

روند تغییرپذیری شاخص‌های حدی بارش در حوزه آبریز بختگان با استفاده از داده‌های AgMERRA و داده‌های ایستگاهی

لیلا جوکار^۱، فاطمه پناهی^{۲*}، سید جواد ساداتی‌نژاد^۳، علیرضا شکیبای^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵

مقاله پژوهشی

چکیده

هدف این تحقیق بررسی روند تغییرپذیری شاخص‌های حدی بارش در حوزه آبریز بختگان است. برای انجام این تحقیق داده‌های روزانه بارش AgMERRA برای دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ با فرمت nc4 از پایگاه داده‌های سازمان فضایی آمریکا گردآوری و داده‌های مربوط به حوزه آبریز بختگان، از آن استخراج گردید. همچنین داده‌های روزانه بارش برای دوره مورد مطالعه برای ایستگاه‌های هواشناسی موجود در حوضه از آرشیو سازمان هواشناسی استخراج گردید. جهت بررسی تغییرات اقلیمی در منطقه، شاخص‌های Rx5day، Rx1day، CDD، R20mm، R10mm، R99p و R95p انتخاب و محاسبه شد. نتایج شاخص‌های حداکثر یک روز بارش (Rx1day) با روند تغییرات ۱/۱۸۶- تا ۲/۱۷۷+، حداکثر پنج روز بارش (Rx5day) با روند تغییرات ۰/۶۲۴- تا ۰/۸۲+، تعداد روزهای با بارش سنگین (R10) با روند تغییرات ۰/۱۷۹- تا ۰/۲۵+، تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین (R20) با روند تغییرات ۰/۰۶- تا ۰/۰۴۶+ و مجموع بارش سالیانه (PRCPTOT) با روند تغییرات ۳/۶۷۵- تا ۲/۰۲۸+ در بیشتر نواحی حوضه و به‌طور مشترک در قسمت‌های جنوب و غرب حوضه روندهای کاهشی دارند. شاخص روزهای خشک متوالی (CDD) با کاهش بارش، افزایش یافته است و به‌طور کلی در کل حوضه (به‌جز بخش کوچکی در مرکز و شرق حوضه) روند افزایشی را نشان داد. بیشترین روزهای خشک متوالی در ایستگاه‌های شیراز، سد درودزن و علی آباد کمین به ترتیب ۲۵۹ روز در سال ۲۰۰۸، ۲۴۵ روز در سال ۱۹۸۳ و ۲۶۴ روز در سال ۱۹۹۹ مشاهده شد. هر دو شاخص روزهای مرطوب (R95) و روزهای بسیار مرطوب (R99p) در برخی نقاط حوضه روند افزایشی و در برخی نقاط روند کاهشی را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم - فرین‌های اقلیمی - بارش حدی - بختگان

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

^۲ استادیار، گروه علوم مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، Email: fatima.panahi@gmail.com

^۳ دانشیار، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

* نویسنده مسئول

مقدمه

گرمایش زمین و تغییر اقلیم، بی‌شک یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن اخیر مدیران بخش‌های مختلف است. این در حالی است که تغییر اقلیم در آینده‌ای نه‌چندان دور بیش از پیش بر پیچیدگی‌های این چالش می‌افزاید (WMO^۵, 2009). میانگین بلندمدت سالانه متغیرهای آب و هوایی، به‌خصوص دما و بارش، به‌طور کلی به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی تغییرات آب و هوایی استفاده می‌شود. به همین جهت تحلیل روند سری‌های زمانی شاخص‌های حدی دما و بارش سبب شناخت بهتر رفتار تغییرات آب‌وهوا در گذشته و آینده می‌شود (Peterson et al., 2001). به‌طور کلی اثرات ناشی از تغییر اقلیم دارای توزیع مکانی یکنواخت نیست (Hess et al., 2001) و با تأثیری که بر ذخایر منابع آب، مصرف آب کشاورزی (کیانی قلعه‌سرد و همکاران، ۱۳۹۸) و میزان رواناب (آقابگی و همکاران، ۱۳۹۸) و مقدار و شدت بارش دارد، نه‌تنها می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های کلان ملی نقش مهمی ایفا کند، بلکه حیات را بر روی کره زمین تحت تأثیر قرار خواهد داد. کمبود منابع مالی و سختی دسترسی به برخی مناطق، سبب شده که در برخی مناطق دنیا ایستگاه‌های موجود با تراکم کمی ساخته‌شده باشند (Ghazanfari et al., 2011). لذا داده‌های شبکه‌بندی شده یا داده‌های آب و هوایی تولید شده به‌عنوان جایگزینی در مناطقی که داده‌های آب و هوایی مشاهداتی در دسترس نیستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sadras et al., 2003). سازمان فضایی ملی ایالات‌متحده آمریکا^۶ و دانشگاه کلمبیا در سال ۲۰۱۴ مجموعه داده‌ای را باهدف ایجاد شبکه‌ای جهانی و همگون برای استفاده در پژوهش‌های کشاورزی، امنیت غذایی و مدل‌های رشد گیاهی توسعه داده است.

این پایگاه داده که AgMERRA^۷ نامیده شده است، مجموعه‌ای از داده‌های آب و هوایی روزانه (دمای حداکثر و حداقل، بارندگی، تشعشع، سرعت باد و فشار بخار) با قدرت تفکیک بالا برای دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ میلادی می‌باشد که به‌عنوان بخشی از پروژه AgMIP^۸ است و دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ به‌عنوان دوره پایه برای تولید سناریوهای اقلیمی استفاده می‌شود.

در مطالعات بسیاری در زمینه اقلیمی از داده‌های آب و هوایی شبکه‌بندی شده استفاده شده است. لشگری و همکاران (۱۳۹۴) باهدف امکان‌سنجی استفاده از داده‌های AgMERRA برای تخمین داده‌های گمشده در دو ایستگاه سینوپتیک در دشت مشهد، به قدرت بالای داده‌های شبکه‌ای در شبیه‌سازی حداکثر و حداقل دمای روزانه اشاره کردند. Lashkari et al., (2016) عملکرد داده‌های شبکه‌ای AgMERRA را برای سال‌های فاقد آمار داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در ۴ منطقه اقلیمی مختلف ایران ارزیابی کردند. مقایسه داده‌های AgMERRA با داده‌های حداقل و حداکثر روزانه دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی برای ۱۱ ایستگاه نشان‌دهنده وجود روند مشابه در توابع توزیع احتمال و توزیع تجمعی در هر دودسته داده بود. Salehnia et al., (2017) برای محاسبه و مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی و پایش خشک‌سالی در حوضه کشف رود طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ از داده‌های ایستگاه مشاهداتی و داده‌های شبکه‌ای AgMERRA استفاده کردند. آن‌ها بیان کردند که همبستگی بالای بین شاخص‌های خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های AgMERRA و شاخص‌های خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های ایستگاهی بیانگر این امر است که از داده‌های AgMERRA برای پر کردن شکاف داده‌های

⁷ Agricultural NASA Modern-Era Restrospective Analysis for Research and Applications

⁸ The Agricultural Model Inter-comparison and Improvement Project

⁵ World Meteorological Organization

⁶ National Aeronautics and Space Administration (NASA)



بارش در چین طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۷، نشان دادند که شاخص‌های وقایع حدی گرما به‌طور معنی‌داری، افزایش یافته است. (Tan et al., 2019) با تحلیل وقایع حدی دما و بارش در مالزی طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵، با استفاده از داده‌های روزانه اقلیمی در ۸ ایستگاه، نشان دادند که در طی دوره مورد مطالعه شاخص‌های حدی بارش شامل تعداد روزهای با بارش سنگین (R10) و تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین (R20) روند کاهشی و شاخص‌های روزهای خشک متوالی (CDD)، روزهای مرطوب (R95)، روزهای بسیار مرطوب (R99p)، حداکثر یک روز بارش (Rx1day) و حداکثر پنج روز بارش (Rx5day) روند افزایشی داشته‌اند. (Worku et al., 2019) نشان دادند بررسی تغییرات وقایع حدی دما و بارندگی روزانه در اتیوپی حاکی از روند گرمایشی کره زمین و تغییر اقلیم در حوضه مورد مطالعه بوده است.

استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده آب‌وهوا در نواحی مختلف به‌ویژه در مناطقی که تراکم ایستگاه‌های زمینی پایین است و یا داده‌های آب و هوایی باکیفیت مطلوب و دوره آماری مناسب در دسترس نمی‌باشند، امری ضروری است. همچنین داده‌های آب و هوایی زیربنای طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و مطالعات کاربردی در علوم کشاورزی است. هدف از این مطالعه بررسی تغییرپذیری زمانی مکانی وقایع حدی بارش به دو صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای در حوضه آبریز بختگان طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ است. به منظور تحلیل نقطه‌ای از داده‌های بارش روزانه ایستگاهی و برای تحلیل منطقه‌ای از داده‌های بارش شبکه‌ای AgMERRA با قدرت تفکیک مکانی $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ و تفکیک زمانی روزانه استفاده خواهد شد.

ایستگاهی و همچنین برای مناطقی که فاقد داده هستند می‌توان استفاده کرد. یعقوبی و همکاران (۱۳۹۷) باهدف ارزیابی داده‌های شبکه‌ای AgMERRA در شبیه‌سازی نیاز آبی و عملکرد گندم دیم در ۹ ایستگاه سینوپتیک در استان خراسان رضوی، داده‌های AgMERRA را با داده‌های روزانه ایستگاه‌ها مقایسه کردند. نتایج حاکی از همبستگی و توافق بالای بین داده‌های مشاهداتی و شبکه‌ای دمای حداقل و حداکثر روزانه بود.

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی شامل بررسی روند فرین‌های دما و بارش و تغییرپذیری آن‌ها در نواحی مختلف جهان انجام شده است. محمدی و تقوی (۱۳۸۶) با بررسی روند شاخص‌های حدی بر اساس سری‌های زمانی روزانه دما و بارش ایستگاه تهران در دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳، بیان کردند که شاخص‌های حدی بارش روند کاهشی با شیب بسیار کم را نشان می‌دهد. دارند (۱۳۹۳) در تحقیقی تغییرات حدی دما و بارش در ارومیه را مورد بررسی قرار داد و بیان کرد که نمایه‌های بارش فرین طی دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ روند نزولی معناداری را نشان می‌دهند. دالایی و همکاران (۱۳۹۵) باهدف بررسی آسیب‌پذیری شهرهای مختلف ایران از شاخص حدی بارش در دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ نشان دادند که شاخص‌های بارش کاهش و روند شدت رخداد آن‌ها در مناطق سواحل خزر، شمال غرب و غرب ایران در دوره مورد مطالعه افزایش یافته است. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی شاخص‌های حدی بارش طی دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ در خراسان بزرگ، نشان دادند که اکثر ایستگاه‌های منطقه تغییرات بارش را تجربه کرده‌اند. (Parak et al., 2015) با بررسی روند و آنومالی وقایع حدی اقلیمی روزانه در ایران طی ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰، در ۳۰ ایستگاه سینوپتیک، به روند افزایشی معنی‌دار در شاخص‌های دما و آنومالی در شاخص‌های بارش اشاره کردند. (Tong et al., 2019) باهدف بررسی تغییرپذیری زمانی مکانی وقایع حدی دما و

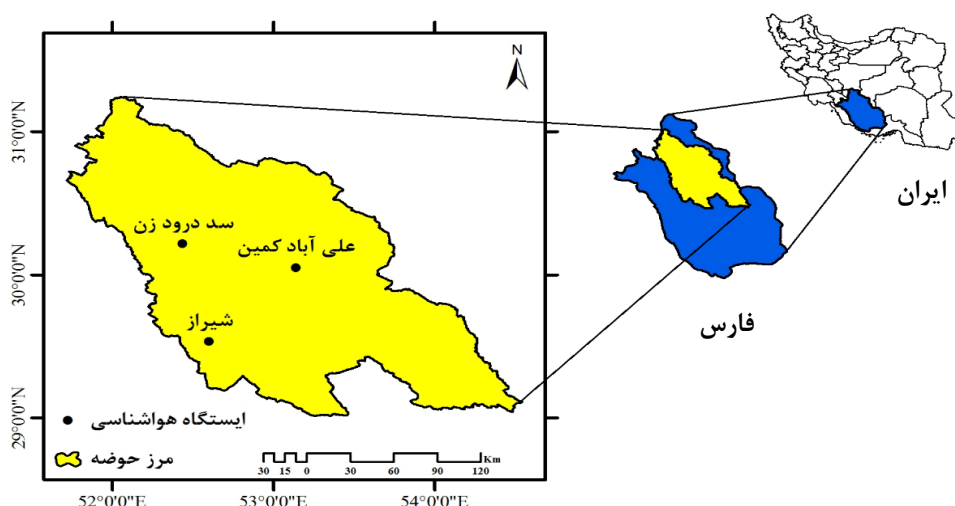
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و داده‌ها

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش گستره حوزه آبریز بختگان می‌باشد (شکل ۱). حوزه آبریز دریاچه بختگان در جنوب غربی کشور با مساحت ۳۱۴۹۲ کیلومتر مربع، در بین عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۱ درجه ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی قرار گرفته است. برای انجام این تحقیق و به منظور تحلیل منطقه ای، داده‌های بارش روزانه AgMERRA با قدرت تفکیک مکانی $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ برای دوره ۱۹۸۰ تا

۲۰۱۰ با فرمت nc4 از پایگاه داده‌های فضایی آمریکا گردآوری شد. پس از تعیین شبکه قرارگیری حوضه آبریز بختگان مهارلو، داده‌های مربوط به آن شبکه با استفاده از نرم‌افزار R استخراج گردید.

برای تحلیل نقطه ای نیز پس از بررسی ایستگاه‌های موجود از نظر طولانی مدت بودن سری داده‌ها و همچنین پراکندگی مکانی مناسب در گستره حوضه، داده‌های روزانه بارش در ۳ ایستگاه در دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ از آرشیو سازمان هواشناسی کشور استخراج شد (جدول ۱).



شکل (۱): موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی

جدول (۱): ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده در این تحقیق

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
شیراز	سینوپتیک	۵۲ درجه و ۳۶ دقیقه و ۰ ثانیه	۲۹ درجه و ۳۳ دقیقه و ۳۶ ثانیه
سردرد زن	سینوپتیک	۵۲ درجه و ۲۵ دقیقه و ۱۲ ثانیه	۳۰ درجه و ۱۱ دقیقه و ۵۹ ثانیه
علی آباد کمین	اقلیم شناسی	۵۳ درجه و ۸ دقیقه و ۲۴ ثانیه	۳۰ درجه و ۳ دقیقه و ۰ ثانیه

روش مطالعه

بارش یکی مهمترین عناصر جوی است که برای شناسایی تغییر اقلیم توسط مراکز پژوهشی شناسایی تغییر اقلیم و پژوهشگران مختلف استفاده شده است.

سری شاخص‌های تغییر اقلیم از داده‌های روزانه دما و بارش به دست می‌آیند که محاسبه و تجزیه و تحلیل آن‌ها از طریق متمرکز شدن بر مقادیر آستانه‌ای است. این شاخص‌ها توانایی به‌روز شدن و ارائه تصویری جامع



هستند، ب) نمایه‌های مطلق: مقادیر حداقل یا حداکثر مطلق را طی یک سال یا یک فصل نشان می‌دهند و شامل حداکثر یک روز بارش (Rx1day) و حداکثر پنج روز بارش (Rx5day) هستند، ج) نمایه‌های آستانه‌ای: نمایه‌هایی هستند که تعداد روزهایی که میزان بارش یا دما از یک آستانه کمتر یا بیشتر باشد، را اندازه‌گیری می‌کنند و شامل تعداد روزهای با بارش سنگین (R10) و تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین (R20) هستند، د) نمایه‌های دوره‌ای: این نمایه‌ها دوره‌های گرم، سرد، مرطوب و خشکی زیاد از حد در طول فصل رشد یا دوره‌های عادی را می‌سنجند و شامل روزهای خشک متوالی (CDD) است و پ) نمایه‌های دیگر که در هیچ‌یک از گروه‌های بالا نمی‌گنجد اما تغییرات آن‌ها می‌تواند اثرات اجتماعی عمده‌ای داشته باشند. مجموع بارش سالیانه (PRCPTOT) جز این گروه است.

محاسبه شاخص‌ها

در این تحقیق، شاخص‌ها توسط نرم‌افزار RclimDex برآورد شد. نرم‌افزار RclimDex توسط بخش تحقیقات اقلیمی هواشناسی کانادا در محیط R 1.84 تهیه شده که، منوط به نصب و راه‌اندازی زبان برنامه‌نویسی R می‌باشد. در این نرم‌افزار قبل از محاسبه شاخص‌ها، داده‌ها توسط نرم‌افزار کنترل کیفی شده و اطلاعات نادرست مانند بارندگی منفی و یا بزرگ‌تر یا مساوی بودن دمای حداقل از حداکثر چک شده و داده‌های پرت بررسی می‌شود. سپس شاخص‌های اقلیمی از داده‌های روزانه توسط نرم‌افزار RclimDex محاسبه می‌شود. هشت شاخص بارندگی توسط این نرم‌افزار در مقیاس‌های سالانه محاسبه شد (جدول ۲). این شاخص‌ها در سطح معناداری ۰/۰۵ برآورد می‌گردد. هدف از فرآیند ETCCDMI تعیین مجموعه استاندارد از شاخص‌هایی است که بتوان توسط آن ویژگی‌های مناطق مختلف را بررسی و مقایسه نمود. با استفاده از این نرم‌افزار

از روند تغییرات دما و بارش را دارند. تحلیل این شاخص‌ها در کشورها و مناطق مختلف متناسب با شرایط آن‌ها متفاوت است (Alexander et al., 2006). مرکز مطالعات تغییر اقلیم (CLIVAR⁹) در سال ۱۹۹۸ مطالعات گسترده‌ای در قسمت‌های مختلف جهان انجام داد و شاخص‌های مختلفی برای دما مانند فراوانی داده‌ها بر اساس صدک‌های حداقل و حداکثر دما، ارائه نمود. بیشتر تحلیل‌های شاخص‌های حدی بارش از نیمه دوم قرن بیستم زمانی که سازمان هواشناسی جهانی (WMO¹⁰) تکنیک مطالعه سری‌های زمانی را یکی از رهیافت‌های مطالعاتی خود معرفی نمود در مقیاس‌های مختلف زمانی انجام شد (Klein Tank et al., 2003).

شاخص‌های منتخب

Alexander et al., (2006) ۱۶ شاخص دمایی و ۱۱ شاخص بارشی را برای تغییرات اقلیمی معرفی کرده‌اند که تمام پارامترهای موردنظر از طرف ETCCDMI معرفی شده‌اند و استفاده از هر یک از این شاخص‌ها متناسب با شرایط اقلیمی حاکم بر مناطق مختلف جهان متفاوت است و هر محقق با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه یک سری از این شاخص‌ها را مورد مطالعه قرار می‌دهد. لذا به منظور ارائه تحلیل دقیق‌تر از پراکندگی مکانی- زمانی فرین‌های بارش و با توجه به شرایط اقلیمی در حوضه آبریز مورد مطالعه، از بین شاخص‌هایی که موسسه ETCCDMI و CLIVAR معرفی کرده است، همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، هشت شاخص بارش انتخاب گردید که این شاخص‌های انتخابی بسیاری از جنبه‌های تغییر در بارش را پوشش می‌دهند. این شاخص‌ها را می‌توان در پنج گروه طبقه‌بندی کرد (Alexander et al., 2006): الف) شاخص‌های صدکی: این شاخص‌ها شامل روزهای مرطوب (R95) و روزهای بسیار مرطوب (R99p)

⁹ project on Climate Variability and Predictability

¹⁰ World Meteorological Organization

شاخص‌ها محاسبه شده و نمودارهای هر شاخص شامل نمودار روند و میانگین متحرک آن در هر نمودار ایجاد شد.

حداکثر یک روز بارش (Rx1day)

شکل (۲- الف) نرخ دامنه حداکثر یک روز بارش (Rx1day) حاصل از داده‌های شبکه‌ای AgMERRA را در حوضه آبریز بختگان نشان می‌دهد. دامنه تغییرات این شاخص در قسمت‌های مختلف حوضه از ۱/۱۸۶- تا ۰/۲۱۷ می‌باشد. این شاخص در قسمت شرقی حوضه دارای روند افزایشی و در سایر قسمت‌های حوضه دارای روند کاهشی است. در تحلیل ایستگاهی نیز ایستگاه سد درودزن و علی‌آباد کمین روندهای مثبت به ترتیب با شیب‌های ۰/۶۳ و ۰/۳۲ و ایستگاه شیراز روند منفی با شیب ۰/۶- از خود نشان داده‌اند (شکل ۳، ۴ و ۵). روند کاهشی شاخص مذکور با نتایج مطالعه Rahimzadeh et al., (2009) همخوانی دارد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از برآورد شاخص‌های حدی بارش برای حوضه آبریز بختگان به شرح زیر و در دو بخش تحلیل شبکه‌ای و تحلیل ایستگاهی است. نتایج روند شاخص‌های Rx1day، Rx5day، PRCP TOT، CDD، R10 و R20 حاصل از تحلیل داده‌های شبکه‌ای AgMERRA در شکل (۱) می‌توان دید. شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) روند شاخص‌های فرین بارش را به ترتیب در ایستگاه‌های شیراز، سد درودزن و علی‌آباد کمین نشان می‌دهد. شکل (۶) روند شاخص‌های R95 و R99 حاصل از تحلیل داده‌های شبکه‌ای AgMERRA را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نمایه‌های فرین بارش

نمایه	تعریف	یکا
Index	Definition	Unit
Rx1day	بارش روزهایی که در ماه حداکثر ۱ روز بارندگی دارند	میلی‌متر mm
Rx5day	بارش روزهایی که در ماه حداکثر ۵ روز متوالی بارندگی دارند	میلی‌متر mm
PRCPTOT	مجموع بارش سالیانه روزهایی که بارش آن‌ها ≥ 1 میلی‌متر باشد	میلی‌متر mm
CDD	روزهایی که بارندگی آن‌ها مساوی و یا کمتر از ۱ میلی‌متر است	روز Day
R10mm	فراوانی روزهایی که بارندگی آن‌ها مساوی و یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر است	روز Day
R20mm	فراوانی روزهایی که بارندگی آن‌ها مساوی و یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر است	روز Day
R95p	مجموع میانگین بارشی که از صدک ۹۵ام بیشتر باشد	درصد %
R99p	مجموع میانگین بارشی که از صدک ۹۹ام بیشتر باشد	درصد %
	Extremely wet days: annual total PRCP when RR > 99th percentile	%

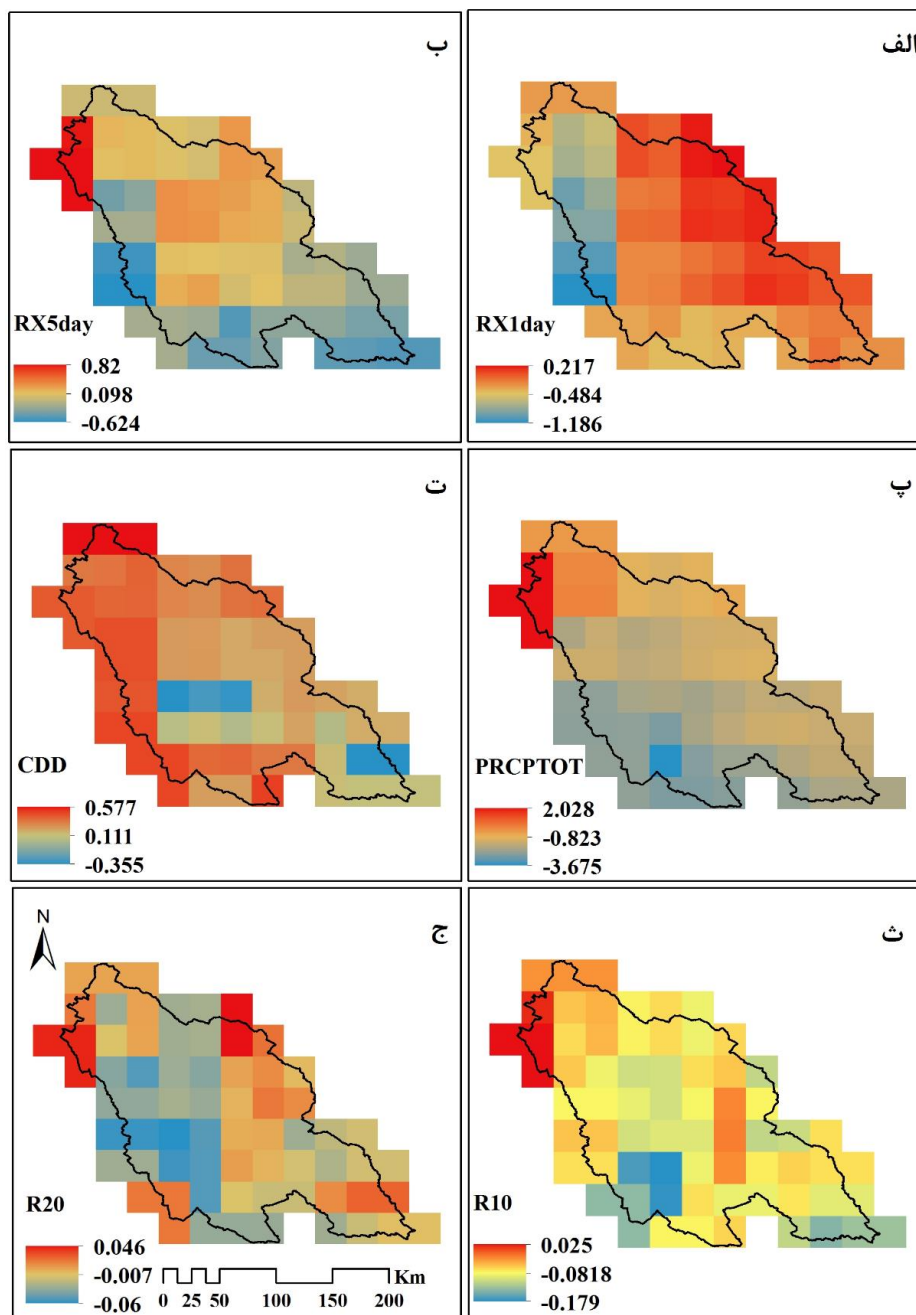
حداکثر پنج روز بارش (Rx5day)



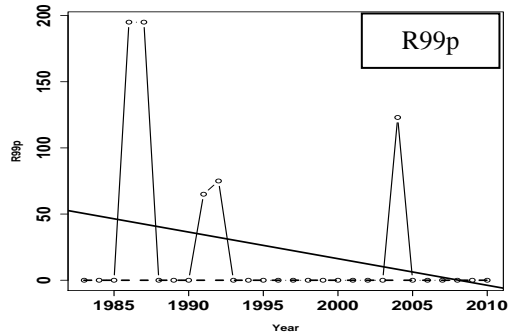
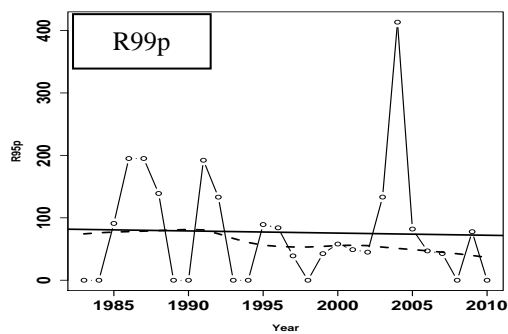
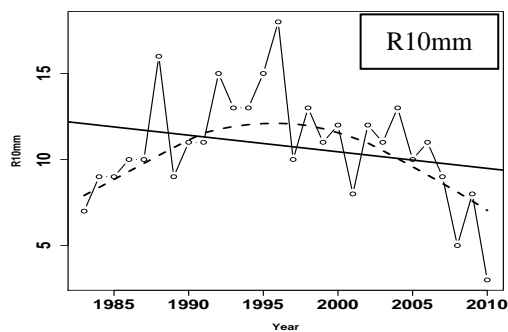
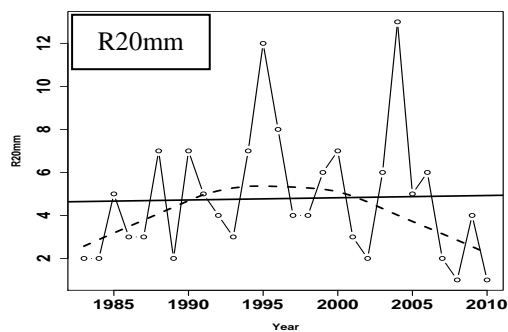
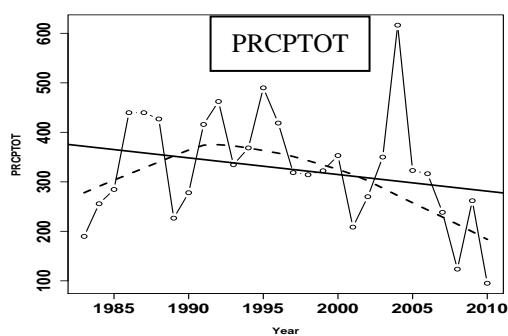
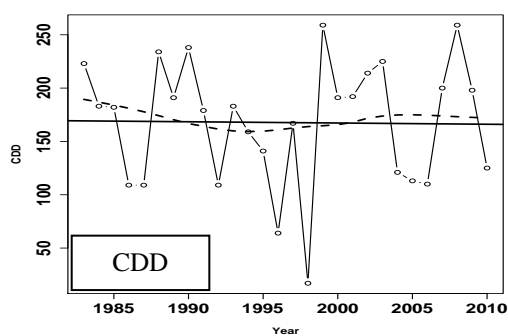
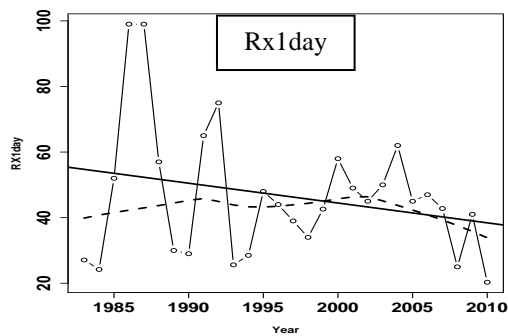
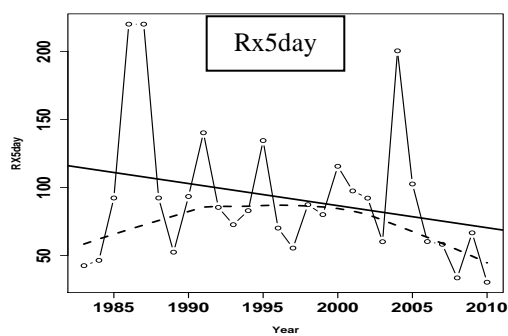
مجموع بارش سالیانه (PRCPTOT)

شکل (۲- پ) نرخ دامنه مجموع بارش سالیانه (PRCPTOT) حاصل از داده‌های شبکه‌ای AgMERRA را در حوزه آبریز بختگان نشان می‌دهد. دامنه تغییرات این شاخص در قسمت‌های مختلف حوزه از ۰/۶۲۴- تا ۰/۸۲ متغیر می‌باشد. این شاخص در نواحی شمالی و مرکزی حوزه دارای روند افزایشی و در سایر قسمت‌های حوزه دارای روند کاهش است. لذا شدیدترین روندهای کاهش در قسمت‌های غربی و جنوبی و بیشترین روند افزایشی در قسمت شمال غربی حوزه مشاهده می‌شود. در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) روندهای شاخص Rx5day به ترتیب برای ایستگاه‌های شیراز، سد درودزن و علی‌آباد کمین آورده شده است. این نتایج بیانگر آن است که در تحلیل ایستگاهی نیز ایستگاه سد درودزن و علی‌آباد کمین روندهای مثبت به ترتیب با شیب‌های ۱/۲۱ و ۰/۷۳ و ایستگاه شیراز روند منفی با شیب ۰/۱۶۲- از خود نشان داده‌اند. روند کاهش شاخص مذکور با نتایج مطالعه Rahimzadeh et al., (2009) و Parak et al., (2015) همخوانی دارد.

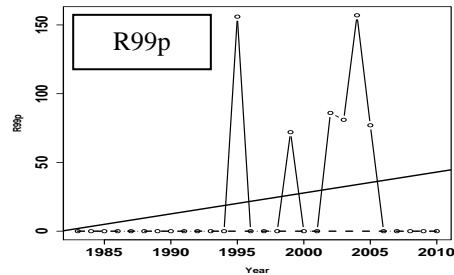
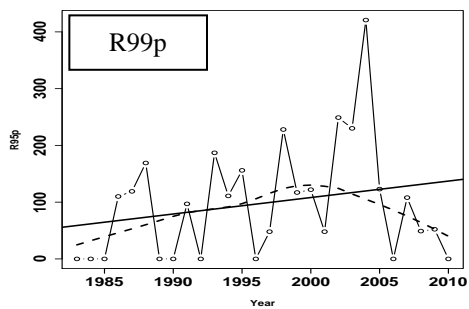
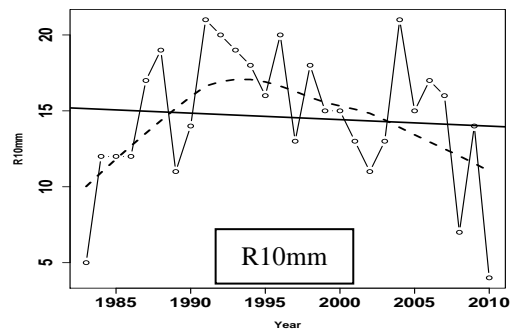
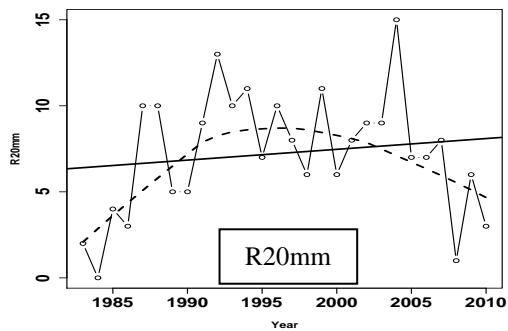
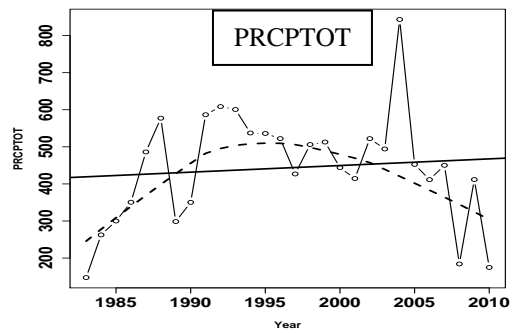
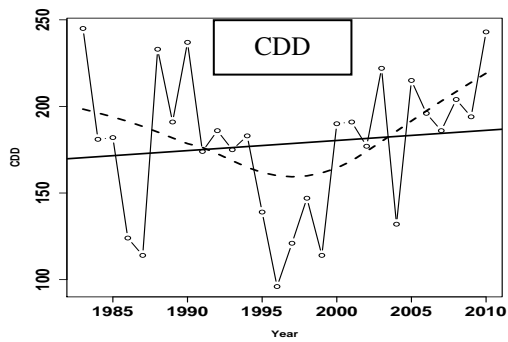
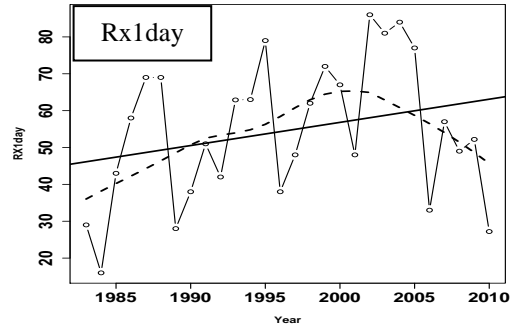
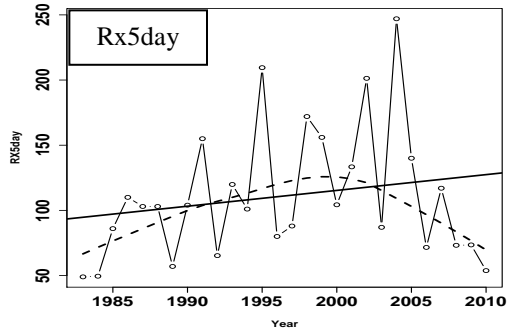
شکل (۲- ب) نرخ دامنه‌ی حداکثر پنج روز بارش (Rx5day) حاصل از داده‌های شبکه‌ای AgMERRA را در حوزه آبریز بختگان نشان می‌دهد. دامنه تغییرات این شاخص در قسمت‌های مختلف حوزه از ۰/۶۲۴- تا ۰/۸۲ متغیر می‌باشد. این شاخص در نواحی شمالی و مرکزی حوزه دارای روند افزایشی و در سایر قسمت‌های حوزه دارای روند کاهش است. لذا شدیدترین روندهای کاهش در قسمت‌های غربی و جنوبی و بیشترین روند افزایشی در قسمت شمال غربی حوزه مشاهده می‌شود. در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) روندهای شاخص Rx5day به ترتیب برای ایستگاه‌های شیراز، سد درودزن و علی‌آباد کمین آورده شده است. این نتایج بیانگر آن است که در تحلیل ایستگاهی نیز ایستگاه سد درودزن و علی‌آباد کمین روندهای مثبت به ترتیب با شیب‌های ۱/۲۱ و ۰/۷۳ و ایستگاه شیراز روند منفی با شیب ۰/۱۶۲- از خود نشان داده‌اند. روند کاهش شاخص مذکور با نتایج مطالعه Rahimzadeh et al., (2009) همخوانی دارد.



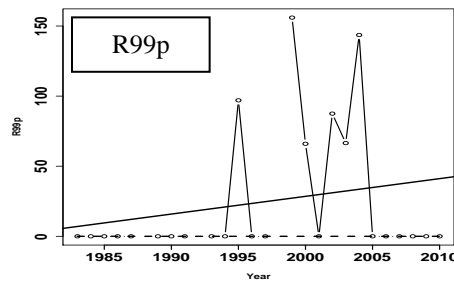
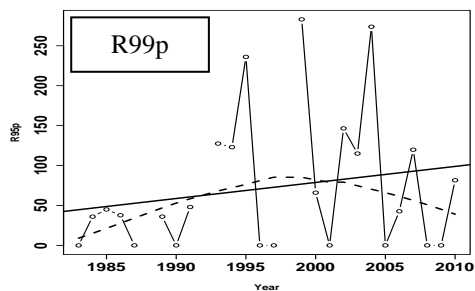
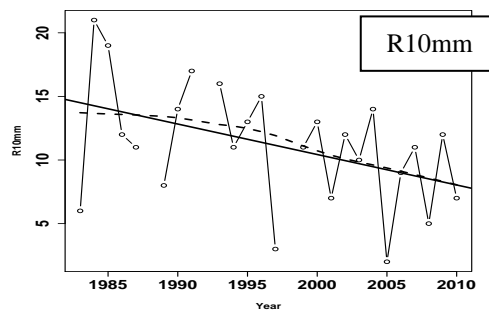
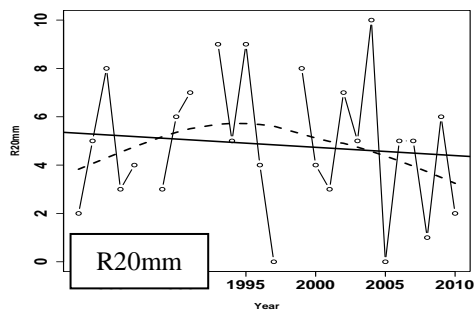
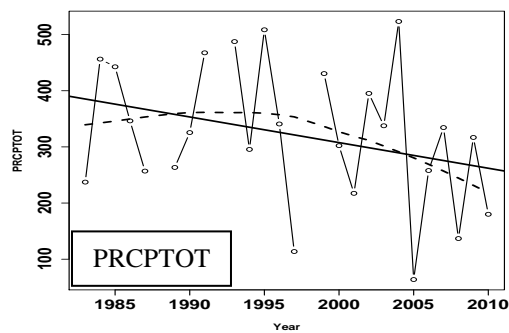
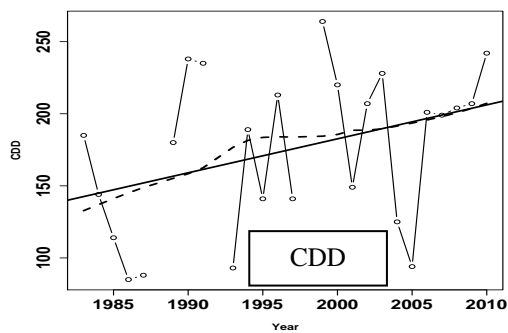
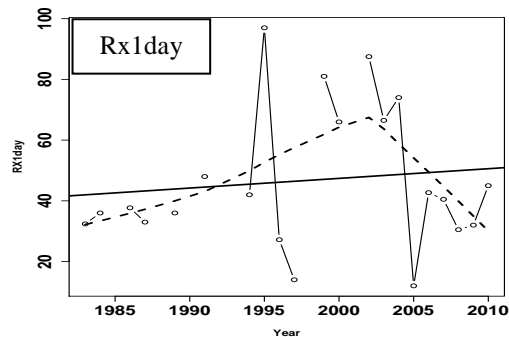
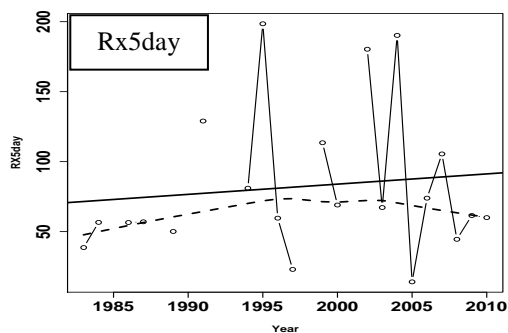
شکل (۲): روند شاخص‌های $Rx5day$, $Rx1day$, $PRCPTOT$, CDD , $R10$ و $R20$ حاصل از تحلیل داده‌های شبکه‌ای AgMERRA در حوزه آبریز بختگان



شکل (۳): روند شاخص‌های فرین بارش در ایستگاه شیراز طی دوره‌ی مطالعه



شکل (۴): روند شاخص‌های فرینبارشدر ایستگاه سد درود زن طی دوره‌ی مطالعه



شکل (۵): روند شاخص‌های فرین بارش در ایستگاه علی آباد کمین طی دوره‌ی مطالعه

روزهای خشک متوالی (CDD¹¹)

شکل (۲-ت) نرخ دامنه‌ی شاخص روزهای خشک متوالی (CDD) حاصل از داده‌های شبکه‌ای AgMERRA را در حوضه آبریز بختگان نشان می‌دهد. دامنه تغییرات این شاخص در قسمت‌های مختلف حوضه از ۰/۰۴۴- تا ۰/۵۷۷+ متغیر می‌باشد. این نتایج حاکی از این است که این شاخص به‌طور کلی در کل حوضه (به‌جز بخش کوچکی در مرکز و شرق حوضه) در طول دوره مورد مطالعه روند افزایشی دارد. شدیدترین روندهای افزایشی در قسمت‌های غربی حوضه مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل ایستگاهی برای این شاخص نیز حاکی از این است که ایستگاه‌های سد درود زن و علی آباد کمین دارای روند افزایشی و ایستگاه شیراز دارای روند کاهش در طی دوره مورد مطالعه می‌باشند (شکل ۳، ۴ و ۵). بیشترین روزهای خشک متوالی در ایستگاه‌های شیراز، سد درودزن و علی آباد کمین به ترتیب ۲۵۹ روز در سال ۲۰۰۸، ۲۴۵ روز در سال ۱۹۸۳ و ۲۶۴ روز در سال ۱۹۹۹ مشاهده شد. در بین ایستگاه‌های مطالعاتی، مقدار خشکی ایستگاه علی‌آباد کمین با در نظر گرفتن نزدیکی به مرز استان‌های یزد و کرمان (اقلیم نیمه‌خشک) بالا رفته و باعث تبخیر و تعرق زیادی شده است. در نتیجه، شاخص روزهای متوالیاً خشک روند افزایشی را نشان می‌دهد. افزایش روزهای متوالیاً خشک منجر به بروز حساسیت در مواردی مانند تأثیر بر اکوسیستم‌های گیاهی و آبی و احتمال خطر نابودی، کاهش مقدار بخار آب موجود در اتمسفر و تأثیر در فراوانی روزهای مرطوب، ایجاد بحران برای بخش کشاورزی، تهدید منابع آب، تهیه انرژی (هیدرولوژی)، سلامت انسان، تأثیر بر سکونت‌گاه‌ها و افزایش میزان مهاجرت می‌شود.

تعداد روزهای با بارش سنگین (R10)

نتایج برآورد شاخص تعداد روزهای با بارش سنگین (R10) حاصل از داده‌های شبکه‌ای AgMERRA در حوضه آبریز بختگان در شکل (۲-ث) نشان داده شده است. دامنه تغییرات این شاخص در قسمت‌های مختلف حوضه از ۰/۱۷۹- تا ۰/۰۲۵+ متغیر می‌باشد. نتایج حاکی از این است که این شاخص به‌جز ناحیه کوچکی در شمال غربی حوضه، در تمامی نواحی حوضه دارای روند کاهش است. شدیدترین روندهای کاهش در قسمت‌های جنوب غربی حوضه مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل ایستگاهی نیز نشان داد که در هر سه ایستگاه‌های شیراز، سد درودزن و علی آباد کمین این شاخص دارای روند کاهش در طی دوره مورد مطالعه است (شکل ۳، ۴ و ۵). فراوانی تعداد روزهای همراه با بارندگی سنگین در ایستگاه‌های شیراز، سد درودزن و علی‌آباد کمین در طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه به ترتیب ۳۰۲، ۴۰۸ و ۲۷۹ روز است.

تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین (R20)

شکل (۲-ج) نرخ دامنه‌ی شاخص تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین (R20) حاصل از داده‌های شبکه‌ای AgMERRA را در حوضه آبریز بختگان نشان می‌دهد. دامنه تغییرات این شاخص در قسمت‌های مختلف حوضه از ۰/۰۰۶- تا ۰/۰۴۶+ متغیر می‌باشد. این شاخص نیز مانند R10 به‌جز ناحیه کوچکی از شمال غربی حوضه، در اکثر نواحی حوضه دارای روند کاهش است و شدیدترین روندهای کاهش در قسمت‌های جنوب غربی حوضه مشاهده می‌شود. تحلیل ایستگاهی نیز حاکی از این است که ایستگاه‌های شیراز و سد درود زن دارای روند افزایشی به ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۰۶۳ و ایستگاه علی آباد کمین دارای روند کاهش ۰/۰۳۴- در طی دوره مورد مطالعه می‌باشند. (شکل ۳، ۴ و ۵). روند کاهش شاخص مذکور با نتایج مطالعات Rahimzadeh et al., (2009) و برنا و جهان (۱۳۹۴) همخوانی دارد.

¹¹ Consecutive dry days

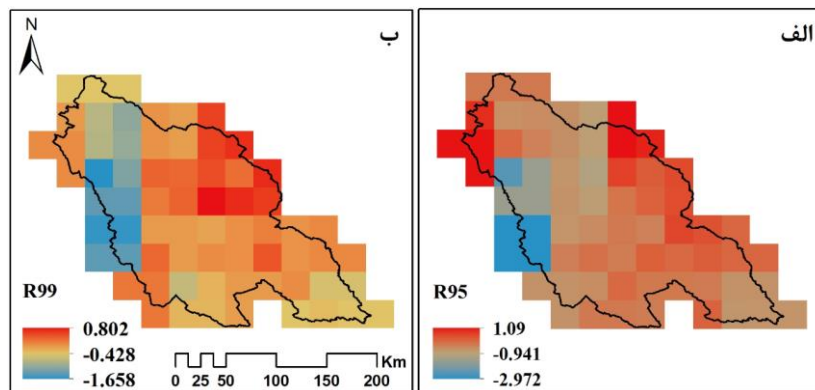


در حوزه آبریز بختگان نشان می‌دهد. تحلیل آماری نشان از روندهای افزایشی و کاهش‌ی در دو شاخص روزهای مرطوب (R95) و روزهای بسیار مرطوب (R99p) در سطح حوضه آبریز دریاچه‌ی بختگان دارد. در بررسی ایستگاهی نیز نتایج حاکی از آن است که هر دو شاخص در ایستگاه‌های سد درودزن و علی‌آباد کمین روند افزایشی و در ایستگاه شیراز روند کاهش‌ی دارند (شکل ۳، ۴ و ۵).

فراوانی تعداد روزهای همراه با بارندگی بسیار سنگین در ایستگاه‌های شیراز، سد درودزن و علی‌آباد کمین در طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه به ترتیب ۱۳۴، ۲۰۳ و ۱۲۱ روز است.

روزهای مرطوب (R95p) و روزهای بسیار مرطوب (R99p)

شکل (۶- الف و ب) نرخ دامنه‌ی شاخص‌های روزهای مرطوب (R95) و روزهای بسیار مرطوب (R99p) حاصل از داده‌های شبکه‌ای AgMERRA را



شکل (۶): روند شاخص‌های R95 و R99 حاصل از تحلیل داده‌های شبکه‌ای AgMERRA در حوضه آبریز بختگان

شاخص‌های حداکثر یک روز بارش (Rx1day)، حداکثر پنج روز بارش (Rx5day)، تعداد روزهای با بارش سنگین (R10) و تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین (R20) و مجموع بارش سالیانه (PRCPTOT) در بیشتر نواحی حوضه و به‌طور مشترک در قسمت‌های جنوب و غرب حوضه روندهای کاهش‌ی را نشان دادند. شاخص روزهای خشک متوالی (CDD) با کاهش بارش نیز افزایش‌یافته است و به‌طور کلی در کل حوضه (به‌جز بخش کوچکی در مرکز و شرق حوضه) در طول دوره مورد مطالعه روند افزایشی را نشان داد. شاخص‌های روزهای مرطوب (R95) و روزهای بسیار مرطوب (R99p) روندهای افزایشی و کاهش‌ی در قسمت‌های مختلف حوضه نشان دادند و نتایج نشان‌دهنده کاهش آن‌ها در سال‌های آخر دوره مورد مطالعه بود. به‌طور کلی

نتیجه‌گیری

تغییرات در تغییرپذیری و فراوانی رخداد‌های حدی می‌تواند آسیب‌های شدیدتری را نسبت به تغییرات در میانگین ویژگی‌های اقلیمی داشته باشد، همچنین انسان و محیط‌زیست به‌طور عمده به تغییرات حداکثرها و حداقل‌ها بیشتر از تغییرات شرایط میانگین واکنش نشان می‌دهند. بنابراین تجزیه و تحلیل تغییرپذیری و بررسی روند مقادیر حدی، حداکثرها و حداقل‌ها، مهم‌تر از شرایط متوسط اقلیمی است. هدف از این تحقیق شناسایی تغییر اقلیم در حوضه آبریز بختگان با استفاده از نمایه‌های پیشنهادشده‌ی گروه متخصصین شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها بود. بر اساس نتایج شاخص‌های حدی بارش، حوضه آبریز بختگان تغییرات بارشی در طی ۳۰ سال دوره مطالعه تجربه کرده است.



بارش در طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بشر، مانند کشاورزی، عمرانی، محیط‌زیست و مدیریت منابع آب، ضرورت دارد که تأثیرات این رخدادهای حدی اقلیمی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های آینده در بخش‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد.

نتایج نشان دهنده افزایش روند روزهای خشک و کاهش روند روزهای با بارش سنگین در حوضه آبریز بختگان است که با نتایج مطالعات پیشین از جمله برنا و جهان (۱۳۹۴) در استان بوشهر، (Parak et al., 2015) در ایران و (Tan et al., 2019) در مالزی همخوانی دارد. با توجه به اثر مقدار و تغییرات نمایه‌های حدی

منابع

- احمدی، م.، لشکری، ح.، آزادی، م. و کیخسروی، ق. ۱۳۹۴. آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ. نشریه پژوهش‌های دانش زمین، سال ششم، شماره ۲۳، ص ۳۴-۵۲.
- آقابگی، ن.، اسمعیلی عوری، ا.، مصطفی زاده، ر. و گلشن، محمد. ۱۳۹۸. اثرات تغییر اقلیم بر رواناب با مدل هیدرولوژیکی IHACRES در برخی از حوزه‌های آبخیز استان اردبیل. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره دهم، شماره ۲، ص ۱۸۱-۱۹۲.
- برنا، ر. و جهان، آ. ۱۳۹۴. مطالعه روند تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش در جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: استان بوشهر). فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال هشتم، شماره ۲۸، ص ۴۳-۶۳.
- دارند، م. ۱۳۹۳. واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به‌عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۲، ص ۱-۲۹.
- دالایی، ح.، فرج‌زاده، م. و گندمکار، ا. ۱۳۹۵. تحلیل آسیب‌پذیری شهرهای کشور از شاخص‌های حدی بارشی در دوره (۱۹۸۱-۲۰۱۰). فصلنامه علمی-پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، سال نهم، شماره ۱، ص ۱۵۲-۱۳۹.
- کیانی قلعه سرد، س.، شهرکی، جواد، اکبری، احمد، سردار شهرکی، علی. (۱۳۹۸). بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر مصرف آب کشاورزی و ذخایر منابع آب ایران. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، (۱)۱۰، ص ۱۲۰-۱۰۸.
- محمدی، ح. و تقوی، ف. ۱۳۸۶. روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، ص ۱۷۲-۱۵۱.

Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., . . . Rahimzadeh, F. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).

Data, C. 2009. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. World Meteorological Organization.

Ghazanfari, M. M., Alizadeh, A., Mousavi, B. S., Faridhosseini, A., and Bannayan, A. M. 2011. Comparison the PERSIANN Model with the Interpolation Method to Estimate Daily Precipitation (A Case Study: North Khorasan). *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 25(1):207-215.

Hess, J. J., Malilay, J. N., and Parkinson, A. J. 2008. Climate change: the importance of place. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5): 468-478.

Klein Tank, A., and Können, G. 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *Journal of climate*, 16(22): 3665-3680.

Lashkari, A., Bannayan, M., Koocheki, A., Alizadeh, A., Choi, Y., and Park, S. 2016. Applicability of agmerra forcing dataset forgap-filling of in-situ meteorological observation, case study: Mashhad plain. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 29(6): 1749 -1758.



Parak, F., Roshani, A., & Jamali, J. B. 2015. Trends and anomalies in daily climate extremes over Iran during 1961–2010. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 2(11): 1-17.

Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., and Plummer, N. 2001. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs: World Meteorological Organization Geneva.

Rahimzadeh, F., Asgari, A., and Fattahi, E. 2009. Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(3): 329-343.

Sadras, V. O. 2003. Influence of size of rainfall events on water-driven processes. I. Water budget of wheat crops in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54(4): 341-351.

Salehnia, N., Alizadeh, A., Sanaeinejad, H., Bannayan, M., Zarrin, A., and Hoogenboom, G. 2017. Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of Arid Land*, 9(6): 797-809.

Tan, M. L., Samat, N., Chan, N. W., Lee, A. J., & Li, C. 2019. Analysis of precipitation and temperature extremes over the Muda River Basin, Malaysia. *Journal of Water*, 11(2), 283.

Tong, S., Li, X., Zhang, J., Bao, Y., Bao, Y., Na, L., and Si, A. 2019. Spatial and temporal variability in extreme temperature and precipitation events in Inner Mongolia (China) during 1960–2017. *Journal of Science of the total environment*, 649: 75-89.

Worku, G., Teferi, E., Bantider, A., and Dile, Y. T. 2019. Observed changes in extremes of daily rainfall and temperature in Jemma Sub-Basin, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 135(3-4): 839-854.



Precipitation Extremes Variability Trend in Bakhtegan Catchment Using AgMERRA and Stations Data

Leila Jowkar¹, Fatemeh Panahi², Seyed Jawad Sadatinejad³, Alireza Shakiba⁴

Abstract

This study was aimed to investigate Precipitation Extremes variability in Bakhtegan Basin. Climate data corresponding to Bakhtegan basin was extracted from AgMERRA dataset for the study time period (1980-2010) using R software. Daily precipitation data was also extracted from the meteorological stations data archive in the basin during the study period. Rx1day, Rx5day, PRCPTOT, CDD, R10mm, R20mm, R95p and R99p indices were selected and calculated to study climate change in the region. RX1day results with the changes trend of -1.186 to 0.217, RX5day, -0.624 to 0.82, R10, -0.179 to 0.025, R20, -0.06 to 0.046 and PRCPTOT, -3.675 to 2.028 showed a decreasing trend in catchment's most parts and jointly in the catchment's southern and western parts. Decreasing precipitation, the consecutive dry days (CDD) increased and generally showed an increase throughout the basin (except for a small section in the catchment's central and eastern parts). The most consecutive dry days were observed 259 days in 2008, 245 in 1983 and 264 in 1999 in Shiraz, Doroudzan Dam and Aliabad Kamin stations, respectively. Both R95p and R99p indices illustrated increasing and decreasing trends in different parts of the basin.

Keywords: Climate change, Climate extremes, Precipitation extreme, Bakhtegan.

¹ PhD Student, Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan.

² Assistant Professor, Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan. Email: : fatima.panahi@gmail.com. * Corresponding author

³ Associate Professor, Department of Renewable Energy and the Environment, Tehran University.

⁴ Associate Professor, Faculty of Earth Science, Department of Remote Sensing and GIS, Shahid Beheshti University.



Precipitation Extremes Variability Trend in Bakhtegan Catchment Using AgMERRA and Stations Data

Leila Jowkar¹, Fatemeh Panahi², Seyed Jawad Sadatinejad³, Alireza Shakiba⁴

Introduction

Global warming and climate change are undoubtedly of the most principle challenges managers have faced with in various sectors in the recent century. However, climate change itself would add to the complexity of this challenge in a not-too-distant future (WMO, 2009). The long-term annual climate variables averages, especially temperature and precipitation, are generally used as indicators for assessing climate change (Gautam et al., 2014). Therefore, the analysis of extreme temperature and precipitation time series helps to better understand past and future climatic variability (Peterson et al., 2001). In general, the spatial distribution of climate change effects is not homogeneous (Hess et al., 2008). Shortage in financial sources and difficulties in getting access to some areas have resulted in too little number of stations established and constructed in some regions in the world (Ghazanfari et al., 2001). So, gridded data or generated meteorological data would be used as an alternative in areas where meteorological data is unavailable (Sadras, 2003).

The main aim of this study was to investigate the spatio-temporal variability of precipitation extreme indices on the basis of the stations data and gridded dataset analyses over the Bakhtegan-Maharloo basin in Iran from 1980 to 2010.

Methodology

To carry out this research, climatic data related to Bakhtegan-Maharloo basin was extracted from AgMERRA dataset for the study time period (1980-2010) using R software. Daily precipitation data was also extracted from the Meteorological Archive of meteorological stations located in the basin during the study period. Rx1day, Rx5day, PRCPTOT, CDD, R10mm, R20mm, R95p and R99p indices had been chosen from the indices recommended by Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) and calculated by RClimDex software package.

Discussion and Conclusion

The results of estimating the extreme precipitation indices for Bakhtegan catchment are as follows. RX1day results with the changes trend of -1.186 to 0.217, RX5day, -0.624 to 0.82, R10, -0.179 to 0.025, R20, -0.06 to 0.046 and PRCPTOT, -3.675 to 2.028 showed a decreasing trend in catchment's most parts and jointly in the catchment's southern and western parts. Decreasing precipitation, the consecutive dry days (CDD) increased and generally showed an increase throughout the basin (except for a small section in the catchment's central and eastern parts). The most consecutive dry days were observed 259 days in 2008, 245 in 1983 and 264 in 1999 in Shiraz, Doroudzan Dam and Aliabad Kamin stations, respectively. Both R95p and R99p indices illustrated increasing and decreasing trends in different parts of the basin.

The results of this study may contribute to a better understanding of regional precipitation behavior in the study area. Due to intensive impacts of precipitation extremes changes on

¹ PhD Student, Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

² Assistant Professor, Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran. Email: : fatima.panahi@gmail.com . * Corresponding author

³ Associate Professor, Department of Renewable Energy and the Environment, Tehran University, Tehran, Iran.

⁴ Associate Professor, Faculty of Earth Science, Department of Remote Sensing and GIS, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran..



human life, it is essential to speculate the effects of these extreme climatic events in future plannings in various sections.

The most important references

Data, C. 2009. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. World Meteorological Organization.

Gautam N, Arora M, Goel N. 2014. Prediction of Precipitation for Considering Climate Change and GCM Outputs: Satluj River. ECOPERSIA;2(4):757-65.

Ghazanfari MM, Alizadeh A, Mosavi BS, Faridhosseini A, Bannayan AM. 2011. Comparison the PERSIANN Model with the Interpolation Method to Estimate Daily

Hess JJ, Malilay JN, Parkinson AJ. 2008. Climate change: the importance of place. American Journal of Preventive Medicine;35(5):468-78.

Precipitation (A Case Study: North Khorasan). Iranian Journal of Journal of Water and Soil;25(1):207-15.

Sadras, V. O. 2003. Influence of size of rainfall events on water-driven processes. I. Water budget of wheat crops in south-eastern Australia. Australian Journal of Agricultural Research, 54(4): 341-351.