

The Impact of Climate Change on the heavy Rainfall and Extreme Temperatures (Bijar, Khalkhal, Zanjan, Qorveh and Miane stations Sefidrood Basin)

Safavi, M.¹  | Moslemi, H.²  | Rezai, M.³  | Darvishi, R.⁴ 

1. **Corresponding Author**, PhD student in Watershed Science and Engineering - Soil Conservation University of Hormozgan, Iran. E-mail: mojtabasafavi87@gmail.com
2. student of Watershed Management and Engineering, Watershed Management, Hormozgan University, Iran. E-mail: hamidmoslemi65@gmail.com
3. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Hormozgan University, Hormozgan, Iran. E-mail: ma.rezai8011@gmail.com
4. Teacher of Geography, Education, Beshagard City, Hormozgan Province, Iran. E-mail: r.darvishi70@gmail.com

(Received: 20 Jun 2021, Revised: 27 Dec 2021, Accepted: 13 Nov 2022, Published online: 13 Nov 2022)

Abstract

The occurrence of heavy rains and extreme events due to climate change has had devastating effects on the economic, social context. Therefore, studying the variability and behavior of heavy rainfall events and heavy rainfall is of particular importance. In this study, we investigated the impact of climate change on heavy rainfall and baseline temperatures (1989-2008) with a 20-year future period (2011-2030) for five stations in Bijar, Khalkhal, Zanjan and Mianeh in Sefidrood catchment. Heavy rainfall and maximum and minimum temperature values were generated using the LARS-WG model and climate scenario A1B, A2, B1 for the next 20 years. Brooks method was used to identify heavy precipitation and future temperatures of observation and future periods. According to this method, the upper temperatures and heavy rainfall of the base and future periods were divided into four groups of five years and were classified using statistical methods. The results show that the upper temperatures over the next few years will see an increase in the number of events, a downward trend but in terms of quantity, and the global warming trend in the minimum temperature indices will be higher than the maximum temperature related trend. Heavy rainfall will be upward during the next period in Bijar and Khalkhal stations and in Zanjan, Qorveh and Middle stations.

Keywords: Brooks's approaches, Extreme temperatures, Heavy precipitation, LARS-WG model, Sefidrud's basin.

Cite this article: Safavi, M., Moslemi, H., Rezai, M., & Darvishi, R. (2022). The Impact of Climate Change on the heavy Rainfall and Extreme Temperatures (Bijar, Khalkhal, Zanjan, Qorveh and Miane stations Sefidrood Basin). Journal of the Nivar, 46(118-119), 14-26. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.216592.1148>



تأثیر تغییر اقلیم بر برآورد مقادیر حدی دما و بارش در دوره‌های مشاهداتی و آینده (مطالعه موردی: ایستگاه‌های بیجار، خلخال، زنجان، قروه و میانه)

سید مجتبی صفوی^۱ | حمید مسلمی^۲ | مرضیه رضایی^۳ | راحله درویشی^۴

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: mojtabasafavi87@gmail.com

۲. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: hamidmoslemi65@gmail.com

۳. استادیاریابان‌زایی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: ma.rezai8011@gmail.com

۴. دبیر جغرافیا، آموزش و پرورش شهرستان بشاگرد، استان هرمزگان. رایانامه: r.darvishi70@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰، بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲)

چکیده

وقوع بارش‌های سنگین و رویدادهای حدی در اثر تغییرات اقلیمی اثرات مخربی را در زمینه اقتصادی، اجتماعی به جا گذاشته است. بنابراین مطالعه تغییرپذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی جوی بارش سنگین از اهمیت خاصی برخوردار است. در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین و دماهای حدی دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۰۸) با دوره آتی ۲۰ ساله (۲۰۱۱-۲۰۳۰) برای ایستگاه‌های سینوپتیک بیجار، خلخال، زنجان و میانه واقع در حوضه آبریز سفیدرود پرداخته شد. بارش‌های سنگین و مقادیر حدی دمای بیشینه و کمینه با استفاده از مدل LARS-WG و سناریوی اقلیمی A1B، A2، B1 برای دوره ۲۰ ساله آینده تولید شد. جهت شناسایی بارش‌های سنگین و دماهای حدی دوره مشاهداتی و آتی از روش بروکس استفاده شد. مطابق این روش دماهای حدی و بارش‌های سنگین دوره‌های پایه و آتی، به چهار دسته پنج ساله تقسیم شده و با استفاده از روش‌های آماری طبقه بندی گردیدند. نتایج حاصله حاکی از آن است که دماهای حدی در طی سال‌های آینده از نظر تعداد رخداد، روند نزولی ولی از نظر مقدار، روند صعودی را شاهد خواهیم بود و روند گرم شدن زمین در شاخص‌های دمای کمینه بیشتر از روند افزایشی مربوط به دمای بیشینه خواهد بود. برای بارش سنگین نیز طی دوره آتی میزان بارش در ایستگاه بیجار و خلخال روند صعودی و در ایستگاه‌های زنجان، قروه و میانه روند نزولی خواهد داشت و از نظر تعداد رخداد بارش‌های سنگین به جز بیجار در بقیه ایستگاه‌ها برای دوره آتی ۲۰ ساله روند صعودی را شاهد هستیم.

کلمات کلیدی: دمای حدی، بارش سنگین، حوضه آبریز سفیدرود، روش بروکس، مدل LARS-WG.

۱. مقدمه

افزایش جمعیت جهان، استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی و گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی، موجب شده پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین به وجود آید. تغییر اقلیم باعث تغییر رژیم هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز و افزایش رخداد بارش‌های سنگین شده و انتظار می‌رود پدیده‌های حدی در دهه‌های آتی روند متغیری نسبت به حال داشته باشند. در نتیجه توجه به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده و در سال‌های اخیر به دغدغه اصلی اقلیم‌شناسان و سران کشورهای جهان تبدیل شده است. گرم شدن کره زمین باعث افزایش تبخیر و ازدیاد تراکم بخار آب در اتمسفر می‌شود. در نتیجه میزان و الگوی نزولات آسمانی اعم از باران و برف تغییر می‌کند. یکی از جنبه‌های تغییر اقلیم، تغییر در رفتار مقادیر حدی دما و بارش است. بارش سنگین می‌تواند به‌طور مستقیم

استناد: صفوی، سید مجتبی؛ مسلمی، حمید؛ رضایی، مرضیه و درویشی، راحله. (۱۴۰۱). تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین و دماهای حدی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های بیجار، خلخال، زنجان، قروه و میانه)، مجله نیوار، ۴۶ (۱۱۸-۱۱۹)، ۱۴-۲۶. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.216592.1148>



(۱۹۹۹)، با بررسی ۱۹ ایستگاه هواشناسی در اروپای شمالی و مرکزی، دریافتند که دمای کمینه تقریباً در همه ایستگاه‌های مورد بررسی و دمای متوسط و حداکثر در شمال و مرکز اروپا، افزایش یافته است. مهم‌ترین یافته‌ها روند کاهشی در تعداد روزهای باحدهای دمایی پایین بدون داشتن روند افزایشی در روزهای با حدهای دمایی بالا را نشان می‌دهد. مدرس و سرحدی (۲۰۰۹) نیز به بررسی روند مقادیر مجموع بارش سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک کشور پرداختند و نشان دادند که مجموع بارش سالانه در طول چند سال گذشته روند کاهشی داشته است. طی پژوهشی که در حوزه‌ی کلونا در نیوزلند مقایسه SDSM و LARS-WG برای شبیه‌سازی و کوچک مقیاس کردن، وقایع بارش شدید را مورد بررسی قرار گرفت به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل توانایی و قابلیت خوبی در شبیه‌سازی بارش و دما دارند و بنابراین، می‌تواند با اطمینان بیش‌تر از آن‌ها برای مطالعات تاثیر تغییرات آب و هوایی از آن استفاده نمود (هاشمی و همکاران، ۲۰۱۱). با استفاده از مدل‌های اقلیمی و سناریوهای A1، A2، B1 و افزایش خشکسالی در جهان را به اثبات رساندند (شفیلد و وود، ۲۰۰۹). حجازی زاده و همکاران، (۱۳۹۱) به بررسی اثر تغییر اقلیم با استفاده از مدل CGCM3 بر اساس سناریوی انتشار A2 از مجموعه مدل‌های AOGCM-AR4 بر سیلاب حوضه بختیاری در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ پرداختند. و به این نتیجه رسیدند که بارش‌های حدی در حوضه با شدت بیشتری نسبت به دوره پایه رخ خواهند داد که این امر نشان دهنده افزایش وقوع سیلاب‌ها در دوره آتی خواهد بود. بحری و همکاران (۱۳۹۲)، پتانسیل اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی‌های آینده واقع در حوزه اسکندری با کمک مدل HadCM3 و تحت سناریوی A2 و با استفاده از شاخص SPI مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد منابع آب سطحی و زیرزمینی از فوریه ۲۰۱۹ تا مارس ۲۰۲۰ و بخش کشاورزی در دسامبر ۲۰۱۸ تا اگوست ۲۰۱۹ با خشکسالی مواجه می‌شود.

حوضه آبریز سفیدرود از جمله مناطقی است که به دلیل قرارگیری در مسیر توده‌های هوای متفاوت، هر ساله خسارات قابل توجهی را در بخش‌های مختلف، از شرایط ناهنجار جوی

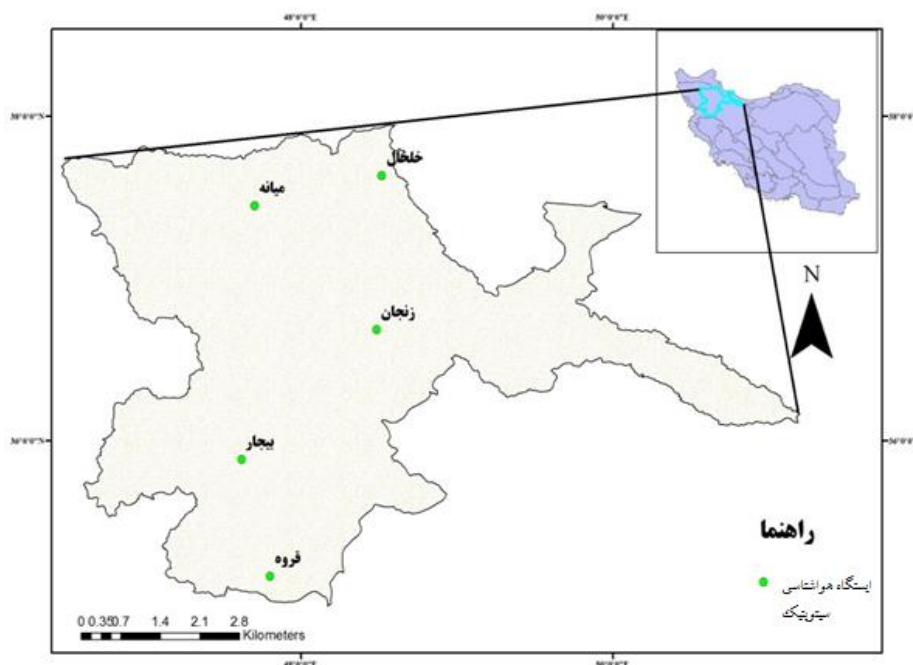
یا غیرمستقیم، بر محیط زیست اثر بگذارد و تغییرات و خسارات جبران‌ناپذیری را در بر داشته باشد. تغییرات آب و هوایی برای جامعه جهانی به قدری مهم بوده که در سال‌های اخیر در سازمان هواشناسی جهانی، کمیته بین‌المللی تغییر اقلیم تشکیل شده است؛ بنابراین بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر پدیده‌های حدی نظیر دما و بخصوص بارش‌های سنگین در مناطق و حوزه‌های کشور حائز اهمیت می‌باشد تا بتوان تا حدودی از دما، بارش، خشکسالی و تغییرات منابع آبی در سال‌های آتی اطلاع حاصل نمود و با توجه به اطلاعات بدست آمده، بهترین مدیریت ممکن را در آینده شاهد بود. تحقیقات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم در جهان، حاکی از این واقعیت است که تغییر هرچند کم در دما موجب تغییر در وقوع پدیده‌های حدی نظیر خشکسالی، بارش‌های سنگین و توفان می‌شود (بالینگ و ایدسو، ۱۹۹۰). تجزیه و تحلیل تغییرات دوازده شاخص دمای حدی و یازده شاخص بارش شدید در ۶۴ ایستگاه هواشناسی در لس فلات در طول ۲۰۱۳-۱۹۶۰ نشان داد افزایش معنی‌داری در درجه حرارت گرم‌ترین و سردترین شب و طولانی شدن روزها و شب‌های خیلی گرم، وجود دارد. کاهش تعداد روزهای یخبندان آماری معنی‌دار بود، روند گرم شدن زمین در شاخص‌های دمای کمینه بیشتر از روند افزایشی مربوط به دمای بیشینه بودند. در مجموع، تعداد روزهای بارانی در شمال لس فلات افزایش یافته است، اما مقدار بارش شدید در کل منطقه کاهش یافته بود (یان و همکاران، ۲۰۱۴). روشی که هیدالگو و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهش خود مورد استفاده قرار دادند، برای تشخیص بارش سنگین به صورت محاسبه دهک بالای 95 درصد مشاهدات برای تمامی ایستگاه‌ها و سپس محاسبه مقدار متوسط دهک‌های مذکور بوده و عدد به دست آمده، معیاری برای تشخیص بارش سنگین است. به طوری که اگر تعداد معینی از باران سنج‌ها بارشی بیشتر از این میزان را ثبت کنند، یعنی بارش سنگین اتفاق افتاده است. در پژوهشی که هلستروم (۲۰۰۵) در سوئد انجام داد، بارش‌های بیش از 40 میلی‌متر را بارش سنگین در نظر گرفته است. مونز و همکاران (۲۰۰۰)، نیز شاخص‌های متعددی را، از ۱۲۲ سال آمار، برای دو دوره ۳۰ ساله در ایتالیا مورد مقایسه قرار دادند. هینو و همکاران

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سد سفیدرود، با بارش متوسط سالانه ۴۱۵ میلی متر، به عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های کشور و با مساحت حدود ۵/۷ میلیون هکتار، ۹ درصد از مساحت کشور را در بر می‌گیرد. رودخانه سفیدرود واقع در این حوضه از ترکیب دو رود شاهرود که در شرق و قزل اوزن در غرب حوضه شکل می‌گیرد و تا ورود به دریای خزر عرض استان گیلان را می‌پیماید. این حوضه در طول‌های جغرافیایی $31^{\circ} 46'$ تا $51^{\circ} 04'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $34^{\circ} 54'$ تا $37^{\circ} 49'$ شمالی واقع گردیده و از شمال به رشته کوه البرز و از غرب به کوه‌های زاگرس محدود می‌شود (شکل ۱). برای انجام این تحقیق در ابتدا پنج ایستگاه سینوپتیک بیجار، خلخال، زنجان، قروه و میانه با دوره آماری (۲۰ ساله) در حوضه آبریز سفیدرود انتخاب و پس از کنترل کیفی داده‌ها و بازسازی نواقص آماری، جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دوره آینده از یک مدل گردش عمومی جو مرسوم به HadCM3 تحت سناریوهای A1B, A2, B1 استفاده شد.

و اقلیمی متحمل می‌شود. بارش‌های سنگین و سیلاب‌های ناشی از آن، رخدادهای ناشی از وقوع دماهای حدی به‌خصوص در فاکتور دمای کمینه که باعث وقوع بلایای جوی نظیر سرمازدگی شده و نوسانات دمایی و ناپایداری آن در فصول گوناگون، زیان‌های زیادی را به بخش‌های مختلف بخصوص بخش کشاورزی وارد می‌کند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر رویدادهای حدی اقلیمی و تغییرات آن‌ها در دوره‌های مشاهداتی (۱۹۸۹-۲۰۰۸) و آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل‌های گردش عمومی جو در پنج ایستگاه بیجار، خلخال، زنجان، قروه و میانه در حوضه آبریز سفیدرود با دوره آماری مناسب است. در این مطالعه سعی بر آن شده است با بررسی روند عوامل اقلیمی نظیر دماهای حدی کمینه و بیشینه و بارش سنگین دوره پایه و آتی به روش بروکس و مقایسه روند زمان تغییرات، میزان و تعداد آن‌ها، مدیریتی بهینه و کارآمد بر روی منابع آب منطقه و برنامه‌ریزی‌های بلند مدت در جهت جلوگیری و یا کاهش خسارات وارده به بخش‌های مختلف اعمال کرد.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه سفیدرود

به دلیل بزرگ مقیاس بودن مدل‌های گردش عمومی جو از مدل LARS-WG استفاده شد که با وارد کردن داده‌های

۲-۲. روش تحقیق

یک دوره کوتاه، به عنوان مثال پنج ساله به عنوان بارش سنگین یا دماهای حدی شناخته می‌شوند، در بررسی یک دوره بلند مدت مثلاً ۲۰ ساله به عنوان بارش سنگین یا دماهای حدی معرفی نمی‌شوند (خلیلی و پورمحمدی، ۱۳۹۳). از آنجایی که در این تحقیق بررسی یک دوره ۲۰ ساله مدنظر بود، بنابراین برای رفع این مشکل ابتدا کل دوره ۲۰ ساله به ۵ دوره چهار ساله تقسیم بندی شد، آنگاه پس از دسته‌بندی آماری این دوره‌ها که هر کدام جداگانه محاسبه شدند، با میانگین‌گیری از حد پایین دسته‌های آخر نهایتاً به رقمی می‌رسیم که هر عددی که از آن رقم بالاتر بود، نشان دهنده دماهای حدی و بارش سنگین می‌باشد.

۲-۳. درستی سنجی و ارزیابی مدل

تولید داده‌های مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد که مرحله اول آن درستی سنجی می‌باشد، با مرتب سازی داده‌ها و وارد کردن داده‌های پایه به مدل این مرحله انجام می‌شود. مرحله دوم ارزیابی مدل است. برای ارزیابی کارایی مدل از معیارهای ارزیابی میانگین خطای مطلق (معادله ۳)، مجذور میانگین مربعات خطا (معادله ۴) و ناش-ساتکلیف (معادله ۵)، استفاده شد. براساس نتایج بدست آمده از ارزیابی (جدول ۱) مقدار آماره ناش-ساتکلیف برای هر سه پارامتر نزدیک به یک می‌باشد (خصوصاً پارامترهای دمای کمینه و بیشینه) و مقدار RMSE نیز برای پارامترهای دمای کمینه و بیشینه در تطابق بسیار خوبی می‌باشد. در رابطه با بارش نیز اگرچه نتایج بدست آمده در برخی از ماه‌ها ضعف اندکی دارد اما در مجموع، بر اساس نتایج بدست آمده تطابق خوبی را نسبت به داده‌های آماری پایه دارد.

$$MAE = \frac{\sum |x_o - x_s|}{N} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x_o - x_s)^2}{N}} \quad (4)$$

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum (x_o - x_s)^2}{\sum (x_o - \bar{x}_o)^2} \right] \quad (5)$$

۳. نتایج و بحث

در پژوهش حاضر بعد از انجام واسنجی و اعتبارسنجی مدل به مقایسه تغییرات داده‌های شبیه‌سازی شده، دمای کمینه، بیشینه و

مشاهداتی (۱۹۸۹-۲۰۰۸)، مدل به تولید دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش برای دوره آتی مورد نظر (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای فوق پرداخته شد. پس از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل و کالیبره کردن برای منطقه مطالعاتی، بارش‌های سنگین و دماهای حدی (بیشینه و کمینه) برای هر کدام از سناریوهای A1B, A2, B1 در دوره آتی و دوره پایه استخراج و تغییرات روند بارش و دماهای حدی پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه، برای هر ۵ ایستگاه سینوپتیک حوضه سفیدرود مقایسه شد. به دلیل مطلق نبودن مقادیر حدی، ممکن است مقداری که برای یک محل حدی است در محلی دیگر نرمال تلقی شود، بنابراین روشی که بتوان از آن برای تشخیص بارش سنگین و دمای حدی در مناطق مختلف استفاده نمود باید دارای قابلیت تطابق با اقلیم‌های مختلف بوده و براساس ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه، معیاری برای تشخیص میزان بارش سنگین و دمای حدی ارائه دهد. در این تحقیق برای تشخیص بارش سنگین و دمای حدی از روش بروکس و کارودرز (۱۹۵۳) استفاده شده است. این روش مبتنی بر استفاده از طبقه بندی آماری در منطقه مورد مطالعه است.

$$K = 5 \log N \quad (1)$$

$$I = \frac{R}{K} \quad (2)$$

به این صورت که ابتدا بارش‌ها و دماهای کمینه و بیشینه ایستگاه مورد مطالعه را مطابق روش‌های آماری جهت رسم بافت نگار، طبق معادله (۱) و (۲) دسته‌بندی نموده که در آن R دامنه تغییرات، I فاصله بین دسته‌ها، N تعداد داده‌ها و K تعداد دسته می‌باشد. و آنگاه بارش‌ها و دماهایی که در آخرین دسته قرار می‌گیرد را به عنوان بارش سنگین و دماهای حدی در نظر گرفته شد.

با توجه به این روش داده‌های بارش و دماهایی که در دسته‌های پایین تر قرار گرفته‌اند نسبت به دسته‌های بالاتر از خود دارای مقادیر بیشتری می‌باشند بنابراین داده‌هایی که در دسته‌های آخر قرار می‌گیرند، بارش سنگین و دماهای حدی تلقی خواهند شد. البته یکی از ایراداتی که می‌توان به این روش گرفت این است که هرچه به تعداد سال‌های مورد مطالعه در این روش اضافه شود، ارقامی که در دسته آخر قرار می‌گیرند از مقادیر بیشتری برخوردار هستند. بدین صورت که تعدادی از بارش‌ها که در

کمترین تغییرات دمایی را نسبت به ایستگاه‌های دیگر دارد (شکل ۲). ایستگاه خلخال همانند پیش‌بینی شده دمای کمینه، بیشترین تغییرات را نسبت به دوره پایه دارد. به طوری که برای سناریوهای A1B، A2، B1 به ترتیب با ۳/۵، ۴/۲، ۴ درجه نسبت به دوره مشاهداتی با افزایش دما روبه‌رو می‌باشند و ایستگاه زنجان نیز به ترتیب با ۱/۹، ۲/۶، ۲/۴ درجه کمترین تغییرات در روند افزایش دما را برای دمای بیشینه دارد (شکل ۲).

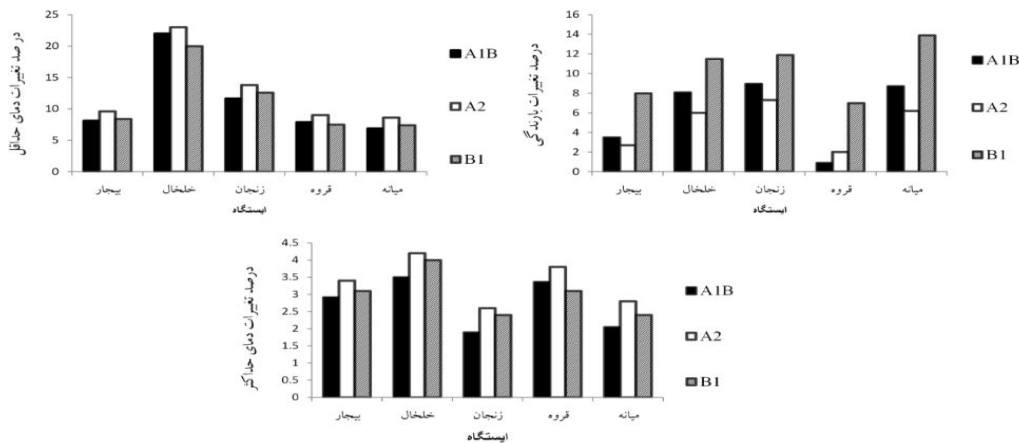
بارش هر پنج ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در حوضه سفیدرود با داده‌های مشاهداتی پرداخته شد.

۳-۱. پیش‌بینی دمای کمینه

دمای کمینه در ایستگاه خلخال در مقایسه با ایستگاه‌های دیگر بیشترین تغییرات را نسبت به دوره پایه دارد. بر اساس این نتایج هر کدام از سناریوهای A1B، A2، B1 به ترتیب با ۲۲، ۲۳ و ۲۰ درجه نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد و ایستگاه میانه نیز به ترتیب با ۶/۹، ۸/۶، ۷/۴ درجه نسبت به دوره پایه

جدول ۱. نتایج عملکرد مرحله واسنجی و ارزیابی مدل LARS-WG

ایستگاه					خطا	پارامترهای اقلیمی
میانه	قروه	زنجان	خلخال	بیجار		
۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۲	MAE RMSE NSE	دمای حداقل
۰/۲	۰/۳	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۲۲		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹		
۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۹۵	۰/۱	۰/۰۳	MAE RMSE NSE	دمای حداکثر
۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۳		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹		
۰/۶۳	۰/۶۳	۱/۳۴	۱/۳	۰/۸۹	MAE RMSE NSE	بارش
۲/۵۷	۳/۲۴	۲/۸۳	۲/۳۹	۲/۲۶		
۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸		



شکل ۲. درصد تغییرات بارش و دمای کمینه و بیشینه دوره آتی تحت سناریوهای A1B، A2، B1 نسبت به دوره پایه پیش‌بینی دمای بیشینه

نمی‌باشد. در مجموع مدل LARS-WG برای دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و سناریوهای A1B، A2، B1 افزایش بارش و دما را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه سفیدرود پیش‌بینی

۳-۲. پیش‌بینی بارش

همانطور که از شکل (۲) مشخص است نتایج پیش‌بینی بارش از نظمی که نتایج دمای کمینه و بیشینه دارا بودند، برخوردار

ایستگاه‌های دیگر در دوره آتی را با ۱۹ روز کاهش در ایستگاه خلخال مشاهده می‌شود. ایستگاه بیجار و زنجان روند افزایش دما را برای همه سناریوها و کاهش تعداد روزهای گرم (داغ) سال را نسبت به دوره پایه دارد، در ایستگاه قروه نیز از تعداد روزهای گرم سال کاسته شده است و روند افزایش دما را شاهد می‌باشیم، در این ایستگاه سناریوی A1B با ۲۳ روز کاهش تعداد روزهای گرم سال و میانگین ۱/۳ درجه سانتیگراد افزایش نسبت به دوره پایه روبه رو است. در ایستگاه خلخال نیز تعداد روزهای گرم سال در همه سناریوها کاهش یافته ولی روند افزایش دما در هر سه سناریو قابل مشاهده می‌باشد و ایستگاه میانه هم مانند ایستگاه‌های دیگر از تعداد روزهای گرم کاسته شده ولی میانگین دمایی همه سناریوهای این ایستگاه افزایش داشته است، به طوری که سناریوهای A1B و A2 با ۲۷ روز کاهش روزهای گرم سال و افزایش ۱/۱ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه روبه رو می‌باشد جدول (۳) و شکل (۳).

می‌کند. طبق نتایج قبلی که به وسیله روش بروکس، دمای کمینه، بیشینه و بارش، طبقه بندی شدند ۱۸ مورد بارش سنگین، ۱۴۷ مورد دمای حدی کمینه و ۲۶۴ مورد دمای حدی بیشینه را در طول سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ برای پنج ایستگاه حوزه سفیدرود تشخیص داده شد. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه ۳ مورد همزمانی بین بارش‌های سنگین در تاریخ‌های ۲۴ مارس سال ۲۰۰۰ میلادی برای ایستگاه‌های بیجار، زنجان و میانه و ۱۷ مارس ۱۹۹۸ برای ایستگاه‌های بیجار، قروه، زنجان و در تاریخ ۹ دسامبر ۱۹۹۱ برای ایستگاه‌های بیجار، خلخال، میانه و یک مورد همزمانی بارش سنگین بین ایستگاه قروه و بیجار در ۷ نوامبر دیده می‌شود.

۳-۳. دمای حدی کمینه

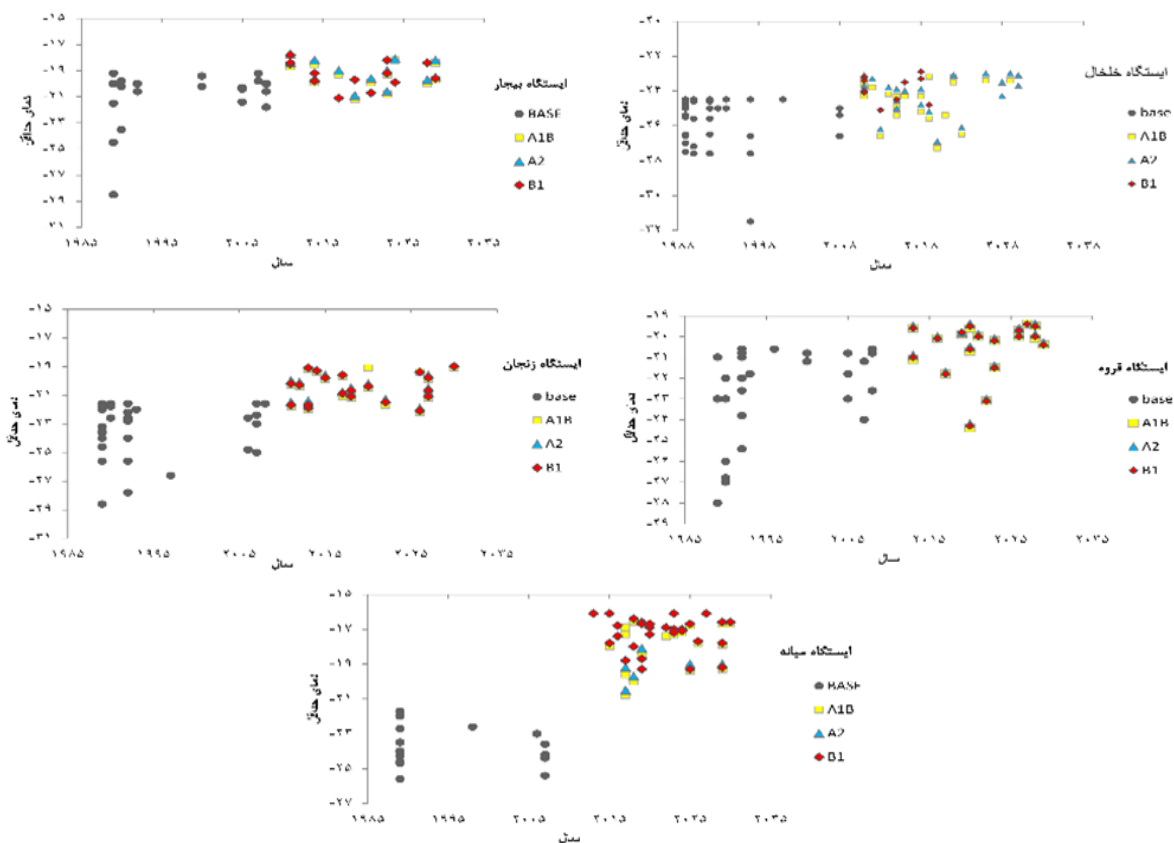
در مجموع برای همه پنج ایستگاه حوزه سفیدرود کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش دما برای دوره آتی روی داده است و بیشترین کاهش تعداد روزهای یخبندان نسبت به

جدول ۲. مقادیر تعداد و میانگین دمای کمینه (درجه سانتیگراد) در دوره پایه و آینده تحت سناریوهای A1B، A2، B1

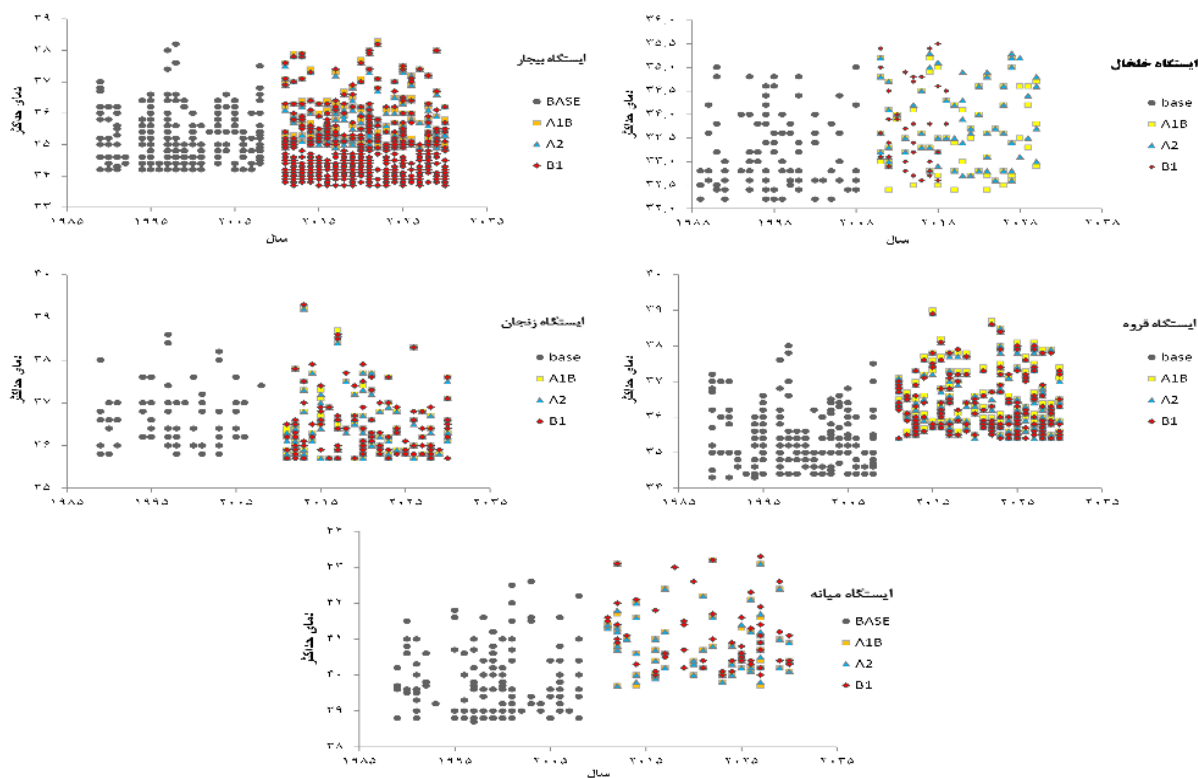
دوره پایه	دوره ۲۰۳۰ - ۲۰۱۱			تعداد میانگین	نام ایستگاه
	سناریو				
	B1	A2	A1B		
۲۷	۱۳	۱۲	۱۳	تعداد	بیجار
-۲۰/۸	-۱۹/۱	-۱۹/۲	-۱۹/۴	میانگین	
۴۱	۲۲	۲۲	۲۲	تعداد	خلخال
-۲۵/۶	-۲۳/۹	-۲۴/۱	-۲۴/۵	میانگین	
۳۴	۲۱	۱۷	۲۲	تعداد	زنجان
-۲۳	۲۱	-۲۰/۷	-۲۰/۴	میانگین	
۲۹	۱۸	۱۷	۱۸	تعداد	قروه
-۲۲/۶	-۲۰/۵	-۲۰/۵	-۲۰/۶	میانگین	
۱۶	۱۵	۱۱	۱۴	تعداد	میانه
-۲۳/۷	-۲۰/۷	-۱۷/۵	-۱۷/۹	میانگین	

جدول ۳. مقادیر تعداد و میانگین دمای بیشینه (درجه سانتیگراد) در دوره پایه و آینده تحت سناریوهای A1B، A2، B1

دوره پایه	دوره ۲۰۱۱ - ۲۰۳۰			تعداد میانگین	نام ایستگاه
	سناریو				
	B1	A2	A1B		
۵۴	۴۸	۴۲	۴۳	تعداد	بیجار
۳۶/۱	۳۶/۹	۳۷	۳۷	میانگین	
۳۹	۳۴	۳۲	۳۳	تعداد	خلخال
۳۴/۱	۳۴/۷	۳۴/۵	۳۴/۴	میانگین	
۴۵	۲۲	۱۹	۲۱	تعداد	زنجان
۳۷/۲	۳۷/۶	۳۷/۶	۳۷/۶	میانگین	
۷۹	۵۸	۵۷	۵۶	تعداد	قروه
۳۶/۲	۳۷/۴	۳۷/۴	۳۷/۵	میانگین	
۴۷	۲۱	۲۰	۲۰	تعداد	میانه
۴۰/۹	۴۲	۴۱/۸	۴۱/۸	میانگین	



شکل ۳. دمای کمینه در دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۰۸) و دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای A1B، A2، B1 دمای حدی بیشینه



شکل ۴. دمای بیشینه در دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۰۸) و دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای A1B، A2، B1

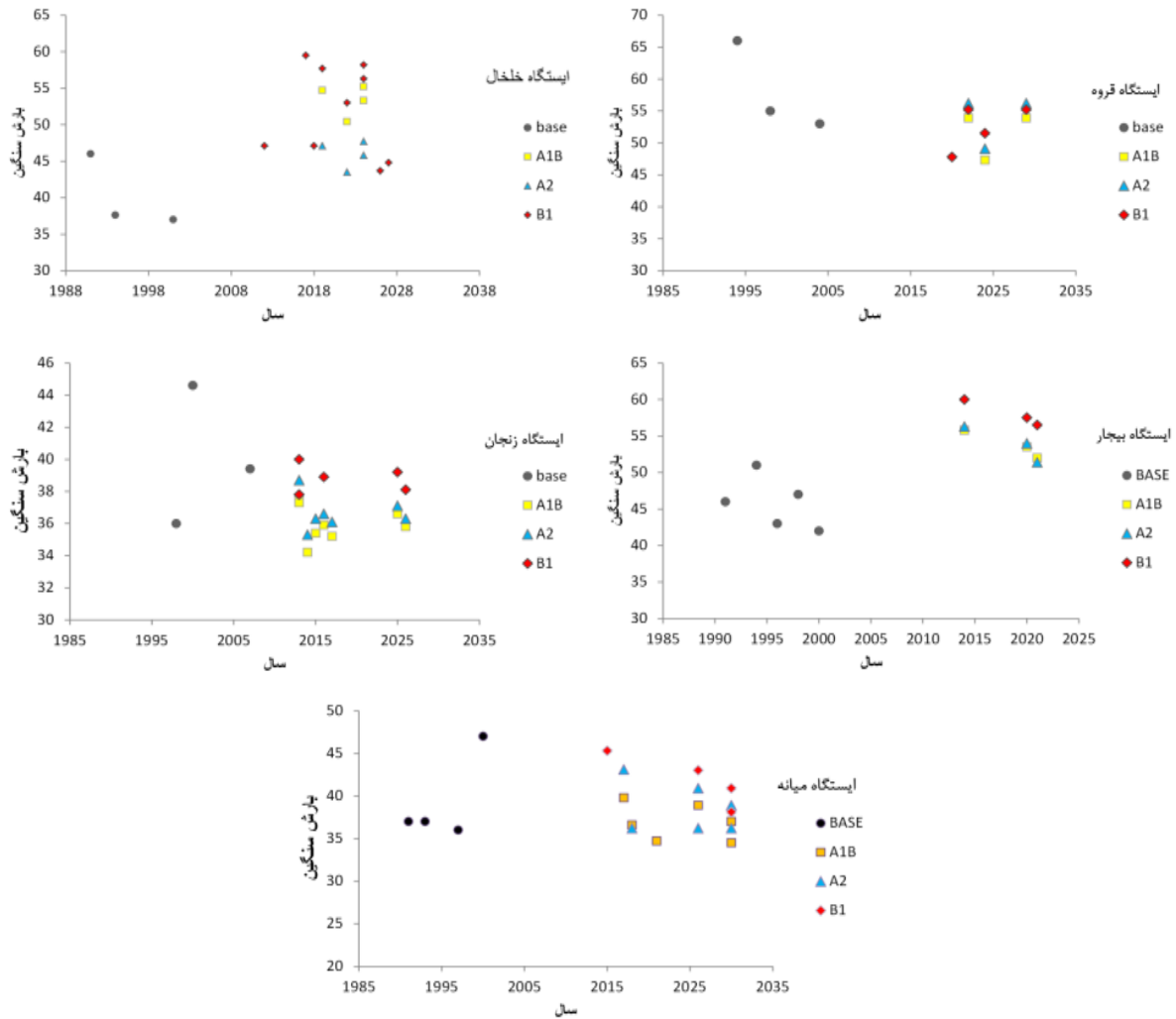
ولی با افزایش تعداد بارش سنگین در دوره آتی روبه رو می‌باشیم.

برخلاف ایستگاه‌های بیجار و خلخال، در ایستگاه‌های قروه، زنجان و میانه روند نزولی در مقدار بارش سنگین را شاهد می‌باشیم. برای ایستگاه قروه، زنجان و میانه بیشترین کاهش را در سناریوی A1B به ترتیب به میزان $6/3$ ، 4 و $2/3$ میلی‌متر نسبت به دوره پایه شاهد می‌باشیم، از نظر تعداد بارش‌های سنگین رخ داده شده نیز در ایستگاه قروه در سناریوهای A1B و A2 تغییری نسبت به دوره پایه نداشته ولی در سناریوی B1 یک بارش بیشتر از دوره پایه پیش‌بینی شده است. در ایستگاه زنجان نیز افزایش تعداد بارش سنگین را داریم که سناریوی A1B با پنج بار بارش بیشتر نسبت به دوره پایه پیش‌بینی شده است و ایستگاه میانه در سناریوهای A1B و A2 با دو بار افزایش تعداد بارش سنگین روبه رو شده‌ایم.

۳-۴. نتایج بارش سنگین

نتایج مربوط به بارش سنگین در جدول ۴ و شکل ۵ نشان داده شده است. در مورد بارش سنگین نتایج نامنظمی نسبت به نتایج دماهای حدی وجود دارد. ایستگاه بیجار روند کاهشی را در تعداد بارش‌های سنگین شاهد هستیم، در دوره پایه تعداد پنج بارش سنگین رخ داده است ولی در دوره آتی برای همه سناریوهای A1B، A2، B1 تعداد سه بارش پیش‌بینی شده است ولی با اینکه روند کاهشی را در تعداد بارش‌های سنگین اتفاق افتاده است در میزان بارش سنگین روند صعودی داشتیم، بدین صورت که برای سناریوی B1 به میزان $12/2$ میلیمتر بیشترین افزایش بارش را در بین سناریوهای A1B و A2 نسبت به حالت پایه مشاهده می‌شود.

در ایستگاه خلخال نیز همانند ایستگاه بیجار روند صعودی در میزان بارش‌های سنگین شاهد می‌باشیم که سناریوی B1 بیشترین افزایش بارش سنگین را به میزان $15/8$ میلیمتر می‌باشد



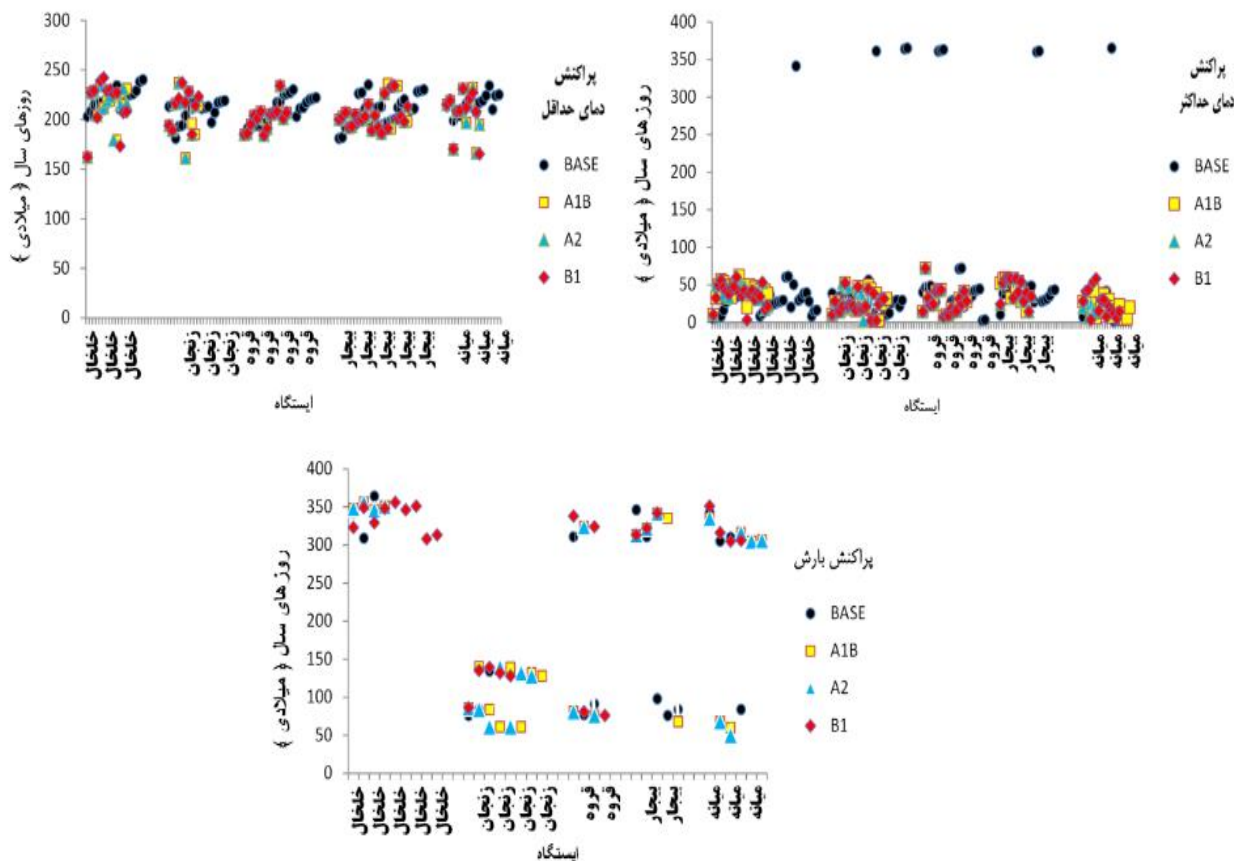
شکل ۵. نمودار بارش سنگین در دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۰۸) و دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای A1B، A2، B1

پراکنش دمای کمینه در اکثر ایستگاه‌ها در ماه ژانویه تا اواخر فوریه (از اواسط دی تا آخر بهمن ماه) می‌باشد. نکته جالب در زمینه پراکنش دمای کمینه در این پنج ایستگاه حوزه سفیدرود، دمای کمینه‌ای که برای دوره پایه در اواخر دسامبر (اوایل دی ماه) روی داده است، در دوره آتی هیچکدام از سناریوهای A1B، A2، B1 دمای کمینه‌ای را در اواخر دسامبر پیش‌بینی نکرده‌اند. پراکنش اکثر دمای بیشینه در پنج ایستگاه حوزه سفیدرود نیز در ماه‌های جولای و آگوست (اواسط تیر تا اوایل شهریور ماه) می‌باشد (شکل ۶).

۳-۵. نحوه پراکنش بارش سنگین در سال

در ایستگاه خلخال که تنها ایستگاهی است که بارش سنگین آن فقط در نیمه دوم سال شمسی روی داده است، به‌طوریکه بارش‌های سنگین دوره پایه و دوره آینده در اوایل نوامبر تا اواسط دسامبر (اواسط آبان تا اواخر آذر) اتفاق افتاده است ولی در ایستگاه زنجان بارش سنگین دوره پایه و آتی در ماه مارس (اواسط اسفند تا اواسط فروردین ماه) و اواسط ماه می (اواخر اردیبهشت ماه) روی داده است.

۳-۶. نحوه پراکنش دمای کمینه و بیشینه در سال



شکل ۶. نحوه پراکنش دمای کمینه، بیشینه و بارش سنگین، طی دوره پایه و آتی تحت سناریوهای A1B، A2، B1

جدول ۴. مقادیر تعداد و میانگین بارش سنگین (میلیمتر) در دوره پایه و آینده تحت سناریوهای A1B، A2، B1

دوره پایه	دوره ۲۰۱۱ - ۲۰۳۰			تعداد میانگین	نام ایستگاه
	سناریو				
	B1	A2	A1B		
۵	۳	۳	۳	تعداد	بیجار
۴۵/۸	۵۸	۵۳/۹	۵۳/۷	میانگین	
۳	۵	۴	۴	تعداد	خلخال
۴۰/۲	۵۶	۴۶	۵۳/۴	میانگین	
۳	۵	۷	۸	تعداد	زنجان
۴۰	۳۸/۸	۳۶/۶	۳۶	میانگین	
۳	۴	۳	۳	تعداد	قروه
۵۸	۵۳/۷	۵۲/۴	۵۱/۷	میانگین	
۴	۵	۶	۶	تعداد	میانه
۳۹/۲	۳۹	۳۸/۵	۳۶/۹	میانگین	

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر بارش های سنگین و دماهای حدی دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۰۸) با دوره آتی ۲۰ ساله (۲۰۱۱-۲۰۳۰) برای پنج ایستگاه بیجار، خلخال، زنجان، میانه و قروه واقع در حوضه آبریز سفیدرود پرداخته شد. برای این منظور از مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سه

سناریو (A1B، A2، B1) استفاده شد. نتایج نشان داد که در دوره آتی ۲۰ ساله، بارش های سنگین در تمام ایستگاه ها افزایش خواهد یافت. همچنین دماهای حدی در تمام ایستگاه ها در دوره آتی ۲۰ ساله افزایش خواهد یافت.

اتی هیچکدام از سناریوهای اقلیمی A1B، A2، B1 دمای کمینه‌ای را در اواخر دسامبر پیش‌بینی نکرده‌اند. لذا وقوع پدیده‌های حدی جوی و اقلیمی همانند بارش‌های سنگین، روزهای گرم و یخبندان و تغییرات دمایی می‌تواند یکی از مهمترین عوامل خسارت بر محصولات کشاورزی و منابع آبی ما تلقی شود. بنابراین بررسی پارامترهای اقلیمی و تغییرات مقادیر حدی آن می‌تواند در برنامه ریزی‌های آتی به منظور سازگاری و مقابله با آن مورد استفاده قرار گیرد.

۵. منابع

۱. بحری، م. دستورانی، م. ت، گودرزی، م، ۱۳۹۲، پتانسیل اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی های آینده با استفاده از مدل HadCM3 درحوزه آبخیز اسکندری. نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، آبان ماه، یزد، ایران.
۲. حجازی زاده، ز. فتاحی، ا. مساح بوانی، ع. ر. ناصرزاده، م. ح. ۱۳۹۱، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدروگراف سیلاب در دوره‌های آتی مطالعه موردی: حوضه آبخیز بختیاری، نشریه جغرافیا، ۱۰(۳۴): ۵-۲۴
۳. خلیلی، م، پورمحمدی، س. ۱۳۹۳، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش سنگین، همایش ملی راهکارهای پیشروی بحران آب در ایران و خاورمیانه، اردیبهشت ماه، شیراز، ایران.
۴. واثقی، رفیعه و دیگران. ۱۳۹۰، بررسی رواناب حوزه تحت تاثیر سناریو انتشار A2 و B1 با در نظر گرفتن اثر دسته جمعی مدل های AOGCM، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، مهرماه، تهران، ایران.
5. Balling, Jr. R. C., Idso, S. B., 1990. Effects of greenhouse warming on maximum summer temperatures. *Agric. For. Meteorol.*, vol53, pp.143-147.
6. C. E. P. Brooks and N. Carruthers, 1953. *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*, London: Her Majesty's Stationary Office,
7. Easterling Dr., et al. (1997). Maximum and Minimum Temperature Trends for the Glob, *Science* vol, 277pp, 364-367.
8. Hashemi, M. Shmseldin, B Melville, W. (2011). comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme

سناریوی اقلیمی A1B، A2، B1 برای پیش‌بینی دوره آتی استفاده گردید. همان طور که اکثر گزارش‌های جهانی حاکی از گرمایش بیشتر در میانگین سالانه دماهای کمینه نسبت به گرمایش میانگین سالانه دماهای بیشینه هستند. در حوزه آبریز سفیدرود نیز میزان گرمایش در دماهای کمینه بیش از دماهای بیشینه بوده است. و همچنین یافته‌های این پژوهش با نتایج محققین دیگر هماهنگی دارد، به‌طور مثال یان و همکاران (۲۰۱۴)، با تجزیه و تحلیل از تغییرات در دوازده شاخص دما حدی و یازده شاخص بارش سنگین، روند گرم شدن زمین در شاخص‌های دمای کمینه بیشتر از روند افزایشی مربوط به دمای بیشینه بودند. و بارش سنگین در مجموع، تعداد روزهای بارانی در شمال لس فلات افزایش یافته است، اما مقدار بارش سنگین در کل منطقه کاهش یافته بود.

نتایج پژوهش حاضر در مورد تعداد، میانگین و پراکنش بارش‌های سنگین و مقادیر حدی دمای بیشینه و کمینه که با استفاده از مدل LARS-WG و سناریوی اقلیمی A1B، A2، B1 برای دوره ۲۰ ساله آینده تولید شد حاکی از آن است که به جز ایستگاه بیجار که روند نزولی در تعداد رخداد بارش‌های سنگین در دوره ۱۰ سال آتی را دارد بقیه ایستگاه‌ها با روند صعودی در تعداد بارش‌های سنگین مواجه می‌باشند و از نظر میانگین بارش سنگین رخ داده شده برای دوره آتی نیز، ایستگاه بیجار و خلخال روندی صعودی و دیگر ایستگاه‌ها، میانگین بارش آن‌ها کاهش خواهد یافت. از نظر پراکنش بارش سنگین نسبت به دماهای حدی، نظمی در این پنج ایستگاه وجود ندارد و هر ایستگاه متفاوت است به‌طور کلی در ماه نوامبر تا اواسط دسامبر و ماه مارس بیشترین بارش‌های سنگین رخ داده است. تعداد رخدادهای مقادیر حدی دماهای کمینه و بیشینه کاهش یافته ولی مقادیر کمینه و بیشینه حدی تحت تمامی سناریوها افزایش یافته است، از نظر توزیع فصلی دما، مقادیر حدی دمای بیشینه در ماه‌های جولای و آگوست روی داده است و پراکنش دمای کمینه مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه می‌باشد ولی نکته قابل توجه در مورد پراکندگی دمای حدی کمینه در این است که دمای کمینه‌ای که برای دوره پایه در اواخر دسامبر (اوایل دی ماه) روی داده است در طی دوره

- twentieth century. *J. Geophys. Res.* vol14 pp,1-9.
14. Moonen, A. C., Ercoli, L., Mariotti, M. and Masoni, A. (2000). Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agric. For. Meteorol.*, vol111, pp,13-27.
 15. Sheffield, J. and Wood, E. (2008). projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *clim Dyn J* . vol31, pp,79-105.
 16. Racsko, P., L. Szeidl, (1991). A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological modeling*, vol57, pp, 27-41.
 17. Yan, G. Qi, F. Wei, L. Aigang, L. Yu, W. Jing, Y. Aifang, C. Yamin, W. Yubo, S. Li, L. Qianqian, M. (2014). Changes of daily climate extremes in Loess Plateau during 1960-2013. *Original Research Article Quaternary International*, Available. vol371, pp,5-21.
 9. Heino, R., Brázdil, R., Forland, E., Tuomenvirta, H., Alexandersson, H., Beniston, M., Pfister, C., Rebetez, M., Rosenhagen, G., Rösner, S. and Wibig, J., (1999). Progress in the study of climatic extremes in northern and central Europe. *Climatic Change*, vol42, pp,151-181.
 10. Hellstrom, A. (2005). Atmospheric Conditions During Extreme and Non-Extreme Precipitation Events in Sweden, *Int. J. Climatol*, vol25, pp. 631-648.
 11. Hidalgo-Muñoz, D. Argüeso, D. Calandria-Hernández, S. R. Gámiz-Forti, M. J. Esteban-Parra and Y. Castro-Díez, (2010).
 12. Synoptic patterns associated with heavy rainfall events in the South of the Iberian Peninsula, « EMS Annual Meeting Abstracts, vol. 7, pp,451-468.
 13. Modarres, R. and A. Sarhadi. (2009). Rainfall trend analysis of Iran in the last half of the precipitation events in watershed-Stoch Environ Res Risk Assess vol25, pp,475-484.