



پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد با استفاده از مدل‌های HADCM3 و BCM2

مانیا دانش فر^۱، فاطمه فلاح^۱، علی حقی زاده^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان

۲. دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان

۳. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه لرستان

Email: daneshfarmania@yahoo.com

چکیده

امروزه تغییر اقلیم و تبعات آن در زمینه‌های مختلف در مناطق مختلف دنیا به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک مشهود می‌باشد. افزایش دمای هوا، کاهش بارندگی، کاهش میزان بارش برف، افزایش سیلاب‌های ناگهانی و به‌تبع آن افزایش فرسایش خاک و کاهش میزان تولید محصولات کشاورزی همه از تبعات مستقیم و غیرمستقیم تغییر اقلیم می‌باشد. بررسی تغییرات گذشته دما و بارش برای پیش‌بینی میزان تغییرات دما و بارش در آینده می‌تواند مفید واقع شود. در این تحقیق از مدل لارس جهت پیش‌بینی تغییرات بارش و دما در آینده استفاده شده است. مدل LARS-WG یک مدل ریزمقیاس کننده و مدل HADCM3 و مدل BCM2 مدل گردش عمومی جوی - اقیانوسی می‌باشند. برای داشتن تقریبی مناسب از شرایط آب و هوایی منطقه موردنظر، خروجی این مدل‌ها باید در حد ایستگاه هواشناسی ریزمقیاس گردد. در این تحقیق از امار ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد در دوره‌ی پایه ۱۹۹۰ - ۱۹۶۰ برای پیش‌بینی وضعیت بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره زمانی ۲۰۳۰ - ۲۰۱۱ با استفاده از مدل‌های HADCM3 و BCM2 تحت سناریوی A1B استفاده شده است. نتایج تحقیق حاکی از افزایش دمای حداقل و حداکثر در هر دو مدل HADCM3 و BCM2 می‌باشد. همچنین در مدل HADCM3 در سه ماه ژانویه، فوریه و مه شاهد کاهش بارش اما در باقی ماه‌های سال افزایش بارندگی را نشان می‌دهد. در مدل BCM2 در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، مه، اوت، اکتبر و دسامبر کاهش بارش و در باقی ماه‌های سال افزایش بارندگی مشاهده می‌شود.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم - مدل گردش عمومی جو - BCM2 - HADCM3 - LARS WG5.5

مقدمه

تغییر اقلیم به‌شدت بر منابع آب، فراوانی و شدت خشک‌سالی‌ها، سیل و چرخه هیدرولوژیکی تأثیرگذار است (بحری و همکاران، ۱۳۹۰). لذا تحقیقات متعددی به‌منظور بررسی تغییر اقلیم در زمینه‌های مختلف صورت گرفته است. امروزه پژوهشگران افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش کلی زمین را دلیل اصلی تغییرات اقلیمی می‌دانند (معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱). مدل‌های جهانی اقلیمی جفت شده جوی - اقیانوسی منبع اصلی برای شبیه‌سازی حال و آینده اقلیم کره زمین با سناریوهای مختلف تغییر اقلیم می‌باشد (هاشمی نسب و همکاران، ۱۳۹۰). مدل‌های متعددی جهت بررسی تعبیر اقلیم در نظر گرفته شده‌اند که عموماً در این مدل‌ها سناریوهای مختلفی جهت پیش‌بینی تغییر اقلیم و بررسی پارامترها و عوامل مؤثر در تغییر اقلیم از جمله دما، بارش و منظور وجود دارند. مدل‌های جهانی اقلیمی جفت شده جوی - اقیانوسی برای شبیه‌سازی حال و آینده اقلیم کره زمین منبع مهم و اساسی می‌باشد.



اما باید به این نکته توجه داشت که شبکه‌های محاسباتی مدل‌های گردش عمومی جو دارای قدرت تفکیک کمی هستند زیرا مدل‌هایی بزرگ‌مقیاس می‌باشند، لذا این شبکه‌ها باید در ابعاد یک ایستگاه ریزمقیاس شوند. با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو و مولدهای هواشناسی می‌توان اقلیم منطقه را شبیه‌سازی نمود (هاشمی نسب و همکاران، ۱۳۹۰).

یکی از معتبرترین ابزارها جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سامانه‌های مختلف، بکار بردن متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی - اقیانوسی می‌باشد (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰). اما قدرت تفکیک مکانی کم و نیز ساده‌سازی که برای فرایندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند از معایب مدل‌های مذکور می‌باشد (ویلی و همکاران^۲، ۱۹۹۸: ۲۹۹۵). برای برطرف نمودن ضعف‌های فوق لازم است که خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم ریزمقیاس شوند (جانسون و همکاران^۳، ۱۹۹۶: ۱۸۷۸). برای ریزمقیاس نمایی از دو روش دینامیکی و آماری استفاده می‌کنند (هویتسون و همکاران^۴، ۱۹۹۶: ۸۵-۹۵). روش‌های متداول آماری همچون رگرسیون و مدل‌های مولد هواشناسی برای ریزمقیاس نمایی آماری بکار می‌روند (ویچرت و بورگر^۵، ۱۹۹۸: ۸۳). برای ریزمقیاس نمایی به روش دینامیکی، معادلات حاکم بر بسته‌ها در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روش‌های آنالیز عددی از قبیل تفاضل محدود، حل می‌شوند که به کارگیری این روش باعث برطرف شدن ضعف دوم این مدل‌ها که همان ساده‌سازی است، می‌شود (هالینتر و ویلیامز^۶، ۱۹۸۰). روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری به سرعت می‌تواند برای یک سایت یا ایستگاه مشخص، ریزمقیاس نمایی را برای چندین دهه انجام دهد. اما روش‌های دینامیکی دارای محدودیت زمانی هستند (هویتسون و کران^۷، ۱۹۹۶). لذا می‌توان گفت: روش‌های آماری در مواقعی که هزینه و زمان مهم است، مزیت و قابلیت بیشتری دارد (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹). امروزه استفاده از انواع مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری مانند: LARS - WG و CLIMGEN برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در مناطق زیادی از جهان استفاده شده است.

محققین متعددی در سراسر دنیا به بررسی تغییر اقلیم از نقطه‌نظرهای گوناگون پرداخته‌اند. معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم توسط مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی اقیانوسی است (جانسون و همکاران^۸، ۲۰۰۶: ۱۸۷۶). هاشمی و همکاران^۹ (۲۰۱۰: ۱۳)، به مقایسه دو مدل LARS - WG و SDSM برای شبیه‌سازی بارش‌های شدید در حوضه کلوتا واقع در جزیره جنوبی نیوزیلند پرداختند که در آن نشان دادند هر دو مدل دارای توانایی‌های مشابه و خوبی در شبیه‌سازی رویدادهای بارش شدید می‌باشند و قابل استفاده برای پیش‌بینی‌های اقلیمی هستند. سمنوف^{۱۰} (۲۰۰۸: ۲۰۳)، با استفاده از آمار و اطلاعات ۲۰ ایستگاه در نقاط مختلف دنیا که دارای اقلیم‌های متفاوت می‌باشند، توانایی مدل تولیدکننده جوی LARS - WG را برای شبیه‌سازی رویدادهای جوی حدی موردبررسی قراردادند. دارن و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۹: ۱)، با استفاده از مدهای گردش عمومی جو و سناریوهای استفاده‌شده به‌وسیله هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، پیش‌بینی نموده‌اند که دمای کره زمین در دهه‌های ۲۱۰۰ بین ۱/۱ و ۶/۴ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از دهه‌های ۱۹۰۰ خواهد بود که این روند با تغییراتی در شدت و میزان بارش‌ها همراه خواهد بود. سمنوف و همکاران^{۱۲} (۱۹۹۸: ۹۵)، با بررسی و مقایسه دو مدل LARS - WG و WGEN در ۱۸ ایستگاه از ایالات متحده آمریکا، اروپا و آسیا

² - wilby

³ - Janson

⁴ - Hewitson

⁵ - Weichert and Burger

⁶ - Haltiner and Williams

⁷ - Hewitson and Crane

⁸ - Janson

⁹ - Hashemi

¹⁰ - Semenov

¹¹ - Daren

¹² - Semenov



به نمایندگی طیف وسیعی از شرایط آب‌وهوایی پرداختند که نتایج حاکی از توانایی خوب مدل LARS-WG در تولید داده‌های آب و هوایی شرایط مختلف از جمله حوادث شدید آب و هوایی می‌باشد. مریم دوستی و همکاران (۱۳۹۲: ۱۷۷)، به بررسی شاخص‌های اقلیمی حوزه آبخیز تمر در استان گلستان، در شرایط تغییر اقلیم، با کاربرد مدل LARS - WG پرداختند. نتایج حاکی از این است که در مدل HADCM3 تحت سناریوهای A₂ و A1B با پیش‌بینی دوره‌اتی در سال‌های (۲۰۴۶-۲۰۶۵)، میانگین دما تحت سناریو A₂، ۲/۶۸ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی A1B، 2/63 درجه افزایش خواهد یافت. میزان بارش نیز در سناریوی A₂، ۱۶ درصد و در سناریوی A1B، ۲ درصد افزایش خواهد داشت. اشرف و همکاران (۱۳۹۰: ۹۴۵)، با داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3، تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 برای دوره ۲۰۳۵-۲۰۱۱ به بررسی تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج نشان داد که در سه فصل پاییز، زمستان و بهار در تمام شهرهای استان به‌استثنای تربت جم که در هر سه فصل مذکور و نیز کاشمر که در پاییز دارای روند کاهش می‌باشند، بارش افزایش خواهد یافت، بیشترین میزان بارندگی مربوط به شهر قوچان و کمترین آن متعلق به ایستگاه سرخس می‌باشد. دمای کمینه در همه فصول و طبق هر سه سناریوی مذکور در غالب شهرستان‌ها دارای روند افزایشی است (به جز شهرستان سرخس در فصل پاییز بر مبنای سناریوی A1B). در رابطه با دما نیز در سال‌های ۲۰۳۵ - ۲۰۱۱ دمای بیشینه استان خراسان رضوی افزایش و میزان ساعات آفتابی کاهش خواهد یافت. بنابراین طبق این نتایج شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آینده تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت. هاشمی نسب و همکاران (۱۳۹۰)، داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3، تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 که در ایستگاه کرمان ریزمقیاس شده‌اند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر این نکته بود که در همه‌ی ماه‌های سال و همه‌ی فصول در ایستگاه کرمان افزایش بارش در حدود ۲۵ درصد رخ خواهد داد و همچنین با بررسی طول بازه تر و خشک نشان دادند که طول بازه تر رو به افزایش است. معافی مدنی و همکاران (۱۳۹۱: ۲۱)، به پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی استان خراسان رضوی طی دوره زمانی ۲۰۳۰ - ۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری در مدل LARS - WG، پرداختند و در این تحقیق مدل گردش عمومی جو HADCM3، تحت سناریوی A2، بیانگر این نکته می‌باشد که به‌طور متوسط در همه‌ی ایستگاه‌ها در ۷۵ درصد ماه‌ها در دهه اول و در ۷۷ درصد ماه‌ها در دهه دوم دوره پیش‌بینی، افزایش بارش را خواهیم داشت. بحری و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی پتانسیل اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی‌های آینده در حوزه آبخیز اسکندری در استان اصفهان، با استفاده از مدل HADCM3، تحت سناریوی A2 پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که منابع آب سطحی و زیرزمینی از فوریه ۲۰۱۹ تا مارس ۲۰۲۰، و منابع آب در بخش کشاورزی از دسامبر ۲۰۱۸ تا اوت ۲۰۱۹ با خشک‌سالی مواجه خواهد شد. حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۱: ۵)، به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرو گراف سیلاب در دوره‌های آتی با استفاده از مدل AOGCM، تحت سناریوی A2، در حوزه آبریز بختیاری پرداختند. نتایج بیانگر این نکته بود که: با وجود کاهش بارش‌ها در سال‌های آینده، بارش‌های حدی دوره‌اتی ۲۰۳۰ - ۲۰۱۱، با شدت بیشتری نسبت به دوره پایه رخ خواهند داد که این امر نشان‌دهنده افزایش وقوع سیلاب‌ها در دوره‌اتی خواهد بود. عباسی و همکاران (۱۳۸۹: ۲۱۸)، به بررسی تغییرات اقلیمی، خشک‌سالی و یخبندان استان خراسان جنوبی، توسط مدل ECHO - G تحت سناریوی A1، در دوره‌اتی ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ پرداختند و نتایج کلی بررسی‌ها برای دوره‌ی مذکور حاکی از افزایش ۴ درصدی بارش در استان، کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود 0/3 درجه سانتی‌گراد می‌باشد، که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان ۱ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. همچنین تعداد روزهای خشک در شهرستان‌های شمالی این استان شامل بشرویه، فردوس و قاین افزایش و در شهرستان‌های جنوبی آن شامل بیرجند، خور بیرجند و نهبندان کاهش می‌یابد و به‌طور کلی خشک‌سالی‌های این استان در دوره‌ی ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ کاهش می‌یابد. حق‌طلب و همکاران (۱۳۹۲: ۳۷)، به مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS - WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی پرداختند. در این تحقیق ایستگاه‌های سینوپتیک دو استان تهران و مازندران در دوره ۲۰۰۵ - ۱۹۸۸ مورد بررسی قرار گرفته و



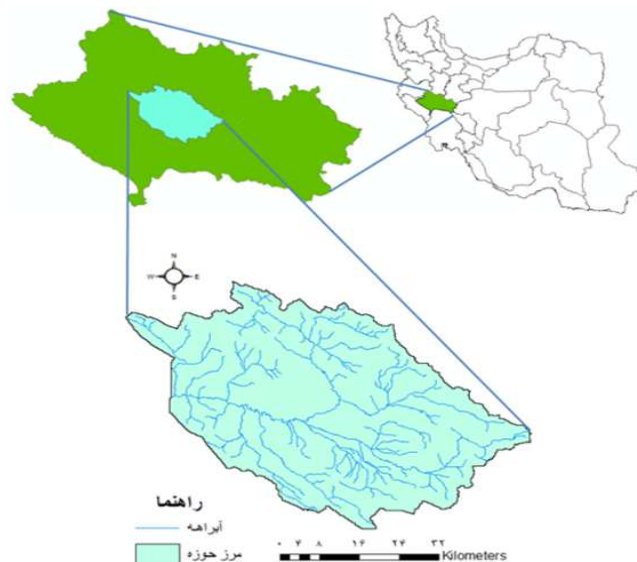
برای دوره‌های ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰، با استفاده از مدل اقلیمی LARS - WG و ریزمقیاس نمایی، داده‌های گردش عمومی جو پیش‌بینی شده است و در نهایت با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی در هر دو استان مذکور کویرزایی در آینده سرعت بیشتری خواهد یافت که این نرخ رشد در دامنه جنوبی البرز مرکزی بسیار چشمگیرتر از دامنه شمالی آن است. همچنین احتمال افزایش بارندگی‌های سیل‌آسا و رگباری در هر دو دامنه وجود دارد، که این احتمال برای بارش‌هایی با شدت بیشتر در مازندران و با دوره بازگشت کوتاه‌تر در تهران بیشتر است. محمد لو و همکاران (۱۳۹۳: ۲۵)، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات رواناب حوضه آبخیز باراندوزچای استان آذربایجان غربی با استفاده از مدل‌های چرخش عمومی جو پرداختند. نتایج حاکی از این بود که میانگین آبدهی رودخانه در دوره‌های در فصل‌های بهار و تابستان نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد، در صورتی که در فصل‌های پاییز و زمستان میانگین رواناب خروجی نسبت به دوره پایه بیشتر خواهد شد. در کل حجم رواناب در دوره‌های بیشتر خواهد شد.

در این تحقیق به بررسی تغییر اقلیم و پیش‌بینی تغییرات بارش و دما در آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۱) در ایستگاه خرم‌آباد با استفاده از دو مدل HADCM3 و BCM2 با استفاده از سناریو A1B پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز خرم‌آباد با مساحت ۲۴۸۲ کیلومترمربع در استان لرستان با موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. متوسط بارش در کل حوضه ۵۲۵ میلی‌متر می‌باشد. ارتفاع متوسط این حوضه از سطح دریا به ۱۱۴۷ متر رسد. موقعیت حوضه آبریز رودخانه خرم‌آباد در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز خرم‌آباد در استان لرستان و در ایران

مواد و روش‌ها

مدل لارس یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد که برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده بکار می‌رود. تولید داده توسط مدل LARS - WG در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارت‌اند از: کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره‌های



(اشرف و همکاران، ۱۳۹۱). طراح مدل LARS – WG مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی – بریتانیا می‌باشد. متغیرهای پیشگویی جوی در این مدل، دما، مؤلفه‌های افقی سرعت باد، فشار سطح، ظرفیت آب مایع، آب مایع موجود می‌باشند. متغیرهای پیشگویی اقیانوسی این مدل، دما، شوری، مؤلفه‌های افقی سرعت باد در جو باروکیلینیک و عمق لایه اختلاط می‌باشند. این مدل دارای سه سناریو A2، B1 و A1B است. سناریو A2 بیانگر رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان می‌باشد. سناریو B1 نمایانگر شرایطی با همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصاد (کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر و سناریو A1B نمایانگر رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت جهان در نیمه قرن و پس از آن روند کاهشی و رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر می‌باشد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). در این تحقیق برای پیش‌بینی وضعیت اقلیم و تغییرات آن در دوره زمانی ۲۰۱۱ – ۲۰۳۰، از آمار ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد استفاده شده است. این ایستگاه در طول و عرض جغرافیایی ۳۳/۲۶ و ۴۸/۱۷ قرار دارد. ارتفاع آن ۱۱۴۷/۸۰ متر از سطح دریا می‌باشد. دوره‌ی پایه ۱۹۶۰ – ۱۹۹۰ می‌باشد. از آمار دوره‌ی پایه، با به‌کارگیری برنامه LARS – WG ۵/۵، برای پیش‌بینی تغییرات بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در سال‌های ۲۰۱۱ – ۲۰۳۰ میلادی استفاده گردید.

برای پیش‌بینی تغییرات ماهانه بارش در ایستگاه خرم‌آباد، با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوی A1B، از مقایسه دو مدل HADCM3 و BCM2 استفاده شد. همچنین با مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده، شاخص‌های آماری R^2 ، NSE و RMSE برای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر محاسبه شد که بیانگر این نکته می‌باشد که این مدل برای پیش‌بینی تغییرات اقلیم در این منطقه مناسب می‌باشد. در ادامه جدول مربوط به آن می‌آید.

برای اجرای مدل LARS – WG در این تحقیق ابتدا با در نظر گرفتن دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۰)، داده‌های موردنیاز مدل شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد پردازش گردید. سپس مدل برای دوره پایه اجرا شد و بدین ترتیب کالیبره کردن انجام شد.

در مرحله بعد با استفاده از ضرایب R^2 ، NSE و RMSE، اقدام به ارزیابی داده‌های تولیدشده توسط مدل و داده‌های واقعی گردید.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \right] \quad (3)$$

در رابطه 1: \bar{x} میانگین کل داده‌های واقعی، \bar{y} میانگین کل داده‌های شبیه‌سازی شده و n تعداد کل نمونه‌ها می‌باشد.

در رابطه 2: X_i و Y_i به ترتیب آمین داده واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل است.

در رابطه 3: \bar{x} ، داده مشاهده‌ای، \bar{x}^* داده‌های شبیه‌سازی شده و \bar{x} میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

برای اجرای مدل LARS – WG علاوه بر سناریوی تبدیل‌شده برای هر شبکه محاسباتی نیاز به فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاه‌های واقع در داخل آن شبکه نیز وجود دارد. مکانیسم عمل مدل به این صورت است که آن در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که دربرگیرنده رفتار اقلیم پایه می‌باشد، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق فرمول 4 محاسبه می‌کند.

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (4)$$

که در این فرمول‌ها، Fut به معنای آینده و Obs به معنای گذشته است. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها را مطابق رابطه شماره ۵ تغییر می‌دهد. خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، بیشینه و تابش است. (حق‌طلب و همکاران، ۱۳۹۲).

$$STD_{Fut} = \frac{STD_{Obs}}{STD_{base}} * STD_{Fut} \quad (5)$$

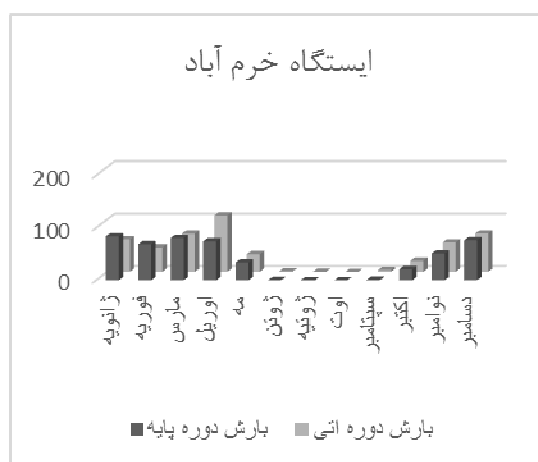


نتایج و بحث

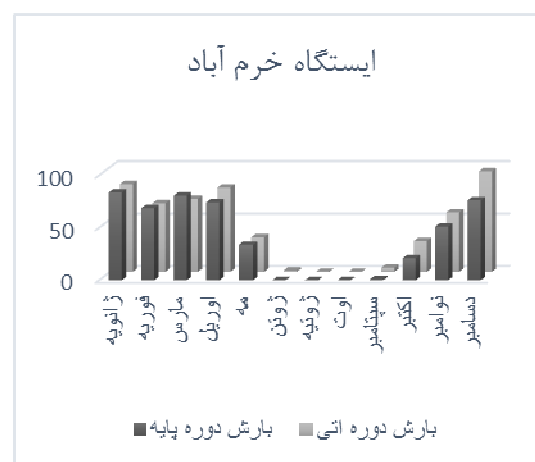
با انجام مدل لارس، مقایسه بارش دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۰) و آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۹) در مدل HADCM3 (شکل ۲)، مقایسه بارش دوره پایه و آتی در مدل BCM2 (شکل ۳)، مقایسه دو مدل HADCM3 و BCM2 در پیش‌بینی بارش (شکل ۴)، تغییرات ماهانه بارش در آینده در مدل HADCM3 (شکل ۵)، تغییرات ماهانه بارش در مدل BCM2 (شکل ۶)، مقایسه دمای حداکثر دوره پایه و آتی در مدل HADCM3 (شکل ۷)، مقایسه دمای حداکثر دوره پایه و آتی در مدل BCM2 (شکل ۸)، مقایسه دو مدل HADCM3 و BCM2 در پیش‌بینی دمای حداکثر (شکل ۹)، تغییرات ماهانه دمای حداکثر در مدل HADCM3 (شکل ۱۰)، تغییرات ماهانه دمای حداکثر در مدل BCM2 (شکل ۱۱)، مقایسه دمای حداقل دوره پایه و آتی در مدل HADCM3 (شکل ۱۲)، مقایسه دمای حداقل دوره پایه و آتی در مدل BCM2 (شکل ۱۳)، مقایسه دو مدل HADCM3 و BCM2 در پیش‌بینی دمای حداقل (شکل ۱۴)، تغییرات ماهانه دمای حداقل در مدل HADCM3 (شکل ۱۵)، تغییرات ماهانه دمای حداقل در مدل BCM2 (شکل ۱۶) حاصل گشت. در مرحله واسنجی، با محاسبه ضریب تعیین R^2 برای ایستگاه خرم‌آباد، همبستگی معنی‌داری بین داده‌های دوره پایه و داده‌های شبیه‌سازی شده مشاهده گردید. این همبستگی در داده‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر بین داده‌های دوره پایه در سال‌های ۱۹۶۰ - ۱۹۹۰ و دوره پیش‌بینی شده در سال‌های ۲۰۱۱ - ۲۰۳۰ مشاهده شد. سپس برای بررسی دقت مدل و میزان خطا، ناش - ساتکلیف و ریشه مربعات خطا نیز محاسبه گردید که بیانگر توانایی مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی می‌باشد (جدول ۱). با تأیید توانایی مدل LARS - WG، در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی، برای پیش‌بینی تغییرات اقلیم در آینده از دو مدل HADCM3 و BCM2 با استفاده از سناریوی A1B، استفاده شد. نتایج بیانگر افزایش دمای حداقل و حداکثر در هر دو مدل می‌باشد. در بارندگی نیز عموماً شاهد کاهش بارندگی در آینده خواهیم بود.

جدول شماره ۱ - شاخص همبستگی و خطا سنجی برای پارامترهای بارش، دمای حداقل و حداکثر

ایستگاه	شاخص آماری	بارش	دمای حداقل	دمای حداکثر
خرم‌آباد	NSE	0/97	0/99	0/99
	RMSE	4/92	0/21	4/92
	R^2	0/97	0/85	0/97



شکل ۲ - مقایسه بارش دوره پایه و آتی در مدل BCM2



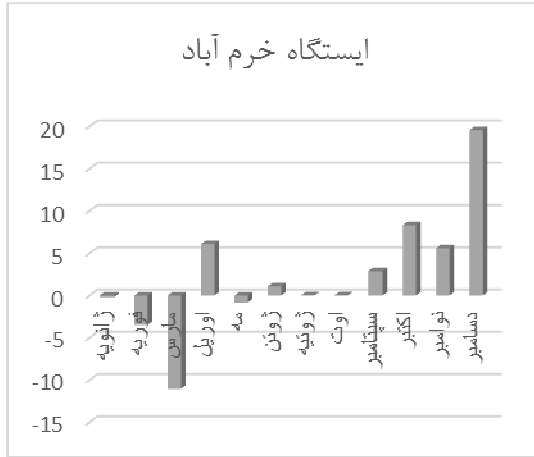
شکل ۳ - مقایسه بارش دوره پایه و آتی در مدل HADCM3



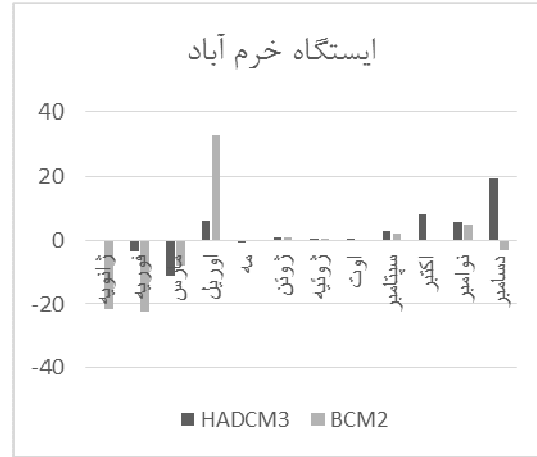
یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
توسعه مشارکتی در مدیریت حوزه‌های آبخیز
11th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran
Participatory Development in Watershed Management



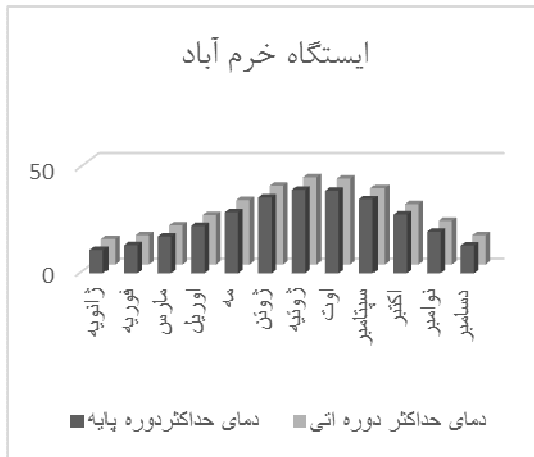
۳۱ فروردین لغایت ۲ اردیبهشت ۱۳۹۵
April 19-21, 2016



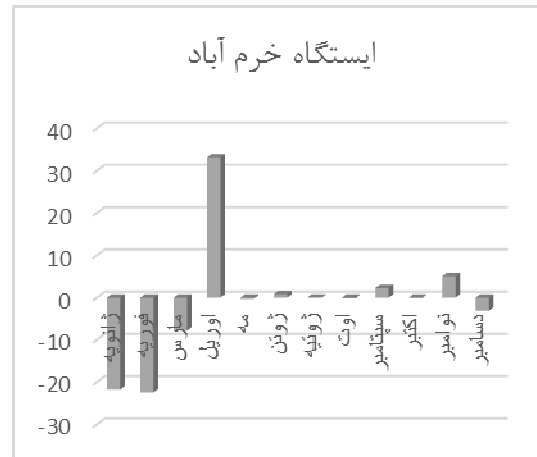
شکل ۵ - تغییرات ماهانه بارش در آینده در مدل HADCM3



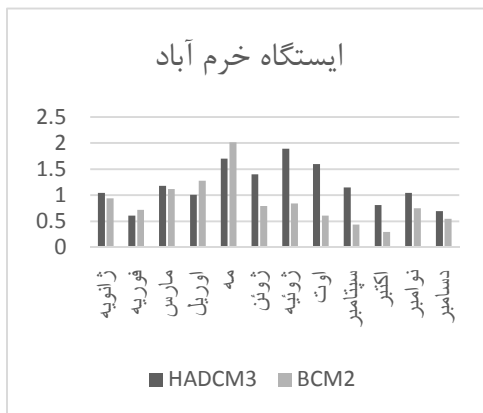
شکل ۴ - مقایسه دو مدل HADCM3 و BCM2 در پیش‌بینی بارش



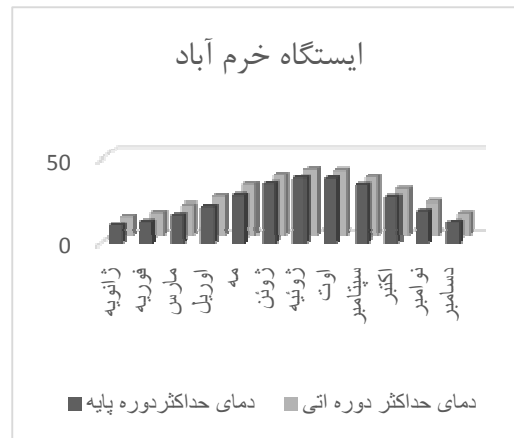
شکل ۷ - مقایسه دمای حداکثر دوره پایه و اتمی در مدل HADCM3



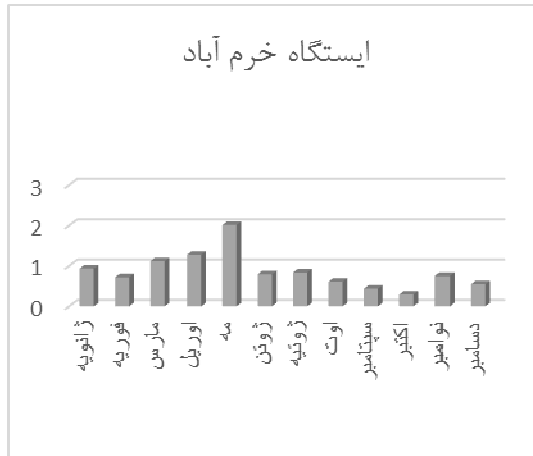
شکل ۶ - تغییرات ماهانه بارش در مدل BCM2



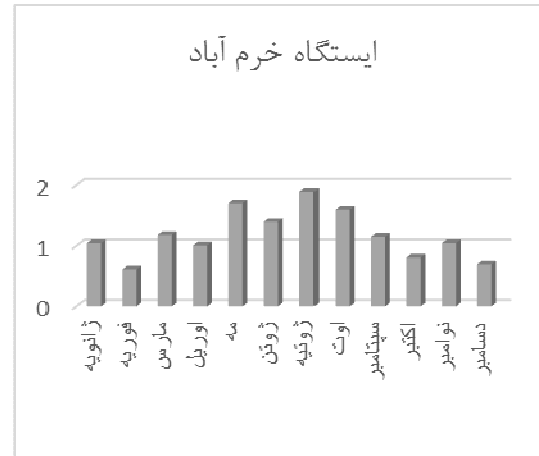
شکل ۹ - مقایسه دو مدل HADCM3 و BCM2 در پیش‌بینی دمای حداکثر



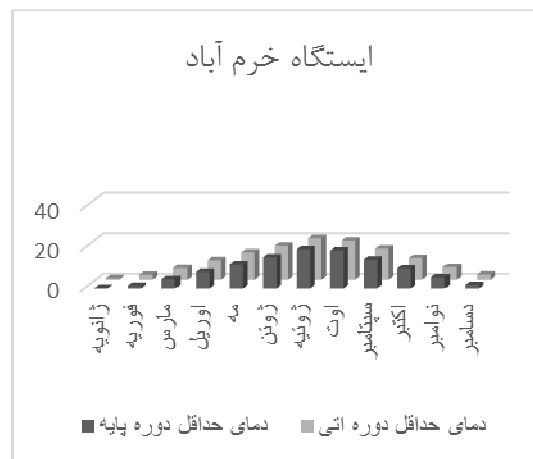
شکل ۸ - مقایسه دمای حداکثر دوره پایه و اتمی در مدل BCM2



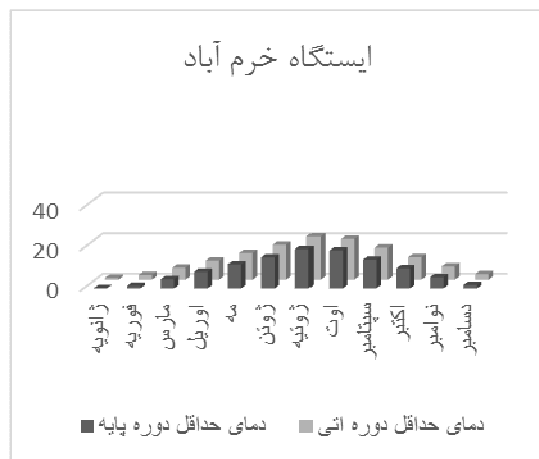
شکل ۱۱ - تغییرات ماهانه دمای حداکثر در مدل BCM2



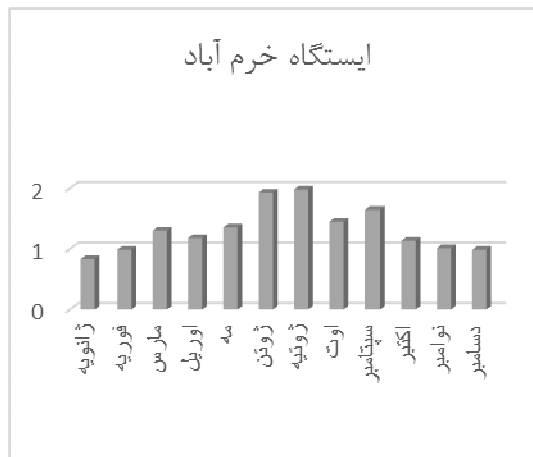
شکل ۱۰ - تغییرات ماهانه دمای حداکثر در مدل HADCM3



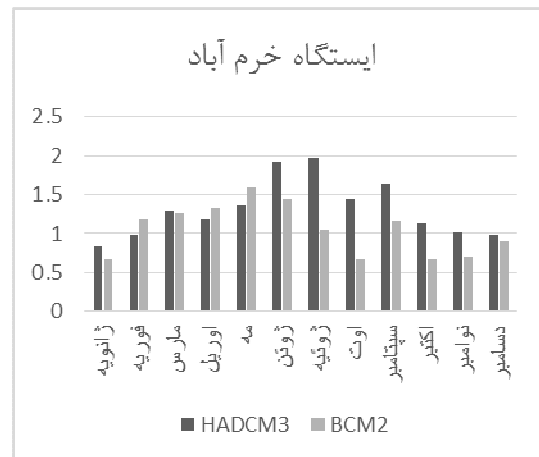
شکل ۱۳ - مقایسه دمای حداقل دوره پایه و آبی در مدل BCM2



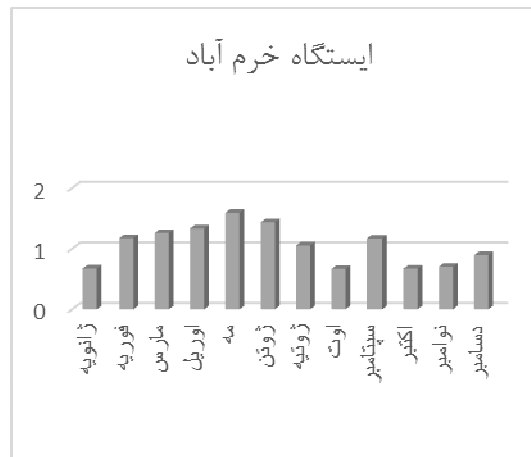
شکل ۱۲ - مقایسه دمای حداقل دوره پایه و آبی در مدل HADCM3



شکل ۱۵ - تغییرات ماهانه دمای حداقل در مدل HADCM3



شکل ۱۴ - مقایسه دو مدل HADCM3 و BCM2 در پیش‌بینی دمای حداقل



شکل ۱۶ - تغییرات ماهانه دمای حداقل در مدل BCM2

نتیجه‌گیری

امروزه افزایش دما و کاهش منابع آب در اکثر مناطق دنیا مشهود می‌باشد. بسیار از محققین به بررسی دلایل این تغییرات پرداخته‌اند. در اکثر تحقیقات از تغییر اقلیم به‌عنوان یک دلیل اصلی در مناطق گوناگون به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا، نام برده می‌شود. افزایش گازهای گلخانه‌ای و فرایند صنعتی شدن به‌صورت روزافزون در سراسر نقاط دنیا سبب تغییر اقلیم و به‌تبع آن کاهش بارش منظم، افزایش بارش‌های ناگهانی و سیل‌آسا، کاهش بارش برف، افزایش سیلاب و خشک‌سالی که دوروی تغییر اقلیم هستند، کاهش حاصل خیزی خاک و افزایش فرسایش و رسوب و افزایش دما شده است. در این تحقیق، به بررسی تغییر اقلیم و استفاده از سناریو پیش‌بینی A1B و به‌کارگیری دو مدل HADCM3 و مدل BCM2 در ایستگاه خرم‌آباد پرداخته شده است. دوره آماری پایه در این تحقیق سالهای ۱۹۹۰-۱۹۶۰ میلادی و دوره پیش‌بینی سالهای ۲۰۳۹-۲۰۱۱ میلادی می‌باشد. با مقایسه دو مدل BCM2 و HADCM3، نتایج مبنی بر اینکه در ماه‌های ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژوئن و ژانویه، مدل HADCM3 نسبت به مدل BCM2 دمای حداکثر و حداقل به میزان بیشتری در دوره‌ای افزایش خواهد یافت. اما در ماه‌های فوریه، آوریل و مه مدل BCM2 افزایش دمای بیشتری را در آینده نشان داد. در پیش‌بینی بارش در آینده، مدل BCM2 در ماه‌های ژانویه و فوریه کاهش بیشتر اما در ماه آوریل افزایش بیشتری را نسبت به مدل HADCM3 نشان می‌دهد. اما مدل HADCM3 در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش بارش بیشتری را نسبت به مدل BCM2 نشان می‌دهد. در مدل HADCM3 در پیش‌بینی دمای حداقل و حداکثر با استفاده از سناریوی A1B، افزایش دماهای حداقل و حداکثر را نشان می‌دهد. مدل BCM2 نیز در تمامی ماه‌های سال افزایش دماهای حداقل و حداکثر را نشان می‌دهد. مدل HADCM3 در ماه‌های ژانویه، فوریه و مه کاهش بارش و در سایر ماه‌ها افزایش بارش را نشان می‌دهد. اما مدل BCM2 بیانگر کاهش بارندگی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، مه، اوت، اکتبر و دسامبر و افزایش بسیار ناچیز در ماه‌های ژوئن، جولای، سپتامبر و نوامبر و افزایش چشمگیر در ماه آوریل می‌باشد. بنابراین شاید بتوان گفت به روند افزایش دماهای حداقل و حداکثر در دوره‌ای، مدل BCM2 پیش‌بینی درست‌تری را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت استفاده از مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم، قابل استفاده در کارهای تحقیقاتی و برنامه‌ریزی‌های عملیاتی می‌باشد.



منابع

- اشرف، ب.، موسوی بایگی، م؛ کمالی، غ؛ داوری، ک؛ (۱۳۹۰)، پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره چهار، مهر - آبان ۱۳۹۰، ص ۹۴۵ - ۹۵۷.
- بحری، م؛ دستورانی، م؛ گودرزی، م؛ (۱۳۹۲)، بررسی پتانسیل اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی‌های آینده با استفاده از مدل HADCM3 (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اسکندری، اصفهان)، نهمین همایش ملی علوم مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه یزد.
- حجازی زاده، ز؛ فتاحی، ا؛ مساح بوانی، ع؛ ناصر زاده، م؛ (۱۳۹۱)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرو گراف سیلاب در دوره‌های آتی (مطالعه موردی: حوضه آبریز بختیاری)، جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیا ایران)، پاییز ۱۳۹۱، دوره ۱۰، شماره ۳۴؛ ۳۴ صفحه تا ۵۲ صفحه.
- حق‌طلب، ن؛ گودرزی، م؛ حبیبی نو خندان، م؛ یآوری، ا؛ جعفری، ح؛ (۱۳۹۲)، مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS - WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲، صفحه ۳۷ - ۴۹.
- دوستی، م؛ حبیب نژاد روشن، م؛ شاهی، ک؛ میر یعقوب زاده، م؛ (۱۳۹۲)، بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تهر استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS - WG، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۴، ص ۱۸۹ - ۱۷۷.
- عباسی، ف؛ ملبوسی، ش؛ بابائیان، ا؛ اثمیری، م؛ برهانی، ر؛ (۱۳۸۹)، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO - G، نشریه آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۲، خرداد - تیر ۱۳۸۹، ص ۲۱۸ - ۲۳۳.
- محمد لو، م؛ حقی زاده، ع؛ زینی وند، ح؛ طهماسبی پور، ن؛ (۱۳۹۳)، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات رواناب حوضه آبخیز باراندوزچای استان آذربایجان غربی با استفاده از مدل‌های چرخش عمومی جو، اکو هیدرولوژی، دوره ۱، شماره ۱، ص ۲۵ - ۳۴.
- معافی مدنی، س. ف؛ موسوی بایگی، م؛ انصاری، ح؛ (۱۳۹۱)، پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱ - ۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS - WG، جغرافیا و مخاطرات طبیعی، شماره سوم، صص ۲۱ - ۳۷.
- هاشمی نسب، ف؛ موسوی بایگی، م؛ بختیاری، ب؛ داوری، ک؛ (۱۳۹۰)، پیش‌بینی تغییرات بارش دوره ۲۰۱۱ - ۲۰۳۰ با استفاده از مدل ریزمقیاس‌کننده و مدل گردش عمومی جو (مطالعه موردی: شهر کرمان)، یازدهمین سمینار سراسری و آبیاری کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، بهمن ۱۳۹۰.
- Darren, L. Yazhouluo, F., and Minghua, Z., (2009). "Climate changes sensitivity Assessment of a Highly Agricultural water shed using SWAT." J. Hydrology. Eng., 1- 41.
- . Elshamy, M.E., Wheater, H.S., Gedney, N., and Huntingford, C. 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. Journal of hydrology, 326, 1-24.
- Hashmi, M.Z., A.Y. Shamseldin and B.W. Melville. 2009. Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach. 18th World IMACS. MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17.
- Hidalgo, H., M. Dettinger., D. Cayan., 2008. Downscaling with constructed analogues: Daily precipitation and temperature fields over the United States. Pier Final Project Report, Prepared for: California Energy Commission Public Interest Energy Research Program.
- Hadley center., 2006. Effect of climate change in the developing countries. UK Meteorological



یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران

توسعه مشارکتی در مدیریت حوزه‌های آبخیز

11th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran
Participatory Development in Watershed Management



۳۱ فروردین لغایت ۲ اردیبهشت ۱۳۹۵
April 19-21, 2016

- Office. Haltiner G., R.Williams. 1980. Numerical Prediction and Dynamic Meteorology, John Wiley & Sons. pp. 115-120
- Haltiner, G., and Williams, R. 1980. Numerical Prediction and Dynamic Meteorology, John Wiley & Sons, 115-120.
- Hewitson, B. C. and Crane, R. G. 1996. Climate downscaling: Techniques and application. Climate Research, 7, 85-95.
- IPCC. 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, 881 PP.
- Johnson, G.L., Hanson, C.L., Hardegree, S.P., and Ballard, E.B. 1996. Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. Journal Applied Meteorology, 35, 1878-1896.
- Semenov, M.A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate. Research 35, 203-212
- Semenov M.A., and Barrow E.M. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
- Semenov, M., Brooks, R., Barrow, E., and Richardson, C., (1998). "Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates". Clim Res., (10), 95-107
- Wilby, R. L., Wigley, T. M. L., Conway, D., Jones, P. D., Hewitson, B. C., Main, J., and Wilks, D. S. 1998. Statistical downscaling of General Circulation Model output: A comparison of methods. Water Resources Research, 34, 2995-3008.
- Weichert, A., and Burger, G. 1998. 'Linear versus nonlinear techniques in downscaling. Climate Research, 10, 83-93