

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش حوزه سد طرق مشهد

محمد تقی دستورانی، علی طالبی، عبدالمجید حیدری، سمانه پورمحمدی

mdastorani@yazduni.ac.ir

Talebisf@yazduni.ac.ir

majid.heidari89@gmail.com

s.poormohammadi@yahoo.com

دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، ایران

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، ایران

دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه یزد، ایران

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مدیریت بیابان دانشگاه یزد، ایران

چکیده:

در سال‌های اخیر سیستم اقلیم به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای دستخوش تغییر بوده است، به طوری که این تغییر با نوسانات الگوی بارش و دما رابطه مستقیم دارد. در این مطالعه، پدیده تغییر اقلیم در حوزه سد طرق مشهد، با استفاده از مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از داده‌های بارش ماهانه دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و دو سناریوی A2 و B2 و نیز داده‌های بارش روزانه مشاهداتی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (تولید شده توسط نرم افزار Climgen)، داده‌های روزانه مربوط به دوره های آبی جهت ریز مقیاس نمائی تناسبی فراهم شدند. در نهایت، با بررسی نتایج دو سناریو ملاحظه شد که سناریوهای A2 و B2، میزان افزایش بارش را برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، به ترتیب ۱۱/۴۴ و ۱۹/۵۴ درصد و برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰، ۱۱/۸۵ و ۲۵/۰۴ درصد تخمین زدند که نشان از افزایش بارش در دوره‌های آبی دارد. در ضمن مقایسه تغییرات فصلی بارش در آینده نیز نشان داد که بارش در فصل‌های زمستان و بهار افزایش و در فصول تابستان و پاییز کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل HadCM3، سناریوهای A2 و B2، ریز مقیاس نمائی تناسبی، نرم افزار

Climgen.

مقدمه:

سیستم اقلیم، سیستمی پیچیده همراه با فعل و انفعالات بین اجزاء اتمسفر، سطح خشکی، برف و یخ، اقیانوس‌ها و دیگر منابع آبی و موجودات زنده است. مؤلفه جوی (اتمسفر) به عنوان مشخصه آشکار سیستم اقلیم تأثیر زیادی روی تغییرات سیستم اقلیم دارد.

اثر گازهای گلخانه‌ای^۱ یک فرآیند طبیعی است که نقش اصلی در شکل‌گیری اقلیم زمین بازی می‌کنند. آن‌ها محیطی نسبتاً گرم و مناسب در نزدیک سطح زمین برای بشر و دیگر اشکال زیستی که قادر به توسعه و رشد کردن هستند فراهم می‌سازند. اقلیم چه در مقیاس جهانی، چه کشور یا در سطح منطقه‌ای به عنوان ترکیب آب و هوایی که به صورت دراز مدت ثبت شده باشد تعریف می‌شود (IPCC, ۲۰۰۷).

از میان اجزاء سیستم اقلیم، اولین مدل‌سازی بر روی جو انجام گرفت، زیرا جو نسبت به بقیه اجزاء سیستم کم تراکم‌تر و پر تحرک‌تر عمل می‌کند (عساکره، ۱۳۸۶). به هر حال تا دهه ۱۹۸۰، مدل‌های کامپیوتری چرخش عمومی اقیانوس و اتمسفر، به عنوان یک ابزار اولیه در مطالعات اقلیمی استفاده می‌شد. شاید بیشترین اهمیت این موضوع، افزایش توانایی اجرای آزمایش‌های مربوط به مدل برای تعیین علل تغییر اقلیم است که خود منجر به برجسته شدن نقش مدل‌های چرخش عمومی در مناظرات سیاسی در زمینه تغییر اقلیم ناشی از دخالت انسان شد و هم اکنون نیز با فعالیت هیئت بین-الدول روی تغییر اقلیم و کنفرانس‌های اعضای کنوانسیون تغییر اقلیم که برای اولین بار در ریودوژانیرو (سال ۱۹۹۲) برگزار شد ادامه دارد (رندال، ۲۰۰۰).

^۱. Greenhouse Gases

اما برخی معیارها برای انتخاب مدل‌های اقلیمی که توسط اسمیت و هولم (۱۹۹۸) و IPCC-TGICA (۲۰۰۷) تعیین شده‌اند که شامل موارد زیر است و بکارگیری آن‌ها باعث کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها می‌شود:

۱. کیفیت بالا: مدل‌های اخیر دارای اعتبار بیشتری هستند، زیرا از آخرین دانش در ساخت آن‌ها استفاده شده است.
۲. رزولوشن: مدل‌های اخیر نسبت به مدل‌های قدیمی دارای رزولوشن بالاتری هستند. رزولوشن بالاتر مدل‌ها باعث نمایش بهتر جزئیات مکانی (برای مثال، توپوگرافی، مرزهای تعیین کننده خشکی و دریا و ...) و همچنین فرآیندهای کلیدی در تغییرپذیری اقلیم از جمله ENSO می‌شود. اما، رزولوشن بالا، لزوماً تضمین کننده عملکرد بهتر مدل نیست.
۳. اعتبار: انتخاب مدل‌ها بر مبنای اینکه به چه میزان اقلیم کنونی را درست شبیه‌سازی می‌کنند. اعتبار یک مدل به وسیله مقایسه داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی شده حاصل می‌شود.
۴. معرف نتایج باشد: بهتر است نتایج به دست آمده از تعداد بیشتری مدل چرخش عمومی که در ارزیابی تأثیر به کار رفته، نمایش داده شود. انتخاب برخی نتایج معرف، در نمایش دامنه‌ای از تغییرات یک متغیر کلیدی اقلیمی در منطقه مورد مطالعه کمک می‌کند.

- مدل HadCM3

HadCM3، یک مدل چرخش عمومی مزدوج اقیانوس-اتمسفر (AOGCM) می‌باشد که در مرکز Hadley در انگلستان توسعه یافته است. این مدل یکی از اصلی‌ترین مدل‌های استفاده شده در سومین گزارش ارزیابی IPCC (TAR) در سال ۲۰۰۱ بود. برخلاف AOGCM‌های اولیه مرکز Hadley و مراکز دیگر (حتی در HadCM2)، مدل HadCM3 نیازی به تعدیل جریان (به اضافه جریان‌های آب شیرین و گرمای مصنوعی در سطح اقیانوس) برای تولید یک شبیه‌سازی خوب ندارد. از جمله فاکتور مهم در این مدل می‌توان به رزولوشن بالای اقیانوسی HadCM3 اشاره کرد. فاکتورهای دیگر مدل شامل جفت شدن مناسب مؤلفه‌های اتمسفری و اقیانوسی و یک برنامه پیشرفته برای ادغام اقیانوس می‌باشد. مدل HadCM3، برای شبیه‌سازی دوره‌های بیش از هزار سال اجرا شده که خطای کمی در اقلیم سطحی را نشان داد.

مدل اتمسفری HadCM3 (HadAM3)، دارای رزولوشن افقی $3/75^\circ$ طول جغرافیایی $\times 2/5^\circ$ عرض جغرافیایی و رزولوشن مدل اقیانوسی (HadOM3)، $1/25^\circ \times 1/25^\circ$ درجه، دارای ۲۰ سطح و گام زمانی یک ساعته می‌باشد.

از طرف دیگر از آن جایی که ویژگی‌های سناریوی انتشار A2 بر صنعتی شدن و رشد سریع کشورها بدون توجه به محیط زیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر و B2 به حل مشکلات محلی برای رسیدن به پایداری اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی که وضعیتی نزدیک به A2 دارد تأکید می‌کند و این موضوعات به واقعیت‌های جهان امروز ما بیشتر نزدیک است و از طرفی در سطح دنیا برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب، هیدرولوژی و تأثیرات زیست محیطی از این سناریوها بیشتر استفاده می‌کنند، لذا این سناریوها از میان سناریوهای موجود برای این مطالعه انتخاب شدند.

امروزه به دلیل تأثیر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی روی بخش‌های مختلف زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی، توجه خاصی به این بخش می‌شود که در ادامه به مواردی از این مطالعات اشاره شده است.

رینارد و همکاران^۲ (۲۰۰۱) تأثیرات بالقوه تغییر اقلیم و کاربری اراضی روی خصوصیات سیلابی رودخانه‌های بزرگ انگلستان را مورد بررسی قرار دادند. مدل شبیه‌سازی جریان دائم (CLASSIC) برای ارزیابی تأثیر پتانسیل تغییرات اقلیم و کاربری اراضی روی رژیم‌های سیلابی حوضه‌های آبخیز بزرگ انگلستان استفاده شد. سناریوهای تغییر اقلیم بر مبنای آزمایشات HadCM2 از مرکز Hadley می‌باشند که برای رودخانه‌های Seven و Thames به کار برده شدند. آنچه که انتظار می‌رفت این بود که تغییر بزرگ در پوشش شهری حوضه‌ها، تأثیر زیادی روی رژیم‌های سیلابی دارد، افزایش هم در فراوانی و هم در مقادیر سیلاب پرمعنی‌تر از تغییرات صرفاً بخاطر تغییر اقلیم می‌باشد.

². Reynard et al.

پرودهوم و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه دیگری عدم قطعیت (عدم قطعیت‌ها در تغییر اقلیم از مجموعه ۲۵۰۰۰ تایی سناریوهای اقلیمی محاسبه شده‌اند که به صورت تصادفی به وسیله شبیه‌سازی Monte Carlo، با استفاده از چندین مدل تغییر اقلیم جهانی، سناریوهای انتشار SRES-98 و حساسیت‌های اقلیمی، تولید شده‌اند) و تأثیر تغییر اقلیم روی رژیم سیلابی حوضه‌های کوچک انگلستان را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه نمایش سری‌های جریان مربوط به شرایط کنونی و آینده با استفاده از مدل مفهومی هیدرولوژیکی شبیه‌سازی شدند. توزیع‌های تعمیم‌یافته پارتو با سری‌های آستانه پیک برای هر سناریو برازش داده شده و سناریوهای سیلاب آینده با شرایط کنونی برای چهار رویداد سیلاب معمولی مقایسه شدند. اکثر سناریوها نشان از افزایش در مقدار و فراوانی رویدادهای سیلاب را نشان دادند. بیشترین عدم قطعیت می‌تواند مربوط به نوع GCM مورد استفاده باشد. همچنین ضروری است که مطالعات تأثیر تغییر اقلیم بر اساس یک سری از سناریوهای اقلیمی مشتق شده از GCM‌های مختلف، مورد بررسی قرار گیرند و سیاست‌های اتخاذی صرفاً بر مبنای تعداد کمی از سناریوها صورت نگیرد.

خوش‌نفس و اسماعیل‌پور (۱۳۸۶) در بررسی روند خشکسالی با استفاده از شاخص RDI و رابطه آن با تغییر اقلیم در ایستگاه تبریز در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۲ به این نتیجه رسیدند که در تبریز زمان افزایش دما مصادف با آستانه‌های منفی شاخص خشکسالی است که بیانگر تشدید خشکسالی در سال‌های اخیر می‌باشد.

ناظم‌السادات و همکاران (۱۳۸۴) با مطالعه تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، برهمکنش با پدیده النینو نوسانات جوی، که با استفاده از روش‌های ناپارامتری من-ویتنی و مقادیر تجمعی به منظور برآورد سال تغییر با نقطه‌ی تغییر در سری‌های زمانی بارش (سالانه، شش ماهه و فصلی) مناطق جنوب و جنوب غرب ایران برای دوره‌ی زمانی ۱۹۹۹-۱۹۵۱ صورت گردید به این نتیجه رسیدند که نقطه‌ی عطف تغییر در روند بارش در نواحی مورد مطالعه، عموماً معطوف به اواسط دهه‌ی ۱۹۷۰ می‌باشد. همچنین نشان داده شد که بارش سالانه بعد از ۱۹۷۵ در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقایسه با قبل از این سال افزایش یافته و همچنین نقطه‌ی تغییر در مشاهدات بارش و نیز در سری زمانی شاخص نوسانات جنوبی هماهنگ بودند. به علاوه نتیجه‌گیری شد که پدیده‌ی النینو نوسانات جنوبی بر تغییرات اقلیمی ایران موثر است به طوری که افزایش شدت و تواتر پدیده‌ی النینو (دوره گرم) با روند افزایش فصول سرد مناطق جنوب مرکزی و جنوب غربی ایران در ارتباط می‌باشد.

بورنس و همکاران^۳ (۲۰۰۷) از آزمون ناپارامتری من‌کندال و بر اساس داده‌های درجه حرارت ۹ ایستگاه، ۱۲ ایستگاه بارندگی و ۸ ایستگاه اندازه‌گیری جریان به ارزیابی روندهای سالانه، ماهانه و چندماهه در درجه حرارت هوا، مقدار بارش، رواناب، تبخیر و تعرق (PET) در منطقه طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۲ پرداختند. یک الگوی کلی افزایش دما و بارش، رواناب و PET صعودی در منطقه مشهود است. میانگین دمای هوا سالانه منطقه‌ای، به طور معنی‌داری در هر ۵۰ سال در طول دوره موردنظر افزایش داشته است. دمای حداقل روزانه بیشترین افزایش از می تا سپتامبر و دمای حداکثر روزانه بیشترین افزایش در طول فوریه تا آوریل و بارش متوسط منطقه‌ای به طور معنی‌داری به اندازه ۱۳۶ میلیمتر در هر ۵۰ سال را نشان می‌دهد. PET متوسط منطقه‌ای نیز به طور معنی‌داری به اندازه ۱۹ میلیمتر در ۵۰ سال افزایش یافته است. پیک ذوب برف با یک روند نزولی در رواناب آوریل و یک روند افزایشی در دمای حداکثر مارس مطابقت داشت. این تغییر باعث افزایش ذخیره آب مخازن در اوایل سال می‌شود. علاوه بر این، ذخیره آب در شروع زمستان حداکثر است، که به دلیل حداکثر افزایش در بارش و رواناب که هر دو در طول تابستان و پاییز رخ می‌دهد می‌باشد. همچنین تعادل آینده بین تغییرات دمای هوا و تغییرات زمان‌بندی و مقدار بارش در منطقه دارای اهمیت خاصی در ذخیره آب موجود در منطقه دارد.

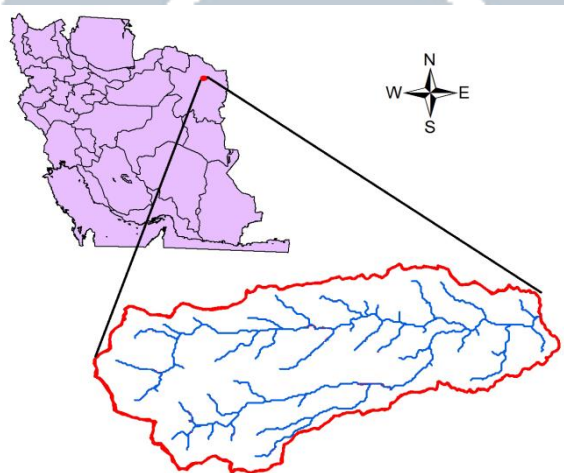
³. Burnes et al.

رانجان و همکاران^۴ (۲۰۰۶) تأثیرات تغییر اقلیم روی منابع آب شیرین زیرزمینی ساحلی را بررسی کردند. در این ارزیابی از مدل اقلیمی مرکز Hadley، HadCM3، به همراه دو سناریو انتشار کم و زیاد (A₂ و B₂) برای سال‌های ۲۰۹۹-۲۰۰۰ استفاده شد. در هر دو سناریو، کاهش منابع آب زیرزمینی آشامیدنی سالانه، یک روند طولانی مدت صعودی در همه مناطق تحت استرس به جز شمال آفریقا/منطقه صحرا را نشان می‌دهد. نتیجه مطالعه نشان داد که بارش و دما به صورت جداگانه همبستگی خوبی با کاهش آب زیرزمینی ندارند. به هر حال، ارتباط بین شاخص خشکی و کاهش آب زیرزمینی شیرین همبستگی منفی شدیدی را نشان داد. همچنین در این مطالعه تأثیرات کاهش منابع آب زیرزمینی شیرین روی فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی، مخصوصاً رشد جمعیت و سرانه هر نفر از منابع آب زیرزمینی شیرین نیز مورد بحث قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دارای مساحت ۱۳۱/۳۴ کیلومتر مربع و بین عرض جغرافیایی شمالی ۶' ۳۶° تا ۱۳' ۳۶° و طول جغرافیایی شرقی ۱۷' ۵۹° تا ۳۱' ۵۹° واقع شده است. رودخانه طرق، یکی از شاخه‌های کشف رود و مهم‌ترین تأمین کننده آب سد طرق مشهد است. سد طرق، که یک سد دو قوسی متقارن است، در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱: نمائی از حوزه سد طرق مشهد

در این مطالعه از داده‌های روزانه چهار ایستگاه باران سنجی و تبخیر سنجی (کرتیان، کلاته رحمان، اولنگ اسدی و مشهد) استفاده گردید، که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

⁴. Ranjan et al.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی و تبخیرسنجی مورد استفاده

نام ایستگاه	ارتفاع ایستگاه (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
کرتیان	۱۲۴۰	۵۹° ۳۰' ۴۰"	۳۶° ۱۰' ۲۴"
مشهد	۹۹۰	۵۷° ۱۰' ۳۵"	۳۷° ۴۵'
اولنگ اسدی	۹۰۰	۵۹° ۴۸' ۲۸"	۳۶° ۱۵' ۱۶"
کلاته رحمان	۱۶۱۰	۵۷° ۸' ۳۹"	۳۸° ۳' ۲۲"

- روش تحقیق

ابتدا داده‌های روزانه‌ی بارش ایستگاه‌هایی (ایستگاه‌های مشهد، کرتیان، اولنگ اسدی و کلاته رحمان) که داخل و اطراف حوزه می‌باشند اخذ گردید، سپس برای تست همگنی داده‌های سالانه، از روش RUNS TEST و از روش گرادیان بارش - ارتفاع برای انتخاب ایستگاه شاخص که بیشترین همبستگی با متغیرهای دما و بارش حوزه مورد نظر داشته باشد استفاده شد. در نهایت با محاسبه همبستگی بین داده‌های متوسط دما و بارش ماهانه ایستگاه‌ها با داده‌های متوسط ماهانه حوزه، علی‌رغم همبستگی مناسب و نزدیک دو ایستگاه مشهد و کرتیان، ایستگاه مشهد به دلیل طولانی بودن آمار و سینوپتیک بودن، به عنوان ایستگاه شاخص شناخته و از آن برای کسب داده‌های روزانه دما و بارش، برای ارتفاع متوسط وزنی حوزه (۱۷۶۶٫۷۹ متر)، در دوره پایه ۱۹۶۰-۱۹۶۱ استفاده شد. داده‌های مورد نیاز برای نرم افزار ClimGen شامل، داده‌های روزانه دما (حداکثر و حداقل) - بارش مشاهداتی (۱۹۶۰-۱۹۶۱) و داده‌های ماهانه دما (حداکثر و حداقل) - بارش سناریوهای A2 و B2 مربوط به HadCM3 در مدت مشابه یعنی دوره (۱۹۶۰-۱۹۶۱) می‌باشند. با استفاده از دو رابطه زیر، داده‌های دما و بارش HadCM3 (سناریوهای A2 و B2) در دوره آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۹) و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ کالیبره شده و با مقایسه آن با داده‌های مشاهداتی، تغییرات الگوی دما و بارش در حوزه سد طرق مورد بررسی قرار گرفتند.

$$\Delta P_i = \frac{\bar{P}_{obs,i}}{\bar{P}_{GCM,obs,i}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\bar{P}_{GCM,FUT,i(cal)} = \bar{P}_{GCM,FUT,i} * \Delta P_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

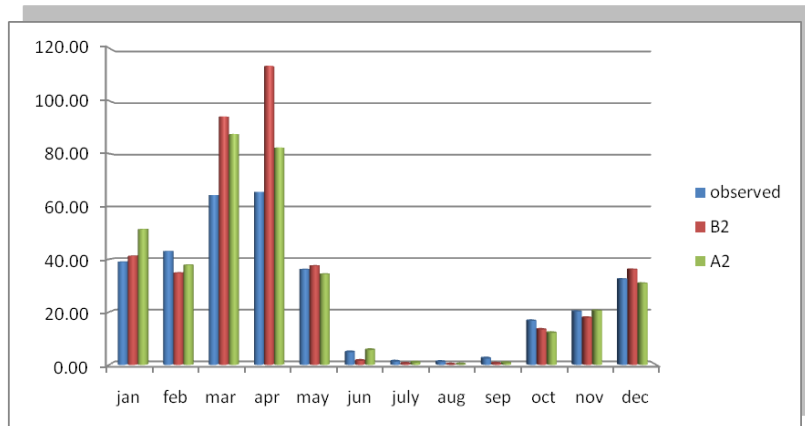
در روابط فوق ΔP_i ضریب بدست آمده از تقسیم دمای متوسط ماهانه مشاهداتی ($\bar{P}_{obs,i}$) به دمای متوسط ماهانه شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 در دوره پایه (۱۹۶۰-۱۹۶۱) حاصل از نرم افزار ClimGen می‌باشد که در رابطه دوم برای کالیبره کردن داده‌های دمای متوسط ماهانه شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 در دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ ($\bar{P}_{GCM,FUT,i}$) استفاده می‌شود. این رابطه‌ها برای متغیر بارش نیز صادق می‌باشد.

- نتایج و بحث

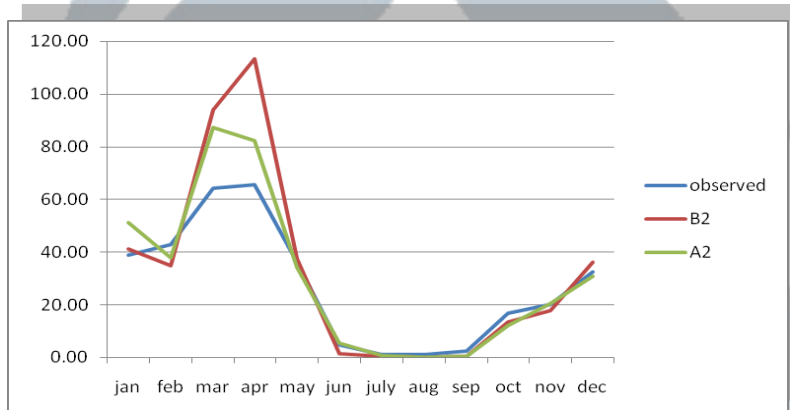
دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹:

هر دو سناریو به صورت مشترک برای ماه‌های تابستان (ژولای، آگوست و سپتامبر) و اکتبر و فوریه کاهش بارندگی را برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ پیش‌بینی کردند (شکل ۲ و ۳). اما در مجموع، بارش متوسط سالانه و ماهانه در این دوره روند افزایشی را دارد. میزان بارش متوسط سالانه پیش‌بینی شده برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ برای دو سناریو A2 و B2، به ترتیب

۳۶۴/۳۲ و ۳۹۰/۸۳ میلیمتر می‌باشد، در مقابل میزان بارندگی مشاهداتی ۳۲۶/۹۳ میلیمتر است. در نتیجه میزان افزایش در این دوره، ۱۱/۴۴ تا ۱۹/۵۴ درصد می‌باشد.



شکل ۲: تغییرات بارش متوسط ماهانه حاصل از دو سناریو (۲۰۱۰-۲۰۳۹) و بارش مشاهداتی



شکل ۳: نمودار خطی مقادیر بارش متوسط ماهانه حاصل از دو سناریو (۲۰۱۰-۲۰۳۹) و بارش مشاهداتی

از نظر تغییرات فصلی، ملاحظه شد که در فصل‌های زمستان و بهار افزایش بارندگی وجود خواهد داشت. دو سناریو، میزان افزایش بارش در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ را برای فصول زمستان و بهار به ترتیب، ۷/۳ تا ۹/۳ درصد و ۴/۸۴ تا ۱۴/۰۲ درصد پیش‌بینی کردند. دامنه افزایش بارش در جدول (۲) ارائه شده است، همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان افزایش بارش در فصل بهار حداکثر و فصل زمستان در رتبه بعد قرار گرفته است.

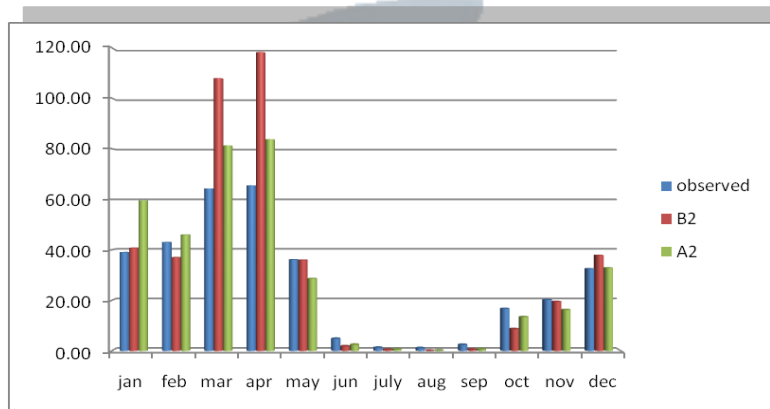
جدول ۲: تغییرات بارش فصلی داده‌های مشاهداتی و دو سناریو A2 و B2 (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

	(mm) B2	(mm) A2	مشاهداتی	اختلاف (mm)
زمستان	۱۷۰/۰۵	۱۷۶/۶۵	۱۴۶/۲۴	۳۰/۴۱ تا ۲۳/۸۱
بهار	۱۵۲/۲۹	۱۲۲/۳	۱۰۶/۴۶	تا ۱۵/۸۴ ۴۵/۸۳
تابستان	۰/۹۹	۱/۷۷	۴/۷۷	-۳ تا -۳/۷۸
پاییز	۶۷/۴۹	۶۳/۶۱	۶۹/۴۶	تا -۵/۸۵ -۱/۹۷

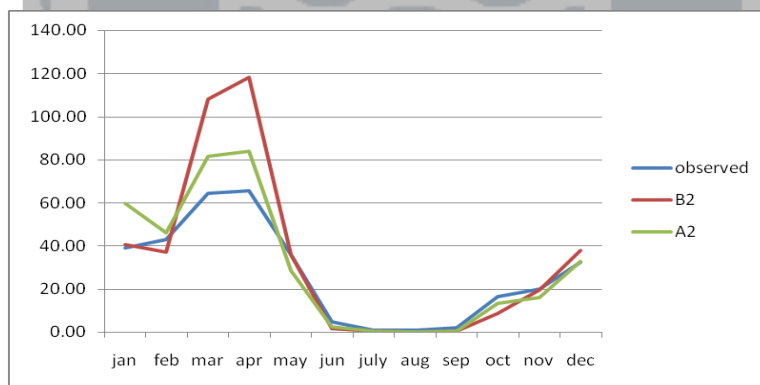
دوره آبی ۲۰۴۰-۲۰۶۹:

از لحاظ تغییرات بارش این دوره، هر دو سناریو به صورت مشترک برای ماه‌های تابستان (ژوئیه، اگوست و سپتامبر) و ماه‌های می، ژوئن، اکتبر و نوامبر کاهش بارندگی را پیش‌بینی کردند. اما در مجموع، بارش متوسط سالانه و ماهانه در این دوره نیز مانند دوره قبل روند افزایشی را دنبال می‌کند (شکل ۴ و ۵).

میزان بارش متوسط سالانه پیش‌بینی شده برای این دوره، برای دو سناریو A2 و B2، به ترتیب ۳۶۵/۶۹ و ۴۰۸/۸۰ میلی‌متر می‌باشد، در مقابل میزان بارندگی مشاهداتی ۳۲۶/۹۳ میلی‌متر است. در نتیجه میزان افزایش در این دوره، ۱۱/۸۵ تا ۲۵/۰۴ درصد می‌باشد.



شکل ۴: تغییرات مقادیر بارش متوسط ماهانه حاصل از دو سناریو (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و بارش مشاهداتی



شکل ۵: نمودار خطی تغییرات مقادیر بارش متوسط ماهانه حاصل از دو سناریو (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و بارش مشاهداتی

از نظر تغییرات فصلی، ملاحظه شد که در فصل‌های زمستان و بهار افزایش بارندگی وجود خواهد داشت. دو سناریو، میزان افزایش بارش را در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹، برای فصول زمستان و بهار به ترتیب، ۱۲/۱ تا ۱۲/۴۲ درصد و ۲/۶ تا ۱۵/۱۵ درصد پیش‌بینی کردند (جدول ۳).

جدول ۳: تغییرات بارش فصلی داده‌های مشاهداتی و دو سناریو A2 و B2 (۲۰۴۰-۲۰۶۹)

	(mm) B2	(mm) A2	مشاهداتی (mm)	اختلاف (mm)
زمستان	۱۸۵/۶۷	۱۸۶/۸۳	۱۴۶/۲۴	۳۹/۴۳ تا ۴۰/۶۲
بهار	۱۵۶/۰۱	۱۱۴/۸۷	۱۰۶/۴۶	۴۹/۵۵ تا ۸/۴۱
تابستان	۱/۰۹	۱/۴۱	۴/۷۷	-۳/۳۶ تا -۳/۶۸
پاییز	۶۶/۰۳	۶۲/۵۸	۶۹/۴۶	-۳/۴۳ تا -۶/۸۸

از داده‌ها و اطلاعات ارائه شده در فوق می‌توان ملاحظه کرد که برای متغیر بارش، سناریوی B2 بارش بیشتری نسبت به سناریوی A2 پیش‌بینی کرده است.

نتیجه:

نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر، روند افزایشی بارش در حوزه سد طرق مشهد را نشان می‌دهد. سناریوهای A2 و B2 میزان افزایش بارش را برای دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، به ترتیب ۱۱/۴۴ و ۱۹/۵۴ درصد و برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰، به ترتیب ۱۱/۸۵ و ۲۴/۰۵ درصد پیش‌بینی کردند. همچنین تغییر در الگوی بارش نیز علاوه بر مزایای آن که باعث افزایش منابع آبی (بورنس و همکاران، ۲۰۰۷) در منطقه می‌شود، ممکن است پدیده‌های سیلاب (لین و همکاران، ۱۹۹۹؛ گلنز و رولین، ۱۹۹۸) و به تبع آن افزایش رسوب سد طرق و تخریب منابع طبیعی و کشاورزی منطقه را تشدید نماید. لذا برنامه‌ریزی در جهت کاهش اثرات منفی و تقویت اثرات مثبت ناشی از بارش، می‌تواند باعث حفظ منابع طبیعی و سازگاری بیشتر با این پدیده جهانی شود.

منابع:

- عساکره، ح. ۱۳۸۶. تغییر اقلیم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه زنجان.
- خوش نفس، خ.، اسمعیل پور، م. ۱۳۸۶. بررسی روند وقوع خشکسالی با استفاده از شاخص RDI و رابطه آن با تغییر اقلیم در ایستگاه تبریز. کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب.
- ناظم السادات، س.م.ج.، سامانی، ن.، مولایی نیکو، م. ۱۳۸۴. تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، برهمکنش با پدیده النینو نوسانات جنوبی. مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۲، ص ۹۷-۸۱.
- Burns, D., Klaus, J. and Mchale, M. (2007). Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, NEW YORK, USA. *Journal of Hydrology*, 336: 155-17.
- Gellens, D. and E. Roulin. 1998. Stream flow response of Belgian to IPCC climate change scenarios. *J. Hydrol.* 210: 242-258.
- Lane, M. E., P. H. Kirshen., R. M. Vogel. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *ASCE, J. Water Resour. Planning and Manag.* 125(4): 194-204.
- Prudhomme, C., Jakob, D. and Svensson, C. (2003). Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. *Journal of Hydrology*, 277: 1-23.
- Randall, D. A., 2000. General Circulation Model Development. Academic press, Colorado State university, pp:1-849.
- Ranjan, P., Kazama, S. and Sawamoto, M. (2006). Effects of climate change on coastal fresh ground water resources. *Global Environmental Change*, 16: 388-399.
- Reynard, N.S., Prudhomme, C. and Crooks, S.M. (2001). The flood characteristics of large U.K. Rivers: Potential effects of changing climate and landuse. *Climate Change*, 343-359.
- Smith, J.B. and M. Hulme, 1998: Climate change scenarios. In: UNEP Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Studies [Feenstra, J.F., I. Burton, J.B. Smith, and R.S.J. Tol (eds.)], United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, and Institute for Environmental Studies, Amsterdam, pp. 3-1 - 3-40.

Abstract

During the recent years climate system has been changed mostly due to the greenhouse gases increase. In this research climate change has been evaluated in Toroq dam watershed using HadCM3 model and the A2 and B2 scenarios. Using monthly precipitation data of 1961-1990 and the scenarios A2 and B2 as well as daily precipitation data (produced by Climgen software), daily precipitation data of the next decades were prepared and downscaled. Finally, evaluation of the results indicated 11.44 and 19.54 percent respectively for scenarios A2 and B2 for the period 2010 to 2039, and for the period 2040 to 2069 the amount of increase is 11.85 and 25.04. Results also show that the increase in precipitation occurs in winter and spring seasons while for summer and autumn seasons the amount of precipitation would be decreased.

