

گزارش فنی

پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی ناشی از تغییر اقلیم، مطالعه موردی: حوزه آبخیز بلغور سد کارده

عباسعلی محمدیان^{۱*}، علی طالبی^۲، مسعود گودرزی^۳ و ابوالفضل عبدالهی^۴

^۱ کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ^۲ دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ^۳ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، ^۴ دانشجوی دکتری مدل‌سازی پیشرفته و GIS، دانشگاه تکنولوژی سیدنی استرالیا

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۶

چکیده

از مدل‌های مولد اقلیمی در دامنه وسیعی از مطالعات از قبیل تغییر اقلیم، هیدرولوژی، محیط زیستی و ارزیابی ریسک در کشاورزی استفاده می‌شود. این مدل‌ها قادرند سری‌های زمانی مصنوعی در مقیاس روزانه با طول دوره مناسب را ایجاد کنند. در این تحقیق، داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 با به‌کارگیری مدل LARS-WG با سناریوهای B1، A2 و A1B ریزمقیاس شده، تغییرات ماهانه و فصلی بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه حوضه بلغور سد کارده مشهود در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دمای کمینه و بیشینه ماهانه پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه دارای تغییرات افزایشی می‌باشد. تغییرات دمای کمینه و بیشینه فصلی پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه مثبت بوده، این تغییرات، برای فصل بهار و تابستان، بیشتر از دو فصل دیگر هستند. تغییرات دمای کمینه دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ بیشتر از تغییرات دمای بیشینه خواهد بود. این مطلب بیانگر این است که تغییرات دمای متوسط دوره آتی بیشتر تحت تأثیر افزایش دمای کمینه خواهد بود. همچنین، نتایج نشان از کاهش بارش برای سناریوهای B1 و A1B و افزایش بسیار ناچیز بارش برای سناریوی A2 را می‌دهد. با توجه به نتایج سه سناریو می‌توان به‌صورت کلی بیان داشت که در دوره فوق بارش کاهش و دمای کمینه و بیشینه افزایش خواهد یافت. بنابراین، با توجه به این امر و آگاهی از اثرات منفی مستقیم و غیر مستقیم تغییر اقلیم بر محیط و سایر بخش‌ها برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استراتژیک برای مدیریت شرایط جدید امری اجتناب‌ناپذیر و ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: تغییر دما، ریزمقیاس‌نمایی، مدل گردش عمومی جو HADCM3، مدل LARS-WG، GCM.

مقدمه

دمای کره زمین، سطح آب اقیانوس‌ها شده که نهایتاً موجب افزایش تبخیر و تغییر در الگوها و نوع و مقدار بارش در سطح جهان می‌شود. به‌دلیل تغییر الگوهای فشاری، برخی نقاط با کاهش بارش مواجه خواهند شد و در برخی نقاط دیگر، حجم و شدت بارش افزایش خواهد یافت. مهمترین تبعات تغییر اقلیم تأثیرگذاری

اقلیم سامانه پیچیده‌ای است که عمدتاً به‌دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است. تغییر اقلیم به آرامی در حال گسترش است و بر منابع آب، کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای اثر می‌گذارد. افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش

تغییرات اقلیمی افزایش پیدا کرد. این امر به طور عمده به علت افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، شهرنشینی، جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی می‌باشد (Cut Forth و همکاران، ۱۹۹۹). به دلیل رشد سریع جمعیت، مناطق وسیعی از جنگل‌ها تخریب و به زمین‌های زراعی تبدیل شده‌اند (Hajabbasi و همکاران، ۱۹۹۷). در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی، به ویژه گرم شدن زمین بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بنابر گزارش IPCC، مدل‌های اقلیمی جهانی GCM، افزایش شدت بارش‌های سنگین در اثر گرمایش جهانی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهند (Houghton و همکاران، ۱۹۹۵).

روش آماری ریزمقیاس کردن در مقایسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل موثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. بعضی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی عبارتند از: CLIMGEN، SDSM، Roll و MET، GEM، USCLIMATE، LARS-WG و Abdo و همکاران، ۲۰۰۹).

مدل‌های گردش عمومی^۳ با وجود برخی کاستی‌های موجود در آن‌ها، مطمئن‌ترین ابزار برای پیش‌بینی وضعیت آینده اقلیمی جهان می‌باشند. اساس کار کلیه مدل‌های گردش عمومی بر گرمایش جهانی و اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای استوار است و پیامدهای بعدی اقلیمی همگی بر اساس افزایش دمای سطح زمین پیش‌بینی می‌شوند (Moen و همکاران، ۱۹۹۴). مدل‌های گردش عمومی با شبیه‌سازی تأثیر افزایش درجه حرارت بر چرخه خشکی-اقیانوس-اتمسفری قادرند شدت و وسعت بروز تغییرات اقلیمی آینده را برای مناطق مختلف جهان پیش‌بینی کنند. تا کنون تحقیقات زیادی در زمینه تغییر اقلیم انجام گرفته است که از آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

در مطالعه‌ای به وسیله Soltani و همکاران (۲۰۰۸)، تغییر اقلیم در استان خراسان در دوره زمانی ۲۰۰۴-۱۹۵۰ مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها روندی

آن بر پدیده‌های حدی جوی نظیر طوفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام خواهد بود. به طوری که انتظار می‌رود پدیده‌های حدی در طی دهه‌های آینده روند افزایش داشته باشد (Babaian و همکاران، ۲۰۰۹).

عوامل مختلفی باعث بر هم خوردن شرایط حاکم بر اجزاء مختلف سامانه اقلیم کره زمین می‌شود که می‌تواند تأثیراتی را بر اجزاء دیگر بگذارد. در بین این عوامل، تنها عاملی که به صورت غیرطبیعی بر سامانه اقلیم کره زمین تأثیر می‌گذارد، افزایش گازهای گلخانه‌ای^۱ است. این افزایش سبب می‌شود تا امواج مادون قرمز ساطع شده از زمین بیش از پیش به وسیله گازهای گلخانه‌ای جذب شده و باعث گرم‌تر شدن جو شود. گرم‌تر شدن جو نیز به نوبه خود بر وضعیت اجزاء دیگر سامانه اقلیم تأثیر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم^۲ را موجب می‌شود (IPCC، ۲۰۰۷).

از آن‌جا که تغییر اقلیم آینده به شدت گرمایش جهانی بستگی دارد، پیش‌بینی درجه حرارت آینده زمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سناریوهای مختلف مدل‌های گردش عمومی، افزایش درجه حرارت کره زمین برای سال ۲۰۶۰ میلادی را بین دو تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی کرده‌اند (Giorgi و Mearns، ۱۹۹۱). در حالی که آخرین گزارش هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC) میانگین افزایش دما برای سال ۲۰۶۰ را در حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد کرده است (IPCC، ۲۰۰۱). چنانچه غلظت گازهای گلخانه‌ای با سرعت فعلی (۰/۷ در سال) افزایش یابد تقریباً اغلب مدل‌های موجود برای افزایش میانگین دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی حدود دو درجه سانتی‌گراد است (Karl و همکاران، ۱۹۹۷). با وجود عدم قطعیت در این پیش‌بینی‌ها، باید به خاطر داشت که چنانچه درجه حرارت فعلی یک درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، کره زمین به گرم‌ترین دمای خود در طی ۱۰ هزار سال گذشته خواهد رسید (Saunders، ۱۹۹۹).

اقلیم کره زمین در طول تاریخ همواره در حال تغییر بوده است. با شروع انقلاب صنعتی نقش بشر در

¹ Greenhouse gases

² Climate change

³ General Circulation Models (GCM)

استفاده، افزایش بارش را در قسمت‌های شمالی و جنوبی و کاهش ۴۰ درصدی در بارش را برای مناطق جنوب شرقی کشور پیش‌بینی کردند. آن‌ها میزان افزایش دما را از $3/2$ تا $4/6$ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای سناریوهای A2 و B2 پیش‌بینی کردند. آن‌ها همچنین نشان دادند که سناریوی A2 بحرانی‌ترین وضعیت را در آینده نشان خواهد داد. Abbasi و همکاران (۲۰۱۰)، در تحقیقی به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G پرداختند. نتایج کل بررسی‌های حاکی از این تحقیق، افزایش چهار درصدی بارش در استان، کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین دمای سالیانه در حدود $0/3$ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سانتی‌گراد است. Dousti و همکاران (۲۰۱۳) برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در حوضه تمر استان گلستان داده‌های مدل HADCM3 تحت دو سناریوی A2 و A1B ریزمقیاس کردند. نتایج نشان داد که میانگین دما با در نظر گرفتن سناریوی A2، $2/48$ درجه سلسیوس و با در نظر گرفتن سناریوی A1B، $2/43$ درجه افزایش خواهد یافت. همچنین، نتایج از افزایش ۱۶ درصدی بارش در سناریوی A2 و دو درصدی بارش در سناریوی A1B در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ دارد. همین‌طور میزان ساعت‌های آفتابی در دوره بررسی و با در نظر گرفتن هر دو سناریو کاهش خواهد یافت. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۴)، با ریزمقیاس‌سازی آماری، داده‌های خروجی مدل CCSM4 به کمک LARS-WG پارامترهای اقلیمی پیشینه دما و کمینه دما تحت سناریوی RCP4.5 در افق سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۹ شبیه‌سازی شد. یافته‌ها نشان داد که در دوره آبی متوسط دما در تمامی ماه‌های سال، افزایشی بین $1/7$ تا $2/5$ درجه سانتی‌گراد داشته، تا پایان سال ۲۰۳۹ ادامه می‌یابد. Kumar و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که مدل LARS-WG دارای دقت کافی در ریزمقیاس کردن داده‌های نقطه‌ای بارش دارد، همچنین، برای تجزیه و تحلیل آثار تغییر اقلیم روی هیدرولوژی حوضه مفید می‌باشد.

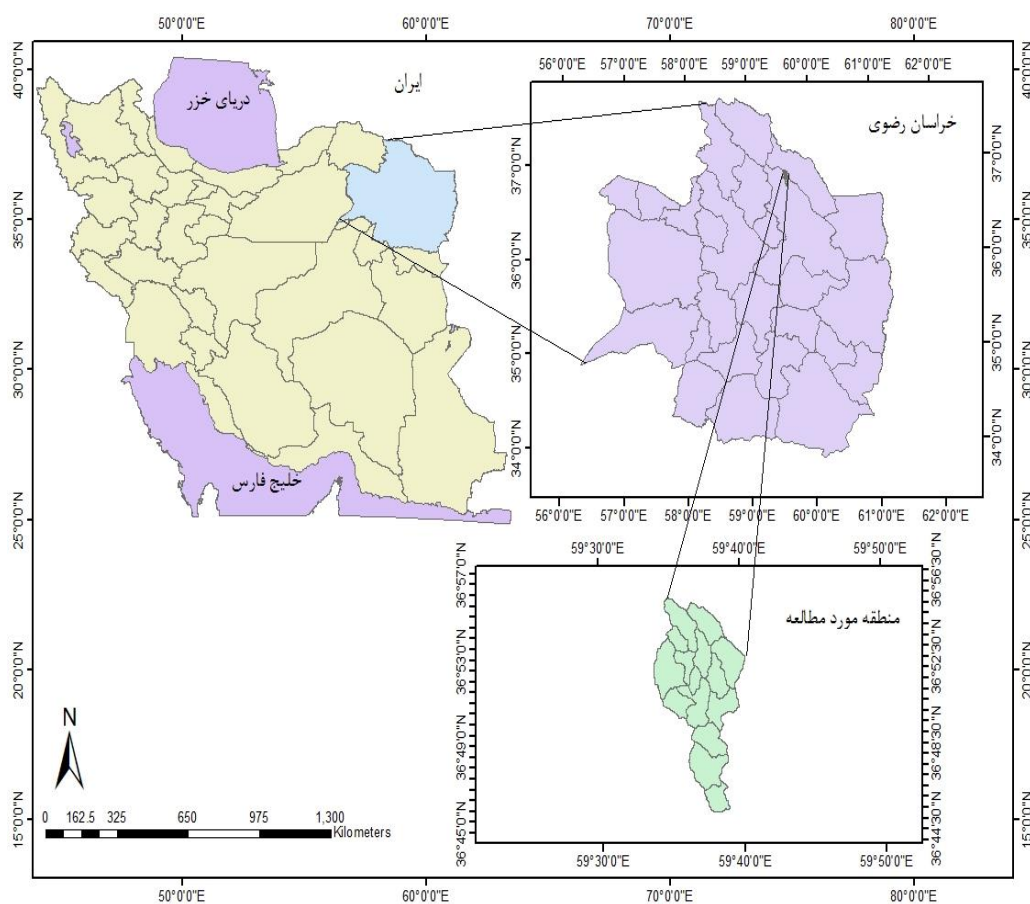
افزایشی کمینه و بیشینه دما را طی دهه‌های گذشته در شهر مشهد به دلیل پیشرفت صنعتی و شهری مشاهده کردند. Abdo و همکاران (۲۰۰۹)، برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی (کمینه و بیشینه دما و بارش) از مدل گردش عمومی HADCM3 برای ریزمقیاس کردن از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری برای دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 استفاده کردند. نتایج نشان دادند که برای دوره زمانی ۲۰۷۱-۲۰۹۹ حجم رواناب برای فصل بارندگی با سناریوهای A2 و B2 به ترتیب $11/6$ و $10/1$ درصد کاهش خواهد یافت. آن‌ها همچنین نشان دادند که رواناب فصلی و سالیانه زمانی که دما دو درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش ۲۰ درصد کاهش یابد، تقریباً ۳۳ درصد کاهش می‌یابد. Sanikhani و همکاران (۲۰۱۴)، برای پیش‌بینی تغییر اقلیم بر مبنای گردش عمومی (GCM) از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی استفاده کردند. با استفاده از LARS-WG تغییر اقلیم در حوضه آبی‌چای با به‌کارگیری مدل HADCM3 و سناریوهای A2، A1B و B1 در افق ۲۰۵۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه بودند. Babaeian و همکاران (۲۰۰۶)، از مدل ENCHO_G تحت سناریوی A1 برای ارزیابی تغییرات اقلیمی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل LARS-WG استفاده کردند. نتایج کلی بررسی‌های آن‌ها برای دهه ۲۰۲۰ نشان‌دهنده کاهش نه درصدی بارش و افزایش میانگین سالانه دما در حدود $0/5$ درجه سانتی‌گراد است که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به ماه‌های سرد سال است. همچنین، استان‌های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود. Abbaspour و همکاران (۲۰۰۹)، مدل CGCM 3.1 را تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 برای پیش‌بینی بارش و دما در ایران استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییرات بارش در ماه‌های پاییز بیشتر از ماه‌های تابستان خواهد بود. آن‌ها برای دو دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت تمامی سناریوهای مورد

A1B در حوضه بلغور سد کارده مشهود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد پژوهش: این حوضه در نزدیکی شهرستان مشهد در محدوده شمال غربی آن قرار دارد. مساحت این حوضه ۹۳/۲ کیلومتر مربع و محیط آن ۵۵/۲۰۳ کیلومتر می‌باشد. بلندترین نقطه حوضه ۲۷۴۰ متر و پست‌ترین آن ۱۵۶۰ متر ارتفاع دارد. ارتفاع متوسط حوضه ۲۱۷۰/۲ متر و شیب متوسط حوضه ۳۶/۵۹ درصد است. این حوضه یکی از زیرحوضه‌های هیدرولوژیک سد کارده است که آبراهه آن از سمت کوه‌های هزارمسجد بعد از پیوستن به آبراهه مارشک و عبور از حوضه غیر هیدرولوژیک سیج، به پشت سد هدایت می‌شود. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان خراسان رضوی و جدول‌های ۱ و ۲ ویژگی‌های اقلیمی مشاهداتی منطقه مطالعاتی طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۶۱ را نشان می‌دهد.

Goodarzi (۲۰۱۱)، در پژوهش خود افزایش دمای ۱/۷ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش ۱۲ درصدی را برای حوضه کرخه علیا پیش‌بینی کرد. Mahat و Anderson (۲۰۱۳) از مدل LARS-WG برای ارزیابی تغییرات آب و هوایی و جنگل روی قسمت بالایی جریان رودخانه در جنوب آبرتا استفاده کردند. مدل، افزایش کمتر از ۱۰ درصد بارش برای فصل زمستان و همین مقدار کاهش بارش را برای فصل تابستان پیش‌بینی کرد. Osman و همکاران (۲۰۱۴) به پیش‌بینی بارش با استفاده از مدل LARS-WG برای سه دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۵-۲۰۴۶ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در مرکز عراق پرداختند. نتایج حاکی از افزایش بارش برای ماه‌های دسامبر، فوریه و سپتامبر تا نوامبر و کاهش بارش برای ماه‌های مارس و آوریل است. هدف از تحقیق فوق بررسی پارامترهای اقلیمی دما و بارش در دوره ۲۰۴۵-۲۰۴۶ با به‌کارگیری مدل LARS-WG و مقایسه هم‌زمان سناریوهای B1، A2 و



شکل ۱- منطقه مورد مطالعاتی در استان خراسان رضوی

جدول ۱- میانگین ماهانه بارش، دمای کمینه و بیشینه حوضه بلغور سد کارده مشهد در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰

فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
۴۴/۰۷	۲۷/۵۴	۴/۲۶	۱/۷۹	۰/۷۸	۲/۴۳	۸/۲۸	۱۵/۷۰	۲۵/۶۱	۳۲/۴۹	۳۴/۷۶	۵۴/۳۲	۳۵۲/۰۳
۸/۴۹	۱۲/۵۶	۱۶/۶۵	۱۸/۹۱	۱۶/۶۴	۱۱/۷۹	۶/۶۸	۲/۲۶	-۱/۶۱	-۳/۹۶	-۱/۸۴	۲/۹۴	۷/۴۶
۲۱/۲۱	۲۶/۸۸	۳۲/۵۴	۳۴/۶۱	۳۲/۲۷	۲۹/۰۵	۲۲/۶۷	۱۵/۹۹	۹/۹۹	۷/۰۴	۹/۳۹	۱۴/۴۸	۲۱/۴۲

جدول ۲- میانگین فصلی بارش، دمای کمینه و بیشینه حوضه بلغور سد کارده مشهد در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰

بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱۲۵/۹۳	۶/۸۳	۲۶/۴۱	۹۲/۸۶
۸	۱۷/۴۰	۶/۹۱	۲/۴۷
۲۰/۸۶	۳۳/۴۷	۲۲/۵۷	۸/۷۷

در مرحله واسنجی مدل، داده‌های تهیه شده دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۱۰ برای حوضه مورد مطالعه، پردازش و مرتب شده، سپس داده‌ها آماده ورود به مدل LARS-WG شدند. به این ترتیب، مدل برای دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۱۰ اجرا شد و پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش به صورت روزانه برای این دوره شبیه‌سازی شدند.

در مرحله ارزیابی مدل، خروجی مدل مورد تحلیل قرار گرفت. برای ارزیابی مدل، ۷۰ درصد داده‌ها برای واسنجی و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. برای ارزیابی مدل، داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی شده برای دوره پایه مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند و پارامترهای شبیه‌سازی شده با استفاده از محاسبه ضریب تعیین R^2 (رابطه (۱))، شاخص‌های خطاسنجی میانگین مجذور مربعات خطا (رابطه (۲))، میانگین خطای مطلق (رابطه (۳)) و ضریب بهره‌وری نش-ساتکلیف (رابطه (۴))، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده با استفاده از مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه شد.

$$R2 = \frac{\sum_{m=1}^K X_o X_s}{\sqrt{\sum_{m=1}^K X_o^2 Y_s^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_s - X_o)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_o - X_s|}{n} \quad (3)$$

در این پژوهش، برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3، از مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد، استفاده شده است. مدل گردش عمومی جو HADCM3 یک مدل GCM (جفت شده جوی-اقیانوسی) است که در مرکز تحقیقاتی HCCPR5 در انگلیس اجرا شده و این مدل دارای شبکه‌های با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است. در تحقیق حاضر، از سه سناریوی تغییر اقلیم B1، A2 و A1B استفاده شده است. هر یک نشان‌دهنده ویژگی‌هایی از جمله مربوط به رشد اقتصاد جهان، جمعیت جهان و آگاهی‌های اجتماعی می‌باشد.

برای اجرای مدل LARS-WG، از داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش، ساعات آفتابی در دوره آماری ۵۰ سال (۱۹۶۱-۲۰۱۰) استفاده شد که دوره ۱۹۶۱-۲۰۱۰ به‌عنوان دوره پایه شناخته می‌شود. داده‌های ۵۰ سال گذشته ۱۹۶۱-۲۰۱۰ به‌عنوان مبنای تغییر اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفته است. مدل LARS-WG در سه مرحله اجرا می‌شود. این مراحل شامل واسنجی، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌ها برای آینده است. خروجی این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش می‌باشند.

اطمینان از صحت واسنجی مدل از شاخص‌های خطاسنجی میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب بهره‌وری نش-ساتکلیف (NSE) استفاده شد که مقادیر آن‌ها در جدول ۳ آمده است. با توجه به بالا بودن مقادیر نش-ساتکلیف و نزدیک بودن این مقادیر به یک و همچنین، پایین بودن مقادیر میانگین خطای مطلق میانگین دمای بیشینه ماهیانه و میانگین دمای کمینه ماهیانه، دقت بالای مدل‌سازی را برای پارامترهای دما می‌رساند. مقدار آماره میانگین مجذور مربعات خطا و میانگین خطای مطلق برای دمای کمینه و بیشینه کمتر از مقدار برای بارش است، این مسئله بیانگر توانایی بالای مدل LARS-WG در پیش‌بینی بهتر دما نسبت به بارش است که این امر به علت ماهیت پارامتر دما می‌باشد که عنصری پیوسته است. نتیجه به دست آمده با نتایج تحقیقات مشابهی نظیر Babaeian و Najafinik (۲۰۰۶)، Ababayi و همکاران (۲۰۱۱) و Ashraf و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum (X_s - X_o)^2}{\sum (X_o - \bar{X}_o)^2} \right] \quad (4)$$

پس از ارزیابی مدل LARS-WG با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و ضریب تعیین و اطمینان از مناسب بودن مدل، از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 استفاده شد و داده‌های دوره ۲۰۶۵ تا ۲۰۴۶ با استفاده از سه سناریو A2, B1 و A1B تولید شد و به این ترتیب پارامترهای مربوطه پیش‌بینی شد.

نتایج و بحث

برای واسنجی مدل، ضریب تعیین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، برای دوره پایه در حوضه مورد مطالعه محاسبه شد، در جدول ۳ مقادیر R^2 (ضریب تعیین) که برای نشان دادن دقت مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد، ارائه شده است. این نتایج بیانگر این مطلب هستند که داده‌های میانگین بارش ماهیانه، میانگین دمای بیشینه ماهیانه و میانگین دمای کمینه ماهیانه مشاهده شده، تولید شده دوره پایه از همبستگی معنی‌داری برخوردار می‌باشد و برای

جدول ۳- آماره‌های خطاشناسی متغیرهای هواشناسی مشاهداتی و مدل‌سازی (۲۰۱۰-۱۹۶۱)

میانگین دمای کمینه ماهیانه				میانگین دمای بیشینه ماهیانه				میانگین بارش ماهیانه			
MAE	NSE	RMSE	R ²	MAE	NSE	RMSE	R ²	MAE	NSE	RMSE	R ²
۰/۲۸	۰/۹۹	۰/۳۱	۰/۹۹	۰/۲۲	۰/۹۹	۰/۲۸	۰/۹۹	۱/۸۶	۰/۹۷	۲/۸۳	۰/۹۷

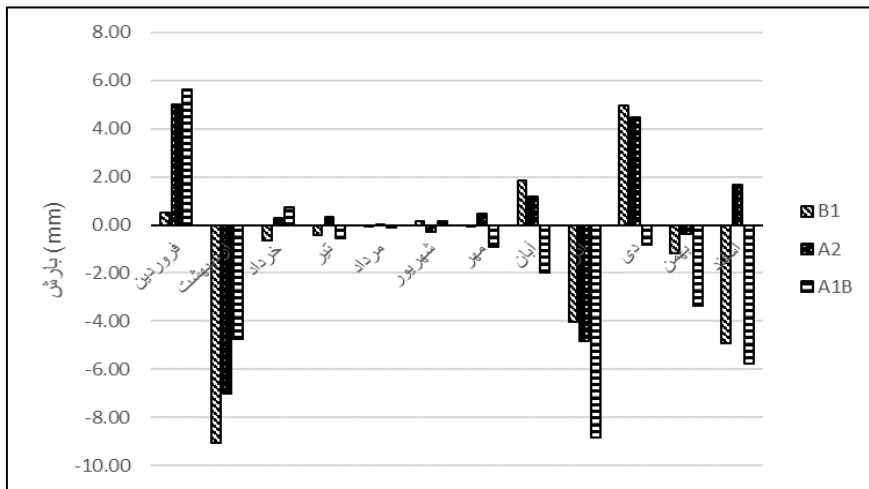
گیرد، ضمن این‌که این افزایش تبخیر، تأثیر افزایش مختصر بارش را نیز خنثی می‌کند.

شکل ۳، میزان اختلاف میانگین بارش فصلی دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، فصل زمستان طی هر سه سناریوی A2, B1 و A1B کاهش بارش را نشان می‌دهد که از میان سه سناریوی موجود، سناریوی A1B با ۱۴ درصد، بیشترین کاهش بارندگی را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت بارش‌های زمستانه در مدیریت منابع آب‌های سطحی در فصول بهار و تابستان، لازم است تمهیدات لازم در جهت مدیریت مصرف و ذخیره مد نظر قرار گیرد. در فصل بهار، سناریوهای B1 و A1B به ترتیب ۱۳/۴۸ و ۴/۸۳ درصد کاهش بارش را پیش‌بینی می‌کنند. این در

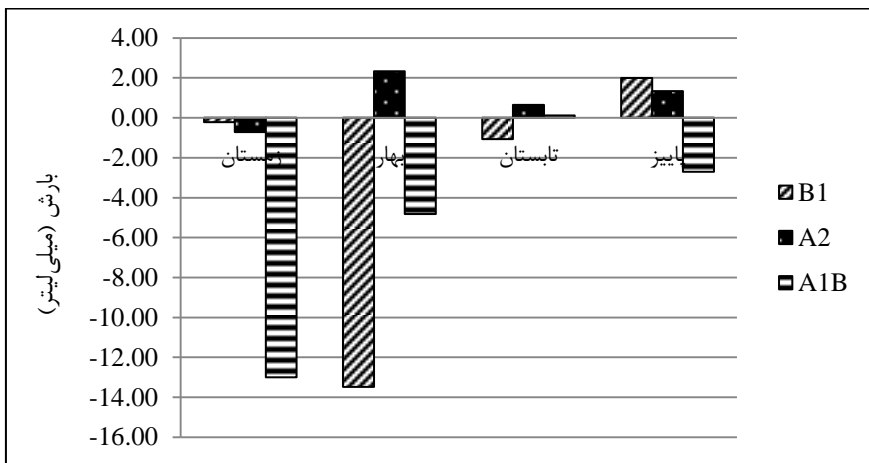
شکل ۲، میزان اختلاف بارش ماهانه دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۵ نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. هر سه سناریوی B1, A2 و A1B برای ماه‌های اردیبهشت، آذر و بهمن کاهش بارندگی را نشان می‌دهند و بیشترین کاهش در ماه اردیبهشت تحت سناریوهای A2, B1 و A1B به ترتیب با مقادیر ۷/۰۲، ۴/۷۳ و ۹/۰۷ میلی‌متر می‌باشد. همچنین، ماه دسامبر تحت سناریوهای A2, A1B و B1 به ترتیب با مقادیر ۳/۳۴، ۱/۱۸ و ۰/۳۶ میلی‌متر کاهش بارندگی را نشان می‌دهد. در عین حال، افزایش بارندگی برای ماه آوریل نیز پیش‌بینی شده است. با توجه به افزایش دمای پیش‌بینی شده که به دنبال آن، افزایش احتمالی تبخیر هم رخ خواهد داد، لازم است تدابیر مدیریتی برای مدیریت مصرف آب در این زمان مد نظر قرار

قابل توجه نیست و تغییرات بارش در فصل تابستان ناچیز بوده است.

حالی است که سناریوی A2 افزایش بسیار مختصر بارش را برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ پیش‌بینی کرده که



شکل ۲- تغییرات میانگین بارش ماهیانه نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای B1, A2 و A1B



شکل ۳- پیش‌بینی تغییرات میانگین بارش فصلی نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای B1, A2 و A1B

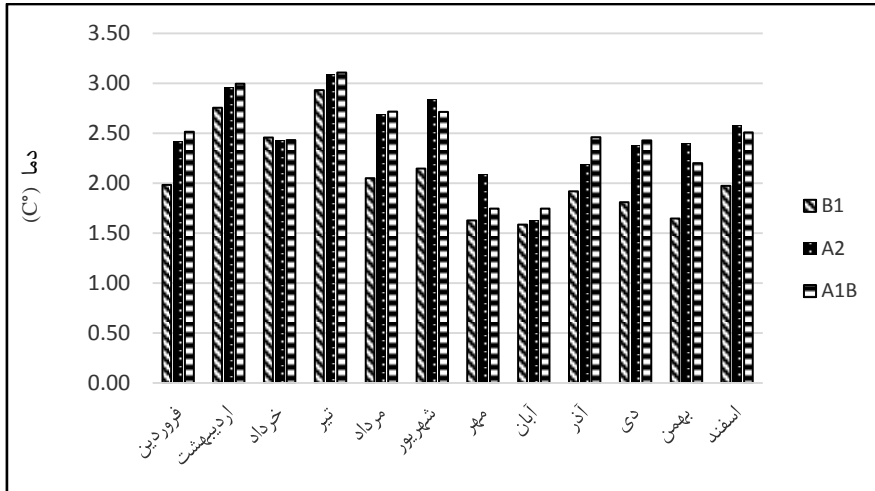
برای هر سه سناریوی B1, A2 و A1B مربوط به فصل تابستان و بهار و کمترین افزایش دما مربوط به فصل پاییز و زمستان می‌باشد. لذا، در فصول تابستان و بهار مدیریت منابع آب اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

شکل ۴، تغییرات بیشینه دمای ماهیانه پیش‌بینی شده به وسیله مدل LARS-WG برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۶۱ را نشان می‌دهد. محدوده افزایش دما برای سناریوهای B1, A2 و A1B به ترتیب ۰/۹۹ تا ۲/۸۹، ۱/۴۹ تا ۳/۱۰ و ۱/۶۰ تا ۳/۰۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیشترین افزایش دما برای هر سه سناریو مربوط به ماه‌های اردیبهشت، تیر و مرداد و کمترین افزایش مربوط به ماه‌های آبان و

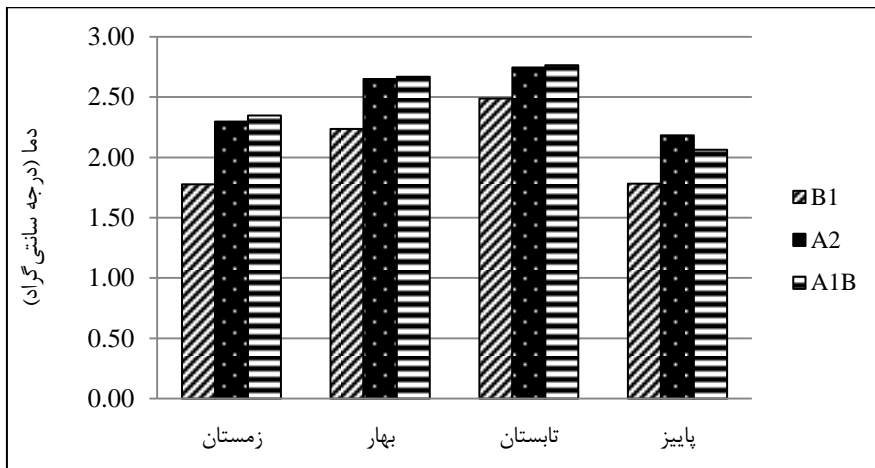
شکل ۴، تغییرات میانگین دمای کمینه دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین دمای کمینه در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ برای تمامی ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش یافته است که از بین تمامی ماه‌ها، ماه‌های اردیبهشت، تیر و شهریور بیشترین افزایش دما را و ماه‌های مهر و آبان کمترین افزایش دما را نشان می‌دهند. افزایش دمای سناریوهای B1, A2 و A1B هر کدام به ترتیب بین ۱/۵۸ تا ۲/۹۳، ۱/۶۳ تا ۳/۰۹ و ۱/۷۵ تا ۳/۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

شکل ۵، تغییرات میانگین دمای کمینه فصلی دوره آتی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بیشترین افزایش دما

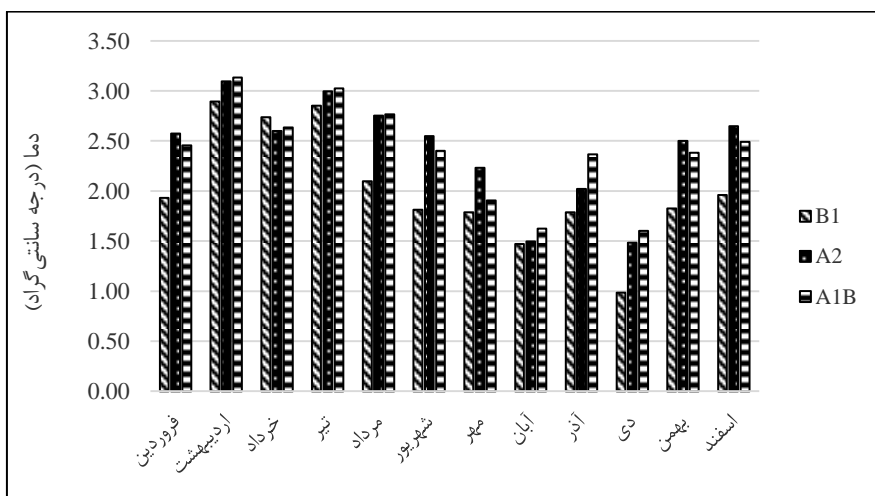
دی می‌باشد. لذا، سیاست‌گذاران بایستی مصرف آب در این فصول را با دقت پایش و مدیریت کنند.



شکل ۴- پیش‌بینی تغییرات میانگین دمای کمینه ماهیانه نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای B1، A2 و A1B



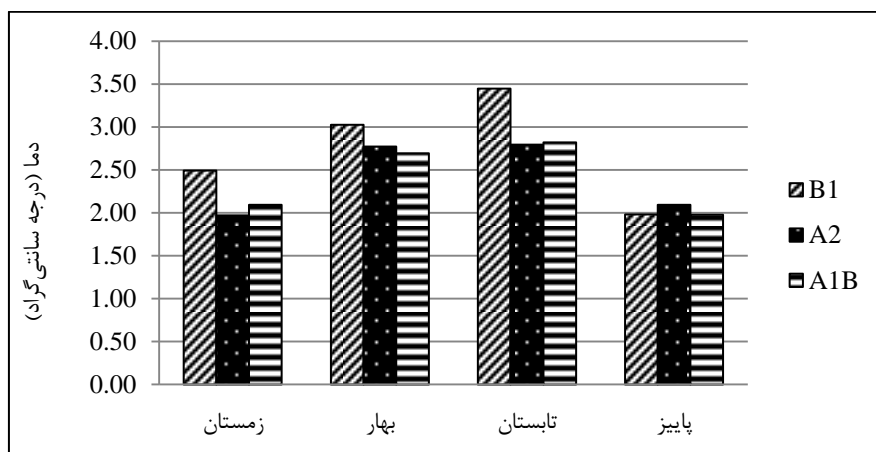
شکل ۵- پیش‌بینی تغییرات میانگین دمای کمینه فصلی نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای B1، A2 و A1B



شکل ۶- پیش‌بینی تغییرات میانگین دمای بیشینه ماهیانه نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای B1، A2 و A1B

افزایش دما و فصل پاییز و زمستان کمترین افزایش را داشته‌اند. بیشترین افزایش دما تحت سناریو B1 در تابستان با $3/45$ درجه سانتی‌گراد و کمترین افزایش دما مربوط به سناریو A2 فصل زمستان با $1/97$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

شکل ۷، بیانگر تغییرات دمای بیشینه فصلی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه می‌باشد که افزایش دما را تحت سه سناریو مورد نظر در سایر فصول نشان می‌دهد. از بین تمام فصل‌ها، فصل بهار و تابستان همانند تغییرات میانگین دمای فصلی، بیشترین



شکل ۷- پیش‌بینی تغییرات میانگین دمای بیشینه فصلی نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای B1، A2 و A1B

دادند و افزایش دمای کمینه ($B1=2/07$ ، $2/47$ و $A2=2/46$ و $A1B=2/46$) و دمای بیشینه ($B1=2/01$ ، $2/41$ و $A2=2/40$ و $A1B=2/40$) را پیش‌بینی کرده‌اند که نتایج، موید تحقیق Ashraf و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه شد، تغییرات دمای کمینه بیشتر از دمای بیشینه خواهد بود، از این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات (افزایش) دمای متوسط هوا در دوره آتی بیشتر تحت تأثیر افزایش دمای کمینه خواهد بود. همچنین، نتایج نشان از اندکی کاهش بارش برای سناریوهای B1 و A1B و افزایش مقدار ناچیز بارش برای سناریوی A2 را می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که دوره آتی تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت که در توافق با نتایج تحقیقات صورت گرفته به‌وسیله Abbasi و همکاران (۲۰۱۰) و Kamal و Massah و Bovani (۲۰۱۰) در سایر مناطق کشور است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سه سناریوی اقلیمی B1، A2 و A1B در حوزه آبخیز بلغور سد کارده مشهد استفاده شد که نتایج، حاکی از توانمندی بالای این مدل مولد هواشناسی، برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده و موید تحقیقات صورت گرفته به‌وسیله Semenov و Barrow (۲۰۰۲)، Elshamy و همکاران (۲۰۰۵) و Babaeian و Najafinik (۲۰۰۶) است. دوره مورد بررسی در این پژوهش، سال‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵ بود که تغییرات مقادیر بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه با استفاده از مدل HADCM3 با دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) مقایسه شد. هر سه سناریو در زمینه پیش‌بینی دمای حوضه مورد بررسی پاسخ مشابهی را نشان

منابع مورد استفاده

1. Ababayi, B., F. Mirzayi and T. Sohrabi. 2011. Evaluation of performance of LARS-WG in 12 coastal weather station of Iran. Journal of Iran Water Research, 5(9): 217-222 (in Persian).
2. Abbasi, F., S. Malbusi, M. Asmari and R. Borhani. 2010. Climate change prediction of south Khorasan province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G data. Journal of Water and Soil, 24(2): 218- 233 (in Persian).

3. Abbaspour, C.K., M. Faramarzi, S. Seyed ghasemi and H. Yong. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Research*, 45: 1-16 (in Persian).
4. Abdo, K.S., B.M. Fiseha, T.H. Rientjes, A.S.M. Gieske and A.T. Haile. 2009. Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana Basin. Ethiopia. *Hydrological Processes*. Published online in Wiley Inter-Science (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/hyp.7363.
5. Ashraf, B., M. Mousavi Baygi, G.A. Kamali and K. Davari. 2011. Prediction of seasonal series of climatological parameters over next 20 years by using statistical downscaling method of HADCM3 data, case study: Khorasan Razavi Province. *Journal of Water and Soil*, 25(4): 945-957 (in Persian).
6. Ashraf, B., M. Mousavi Baygi, G.A. Kamali and K. Davari. 2011. Investigation of variation trend of climatological parameters in Mashhad over 2011-2030 period using simulated data by LARS-WG5 model. 1st National Conference on Agricultural Meteorology and Water Management. Tehran University, College of Agriculture and Natural Resources, Karaj (in Persian).
7. Babaeian, I. and Z. Najafinik. 2006. Iran climate modeling in the period 2010 to 2039. Completed Climatology Research Project, 5-13, 107, (in Persian).
8. Babaeian, I. and Z. Najafinik. 2006. Presentation and evaluation of LARS-WG for modeling Khorasan Province parameters, period:1961-2003. *Nivar Journal*, 62: 49-65 (in Persian).
9. Babaeian, A., Z. Najafinik, F. Abbasi, M. Habiby Novkhandan, H. Adab and Y.Sh. Malbous. 2009. Assessment of country climate change in the 2039-2010 using the exponential downscaling general circulation model ECHO-G. *Geography and Development Quarterly*, 7(16): 135-152 (in Persian).
10. Cut Forth, H.W., B.G. Woodwin, R.J. Mc Cokey, D.G. Smith, P.G. Jefferson and O.O. Akinremy. 1999. Climate change in the semiarid prairie of southwestern Saskatchewan: late winter-early spring. *Canadian Journal of Plant Science*, 79: 343-353.
11. Dousti, M., M. Habibnezhad Roshan, K. Shahedi and M.H. Miryaghoubzade. 2013. Study of climate indices of Tamar River basin, Golestan Province in terms of climate change using LARS-WG model. *Journal of Space Physics and Earth*, 39(4): 177-189 (in Persian).
12. Elshamy, M.E., H.S. Wheater, N. Gedney and C. Huntingford. 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *Journal of Hydrology*, 326: 1-24.
13. Giorgi, F. and L.O. Mearns. 1991. Approaches to the simulation of regional climate change: a review. *Reviews of Geophysics*, 29: 191-216.
14. Goodarzi, M. 2011. Assessing climate change impacts on surface runoff: a case study Upper Karkheh Basin. PhD Thesis, University of Tabriz, 134 pages (in Persian).
15. Hajabbasi, M.A., A. Jalalian and H.R. Karimzadeh. 1997. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. *Plant and Soil*, 190: 301-308 (in Persian).
16. Houghton, J., L. Meira Filho, B. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell. 1996. *Climate change 1995: the science of climate change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
17. IPCC. 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 235 pages.
18. IPCC. 2007. *Summary for policymakers climate change: the physical science basis*. Contribution of working group I to the forth assessment report. Cambridge University Press, 881 pages.
19. Kamal, A.R. and A.R. Massah Bovani. 2010. Climate change and variability impact in basin's runoff with interference of tow hydrology models uncertainty. *Journal of Water and Soil*, 24(5): 920-931 (in Persian).
20. Karl, T.R., N. Nicholls and J. Gregory. 1997. The coming climate. *Scientific American*, May, 78-83.
21. Kumar, D., D.S. Arya, A.R. Murumkar and M.M. Rahman. 2013. Impact of climate change on rainfall in north-western Bangladesh using multi-GCM ensembles. *International Journal of Climatology*, 34(5): 1395-1404.
22. Mahat, V. and A. Anderson. 2013. Impacts of climate and catastrophic forest changes on stream flow and water balance in a mountainous headwater stream in Southern Alberta. *Hydrology Earth System Science*, 17: 4941-4956.
23. Moen, T.N., H.M. Kaiser and S.J. Riha. 1994. Regional yield estimation using a crop simulation model: concepts, methods and validation. *Agricultural Systems*, 46: 79-92.
24. Mohammadi, A., H. Yazdanpanah and F. Mohammadi. 2014. Climate change and its impact on the incidence and duration of durum wheat planting dry land, case study: Kermanshah Sararood Station. *Journal of Natural Geography*, 46(2): 231-246 (in Persian).
25. Osman, Y., N. Al-ansari, M. Adbellatif, S. Al-javad and S. Knutsson. 2014. Expected future precipitation in central Iraq using LARS-WG stochastic weather generator. *Journal of Engineering*, 6(13): 948-959.

26. Sanikhani, H., Y. Dinpajoh, S. Pur Yusef, S.Z. Ghavidel and B. Solati. 2014. The impacts of climate change on runoff in watersheds, case study: Ajichay Watershed in east Azerbaijan Province, Iran. *Journal of Water and Soil*, 27(6): 1225-1234 (in Persian).
27. Saunders, M.A. 1999. Earth's future climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society London*. 357: 3459-3480.
28. Semenov, M.A. and E.M. Barrow. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. *User's Manual, Version 3.0*.
29. Soltani, E. and A. Soltani. 2008. Climate change of Khorasan, north-east of Iran during 1950-2004. *Research Journal of Environmental Sciences*, 2(5): 316-322.