

## چشم انداز دمای کمینه و بیشینه استان اصفهان در افق ۲۰۱۷-۲۰۵۰

اصغر کامیار<sup>۱</sup>، دکتر سعید موحدی<sup>۲\*</sup>، دکتر حجت الله یزدان‌پناه<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان
۲. دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.
۳. دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان.

### چکیده

بکارگیری داده‌های حاصل از دیده‌بانی مستقیم طی دو قرن اخیر به شناسایی دگرگونی‌های کلی و پیش‌بینی آب و هوای آینده کمک شایان توجهی نموده است. در سالیان اخیر با توجه به پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کره زمین بکارگیری داده‌های شبکه‌بندی شده بین پژوهشگران افزایش یافته است. در این پژوهش از داده‌های دما (کمینه و بیشینه) و بارش ۱۲ ایستگاه هم‌دید استان اصفهان و ۲ ایستگاه از استان‌های مجاور در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۰ به عنوان داده مشاهداتی برای ارزیابی خروجی‌های ریزمقیاس نمایی شده سه مدل گردش عمومی (GCM) در پروژه CORDEX در محدوده جنوب آسیا با قدرت تفکیک ۵۰ کیلومتر (WAS-0.44) پرداخته شد. روش‌های آماری ضریب همبستگی پیرسن، میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تعیین (R2) برای ارزیابی دقت خروجی‌های این سه GCM بکار گرفته شد. همچنین روند داده‌ها گذشته و آینده با آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن بدست آمد. با توجه به اینکه برای تحلیل روند نیاز به طول دوره آماری بلند مدت است سه ایستگاه با طولانی‌ترین دوره آماری مشترک (۲۰۱۵-۱۹۸۶) به عنوان ایستگاه نمونه اقلیمی انتخاب و خروجی‌های آینده مدلی که کمتر خطا را در مقایسه با داده‌های ایستگاهی داشت از پایگاه ESGF برای سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 دریافت و تغییرات دما کمینه و بیشینه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل MPI-ESM-LR نسبت به دو مدل دیگری خطای کمتری در برآورد بارش دارد ولی مقدار این خطا نیز قابل قبول نمی‌باشد. همچنین این مدل و مدل IPSL-CM5A-MR بترتیب بهترین برآورد را از دمای بیشینه و کمینه در استان اصفهان داشتند. بررسی روند داده‌ها نشان داد که دمای کمینه و بیشینه در فصول زمستان و بهار طی چند دهه گذشته روندی افزایشی داشته‌اند. همچنین روند این متغیرها طی چند دهه آینده برای هر دو سناریوی انتشار با سطح اطمینانی متفاوت افزایشی پیش‌بینی شده است. در ایستگاه شرق اصفهان و خوروبابانک دمای بیشینه طی فصل زمستان با شدت بیشتری نسبت به داران تغییر می‌کند و این در حالی است که دمای کمینه در ایستگاه داران افزایش بیشتری را طی این فصل نسبت به دو ایستگاه دیگر نشان می‌دهد.

**کلید واژگان:** تغییرات آب و هوایی، روند، دمای کمینه و بیشینه، CORDEX، استان اصفهان.

## مقدمه

خشک‌تر شدن تابستان‌ها با افزایش دما و کاهش بارش‌ها بوده است (Jenkins, 2009).

نتایج بررسی تغییرات دما و بارش بر اساس داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در جنوب تایوان (Yang et al, 2004)، شمال شرق آمریکا (Easterling, 2000)، تانزانیا (Rowhani, 2011)، پورتوریکو (Harmsen, 2009) و آلاسکا (Sharratt, 1992) حاکی از روند افزایش دما طی دهه‌های آینده می‌باشد. بارش سالانه و فصلی در جایی مانند چین در ۵۰ سال آینده افزایش خواهد یافت (Da-Bang et al, 2004). لو و کوین (Lu and Qin, 2014) در سنگاپور نشان دادند که تا پایان این قرن میزان بارش سالانه بیش از ۵ درصد کاهش می‌یابد و این در حالی است که بارش فصل مرطوب و حداکثر بارش ۲۴ ساعته افزایش خواهد یافت. تحلیل میانگین دما در نیم‌کره شمالی روندی افزایشی را برای این متغیر طی قرن گذشته نشان داده است. با توجه به تغییرهای آب و هوایی آینده، نتایج پژوهش رولند و همکاران (Ruelland et al, 2012) روند کاهش بارندگی را به روشنی در غرب آفریقا نشان می‌دهد که این کاهش بارش با افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل، بطور قابل توجهی رواناب حوضه‌ها را به ویژه در طولانی مدت در مقایسه با دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۰) کاهش (۶۵-۶۰ درصد) می‌دهد. تحلیل روند دما و بارش با آزمون من-کندال در حوضه دریاچه وینیپگ<sup>۱</sup> کانادا بر روی داده‌های مشاهداتی (۲۰۰۳-۱۹۶۱) نشان داد که روند افزایشی قوی بین میانگین دمای سالانه وجود دارد این در حالی است که در ارتباط با بارش روند قابل اطمینانی مشاهده نگردید. همچنین پیش‌بینی آب و هوای آینده با استفاده از سه مدل منطقه‌ای نشان داد که در دهه ۲۰۵۰ مجموع بارش سالانه ۷/۷-۵/۵ درصد و درجه حرارت ۸/۲-۱/۲ درجه سلسیوس در مقایسه با دهه ۱۹۸۰ افزایش خواهد یافت (Dibike et al, 2012). همچنین در ایران پژوهش‌هایی افزایش دما را طی دهه‌های آینده در مناطق مختلف کشور همچون استان هرمزگان (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰)، شهرستان گرگان (شاهکوهی و روشن، ۱۳۹۲)، استان آذربایجان غربی (دانش-فراز و رزاق‌پور، ۱۳۹۳) و استان خراسان رضوی (اشرف و همکاران، ۱۳۹۱؛ بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱) گزارش داده‌اند. در

تغییرات جهانی آب و هوا تا حد زیادی با فعالیت‌های انسانی در ارتباط است و تأثیر قابل توجهی بر شرایط آب و هوای محلی و منطقه‌ای دارد (IPCC, 2007). بنابراین تغییر آب و هوا همچنان به صورت یک نگرانی مهم در قرن حاضر محسوب شده و دمای جو شاخص تغییر هم در مقیاس جهانی و هم در مقیاس منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود. افزایش درجه حرارت می‌توان اثری معکوس بر آب قابل دسترس داشته باشد و با توجه به اینکه کشاورزی بزرگترین بخش مصرف کننده آب در بسیاری از کشورها از جمله ایران است، نقش مدیریت منابع آب و کشاورزی پایدار پرنگ می‌باشد (Mo et al, 2013). بر این اساس باید در برنامه‌ریزی‌های کلان کشاورزی کشور به این موضوع توجه خاصی مبذول گردد. پیش‌آگاهی و پایش طولانی مدت شرایط آب و هوایی در هر منطقه می‌تواند راه حلی مفید جهت مقابله با مخاطرات ناگوار ناشی از آن نظیر سیلاب، خشکسالی و دیگر پدیده‌های فرین جوئی باشد (احترامیان، ۱۳۸۳). گرمایش جهانی با دگرگونی در الگوهای آب و هوایی، افزایش در فراوانی و وسعت رخدادهای فرین را به همراه داشته است (Lobell, 2012; Sillmann and Semenov and Shewry, 2011; Roecknr, 2008). اگر چه شناخت زیادی نسبت به پیامدهای تغییر آب و هوا وجود ندارد اما این تغییرها ممکن است بر بخش‌های اقتصادی و اجتماعی که برای رفاه بشر مهم‌اند همچون تولیدات کشاورزی، آب قابل دسترس و سلامت اجتماعی تأثیرگذار باشند (Rosenzweig, 1994; Tubiello et al, 2007; Tubiello and Ewert, 2002). افزایش دما پاسخی به تغییر آب و هوا بوده و مهمترین عاملی است که اولین و سریعترین تأثیر را بر رشد مجموع زیست توده و بازده محصولات به همراه دارد (Sommer et al, 2013). هر تغییر در آب و هوا مانند افزایش دمای تابستان یا تغییر در شرایط بارش بر محصول و نیاز آبی گیاه تأثیر شگرفی بر جایی خواهد گذاشت (Mearns et al, 2000). بطوری که آخرین نشانه‌های تغییر آب و هوا در انگلستان حاکی از

2009). در پروژه CORDEX مراکز مدلسازی آب و هوایی در سراسر جهان برای اجرای شبیه‌سازی مدل‌های منطقه‌ای آب و هوا در محدوده‌های مشخص دعوت شدند. برای ارزیابی صحت خروجی‌های CORDEX در محدوده‌های مختلف پژوهش‌های زیاد در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است. برای نمونه راجو و همکاران (Raju et al, 2014) کارایی طرحواره‌های همرفتی در شبیه‌سازی ویژگی‌های موسمی تابستانه در محدوده CORDEX-WAS<sup>۳</sup> را با مدل منطقه‌ای RegCM4.3 بررسی کردند. دوسیو و همکاران (Dosio et al, 2015) برای ارزیابی بارش روزانه حاصل از ریزمقیاس‌نمایی مدل گردش عمومی CCLM در پروژه CORDEX-Africa از داده‌های UDEL, CRU, GPCP و TRMM بعنوان داده‌های مشاهده‌ای پایه استفاده کردند. آنها با تحلیل انحراف معیار و تابع توزیع احتمال (PDF) به این نتیجه رسیدند که خروجی‌های CCLM به داده‌های مشاهده‌ای بسیار نزدیک است. کاسانووا و همکاران (Casanueva et al, 2017) در دو منطقه اسپانیا و آلپ به ارزیابی خروجی‌های بارش روزانه در EORU-CORDEX که در اسپانیا از داده‌های درون‌یابی شده حاصل از ۲۷۰۰ ایستگاه و در منطقه آلپ از داده‌های APGD (Isotta et al, 2013) بعنوان داده‌های مشاهده‌ای پایه در محاسبه شاخص‌های فرین آب و هوایی استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تفاوت بین داده‌های مشاهده‌ای و مدلسازی شده به شدت به نوع RCM، فصل و نوع شاخص آب و هوایی وابسته است. اهداف این پژوهش ابتدا ارزیابی دقت خروجی‌های CORDEX-WAS با قدرت تفکیک ۵۰ کیلومتر در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای در محدوده استان اصفهان و سپس تحلیل روند بارش، دمای کمینه و بیشینه طی دوره گذشته و آینده با استفاده از خروجی مدل‌های با کمترین خطا برای سناریوهای انتشار ارائه شده در پروژه CMIP5 می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه استان اصفهان واقع در عرض جغرافیایی ۴۲° ۳۰' تا ۳۴° ۲۷' شمالی و طول جغرافیایی ۴۹° ۳۸' تا

عین حال برخی از پژوهش‌ها حاکی از آن هستند که افزایش یا کاهش در روند بارش‌های ایران معنی‌دار نیست (محمدی، ۱۳۹۰: ۹۵؛ حجام و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۵۷؛ منتظری و غیور، ۱۳۸۸: ۷۱). با این وجود فیروزی (۱۳۹۱) در استان فارس که به بررسی روند بارش‌های این استان پرداخته به این نتیجه رسید که در ایستگاه لامرد در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند بارش فصل پاییز کاهشی و در بهار و تابستان افزایشی است و در ایستگاه آباده روند کاهشی طی فصل زمستان و در ایستگاه‌های شیراز و فسا عدم وجود روند بیان گردید. نتایج حاصل از پژوهش‌های هاشمی‌نسب و همکاران (۱۳۹۱)؛ اشرف و همکاران (۱۳۹۱)؛ آبابایی و همکاران (۱۳۸۹) و دانش‌فراز و رزاق‌پور (۱۳۹۳) به ترتیب در استان کرمان، خراسان رضوی، روددشت اصفهان و آذربایجان غربی روند افزایشی دما را در این مناطق در دهه‌های آینده پیش‌بینی کرده‌اند.

یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای بررسی آب و هوای آینده، به کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو<sup>۱</sup> (GCMs) است. یکی از مشکلات این مدل‌ها قدرت تفکیک مکانی پایین آنها است که برای غلبه بر این ضعف باید خروجی‌های این مدل‌ها را ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی یا آماری نمود (عباسی و همکاران، ۱۳۸۸). بطور کلی ریزمقیاس‌نمایی فرایند بسط پیش‌بینی آب و هوایی از قدرت تفکیک درشت به قدرت تفکیک ریزتر می‌باشد (Browon et al, 2008). روشن است که توان پیش‌بینی GCMs (برای دما و بارش) بسته به مقیاس زمانی و مکانی مورد نظر کاهش می‌یابد. اساساً در هر منطقه الگوی پاسخ آب و هوا به الگوهای گردش جوی و توزیع بارش و دما آن وابسته است (Islam et al, 2007). در چند سال اخیر با استفاده از مدل‌های آب و هوای منطقه‌ای مختلف و به منظور تولید مجموعه چند عضوی داده‌های ریزمقیاس‌نمایی شده در پروژه CMIP5 توسط WCRP<sup>۲</sup> در اقدامی هماهنگ با انجمن بین‌المللی ریزمقیاس‌نمایی منطقه‌ای که CORDEX<sup>۳</sup> نامیده شد با هدف تولید پیش‌بینی تغییرات منطقه‌ای آب و هوا بعنوان ورودی در مطالعات اثر تغییر آب و هوا و راه‌های سازگاری با آن ایجاد گردید (Giorgi et al, 2009).

3. COordinated Regional climate Downscaling EXperiment  
4. South Asia

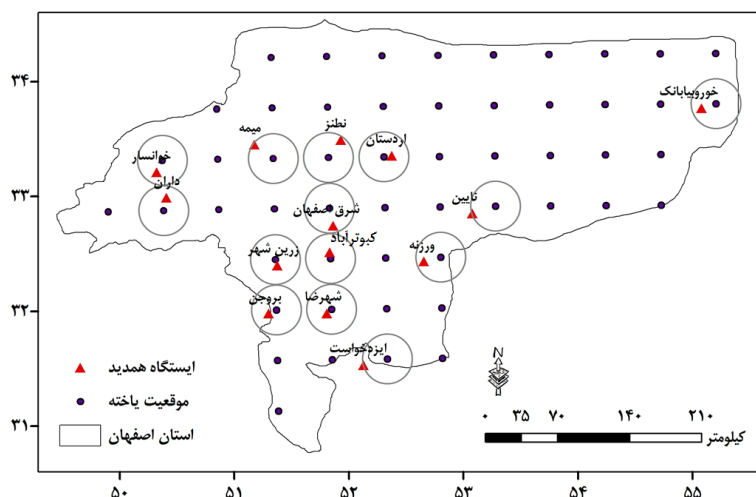
1. General Circulation Models (GCM)  
2. World Climate Research Program

صحت خروجی‌ها با یکدیگر مقایسه شدند (شکل ۱). این مقایسه با روش‌های آماری میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی پیرسن، میانگین خطای مطلق<sup>۲</sup> (MAE) و ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) انجام گرفت. در ادامه روند داده‌های گذشته در سه ایستگاه شرق اصفهان، خورویابانک و داران با طولانی‌ترین دوره آماری مشترک (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و بعنوان ایستگاه‌های منتخب اقلیمی استان و روند داده‌های آینده برای دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۵۰ برای خروجی مدلی که کمترین خطا را با داده‌های مشاهداتی داشت با روش من-کندال و تخمین‌گر شیب سین بدست آمد. در نهایت میانگین بلندمدت روزانه دمای کمینه و بیشینه نیز در ایستگاه‌های منتخب اقلیمی استان تحلیل گردید.

۳۲' ۵۵° شرقی است (شکل ۱). برای انجام این پژوهش ابتدا داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش ایستگاه‌های همدید این استان و استان‌های همجوار در دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. سپس خروجی‌های CORDEX جنوب آسیا با قدرت تفکیک مکانی حدود ۵۰ کیلومتر (CORDEX-WAS-0.44°) برای سه مدل گردش عمومی MPI-ESM- JPSL-CM5A-MP و LR و GFDL-ESM2M که با دو مدل دینامیک منطقه‌ای به نام‌های RCA4 و MPI-CSC-REMO2009 برای دوره تاریخی و آینده اجرا شده است از پایگاه ESGF دریافت گردید (جدول ۱). این داده‌ها با داده‌های ایستگاه‌های همدید استان اصفهان و استان‌های همجوار در دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۰ که فاصله شعاعی کمتر از ۲۰ کیلومتر با یاخته‌ها داشتن با برنامه نویسی در نرم افزار متلب استخراج و جهت ارزیابی

جدول ۱- مشخصات RCMs ریزمقیاس نمایی شده به همراه RCMs. ارزیابی شده در این پژوهش.

| منبع   | نام مؤسسه اجرا کننده مدل  | RCMs             | GCMs         |
|--|---|------------------|--------------|
| http://www.smhi.se/en/Research/Research-departments/climate-research-rossby-centre | مؤسسه هواشناسی و آب شناسی سوئد، مرکز راسبی <sup>۳</sup>                               | RCA4             | IPSL-CM5A-MR |
|  |   |                  | GFDL-ESM2M   |
| http://www.remo-rcm.de   | هلمهولتز-زنتروم گیزتاخت، مرکز خدمات آب و هوایی، مؤسسه هواشناسی ماکس پلاک <sup>۴</sup> | MPI-CSC-REMO2009 | MPI-ESM-LR   |



شکل ۱- مرز سیاسی استان اصفهان، یاخته‌های CORDEX-WAS با قدرت تفکیک حدود ۵۰ کیلومتر و ایستگاه همدید با فاصله شعاعی کمتر از ۲۰ کیلومتر از یاخته‌های منطقه پژوهش.

4. Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center, Max Planck Institute for Meteorology

1. Root Mean Square Error  
2. Mean Absolute Error  
3. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Rossby Centre

مورد محدوده‌های ریزمقیاس نمایی، مؤسسه‌های هواشناسی مشارکت کننده در این پروژه و دیگر موارد به مقاله گورگی و همکاران (Giorgi et al, 2009) مراجعه شود. دو محدوده CORDEX به نام‌های جنوب آسیا (CORDEX-WAS) و شمال آفریقا- خاورمیانه (CORDEX-MENA) با قدرت تفکیک حدود ۵۰ و ۲۵ کیلومتر ایران را پوشش می‌دهند (شکل ۲). در این پژوهش از خروجی‌های ریزمقیاس نمایی شده در محدوده CORDEX-WAS با قدرت تفکیک ۵۰ کیلومتر بهره گرفته شد. علت انتخاب این محدوده از CORDEX ابتدا فاصله داشتن ایران از مناطق مرزی محدوده در این محدوده نسبت به محدوده CORDEX-MENA (احتمال خطای ریزمقیاس نمایی با فاصله از مناطق مرزی کاهش می‌یابد (Denis et al, 2003)) و بعد وجود خروجی برای GCM های مختلف جهت مقایسه و ارزیابی در این محدوده می‌باشد.



شکل ۲- محدوده CORDEX-WAS منطقه ششم در پروژه CORDEX (منبع: [www.cordex.org](http://www.cordex.org)).

شدند تا دقت مدل‌های منطقه‌ای (RCA4 و MPI-CSC- REMO2009) در ریزمقیاس نمایی فراسنج‌های آب و هوایی مشخص گردد.

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \frac{(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{s_x s_y} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$r^2 = \frac{\text{explained variation}}{\text{total variation}} = \frac{SSR}{SST} \quad 0 \leq r^2 \leq 1 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{N}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$MAE = \frac{1}{n} + \sum_{i=1}^n |S_i - O_i| \quad \text{رابطه (۴)}$$

## ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی در

### CORDEX پروژه

در چند سال اخیر با استفاده از مدل‌های آب و هوای منطقه‌ای مختلف و به منظور تولید مجموعه چند عضوی داده‌های ریزمقیاس نمایی شده در پروژه CMIP5 توسط WCRP<sup>۱</sup> در اقدامی هماهنگ با انجمن بین‌المللی ریزمقیاس نمایی منطقه-ای که CORDEX<sup>۲</sup> نامیده شد با هدف تولید پیش‌بینی تغییرات منطقه‌ای آب و هوا بعنوان ورودی در مطالعات اثر تغییر آب و هوا و راه‌های سازگاری با آن ایجاد گردید (Giorgi et al, 2009). اهداف پروژه CORDEX ریزمقیاس نمایی برای شناخت بهتر پدیده‌های محلی و منطقه‌ای آب و هوا، ارزیابی و بهبود مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس نمایی، ارتباط و شناخت سریع کاربر برای تبادل اطلاعات منطقه‌ای و تولید هماهنگ ریزمقیاس نمایی منطقه‌ای آب و هوا در سراسر جهان می‌باشد. برای اطلاع بیشتر در

### ارزیابی خروجی‌های CORDEX-WAS

در این پژوهش از ضریب همبستگی پیرسن (r)، رابطه ۱، ضریب تعیین (R<sup>2</sup>)، رابطه ۲، میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE)، رابطه ۳ و میانگین خطای مطلق (MAE)، رابطه ۴، خروجی‌های ریزمقیاس نمایی شده بارش، دمای کمینه و بیشینه برای سه مدل‌های گردش عمومی IPSL-CM5A-MR، MPI-ESM-LP و GFDL-ESM2M با داده‌های ایستگاه‌های همدید استان اصفهان و استان‌های همجوار با فاصله شعاعی کمتر از ۲۰ کیلومتر به نزدیکترین یاخته مقایسه

2. COordinated Regional climate Downscaling EXperiment

1. World Climate Research Program

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m (t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{رابطه (۷) for } n > 10$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{رابطه (۸) for } n < 10$$

در این رابطه‌ها (۷ و ۸)،  $n$  و  $m$  معرف تعداد دنباله‌های با حداقل یک داده تکراری و  $t$  نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله است. در نهایت نیز آماره  $Z$  به کمک رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$z = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{for } S > 0$$

$$z = 0 \quad \text{for } S = 0 \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$z = \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{for } S < 0$$

با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد (رابطه ۱۰).

$$|Z| < Z_{\alpha/2} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

در این رابطه (رابطه ۱۰)،  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z_{\alpha}$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری  $\alpha$  می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون،  $\alpha/2$  استفاده شده است. در این پژوهش این آزمون در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ۹۹ درصد و ۹۹/۹ درصد به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (Mann, 1945; Kendall, 1975).

همچنین روش تخمین گر سین<sup>۱</sup> (Sen, 1968) در تحلیل روند سری‌های زمانی که در آنها فراوانی تکرار داده‌ها زیاد است، نتایج قابل قبول‌تری نسبت به روش من-کندال دارد (سبزی-پرو و همکاران، ۱۳۹۰). در این روش شیب میانه برای سری زمانی از رابطه ۹ محاسبه شده و در سطوح اطمینان مختلف معناداری شیب بدست می‌آید (رابطه ۱۱).

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

و  $t$  داده‌های مشاهداتی در زمان‌های  $X_t$  و  $X_s$  در رابطه ۱۱، می‌باشد. با  $s$  یک واحد زمانی بعد از زمان  $t$  هستند و  $s$  بکارگیری این رابطه برای هر دو جفت داده مشاهداتی یک سری زمانی از شیب‌ها بدست می‌آید. در نهایت از محاسبه  $Q_{med}$  میانه این سری‌های زمانی شیب روند خط حاصل می‌گردد.

در رابطه ۱،  $x_i$ ،  $y_i$  پارامترهای مشاهداتی،  $X$  و  $Y$  میانگین پارامترها و  $S_x$  و  $S_y$  واریانس داده‌ها است. در رابطه ۲،  $N$  تعداد کل داده‌ها،  $O_i$  داده‌های مشاهداتی در زمان  $i$  و  $S_i$  داده‌های ریزمقیاس‌نمایی شده در زمان  $i$  هستند. در رابطه‌های ۳ و ۴،  $O_i$  داده مشاهداتی و  $S_i$  داده شبیه‌سازی شده است که هر چه مقدار  $RMSE$  و  $MAE$  به صفر نزدیکتر باشند، بیانگر اختلاف کم بین داده‌های مشاهداتی و ریزمقیاس‌نمایی شده و دقت بالای خروجی‌ها می‌باشد.

### تحلیل روند داده‌ها

روند داده‌ها از محاسبه آزمون‌های من-کندال و تخمین‌گر شیب سین برای سری‌های زمانی فراسنج‌های آب و هوایی به صورت فصلی و سالانه در سطح اطمینان ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد بدست آمد. آزمون من-کندال برای نخستین بار توسط مان (Mann, 1945) ارائه و سپس توسط کندال (Kendall, 1975) تکمیل گردید از نقاط قوت این روش می‌توان به کاربرد مناسب آن جهت سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد. تأثیرپذیری ناچیز این روش از مقادیر فرین که در برخی سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای بکارگیری آن است (حجم و همکاران، ۱۳۸۷). این روش کاربرد گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های آب شناسی و هواشناسی دارد (Lettenmaier et al, 1994). در روش من-کندال نخست تفاضل بین هر یک از مشاهده‌ها با همه مشاهده‌ها بعد از آن، بدست آمده و فراسنج  $S$  طبق رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه ۵،  $n$  تعداد مشاهدات در سری زمانی ایستگاه،  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب مشاهدات  $j$ ام و  $k$ ام در سری زمانی هستند. تابع علامت  $\text{sgn}$  نیز از رابطه ۶ بدست می‌آید.  $\text{for } (x_j - x_k) > 0$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = +1 \quad x_k > 0$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = 0 \quad \text{for } (x_j - x_k) = 0 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = -1 \quad \text{for } (x_j - x_k) < 0$$

در مرحله بعد محاسبه وایزی  $S$  توسط یکی از روابط ۷ یا ۸ محاسبه می‌گردد.

1. Sen's Estimator

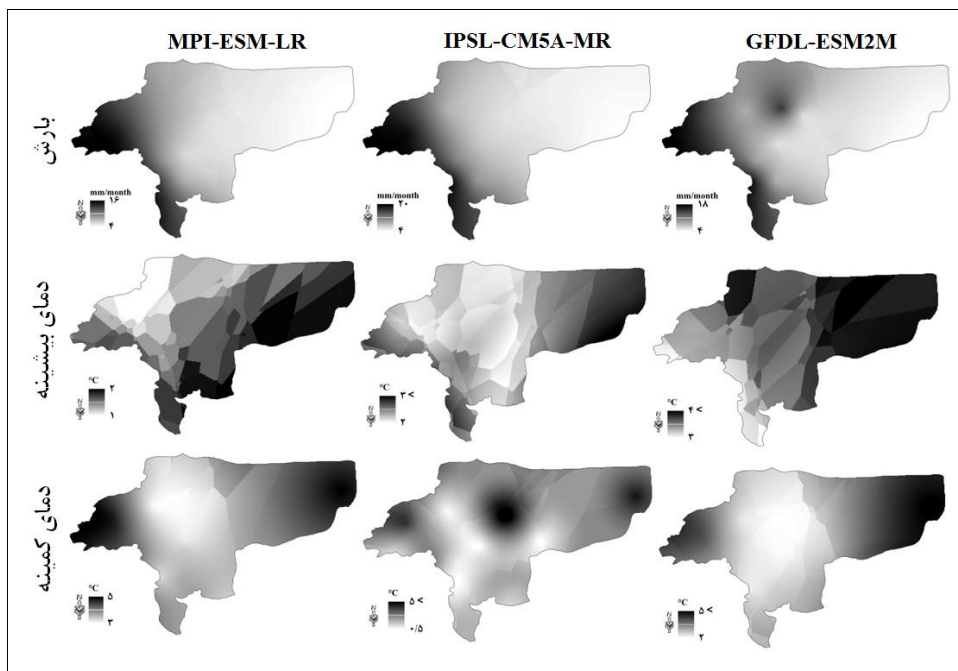
قابل اطمینانی از مقادیر بارش در منطقه پژوهش ندارند (شکل ۳). به همین سبب در مراحل بعدی پژوهش برای خروجی‌های غیردقیق بارش تحلیلی ارائه نمی‌گردد. برای دمای بیشینه مدل MPI-ESM-LR نسبت به دو مدل دیگر RMSE کمتری داشته و مقدار آن از غرب به شرق افزایش می‌یابد. مشاهده خروجی هر سه مدل بیانگر این نکته است که در برآورد دمای بیشینه، شرق و مرکز خطای بیشتری نسبت به دیگر مناطق دارند. مدل IPSL-CM5A-LR برآورد دمای کمینه خطای کمتری نسبت به دو مدل دیگر نشان می‌دهد و در برخی مناطق مقدار RMSE به ۰/۵ درجه سلسیوس در سال هم می‌رسد (شکل ۳). محاسبه MAE در ایستگاه‌های مختلف برای دمای بیشینه نشان داد که مدل MPI-ESM-LR نسبت به دو مدل دیگر خطای کمتری داشته و در اکثر ایستگاه‌ها مقدار این خطا کمتر از ۲ درجه سلسیوس است. برای دمای کمینه نیز مدل IPSL-CM5A-LR در ایستگاه‌های بروجن، شرق اصفهان، نائین و میمه خطای کمتری نسبت به دو مدل دیگر دارد (شکل ۴). در نهایت ضریب همبستگی و  $R^2$  نیز برای ایستگاه‌های منتخب اقلیمی طی دوره ارزیابی برای مدل‌هایی که کمترین خطا را با داده‌های ایستگاهی داشتند، محاسبه گردید. مقادیر ضریب همبستگی بین دما بیشینه ایستگاهی و مدل MPI-ESM-LR بیانگر این است که در ایستگاه‌های خورو بیابانک و شرق اصفهان، و برای دمای کمینه ایستگاهی و مدل IPSL-CM5A-LR در ایستگاه‌های داران و شرق اصفهان همبستگی متوسط و برای بارش نیز در هیچ یک از ایستگاه‌ها همبستگی قابل توجهی بین داده‌های ایستگاهی و مدل MPI-ESM-LR وجود نداشت (جدول ۲). با ارزیابی خطای سه GCM، از خروجی‌های دو مدل IPSL-CM5A-LR و MPI-ESM-LR بترتیب روند دمای کمینه و بیشینه سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آینده (۲۰۱۷-۲۰۵۰) محاسبه شد.

آزمون روند با این دو روش آماری در ایستگاه‌های منتخب اقلیمی استان اصفهان صورت گرفت. دلیل این امر این بود که تعداد ایستگاه‌های همدید با دوره آماری طولانی مدت و با شرط نزدیکی به یاخته‌های ریزمقیاس نمایی شده در سطح استان زیاد نبودند بدین سبب در هر منطقه ایستگاهی به عنوان ایستگاه منتخب اقلیمی انتخاب گردید. ایستگاه شرق اصفهان نماینده اقلیم مرکز، ایستگاه خورویبابانک نماینده اقلیم شمال و شرق و ایستگاه داران نماینده اقلیم غرب استان در نظر گرفته شد. در نهایت روند دمای بیشینه و کمینه این ایستگاه‌ها برای دوره‌های مشاهداتی (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و آینده (۲۰۵۰-۲۰۱۷) محاسبه گردید.

## نتایج و بحث

### صحت خروجی‌های CORDEX-WAS داده‌های مشاهداتی

ارزیابی دقت خروجی مدل‌های منطقه‌ای آب و هوا در محدوده CORDEX-WAS از مقایسه این خروجی‌ها و داده‌های ایستگاه‌های همدید استان اصفهان و استان‌های همجوار با فاصله شعاعی کمتر از ۲۰ کیلومتر صورت گرفت. برای این کار پراکنش مکانی MAE، RMSE، ضریب همبستگی پیرسن ( $r$ ) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) این داده‌ها با یکدیگر طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۰ صورت گرفت. محاسبه RMSE خروجی‌های بارش برای سه GCM نشان داد مدل MPI-ESM-LR نسبت به دو مدل دیگر برآورد مناسب‌تری از مقادیر بارش در منطقه پژوهش دارد. مقادیر RMSE در مناطق غربی به ۱۶ میلیمتر در ماه و در مناطق مرکزی و شرقی به ۴ میلیمتر در ماه کاهش می‌یابد. این مقدار RMSE با توجه به میزان بارش بلندمدت منطقه غیر قابل پذیرش بوده و می‌توان بیان کرد که هیچ یک از مدل‌ها برآورد



شکل ۳- پراکنش مکانی مقادیر RMSE در ایستگاه‌های همدید استان اصفهان در سه مدل گردش عمومی (MPI-ESM-LP و IPSL- CM5A-MR, GFDL-ESM2M) برای بارش، دمای بیشینه و کمینه.



شکل ۴- میانگین خطای مطلق (MAE) دمای بیشینه و کمینه در ایستگاه‌های همدید استان اصفهان برای سه مدل گردش عمومی جو (GFDL-ESM2M و IPSL-CM5A-MR, MPI-ESM-LP).



جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسن (r) و ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) در ایستگاه‌های منتخب اقلیمی طی دوره (۱۹۹۰-۲۰۰۵) بین داده‌های ایستگاهی و مقادیر نزدیکترین یاخته به ایستگاه همدید در مدل‌های با کمترین خطا: برای دمای بیشینه و بارش خروجی‌های مدل MPI-

ESM-LR و برای دمای کمینه خروجی‌های مدل IPSL-CM5A-LR

| نام ایستگاه   | دمای بیشینه    |       | دمای کمینه     |         | بارش           |        |
|---------------|----------------|-------|----------------|---------|----------------|--------|
|               | R <sup>2</sup> | r     | R <sup>2</sup> | r       | R <sup>2</sup> | r      |
| شرق اصفهان    | ۰/۵۱۳*         | ۰/۲۶  | ۰/۲۸           | ۰/۶۱۸*  | ۰/۰۶           | -۰/۱۲۱ |
| داران         | ۰/۳۷           | ۰/۱۴۲ | ۰/۴۶           | ۰/۶۷۲** | ۰/۰۲           | -۰/۲۴  |
| خور و بیابانک | ۰/۵۳۹*         | ۰/۲۹  | ۰/۱۸           | ۰/۴۸    | ۰/۰۴           | ۰/۱۹۷  |

\* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵؛ \*\* معنی‌داری در سطح ۰/۰۱.

در ایستگاه شرق اصفهان، دمای کمینه در فصل زمستان و بهار به ترتیب در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد و در دمای بیشینه طی فصل زمستان در سطح اطمینان ۹۵ درصد طی سه دهه اخیر روند افزایشی داشته است. بیشترین روند افزایش دمای کمینه را طی فصل بهار با شیب روند ۰/۰۴۷°C و برای دمای بیشینه طی فصل زمستان با شیب افزایشی ۰/۰۹°C پشت سر گذاشته‌ایم. برای مقادیر ماهانه بارش در این ایستگاه روند معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۲).

### تحلیل روند دما و بارش گذشته

پس از محاسبه آماره‌های دو آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سین برای سری زمانی فراسنج‌های آب و هوایی به صورت فصلی و سالانه در دوره‌ای ۳۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۵) در ایستگاه‌های منتخب اقلیمی (شرق اصفهان، داران و خور و بیابانک) معناداری این آماره‌ها در سطح اطمینان ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد بررسی گردید.

جدول ۲- آزمون من-کندال (Z) و تخمین‌گر سین (Qmed) در ایستگاه همدید اصفهان (۱۹۸۶-۲۰۱۵)

| متغیرها     | زمستان |       | بهار   |       | تابستان |        | پاییز |        | سالانه |       |
|-------------|--------|-------|--------|-------|---------|--------|-------|--------|--------|-------|
|             | Z      | Qmed  | Z      | Qmed  | Z       | Qmed   | Z     | Qmed   | Z      | Qmed  |
| دمای کمینه  | ۲/۳۳*  | ۰/۰۶۷ | ۳/۰۸** | ۰/۰۵۳ | ۰/۸۸    | ۰/۰۲۷  | ۱/۰۹  | ۰/۰۲۵  | ۲/۲۹*  | ۰/۰۴۶ |
| دمای بیشینه | ۲/۲۸*  | ۰/۰۹  | ۱/۷۸*  | ۰/۰۴۷ | ۱/۸۲*   | ۰/۰۲۷  | -۰/۲۱ | -۰/۰۰۴ | ۲/۲۱*  | ۰/۳۳  |
| بارش        | -۰/۹۹  | -۰/۶۴ | ۰/۴۳   | ۰/۱۸  | -۱/۰۶   | -۰/۰۲۱ | ۰/۴۳  | ۰/۱۹   | ۰/۰۳۶  | ۰/۰۰۶ |

(۱) (\*\*\*) در سطح ۰/۰۱، (\*\*) در سطح ۱٪، (\*) در سطح ۵٪ و (+) در سطح ۱۰٪ معنادار است.

(۲) Qmed شیب خط روند در روش تخمین‌گر شیب سین است، و واحد آن میلی‌متر بر روز یا درجه سلسیوس بر روز در هر سال است.

در این ایستگاه بیشترین روند افزایش دمای کمینه و بیشینه طی فصل زمستان بترتیب با شیب ۰/۱°C و ۰/۱۶°C در سال و برای بارش طی فصل پاییز با شیب افزایشی ۳/۵۳ میلی‌متر در سال رخ داده است (جدول ۳).

در ایستگاه داران طی فصل زمستان برای دمای کمینه و بیشینه بترتیب در سطح اطمینان ۹۰ و ۹۵ درصد و طی فصل‌های بهار و پاییز بترتیب برای دمای بیشینه و بارش در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی مشاهده گردید. طی فصل تابستان روند معنی‌داری در هیچ یک از متغیرها شاهد نیستیم.

جدول ۳- آزمون من-کندال (Z) و تخمین گر سن (Qmed) در ایستگاه همدید داران (۲۰۱۵-۱۹۸۶)

| متغیرها     | زمستان |                   | بهار  |      | تابستان |      | پاییز |       | سالانه |       |
|-------------|--------|-------------------|-------|------|---------|------|-------|-------|--------|-------|
|             | Z      | Qmed              | Z     | Qmed | Z       | Qmed | Z     | Qmed  | Z      | Qmed  |
| دمای کمینه  | ۰/۱    | ۱/۸۶ <sup>+</sup> | ۰/۰۳۹ | ۱/۴۶ | ۰/۰     | ۰/۰  | -۰/۶۷ | ۰/۰۶  | ۱/۴۶   | ۰/۰۶  |
| دمای بیشینه | ۰/۱۶   | ۲/۲۶*             | ۰/۰۸  | ۲*   | ۱/۱۶    | ۰/۰۳ | ۰/۱۷  | ۰/۰۵۲ | ۲*     | ۰/۰۵۲ |
| بارش        | -۱/۴۴  | -۰/۶۶             | ۰/۰۹  | ۰/۰۲ | ۰/۴۳    | ۰/۰  | ۲/۱۱* | ۰/۲۲  | ۰/۰۲۴  | ۰/۰۲۴ |

وجود داشته است. بیشترین روند افزایش نیز طی فصل زمستان برای دمای کمینه و بیشینه بترتیب با مقادیر  $0.1^{\circ}\text{C}$  و  $0.11^{\circ}\text{C}$  در سال و برای بارش بیشترین کاهش با شیب  $0.9$  میلیمتر در سال رخ داده است (جدول ۴).

در ایستگاه خورویابانک طی فصل زمستان در هر سه متغیر مورد بررسی شاهد روند با سطح اطمینان متفاوت هستیم. روند افزایشی در دمای کمینه با سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد و در دمای کمینه با سطح اطمینان ۹۵ درصد و برای بارش روند کاهشی ضعیف (سطح اطمینان ۹۰ درصد) طی این فصل

جدول ۴- آزمون من-کندال (Z) و تخمین گر سن (Qmed) در ایستگاه خورویابانک (۲۰۱۵-۱۹۸۶)

| متغیرها     | زمستان |                    | بهار   |        | تابستان |      | پاییز |       | سالانه             |       |
|-------------|--------|--------------------|--------|--------|---------|------|-------|-------|--------------------|-------|
|             | Z      | Qmed               | Z      | Qmed   | Z       | Qmed | Z     | Qmed  | Z                  | Qmed  |
| دمای کمینه  | ۰/۱    | ۴/۱۷***            | ۰/۰۹   | ۴/۶*** | ۴/۵۳*** | ۰/۰۸ | ۲/۴۶* | ۰/۰۵۱ | ۵/۲۱***            | ۰/۰۸  |
| دمای بیشینه | ۰/۱۱   | ۳/۲۸**             | ۰/۰۵   | ۲/۷۱** | ۱/۲۵    | ۰/۰۳ | -۰/۱  | ۰/۰   | ۳/۰۶**             | ۰/۰۴  |
| بارش        | ۰/۹    | -۱/۷۸ <sup>+</sup> | -۰/۰۱۴ | -۰/۱۶  | -۰/۰۱۸  | ۰/۰  | ۰/۸۲  | ۰/۲۱  | -۱/۷۸ <sup>+</sup> | -۱/۱۵ |

اطمینان ۹۹/۹ درصد و بترتیب با بیشینه شیب  $0.47^{\circ}\text{C}$  و  $0.77^{\circ}\text{C}$  بدست آمد. در ایستگاه خورویابانک خروجی های دمای کمینه و بیشینه با سطح اطمینان ۹۹ درصد و بترتیب با بیشینه شیب  $0.05^{\circ}\text{C}$  و  $0.44^{\circ}\text{C}$  در سال تحت این سناریو و مدل های منتخب به وقوع خواهد پیوست (جدول ۵).  
**سناریوی RCP8.5:** بر اساس سناریوی RCP8.5 در ایستگاه شرق اصفهان خروجی دمای کمینه با سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد و با شیب روند افزایشی  $0.7^{\circ}\text{C}$  در سال و برای خروجی دمای بیشینه طی فصل بهار با شیب روند  $0.66^{\circ}\text{C}$  در سال بیشترین روند فصلی را از خود برآورد می کند. در ایستگاه داران دمای کمینه فصل پاییز و دمای بیشینه فصل بهار با سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد و بترتیب با شیب روند  $0.71^{\circ}\text{C}$  و  $0.77^{\circ}\text{C}$  در سال در GCM های با کمترین خطا برآورد گردید. در ایستگاه خورویابانک خروجی های دمای کمینه و بیشینه طی فصل تابستان با سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد و بیشینه شیب روند افزایشی که مقادیر آنها بترتیب  $0.74^{\circ}\text{C}$  و  $0.63^{\circ}\text{C}$  در سال می باشد (جدول ۶).

**تحلیل روند فراسنج های آینده برای سناریوهای مختلف**  
 با توجه به ارزیابی سه مدل گردش عمومی جو که شرح آن در بخش ۳-۱ ذکر گردید داده های ریزمقیاس نمایی شده با مدل منطقه ای RCA4 برای مدل گردش عمومی IPSL-CM5A-MR برای دمای کمینه و داده های ریزمقیاس نمایی شده با مدل منطقه ای MPI-CSC-REMO2009 برای مدل گردش عمومی MPI-ESM-LR برای دمای بیشینه با دو سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 از سایت ESGF دریافت گردید و روند آنها به شرح زیر با روش من-کندال و تخمین گر شیب سن محاسبه گردید.

**سناریوی RCP4.5:** در ایستگاه شرق اصفهان خروجی دمای کمینه در مدل با کمترین خطا برای سناریوی RCP4.5 روند افزایشی با سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد را با بیشینه شیب  $0.48^{\circ}\text{C}$  در سال طی فصل بهار برآورد کرده است. برای خروجی دمای بیشینه در این ایستگاه بیشترین روند افزایشی با شیب  $0.66^{\circ}\text{C}$  در سال با سطح اطمینان ۹۵ درصد بدست آمد. در ایستگاه داران بیشترین روند افزایش دمای کمینه طی فصل تابستان و برای دمای بیشینه طی فصل پاییز با سطح

جدول ۵- آزمون من-کندال (Z) و تخمین گر شیب خط سن (Qmed) در ایستگاه‌های همدید شرق اصفهان، داران و خورویابانک طی

دوره ۲۰۱۷-۲۰۵۰ برای سناریوی انتشار RCP4.5

| نام ایستگاه   | متغیرها     | زمستان |       | بهار    |       | تابستان |       | پاییز   |       | سالانه  |       |
|---------------|-------------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|               |             | Z      | Qmed  | Z       | Qmed  | Z       | Qmed  | Z       | Qmed  | Z       | Qmed  |
| شرق           | دمای کمینه  | ۲/۲۱*  | ۰/۰۲۱ | ۳/۸۶*** | ۰/۰۴۸ | ۲/۶۴**  | ۰/۰۴۷ | ۲/۶۱**  | ۰/۰۲۹ | ۲/۶۱**  | ۰/۰۳۴ |
| اصفهان        | دمای بیشینه | ۲/۰۲*  | ۰/۰۴۳ | ۲/۵۸**  | ۰/۰۳۷ | ۲/۶۱**  | ۰/۰۳۹ | ۳/۰۷*** | ۰/۰۶۶ | ۳/۰۷*** | ۰/۰۴۴ |
| داران         | دمای کمینه  | ۲/۵۵** | ۰/۰۰۵ | ۳/۴۹*** | ۰/۰۴۵ | ۰/۳۵*** | ۰/۰۴۷ | ۲/۵۳*   | ۰/۰۳۱ | ۲/۵۳*   | ۰/۰۴۲ |
|               | دمای بیشینه | ۲/۹۸** | ۰/۰۰۹ | ۲/۶۴**  | ۰/۰۴۳ | ۳/۳۲*** | ۰/۰۴۳ | ۳/۳۲*** | ۰/۰۷۷ | ۳/۳۲*** | ۰/۰۰۶ |
| خور و بیابانک | دمای کمینه  | ۲/۰۷*  | ۰/۰۲۲ | ۳/۱۸**  | ۰/۰۴۷ | ۲/۷۳**  | ۰/۰۰۵ | ۲/۸۱**  | ۰/۰۰۴ | ۲/۸۱**  | ۰/۰۳۴ |
|               | دمای بیشینه | ۰/۶۵   | ۰/۰۱۷ | ۳/۱۲**  | ۰/۰۰۴ | ۲/۷۶**  | ۰/۰۴۴ | ۲/۵*    | ۰/۰۴۷ | ۲/۵*    | ۰/۰۳۴ |

جدول ۶- آزمون من-کندال (Z) و تخمین گر شیب خط سن (Qmed) در ایستگاه‌های همدید شرق اصفهان، داران و خورویابانک طی

دوره ۲۰۱۷-۲۰۵۰ برای سناریوی انتشار RCP8.5

| نام ایستگاه   | متغیرها     | زمستان |        | بهار  |         | تابستان |       | پاییز   |       | سالانه  |       |
|---------------|-------------|--------|--------|-------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|               |             | Z      | Qmed   | Z     | Qmed    | Z       | Qmed  | Z       | Qmed  | Z       | Qmed  |
| شرق           | دمای کمینه  | ۰/۰۱   | ۰/۷۷   | ۰/۰۶  | ۵***    | ۴/۴***  | ۰/۰۷  | ۲/۷۳**  | ۰/۰۴  | ۵/۲***  | ۰/۰۴  |
| اصفهان        | دمای بیشینه | ۰/۰۴   | ۱/۷۹+  | ۰/۰۶۶ | ۴/۵۷*** | ۳/۵۵*** | ۰/۰۵۷ | ۲/۶۷**  | ۰/۰۴۹ | ۴/۱۸*** | ۰/۰۵۳ |
| داران         | دمای کمینه  | ۰/۰۵   | ۵/۴*** | ۰/۰۲۶ | ۱/۶۸+   | ۴/۸***  | ۰/۰۵۸ | ۴/۷۷*** | ۰/۰۷۱ | ۳/۲۱**  | ۰/۰۴۸ |
|               | دمای بیشینه | ۰/۰۶۳  | ۲/۶۱** | ۰/۰۷۷ | ۴/۵۷*** | ۴/۵۴*** | ۰/۰۵۶ | ۳/۴۷*** | ۰/۰۵۸ | ۵/۱۱*** | ۰/۰۶۴ |
| خور و بیابانک | دمای کمینه  | ۰۰     | ۰/۶۸   | ۰/۰۰۵ | ۳/۲۷**  | ۴/۱۲*** | ۰/۰۷۴ | ۲/۹۵**  | ۰/۰۳۹ | ۴/۵۲*** | ۰/۰۳۹ |
|               | دمای بیشینه | ۰/۰۱۸  | ۰/۶    | ۰/۰۵۱ | ۴/۷۴*** | ۳/۶۱*** | ۰/۰۶۳ | ۱/۵۹    | ۰/۰۰۳ | ۳/۸۱*** | ۰/۰۳۹ |

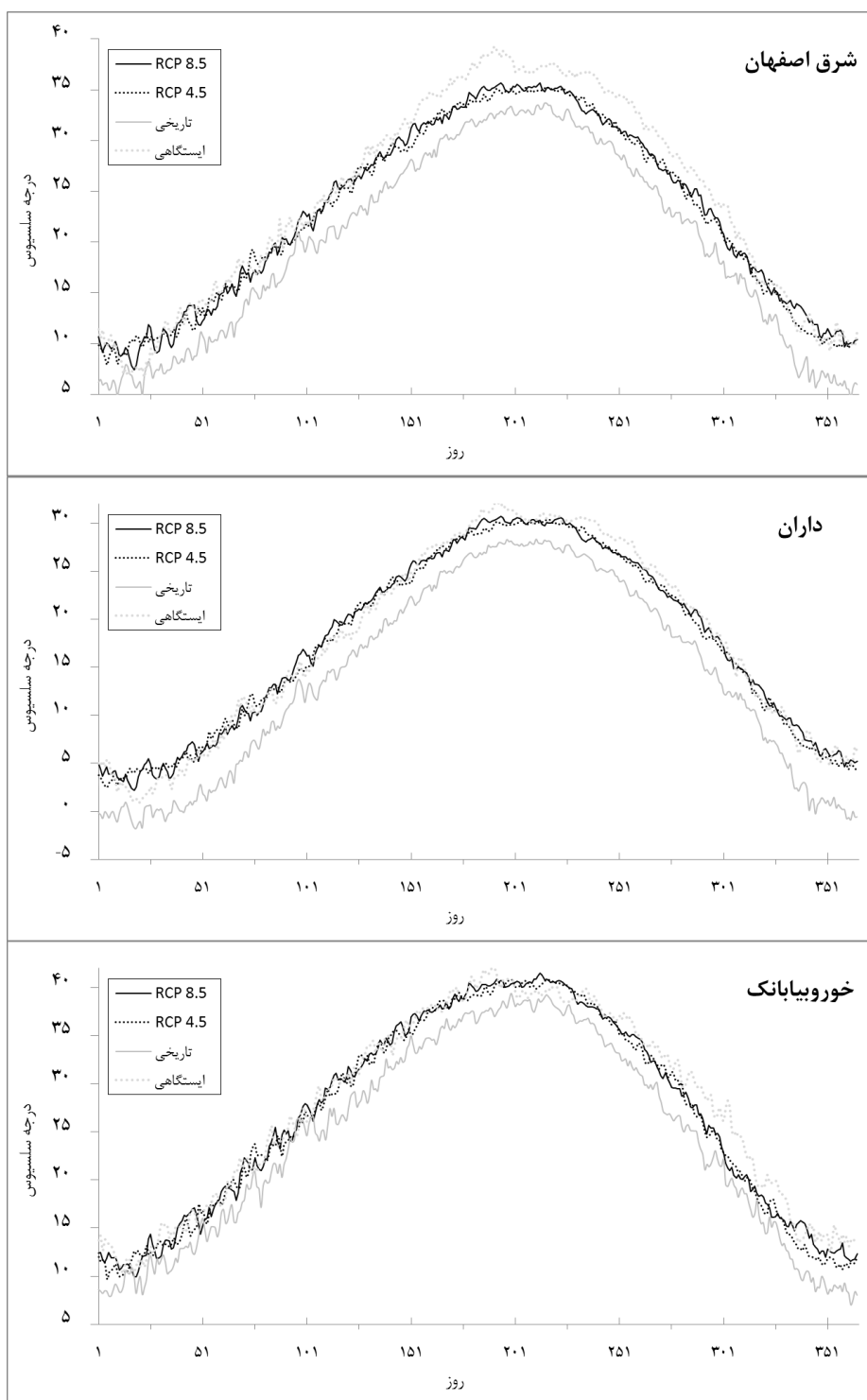
### دمای کمینه و بیشینه آینده در پروژه

#### CORDEX

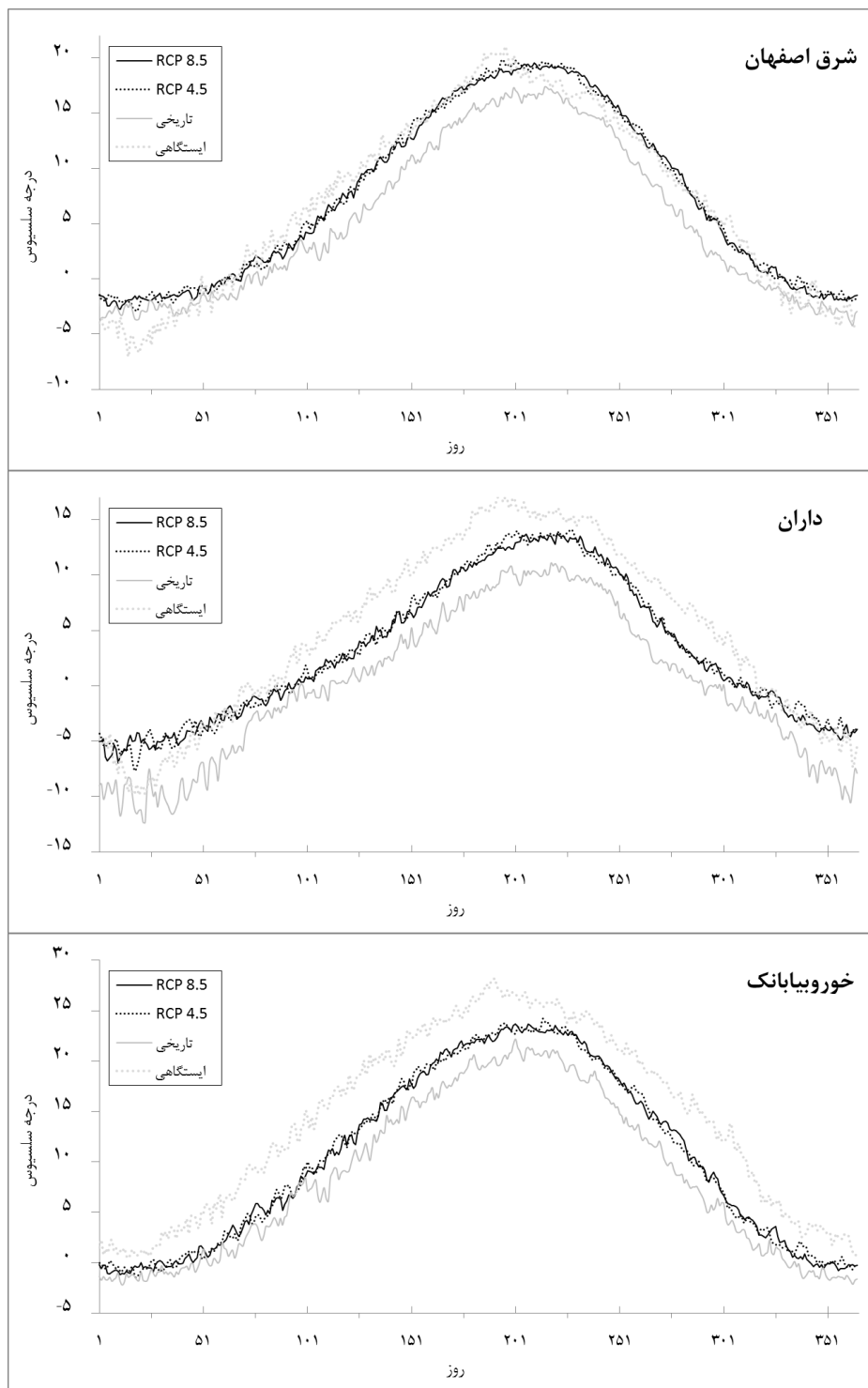
بررسی میانگین بلند مدت روزانه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های ایستگاهی در سه ایستگاه منتخب (شرق اصفهان، داران و خورویابانک) کم‌برآوردی در داده‌های شبیه‌سازی شده تاریخی و داده‌های مشاهداتی ایستگاهی شاهد هستیم (شکل‌های ۴ و ۵).

این کم برآوردی در روزهای تابستان ایستگاه شرق اصفهان بیش از دو ایستگاه دیگر است. با توجه به اینکه تغییرات دمایی در سناریوهای انتشار نسبت به دوره پایه افزایشی است می‌توان از خطای مدل بطور فرضی صرف نظر کرد و میزان تغییرات را که از مقایسه داده‌های دوره تاریخی و خروجی سناریوهای انتشار بدست می‌آید مد نظر قرار داد (Doso et al, 2016; Bucchignani et al, 2016). رفع این کم-برآوردی نیازمند بکارگیری روش‌های آماری اصلاح اریب<sup>۱</sup>

می‌باشد که در اهداف این پژوهش نمی‌گنجد. با مقایسه داده‌های تاریخی و خروجی‌های حاصل از دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 شاهد افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقادیر شبیه‌سازی شده با هر دو سناریوی انتشار برای مدل-های با کمترین خطای آماری هستیم. بطوری که در ایستگاه شرق اصفهان دمای بیشینه برآورد شده توسط مدل -MPI-ESM-LR در اوایل فصل زمستان و طی فصل تابستان افزایش بیشتری نسبت به دیگر روزهای سال در چند دهه آینده از خود نشان می‌دهد. شدت افزایش دما بیشینه در روزهای فصل زمستان در هر سه ایستگاه نیز بیشتر از روزهای دیگر است (شکل ۵). در ایستگاه داران که نماینده آب و هوای مناطق غربی استان اصفهان است افزایش دمای کمینه با شدت بیشتری طی روزهای فصل زمستان و پس از آن طی فصل تابستان نسبت به دوره تاریخی توسط مدل -IPSL-CM5A-MR پیش‌بینی شده است (شکل ۶).



شکل ۵- میانگین بلندمدت دمای بیشینه سه ایستگاه منتخب برای داده‌های ایستگاهی و داده‌های تاریخی مدل MPI-ESM-LR طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵ و سناریوهای انتشار این مدل (RCP4.5 و RCP8.5) طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۵۰.



شکل ۶- میانگین بلندمدت دمای کمینه سه ایستگاه منتخب برای داده‌های ایستگاهی و داده‌های تاریخی مدل IPSL-CM5A-MR طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵ و سناریوهای انتشار این مدل (RCP4.5 و RCP8.5) طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۵۰.

## نتیجه گیری

شدیدتر این متغیر را در فصل زمستان نسبت به دیگر فصول سال نشان می‌دهد. که این شرایط تبخیر و تعرق بیشتر و در نهایت هدر رفت بیشتر آب را در پی خواهد داشت. برای دمای کمینه دو سناریوی انتشار در ایستگاه‌های شرق اصفهان و خوروبابانک در تابستان و ایستگاه داران طی فصل زمستان افزایش شدیدتری را نسبت به فصول دیگر دارند. این شرایط اگر عملی شود ماندگاری برف را به شدت تحت تأثیر قرار خواهد داد و شرایط ذخیره‌سازی آب حاصل از برف و نفوذ آب حاصل از آن به خاک و ذخیره آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. برای مقابله با این شرایط باید برنامه‌ریزی اصولی و کارشناسی شده برای مصرف منابع آبی صورت گیرد. پژوهش هاشمی‌نسب و همکاران (۱۳۹۲) در استان کرمان طی دهه‌های آینده افزایش دمای کمینه و بیشینه را پیش‌بینی می‌کند که این شرایط با نزدیک شدن به انتهای سده بیست و یکم شدت بیشتری پیدا می‌کند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های بابائیان و کوهی (۱۳۹۱)؛ دانش‌فراز و رزاق‌پور (۱۳۹۳)؛ قربانی و خلیلی (۱۳۹۳) و شاهکوبی و روشن (۱۳۹۲) به ترتیب در استان‌های خراسان رضوی، آذربایجان غربی و گرگان همخوانی دارد.

## منابع

1. Ababai, B., T. Sohrabi, F. Mirzai, V. Rezavardinejad & B. Karimi, 2004, The effect of climate change on wheat yield and risk analysis associated (Case Study: Rudasht in Isfahan Province). Journal of Water and Soil Science, Vol. 20/1, No. 3, pp. 135-150, In Persian.
2. Abbasi, F., S. Malbousi, I. Babaiyan, M. Asmari & R. Borhani, 2010, Prediction of Climate Change in South Khorasan Province by using Output of ECHO-C Model Statistical Downscaling in 2010-2039. Journal of Water and Soil, Vol. 24, N. 2, pp. 218-233, In Persian.
3. Alijani, B., P. Mahmoodi & A. Chogan, 2012, The Study of Yearly and Seasonal Precipitation in Iran by using Sen's Estimator Nonparametric Method. Journal of Climatology Research, No. 9, pp. 23-42, In Persian.
4. Ashraf, B., M. Mousavi, K. Gholami & K. Davari, 2012, Evaluation the change of

در این پژوهش ابتدا خروجی سه مدل گردش عمومی جو GFDL-MPI-ESM-LP، IPSL-CM5A-MR و ESM2M که در پروژه CORDEX توسط مؤسسات بین‌المللی با دو مدل دینامیک منطقه‌ای آب و هوا RCA4 و MPI-CSC-REMO2009 ریزمقیاس نمایی شده‌اند با داده‌های ایستگاهی جهت ارزیابی دقت مقایسه گردیدند. برای متغیرهای دمای کمینه و بیشینه بترتیب دو مدل IPSL-CM5A-MR و MPI-ESM-LP خطای کمتری داشتند. در ارتباط با بارش با وجود این که مدل MPI-ESM-LP خطای کمتری نسبت به دو مدل دیگر داشت ولی با توجه به مقادیر بارش در استان اصفهان این میزان خطا قابل قبول نبوده و بنابراین در تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار نگرفت. بررسی روند گذشته دمای کمینه و بیشینه در داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های منتخب نشان داد که در این مناطق دمای بیشینه با سطح اطمینان بیشتری نسبت به دمای کمینه در فصول زمستان و بهار در حال افزایش است. نتایج پژوهش‌های زیاد روند افزایشی دما را طی سال‌های گذشته بیان کرده‌اند که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد (مسعودیان، ۱۳۸۳؛ رحیم‌زاده و نساجی زواره، ۱۳۹۳؛ عطایی و فنایی، ۱۳۹۳؛ آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۱؛ سالیانگر، ۲۰۰۱؛ وایبگ و گلوبکی، ۲۰۰۲). بررسی روند گذشته بارش در هیچ یک از ایستگاه‌ها (بجز در ایستگاه داران طی فصل پاییز که با سطح اطمینان ۹۵ درصد روند افزایشی داشت) روند معناداری از خود نشان نداد که با یافته‌های علیجانی و همکاران (۱۳۹۱)؛ حجام و همکاران (۱۳۸۷)؛ محمدی (۱۳۹۰) و خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۳) همخوانی دارد. برای بررسی روند و میانگین بلندمدت روزانه دمای کمینه و بیشینه طی دوره آینده (۲۰۱۷-۲۰۵۰) از خروجی‌های ریزمقیاس نمایی شده در پروژه CORDEX برای GCM های با کمترین خطا و سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. خروجی‌های حاصل از سناریوی RCP8.5 نسبت به RCP4.5 افزایش بیشتری را برای آینده استان اصفهان پیش‌بینی می‌کند. دمای بیشینه برای هر دو سناریو انتشار افزایش

- province. *Journal of Geographic Space*, No. 46, pp. 199-211, In Persian.
14. Denis, B., Laprise, R., & Caya, D., 2003, Sensitivity of a regional climate model to the resolution of the lateral boundary conditions. *Climate Dynamics*, 20(2), 107-126. doi:10.1007/s00382-002-0264-6
  15. Deque, Michel, Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Journal of Global and Planetary Change*, No. 57, pp. 16-26.
  16. Dibike, Yonas, Terry Prowse, Rajesh Shrestha, Roxanne Ahmed, 2012, Observed trends and future projection of precipitation and air temperature in the lake Winnipeg Watershed. *Journal of Great Lakes Research*, Vol. 38, pp. 72-82.
  17. Dosio, A., Panitz, H.-J., Schubert-Frisius, M., & Lüthi, D., 2015, Dynamical downscaling of CMIP5 global circulation models over CORDEX-Africa with COSMO-CLM: evaluation over the present climate and analysis of the added value. *Climate Dynamics*, Vol. 44, No. 9, pp. 2637-2661, doi:10.1007/s00382-014-2262-x.
  18. Ehteramian, K., A. Shahabfar, A. Alizadeh, 2004, Evaluate the effects of ENSO on precipitation regime. *Journal of Geography and Regional Development*, Vol. 3, pp. 29-40, In Persian.
  19. Easterling, D.R., 1999, Observed variability and trends in temperature extremes in the United States, to be submitted, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*
  20. Firoozi, F., H. Negaresh & M. Khosravi, 2012, Modeling, Forecast and Study of Precipitation Trend in Fars Province Selected Stations, *Regional Planning Quarterly*, No. 7, pp. 77-91, In Persian.
  21. Ghazal R., A. Ardeshir and I. Zahedi Rad, 2014, Climate Change and Storm water Management Strategies in Tehran. *Journal of Procedia Engineering*, No. 89, pp. 780-787.
  22. Ghorbani, Kh., A. Soltani, Effect of Climate Change on Soya Operation in the Gorgan Region, *Journal of Planet Protect Researches*, Vol. 21, N. 2, pp. 67-85, In Persian.
  23. Giorgi, F., Jones, C., & Asrar, G. R., 2009, Addressing Climate Information Needs at the Regional Level: the CORDEX Framework. *WMO Bulletin*, Vol. 28, No. 3, pp. 175-183.
  24. Gohari, Alireza, Saeid Eslamian, Jahangir Abedi-Koupaei, Alireza Massah Bavani, water expense in wheat and sugar beet due to the effects of climate change in the next two decades in the selection plains of Khorasan Razavi Province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, Vol. 6, No. 2, pp. 105-117, In Persian.
  5. Ataei, H. & R. Fanaei, 2014, Represent of Daily Mean Temperature Trend of Isfahan Province on the Resent Middle Century. *Journal of Geography and Environment Planning*, No. 55, pp. 105-118, In Persian.
  6. Babaiyan, I., M. Kouhi, 2004, Evaluation of agricultural climate index under climate change scenarios in selected stations of Khorasan Razavi. *Journal of Water and Soil Science*, Vol. 4, Pp. 953-967, In Persian.
  7. Babaiyan, I., Z. Najafinik, F. Zabolabbasi, M. Habibi, H. Adab & S. Malbousi, 2009, Evaluation of climate change in the period 2039-2010 using data downscaling of ECHO-G general circulation model, *Geography and Development Iranian Journal*, No. 16, In Persian.
  8. Browon C, Arthur G, Paul B, Alessandra G, 2008, Review of downscaling methodologies for Africa climate applications. *International Research Institute for Climate and Society, IRI Technical Report 08-05*, Columbia University, USA.
  9. Bucchignani, E., Cattaneo, L., Panitz, H.-J., & Mercogliano, P. (2016). Sensitivity analysis with the regional climate model COSMO-CLM over the CORDEX-MENA domain. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 128(1), 73-95. doi:10.1007/s00703-015-0403-3
  10. Casanueva, A., Kotlarski, S., Herrera, S., Fernández, J., Gutiérrez, J. M., Boberg, F. & Vautard, R., 2016, Daily precipitation statistics in a EURO-CORDEX RCM ensemble: added value of raw and bias-corrected high-resolution simulations. *Climate Dynamics*, Vol. 47, No. 3, pp. 719-737, doi:10.1007/s00382-015-2865-x.
  11. Daccache, A., E.K. Weatherhead, M.A. Stalham, J.W. Knox, 2010, Impacts of climate change on irrigated potato production in a humid climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, No. 151, pp. 1641-1653,
  12. Da-Bang, J., W. Hui-Jun, L. Xian-Mei, 2004, East Asian climate change trend under global warming background. *Chines Journal of Geophysics*, Vol.47, No.4, pp.675-681.
  13. Daneshfaraz, R. & H. Razaghpour, 2014, Evaluate impact of climate change on evapotranspiration in West Azerbaijan

- International Journal of Climatology, DOI 10.1002/joc.3794.
33. Jenkins, G.J., Murphy, J.M., Sexton, D.S., Lowe, J.A., Jones, P., Kilsby, C.G., 2009. UK Climate Projections: Briefing Report, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
  34. Jones, P.D., Raper, S.C.B., Bradley, R.S., Diaz, F., Kelly, P.M., and Wigley, T.M.L., 1986, Northern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984, Journal of Climate and Applied Meteorology, No. 25, p. 161-179.
  35. Kendall M.G., 1975, Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London.
  36. Khalili, A., J. bazrafshan, 2004, The analysis of annual precipitation trends, the seasonal and monthly five stations, one hundred and sixteen years old Iran, Journal of Desert, Vol. 9, N. 1, Pp. 25-33, In Persian.
  37. Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., and J. R. Wallis, 1994, Hydro-climatological Trends in the Continental United States, Journal Climate, No. 7, p. 586-607.
  38. Lobell, B.D., Hammer, G.L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M.J., Schlenker, W., 2013, The critical role of extreme heat for maize production in the United States. Nat. Clim. Change, Vol. 3, pp. 497-501.
  39. Lobell, B.D., Sibley, A., Ortiz-Monasterio, J.I., 2012, Extreme heat effects on wheat senescence in India, Nat. Clim. Change, Vol. 2, pp. 186-189.
  40. Lu, Y., X.S. Qin, 2014, Multisite rainfall downscaling and disaggregation in a tropical urban area, Journal of Hydrology, No. 509, p. 55-65.
  41. Masoudiyan, A., 2004, Study of Iran Temperature Trend on the Half Past Century, Journal of Geography and Development, N. 3, Pp. 89-106, In Persian.
  42. Mann, H. B., 1945, Nonparametric Test against Trend, Journal of Econometrical, No. 13, p. 245-259.
  43. Mearns, L.O., 2000, Climatic change and variability. In: Reddy, K.R., Hodges, H.F. (Eds.), Climate Change and Global Crop Productivity. CABI Publishing, Wallingford, pp. 7-35.
  44. Mo, X., Guo, R., Liu, S., Lin, Z., Hu, S., 2013, Impacts of climate change on crop evapotranspiration with ensemble GCM projections in the North China Plain, Clim. Change 120, 299-312.
  45. Mohamadi, B., 2011, Annual Precipitation Trend Analysis in Iran, Journal of Geography and Environmental Planning, No. 43, Pp. 95-106, In Persian.
  - Dingbao Wang, Kaveh Madani, 2013, Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin, Science of the Total Environment, No. 442, pp. 405-419.
  25. Hadley Center, 2006, Effect of climate change in the developing countries, UK Meteorological Office.
  26. Hajam, S., Y. Khoshkhou & R. Shamsodinvand, 2008, The trend analysis of seasonal and annual perspiration in some selected stations in the central basin of Iran with non-parametric methods, Geographical Research Quarterly, No. 64, pp. 157-168, In Persian.
  27. Hansen, J. & S. Lebedeff, 1987, Global trends of measured surface air temperature, Journal of Geophysical Research, Vol. 92, pp. 13345-13372.
  28. Hasheminasab, F., M. Bayegi, B. Bakhtiyari & K. Davari, Predict of Precipitation Changes over future 20 year in Kerman Province by using LARS-WG Model Downscale and HadCM3 General Circulation Model, Irrigation and Water Engineering Quarterly, No. 12, pp. 43-58, In Persian.
  29. Harmsen, B. J., Foster, R. J., Silver, S., Ostro, L., & Doncaster, C. P., 2010, Differential Use of Trails by Forest Mammals and the Implications for Camera-Trap Studies: A Case Study from Belize. Biotropica, Vol. 42, No. 1, pp. 126-133, doi:10.1111/j.1744-7429.2009.00544.
  30. IPCC, 2007, Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 96.
  31. Islam MN, Rafiuddin M, Ahmed AU, Koli RK, 2007, Calibration of PRECIS in employing future scenarios in Bangladesh. Int J Climatol, Vol. 28, pp. 617-628, doi:10.1002/joc.155.
  32. Isotta FA, Frei C, Weilguni V, Per\_cec Tadi\_c M, Lass\_egues P, Rudolf B, Pavan V, Cacciamani C, Antolini G, Ratto SM, Munari M, Micheletti S, Bonati V, Lussana C, Ronchi C, Panettieri E, Marigo G, Verta\_cnik G, 2013, The climate of daily precipitation in the Alps: development and analysis of a high-resolution grid dataset from pan-Alpine rain-gauge data.



56. Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 2002, LARS-WG a Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, User's manual, Version3.0.
57. Semenov, M.K., Stratonovitch, A., 2010, Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climatic Research* Vol. 41, pp. 1-14.
58. Semenov, M.A., Shewry, P.R., 2011, Modeling Predicts that Heat Stress, not Drought, will Increase Vulnerability of Wheat in Europe *Scientific Reports* 1, pp. 66.
59. Sen, P.K., 1968, Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 63, pp. 1379-1389.
60. Shahkoochi, E. & Gh. R. Rowshan, 2013, Temporal Changes in Soya needed Degree Day on the Base Climate Change Future Decades, Case Study Gorgan Province, *Journal of Space*, No. 7, Pp. 51-66, In Persian.
61. Sharratt, B. S., 1992, Growing-season trends in the Alaskan climate record, *Journal of Arctic*, Vol. 45, Pp. 124-127.
62. Sillmann, J., Roeckner, E., 2008, Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change, *Clim. Change* Vol. 86, pp. 83-104.
63. Sommer, R., M. Glazirina, T. Yuldashev, A. Otarov, M. Ibraeva, L. Martynov, M. Bekenov, B. Kholov, N. Ibragimov, R. Kobilov, S. Karaev, M. Sultonov, F. Khasanova, M. Esanbekov, D. Mavlyanov, S. Isaev, S. Abdurahimov, R. Ikramov, L. Shezdyukova, E. de Pauw, 2013, Impact of climate change on wheat productivity in Central Asia, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, No. 178, p. 78-99.
64. Tubiello, F.N., Ewert, F., 2002, Simulating the effects of elevated CO2 on crops: approaches and applications for climate change. *Eur. J. Agron*, Vol. 18, pp. 57-74.
65. Tubiello, F.N., Soussana, J.-F., Howden, S.M., 2007, Climate change and food security special feature: crop and pasture response to climate change. *Proc. Natl. Aca. Sci.* Vol. 104, pp. 19686-19690.
66. Valizadeh J., S.M. Ziaei, S.M. Mazloumzadeh, 2014, Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, No. 13, p. 107-115.
67. Tubiello F., Ewert F., 2002, Simulating the effects of elevated CO2 on crops: approaches and application for climate
46. Montazeri, M., H. Ghayour, 2009, Comparative Analysis of Precipitation and Drought Trend on the Khazar Basin. *Journal of Geography and Development*, No. 16, Pp. 71-92, In Persian.
47. Rahimzadeh, F., A. Hedayat & A., Puorasgharyan, 2011, Evaluate the extent and mutation indexes of extreme temperature and precipitation in the Hormozgan province. *Geography and Development Iranian Journal*, No. 21, Pp. 97-116, In Persian.
48. Rahimzadeh, F. & M. Nasaj, 2014, Temperature trend and variation during the period 2010-1960, after adjustment for non-climatic heterogeneity in the data. *Geography Research Quarterly*, No. 115, pp. 181-196, In Persian.
49. Raju, P. V. S., Bhatla, R., Almazroui, M., & Assiri, M., 2015, Performance of convection schemes on the simulation of summer monsoon features over the South Asia CORDEX domain using RegCM-4.3. *International Journal of Climatology*, Vol. 35, No. 15, pp. 4695-4706, doi:10.1002/joc.4317.
50. Rosenzweig, C., Parry, M.L., 1994, Potential impact of climate-change on world food supply, *Nature* 367, 133-138.
51. Roustai, M. T. Sohrabi, A. Mesbah & M. S. Ahadi, 2012, Assessment of Operation Biomass Risk under the effect of Climate Change, *Journal of Water Research in Agriculture*, Vol. 26, No. 4, In Persian.
52. Rowhani, Pedram, David B. Lobell, Marc Linderman and Navin Ramankutty, 2011, Climate variability and crop production in Tanzania, *Agricultural and Forest Meteorology*, No. 151, p. 449-460.
53. Ruelland, D., Ardoin-Bardin, s., Collet, L. and Roucou, P., 2012, Simulating future trends in hydrological regime of a large Sudano-Sahelian catchment under climate change, *Journal of Hydrology*, No. 424-425, p. 207-216.
54. Ruelland, D., Ardoin-Bardin, S., Collet, L., and Roucou, P., 2012, Simulating future trends in hydrological regime of a large Sudano- Sahelian catchment under climate change, *J. Hydrol.*, 424-425, pp. 207-216, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.01.002.
55. Sabziparvar, A., S. Mirmasoudi & M. J. Nazemosadat, 2011, The Study of Reference Evapotranspiration Long Term Changes in Several Selected Warm Climate, *Geographical Research Quarterly*, No. 75, Pp. 63-77, In Persian.

69. Yang, M.-J., Jou, B. J. D., Wang, S.-C., Hong, J.-S., Lin, P.-L., Teng, J.-H., & Lin, H.-C. (2004). Ensemble prediction of rainfall during the 2000–2002 Mei-Yu seasons: Evaluation over the Taiwan area. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D18), n/a-n/a. doi:10.1029/2003JD004368.
68. Tubiello, F.N., J.-F. Soussana, S.M. Howden, and W. Easterling, 2007, Crop and pasture response to climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Vol. 104, pp. 19686-19690, doi:10.1073/pnas.0701728104.