

## استفاده از داده‌های اقلیمی جهانی برای بازسازی خلأهای آماری داده‌های دما و بارش (مطالعه موردی: ایستگاه‌های حوزه آبخیز خانمیرزا)

سارا مردانیان<sup>۱</sup>، خدایار عبدالهی<sup>۲\*</sup>، رفعت زارع بیدکی<sup>۳</sup>، ابوذر صالحی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۱

### چکیده

آگاهی از اوضاع اقلیمی، کمک وافری به کاهش خسارات ناشی از بلایای طبیعی می‌کند، درحالی‌که این امر نیازمند پایگاه‌های اطلاعاتی گسترده و پیوسته‌ای است. به‌طور مرسوم در بسیاری از مطالعات قبلی، برای پرکردن خلأهای آماری بارش و دما از روش‌های وابستگی با ارتفاع، به‌عنوان متغیری کمکی استفاده شده‌است. از جمله معتبرترین و پرکاربردترین منابع اقلیمی، مدل‌های جهانی اقلیمی هستند که بسیاری از خلأهای محاسباتی با استفاده از خروجی آن‌ها قابل پوشش است. مطالعات پیشین در اکثر مناطق جهان، همبستگی خوبی بین داده‌های محلی ایستگاه‌ها و داده‌های اقلیمی گزارش کرده‌اند. طی این پژوهش با بررسی تمامی سناریوهای موجود عوامل ماهانه هواشناسی دما و بارش در سایت اقلیمی کانادایی (GCM/RCM) و با تکنیک حذف تعدی داده موردنظر و درنظرگرفتن به‌عنوان داده گمشده، مرتبط‌ترین سناریوی اقلیمی انتخاب شد. با استفاده از روش حداقل مربعات خطا بهترین داده‌های اقلیمی با همخوانی مناسبی با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه محلی استخراج و اصلاح شد. همچنین خروجی این روش با روش همبستگی بین داده‌های ایستگاهی این دو پارامتر و ارتفاع مقایسه شد. نتایج روش استفاده از همبستگی با داده‌های اقلیمی سایت کانادایی و داده‌های مشاهده‌ای، با واقعیت انطباق بیشتری دارند. صحت‌سنجی از طریق مقایسه تعاملی نشان‌دهنده قابلیت به‌کارگیری داده‌های اقلیمی به‌عنوان متغیری کمکی برای بازسازی و پیش‌بینی داده‌های گمشده بارش و دماست.

**واژه‌های کلیدی:** مدل جهانی اقلیمی، تغییر اقلیم، حوزه خانمیرزا، حداقل مربعات خطا و سایت اقلیمی کانادایی.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۲. استادیار مهندسی منابع آب، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، نویسنده مسئول / Kabdolla2010@gmail.com

۳. استادیار مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تبریز

## مقدمه

داشتن داده‌ها و اطلاعات کافی و صحیح، نخستین گام در مطالعات مهندسی تحقیقات آبی، طرح‌های توسعه کشاورزی و همانند آن است. از آنجا که مدل‌سازی‌های مرسوم در هیدرولوژی در بسیاری از مواقع به‌صورت پیوسته می‌باشد، عدم موجودیت داده‌ها مانع بزرگی در این ارتباط است. در حال حاضر به دلیل عدم دیدبانی و مشکوک بودن بخشی از داده‌ها (گسسته و پیوسته)، خلأهای فراوانی در داده‌ها دیده می‌شود. وجود خلأهای آماری و یا ارقام مشکوک به‌ویژه در مناطقی که شبکه‌های هواشناسی تراکم کافی ندارند یا برای مناطقی که به دلیل صعب‌العبور بودن، فاقد ایستگاه یا داده‌های معتبر هواشناسی هستند، و همچنین عدم ثبت آمار، خرابی دستگاه‌های اندازه‌گیری و حذف آمار غلط (قاجارنیا و همکاران، ۲۰۱۴) سبب می‌شود که محققان به تکمیل و تصحیح این داده‌ها توجه نشان بدهند. بر این اساس روش‌های مختلفی برای بازسازی داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود دارد (رحیمی و همکاران، ۲۰۱۷) که به دو دسته کلاسیک و نوین تقسیم می‌شوند. از جمله روش‌های کلاسیک می‌توان به روش ایستگاه معرف، نسبت نرمال، رگرسیون خطی و محور مختصات و از جمله روش‌های نوین می‌توان به روش شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و رگرسیون فازی اشاره کرد (ساداتی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۰). برای رفع خلأهای داده‌های یک ایستگاه اندازه‌گیری، استفاده از روش‌های آماری و داده‌های ایستگاه‌های مجاور با توجه به تشابه هیدرولوژیکی، کليمتالوژی و فیزیوگرافی مشابه مورد توجه است (نقدی و همکاران، ۲۰۱۰). پویایی و تغییرات متغیرهای اقلیمی از جمله مباحث چالش‌برانگیز فعلی هستند که در مقیاس‌های وسیع انجام می‌شوند. آگاهی از وضعیت اقلیمی و آب‌وهوایی آبی، همواره مورد توجه کارشناسان بوده است. در این زمینه دو روش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (هامر و نیکلسون، ۱۹۹۶): در روش اول با استفاده از روش‌های ریاضی و آماری و داده‌های هواشناسی، پیش‌بینی پارامتر صورت می‌گیرد. روش دوم با الگوی تغییر اقلیم و در نظر گرفتن سناریوهای مختلف به

پیش‌بینی شرایط آب‌وهوایی می‌پردازند. با به‌کارگیری روش‌های عددی در هواشناسی، تلاش‌ها برای دستیابی به مدل‌های گردش عمومی کلان و منطقه‌ای، شتاب بیشتری یافت و مدل‌های اقلیمی مختلفی توسعه یافتند. پس از ایجاد سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) تحت سناریوهای مختلف برای پیش‌بینی وضعیت اقلیمی در دهه‌های آتی توسعه یافتند (احمدی و همکاران، ۲۰۱۵). امروزه از جمله قوی‌ترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو محسوب می‌شود. این دسته از الگوها به‌صورت آنالیز سه‌بعدی سیستم‌های اقلیمی را با در نظر گرفتن بیشتر پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند. از نظر منابع آب، دو متغیر دما و بارش اهمیت خاصی در سیستم هیدرولوژیکی دارند. از این رو در این مطالعه، موجودیت این دو داده اقلیمی به‌عنوان متغیری کمکی برای بازسازی داده‌ها بر اساس اطلاعات موجود از بین سناریوهای مختلف مدل تغییر اقلیم بررسی شده است. مدل‌های گردش عمومی جو خروجی‌های متنوعی از جمله پارامترهای بارش، دما، سمت و سرعت باد است. سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، تغییرات احتمالی در متوسط ویژگی‌های آب‌وهوایی و نیز تغییرپذیری اقلیمی را که توسط مدل‌های گردش عمومی جو آشکار می‌شود، نشان می‌دهند (IPCC، ۱۹۹۶). در اجرای این الگوها کاربرد سناریوی مناسب و در نهایت انتخاب بهترین الگوی اقلیمی، که داده‌های آن همخوانی منطقی با داده‌های مشاهده‌ای منطقه مورد مطالعه داشته باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تاکنون پژوهش‌های زیادی نیز با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در زمینه بررسی پارامترهای اقلیمی صورت گرفته است؛ از جمله می‌توان به پژوهش هارمن<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۹) که با استفاده از داده‌های پارامتر دما و بارش و استفاده از الگوی گردش عمومی DOE/NCR PCM تحت سه سناریو به بررسی وضعیت اقلیمی منطقه پورتریکو پرداختند، اشاره کرد. ایده اصلی این مطالعه از وجود همبستگی آماری بین دیدبانی‌های

2. Global Climate Models

3. Intergovernmental Panel on Climate Change

4. Harmsen

1. Hummer &amp; Nicholson

روش است. یو<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۰۴) با به‌کارگیری دو روش محور مختصات و رگرسیون برای بازسازی داده‌های دما به این نتیجه رسیدند که روش رگرسیون مناسب‌ترین روش در مناطق کوهستانی است. مک کولوچ و بوث<sup>۱۲</sup> (۱۹۷۰) بارش ایستگاه پرشن واقع در حوزه آبخیز آنتاریو در کانادا را با استفاده از روش رگرسیون برآورد کرد و نتایج آن مطابقت خوبی با داده‌های واقعی داشت. یکی از مهم‌ترین ابزارهای متداول و کاربردی توسط هیدرولوژیست‌ها تحلیل رگرسیون است که اساس آن ایجاد مدل بر اساس داده‌های مشاهداتی می‌باشد. برای مثال عبدالهی (۲۰۰۵) طی تحقیقی به ارائه یک مدل و الگوریتم جدید برای بازسازی داده‌های گمشده هیدرولوژی پرداخت که نتایج نشان‌دهنده برآورد مناسب داده‌های گمشده توسط این روش بود. روش تحلیل رگرسیون را می‌توان به دو دسته آماری و فازی دسته‌بندی کرد که رگرسیون آماری بر اساس قوانین احتمالات است و خطای محاسباتی آن بین داده‌های مشاهداتی و مدل رگرسیون متغیر تصادفی با توزیع نرمال است و رگرسیون فازی بر اساس تئوری مجموعه‌های فازی است و خطای آن به صورت میزان فازی بودن ساختار مدل است (چنگ و ایوب<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۱). اگرچه طی سالان اخیر، تحقیقات مختلفی برای بازسازی پارامترهای هواشناسی در مقیاس زمانی ماهانه انجام شده است، همچنان انجام تحقیقاتی در زمینه بازسازی پارامترهای هواشناسی که با مشخصه‌های مکانی نیز مرتبط باشد، در کشورمان ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش، بازسازی خلأهای دمای و بارش ماهانه در سری زمانی پیوسته (۱۹۹۵-۲۰۵۰) بر پایه انطباق و همبستگی با داده‌های اقلیمی است که نهایتاً در مسائل پیش‌نگری اقلیمی کاربرد دارند. این موضوع با مبحث ریزمقیاس‌سازی که بنای کاربرد مدل‌های اقلیمی در مقیاس‌های ریزتر است، اختلافی ساختاری دارد. همچنین در این پژوهش تلاش شده تا ضمن راستی‌آزمایی و مقایسه شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش، همخوانی سناریوهای اقلیمی جهانی در تولید داده‌های هواشناسی برای آینده بررسی شود.

منطقه‌ای و داده‌های سناریوهای اقلیمی در همان منطقه بنا شده است. این مطالعه پیشنهاد می‌کند با توجه به همبستگی‌های نسبتاً بالای گزارش شده توسط تحقیقات گذشته، از این داده‌ها به‌عنوان متغیری اضافی برای بازسازی خلأهای آماری استفاده شود. تحقیقات بسیاری در طی سال‌های اخیر درباره مقایسه روش‌های بازسازی داده‌های هواشناسی انجام گرفته است که می‌توان خلیلی و همکاران (۲۰۰۱)، اشرف و همکاران (۱۹۹۷)، تیگواراپو و چندرامولی<sup>۱</sup> (۲۰۰۵)، می‌لوا کیم و استنکوسکی<sup>۲</sup> (۲۰۰۷)، موالی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، دی پیزا<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۱) و وگنر<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۲) را نام برد. در میان پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص بازسازی دما در مناطق ارتفاعی کرگاه<sup>۶</sup> (۱۹۹۵)، یک روش رگرسیون بر پایه داده‌های رقومی (شیب، جهت، ارتفاع (نسبی و مطلق)، فاصله از دریا) را پیشنهاد کرد و کارایی آن را مورد آزمون قرار داد. زیا<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۹۹) با بررسی شش روش (روش میانگین حسابی ساده، روش معکوس فاصله، روش نسبت نرمال، بهترین برآوردگر منفرد، تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه و کریجینگ عمومی) به بازسازی داده‌های مفقود اقلیمی پرداخت و نتیجه گرفت روش تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه بهترین روش برای به‌دست‌آوردن سری‌های زمانی دماست. یزگاتلیگیل<sup>۸</sup> (۲۰۱۳) برای بازسازی خلأهای آماری سری زمانی بارش و دمای ماهانه، از روش مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی و تکنیک جای‌گذاری چندگانه<sup>۹</sup> استفاده کرد و به این نتیجه رسید که با اعمال یک سری اصلاحات بر روی روش تکنیک جای‌گذاری، نتایج بهتری به دست می‌آید. لوکزاده<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۴) برای بازسازی خلأها آماری بارندگی در سری‌های زمانی مختلف در منطقه البرز مرکزی، از روش‌های رگرسیون خطی، نسبت نرمال، محور مختصات و زمین‌آماری استفاده کرد و نتایج گویای این بود که روش نسبت نرمال مناسب‌ترین

1. Teegavarapu
2. Mileva-Boshkoska & Stankovski
3. Mwale
4. Di Piazza
5. Wagner
6. Carrega
7. Xia
8. Yozgatligi
9. Multiple Imputation strategy(MI)
10. Lookzadeh

11. You

12. Macculloch &amp; Booth

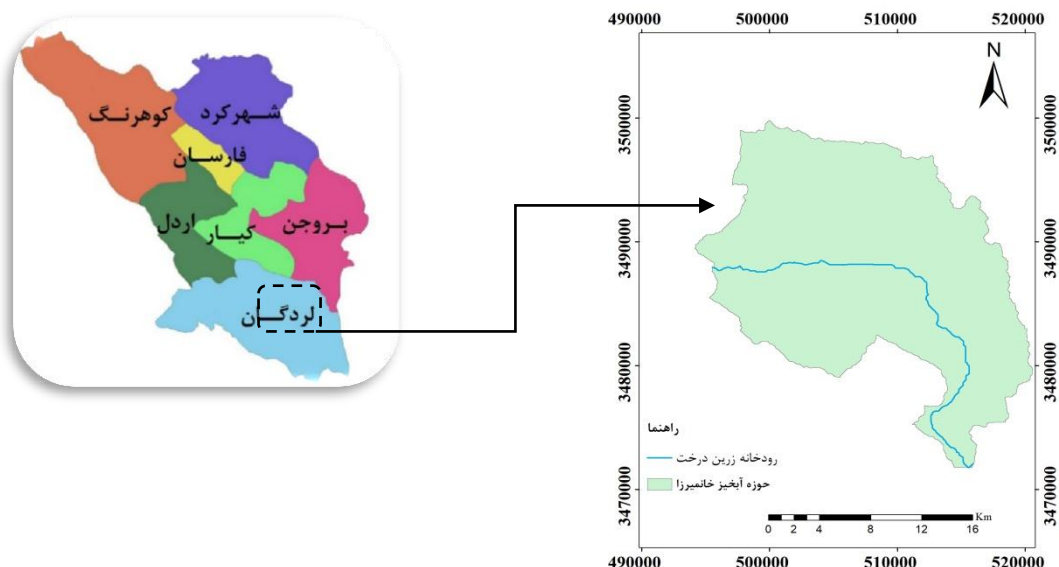
13. Chang &amp; Ayyub

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

حداقل دمای منطقه ۵ درجه زیر صفر و حداکثر ۳۰ درجه بالای صفر است. از این رو دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است. هم‌اکنون عمده منبع تأمین آب آبیاری و آشامیدنی منطقه با بیش از ۱۰۰۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق تأمین می‌شود. در این مطالعه با توجه به نزدیکی ایستگاه سینوپتیک لردگان به حوزه آبخیز خانمیرزا واقع در استان چهارمحال و بختیاری و طول دوره آماری مناسب و کامل این ایستگاه از داده‌های هواشناسی آن به عنوان داده‌های مشاهده‌ای ایستگاهی استفاده شد. ایستگاه سینوپتیک لردگان دارای طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۸۳ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی در جوار حوزه خانمیرزاست.

محدوده مطالعاتی خانمیرزا در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۱ دقیقه و ۳۸ دقیقه شمالی در جلگه کوهستانی با میانگین بارندگی سالانه ۵۰۰ میلی‌متر و مساحت ۴۹۲ کیلومتر مربع واقع شده است. حوزه خانمیرزا در جنوب شرقی چهارمحال و بختیاری در شهرستان لردگان قرار دارد (گزارش فنی پیشنهاد ممنوعیت محدوده جوانمردی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵). شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را در استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت ایستگاه و منطقه مورد مطالعه در نقشه استان چهارمحال و بختیاری

Figure (1): Location of the study area and the station in Chaharmahal and Bakhtiari province

برای تهیه داده‌های اقلیمی می‌توان از مراکز اقلیمی گوناگونی که در دنیا هستند و به بررسی الگوهای اقلیمی متفاوت می‌پردازند، استفاده کرد (صمدی، ۲۰۰۶). بنابراین منابع ارائه داده متعددند؛ از جمله آن‌ها می‌توان به مرکز تحقیقات تغییر اقلیم استرالیا<sup>۲</sup>، مرکز تحقیقات اقلیمی آلمان<sup>۳</sup>، مرکز تحقیقات اقلیمی انگلستان<sup>۴</sup>، مرکز مطالعات اقلیمی ژاپن<sup>۵</sup> و سازمان هواشناسی انگلستان<sup>۶</sup> و سایت اقلیمی کانادایی<sup>۷</sup> اشاره کرد.

## داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، دو نوع داده شامل داده‌های مشاهده‌ای ایستگاهی و خروجی‌های داده‌های اقلیمی، مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به نزدیکی ایستگاه لردگان، داده‌های دریافت شده از سازمان هواشناسی کشور از این ایستگاه، به عنوان داده‌های مشاهده‌ای در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای مورد بررسی در این ایستگاه شامل عوامل دما و بارش به صورت متوسط ماهانه در دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۶) است.

2. CSIRO
3. DKRZ
4. Hadly
5. CCSR
6. UKMO
7. GCM/RCM Monthly Data Download

1. Technical Report Proposed Prohibition of Chivalrous Range

در این پژوهش، از داده‌های اقلیمی بارش و دمای ماهانه، در دوره آماری مطابق با دوره آماری داده‌های هواشناسی، (دوره زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱۶)) مستخرج از سایت اقلیمی کانادایی (GCM/RCM)، به‌عنوان متغیر کمکی برای بازسازی داده‌ها استفاده شد. این داده‌ها با توجه به موقعیت مکانی ایستگاه مشاهداتی استخراج شدند. چنین اطلاعاتی برای سایر مناطق حوزه آبخیز مورد مطالعه نیز وجود دارد. این سایت اقلیمی هرچند دارای داده‌های اقلیمی با محدودیت مکانی است (اندازه پیکسل ۲۵\*۲۵ کیلومتر)، اما دارای پوشش سری زمانی ماهانه نسبتاً جامعی می‌باشد. طی این پژوهش، برای پیش‌بینی وضعیت اقلیمی حوزه خانمیرزا به تهیه دو پارامتر از سایت کانادایی در دوره آماری (۱۹۶۰-۲۰۹۹)، در میان ۲۴ مدل<sup>۱</sup> که شامل ۶۵ سناریو<sup>۲</sup> بود، اقدام شد. سپس این داده‌ها در دوره ۲۰ساله مطابق با داده‌های مشاهده‌ای دریافت گردید. تعداد ۲۴ مدل به‌صورت خطی و غیرخطی برای بررسی همبستگی داده‌های اقلیمی در نظر گرفته شد. برای بررسی همبستگی، از روش حداقل مربعات خطا در این دوره زمانی به برقراری رابطه میان داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های اقلیمی در هر ۶۵ سناریوی تعریفی در سایت اقلیمی کانادایی پرداخته شد تا سناریوهای با انطباق بیشتر با شرایط اندازه‌گیری شده ایستگاه زمینی در دو مرحله مشخص شود. در مرحله اول، ۴ سناریو که به‌طور کلی همبستگی خطی یا غیرخطی خوبی پس از برازش منحنی نشان می‌دادند، مشخص شدند که در نتیجه برقراری رابطه میان این دوسری داده، از میان آن‌ها ۴ سناریو با ضریب همبستگی بالاتر انتخاب شد. برای شناسایی سناریوی برتر کاندیدای مورد استفاده برای شبیه‌سازی صرفاً به همبستگی اکتفا نشد، بلکه جهت انتخاب یک سناریوی برتر به جداسازی فصلی در هریک از چهار سناریو پرداخته شد. لذا بدین منظور با حذف تعاملی هر ماه در هریک از ۴ سناریو و سپس با برقراری رابطه میان مابقی داده‌ها از روش حداقل مربعات خطا و مقایسه مقدار داده مشاهده‌ای حذف‌شده، با محاسبه‌ای اقدام به درست‌آزمایی همبستگی به‌دست‌آمده شد. این فرایند برای ۱۲ ماه در هر سناریو تکرار شد تا با استفاده از داده‌های اقلیمی و رابطه این

دو سری داده، به محاسبه و بررسی انطباق داده‌های مشاهده‌ای و اقلیمی در هر سناریو پرداخته شود. از طرفی روند بلندمدت، به‌کمک شبکه اقلیمی بررسی شد. نتیجه حاصل سری زمانی با همبستگی قابل قبول تا خوبی را تشکیل می‌دهد. علاوه بر آنکه با محاسبه همبستگی میان داده‌های محاسبه‌شده تصحیح‌شده و داده‌های مشاهده‌ای موجود، بهترین سناریو از میان این ۴ سناریو که داده‌های آن همخوانی منطقی با داده‌های مشاهده‌ای منطقه مورد مطالعه داشتند، برای استفاده با هدف تعمیم داده‌های مشاهداتی برگزیده شد. با توجه به فلسفه اصلی داده‌های اقلیمی، از قابلیت‌های جانبی کاربردهای دیگر این روش، محاسبه امکان پیش‌بینی تغییرات درجه حرارت و بارش برای سال‌های آتی است.

### نتایج

نتایج بررسی همبستگی بین متغیرهای ایستگاهی دما و بارش به‌صورت متوسط ماهانه و داده‌های پیکسلی مستخرج از داده‌های سایت اقلیمی کانادایی در شکل (۲) و اشکال بعدی ارائه شده است. به‌طور کلی، مشاهده نتایج مبنی بر همبستگی بالای نتایج به‌دست‌آمده برای عامل دماست. از طرفی نتایج برای اکثر ماه‌ها مبنی بر همبستگی پایین پارامتر بارش بوده است. در ادامه این بخش، نتایج کلی و بینابینی به‌دست‌آمده در این تحلیل، بر اساس نوع عامل هواشناسی آمده است. همچنین به‌منظور مقایسه، نتایج همبستگی این دو پارامتر با ارتفاع نیز آورده شده است.

### انتخاب بهترین سناریوی متغیر دما

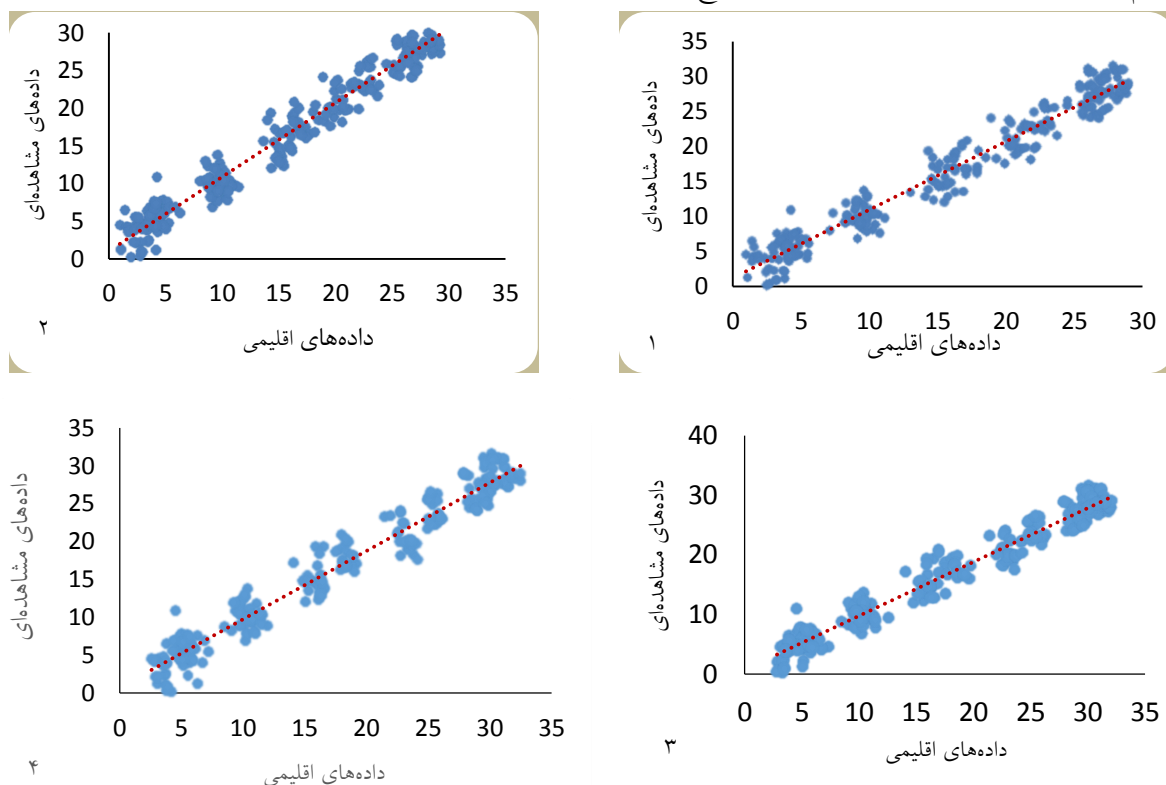
برای پیش‌بینی پارامتر دما با توجه به رابطه برقرارشده از طریق روش حداقل مربعات خطا بین داده‌های مشاهده‌ای و اقلیمی و همبستگی بالای آن‌ها، ابتدا از بین هر ۶۵ سناریو، ۴ سناریو با ضریب همبستگی بیشتر و  $a$  متمایل به ۱ و  $b$  نزدیک به صفر انتخاب شد. (شکل پ. ۱، ۲ و ۳ نشان‌دهنده ضرایب همبستگی به‌دست‌آمده مابین داده‌های مشاهداتی و داده‌های مستخرج از سایت اقلیمی کانادایی در هریک از سناریوهای SR-A1B، SR-A2، SR-B1، در ۲۴ مدل موجود است).

با توجه به محاسبات، مدل ECHO-G و سناریوهای آن (SR-A1B و SR-A2) و همچنین مدل NCARCCSM3 با

1. model
2. experiment

برقراری رابطه میان داده‌های اقلیمی و مشاهده‌ای ۴ سناریوی منتخب، در شکل (۲) و جدول (۱) آورده شده است.

سناریوهای آن (SR-B1 و SR-A2)، دارای ضرایب همبستگی بالاتر نسبت به ۲۴ مدل دیگرند. در نتیجه این ۴ سناریو برای انجام سایر محاسبات برگزیده شدند. گراف و نتایج حاصل از



شکل (۲): گراف‌های حاصل از برقراری رابطه میان داده‌های اقلیمی و مشاهده‌ای ۴ سناریو منتخب  
 ۱. AR4 (2007) - ECHO-G (Mean), SR-A1B ۲. AR4 (2007) - ECHO-G (Mean), SR-A2 ۳. AR4 (2007) - ECHO-G (Mean), SR-A2 ۴. AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean), SR-A2  
 Figure (2): The graph indicating correlation between climatological model outputs and observation of four selected scenarios  
 1. AR4 scenario (2007) - ECHO-G (Mean, SR-A1B; 2. AR4 (2007) - ECHO-G (Mean), SR-A2; 3. AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean), SR-A2, 4. AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean), AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean)

جدول (۱): رابطه بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های اقلیمی در ۴ سناریوی منتخب  
 Table (1): Relationship between observed data and climate model outputs for four selected scenarios

سناریو	مدل	ضریب همبستگی	معادله	کد مدل	ردیف
SR-A1B	AR4 (2007) - ECHO-G (Mean)	$R^2 = 0.9558$	$y = 0.9739x + 1.2412$	۱.ک	۱
SR-A2	AR4 (2007) - ECHO-G (Mean)	$R^2 = 0.9579$	$y = 0.9831x + 1.0835$	۲.ک	۲
SR-A2	AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean)	$R^2 = 0.9584$	$y = 0.9032x + 0.7364$	۳.ک	۳
SR-B1	AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean)	$R^2 = 0.9567$	$y = 0.9018x + 0.7274$	۴.ک	۴

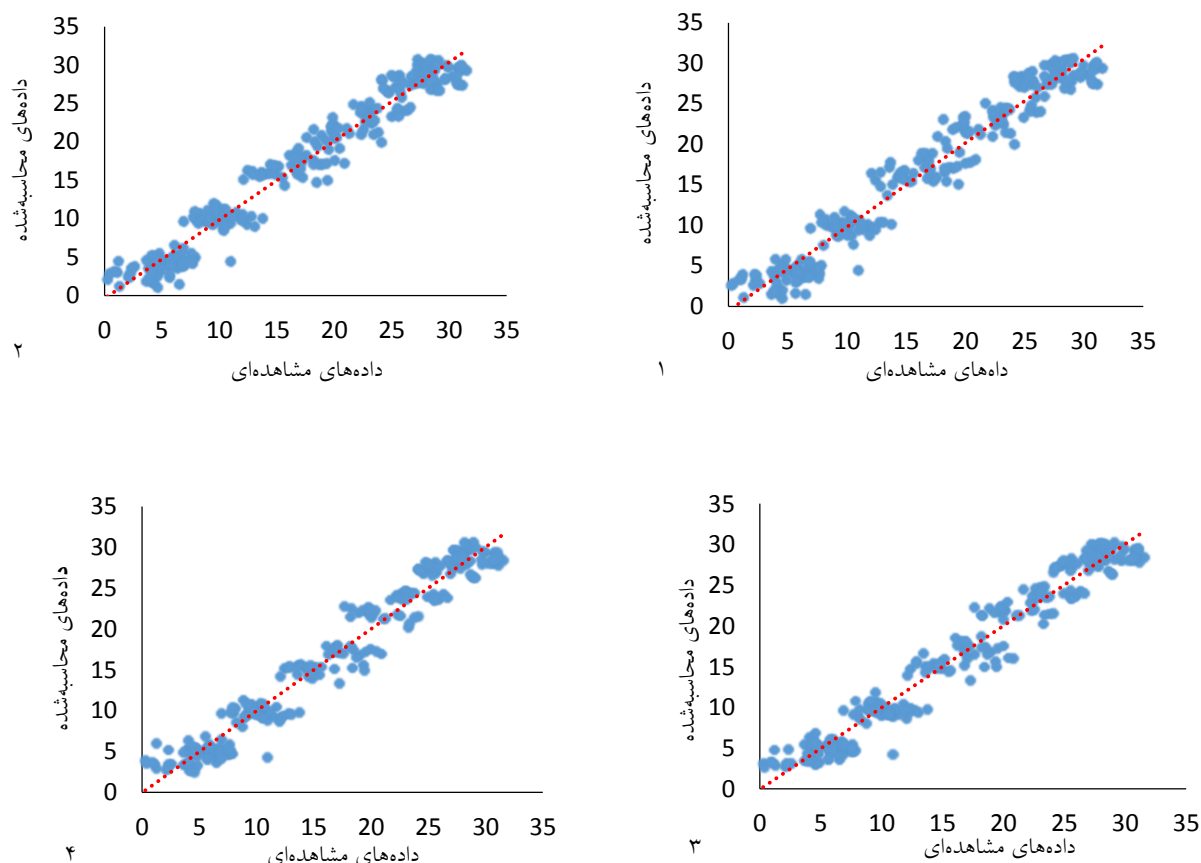
پس از کنار گذاشتن موارد با همبستگی پایین در هر ۴ مشاهده‌ای به محاسبه مقدار مشاهده‌ای ماه حذف شده انجام شد. سناریوی منتخب، داده‌ها بر اساس فصل در دوره زمانی ۲۰ساله در نهایت، با استفاده از رابطه زیر، داده‌های محاسبه شده در هر (۱۹۹۵-۲۰۱۶) جدا شده و به بررسی انطباق داده‌های اقلیمی با سناریو تصحیح گردید.

داده‌های مشاهده‌ای پرداخته شد. این اقدام به منظور درست آزمایی همبستگی به دست آمده از طریق حذف تعاملی بود که با حذف همراه و برقراری رابطه بین مابقی داده‌های اقلیمی و

$$\text{میانگین مقدار داده‌های مشاهده‌ای} = \frac{\text{خطای تصحیح شده}}{\text{میانگین مقدار داده‌های اقلیمی}}$$

با ضرب حاصل در مقادیر اقلیمی در هر ماه می توان مقدار

پارامتر محاسبه شده در آن ماه در هر سناریو را برای شرایط آتی محاسبه شده تصحیح شده و داده‌های اقلیمی در بین ۴ سناریوی بدست آورد. با بررسی رابطه میان داده‌های محاسبه شده و منتخب در دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۶)، در شکل (۳) و جدول تصحیح شده و داده‌های مشاهده‌ای میزان همبستگی آن بدست (۲) آمده است. نتایج حاصل از برقراری همبستگی میان داده‌های



شکل (۳): گراف‌های حاصل از برقراری رابطه میان داده‌های محاسبه شده در ۴ سناریوی منتخب  
 ۱. AR4 (2007) - ECHO-G (Mean, SR-A1B), ۲. AR4 (2007) - ECHO-G (Mean, SR-A2), ۳. AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean), SR-A2, ۴. AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean), AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean)

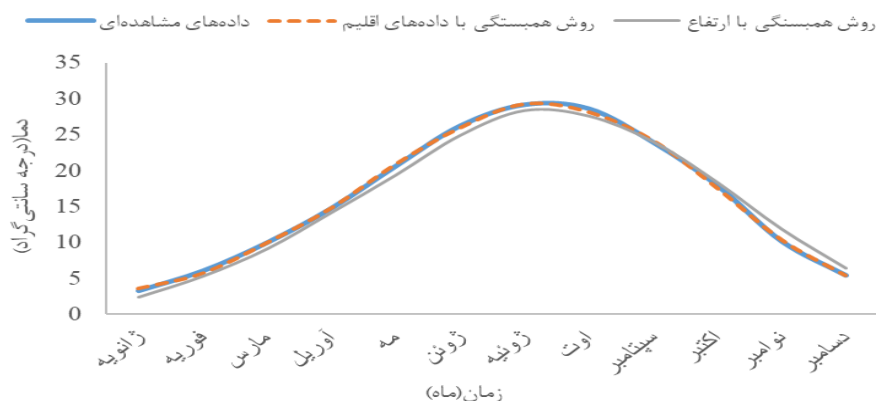
Figure (3): Relationship among four selected scenarios  
 1. AR4 scenario (2007) - ECHO-G (Mean, SR-A1B; 2. AR4 (2007) - ECHO-G (Mean, SR-A2; 3. AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean), SR-A2; 4. AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean), AR4 (2007) - NCARCCSM3 (Mean)

جدول (۲): رابطه بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های محاسبه شده تصحیحی در ۴ سناریوی منتخب  
 Table (2): Relationship between observed data and bias corrected values under four selected scenarios

سناریو	مدل	معادله	ضریب همبستگی	همبستگی	کد مدل	ردیف
SR-A1B	ECHO-G	$y = 1.0367x - 0.5625$	0.955817614	0.977659253	۱.ک	۱
SR-A2	ECHO-G	$y = 1.0258x - 0.4221$	0.957853636	0.978699972	۲.ک	۲
SR-A2	NCARCCSM3	$y = 1.0036x - 0.0582$	0.95837272	0.978965127	۳.ک	۳
SR-B1	NCARCCSM3	$y = 1.0013x - 0.0206$	0.95672981	0.978125662	۴.ک	۴

با توجه به شکل (۳) و جدول (۲) می‌توان مشاهده کرد که هر ۴ سناریو همبستگی بالایی را میان داده‌های اقلیمی و محاسبه شده نشان می‌دهند. شکل زیر مقایسه‌ای بین روش فوق و روش همبستگی مابین داده‌های مشاهده‌ای پارامتر دما و ارتفاع را به صورت متوسط ماهانه در دوره سالی مشترک بین آن‌ها نشان می‌دهد.





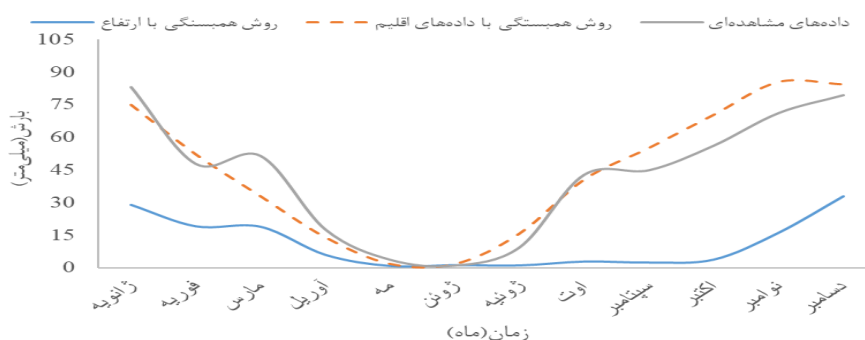
شکل (۴): مقایسه بین روش همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای دما با داده‌های اقلیمی و روش همبستگی با ارتفاع

Figure (4): Comparison between the gradient method and temperature-elevation relationship

روابط حاصل، بهترین معادله با ضریب همبستگی بیشتر ( $R^2=0.98$ ) انتخاب شد و بازسازی و پیش‌بینی داده‌های پارامتر بارش با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های بازسازی‌شده در مرحله قبل صورت گرفت. شکل (۵) مقایسه‌ای بین روش فوق برای بازسازی داده‌های این پارامتر و روش همبستگی مابین داده‌های مشاهده‌ای پارامتر بارش و ارتفاع را به صورت متوسط ماهانه در دامنه سالی مشترک بین آن‌ها برای انتخاب روش برتر نشان می‌دهد.

### بررسی پارامتر بارش

با توجه به همبستگی پایین به دست آمده حاصل از برقراری رابطه میان داده‌های اقلیمی و مشاهده‌ای در دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۶)، به دلیل پایین بودن همبستگی برای پارامتر بارش، برای پیش‌بینی وضعیت بارش ماهانه در حوزه آبخیز امکان استفاده از روش استفاده‌شده در پیش‌بینی پارامتر دما نبود. بنابراین برای بازسازی و پیش‌بینی این پارامتر به برقراری رابطه بین داده‌های پارامتر دما و بارش دریافتی از سایت اقلیمی کانادایی با داده‌های مشاهده‌ای بارش اقدام شد. از میان



شکل (۵): مقایسه بین روش همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای بارش با داده‌های اقلیمی و روش همبستگی با ارتفاع

Figure (5): Comparison between the correlation between precipitation data and climatic data vs. rainfall-elevation relationship

دمای پیش‌بینی شده در بخش فوق، می‌توان با جایگذاری داده‌های برآورد شده دما و داده‌های اقلیمی بارش (در سناریوی برگزیده)، در معادله (۹)، حاصل از رابطه میان عامل بارش مشاهده‌ای و عامل ترکیبی عامل دما و بارش اقلیمی، برای پیش‌بینی بارش آتی استفاده کرد.

$$p = 0.88 * (T * P) + 0.0005 \quad (9)$$

در معادله فوق،  $P$  بارش اقلیمی و  $T$  دما اقلیمی و  $p$  بارش

با توجه به نمودار شکل (۵) می‌توان دید در رابطه با پارامتر بارش، روش همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای با داده‌های اقلیمی (مستخرج از سایت اقلیمی کانادایی)، نتایج بسیار منطبق‌تر با واقعیت نسبت به روش ایجاد همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای این پارامتر با عامل ارتفاع را نشان می‌دهد. در نتیجه می‌توان با اطمینان بیشتری برای بازسازی و پیش‌بینی پارامتر بارش، روش فوق‌الذکر را توصیه کرد. حال با توجه به

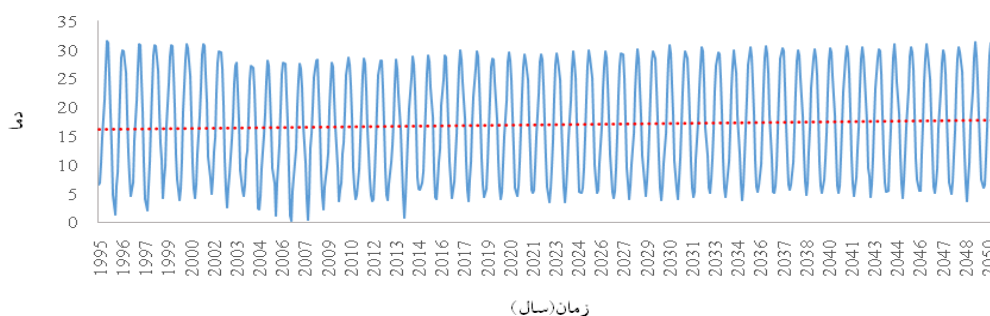


پیش‌بینی شده است.

سال ۲۰۵۰ و با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای پارامتر بارش، این امر انجام شد. بدین منظور داده‌های تصحیح‌شده پارامتر دمای حاصل‌شده در مراحل قبل تا سال ۲۰۵۰ محاسبه و سپس به پیش‌بینی داده‌های مشاهده‌ای با استفاده از داده‌های تصحیح‌شده با روش حداقل مربعات خطا و رابطه بین آن‌ها پرداخته شد. شکل (۵) نشان‌دهنده وضعیت محتمل دما تا سال ۲۰۵۰ است.

### پیش‌بینی داده‌های دما

هرچند هدف این مطالعه کاربرد داده‌های اقلیمی به‌عنوان متغیر کمکی بوده است، با توجه به مشخص شدن سناریو واقع‌گرایانه بر اساس داده‌های آماری، به‌طور جانبی می‌توان از آن برای پیش‌بینی پارامتر دما در سال‌های آتی هم استفاده کرد. برای نمونه با توجه به موجود بودن داده‌های اقلیمی تا



شکل (۶): پیش‌بینی روند داده‌های پارامتر دما تا سال ۲۰۵۰

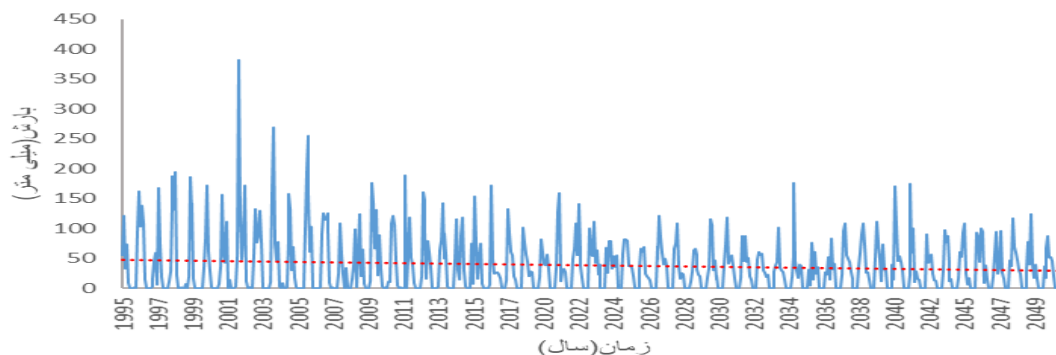
Figure (6): Predicted values for temperature trend until 2050

داده‌های حاصل از این پیش‌بینی در تحقیقاتی که نیازمند داده‌های دما در آینده برای این حوزه است، بهره برد.

### پیش‌بینی داده‌های بارش

برای پیش‌بینی داده‌های بارش، با روش ترکیبی از عامل دما و بارش، بهترین همبستگی ( $R^2=0.98$ ) با داده‌های مشاهده‌ای انجام شد. داده‌های بارش با استفاده از روش مذکور تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شدند. نتایج حاصل از این پیش‌بینی در شکل (۷) مشهود است.

با توجه به داده‌های مطابقت محلی سناریوها در مرحله قبل و گراف فوق می‌توان دید که دما در سال‌های آتی روند نسبی رو به افزایش خواهد داشت. میانگین دما طی دوره ۲۰ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۶) از  $16/35$  درجه سانتی‌گراد به  $17/06$  درجه سانتی‌گراد در دوره ۲۰ساله بعدی (۲۰۱۷-۲۰۳۶) و به  $17/76$  درجه سانتی‌گراد در دوره ۱۵ساله آخر (۲۰۳۷-۲۰۵۰) می‌رسد؛ یعنی حدود  $1/5$  درجه سانتی‌گراد افزایش دما را دوره آتی تا سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره ۲۰ساله مشاهده‌ای موجود (۱۹۹۵-۲۰۱۶) را شاهد خواهیم بود. بنابراین می‌توان از



شکل (۷): پیش‌بینی روند داده‌های پارامتر بارش تا سال ۲۰۵۰

Figure (7): Projected future rainfall up to 2050

با توجه به گراف حاصل، می‌توان روند نزولی بارش را در سال‌های آتی در حوزه خانمیرزا مشاهده کرد، که با توجه به

روند رو به افزایش دما در این دوره زمانی، امری مرتبط به نظر می‌رسد. میانگین سالانه بارش طی دوره ۲۰ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۶) از ۵۵۲/۷۳۳۵ میلی‌متر به ۳۹۰/۴۸ در دوره ۲۰ساله بعدی (۲۰۱۷-۲۰۳۶) و به ۴۱۵/۷۶ میلی‌متر در دوره ۱۵ساله آخر (۲۰۳۷-۲۰۵۰) می‌رسد؛ یعنی حدود ۱۳۷ میلی‌متر کاهش سالانه بارش را در دوره آتی تا سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره ۲۰ساله مشاهده‌ای موجود (۱۹۹۵-۲۰۱۶) مورد انتظار خواهد بود. بنابراین می‌توان از داده‌های حاصل از این پیش‌بینی در تحقیقاتی که نیازمند داده‌های بارش در آینده برای این حوزه باشد، بهره برد.

**بحث و نتیجه‌گیری**

**انتخاب بهترین سناریوی متغیر دما**

از محاسبات انجام‌شده روی ۴ سناریوی منتخب (شکل ۳ و جدول ۲)، شامل مدل ECHO-G و سناریوهای آن (SR-A1B و SR-A2) و مدل NCARCCSM3 با سناریوهای آن (SR-A2 و SR-B1) که دارای ضریب همبستگی بالاتر نسبت به سایر سناریوها بودند، سناریوی SR-A2 از مدل NCARCCSM3 با ضریب همبستگی ۰/۹۸۵ به‌عنوان مدل نهایی که دارای تطابق بالایی با داده‌های مشاهده‌ای است، انتخاب شد. از طرفی با مقایسه همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای پارامتر دما و داده‌های اقلیمی مستخرج از سایت اقلیمی کانادایی و روش ایجاد همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای با عامل ارتفاع و همچنین مقایسه نتایج این دو روش با داده‌های مشاهده‌ای (شکل ۴) می‌توان نتیجه گرفت که روش همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای پارامتر دما و داده‌های اقلیمی مستخرج از سایت اقلیمی کانادایی، نتایج منطبق‌تری با واقعیت را نشان می‌دهد. پس می‌توان بیان کرد در صورت مشخص بودن سناریوی محتمل در یک منطقه برای بازسازی و پیش‌بینی پارامتر دما می‌توان از آن سناریو (محتمل) استفاده نمود.

**بررسی پارامتر بارش**

به‌طورکلی، بارش تغییرپذیری ذاتی شدیدی دارد. درباره پارامتر بارش حوزه مورد مطالعه، با توجه به همبستگی پایین بین داده‌های مشاهده‌ای و اقلیمی، به‌طور غیرمستقیم و با استفاده از روش ترکیبی عامل دما و بارش، بهترین همبستگی

( $R^2=0.98$ ) با داده‌های مشاهده‌ای انتخاب شد و از آن برای بازسازی داده‌های بارش اقدام به عمل آمد. همچنین با توجه به شکل (۵)، می‌توان بیان کرد که همچون نتایج مقایسه دو روش برای پارامتر دما، روش همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای پارامتر بارش و داده‌های اقلیمی، نتایج بسیار منطبق‌تر با واقعیت نسبت به روش ایجاد همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای این پارامتر با عامل ارتفاع را نشان می‌دهد. در نتیجه می‌توان با اطمینان بیشتری برای بازسازی و پیش‌بینی پارامتر بارش، روش فوق‌الذکر را برگزید. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت در این تحقیق، نگاه دیگری به کاربرد داده‌های اقلیمی به‌عنوان متغیری کمکی برای بازسازی داده‌های گمشده ارائه شده است. بدین منظور تمامی مدل‌ها و سناریوهای موجود در سایت اقلیمی کانادایی (GCM/RCM Monthly Data Download) بررسی شد. از این رو به ایجاد همبستگی بین این سری داده‌ها و داده‌های مشاهده‌ای، برای دو پارامتر دما و بارش در حوزه خانمیرزا واقع در جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد. نتایج گویای همبستگی بسیار خوب بین سناریوهای دما و داده‌های مشاهده‌ای این پارامتر بود (شکل پ. ۱، ۲ و ۳)، اما برای بازسازی داده‌های بارش به‌طور غیرمستقیم از روش فوق استفاده شد. از طرفی، نتایج مقایسه روش ذکرشده با روش ایجاد همبستگی میان عامل ارتفاع و داده‌های مشاهداتی (شکل ۴ و ۵) گویای این مسئله بود که روش حاصل از ایجاد همبستگی مابین داده‌های اقلیمی و داده‌های مشاهده‌ای برای هر دو پارامتر دما و بارش، به‌مراتب نتایج منطبق‌تر با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه را منتج می‌شود. در نتیجه وجود همبستگی بالا میان این دو سری داده و برتری این روش در مقایسه با روش به‌کارگیری عامل ارتفاع، تأییدکننده امکان استفاده از این داده‌ها برای بازسازی داده‌های گمشده در این حوزه است که ممکن است در حوزه‌های دیگری نیز چنین ارتباطاتی حاکم باشد. با توجه به هدف این تحقیق برای بازسازی خلأهای موجود در داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی آن‌ها در سال‌های آتی برای استفاده در پژوهش‌های دیگر در این حوزه آبخیز، برای پارامتر دما در میان تمامی مدل‌ها و سناریوها، از مدل NCARCCSM3 (Mean) با

بررسی شود.

در مقایسه‌ای میان تحقیق حاضر و تحقیقات گذشته می‌توان گفت که نتایج این تحقیق قابلیت تعمیم به شرایط آبی را دارد. همچنین به دلیل دسترسی جهانی منابع داده‌ای، روش مذکور برای مناطقی که هیچ‌گونه اطلاعاتی وجود ندارد، نیز مناسب است. لذا این امکان وجود دارد که با بررسی همبستگی میان داده‌های منطقه‌ای و سناریوهای اقلیمی، از این داده‌ها به‌عنوان متغیر کمکی برای بازسازی خلأهای آماری و پیش‌بینی اقلیم استفاده شود. همچون نتایج تحقیقات، عبداللهی (۲۰۰۵)، که یک مدل و الگوریتم جدید برای بازسازی داده‌های گمشده هیدرولوژی پیشنهاد داد. همچنین، برخی محققان نظیر کرگاه (۱۹۹۵) درباره بازسازی دما صرفاً یک روش رگرسیون بر پایه داده‌های رقومی را پیشنهاد کرده‌اند. عده‌ای دیگر نظیر زیا و همکاران (۱۹۹۹) روش تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه برای بازسازی داده‌های مفقود اقلیمی را پیشنهاد کرده‌اند. یو و همکاران (۲۰۰۴) نتیجه گرفته‌اند که استفاده از روش رگرسیون، مناسب‌ترین روش در مناطق کوهستانی است.

سناریوی SR-A2 استفاده شد. مزیت متداول داده‌های اقلیمی این است که علاوه بر ایده بهره‌گیری از همبستگی برای پرکردن خلأ داده‌های اقلیمی، همچنین امکان تعمیم به آینده نیز وجود دارد. در اینجا برای نمونه، با استفاده از این سناریو و داده‌های اقلیمی موجود این سناریو و داده‌های مشاهده‌ای ۲۰ساله موجود، پارامتر دما در سال‌های آینده پیش‌بینی شد. برای پارامتر بارش هم با توجه به همبستگی پایین داده‌های اقلیمی و مشاهده‌ای، با استفاده از بهترین رابطه حاصل از برقراری رابطه بین داده‌های دما و بارش با استفاده از برآزش منحنی، برای پیش‌بینی و بازسازی پارامتر بارش در سال‌های آتی اقدام شد. با توجه به نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای بارش و دما، می‌توان روند رو به افزایش دما و روند کاهشی بارش در دوره آبی تا سال ۲۰۵۰ را مشاهده کرد. در خصوص پارامتر دما حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و در خصوص پارامتر بارش حدود ۱۳۷ میلی‌متر کاهش را در دوره آبی تا سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره ۲۰ساله مشاهده‌ای موجود (۱۹۹۵-۲۰۱۶) مورد انتظار است. نکته کاربردی آنکه روش مذکور جعبه سیاه بوده و لازم است قبل از استفاده، ارتباط بین عوامل و داده‌های اقلیمی

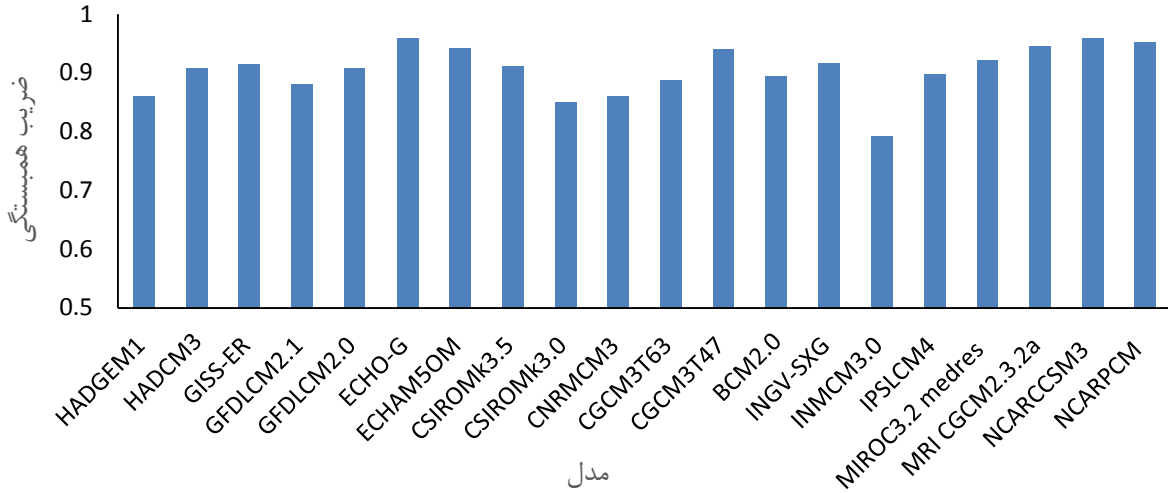
## منابع

1. Abdollahi, Kh., 2005. "Provide a new model and algorithm for the reconstruction of lost hydrologic data", Third National Conference on Erosion and Sediment, Tehran, Soil Conservation and Water Conservation Research Center of Iran.
2. Ashraf, M., Loftis, J. C., Hubbard, K. G., 1997. Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks. *Agricultural and forest meteorology* 84(3-4), 255-271.
3. Ahmadi, M., Lashkari, H., Keikhisravi, Gh., Azadi, M., 2015. Comparison of performance of LARS and REGCM4 models in simulation and post-processing of annual data of the temperature and precipitation of Khorasan. *Geographical Information Geographic Quarterly*. Volume 25, Issue 98.
4. Carrega, P., 1995. A method for the reconstruction of mountain air temperatures with automatic cartographic applications. *Theoretical and applied climatology* 52(1-2), 69-84.
5. Change, I. C., 1996. The science of climate change. Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
6. Chang, Y., Ayyub, B., 2001. Fuzzy regression methods-a comparative assessment. *Fuzzy Sets and Systems* 119, 187-203.
7. Di Piazza, A., Conti, F. L., Noto, L. V., Viola, F., La Loggia, G., 2011. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13(3), 396-408.
8. Ghajarniya, N., Liyaghat, A., Daneshkar, A.P., 2014. Verification of rainfall data of unstable stations of Meteorological and Tectonic Organization in the watershed of Lake Urmia, *Journal of Water and Soil Conservation. Journal of Soil and Water Resources Conservation* 4(1), 91-109.
9. Hammer, G. L., Nicholls, N., 1996. Managing for climate variability—the role of seasonal

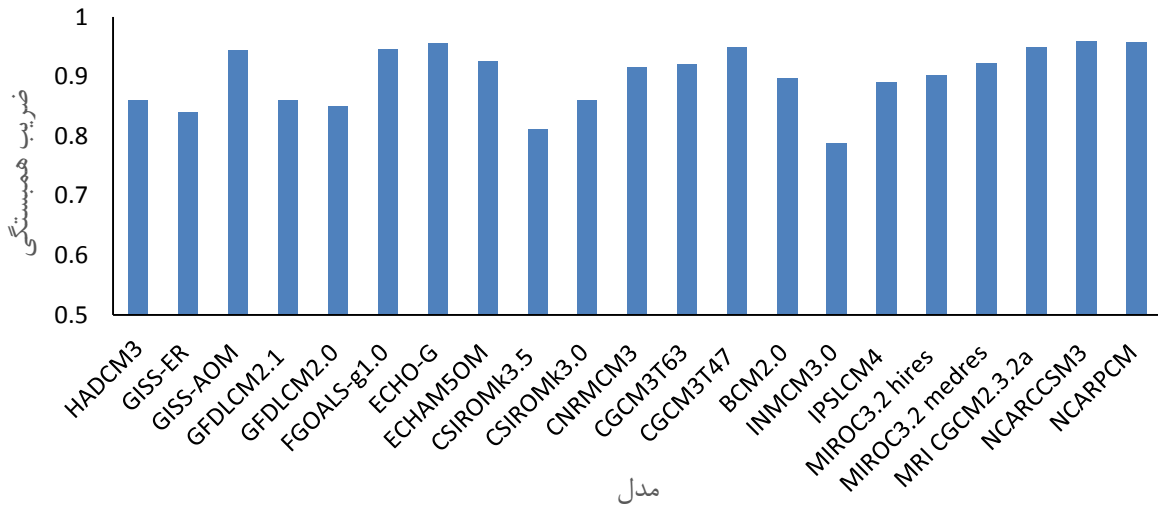
- climate forecasting in improving agricultural systems. In Proceedings of the 2nd Australian Conference on Agricultural Meteorology'. Brisbane pp. 19-27.
10. Harmsen, E. W., Miller, N. L., Schlegel, N. J., Gonzalez, J. E. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agricultural water management* 96(7), 1085-1095.
  11. IPCC, 1996. Climate change 1995, the science of climate change, Summary for Policymakers, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 86-91.
  12. Khalil, M., Panu, U. S., & Lennox, W. C., 2001. Groups and neural networks based streamflow data infilling procedures. *Journal of Hydrology* 241(3), 153-176.
  13. Lookzadeh, S., 2004. Evaluation of some methods for reconstruction of rainfall data in Alborz region, MSc, thesis, Tehran University, P. 96.
  14. Mileva-Boshkoska, B., Stankovski, M., 2007. Prediction of missing data for ozone concentrations using support vector machines and radial basis neural networks. *Informatica* 31(4).
  15. Mwale, F. D., Adeloye, A. J., Rustum, R. 2012. Infilling of missing rainfall and streamflow data in the Shire River basin. Malawi-A self organizing map approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 50, 34-43.
  16. Macculloch, J.A.W., Booth, M., 1970. Estimation of basin precipitation by regression equation. *Water Resources Research* 16(6) 1753-1758.
  17. Naghdi, R., Shayannejad, M., Sadatikehad, S.J., 2010. Comparison of Different Methods for Estimating Lost Data of the Monthly Discharge of Karun Big Watershed. Management Research Report of Watershed 1, 59-73.
  18. Rahimi, J., Khalil, A., Bazrafshan, J., 2017. Evaluation of different methods and the proposed new method of regeneration of statistical vacuum data of minimum daily temperature in elevators of Iran 48(2), 231-239.
  19. Sadatinejad, S.J., Naghdi, R., Shayannejad, M., 2010. Application of Fuzzy Linear Regression Method to Estimate Fractal Data of Annual Discharge of Hydrometer Station and Comparison with Other Common Methods. *Journal of Soil and Water Protection Research*. Volume 17, Issue 4.
  20. Samadi, S., 2006. The project provides seasonal forecasts with the GCM scale change method. Clinical Research Center.
  21. Teegavarapu, R. S., Chandramouli, V., 2005. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. *Journal of Hydrology* 312(1), 191-206.
  22. Technical Report Proposed Prohibition of Chivalrous Range, 2015. Water Resources Research Center. Chaharmahal & Bakhtiari Regional Water Company, pp. 11-12.
  23. Wagner, P. D., Fiener, P., Wilken, F., Kumar, S., Schneider, K., 2012. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. *Journal of Hydrology* 464, 388-400.
  24. Xia, Y., Fabian, P., Stohl, A., Winterhalter, M. 1999. Forest climatology: estimation of missing values for Bavaria, Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 96(1), 131-144.
  25. You, J., Hubbard, K. G., Goddard, S., 2004. Comparison of estimates from spatial regression and inverse distance method. *J. Atmos. Oceanic Tech.*
  26. Yozgatligil, C., Aslan, S., Iyigun, C., Batmaz, I. 2013. Comparison of missing value imputation methods in time series: the case of Turkish meteorological data. *Theoretical and applied climatology* 112(1-2), 143-167.

پیوست

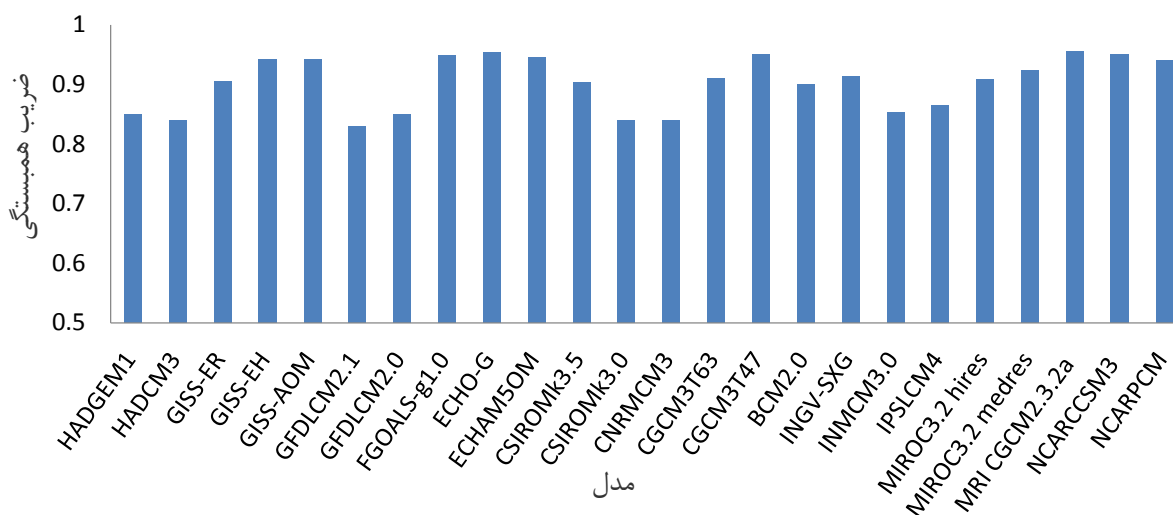
الف. گراف‌ها



شکل (پ. ۵): همبستگی مابین داده‌های اقلیم و مشاهده‌ای در سناریوی SR-A2  
 Shape (P. 5): Correlations between climatic model output and observed data in the SR-A2 scenario



شکل (پ. ۶): همبستگی مابین داده‌های اقلیم و مشاهده‌ای در سناریوی SR-B1  
 Shape (P. 6): Correlations between climatic model output and observed in the SR-B1 scenario



شکل (پ. ۷): همبستگی مابین داده‌های اقلیم و مشاهده‌ای در سناریوی SR-A1B

Shape (P. 7): Correlation between climatic model output and observed data in the SR-A1B scenario

## Use of global climate model outputs to fill missing temperature and precipitation missing data (Case study: Khanmizza Basin Watersheds)

Sara, Mardanian<sup>1</sup>, Abdollahi Khodayar<sup>2</sup>, Rafat Zare Bidaki<sup>3</sup>, Abozar Salehi<sup>4</sup>

Received: 24/12/2017

Accepted: 22/05/2018

### Extended abstract

**Introduction:** Due to importance of data quality, issues relating to filling the missing data has found a great deal of interest. Regeneration methods for missing data can be classified into two kinds of classical and modern categories. Application of statistical methods such as relationship with nearby stations and approaches on the base of hydrological, climatological or physiographical similarity are among the common techniques for gap filling. For such cases, correlation with elevation is one of the common techniques. The modern methods make use of approaches such as data mining, ANN, fuzzy arithmetic and so on to improve the completeness of data. Typically, the output of climate models is used for future predictions/assessment. After development of climate model like general circulation model (GCM) several researchers have reported a good correlation between global atmosphere or ocean and local station data. This correlation has a potential usage for estimation of missing data at local scale.

**Materials and methods:** Two types of data, including meteorological data and climatic data outputs, were used in this study. Reconstruction of two key variables at monthly scale, temperature and precipitation, were investigated over a period of 20 years (1995-2016). Climate data for these two climatic parameters downloaded from Canadian website site (GCM / RCM), were used as an auxiliary variable for data reconstruction. The least squares error method was applied to determine the scenario with the most realistic site-based conditions. The coefficient of determination was used as a measure to assess how well scenarios was able predicts observed data. For this purpose, four scenarios that generally showed either a high linear or non-linear correlation were selected. Then, by means of cross validation and the evaluating relationship between these two series of data and observation were tested. The outcome at this stage was 4 out of climate scenarios which show a high correlation with local station. Cross validation was employed the final scenario. Here the correlation between climate data and station data was

1. Graduate Student Department of Rangeland and Watershed Engineering, Shahrekord University, Kabdolla2010@gmail.com

2. Assistant Professor Shahrekord University, Kabdolla2010@gmail.com

3. Assistant Professor Shahrekord University

4. Graduated Master of Water Resources Engineering

utilized as an auxiliary variable for reconstruction of missing values. The outputs of new method were compared with elevation-based method.

**Results:** The established relationship between observations and climatic data (climate model output) by the least squares error method showed a high correlation for the selected models, thus ECHO-G and NCARCCSM3 models were selected for rainfall and temperature respectively. The performance of these predictive models was tested by evaluating them after assuming each row data as missing data. The observational data was re-organized into monthly, seasonal and annual time interval. The obtained coefficients were successfully verified against observed data by eliminating the data for each month and establishing a new relationship. Four scenarios including ECHO-G (SR-A1B), ECHO-G (SR-A2), NCARCCSM3 (SR-A2) and NCARCCSM3 (SR-B1), showed a high correlation between climatic and calculated data. Although the correlation coefficient between rainfall and the climatic model output was low but a good correlation between the combination factor of rainfall and temperature with observed data was found in the study area ( $r=0.98$ ). The established relationships for local station even can be used for future (up to 2050) predictions. A comparison of the developed method with the elevation-based method showed a better performance at monthly scale.

**Discussion and conclusion:** Awareness of climatic conditions is a helpful strategy to reduce the damage caused by natural disasters. This most often requires an extensive and continuous data sets. Traditionally, correlation with elevation was used as an auxiliary variable to fill the gaps in rainfall and temperature data. Previous studies have reported a strong correlation between the local data of stations and climatic data. This study was conducted to investigate the possibility of using downloaded data from Canadian climate site (GCM / RCM for filling temperature and precipitation meteorological data. The results of the new method were more consistent with observed data. Cross validation indicates the applicability of using climate model as an auxiliary variable for regenerating missing rainfall and temperature data or predicting these variables in the area of interest. In addition to fill the missing data, the common advantage the use of climate model output is that, it could be used as future predictor. On the other hand, the comparison of the above mentioned method with the elevation-based method with observational data indicated that the new approach provide a solution especially for the case that there exist no or limited number of neighboring stations.

**Keywords:** Global climate model, Climate change, Khanmyrza Basin, Least square error and Canadian climate.