاتری دارند ولی با توجه به اینکه در نهایت بارش دوره‌های آتی در این ماه‌ها علاوه بر مقدار ΔP ، به بارش دوره گذشته نیز در این ماه‌ها وابسته است در نهایت مقدار عددی افزایش بارش در این ماه‌ها نسبت به ماه‌های پر بارش، افزایش بیشتری را تجربه نخواهد کرد. در مقایسه مقادیر ΔP در دوره آتی اول و دوم مشخص است که عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در دوره آتی دوم نسبت به دوره آتی اول بیشتر است اما در مورد دو سناریوی انتشار تفاوت چندانی وجود ندارند.

تعیین مقادیر ΔP به صورت احتمالاتی

نتایج مربوط به ΔP در سطوح مختلف احتمالاتی برای دو دوره آتی، تحت هر کدام از سناریوهای انتشار در جدول (۴-۶) ارائه شده است لازم به ذکر است ΔP در سطح احتمال ۰/۹۰ بیانگر این است که در ۹۰ درصد سال‌ها مقدار ΔP برابر با عدد مورد نظر یا کوچکتر از آن است بنابراین با انتخاب ΔP در سطح احتمال ۰/۹۰ برای طراحی سازه‌ها، عملاً تنها ۱۰ درصد ریسک را پذیرا می‌شویم به همین ترتیب مقدار ریسک برای ΔP هایی با سطح احتمال ۰/۷۵ و ۰/۵۰ به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۵۰ می‌باشد. در ادامه نتایج مربوط به ΔP ها (جدول ۴-۶)، در سه بخش سطوح احتمالاتی، سناریوهای انتشار و دوره‌های آتی مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

جدول (۴-۶) استخراج ΔP در سه سطح احتمالاتی، تحت دو سناریوی انتشار در دوره‌های آتی (mm/d)

دوره	سناریو	سطح احتمال	ماه												M.P
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
دوره آتی اول	RCP4.5	۰/۵۰	۱/۰۸	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۳	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۰	۰/۹۹
		۰/۷۵	۱/۱۶	۱/۱۲	۱/۱۰	۱/۰۷	۱/۱۲	۱/۱۳	۱/۲۰	۱/۲۳	۱/۰۵	۱/۱۹	۱/۱۷	۱/۰۶	۱/۱۳
		۰/۹۰	۱/۲۶	۱/۲۲	۱/۱۸	۱/۱۸	۱/۲۷	۱/۳۱	۱/۵۴	۱/۵۸	۱/۱۷	۱/۳۵	۱/۳۲	۱/۱۳	۱/۲۹
	RCP8.5	۰/۵۰	۱/۰۹	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۹	۱/۰۶	۱/۰۶	۰/۹۹
		۰/۷۵	۱/۲۲	۱/۱۰	۱/۰۸	۱/۱۲	۱/۱۴	۱/۱۲	۱/۱۹	۱/۱۹	۱/۱۶	۱/۱۱	۱/۱۹	۱/۱۴	۱/۱۵
		۰/۹۰	۱/۳۵	۱/۱۹	۱/۱۷	۱/۲۸	۱/۳۶	۱/۳۴	۱/۵۳	۱/۴۸	۱/۳۶	۱/۲۲	۱/۳۲	۱/۲۳	۱/۳۲
دوره آتی دوم	RCP4.5	۰/۵۰	۱/۰۸	۱/۰۹	۱/۰۲	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۸۰	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۹۹	۱/۰۹	۱/۰۵	۰/۹۸
		۰/۷۵	۱/۲۲	۱/۲۵	۱/۱۰	۱/۰۵	۱/۰۷	۰/۹۸	۱/۱۷	۱/۳۵	۱/۱۰	۱/۱۶	۱/۲۲	۱/۱۶	۱/۱۵
		۰/۹۰	۱/۳۷	۱/۳۹	۱/۱۸	۱/۱۵	۱/۲۱	۱/۲۰	۱/۵۷	۱/۸۱	۱/۲۸	۱/۳۴	۱/۳۴	۱/۲۵	۱/۳۴
	RCP8.5	۰/۵۰	۱/۱۴	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۹۰	۱/۰۳	۰/۸۴	۰/۹۷	۱/۰۸	۱/۱۰	۰/۹۵
		۰/۷۵	۱/۳۴	۱/۱۶	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۴	۰/۹۷	۱/۳۲	۱/۵۱	۱/۱۴	۱/۱۹	۱/۲۸	۱/۲۵	۱/۱۹
		۰/۹۰	۱/۵۳	۱/۳۹	۱/۱۴	۱/۱۸	۱/۳۱	۱/۲۱	۱/۷۳	۱/۹۹	۱/۵۱	۱/۴۴	۱/۴۷	۱/۳۹	۱/۴۴

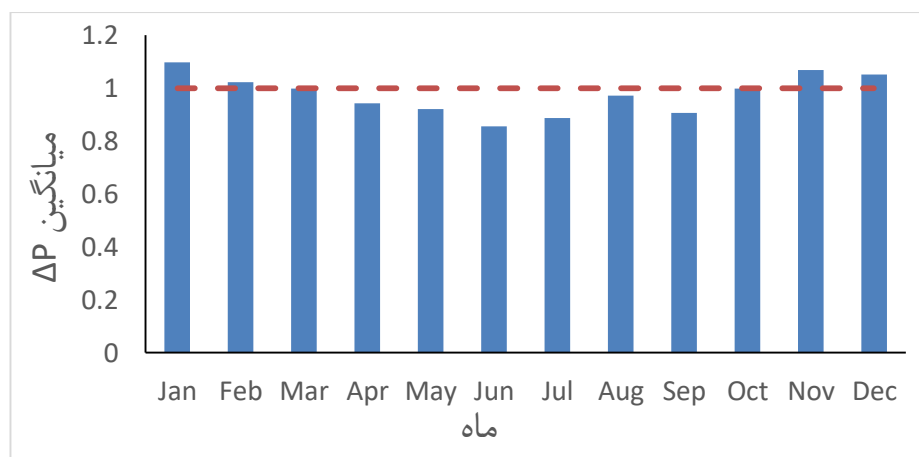
M.P: میانگین تغییرات بارش

نتایج تغییرات ΔP در سطوح مختلف احتمالاتی

با توجه به جدول (۴-۶) می‌توان گفت که با افزایش سطح احتمال مقدار ΔP افزایش می‌یابد به طوریکه میانگین افزایش ΔP از سطح احتمال ۰/۵ به ۰/۷۵ و از سطح احتمال ۰/۷۵ به ۰/۹۰ در سناریوی RCP4.5 دوره آتی حدود ۱۴ درصد می‌باشد این افزایش برای سناریوی RCP8.5 در دوره آتی اول حدود ۱۶ درصد است که تفاوت چندانی با سناریوی RCP4.5 ندارد. در دوره آتی دوم برای سناریوی RCP4.5، افزایش ΔP از سطح احتمال ۰/۵ به ۰/۷۵ و از سطح احتمال ۰/۷۵ به ۰/۹۰ مشابه دوره آتی اول می‌باشد اما در سناریوی RCP8.5، این افزایش ΔP از یک سطح احتمال به سطح احتمال دیگر، به طور متوسط حدود ۲۲ درصد می‌باشد.

تغییرات ΔP در ماه‌های مختلف

برای این منظور از ΔP در سطح احتمال ۰/۵۰ که تا حدودی نمایانگر میانگین ΔP مدل می‌باشد استفاده گردید، و از همه ΔP های مربوط به هر ماه (در سطح احتمال ۰/۵) در دو سناریو و دو دوره آتی میانگین گرفته شده و نتیجه در شکل (۴-۱۴) ارائه گردید. نتایج نشان می‌دهد که در ماه‌های ژانویه، فوریه، نوامبر و دسامبر افزایش بارش را مشاهده خواهیم کرد. در دو ماه اکتبر و مارس بارش، تغییر نخواهد داشت و در بقیه ماه‌ها، کاهش بارش را شاهد خواهیم بود. البته این نتایج در مورد سطح احتمال ۰/۵ می‌باشد لذا با تغییر سطح احتمال نتیجه نیز متفاوت خواهد بود. همانگونه که از این نمودار مشخص است در منطقه مورد مطالعه مقدار بارش در فصول بهار و تابستان تا حدودی کاهش و در فصول پاییز و زمستان افزایش می‌یابد.



شکل (۴-۱۴) میانگین ΔP سطح احتمال ۰/۵۰ (برای دو سناریو انتشاری و دو دوره آتی)

تغییرات ΔP در دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 و دو دوره آتی

با توجه به جدول (۴-۶) و مقایسه مقادیر ΔP در دو سناریوی انتشار مشخص می‌گردد که میانگین سالانه ΔP در سطح احتمال ۰/۵۰ تفاوت چندانی با هم نداشته ولی با افزایش سطح احتمال مقدار ΔP در سناریوی

RCP8.5 نسبت به RCP4.5 افزایش می‌یابد این بدین معنی می‌باشد که مقدار بارش در دوره آتی دوم (در سطح ریسک ۱۰٪) نسبت به دوره آتی اول افزایش خواهد داشت.

در مورد تغییرات ΔP در دو دوره آتی می‌توان گفت که مقدار ΔP در دوره آتی دوم نسبت به دوره آتی اول افزایش بیشتری خواهد داشت. به عبارت دیگر در دوره آتی دوم مقدار بارش نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت.

ریز مقیاس کردن و تولید سناریوهای روزانه تغییر اقلیم

با تعیین مقادیر ΔP با استفاده از رابطه (۳-۱۰) و داده‌های مشاهداتی بارش روزانه دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰، سناریوهای روزانه تغییر اقلیم (سناریوهای بارش) برای هر دوره آتی (۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۵۰-۲۰۷۰ و ۲۰۲۱-۲۰۵۰) در سطوح مختلف احتمالاتی و تحت هر دو سناریو انتشار (RCP4.5 و RCP8.5) تولید گردید.

نتایج باران طرح

همانطور که در فصل قبل ذکر گردید باران طرح با تداوم ۲۴ ساعته در نظر گرفته شد. بنابراین جهت برآورد بارش طرح با دوره بازگشت‌های مختلف (۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰) این تداوم مبنای کار قرار گرفت. جهت برآورد باران طرح با دوره بازگشت‌های مختلف از رابطه (۳-۸) استفاده شد. برای محاسبه باران طرح در دوره گذشته، بارش ۳۰ سال اخیر معیار تعیین باران طرح منظور گردید تا دوره آماری باران طرح در دوره گذشته و دوره‌های آتی یکسان باشد. برای دوره‌های آتی باران طرح در سه سطح احتمال ۰/۷۵، ۰/۵۰، ۰/۹۰ و تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 محاسبه شد و نتایج آن در جدول (۴-۷) ارائه گردید.

جدول (۴-۷) مقادیر باران طرح با دوره بازگشت‌های مختلف در هر کدام از سناریوهای تغییر اقلیم و دوره گذشته (میلیمتر)

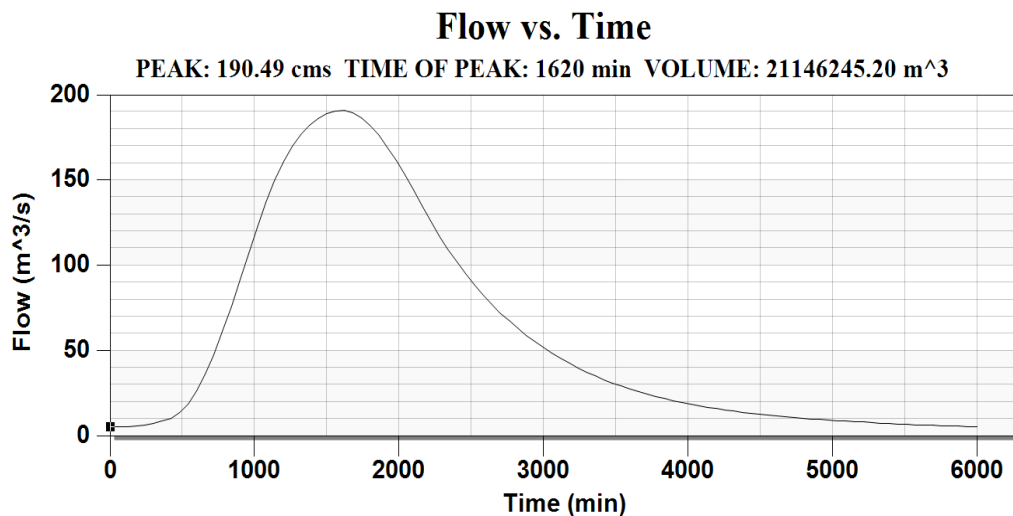
دوره	سناریو	سطح احتمال	دوره بازگشت						
			۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
دوره آتی اول	RCP4.5	۰/۵۰	۵۴/۹	۷۷/۶	۹۱/۷	۱۰۹/۲	۱۲۲/۰	۱۳۴/۷	۱۶۳/۹
		۰/۷۵	۵۹/۴	۸۳/۹	۹۹/۲	۱۱۸/۱	۱۳۲/۰	۱۴۵/۷	۱۷۷/۲
		۰/۹۰	۶۴/۸	۹۱/۵	۱۰۸/۳	۱۲۸/۹	۱۴۴/۰	۱۵۹/۰	۱۹۳/۵
	RCP8.5	۰/۵۰	۵۴/۵	۷۶/۹	۹۰/۹	۱۰۸/۳	۱۲۱/۰	۱۳۳/۶	۱۶۲/۵
		۰/۷۵	۵۸/۹	۸۳/۲	۹۸/۴	۱۱۷/۲	۱۳۱/۰	۱۴۴/۶	۱۷۵/۹
		۰/۹۰	۶۳/۷	۹۰/۰	۱۰۶/۵	۱۲۶/۸	۱۴۱/۶	۱۵۶/۴	۱۹۰/۲
دوره آتی دوم	RCP4.5	۰/۵۰	۵۴/۱	۷۶/۴	۹۰/۴	۱۰۷/۶	۱۲۰/۳	۱۳۲/۸	۱۶۱/۵
		۰/۷۵	۵۹/۹	۸۴/۶	۱۰۰/۱	۱۱۹/۲	۱۳۳/۲	۱۴۷/۰	۱۷۸/۹
		۰/۹۰	۶۶/۱	۹۳/۴	۱۱۰/۵	۱۳۱/۵	۱۴۷/۰	۱۶۲/۲	۱۹۷/۴
	RCP8.5	۰/۵۰	۵۳/۷	۷۵/۸	۸۹/۷	۱۰۶/۷	۱۱۹/۳	۱۳۱/۷	۱۶۰/۲
		۰/۷۵	۶۱/۶	۸۷/۰	۱۰۲/۹	۱۲۲/۴	۱۳۶/۸	۱۵۱/۰	۱۸۳/۸
		۰/۹۰	۷۰/۶	۹۹/۶	۱۱۷/۸	۱۴۰/۳	۱۵۶/۸	۱۷۳/۰	۲۱۰/۵
دوره گذشته (۲۰۱۸-۱۹۸۹)			۴۶/۷	۶۶/۰	۷۸/۰	۹۲/۹	۱۰۳/۸	۱۱۴/۶	۱۳۹/۴

برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر سیلاب منطقه مورد مطالعه، از مقادیر بارش طرح جدول (۴-۷) استفاده شد با وارد نمودن الگوی بارش مربوط به باران طرح به مدل ارزیابی شده WMS، هیدروگراف سیلاب ناشی از بارش‌های طرح در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم و دوره گذشته شبیه‌سازی گردید. با توجه به داشتن سه سطح ریسک، دو دوره آتی، دو سناریوی انتشار و ۷ دوره بازگشت، مجموعاً ۸۴ بارش طرح برای دوره آتی به مدل معرفی گردید و برای دوره گذشته نیز، ۷ بارش طرح (به تعداد دوره بازگشت‌های مختلف) شبیه سازی شد. برای تعیین دبی پایه رودخانه، دبی رودخانه قبل از وقوع سیلاب به عنوان دبی پایه در نظر گرفته شد. بنابراین با بررسی سیلاب‌های دوره گذشته، دبی پایه رودخانه در ماه‌های مختلف مشخص گردید و میانگین این دبی‌ها به عنوان دبی پایه رودخانه در نظر گرفته شد و در اجرای مدل برای باران‌های طرح مختلف از این دبی به عنوان دبی پایه استفاده گردید و نتایج حاصله از اجرای مدل برای دو خصوصیت اصلی مدل یعنی دبی اوج و حجم رواناب برای دوره گذشته در جدول (۴-۸) ارائه شده است و هیدروگراف مربوط به بارش طرح با دوره بازگشت ۵۰ سال به عنوان نمونه در شکل (۴-۱۵) ارائه شده است.

جدول (۸-۴) مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب برای باران طرح در دوره گذشته (۱۹۸۹-۲۰۱۸) و در دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت	دبی اوج (m^3/s)	حجم سیلاب (Mm^3)
۲	۴۹/۸	۶/۶
۵	۹۰/۷	۱۰/۸
۱۰	۱۲۰/۲	۱۳/۸
۲۵	۱۵۹/۸	۱۷/۹
۵۰	۱۹۰/۵	۲۱/۲
۱۰۰	۲۲۲/۱	۲۴/۵
۵۰۰	۲۹۸/۴	۳۲/۴

با توجه به جدول (۸-۴)، مقدار دبی اوج از حدود $50 \text{ m}^3/s$ برای بارش دو ساله تا $300 \text{ m}^3/s$ برای بارش 500 ساله متغیر می‌باشد و حجم سیلاب نیز از $6/6 \text{ Mm}^3$ تا $32/4 \text{ Mm}^3$ به ترتیب برای بارش ۲ ساله تا 500 ساله تغییر می‌کند.



شکل (۱۵-۴) هیدروگراف نتایج بارش طرح برای دوره گذشته (۲۰۱۸-۱۹۸۹) با دوره بازگشت ۵۰ ساله

در ادامه با اجرای مدل برای سناریوهای تغییر اقلیم، درصد تغییرات دبی اوج و حجم رواناب در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته تعیین و نتایج در جداول (۹-۴) تا (۱۱-۴) ارائه شده است.

جدول (۴-۹) درصد تغییرات سیلاب طرح در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته (سطح احتمال ۰/۵)

دوره	دوره بازگشت									
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰	میانگین	
دوره آبی اول	RCP4.5	q	۳۶/۲	۳۳/۲	۳۱/۶	۲۹/۹	۲۹/۱	۲۸/۳	۲۶/۸	۳۰/۷
		v	۳۴/۹	۳۲/۸	۳۱/۵	۳۰/۰	۲۹/۱	۲۸/۴	۲۶/۹	۳۰/۵
	RCP8.5	q	۳۴/۴	۳۱/۱	۲۹/۷	۲۸/۲	۲۷/۴	۲۶/۸	۲۵/۳	۲۹/۰
		v	۳۳/۱	۳۰/۸	۲۹/۶	۲۸/۳	۲۷/۵	۲۶/۸	۲۵/۴	۲۸/۸
دوره آبی دوم	RCP4.5	q	۳۲/۵	۲۹/۷	۲۸/۵	۲۶/۹	۲۶/۳	۲۵/۶	۲۴/۲	۲۷/۷
		v	۳۱/۳	۲۹/۳	۲۸/۴	۲۷/۰	۲۶/۳	۲۵/۶	۲۴/۳	۲۷/۵
	RCP8.5	q	۳۰/۷	۲۷/۹	۲۶/۸	۲۵/۲	۲۴/۷	۲۴/۰	۲۲/۷	۲۶/۰
		v	۲۹/۶	۲۷/۶	۲۶/۷	۲۵/۳	۲۴/۷	۲۴/۰	۲۲/۸۴	۲۵/۸

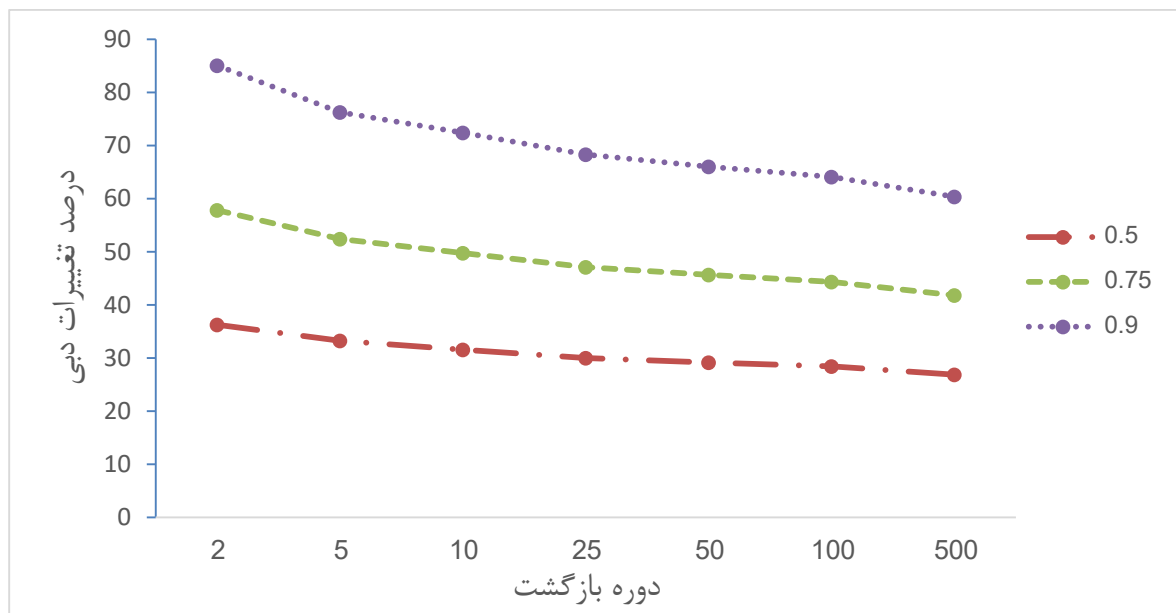
جدول (۴-۱۰) درصد تغییرات سیلاب طرح در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته (سطح احتمال ۰/۷۵)

دوره	دوره بازگشت								میانگین	
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰			
دوره آبی اول	RCP4.5	q	۵۷/۸	۵۲/۳	۴۹/۷	۴۷/۰	۴۵/۷	۴۴/۳	۴۱/۸	۴۸/۴
		v	۵۵/۸	۵۱/۸	۴۹/۶	۴۷/۱	۴۵/۷	۴۴/۴	۴۲/۰	۴۸/۱
	RCP8.5	q	۵۵/۳	۵۰/۲	۴۷/۷	۴۵/۳	۴۴/۰	۴۲/۷	۴۰/۳	۴۶/۵
		v	۵۳/۴	۴۹/۶	۴۷/۷	۴۵/۴	۴۴/۱	۴۲/۸	۴۰/۵	۴۶/۲
دوره آبی دوم	RCP4.5	q	۶۰/۳	۵۴/۵	۵۱/۹	۴۹/۲	۴۷/۷	۴۶/۲	۴۳/۷	۵۰/۵
		v	۵۸/۲	۵۳/۹	۵۱/۸	۴۹/۳	۴۷/۸	۴۶/۳	۴۳/۹	۵۰/۲
	RCP8.5	q	۶۸/۷	۶۱/۹	۵۸/۸	۵۵/۴	۵۳/۷	۵۲/۲	۴۹/۲	۵۷/۲
		v	۶۶/۴	۶۱/۴	۵۸/۸	۵۵/۶	۵۳/۸	۵۲/۳	۴۹/۶	۵۶/۸

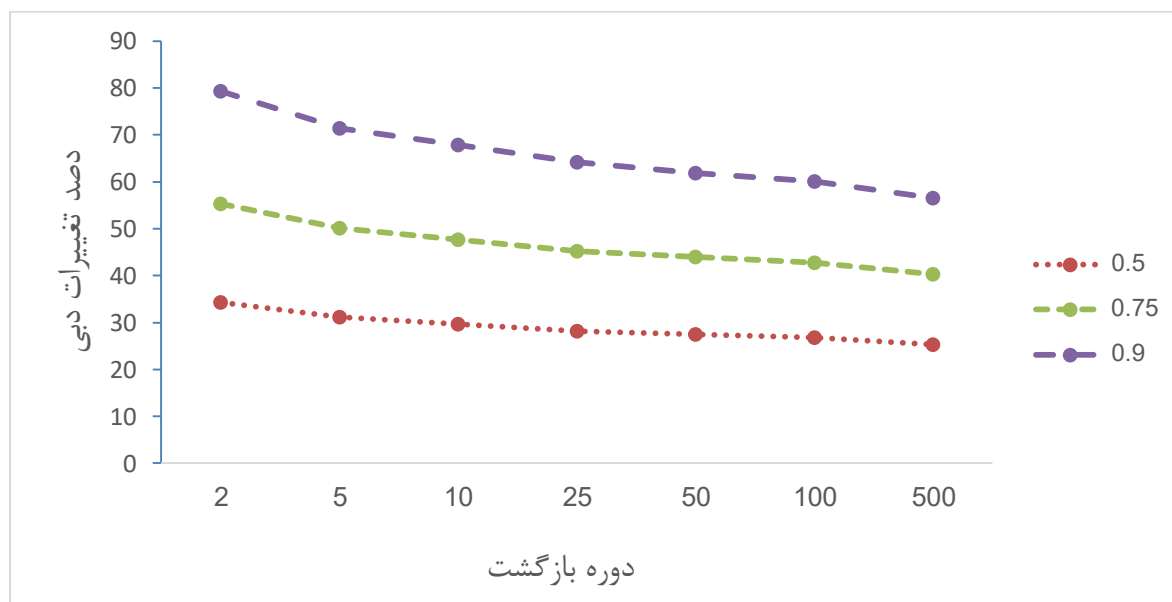
جدول (۴-۱۱) درصد تغییرات سیلاب طرح در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته (سطح احتمال ۰/۹۰)

دوره			دوره بازگشت						
			۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
دوره آتی اول	RCP4.5	q	۸۵/۱	۷۶/۲	۷۲/۴	۶۸/۳	۶۶/۰	۶۴/۱	۶۰/۳
		v	۸۲/۲	۷۵/۶	۷۲/۴	۶۸/۵	۶۶/۲	۶۴/۲	۶۰/۸
	RCP8.5	q	۷۹/۴	۷۱/۴	۶۷/۸	۶۴/۱	۶۱/۹	۶۰/۲	۵۶/۵
		v	۷۶/۷	۷۰/۸	۶۷/۸	۶۴/۳	۶۲/۰	۶۰/۳	۵۶/۹
دوره آتی دوم	RCP4.5	q	۹۱/۹	۸۲/۳	۷۷/۹	۷۳/۵	۷۱/۲	۶۸/۸	۶۴/۸
		v	۸۸/۸	۸۱/۶	۷۸/۰	۷۳/۷	۷۱/۳	۶۹/۱	۶۵/۳
	RCP8.5	q	۱۱۵/۹	۱۰۲/۵	۹۶/۹	۹۱/۳	۸۸/۲	۸۵/۲	۸۰/۱
		v	۱۱۲/۲	۱۰۱/۸	۹۶/۹	۹۱/۶	۸۸/۴	۸۵/۵	۸۰/۶

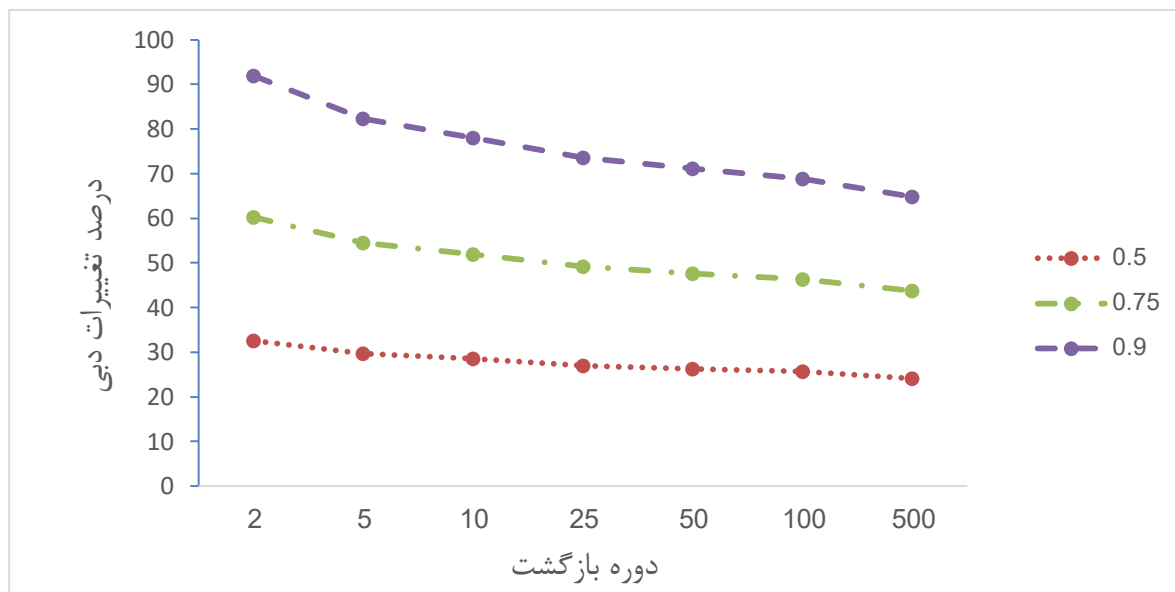
همانگونه که از جداول (۴-۹) تا (۴-۱۱) پیداست نتایج مربوط به سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آتی اول تفاوت چندانی با هم ندارند به طوریکه اختلاف درصد تغییرات دبی در این دو سناریو نسبت به دوره گذشته کمتر از ۱۰ درصد می باشد به عنوان مثال این اختلاف در سطح احتمال ۰/۵۰ برای دبی حدود ۶ درصد می باشد اما در دوره آتی دوم تحت سناریوی RCP8.5 در دو سطح احتمال ۰/۷۵ و ۰/۹۰ مقدار تغییرات دبی و حجم سیلاب نسبت به RCP4.5 بیشتر می باشد. همچنین برای تحلیل تأثیر سطوح مختلف ریسک، نمودار درصد تغییرات دبی اوج و حجم رواناب در سطوح مختلف احتمال در شکل های (۴-۱۶) تا (۴-۲۳) نمایش داده شده اند.



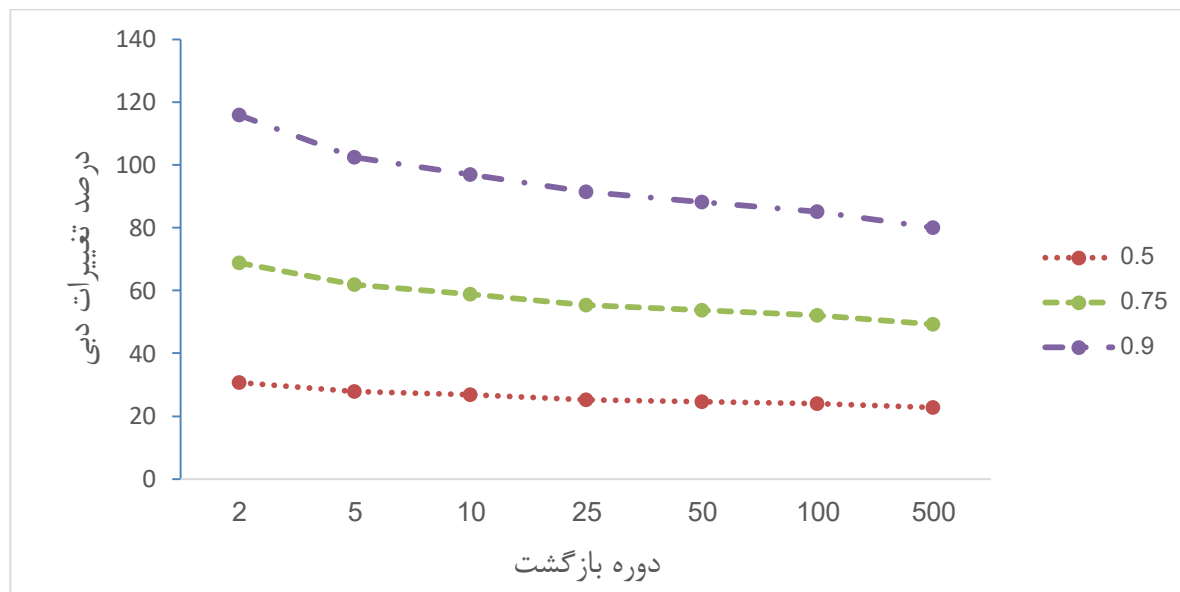
شکل (۴-۱۶) درصد تغییرات دبی طرح در سناریو RCP4.5 دوره آبی اول نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف احتمال



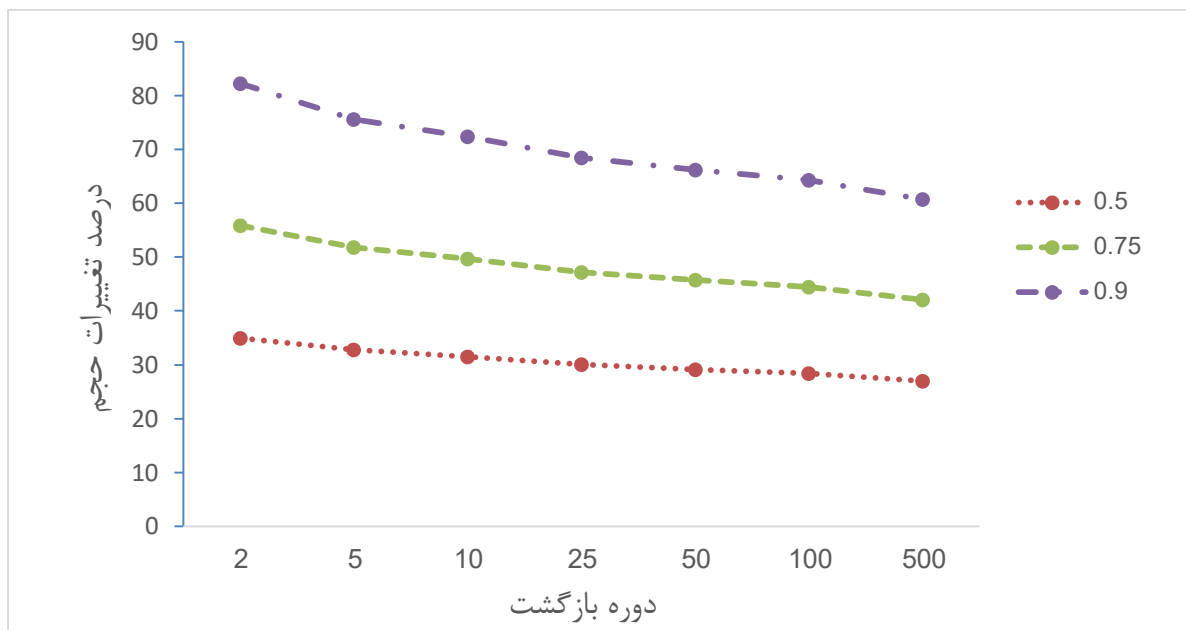
شکل (۴-۱۷) درصد تغییرات دبی طرح در سناریو RCP8.5 دوره آبی اول نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف احتمال



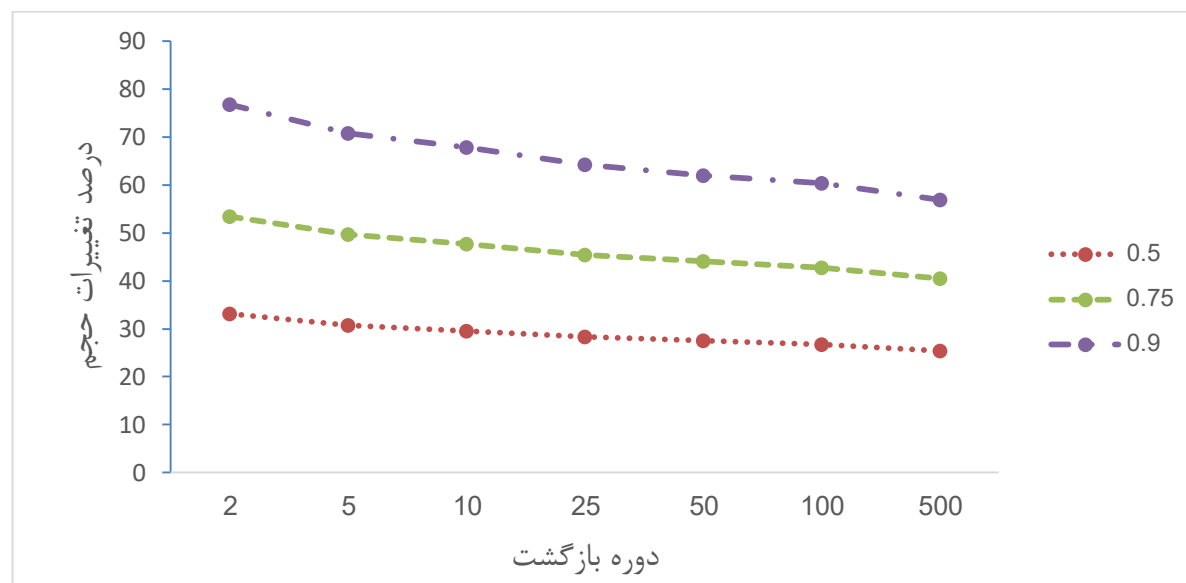
شکل (۴-۱۸) درصد تغییرات دبی طرح در سناریو RCP4.5 دوره آبی دوم نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف احتمال



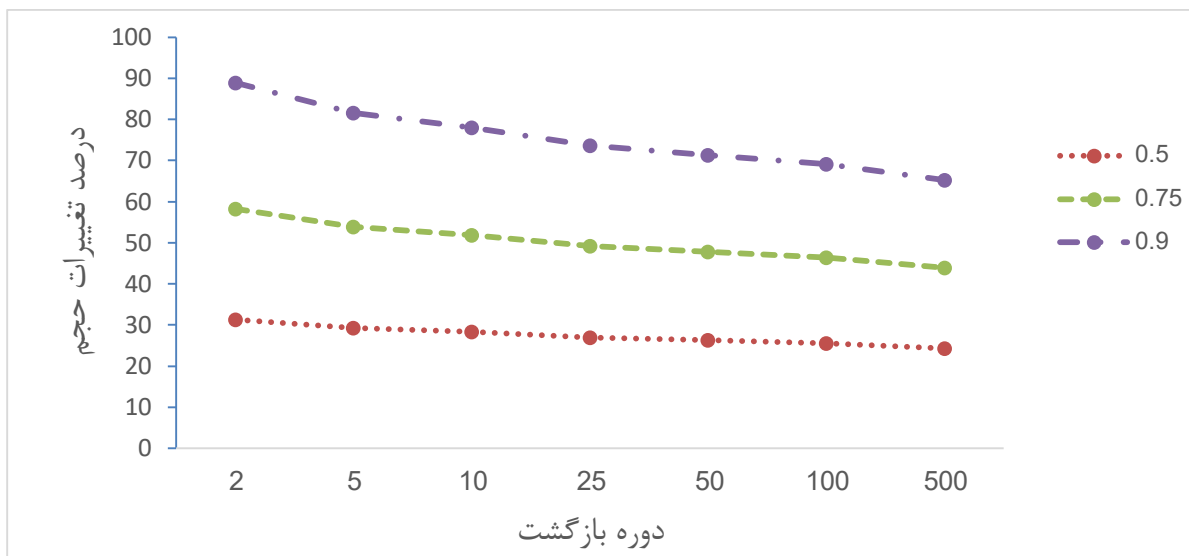
شکل (۴-۱۹) درصد تغییرات دبی طرح در سناریو RCP8.5 دوره آبی دوم نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف احتمال



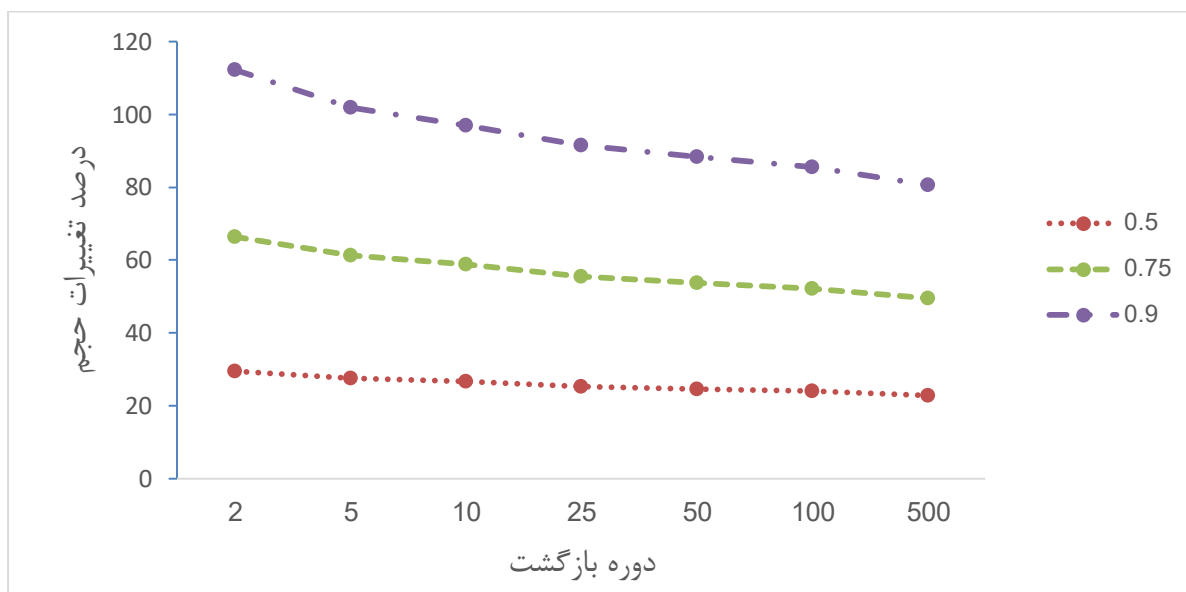
شکل (۴-۲۰) درصد تغییرات حجم طرح در سناریو RCP4.5 دوره آتی اول نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف احتمال



شکل (۴-۲۱) درصد تغییرات حجم طرح در سناریو RCP8.5 دوره آتی اول نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف احتمال



شکل (۴-۲۲) درصد تغییرات حجم طرح در سناریو RCP4.5 دوره آتی دوم نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف احتمال



شکل (۴-۲۳) درصد تغییرات حجم طرح در سناریو RCP8.5 دوره آتی دوم نسبت به دوره گذشته در سطوح مختلف احتمال

با دقت در شکل (۴-۱۶) تا (۴-۲۳) می‌توان متوجه شد که در همه سناریوها و سطوح مختلف ریسک با

افزایش دوره بازگشت بارش طرح، درصد افزایش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش می‌یابد و از طرفی دیگر با

کاهش سطح ریسک، درصد افزایش دبی اوج و حجم سیلاب نیز افزایش می‌یابد در دوره آتی اول با ریسک ۵۰/۰٪ افزایش دبی اوج در دوره بازگشت ۲ سال حدود ۳۵ درصد است که با افزایش دوره بازگشت به ۵۰۰ سال این مقدار به ۳۰ درصد می‌رسد اما با کاهش سطح ریسک به ۱۰/۰٪ افزایش دبی اوج نسبت به دوره گذشته برای بارش ۲ ساله حدود ۸۵ درصد می‌باشد این افزایش برای دبی در دوره بازگشت ۵۰ سال به حدود ۷۰ درصد می‌رسد. روند تغییرات حجم سیلاب نیز تقریباً مشابه دبی اوج می‌باشد. این مطالب در مورد سناریوی RCP8.5 در دوره آتی اول نیز صدق می‌کند. برای دوره آتی دوم سناریوی RCP4.5 تا حدودی مشابه دوره آتی اول عمل می‌کند ولی در سناریوی RCP8.5 تغییرات دبی نسبت به دوره آتی اول بیشتر است به عبارت دیگر پیش‌بینی می‌شود در صورت رخداد این سناریو افزایش بیشتری در مورد دبی و به تبع آن حجم سیلاب داشته باشیم. با توجه به نتایج ذکر شده به طور کلی می‌توان گفت در شرایط تغییر اقلیم (تحت دو سناریوی انتشار مورد بررسی) مقدار دبی و حجم سیلاب افزایش خواهد یافت و طراحی سازه‌ها بدون در نظر گرفتن این موضوع موجب بروز خسارات خواهد شد چرا که بدون در نظر گرفتن تغییر اقلیم سازه‌ها با دبی طراحی کوچکتری طراحی خواهند شد حال آنکه بروز پدیده تغییر اقلیم باعث سیلاب‌های شدیدتر خواهد شد و تحقیقاتی که در مناطق مرطوب صورت گرفته است نیز تأیید کننده نتایج این تحقیق می‌باشند از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق هلاکوا^۱ و همکاران (۲۰۱۶) اشاره نمود که برای حوضه‌ای در مرکز اسلواکی با بارش سالانه مشابه منطقه مورد مطالعه این تحقیق صورت پذیرفته است و نتیجه گرفته شده است که دبی ماهانه تحت تأثیر تغییر اقلیم در زمستان و بهار افزایش خواهد یافت. پیچوکا^۲ و همکاران (۲۰۱۷) نیز پیش‌بینی نمودند تغییر اقلیم باعث افزایش تعداد رخدادهای حدی و همچنین دبی این رخدادها می‌گردد. اتر^۳ و هکاران (۲۰۱۷) نیز برای حوضه کوهستانی سوئیس نتیجه گرفت

¹ Hlavcova et al

² Pichuka et al

³ Etter et al

که دبی در ماه‌های زمستان افزایش و در ماه‌های تابستان کاهش می‌یابد (تأثیرات سی سی بر روس برف، یخبندان و باران آینده). ژانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بررسی سه سناریوی انتشار به این نتیجه رسید که تحت شرایط تغییر اقلیم دبی حاصل از بارش‌های طرح با دوره بازگشت مختلف برای یک حوضه در شرق چین (با اقلیم مرطوب) تحت هر سه سناریوی انتشار افزایش خواهد یافت. سارکار^۲ و مایتی (۲۰۲۰) برای هند نتیجه گرفتند که حداکثر بارش محتمل برای ۷۰-۸۰ درصد مناطق هند تحت تأثیر سناریوی RCP8.5 (۲۰۷۱-۲۱۰۰) افزایش می‌یابد.

¹ Zhand et al

² Sarkar and Maity

فصل پنجم

نتیجه گیری و
ارائه پیشنهادات

در این فصل، نتایج کلی حاصل از تحقیق حاضر ارائه می‌گردد. در این تحقیق که با استفاده از ۲۲ مدل AOGCM تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5، در دو دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بابلرود مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از مدل بارش-رواناب WMS استفاده شد و نتایج زیر حاصل گردید.

بعد از آماده سازی مقدار اولیه پارامترهای واسنجی مدل، شبیه‌سازی رواناب برای سه رگبار مشاهداتی بارش در حوضه آبریز بابلرود در رخدادهای شماره ۱، ۲ و ۳ انجام پذیرفت. پارامترهای کالیبره شده مدل در این ۳ بارش به عنوان پارامترهای نهایی مدل در مرحله ارزیابی معرفی شد. دبی اوج شبیه‌سازی و مشاهداتی در مرحله واسنجی در سه رخداد بارش مورد مقایسه قرار گرفت. به طور کلی میانگین خطای مدل در شبیه‌سازی دبی اوج و حجم رواناب برای ۳ رخداد بارش مرحله واسنجی به ترتیب حدود ۵/۶ و ۳/۵ درصد تعیین گردید که می‌توان گفت مدل مورد استفاده در شبیه‌سازی دبی اوج و حجم سیلاب بسیار خوب عمل نموده است، اما در شبیه‌سازی شکل هیدروگراف خطای بیشتری مرتکب گردیده است.

جهت اعتبار سنجی مدل دو رخداد بارش دیگر مورد استفاده قرار گرفت. متوسط قدرمطلق خطای مدل در شبیه‌سازی دبی اوج و حجم سیلاب به ترتیب حدود ۵ و ۲۵ درصد تعیین شد که در مورد حجم سیلاب خطای مدل بیشتر می‌باشد اما در بازه قابل قبولی قرار دارد. به طور کلی با توجه به خطای مدل در برآورد دبی اوج و حجم سیلاب می‌توان گفت مدل با دقت خوبی این دو پارمتر را شبیه‌سازی نموده است.

در ماه‌های گرم سال که مقدار بارندگی کمتر می‌باشد، عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در تعیین ΔP ، افزایش می‌یابد. اگر چارک ۵/۰ را مبنا قرار دهیم مشاهده می‌شود که مقدار ΔP از ماه ژانویه کاهش می‌یابد و در ماه‌های گرم سال به حداقل می‌رسد و دوباره روند افزایشی به خود می‌گیرد. همچنین عدم قطعیت مدل‌های AODCM در دوره آتی دوم نسبت به دوره آتی اول بیشتر است اما در مورد دو سناریوی انتشار تفاوت چندانی ندارد.

نتایج تغییرات ΔP در سطوح مختلف احتمالاتی نشان می‌دهد که با افزایش سطح احتمال مقدار ΔP افزایش می‌یابد بطوریکه میانگین تغییر ΔP از سطح احتمال ۰/۵ به ۰/۷۵ و از سطح احتمال ۰/۷۵ به ۰/۹۰ دوره آتی اول به ترتیب حدود ۱۴ و ۱۶ درصد است در دوره آتی دوم برای سناریوی RCP4.5، افزایش ΔP از سطح احتمال ۰/۵ به ۰/۷۵ و از سطح احتمال ۰/۷۵ به ۰/۹۰ مشابه دوره آتی اول می‌باشد اما در سناریوی RCP8.5، این افزایش ΔP از یک سطح احتمال به سطح احتمال دیگر، بطور متوسط حدود ۲۲ درصد می‌باشد.

نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، در ماه‌های ژانویه، فوریه، نوامبر و دسامبر افزایش بارش را مشاهده خواهیم کرد، در دو ماه اکتبر و مارس، بارش تغییر نخواهد داشت و در بقیه ماه‌ها کاهش بارش را شاهد خواهیم بود. البته این نتیجه در مورد سطح احتمال ۰/۵۰ می‌باشد لذا با تغییر سطح احتمال نتیجه نیز متفاوت خواهد بود.

بررسی مقایسه مقادیر ΔP در دو سناریوی انتشار نشان می‌دهد در دوره آتی دوم مقدار بارش نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت.

با بررسی مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب حاصل از باران طرح در دوره گذشته مشخص گردید که مقدار دبی اوج از حدود $50 \text{ m}^3/\text{s}$ برای بارش دو ساله تا $300 \text{ m}^3/\text{s}$ برای بارش ۵۰۰ ساله متغیر می‌باشد و حجم سیلاب نیز از $6/6 \text{ Mm}^3$ تا $32/4 \text{ Mm}^3$ به ترتیب برای بارش ۲ ساله تا ۵۰۰ ساله تغییر می‌کند.

نتایج درصد تغییرات دبی اوج و حجم رواناب در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته نشان داد که سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آتی اول تفاوت چندانی با هم ندارند به طوریکه اختلاف درصد تغییرات دبی در این دو سناریو نسبت به دوره گذشته کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد به عنوان مثال این اختلاف در سطح احتمال ۰/۵۰ برای دبی حدود ۶ درصد می‌باشد اما در دوره آتی دوم تحت سناریوی RCP8.5 در دو سطح احتمال ۰/۷۵ و ۰/۹۰ مقدار تغییرات دبی و حجم سیلاب نسبت به RCP4.5 بیشتر می‌باشد.

در همه سناریوهای تغییر اقلیم با افزایش دوره بازگشت بارش طرح، درصد افزایش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش می‌یابد و از طرفی دیگر با کاهش سطح ریسک، درصد افزایش دبی اوج و حجم سیلاب نیز افزایش می‌یابد در دوره آتی اول با ریسک ۰/۵۰ افزایش دبی اوج در دوره بازگشت ۲ سال حدود ۳۵ درصد است که با افزایش دوره بازگشت به ۵۰۰ سال این مقدار به ۳۰ درصد می‌رسد اما با کاهش سطح ریسک به ۰/۱۰ افزایش دبی اوج نسبت به دوره گذشته برای بارش ۲ ساله حدود ۸۵ درصد می‌باشد این افزایش برای دبی در دوره بازگشت ۵۰ سال به حدود ۷۰ درصد می‌رسد. روند تغییرات حجم سیلاب نیز تقریباً مشابه دبی اوج می‌باشد. این مطالب در مورد سناریوی RCP8.5 در دوره آتی اول نیز صدق می‌کند. برای دوره آتی دوم سناریوی RCP4.5 تا حدودی مشابه دوره آتی اول عمل می‌کند ولی در سناریوی RCP8.5 تغییرات دبی نسبت به دوره آتی اول بیشتر است به عبارت دیگر پیش‌بینی می‌شود در صورت رخداد این سناریو افزایش بیشتری در مورد دبی و به تبع آن حجم سیلاب داشته باشیم.

به طور کلی می‌توان گفت در شرایط تغییر اقلیم (تحت دو سناریوی انتشار مورد بررسی) مقدار دبی و حجم سیلاب افزایش خواهد یافت.

پیشنهادهات

- ۱- به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب یک منطقه، عدم قطعیت بقیه منابع عدم قطعیت نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- ۲- استفاده از دیگر مدل‌های موجود در WMS جهت مطالعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی.
- ۳- از مدل‌های بارش-رواناب پیوسته نیز برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب استفاده شود.
- ۴- راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- احمدی، م.، قاسمیه، ه.، و قرمز چشمه، ب. ۱۳۹۳. بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی آبدهی سالانه حوضه‌ی آبریز قران تالار. دومین همایش ملی بحران آب، دانشگاه شهر کرد، ۸ص.
- آشفته، پ.، و بزرگ حداد، ا. ۱۳۹۲. ارائه رویکرد احتمالاتی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب. مجله مهندسی منابع آب، سال ششم، ص ۵۱-۶۶.
- آشفته، پ.، و مساح بوانی، ع. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر عدم قطعیت مدل‌های چرخه عمومی جو و اقیانوس (AOGCM) و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم، (مطالعه موردی: حوضه قرنقو، آذربایجان شرقی). تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، شماره ۲، ص ۳۶-۴۷.
- اکبرپور، ا.، شریفی، محمد.، و فلاح تفتی، ا. ۱۳۸۴. بررسی کاربرد مدل WMS در مهندسی رودخانه (مطالعه موردی: حوضه‌های بایگ و رشتخوار در استان خراسان). پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۸ص.
- الماسی، پ.، سلطانی، س.، گودرزی، م.، و مدرس، ر. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب سطحی در حوضه آبریز بازفت. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال بیستم، شماره هفتاد و هشتم، ۵۲-۳۹ص.
- پریسوز، پ.، گوهر نژاد، ح.، و معظمی، ص. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بارش-رواناب با استفاده از الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای اصلاح شده (مطالعه موردی: حوضه سد وشمگیر، گلستان). تحقیقات منابع آب ایران، سال چهارده، شماره ۳، ص ۱۷۴-۱۸۸.
- پورکاظمی، ا.، فضل‌اولی، ر.، و رائینی سرجاز، م. ۱۳۸۷. ارزیابی و واسنجی مدل WMS/HEC-HMS در حوضه آبریز کامه. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. ۷ص.
- چاو، ون، ته.، ترجمه: فروزنده، ف. ۱۳۸۸. هیدرولوژی کاربردی، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول، ص ۳۱۵-۳۱۰.
- حجازی‌زاده، ز.، آشفته، پ.، فتاحی، ا.، و غلام‌پور، ز. ۱۳۹۴. تحلیل تغییرات جریان تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه رودخانه کر. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیا، سال پانزدهم، شماره ۳۸، ۱۷ص.
- حسینی‌خواه، م.، زینی‌وند، ح.، حق‌زاده، ع.، و طهماسبی‌پور، ن. ۱۳۹۳. صحت‌سنجی مقادیر دما و بارش مدل‌های گردش عمومی در ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر و اسلام آباد غرب. اکوهیدرولوژی، شماره ۳، دوره ۱، ص ۱۹۵-۲۰۶.

- حمیدیان پور، م.، باعقیده، م.، و عباس نیا، م. ۱۳۹۵. ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱. پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۱، دوره ۴۸، ص ۱۲۳-۱۰۷.
- حمیدیان پور، م.، سلطانی، ج.، و قندهاری، ق. ۱۳۹۲. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بار و طاقان نیشابور با استفاده از برونداد مدل گردش عمومی جو ($HadCM3$). نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، کرمان، ایران.
- خرانه داری، ل.، زابل عباسی، ف.، قندهاری، ش.، کوهی، م.، و ملبوسی، ش. ۱۳۸۸. دورنمایی وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱۲، ۱۷ ص.
- دلقندی، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر محصول گندم و ارائه راهکارهای سازگاری با آن با در نظر گرفتن عدم قطعیت های مدل های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای (مطالعه موردی: جنوب خوزستان). پایان نامه دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- رزاقیان، ه.، شاهدی، ک.، و حبیب نژاد روشن، م. ۱۳۹۵. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل IHACRES. سال هفتم، شماره ۲۶، ۱۴ ص.
- سهرابیان، ا.، مفتاح هلقی، م.، قربانی، خ.، گلیان، س.، و ذاکری نیا، م. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه با دخالت مدل هیدرولوژی (مطالعه موردی: حوضه گالیکش در استان گلستان). نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۲، ۱۶ ص.
- صفوی، ح. ر. ۱۳۸۸. هیدرولوژی مهندسی، انتشارات ارکان دانش استان اصفهان، چاپ دوم ۷۲۴ ص.
- عجم زاده، ع.، و ملائی نیا، م. ۱۳۹۵. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس، با ریزمقیاس نمایی خروجی مدل های گردش جوی به وسیله نرم افزارهای SDSM و LARS-WG. تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۲، شماره ۱، ۱۵ ص.
- عصاره، ع.، و توکلی زاده، ع. ۱۳۸۵. سیستم شبیه سازی هیدرولوژی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، چاپ اول.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۹. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس، چاپ بیست و نهم، مشهد، ۹۱۲ ص.
- قبادیان، ر.، جهاننیده، ک.، و فتاحی چقباگی، ع. ۱۳۹۱. شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب در حوضه آبریز قره سو با استفاده از مدل WMS. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال سوم، شماره نهم، ۱۰ ص.

- قربانی، خ.، سهرابیان، ا.، سالاری جزی، م.، و عبدالحسینی، م. ۱۳۹۵. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر روند دبی ماهانه رودخانه با بکار بردن مدل هیدرولوژیکی IHACRES (مطالعه موردی: حوضه آبریز گالیکش). نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال پنجم، شماره چهارم، ۱۶ص.
- قهرمان، ب.، و آبخضر، ح. ۱۳۸۳. اصلاح روابط شدت- مدت- فراوانی بارندگی در ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال هشتم، شماره دوم، ۱۳ص.
- کریمی، م.، و عارف، م. ۱۳۹۷. جفت کردن مدل ریزمقیاس نمایی اقلیمی SDSM با WMS در پیش‌بینی رواناب حوضه آبریز خوانسار هرات تحت شرایط تغییر اقلیم آینده. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، سال ششم، شماره ۱، ۱۶ص.
- کیا، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی کارایی مدل SWAT در برآورد بار رسوب و رواناب در حوضه آبخیز مازندران. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۹۶ص.
- کیا، ع. ۱۳۹۱. تلفیق شبکه عصبی و فازی در برآورد بار رسوبات معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی: بابلرود). پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۲۰ص.
- گنجی خرم دل، ن.، عیوضی حسن آبادی، م.، فیروزی نظام آبادی، ف.، و غفاری، م. ۱۳۹۲. برآورد دبی پیک حوضه با استفاده از مدل WMS (مطالعه موردی: حوضه آبریز روخانه سراب دوره). کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، ۸ص.
- گودرزی، م.، صلاحی، ب.، و حسینی، ا. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل IHACRES در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، پیاپی ۴۳، ۱۰ص.
- مالمیر، م. ۱۳۹۳. ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر سناریوهای تخصیص بهینه آب. دانشگاه زابل، دانشکده علوم آب و خاک، گروه مهندسی آب.
- مالمیر، م.، محمدرضاپور، ا.، شریف‌آذری، س.، و قندهاری، ق. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قره‌سو با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HadCM3 و شبکه عصبی پویا. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۳، ۱۰ص.
- مساح بوانی، ع. ۱۳۸۵. ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب (مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود اصفهان). گزارش نهایی پایان نامه دکتری، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

- مساح بوانی، ع.، و مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره چهارم، ۱۱ ص.
- موسوی ندوشنی، س.، و داننده مهر، ع. ۱۳۸۴. سیستم مدلسازی هیدرولوژیکی HEC-HMS. انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران، چاپ اول، ۲۹۵ ص.
- نوری، ف.، بهمنش، ج.، محمدنژاد، ب.، و رضایی، ه. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل WMS/HEC-HMS در پیش‌بینی سیلاب حوضه آبریز قروه. مجله پژوهش‌های جفاف آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۴، ۱۰ ص.
- هروی، ح.، نجفی نژاد، ع.، و بهره مند، ع. ۱۳۹۹. پیش‌بینی اثر تغییرات اقلیمی روی هیدروگراف رودخانه با استفاده از مدل Wetspa (مطالعه موردی: آبخیز طالقان استان البرز). نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۱، ۱۳۴-۱۲۱ ص.
- یاراحمدی، د.، و عزیزی، ق. ۱۳۸۶. تحلیل چند متغیره ارتباط میزان بارش فصلی ایران و شاخص‌های اقلیمی. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲، ص ۱۷۴-۱۶۱.
- یعقوبی، ب.، حسینی، ع.، و نظیف، س. ۱۳۹۶. اثرات تغییر اقلیم بر رواناب خروجی از حوضه آبخیز گاوهرود با در نظر گرفتن عدم قطعیت. مجله مهندسی منابع آب، سال دهم، ۲۳ ص.
- Al-Safi, H. I. J., Sarukkalige, P. R. 2020. The application of conceptual modelling to assess the. impacts of future climate change on the hydrological response of the Harvey River catchment. Journal of Hydro-environment Research. 28(1): 22-33.
- Baede, A. P. M., Ahlonsou, E., Ding, Y., Schimel, D. 2001. The Climate System: an Overview. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C. A. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge and New York. 525-582.
- Baginska, B., Milne-Home, W., Cornish, P. S. 2003. Modelling nutrient transport in Currency Creek, NSW, with Ann-AGNPS and PEST. Environmental Modelling and Software. 18: 801-808.

- Boyer, C., Chaumont, D., Chartier, I., and Roy, A. G. 2010. Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries. *Journal of Hydrology*. 384: 65-83.
- Carter, T. R., Posch, M., and Tuomenvirta, H. 1996. The SILMU scenarios: specifying Finland's future climate for use in impact assessment. *Geophysica*. 32: 235-260.
- Croke, B. F. W., Andrews, F., Spate, J., and Cuddy, S. M. 2005. IHACRES User Guide. Technical Report. 2005/19.
- Etter, S., Addor, N., Huss, M., and Finger, D. 2017. Climate change impacts on future snow, ice and rain runoff in a Swiss mountain catchment using multi-dataset calibration. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 13: 222-239.
- Guardiola, M., Troch, P. A., Breshears, D. D., Huxman, T. E., Switanek, M. B., Durcik, M., Cobb, N. S. 2011. Decreased streamflow in semiarid basins following drought-induced tree die-off. *Journal of Hydrology*. 406:225-233.
- Gumindoga, W., Rwasoka, D., Nhapi, I., and Dube, T. 2017. Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application of the HEC-HMS model. *Physics and Chemistry of the Earth*. 371-382.
- Hlavcova, K., Stefunkova, Z., Valent, P., Kohnova, S., Vyleta, R., and Szolgay, J. 2016. Modelling The Climate Change Impact on Monthly Runoff in Central Slovakia. *Procedia Engineering*. 161: 2127-2132.
- Hreiche, A., Najem, W., and Bocquillon, C. 2007. Hydrological impact of climate change on Lebanese coastal rivers *Hydrological Sciences*. 52(6): 1119-1133.
- Huang, S., Chang, J., Huang, Q., Chen, Y., and Leng, G. 2016. Quantifying the relative contribution of climate and human impacts on runoff change based on the Budyko Hypothesis and SVM model. *Water Resour. Manage*. 30: 2377-2390.
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers. P1-18, In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.

- IPCC. 2004. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R. K., and Meyer, L. A., (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 pp.
- IPCC-TGCIA. 1999. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T. R., Hulme, M. and Lal, M., Version 1: 69pp. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment.
- Jones, P. D., and Hulme, M. 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International journal of climatology*. 16: 361-377.
- Julien, P. Y., Saghaian, B., and Ogden, F. L. 1995. Raster-based hydrological modeling of spatially-varied surface runoff. *Water resources Bulletin*. 31(3): 523-536.
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., Wehner, M. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble, *Climatic Change*. 119(2): 345-357.
- Kling, H., Fuchs, M., Paulin, M. 2012. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change. scenarios *Journal of Hydrology*. 424–425 (2012): 264–277.
- Lobell, D. B., Ortiz-Manasterio, I. 2006. Evaluating strategies for improved water use in spring wheat with CERES. *Agric. Water. Manage.* 84: 249-258.
- Marengo, J. A., Chou, S. C., Torres, R. R., Giarolla, A., Alves, L. M., Lyra, A. 2014. Climate change in central and South America: Recent trends future projections and impacts on regional agriculture. Working Paper No 73.
- Mattar, M. A., Alamoud, A. I. 2017. Gene expression programming approach for modeling the hydraulic performance of labyrinth-channel emitters. *Computers and Electronics in Agriculture*. 142: 450-460.
- Mendizabal, M., Sepulveda, j., and Trop, P. 2014. Climate change impacts on flood events and its consequences on human in Deba River. *International journal of Environment Research*. 8(1): 221-230.

- Mereu, V. 2009. Climate change impact on durum wheat in Sardinia. Ph.D. Dissertation. Agrometeorology and Ecophysiology of agricultural Systems and Forestry, XXII ciclo-UniversitadegliStudi di Sassari.
- Nelson, E. J., Jones, N. L., and Miller, A. W. 1994. Algorithm for precise drainage-basin delineation. *Journal of Hydraulic Engineering*. 120(3): 298-312.
- Pani, E. A., and Haragan, D. R. 1981. A comparison of Texas and Illinois Temporal Rainfall Distributions: 4Th Conference on Hydrometeorology, American Meteorology Society, Boston. 76-80.
- Pichuka, S., Prasad, R., and Maity, R. 2017. Development of a method to identify change in the pattern of extreme streamflow events in future climate: Application on the Bhadra reservoir inflow in India. *Journal of Hydrology. Regional Studies*. 9: 236-246.
- Ruiz-Ramos, M., and Minguez, MI. 2010. Evaluating uncertainty in climate change impacts on crop productivity in the Iberian Peninsula. *Climate Research*. 44: 69-82.
- Sarkar, S., and Maity, R. 2020. Incres in probable maximum precipitation in a changing climate over India. *Journal of Hydrology*. 585:124806.
- Setegn, s., Rayner, D., Melesse, A. M., Dargahi, B., and Srinivasan, R. 2011. Impact of climate chang on the hydro-climatology of Lake Tana basin, Ethiopia. *Water Resources Research*. 47:1-13.
- Steele-Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, Sh., Hanafin, J., and Nolan, P. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *Journal of Hydrology*. 356: 28-45.
- Su, F., Zhang, L., Ou, T., Chen, D., Yao, T., Tong, K., and Qi, Y. 2016. Hydrological response to future climate changes for the major upstream river basins in the Tibetan Plateau. *Global and Planetary Change* 136: 82-95.
- Surfleet, C. G., and Tullos, D. 2013. Variability in effect of climate change on rain-snow peak flow events in a temperate climate. *Journal of Hydrology*. 479: 24–34.
- Hosking, J. R. M., and Wallis, J. R. 1993. Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water Resources Research*. 29 (2): 271-281.

- Wilby, R. L., and Harris, I. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames. UK Water Resources Research. 42: W02419.
- Zhang, X., Xu, Y. P., and Fu, G. 2014. Uncertainties in SWAT extreme flow simulation under climate change. Journal of Hydrology. 515: 205-222.
- Zhang, Y., You, Q., Chen, C., Ge, J. 2016. Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China, Atmospheric Research. 178: 521-534.
- Zhu, Y., Wang, W., Liu, Y., & Wang, H. J. 2015. Runoff changes and their potential links with climate variability and anthropogenic activities: a case study in the upper Huaihe River Basin, China. Hydrol. Res. 46 (6): 1019-1036.

Abstract

Climate change caused by human activities leads to a significant impact on global mean temperature, sea level and extreme rainfall etc. Possible changes in runoff properties due to climate change are currently one of the main concerns in long term planning of water resource and flood protection. Therefore, it is of great importance to investigate the impact of climate change on hydrology and water resources. On the other hand, significant uncertainties exist in the analysis of the impacts of climate change on hydrological and water resources systems. Therefore, in this research impacts of climate change on runoff properties of Babelrood catchment were evaluated. For this purpose, 22 AOGCM models and two greenhouse gases emission (GHG) scenarios (RCP4.5 and RCP8.5) is selected for determination of climate change scenarios. ΔP which is long term -thirty years- precipitation differences between baseline (1971-2000) and future periods (2021-2050 and 2071-2099) at monthly scale calculated for each AOGCM model under each GHG emissions scenario. then ΔP was derived for three probability levels (0.50, 0.75 and 0.90) from Cumulative probability distribution function (CDF). Using the measured daily precipitation for the baseline period (1971-2000) and change-factor method, daily precipitation time series under 3 probability levels generated for future periods. In the next stage, design precipitation for 2, 5, 10, 25, 50, 100 and 500-year return periods was determined for past and future periods. In order to investigate the climate change impacts on runoff properties, WMS runoff-precipitation model was used. WMS model calibrated and validated using 3 and 2 rainfall events, respectively. Results showed that selected runoff-precipitation model could simulate properly peak discharge and runoff volume. It was also found that in the future periods, in the cold and warm months of the year, we will expect an increase and decrease in rainfall, respectively. Overall, it can be said that under climate change condition (in both emission scenarios), the amount of discharge and the volume of floods for design precipitation of different return periods will increase.

Keywords: runoff, climate Change, AOGCM, Downscaling, WMS/HEC-HMS Model, Babelrood catchment



Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Water Structures Engineering

Title

Assessment of Climate Change Impacts on Runoff in the Babelrood
basin

Written by: Tocktam Imani

Supervisors:

Dr. Mahdi Delghandi

Dr. Samad Emamgholizadeh

Advisor:

Dr. Zahra Ganji Norozi

February 2021