

پیش بینی نوسانات نمایه‌های حدی بارش در شهر سبزوار با استفاده از ریزمقیاس نمایی مدل LARS-WG برای دو دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶

سید محمد عسکری زاده*

دکتری آب و هواشناسی، اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، مشهد، ایران

غلامعلی مظفری

دانشیار گروه جغرافیا (آب و هواشناسی)، دانشگاه یزد، یزد، ایران

احمد مزیدی

دانشیار گروه جغرافیا (آب و هواشناسی)، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۷

چکیده

تغییرات در رویدادهای آب و هوایی و اقلیمی دارای آثار قابل توجهی است که آن را از جمله مهم‌ترین چالش‌های جدی فراروی جوامع در مقابله با تغییر اقلیم قرار داده است (IPCC^۱، ۲۰۰۷). در واقع یکی از جنبه‌های مهم تغییر اقلیم شناخت رفتار رویدادهای حدی است. لذا جهت ارائه دورنمایی از تغییرات آتی رویدادهای حدی به‌ویژه بارش با استفاده از خروجی سه مدل گردش عمومی جو (HadCM3, CNRM3, NCCCSM) بر اساس سناریوهای A₁، A₂، B، گزارش چهارم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) تحت مدل LARS-WG برای دو دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ برای ایستگاه سبزوار ریزمقیاس نمایی شده است. نمایه‌های بارش مورد مطالعه در این پژوهش شامل (Precip, R_{10mm}, R_{20mm}, R_{95p}, R_{99p})، نتایج نشان می‌دهد احتمالاً میانگین بیشینه بارش پنج روزه و شدت بارش طی دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریوی A₂ افزایش می‌یابد. همچنین سهم بیشتری از کل بارش سالانه به وقوع بارش‌های سیل‌آسا و رگباری یعنی بارش‌های بیش از صدم ۹۵ و ۹۹ دوره پایه تعلق خواهد داشت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده افزایش این نمایه‌ها به معنی افزایش فراوانی وقوع سیل و شدت آن به‌ویژه طی دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ خواهد بود. این در حالی است که طی دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ احتمال می‌رود درصد افزایش شدت بارش و نمایه‌های بیشینه بارش پنج‌روزه نسبت به دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ کمتر باشد.

واژگان کلیدی: نمایه‌های حدی بارش، مدل گردش عمومی جو- اقیانوس، ریزمقیاس نمایی، سبزوار.

مقدمه

در نیمه دوم قرن بیستم دمای کره زمین نسبت به نیمه اول این قرن افزایش پیدا کرده است و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش دما در قرن بیست و یکم هم چنان ادامه یابد و در نتیجه تغییراتی در شرایط اقلیمی مناطق مختلف کره زمین به وجود آید. بالا آمدن سطح آب دریاها و تغییر در آستانه‌های دمایی و بارندگی از پیامدهای تغییر اقلیم است. تغییر الگوی توزیع بارش و تغییر در منابع آب یک منطقه نیز از دیگر وقایع ناشی از تغییر اقلیم می‌باشد. پیش‌بینی بلند مدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تخفیف آثار سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه متخصصان مختلف از جمله متخصصان اقلیم‌شناسی، کشاورزی (آبیاری، زراعت و باغبانی) و حتی متخصصان علوم اجتماعی و اقتصادی قرار گرفته است.

امروزه پذیرفته شده که بروز هرگونه تغییر در سیستم اقلیمی در مدیریت منابع آب‌و خاک اهمیت دارد. لذا نوسان‌های اقلیمی آثار جبران‌ناپذیری بر منابع آب‌و خاک ناحیه خراسان رضوی به خصوص شهر سبزوار داشته است به طوری که ممکن است در نتیجه گرمایش زمین، تغییراتی در روند پارامترهای اقلیمی این منطقه به وجود آید و بر اساس همین مطالعات، وقایع حدی آب و هوایی بسیاری از فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی باغداری، صنعت، جهانگردی و حمل‌ونقل را تحت تأثیر قرار می‌دهد که بستر بیشتر رخدادها و وقایع مخرب آب و هوایی افزایش دما و بارش‌های حدی است. رویداد حدی به رویدادهای نادری اطلاق می‌شود که از دیدگاه آماری احتمال وقوع آن رویداد خیلی کم می‌باشد و در برگیرنده معانی مختلفی است. برای مثال می‌تواند به صورت مقادیر بین و بالای صدک‌های (۹۵ و ۵) (۹۰ و ۱۰) و با مقادیر بالاتر از یک آستانه و با تداوم شرایطی ویژه تعریف شود رحیم زاده و همکاران (۱۳۸۸) لازم به ذکر است که رویدادهای حدی دیگری نیز وجود دارند که در یک مکان و در یک‌زمان خاص نادر می‌باشد و نیاز به روش‌های تحلیل متفاوتی دارند، تنک^۱ و همکاران (۲۰۰۹).

گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) طی سالیان اخیر، برافزایش فراوانی و شدت رویدادهای حدی آب و هوایی تحت شرایط تغییر اقلیم تأکید کرده به طوری که افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین به شکل افزایش شدت، و فراوانی رویدادهای حدی تجلی یافته است؛ در این راستا، مقایسه‌ای بین روند مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل Hadcm^۲ با تلفیقی از سه اجرای متفاوت در شرایط اولیه سطح زمین و جو انجام شد. مقایسه نتایج حاصل از مدل و روند رویدادهای حدی (تعداد روزهای یخبندان، تعداد روزهای خشک متوالی، نمایه ساده روزانه شدت بارش، تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر) نشان داد که لحاظ کردن آثار انسانی در تلفیق مدل، به‌ویژه افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌طور چشمگیری شبیه‌سازی رویدادهای حدی را بهبود می‌بخشد. طی سالیان اخیر بسیاری از مناطق جهان شاهد وقوع رخدادهای حدی بوده‌اند مانند رخداد دمای بسیار پایین در زمستان ۲۰۱۰-۲۰۰۹ در قسمت‌های اعظم نیمکره

1. Tank

2. Hadley center climate model

شمالی شامل اروپا، آسیا و آمریکای شمالی، وقوع مخرب‌ترین سیل پاکستان در تابستان ۲۰۱۰ و ... (WMO, 2011)^۱ در چنین شرایطی، توسعه اقتصادی و شرایط زندگی پایدار در سال‌های آتی، بستگی به توانایی ما در مدیریت ریسک‌های مرتبط با رویدادهای حدی دارد (IPCC, 2010). لذا هر نوع تلاشی برای پیش‌بینی وضعیت رویدادهای حدی به‌ویژه بارش در هر منطقه امری ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا و جهت بررسی و تحلیل مقادیر (متوسط) حدی اقلیمی بارش می‌توان از مجموعه نمایه‌های حدی که توسط شبکه پشتیبانی اقلیم اروپا (شامل ۱۶ نمایه حدی بارش) معرفی شده استفاده کرد. این نمایه‌ها در سال ۱۹۹۸ و توسط کمیسیون اقلیم‌شناسی سازمان جهانی هواشناسی^۲ (CCL) و برنامه پژوهش‌های اقلیم جهانی^۳ (WCRP) وابسته به طرح پیش‌بینی پذیری و تغییرپذیری اقلیم^۴ (CLIVAR) متشکل از یک تیم کارشناسی در زمینه آشکارسازی و پایش تغییر اقلیم و نمایه‌های آن‌ها^۵ (ETCCDMI) جهت بررسی و تعیین نمایه‌های حدی اقلیمی، تعیین و معرفی شدند عساکره (۱۳۸۹)، از اوایل دهه ۹۰ میلادی بررسی تغییرات مقادیر حدی منطقه‌ای و جهانی به‌ویژه بارش با نگرشی نو به آن، در مناطق مختلف دنیا مانند در آمریکا، داگانتو^۶ (۱۹۹۶) استرالیا، پلومر^۷ (۱۹۹۹) چین، ژای^۸ (۱۹۹۹) کانادا، بونسال^۹ (۲۰۰۱) آغاز گردید از مهم‌ترین نتایج این مطالعات کاهش تعداد روزهای یخبندان در عرض‌های بالا و میانی نیمکره شمالی و افزایش طول دوره ریش در مقیاس جهانی به‌طور میانگین به مدت یک هفته در طول قرن بیستم است.

تاکنون پژوهش‌هایی در ارتباط با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای جوی با تأکید بر وضعیت آبی رویدادهای حدی انجام شده است؛ برای مثال. تورکش^{۱۰} (۲۰۰۲) به بررسی تغییرات درجه حرارت (حداقل، متوسط و حداکثر) ترکیه پرداخته جهت نیل به این امر از ۷۵ ایستگاه کلیماتولوژی سراسر ترکیه در طی دوره زمانی ۱۹۹۹-۱۹۲۹ بهره گرفته است و سپس به مطالعه و آنالیز توزیع فضایی زمانی دمای ترکیه اقدام کرده.

رودریگوس داسیلوا^{۱۱} (۲۰۰۴) به‌منظور بررسی تغییر اقلیم در شمال برزیل به بررسی ۷ متغیر اقلیمی پرداخت که نتایج این پژوهش نشان داد به جز دو متغیر بارندگی و رطوبت که روند کاهشی را نشان دادند، بقیه متغیرها روند افزایشی دما را نشان می‌دهند.

سیلمن^۱ (۲۰۰۵) اقدام به برآورد نمایه‌های بارش و دما با استفاده از ریز گردانی شده توسط مدل (LARS-WG)^{۱۲} خروجی مدل ECHAM5 کرد. نتایج نشان داد طی دوره‌های آبی، امواج گرمایی و بیشینه تعداد روزهای خشک متوالی

3. World meteorological organization

۲. Commission for Climatology

۳. World Climate Research Program

3. Climate Variability and Predictability 13. Semenov

4. Expert team on climatic change detection monitoring and indices

5. Degaetaho

6. Plumer

۸. Zhai

۹. Bonsa

10. Turkish

11. Rodriguesasilva

افزایش و مجموع تعداد روزهای یخبندان کاهش می‌یابد. سمنوف^{۱۳} (۲۰۰۸)، در پژوهش خود اقدام به تحلیل تغییرات در بزرگی و الگوهای زمانی دو نمایه حدی برای گندم شامل احتمال تنش‌های گرمایی طی زمان گلدهی و شدت تنش‌های خشک‌سالی نمود. جهت محاسبه این نمایه‌ها، از یک مدل شبیه‌سازی گندم در ترکیب با سناریوهایی بر مبنای خروجی‌های مدل Hadcm3 در ۱۸ ایستگاه اینگلند و والز (ریز گردانی شده توسط مدل LARS-WG) استفاده کرد. علی‌رغم دمای بالاتر و بارش تابستانی کمتری که برای دوره ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده بود اما اثر تنش خشک‌سالی بر عملکرد گندم نسبت به دوره‌ی حاضر کمتر پیش‌بینی شد زیرا گندم جهت فرار از تنش خشک‌سالی تابستانی در زمان کوتاه‌تری می‌رسید؛ اما احتمال آسیب‌های ناشی از تنش گرمایی در زمان گلدهی به‌طور چشمگیری طی این دوره افزایش نشان داد.

ژانگ^۲ و همکاران (۲۰۰۵) به‌منظور بررسی روند شاخص‌های حدی دما و بارش با بهره‌گیری از آزمون من-کندال در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۰ از داده‌های ۵۲ ایستگاه متعلق به ۱۵ کشور خاورمیانه از جمله ارمنستان، ایران، عراق، اسرائیل، سوریه و ترکیه استفاده کرده و نتایج نشان داد که به لحاظ آماری به‌طور معنی‌داری روند مکانی همسانی در شاخص‌های دما وجود دارد که این روند مربوط به افزایش دما در این مناطق بوده و در شاخص‌های بارش شامل تعداد روزهای دارای بارش متوسط، شدت بارش، حداکثر بارش روزانه روند خاصی مشاهده نمی‌شود.

زونجینگ^۳ و همکاران (۲۰۱۱) نیز اقدام به بررسی روند رویدادهای حدی اقلیمی در جنوب‌غربی چین در ۱۱۰ ایستگاه طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۶۱ نمودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تغییر در رویدادهای حدی بارش به نسبت کم برآورد شد و نتایج پژوهش وانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۱) که با هدف بررسی میزان تغییر رویدادهای حدی دما و بارش تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در حوضه رودخانه زرد انجام شد نیز نشان داد که برای قرن ۲۱، نمایه‌های دما و تبخیر تحت سناریوهای اقلیمی افزایش و بیشینه بارش و میانگین آن کاهش خواهند داشت.

جانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۲) از داده‌های ۵۵۰ ایستگاه زمینی در چین طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۱ جهت ارزیابی هفت مدل جفت شده اقلیمی در شبیه‌سازی نمایه‌های حدی دما و بارش استفاده کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که مدل‌ها دارای قابلیت مطمئنی در شبیه‌سازی روند و توزیع مکانی رویدادهای حدی اقلیمی هستند.

گل محمدی و مساح (۱۳۹۰) نیز اقدام به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشک‌سالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی با استفاده از شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده^۵ (SPI) کردند. در این پژوهش، خروجی‌های مدل گردش

۱. Sillmann

13. Longa shoton reserch station weather generator

۲. Zang

3 zongxing

4 wang

5 Jiang

5. Standard Precipitation Index

6. Statistical Downscaling Model

عمومی جو Hadcm3 تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی برای منطقه با استفاده از (SDSM)^۶ ریزمقیاس و با داده‌های مشاهداتی بارندگی منطقه در دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) مقایسه گردید. نتایج نشان داد که حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشک‌سالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. براتی و جهادی طرقي(۱۳۷۸) به‌منظور تعیین روند تغییرات دما و بارش شهر مشهد را در دوره آماری ۹۴-۱۹۵۱ با استفاده از تحلیل رگرسیونی و هموارسازی بررسی کرده و نشان داد که دما و بارش شهر مشهد روند افزایش دارد و این روند تا قبل از ۱۹۷۴ با روند افزایش دما و بارش فصلی هماهنگی ندارد اما از سال ۱۹۷۴ به بعد روند فصلی و سالانه این دو عنصر باهم همخوانی دارند.

بابائیان و نجفی نیک(۱۳۸۴) به ارزیابی تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریز مقیاس نمایی(LARS-WG) خروجی مدل GCM پرداخته‌اند و بیان کردند. خواص آماری داده‌های تولید شده مشابه دوره آماری بوده اما انحراف معیار آن‌ها به نسبت اختلاف داده‌های مدل GCM در دوره آینده و گذشته تغییر می‌کند. عسکری و رحیم زاده (۱۳۸۵) به‌منظور مطالعه تغییر پذیری بارش دهه‌های اخیر ایران با استفاده از آزمون‌های من - کندال و حداقل مربعات داده‌های ۳۴ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره آماری ۱۹۹۷-۱۹۵۱ مورد بررسی قرار داده که نتایج هر دو روند، کاهش و افزایش در جمع بارش سالیانه را نشان می‌دهد

خزانه‌داری و همکاران(۱۳۸۹) به بررسی روند خشک‌سالی در ایران طی سی سال آینده ۲۰۱۰-۲۰۳۹ پرداختند. در این راستا داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G را توسط مدل LARS-WG ریز مقیاس کردند سپس به کمک این داده‌ها روند خشک‌سالی توسط دو شاخص دهک و استاندارد بارش (SPI) را مورد ارزیابی قرار دادند نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که طی ۳۰ سال آینده شرایط خشک‌سالی در کشور رو به افزایش خواهد بود که این مسئله وقوع تغییر اقلیم را تأیید می‌کند.

کرد جزی و همکاران(۱۳۹۰) به تحلیل خشک‌سالی هواشناسی کشاورزی استان گلستان در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۰ میلادی با استفاده از سناریوهای مختلف مدل گردش عمومی جو HadCM3 پرداختند در این پژوهش برای ریز مقیاس نمایی و تولید داده از مدل LARS-WG استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین فراوانی خشک‌سالی شدید در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ مربوط به ایستگاه کلاله و تحت سناریو A1B می‌باشد. در همین دوره بیشترین فراوانی خشک‌سالی بسیار شدید مربوط به ایستگاه گنبد می‌باشد که در سناریوهای B1, A1B پنج خشک‌سالی بسیار شدید در این ایستگاه پیش‌بینی می‌شود.

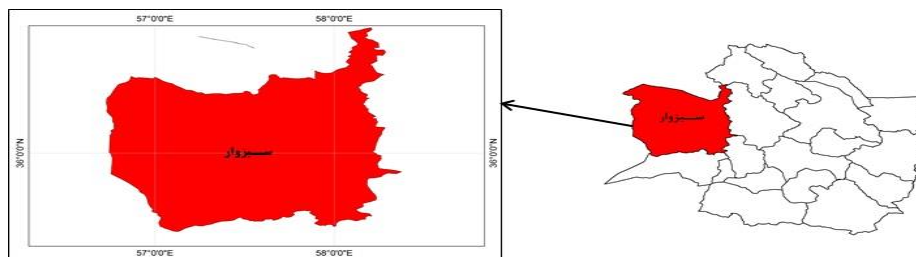
اشرف و همکاران(۱۳۹۰) در پژوهشی، داده‌های الگوی گردش عمومی جو HadCM3 را با به‌کارگیری الگوی LARS-WG طبق سه سناریو A1B, A2 و B1 ریز مقیاس شده و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ بررسی کردند.

بابائیان و کوهی (۱۳۹۱) در پژوهش خود اثر گرمایش جهانی را بر متغیرهای بارش و دما و شاخص‌های اقلیمی کشاورزی چون طول دوره خشکی، طول دوره رشد و تبخیر - تعرق بالقوه با استفاده از خروجی ریزمقیاس شده دو الگوی گردش عمومی جو NCAR-PCM و GFDL-CM2.1 تحت سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 ارزیابی کردند برای ریزمقیاس نمایی نیز از روش آماری همبستگی چند متغیره بر روی میانگین‌های ماهانه تا سالانه برای شاخص‌های اقلیمی کشاورزی و الگوی LARS-WG برای الگو سازی متغیرهای روزانه مورد نیاز در محاسبه تبخیر- تعرق بالقوه استفاده کردند.

پیش‌بینی تغییرات در رویدادهای حدی ناشی از گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف مانند آب، کشاورزی و مدیریت سامانه‌های جمع‌آوری آب شهری بسیار مهم است از آنجاکه شهر سبزوار در منطقه نیمه‌خشک کشورمان قرار گرفته و از نظر سیستم‌های تأثیرگذار بر اقلیم این منطقه در مسیر عبور سیستم‌های مختلفی قرار دارد که از جمله می‌توان به سیستم پرفشار سیبری در فصول پاییز - زمستان، سیستم کم‌فشار دینامیکی مدیترانه در فصول پاییز، زمستان و بهار، کم‌فشار دینامیکی تلفیقی مدیترانه - سودانی در فصول زمستان و بهار و در نهایت کم‌فشارهای حرارتی شبه جزیره عربستان و شمال آفریقا در فصل تابستان اشاره کرد. مطالعات نشان می‌دهند که سیستم‌های تأثیرگذار بر این ناحیه از استان خراسان رضوی بخصوص کم‌فشار مدیترانه - سودان در دهه‌های اخیر تضعیف شده‌اند که پیامد آن افزایش دما و کاهش بارش و تغییر برخی رفتارهای اقلیمی در منطقه می‌باشد. از سوی دیگر مشاهدات نشان می‌دهد که مخاطرات محیطی از قبیل بهابازارهای سنگین، خشک‌سالی‌های متناوب آثار شدیدی در این ناحیه از خراسان رضوی به‌جا گذاشته و باعث آسیب‌رسانی مالی و جانی به ساکنین این منطقه شده است. لذا نگرش به آینده یکی از ضروریات لازم در مقوله مدیریت کلان‌شهری، ناحیه‌ای و منابع آب شهرستان سبزوار محسوب می‌شود؛ بر این اساس در این پژوهش به پیش‌بینی درصد و میزان تغییرات مقادیر حدی بارش ایستگاه هواشناسی سبزوار با استفاده از سه مدل گردش عمومی جو شامل (HadCM3, CNM3, NCCCSM) طی دو دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ پرداخته شده است. انجام این پژوهش باهدف ارائه چشم‌اندازی از وضعیت آبی مقدار بارش و تغییرات رویدادهای حدی آن انجام شده که این امر امکان برنامه‌ریزی‌های بلند مدت و صحیح را در بخش‌های مختلف کشاورزی، منابع آب و برنامه‌ریزی‌های شهری مانند جمع‌آوری آب‌های سطح فراهم می‌آورد.

منطقه مورد مطالعه

ایستگاه سینوپتیک سبزوار با طول جغرافیایی $40^{\circ} 57'$ و عرض جغرافیایی $16^{\circ} 36'$ در ارتفاع ۹۴۳ متری از سطح دریا واقع شده است. موقعیت جغرافیایی شهرستان سبزوار در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان سبزوار در خراسان رضوی منبع: نگارندگان

داده‌ها و روش‌ها

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده هستند. داده‌های مشاهده‌ای شامل داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه بارش می‌باشند که این داده‌ها مربوط به دوره ۲۰۱۴-۱۹۶۱ میلادی ایستگاه سبزوار می‌باشند. داده‌های شبیه‌سازی شده توسط سه مدل گردش عمومی مربوط به دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ است که تحت دو سناریوی A_1B و A_2 و توسط مدل LARS-WG (دوره آماری پایه ۲۰۱۴-۱۹۶۱) در مقیاس ایستگاه ریز گردانی شده و در راستای کاهش عدم قطعیت (IPCC, 2010) میانگین نمایه‌های محاسبه شده برای سه مدل به دست آمده است (برای تمام مدل‌ها به‌طور یکسان و بدون وزن دهی عمل شد). در نهایت، مقدار درصد و میزان تغییر نمایه توسط رابطه (۱) و (۲) محاسبه شد. نمایه‌های حدی بارش مورد بررسی در این پژوهش در جدول (۱) آورده شده است.

$$\Delta 2020s = \frac{V2020 - Vbase}{Vbase} * 100 \quad (1)$$

$$V2020s = V2020 - Vbase \quad (2)$$

$\Delta 2020s$: درصد تغییر نمایه طی دوره (مثال ۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه؛

$V2020s$: مقدار بارش (یا هر کدام از نمایه‌های مورد بررسی) در دوره مورد نظر (در اینجا ۲۰۲۰)؛

$Vbase$: میزان بارش طی دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۶۱ م.).

در ارزیابی رویدادهای حدی به رکوردهای اقلیمی طولانی مدت، با کیفیت بالا و قابل اعتماد با تفکیک زمانی روزانه (یا بالاتر) مورد نیاز است تنک ۱ و همکاران (۲۰۰۹). لذا در اولین قدم، کنترل کیفی و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش کنترل کیفی داده‌ها با بسته نرم افزاری به نام RCLimDex انجام شد که یک ابزار استاندارد توسط ETCCDI معرفی شده است. همچنین در زمان استفاده از داده‌های روزانه بارش یک ایستگاه باید مطمئن بود که علاوه بر اینکه داده‌های ایستگاه از کیفیت بالایی برخوردارند، به‌طور غیر طبیعی ناهمگن نباشند. همگنی داده‌های مورد استفاده نیز با بهره‌گیری از بسته نرم افزاری RHtests_dlyPrpc تحت زبان برنامه نویسی R توسط سازمان هواشناسی کشور همگن شده است.

جدول ۱: نمایه‌های حدی بارش مورد مطالعه (منبع IPCC, 2010)

واحد	تعریف نمایه بارش حدی	نماد	ردیف
میلی‌متر	اگر RR_{ij} میزان بارش در روز i ام در دوره j و i نماینده تعداد روزهای در j باشد آنگاه $PRCPTOT_i = \sum_{j=1}^i RRI_j$	PRCPTOT	۱
میلی‌متر	اگر RR_{ij} میزان بارش در روز i در دوره j باشد آنگاه حداکثر بارش روزانه برای دوره j عبارت است از $RX1DAY_i = MAX(RRI_j)$	RX1 day	۲
میلی‌متر	اگر RR_{ij} میزان بارش ماهانه ۵ روزه در دوره j باشد، آنگاه حداکثر بارش ۵ روزه برای دوره j عبارت است از $RX5DAY_i = MAX(RRI_j)$	RX5 day	۳
میلی‌متر بر روز	اگر RR_{wj} میزان بارش در یک روز بارانی ($RR \geq 1mm$) در دوره j و w عبارت باشد از روزهای تر در دوره j آنگاه $SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w RR_{wj}}{w}$	SDII	۴
روز	اگر RR_{ij} میزان بارش روزانه در روز i در دوره j باشد، آنگاه روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر عبارت است از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 10mm$	R10mm	۵
روز	اگر RR_{ij} میزان بارش روزانه در روز i در دوره j باشد، آنگاه روزهای با بارش خیلی سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر عبارت است از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 20mm$	R20mm	۶
میلی‌متر	اگر RR_{wj} میزان بارش روزانه دوره j در یک روز تر ($RR \geq 1.0mm$) و RR_{wn95} صدک ۹۵ ام بارش در روزهای تر دوره ۹۰- $RR_{wj} > RR_{wn95}$ که در آن $R95_{pj} = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$ و ۱۹۶۱ و w نماینده روزهای تر در دوره باشد، آنگاه $RR_{wj} > RR_{wn95}$ که در آن $R95_{pj} = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$	R95p	۷
میلی‌متر	اگر RR_{wj} میزان بارش روزانه دوره j در یک روز تر ($RR \geq 1.0mm$) و RR_{wn99} صدک ۹۹ ام بارش در روزهای تر دوره ۹۰- $RR_{wj} > RR_{wn99}$ که در آن $R99_{pj} = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$	R99p	۸

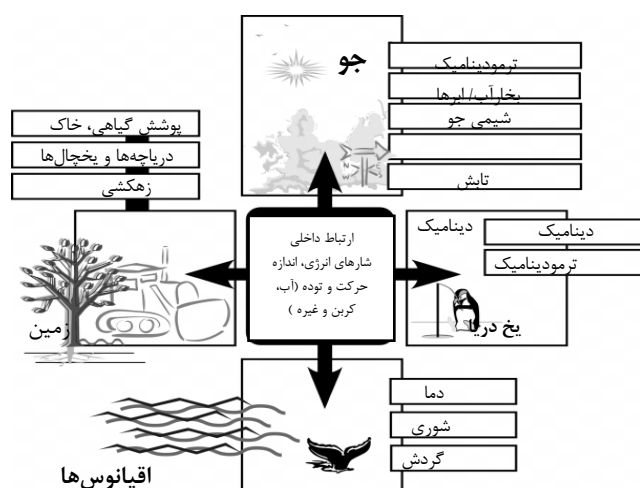
مدل‌های مورد استفاده

الف- مدل‌های AOGCM^۱

جهت بررسی تأثیر اقلیم بر سیستم‌های مختلف مانند منابع آب در دوره‌های آتی و تولید سناریوهای مقادیر حدی بارش در ابتدا می‌بایست متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه سازی شوند روش‌های مختلفی برای شبیه سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از مدل گردش عمومی جو^۲ (GCM) می‌باشد (مساح و آشفته، ۱۳۸۶). تاکنون مدل‌های مختلفی در مراکز گوناگون پژوهش‌های طراحی شده‌اند که دارای مؤلفه‌هایی هستند که در شکل (۲) نشان داده شده‌اند مانند مدل‌های CHAM4, HadCM3, ECHO-G, CGCM2, CSIRO. از آنجا که مهم‌ترین ورودی این مدل‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی می‌باشد، از این‌رو سناریوهای مختلف انتشار که دربرگیرنده چگونگی تغییرات این گازها در آینده می‌باشد، ارائه شده‌اند (جدول ۲) سمونوف و استارتویچ (۲۰۱۰)

۱. Atmospheric - ocean

۲. General circulation models



(منبع: مک گوئی کی و هندرسون، ۱۳۷۹)

شکل ۲: ساختار یک مدل جفت شده جو-اقیانوس

ب- معرفی مدل LARS-WG

مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های تولید داده‌های هواشناسی است که برای تولید مقادیر روزانه دماهای بیشینه و کمینه بارش و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. نسخه اولیه این مدل در بوداپست طی سال ۱۹۹۰، بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. اشرف و همکاران (۱۳۹۰) سمونوف و بارو (۱۹۹۷)

مدل LARS-WG از سه بخش اصلی واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده تشکیل شده است. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته است. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه، اخذ شده از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور، با در نظر گرفتن یک دوره ۵۳ ساله ۲۰۱۴-۱۹۶۱، دوره پایه تهیه شد و مدل بر اساس آن اجرا شد.

پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG در شبیه سازی داده‌های هواشناسی، اقدام به اجرای مرحله سوم یا شبیه سازی داده‌های اقلیمی برای دوره‌های آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ د.

نیاز اساسی برای اجرای این مدل، دو فایل با پسوند WG و Sce است. فایل اول همان داده‌های روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره پایه است و فایل دوم از خروجی ۳ مدل گردش عمومی جو (Hadcm3, CNCM3, NCCCSM) مورد مطالعه در دوره مشابه با دوره پایه به دست آمد در حقیقت در این مرحله مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو پارامترهای اقلیمی آینده را در حد مقیاس منطقه مورد مطالعه شبیه سازی می‌کند.

جدول ۲- مشخصات سناریوهای A1B و A2 انتشار (غلظت CO2 در سناریوی دوره پایه: ۳۳۴ ppm) (منبع IPCC, 2010)

غلظت CO ₂ (ppm)		فرض‌های کلیدی	سناریو
۲۰۴۶-۲۰۶۵	۲۰۱۱-۲۰۳۰		
۵۴۱	۴۱۸	این سناریو با رشد اقتصادی بسیار سریع (۳٪ در سال)، رشد جمعیت پایین (۰/۲۷٪ در سال) و معرفی سریع فناوری‌های مؤثرتر و جدید مشخص می‌شود. در مقیاس جهانی همگرایی و ظرفیت‌سازی اقتصادی و فرهنگی به همراه کاهش قابل توجه در تفاوت درآمد سرانه در مقیاس منطقه‌ای وجود دارد.	A1B (جهان غنی)
۵۴۵	۴۱۴	هویت‌های فرهنگی مناطق مختلف را از هم تفکیک می‌کند؛ که این امر جهان را ناهمگن‌تر و احتمال مشارکت‌های بین‌المللی را کمتر می‌کند. ارزش‌های فAMILI، سنت‌های محلی و رشد جمعیت بالا (۰/۸۳٪ در سال) مورد تأیید است. تمرکز کمتر بر رشد اقتصادی (۱/۶۵ درصدی) و ثروت مادی.	A2 (جهان تفکیک‌شده)

نتایج و بحث

کنترل کیفی و همگنی داده‌ها

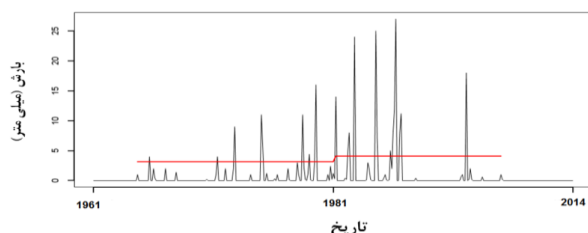
در زمان استفاده از داده‌های روزانه بارش یک ایستگاه یا یک حوضه باید مطمئن بود که علاوه بر این که داده‌های ایستگاه از کیفیت بالایی برخوردارند، به‌طور غیر طبیعی ناهمگن نباشند. ونگ (۲۰۱۰). ونگ در راستای تکمیل روش خود اقدام به ارائه یک رهیافت تجربی عملی کرد که در این روش خود همبستگی پس فاز با کاربرد آزمون‌های PMT یا PMF در تشخیص تغییرات میانگین در سری‌های زمانی لحاظ می‌شود. چنین الگوریتم‌هایی قادر به تشخیص نقاط تغییر چندگانه در سری داده‌ها نیز می‌باشند. این روش در بسته نرم افزاری RHtests_dlyPrp برای بررسی همگنی داده‌های روزانه بارش و RHtestsV3.r جهت بررسی همگنی داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه دما و بارش (به‌جز داده‌های روزانه بارش) گنجانده شده استفاده شده است. این نرم‌افزارها از یک مدل رگرسیون دو مرحله‌ای برای کنترل نقاط تغییر چندگانه‌ی که ممکن است در یک سری زمانی وجود داشته باشد استفاده می‌کنند. بررسی همگنی داده‌های یک ایستگاه را می‌توان با استفاده از یک سری داده که همگن می‌باشد (سری مرجع) انجام داد یا می‌توان بدون داشتن یک سری مرجع اقدام به بررسی همگنی داده‌ها نمود. در این پژوهش با توجه به عدم دسترسی به یک سری مرجع، در بررسی همگنی داده‌ها از روش دوم استفاده شد.

PMF Penalized Maximal F test جریمه حداکثری آزمون F

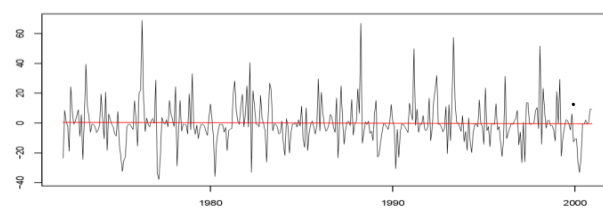
PMT Penalized Maximal t Test جریمه حداکثری آزمون t

بررسی‌ها نشان داد داده‌های ایستگاه سبزوار دارای کیفیت مطلوبی می‌باشد. نتایج همگنی داده‌های بارش نیز نشان

داد که این ایستگاه در مقیاس روزانه دارای داده‌های همگن می‌باشد شکل‌های (۳ و ۴).



شکل ۴: نقطه تغییر در سری داده‌های بارش روزانه سبزوار ۲۰۱۴-۱۹۶۱ منبع: نگارندگان



شکل ۳: سرهای ناهنجاری پایه همراه با برازش مدل رگرسیون چندگانه داده‌های بارش ماهانه سبزوار ۲۰۱۴-۱۹۶۱ منبع: نگارندگان

بررسی توانمندی مدل‌های مورد استفاده

جهت بررسی توانمندی سه مدل HadCM3، NCCCSM و CNCM3 یا CGMR در شبیه سازی داده‌های آب و هوایی به‌ویژه بارش از ضریب همبستگی بین داده‌های ماهانه بارش مشاهده شده و داده‌های شبیه سازی سه مدل طی دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ استفاده گردید (جدول ۳). لازم به ذکر است که با توجه به عدم قطعیت زیاد داده‌های بارش در مقیاس روزانه از داده‌های بارش مدل‌های گردش عمومی جو در مقیاس ماهانه استفاده می‌شود. با وجود پایین بودن مقدار ضریب همبستگی موجود بین داده‌های مشاهده شده و شبیه سازی شده، در آزمون معنی‌داری این ضریب، مشخص شد که با اطمینان ۹۹ بین این دو سری داده رابطه وجود دارد. در جدول ۳ مشخصات مدل‌های اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش ارائه شده است.

جدول ۳: مشخصات مدل‌های اقلیمی و ضریب همبستگی ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده (منبع IPCC, 2010)

مدل جهانی اقلیم	کشور	تفکیک شبکه	سناریوهای انتشار	ضریب همبستگی
HadCM3	انگلستان	$2/5 * 3/75^{\circ}$	SRA1B, SRA2, SRB1	۰/۵۶
NCCCSM3	آمریکا	$1/4 * 1/4^{\circ}$	SRA1B, SRA2, SRB1	۰/۶۱
CNCM3	فرانسه	$2/8 * 2/8$	SRA1B	۰/۶۲

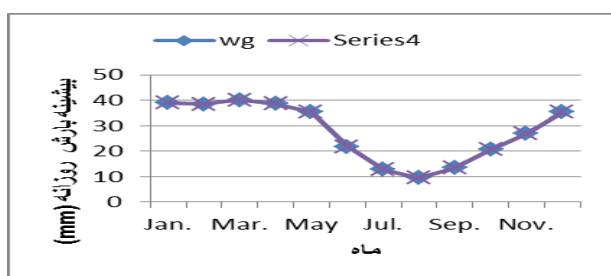
در بررسی توانمندی مدل LARS-WG در شبیه سازی داده‌های آب و هوایی می‌توان مقادیر میانگین، واریانس و انحراف معیار متغیرهای اقلیمی را با استفاده از آزمون t و F مورد مقایسه قرار داد سمنوف (۲۰۰۸) در این رابطه، ابتدا با استفاده از ۵۳ سال داده دیدبانی (مشاهداتی) شده در ایستگاه سبزوار (۱۹۶۱-۲۰۱۴) پارامترهای اقلیمی بارش ایستگاه سبزوار با استفاده از توزیع نیمه تجربی در مدل LARS-WG محاسبه گردید. سپس مدل برای تولید ۱۰۰ سال داده بر اساس پارامترهای به‌دست‌آمده برای سری داده‌های مشاهده شده ایستگاه اجرا گردید. با تغییر عدد تصادفی این عمل چندین بار اجرا شد تا نتایج آماری قابل قبولی به دست آمد. نتایج حاصل از آزمون t برای این ایستگاه نشان داد که بین میانگین شبیه سازی شده بارش با مقدار واقعی آن اختلاف معنی‌داری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ وجود ندارد. همچنین ضرایب همبستگی، اریبی و میانگین خطای مطلق در سری ماهانه داده‌های مشاهداتی شده و شبیه سازی شده نیز برای

این ایستگاه محاسبه شد (جدول ۴). در ادامه مقایسه‌ای بین مقادیر میانگین، انحراف معیار و بیشینه بارش ماهانه دو سری مشاهداتی و شبیه‌سازی شده انجام گردید که در اشکال (۵) تا (۸) ارائه شده است.

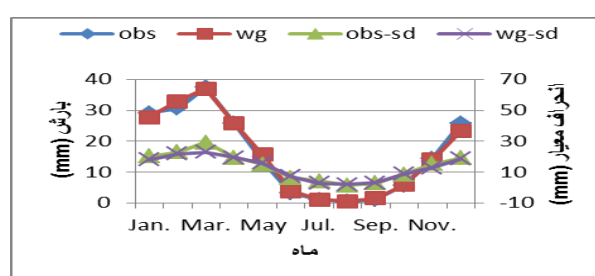
جدول ۴: مقایسه مقادیر مدل‌سازی مدل LARS-WG با مقادیر واقعی در دوره ۲۰۱۴-۱۹۶۱ منبع: نگارندگان

ایستگاه	BIAS	MAE	همبستگی
سبزوار	۰/۱	۰/۹	۰/۹۹۵

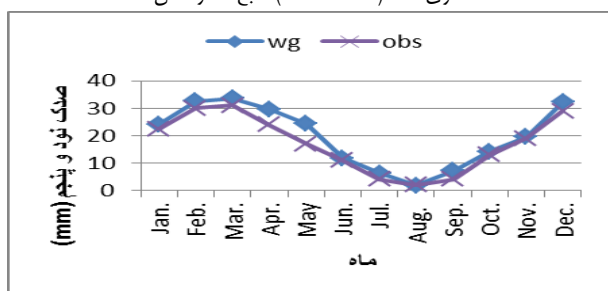
همان‌طور که در اشکال (۷ و ۸) مشاهده می‌شود مدل در شبیه‌سازی میانه بارش و صدک نود و پنجم در ماه‌های می و آوریل کمی پیش‌برآورد داشته ولی مقادیر این نمایه در ماه‌های مختلف سال در دو سری زمانی از یک الگو پیروی می‌کنند؛ و مقایسه میانگین بیشینه بارش و انحراف معیار بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی ایستگاه سبزوار شکل‌های (۵ و ۶) حاکی از آن است که در تمام ماه‌های مختلف سال مدل در دو سری زمانی از یک الگو پیروی می‌کند و اختلاف معنی‌داری با دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۶۰) مشاهده نمی‌شود و می‌توان نتیجه گرفت مدل LARS-WG از توانایی خوبی در شبیه‌سازی بارش ایستگاه هواشناسی سبزوار در دو دوره آتی مورد مطالعه برخوردار است.



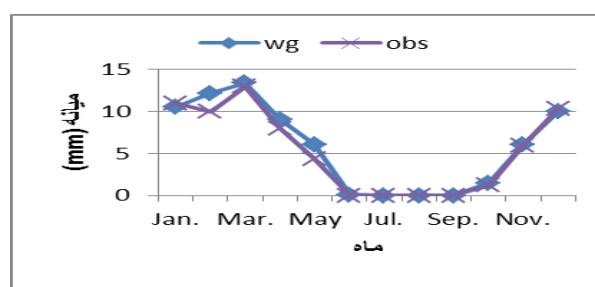
شکل ۶: مقایسه میانگین بیشینه بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (۲۰۱۴-۱۹۶۱) منبع: نگارندگان



شکل ۵: مقایسه میانگین و انحراف معیار بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (۲۰۱۴-۱۹۶۱)



شکل ۸: مقایسه صدک نود و پنجم بارش ماهانه و شبیه‌سازی شده (۲۰۱۴-۱۹۶۱) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (۲۰۱۴-۱۹۶۱)



منبع: نگارندگان

شکل ۷: نمودار میانه بارش مشاهداتی

با واسنجی مدل LARS-WG و اطمینان از قابلیت آن در شبیه‌سازی مطلوب سری داده‌ها برای ایستگاه سبزوار، این مدل برای دو دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ با استفاده از خروجی سه مدل گردش عمومی جو HadCM3، NCCCSM و CGMR تحت سناریوی A1B (با تولید ۱۰۰ سال داده روزانه بارش) اجرا شد. سپس با استفاده از

نرم افزار RCLimDex نمایه‌های حدی محاسبه گردید. در ادامه میانگین هر کدام از نمایه‌ها برای دوره پایه و دو دوره آتی به دست آمد.

محاسبه نمایه حدی بارش

در جدول‌های (۵)، (۶) نمایه‌های حدی بارش شهرستان سبزوار با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو تحت دو سناریو انتشار A₁B و A₂ در دو دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دو دوره پایه ۲۰۱۴-۱۹۶۱ ارائه شده است

جدول ۵: نمایه‌های حدی بارش شهرستان سبزوار با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو تحت

دو سناریو انتشار A₁B، A₂ طی دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰

سبزوار ۲۰۱۱-۲۰۳۰		PRCPT OT	R10mm	R20mm	R95p	R99p	RX1day	Rx5day	SDII
A1B	پایه دوره (WG)	188.33	5.8	1.1875	38.471	11.265	25.524	36.874	6.4588
	CNCM3	160.36	4.76	0.8	30.548	9.514	21.408	30.568	5.954
	HadCM3	185.58	5.8875	1.325	38.764	10.869	27.116	37.269	6.6388
	NCCCSM	190.92	6.12	1.3	37.406	11.886	25.5	35.806	6.67
A2	CNCM3	202.2	6.8	1.48	40.06	12.654	27.068	37.788	6.984
	HadCM3	182.43	5.6625	1.3125	38.664	10.25	26.173	36.056	6.5638
	NCCCSM	201.54	6.36	1.64	41.44	12.666	27.08	38.372	6.912

منبع: نگارندگان

جدول ۶: نمایه‌های حدی بارش شهرستان سبزوار با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو تحت

دو سناریو انتشار A₁B، A₂ طی دوره آماری ۲۰۴۶-۲۰۶۵

سبزوار ۲۰۴۶-۲۰۶۵		PRCPT OT	R10mm	R20mm	R95p	R99p	RX1day	Rx5day	SDII
A1B	پایه دوره (WG)	188.33	5.8	1.1875	38.471	11.265	25.524	36.874	6.4588
	CNCM3	205.94	6.28	1.7	44.47	13.612	28.158	40.514	6.888
	HadCM3	176.98	5.04	0.94	37.59	12.632	24.496	35.99	6.154
	NCCCSM	173.61	5.52	1.06	34.47	10.652	23.834	33.622	6.282
A2	CNCM3	174.39	5.04	1.2	37.186	11.798	24.472	35.326	6.08
	HadCM3	198.56	6.1	1.52	42.166	13.912	27.434	39.992	6.84
	NCCCSM	179.66	5.52	1.12	38.028	11.128	24.424	35.994	6.284

منبع: نگارندگان

محاسبه درصد و میزان تغییرات نمایه‌های حدی بارش

در جدول‌های (۷ و ۸) محاسبه درصد و میزان تغییرات نمایه‌های حدی بارش شهرستان سبزوار با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (NCCCSM, HadCM3, CNCM3) تحت سناریو انتشار A2 و A1B در دو دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۴-۱۹۶۱ ارائه شده است.

جدول ۷: درصد و میزان تغییرات نمایه‌های حدی بارش شهرستان سبزوار با استفاده از مدل‌های خروجی گردش عمومی جو تحت دو سناریو A1B و A2 طی دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۱، منبع: نگارندگان

سبزوار ۲۰۳۰-۲۰۱۱		PRCPTOT	R10mm	R20mm	R95p	R99p	RX1day	Rx5day	SDII	
پایه بارش با تغییرات درصد	سناریوی میانگین A1B	178.95	5.59	1.14	35.57	10.76	24.67	34.55	6.42	
	سناریوی میانگین A2	195.39	6.27	1.48	40.05	11.86	26.77	37.41	6.82	
	CNCM3	-14.9	-17.9	-32.6	-20.6	-15.5	-16.1	-17.1	-7.8	
	HadCM3	-1.5	1.5	11.6	0.8	-3.5	6.2	1.1	2.8	
	NCCCSM	1.4	5.5	9.5	-2.8	5.5	-0.1	-2.9	3.3	
	CNCM3	7.4	17.2	24.6	4.1	12.3	6.1	2.5	8.1	
	HadCM3	-3.1	-2.4	10.5	0.5	-9.0	2.5	-2.2	1.6	
	NCCCSM	7.0	9.7	38.1	7.7	12.4	6.1	4.1	7.0	
	سناریوی میانگین A1B	-5.0	-3.6	-3.9	-7.5	-4.5	-3.3	-6.3	-0.6	
	سناریوی میانگین A2	3.7	8.2	24.4	4.1	5.3	4.9	1.4	5.6	
	مطلق تغییرات	CNCM3	-28.0	-1.0	-0.4	-7.9	-1.8	-4.1	-6.3	-0.5
		HadCM3	-2.7	0.1	0.1	0.3	-0.4	1.6	0.4	0.2
NCCCSM		2.6	0.3	0.1	-1.1	0.6	0.0	-1.1	0.2	
CNCM3		13.9	1.0	0.3	1.6	1.4	1.5	0.9	0.5	
HadCM3		-5.9	-0.1	0.1	0.2	-1.0	0.6	-0.8	0.1	
NCCCSM		13.2	0.6	0.5	3.0	1.4	1.6	1.5	0.5	
سناریوی میانگین A1B		-9.4	-0.2	0.0	-2.9	-0.5	-0.8	-2.3	0.0	
سناریوی میانگین A2		7.1	0.5	0.3	1.6	0.6	1.2	0.5	0.4	

جدول ۸: درصد و میزان تغییرات نمایه‌های حدی بارش شهرستان سبزوار با استفاده از مدل‌های خروجی گردش عمومی جو تحت دو سناریو A1B و A2 طی دوره آماری ۲۰۶۵-۲۰۴۶، منبع: نگارندگان

سبزوار ۲۰۶۵-۲۰۴۶		PRCPTOT	R10mm	R20mm	R95p	R99p	RX1day	Rx5day	SDII	
پایه بارش با تغییرات درصد	سناریوی میانگین A1B	185.51	5.61	1.23	38.84	12.30	25.50	36.71	6.44	
	سناریوی میانگین A2	184.20	5.55	1.28	39.13	12.28	25.44	37.10	6.40	
	CNCM3	9.3	8.3	43.2	15.6	20.8	10.3	9.9	6.6	
	HadCM3	-6.0	-13.1	-20.8	-2.3	12.1	-4.0	-2.4	-4.7	
	NCCCSM	-7.8	-4.8	-10.7	-10.4	-5.4	-6.6	-8.8	-2.7	
	CNCM3	-7.4	-13.1	1.1	-3.3	4.7	-4.1	-4.2	-5.9	
	HadCM3	5.4	5.2	28.0	9.6	23.5	7.5	8.5	5.9	
	NCCCSM	-4.6	-4.8	-5.7	-1.2	-1.2	-4.3	-2.4	-2.7	
	سناریوی میانگین A1B	-1.5	-3.2	3.9	1.0	9.2	-0.1	-0.4	-0.3	
	سناریوی میانگین A2	-2.2	-4.3	7.8	1.7	9.0	-0.3	0.6	-0.9	
	مطلق تغییرات	CNCM3	17.6	0.5	0.5	6.0	2.3	2.6	3.6	0.4
		HadCM3	-11.3	-0.8	-0.2	-0.9	1.4	-1.0	-0.9	-0.3
NCCCSM		-14.7	-0.3	-0.1	-4.0	-0.6	-1.7	-3.3	-0.2	
CNCM3		-13.9	-0.8	0.0	-1.3	0.5	-1.1	-1.5	-0.4	
HadCM3		10.2	0.3	0.3	3.7	2.6	1.9	3.1	0.4	
NCCCSM		-8.7	-0.3	-0.1	-0.4	-0.1	-1.1	-0.9	-0.2	
سناریوی میانگین A1B		-2.8	-0.2	0.0	0.4	1.0	0.0	-0.2	0.0	
سناریوی میانگین A2		-4.1	-0.2	0.1	0.7	1.0	-0.1	0.2	-0.1	

مقدار سالانه بارش در روزهای تر (Preptot)

مطابق جدول (۷) طی دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میانگین درصد تغییرات این نمایه بر اساس سناریو A2 ۵ درصد کاهش و بر اساس سناریو A1B ۴ درصد افزایش می‌یابد؛ که بیشترین کاهش مربوط به مدل CNCM3 به میزان ۱۵ درصد می‌باشد. به طوری که میانگین این نمایه تحت سناریو A1B ۹/۴ میلی‌متر کاهش یافته ولی تحت سناریو A2 به میزان ۷/۱ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش دارد. طی دوره آتی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میانگین درصد تغییرات این نمایه بر اساس سناریوی A2 و A1B ۲ درصد کاهش که میزان این کاهش تحت سناریو A1B ۲/۸ و تحت سناریو A2 ۴/۱ میلی‌متر نسبت به دوره پایه می‌باشد (جدول ۸).

روزهای با بارش سنگین (R10mm)

همان‌طور که در جدول (۷) و (۸) مشاهده می‌کنید به‌طور میانگین احتمال می‌رود که تعداد این روزها طی دو دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره پایه افزایش یابد که از بین سه مدل مورد مطالعه مدل CNCM3 تحت سناریو A2 بیشترین درصد افزایش این نمایه یعنی ۱۷ درصد را نشان می‌دهد. ولی در طی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ به‌طور میانگین تعداد روزها با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر به میزان ۳ درصد کاهش می‌یابد که از بین سه مدل مورد مطالعه، مدل‌های HadCM3 و CNCM3 بیشترین درصد کاهش یعنی ۱۳ درصد نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهند.

روزهای با بارش ابرسنگین (R20mm)

این نمایه نشان‌دهنده تعداد روزهای با بارش ابرسنگین است. طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ پیش‌بینی می‌شود میانگین درصد تغییرات این نمایه در سه مدل تحت سناریو A1B ۴ درصد کاهش و تحت سناریو A2 ۲۴ درصد افزایش که بیشترین درصد افزایش تحت سناریو A2 مربوط به مدل NCCCSM3 به میزان ۳۸ درصد می‌باشد. جدول (۷) ولی در طی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میانگین درصد تغییرات این نمایه در سه مدل تحت سناریو A1B ۴ درصد و تحت سناریو A2 ۸ درصد افزایش می‌یابد؛ که بیشترین افزایش مربوط به سناریو A1B بر اساس مدل CNCM3 به میزان ۴۳ درصد می‌باشد.

سه‌م بارش کل سالانه به علت بارش‌های بیش از صدک ۹۵ و ۹۹ بارش دوره پایه

این دو نسبت با محاسبه میانگین مقدار بارش به علت روزهای بسیارتر و بیش از اندازه تر طی دوره پایه و دو دوره پیش‌بینی و تقسیم آن بر میانگین بارش طی دوره‌های یاد شده به دست می‌آید. همان‌طور که در جداول ۷ و ۸ مشاهده می‌شود میانگین میزان تغییرات این دو نمایه تحت سناریوی A1B و A2 در هر دو دوره به‌طور میانگین افزایش داشته بطوریکه تحت سناریوی A2 طی دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میانگین نمایه R95P ۴ درصد و میانگین نمایه R99P ۵

^۱ Number of heavy precipitation days

درصد افزایش را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد؛ که تقریباً قابل ملاحظه می‌باشد لذا مقدار میانگین نمایه‌های R95P و R99P تحت سناریو A2 در طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ به ترتیب $1/6$ و $0/6$ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش دارد؛ و احتمال می‌رود که در طی دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نیز شاهد افزایش این نمایه نسبت به دوره پایه باشیم بطوریکه میانگین این نمایه‌ها در حدود یک میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

حداکثر بارش یک روزه (Rx1day)

همان‌طور که در جدول‌های (۷ و ۸) مشاهده می‌شود پیش‌بینی می‌شود میانگین میزان تغییرات این نمایه بر اساس سناریو A1B نسبت به دوره پایه تحت سه مدل مورد مطالعه در دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ $0/8$ میلی‌متر کاهش و در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره پایه بدون تغییر باشد. ولی تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ $1/2$ میلی‌متر افزایش و در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ $0/1$ میلی‌متر کاهش پیش‌بینی شده است؛ که می‌توان نتیجه گرفت در حداکثر میزان بارش یک‌روزه تفاوت محسوسی مشاهده نمی‌شود.

حداکثر بارش ۵ روزه (Rx5day)

این نمایه حدی نشان‌دهنده بیشینه بارش پنج روزه متوالی طی دوره مورد بررسی می‌باشد. با توجه به اینکه این نمایه بیانگر تداوم فعالیت سامانه‌های باران‌زا و یا ناپایداری در دوره‌های چند روزه است لذا نمایه‌ای مناسب برای سیل محسوب می‌شود. نتایج به دست آمده در مقیاس سالانه نشان می‌دهد طی دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ بر اساس میانگین سه مدل این نمایه تحت سناریو A1B کاهش یافته ولی تحت سناریو A2 در هر دو دوره شاهد افزایش آن هستیم (جدول ۷ و ۸).

نمایه ساده شدت روزانه^۱ (SDII)

این نمایه ساده شدت روزانه بارش را نشان می‌دهد. این نمایه نشان‌دهنده نسبت بارش کل سالانه به تعداد روزهای بارش بیش از ۱ میلی‌متر می‌باشد. نتایج حاصل از ریز گردانی سه مدل در ایستگاه سبزوار نشان‌دهنده تغییرات نامحسوس این نمایه است بطوریکه میانگین تغییرات این نمایه در هر دو دوره آتی حداکثر $0/2$ میلی‌متر کاهش یا افزایش می‌یابد. در جداول (۹ و ۱۰) درصد تغییرات نمایه‌های حدی مورد بررسی بارش نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای A1B و A2 برای دوره آتی نشان داده شده است.

^۱ Simple dailyinten sity index

جدول ۹: درصد تغییرات نمایه‌های مورد بررسی نسبت به دوره پایه تحت سناریوی A1B منبع: نگارندگان

مدل				دوره	نمایه
CNCM3	HadCM3	NCCCCSM	Multi-Model		
-۱۴/۹	-۱/۵	۱/۴	-۵	۲۰۱۱-۲۰۳۰	PRC
۹/۳	-۶	-۷/۸	-۱/۵	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
-۱۷/۹	۱/۵	۵/۵	-۳/۶	۲۰۱۱-۲۰۳۰	R10mm
۸/۳	-۱۳/۱	-۴/۸	-۳/۲	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
-۳۲/۶	۱۱/۶	۹/۵	-۳/۹	۲۰۱۱-۲۰۳۰	R20mm
۴۳/۲	-۲۰/۸	-۱۰/۷	۳/۹	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
-۲۰/۶	-۰/۸	-۲/۸	-۷/۵	۲۰۱۱-۲۰۳۰	R95P
۱۵/۶	-۲/۳	-۱۰/۴	۱	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
-۱۵/۵	-۳/۵	۵/۵	-۴/۵	۲۰۱۱-۲۰۳۰	R99P
۲۰/۸	۱۲/۱	-۵/۴	۹/۲	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
-۱۶/۱	۶/۲	-۰/۱	-۳/۳	۲۰۱۱-۲۰۳۰	Rx1day
۱۰/۳	-۴	-۶/۶	-۰/۱	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
-۱۷/۱	۱/۱	-۲/۹	-۶/۳	۲۰۱۱-۲۰۳۰	Rx5day
۹/۹	-۲/۴	-۸/۸	-۰/۴	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
-۷/۸	۲/۸	۳/۳	-۰/۶	۲۰۱۱-۲۰۳۰	SDII
۶/۶	-۴/۷	-۲/۷	-۰/۳	۲۰۴۶-۲۰۶۵	

جدول ۱۰: درصد تغییرات نمایه‌های مورد بررسی نسبت به دوره پایه تحت سناریوی A2 منبع: نگارندگان

مدل				دوره	نمایه
CNCM3	HadCM3	NCCCCSM	Multi-Model		
۷/۴	-۳/۱	۷	۳/۷	۲۰۱۱-۲۰۳۰	PRC
-۷/۴	۵/۴	-۴/۶	-۲/۲	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۱۷/۲	-۲/۴	۹/۷	۸/۲	۲۰۱۱-۲۰۳۰	R10mm
-۱۳/۱	۵/۲	-۴/۸	-۴/۳	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۲۴/۶	۱۰/۵	۳۸/۱	۲۴/۴	۲۰۱۱-۲۰۳۰	R20mm
۱/۱	۲۸	-۵/۷	۷/۸	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۴/۱	-۰/۵	۷/۷	۴/۱	۲۰۱۱-۲۰۳۰	R95P
-۳/۳	۹/۶	-۱/۲	۱/۷	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۱۲/۳	-۹	۱۲/۴	۵/۳	۲۰۱۱-۲۰۳۰	R99P
۴/۷	۲۳/۵	-۱/۲	۹	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۶/۱	۲/۵	۶/۱	۴/۹	۲۰۱۱-۲۰۳۰	Rx1day
-۴/۱	۷/۵	-۴/۳	-۰/۳	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۲/۵	-۲/۲	۴/۱	۱/۴	۲۰۱۱-۲۰۳۰	Rx5day
-۴/۲	۸/۵	-۲/۴	۰/۶	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۸/۱	۱/۶	۷	۵/۶	۲۰۱۱-۲۰۳۰	SDII
-۵/۹	۵/۹	-۲/۷	-۰/۹	۲۰۴۶-۲۰۶۵	

نتیجه گیری

با توجه به اثر انکار ناپذیر تغییر اقلیم بر مقادیر حدی بارش، ارائه سناریوهای این رویدادها جهت برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر برای بخش‌های مختلف اقتصادی- اجتماعی ضروری به نظر می‌رسد. شهرهای درحال توسعه‌ای مانند سبزوار به علت زیرساختارهای شهری پیچیده، مناطق حاشیه‌ای با ساختار غیر استاندارد شهری و تغییرات در الگوهای بارش به علت تغییر اقلیم، به‌طور روزافزونی در معرض خطر سیل قرار دارند.

در این پژوهش با هدف ارائه دورنمایی از این رویدادها، تأثیر تغییرات میزان گازهای گلخانه‌ای بر مبنای سناریوی A_1B و A_2 بر نمایه‌های فوق به‌صورت درصد و مقدار تغییر آن‌ها نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۹ و ۱۰). نتایج نشان از کاهش میانگین اکثر نمایه‌های بارش طی دو دوره تحت تأثیر سناریو A_1B است (جدول ۹) که این امر ممکن است به دلیل فرآیندهای برگشتی رطوبت و بارندگی باشد. در این راستا، بر اساس پژوهش‌های انجام شده، مدل‌ها پیش‌بینی می‌کنند که در پاسخ به گرمای اضافی حاصل از گرمایش جهانی، آب تبخیر شده از سطح اقیانوس در عرض‌های حاره‌ای، قبل از وقوع بارش بیشتر به سمت قطب انتقال می‌یابد؛ بنابراین همان‌طور که اثر گلخانه‌ای تشدید می‌شود بارش در مناطق قطبی در عرض ۳۰ درجه افزایش (افزایش تعداد روزهای بارانی) و بین عرض‌های ۵ تا ۳۰ درجه کاهش می‌یابد) و تحت افزایش گازهای گلخانه‌ای انتظار می‌رود جهان به دلیل افزایش دما و به‌تبع آن افزایش تبخیر، خشک‌تر شود؛ اما نکته قابل تأمل این است که درصد افزایش احتمالی بارش میانگین نمایه R_{95p} و R_{99p} تحت سناریو A_1B و A_2 به‌ویژه طی دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ افزایش یافته که بیشترین افزایش این نمایه متعلق به مدل HadCM3 به میزان ۲۴ درصد نسبت به دوره پایه است. از آنجایی که نمایه‌های R_{95p} و R_{99p} معیارهای مناسبی برای بارندگی‌های حدی به شمار می‌روند لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش بارش‌های حدی در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای (بر مبنای میزان فرض شده مقدار این گازها در سناریوی A_2) رخ خواهد داد که این امر به‌ویژه در دوره اول و دوم بر حسب سناریو A_2 قابل ملاحظه است.

همان‌طوری که در (جدول ۱۰) مشاهده می‌کنید نتایج نشان از افزایش اکثر نمایه‌های مورد مطالعه در تمام مدل‌های مورد مطالعه تحت سناریوی A_2 در دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ است که در این میان افزایش دو نمایه R_{10mm} و R_{20mm} چشمگیر است به‌نحوی که به‌طور میانگین نمایه R_{10mm} ۸ درصد و نمایه R_{20mm} ۲۴ درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد؛ و با توجه به این که در اغلب اقلیم‌ها این دو نمایه ارتباط زیادی با جمع بارش فصلی و سالیانه دارند با افزایش بارش در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تعداد روزهای خشک متوالی تا حدودی کاهش خواهد یافت که انتظار می‌رود بارش‌های از حالت ملایم به حالت رگ باری و سیل‌آسا تبدیل گردد. نمایه SDII نیز تنها طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوی A_2 افزایش خواهد یافت که این امر با پیش‌بینی‌های صورت گرفته مبنی بر افزایش شدت بارندگی در اغلب اقلیم‌ها بر اثر افزایش قدرت گازهای گلخانه‌ای مطابقت دارد.

بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده، با احتمال بسیار زیادی بارش در عرض‌های بالا افزایش می‌یابد. همچنین با احتمال بسیار زیادی فراوانی موج‌های گرمایی، رویدادهای حدی گرمایی و بارش‌های حدی فزونی خواهند یافت (WMO, 2011). نتایج حاصل از این پژوهش نیز نشان‌دهنده افزایش میزان کل بارش با دامنه متفاوت برحسب مدل مورد استفاده می‌باشد. همچنین این نتایج با برخی از نتایج به‌دست‌آمده از سایر پژوهش‌ها (مثال، انحراف معیار مثبت در شدت بارش در منطقه شمال شرق ایران) همخوانی دارد و نر^۱ (۲۰۱۱) نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش نمایه‌های سیل همچون R95p, R99p و Rx5day، در طی دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ برخی زیرساخت‌ها و مناطق شهری (به‌ویژه مناطق حاشیه‌ای شهرستان سبزوار) در معرض خطر آسیب‌پذیری بالایی نسبت به این رخداد قرار خواهند گرفت. با توجه به اهمیت موضوع ضروری است مسئولین، زمینه انجام مطالعات بیشتری را همانند استفاده از روش‌های دیگر ریزمقیاس نمایی و تحت سناریوهای جدید در این عرصه را فراهم آورند چراکه لحاظ چنین نتایجی در برنامه‌ریزی‌های بلند مدت در بخش خدمات شهری (در راستای مدیریت ریسک بلایای طبیعی) ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

- ۱- اشرف، ب. موسوی بایگی، م. کمالی، غ و داوری، ک. (۱۳۹۰): پیش‌بینی نیاز آبی چغندر قند در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل زیر مقیاس کننده LARS-WG (مطالعه موردی استان خراسان رضوی) مجله آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۵، صص ۱۱۹۶-۱۱۸۴. مشهد.
- ۲- بابائیان، ا. و نجفی نیک، ز. (۱۳۸۴): ارزیابی تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل GCM^۱، گزارش پروژه پژوهشکده اقلیم‌شناسی و سازمان هواشناسی کشور.
- ۳- بابائیان، ا و کوهی، م. (۱۳۹۱): ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ج ۲۶، ش ۴، مهر- آبان؛ ۹۶۷-۹۵۳.
- ۴- براتی، غ و جهادی طرقي، م. (۱۳۷۸): تعیین روند تغییرات دما و بارش شهر مشهد طی دوره آماری ۱۹۹۴-۱۹۵۱ "فصل‌نامه تحقیقات جغرافیا شماره ۵۵-۵۴.
- ۵- خزانه‌داری، ل. کوهی، م. زابل عباسی، ف. قندهاری، ش و ملبوسی، ش. (۱۳۸۹): بررسی روند خشک‌سالی در ایران طی ۳۰ سال آینده ۲۰۳۹-۲۰۱۰، چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم
- ۶- رحیم زاده، ف. عسکری، ا. فتاحی، ا. محمدیان، ن. و تقی پور، ا. (۱۳۸۸): روند نمایه‌های فرین اقلیمی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱، "فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۳، صص ۱۵۷۱۷-۱۵۷۴۲.
- ۷- عسکری، ا. رحیم زاده، ف. محمدیان، ن. و فتاحی، ا. (۱۳۸۶): "تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های فرین در ایران"، تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۳، ۵۶-۴۲.
- ۸- عساکره، ح. (۱۳۸۹): "تحلیل تغییرات بارش‌های فرین شهر زنجان"، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال اول، شماره اول و دوم، صص ۱۰۰-۸۹.
- ۹- کرد جزی، م. باقری، س. بابائیان، ا و عبدالجبار، م. (۱۳۹۰): تحلیل خشک‌سالی هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از سناریوهای مختلف مدل گردش عمومی جو HADCM3، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب.
- ۱۰- گل محمدی، م و مساح بوانی، ع. (۱۳۹۰): "بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشک‌سالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم". نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۲): ۳۱۵ تا ۳۲۶.

^۱ Wener

۱۱- مساح بوانی، ع و سادات آشفته، پ. (۱۳۸۶): "بررسی اهمیت موضوع تغییر اقلیم در جهان و تأثیر آن بر سیستم‌های مختلف". کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب، ۲۴ بهمن‌ماه ۱۳۸۶. تهران.

- 12- Bonsal, B. R. X. Zhang, L. A. Vincent, and W. D. Hogg, (2001): Characteristics of Daily and Extreme Temperature Over Canada," Journal of Climate, 14, pp. 1959-1976.
- 13- Dea Gaetano, A.T. (1996): "Recent Trends in Maximum and Minimum Temperature Threshold Exceedences in Northern United States," Journal of Climate, 9, pp. 1646-1657.
- 14- Intergovernmental Panel on Climate Change (2010): Meeting Report, IPCC Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado. USA.
- 15- Intergovernmental Panel on Climate Change *IPCC* Technical Paper VI - June (2008): Bates, B.C. Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutik of, Eds. *IPCC* Secretariat, Geneva, 210 pp. Available from *IPCC* ...
- 16- Jiang, Z., Song, J, Li, L, Chen, W, Wang, Z. Wang, J (2012): "Extreme Climate Events In China: IPCC-AR4 Model Evaluation And Projection," Climatic Change, 11(1-2), Pp.385-401
- 17- Plummer, N. Salinger MJ, Nicholls N. Suppiah R. Hennessy Kj Leighton RM, Trewin BC, Page CM, Lough JM, (1999): "Changes in Climate Extremes Over The Australian Region and New Zeland During The Twentieth Century," Climate Change 42:183-202.
- 18- Rodrigues Da Silva, V. P. (2004): On Climate Variability In Northeast Of Brazil, J. Arid Envir, 58: 575-596.
- 19- Semenov, M. (2008): "Simulation Of Extreme Weather Events By A Stochastic Weather Generator," Climate Research, 35, 203-212.
- 20- Semenov, M. A. Stratonovitch, P (2010): "Use of Multi-model Ensembles from Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts," CLIMATE RESEARCH, 4, pp. 1-14.
- 21- Semenov, M. A. and Barrow, E. M. (1997): Use of A Stochastic Weather Generator in The Development of Climate Change Scenarios. Climatic Change 35, 397-414.
- 22- Sillmann, J. (2005): "Extreme Events in Climate Model Data," IPCC Workshop, International Max Plank Research School on Earth System Modeling.
- 23- Turkesh, M. Sumer, M. U and Demir, S. (2002): "Re- Evaluation of Trends and Changes In Mein, Maximum And Minimum Temperatures Of Turkey For The Period 1929-1999", International Journal Of Climatology, 22.
- 24- Wehner, M. F (2011): "Extremes from Climate Models Overview of AR4 and USGCRP reports Plans for AR5, Summer Colloquia: Statistical Assessment of Extreme Weather Phenomena under Climate Change (RAL/MMM/IMAGe), Advanced Study Program," National Center for Atmospheric Research (NCAR).
- 25- World Meteorological Organization (2011): Weather Extremes in A Hanging Climate: hindsight on For Sight," ISBN: 978-92-63-11075-6.
- 26- Wang, X. L. Feng, Y. (2010): RHtestsV3 User Manual, Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada, Toronto, Ontario, Canada, Published online at [http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/ Software.Shtml](http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/Software.Shtml), January 2010, Visited in June 2010.
- 27- Zhai Pm. Sun A, Ren F Liu X, Gao B. Zhang Q. (1999), "Changes of climate extremes in China," ClimateChange 42: 203-218e
- 28- Zongxing, L, He, Y, Wang, P, The AK Stone, W.H, An, W, Wang, X. Lu, A, Zhang, W, Cao, W (2011): "Changes Of Daily Climate Extremes In Southwestern China During 1961-2008," Global And Planetary Change, 80-81, Pp. 255-272.
- 29- Zhang, W. Cao, W (2011): "Changes of Daily Climate Extremes in Southwestern China During 1961-2008," Global and Planetary Change, 80-81, pp. 255-272.