

تأثیر تغییر اقلیم بر شدت و دوره بازگشت خشکسالی‌های ایران

سید رضا الوانکار*^۱، ابراهیم فتاحی^۲ و فرزانه نظری^۳

(۱) عضو هیئت علمی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۲) عضو هیئت علمی پژوهشکده هواشناسی.

(۳) کارشناس ارشد اقلیم شناسی.

* نویسنده مسئول: Ralvankar@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۴

چکیده

در این مطالعه بر اساس مدل HadCM3 و دو سناریوی A1B، A2 برای دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره پیش‌بینی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) در مقیاس روزانه فرایند ریز مقیاس نمایی انجام شد و داده‌های مقادیر مجموع بارش روزانه برای ایستگاه‌های منتخب تولید شد. بعد از کالیبراسیون مدل و اطمینان از توانمندی مدل در ساخت سری‌های زمانی بارش که با مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر بارش در دوره پایه در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت پذیرفت، جهت بررسی وضعیت خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) به کار رفت. نتایج نشان داد که میزان بارش نسبت به دوره پایه طی دوره‌های آینده نزدیک تحت خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و دو سناریوی A1B، A2 تغییر معنی‌داری در بیش‌تر مناطق کشور خواهد داشت. بیش‌ترین درصد تغییر مربوط به جنوب شرقی کشور می‌باشد که برای هر سه تداوم زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه افزایش خشکسالی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که برای برای تداوم زمانی ۱۲ ماهه و ۵۰ ساله شدت خشکسالی دوره پایه ۱۳/۸۲ بوده ولی در دوره آتی سناریوی A2، ۱۵/۰۵ و در دوره آتی سناریوی A1B، ۱۸/۳۹ را نشان می‌دهد. در غرب و شمال کشور نیز به‌طور مشابه در کلیه تداوم‌های زمانی شدت خشکسالی در دوره‌های آتی بیش‌تر از دوره پایه است، به‌طوری‌که در دوره ۲۴ ماهه و دوره بازگشت ۵۰ ساله شدت خشکسالی پایه ۱۶/۳۱ ولی در دوره آتی A2، ۱۸/۶۵ و در دوره آتی A1B، ۱۹/۵۵ را نشان می‌دهد. در مناطق جنوب، مرکز و شرق کشور مقادیر شدت خشکسالی پایه و آتی با تداوم زمانی ۲۴ ماهه و در دوره برگشت ۵۰ ساله همگی حدود ۱۸/۸ بوده و شدت خشکسالی تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد. شدت خشکسالی در شمال غرب کشور و جنوب غرب کشور در هر سه تداوم زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره‌های آتی کم‌تر از دوره پایه خواهد بود، به‌طوری‌که در تداوم زمانی ۲۴ ماهه شدت خشکسالی با دوره برگشت ۵۰ ساله پایه ۲۳ ولی در دوره‌های آتی ۱۸/۴۴ را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: HadCM3، LARS-WG، خشکسالی، SPI و AOGCM.

مقدمه

یک موضوع بسیار مهم بررسی اثرات تغییر اقلیم در زمینه‌های مرتبط، نظیر وقایع حدی (فرین) در یک منطقه است. در رابطه با اینکه زبان آورترین اثرات تغییرات آب و هوایی به دلیل افزایش پتانسیل (درفرکانس و یاشدت) نمایه‌های حدی آب و هوایی و وقایع اقلیمی است اتفاق نظر وجود دارد. اگرچه وقایع حدی، به ندرت روی می‌دهند اما تأثیر مستقیمی بر مردم، کشورها و مناطق آسیب‌پذیر دارند (Sura, 2012). بستررخداد وقایع آب و هوایی حدی، شرایط دمایی و بارش‌های حدی است؛ بنابراین، بررسی داده‌های اقلیمی حدی امری ضروری به نظر می‌رسد (تقوی و محمدی ۱۳۸۶). هیئت بین دول تغییرات آب و هوایی (IPCC) در سومین گزارش ارزیابی خود (TAR 2001) پیش‌بینی کرد که در طول دوره ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰، متوسط دمای جهان ۱/۱ تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و بیش‌تر، فراوانی و شدت وقایع حدی اقلیمی (سیل، خشکسالی، و غیره) را متاثر خواهد ساخت. پس از آن گزارشی با عنوان "وقایع حدی رو به افزایش آب و هوایی" در سال ۲۰۰۳ توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) منتشر شد و بیان داشت که جهان تعداد بی سابقه‌ای از وقایع آب و هوایی حدی مانند خشکسالی و گردباد را تجربه کرده است و این وقایع همچنان رو به افزایش‌اند. دلایل وقوع وقایع حدی آب و هوایی و اقلیمی به دلیل نبود کردن زندگی انسان‌ها و افزایش هزینه‌های مرتبط با آن‌ها در چند سال اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است (Easterling, *et al.*, 2000)، زیرا می‌توانند اثرات عمده‌ای بر جامعه، اقتصاد و محیط زیست در پی داشته باشد (Manton *et al.*, 2001). علاوه بر این، اثرات اجتماعی و زیست محیطی این رویدادهای حدی در مقیاس محلی زیاد بوده و می‌تواند بخش‌ها و مناطق خاصی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. فعالیت‌های متعددی در سراسر جهان در رابطه با روند تغییرات نمایه‌های حدی دما و بارش انجام گرفته است. بر این اساس روند نمایه‌های حدی اقلیمی برپایه سری روزانه دما و بارش در اروپا برای دوره ۱۹۹۹-۱۹۴۶ با استفاده از مشاهدات بیش از ۱۰۰ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی قرار گرفته است در این بررسی متوسط شاخص فرین‌های مرطوب در دوره ۱۹۹۹-۱۹۴۶ برای بارش افزایش داشته، ولیکن این روند معنی دار نبوده است. اک سترومو همکاران (۲۰۰۵)، شبیه‌سازی‌هایی را برای بارش بیشینه در کشور انگلستان با مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای (RCM) انجام دادند (Ekstrom *et al.*, 2005). در این تحقیق برای تعیین تغییرات ممکن در بارش بیشینه خروجی مدل گردش عمومی HADCM3 تحت سناریوی انتشار A2 برای سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ مورد بررسی قرار دادند. در سطح کشور مساح یوانی و مرید (۱۳۸۴)، اثرات تغییر اقلیم روی دما و بارندگی و رواناب در حوضه آبریز زاینده رود اصفهان را با استفاده از مدل گردش عمومی اتمسفر HADCM3 تحت دو سناریوی B2, A2 در دو دوره سی ساله ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی مورد بررسی قرار دادند. نتایج در مجموع نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما در هر دو دوره بخصوص در دوره دوم داشت به

طوری که در طی این دوره‌ها، کاهش بارش به اندازه ۱۰ و ۱۶ درصد افزایش دما به میزان ۴/۶ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سناریوهای B2, A2 رخ خواهد داد. آذرانفر و ابریشم‌چی (۱۳۸۵)، اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما را در حوضه آبریز زاینده رود در دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ با استفاده از مدل گردش عمومی اتمسفر CGCM3 تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 با استفاده از کوچک مقیاس‌نمایی به روش آماری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده افزایش دما به اندازه ۵-۲ درجه سانتی‌گراد در دوره‌های آینده و همچنین افزایش بارش در ماه‌های دسامبر و ژانویه می‌باشد. بابائیان و همکاران (۱۳۸۷)، تغییرات اقلیمی استان خراسان رضوی را در افق ۱۴۰۰ شمسی با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار دادند نتیجه گرفتند که در مجموع بارش کل سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه (۱۹۸۸-۲۰۰۴) ده درصد کاهش خواهد یافت و علی‌رغم این کاهش، آستانه بارش-های سنگین و خیلی سنگین افزایش خواهد یافت و دمای دوره آتی به میزان ۸/۱ درجه بیشتر خواهد شد. عسگری و همکاران (۱۳۸۶) به منظور بررسی مقادیر حدی بارش، نمایه‌های حداکثر بارش یک روزه (Rx1day)، حداکثر بارش ۵ روز متوالی (Rx5day)، نمایه ساده شدت بارش (SDII)، تعداد روزهای با بارش مساوی و یا بیش‌تر از ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر (R25mm, R20mm, R10mm)، تعداد روزهای خشک متوالی (CDD)، تعداد روزهای تر متوالی (CWD)، جمع سالانه بارش روزهای خیلی تر (R95p)، جمع سالانه بارش روزهای فوق‌العاده تر (R99p)، جمع سالانه بارش روزهای تر (PRCPTOT)، محاسبه و روند تغییرات آن‌ها در دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱ بررسی شده است. به‌طور کلی هر سه حالت ایستا، روند مثبت و منفی از نمایه‌های فوق در سطح کشور مشاهده شد. اما در حالی که در برخی از مناطق مانند هرمزگان، اصفهان و تهران روند اکثر نمایه‌ها مثبت و در انطباق با یافته‌های هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) بوده در برخی مناطق مانند آذربایجان و فارس نیز روند اکثر نمایه‌ها منفی و بر خلاف آن تشخیص داده شده است. رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱ نتیجه گرفتند که نمایه‌های حدی چون روزهای یخبندان (FD)، روزهای یخی (ID)، روزهای سرد (TX10P)، شبهای سرد (TN10P)، و دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) در اغلب نقاط کشور دارای روند منفی است، که به عنوان مثال می‌توان به کاهش ۸ تا ۱۰ روز در دهه روزهای یخبندان در شمال شرق کشور اشاره نمود. نمایه‌هایی چون روزهای تابستانی (SU25)، روزهای گرم (TX90P)، و شب‌های گرم (TX90P)، نیز در اغلب نقاط کشور روند افزایشی داشته‌اند که به عنوان مثال می‌توان به افزایش ۵ تا ۷ روز در دهه روزهای گرم شیراز و تهران اشاره نمود. در مورد نمایه‌هایی چون طول مدت گرما و سرما (WSDI, CSDI) هر سه حالت روند مثبت، روند منفی و بدون روند دیده شده که بدین ترتیب نمی‌توان تغییرات مکانی و زمانی آن را مانند بقیه نمایه‌ها تفسیر نمود. به‌طور کلی روند نمایه‌ها جدا از موارد استثنایی، همسو با آخرین یافته‌های

هیات بین‌الدول تغییر اقلیم و مطالعات جهانی دیگر می‌باشد. بذر افشان و همکاران (۱۳۸۸)، عملکرد دو مدل LARS-WG و ClimGen در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در ایران را بررسی کردند که نتایج نشان داد عملکرد مدل LARS-WG در شبیه‌سازی بارش و تابش بهتر از ClimGen می‌باشد، اما در مورد دما عملکرد ClimGen بهتر از LARS-WG می‌باشد. گل محمدی و مساح (۱۳۹۰) با استفاده از بارندگی روزانه ۱۱ ایستگاه داخل و خارج از حوضه قره سو، سری زمانی روزانه میانگین بارندگی حوضه طی دوره پایه ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ میلادی را با روش عکس مربع فاصله در محیط ArcGIS محاسبه کردند. پس از آن شاخص SPI برای مقیاس‌های زمانی مختلف ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه حوضه تعیین نمودند. بارش حاصل از مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی برای منطقه به روش آماری کوچک مقیاس شد و وضعیت خشکسالی حوضه قره سو در این دوره برای دوره بازگشت‌های مختلف مشخص شد. مقایسه نتایج حاکی از این بود که در این حوضه طی این دوره شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. این کاهش شدت، در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد. این در حالی است که برای خشکسالی‌های ۲۴ ماهه با افزایش دوره بازگشت، شدت خشکسالی حوضه بیش از دوره پایه خواهد بود. بابائیان و کوهی (۱۳۹۱) به ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی پرداختند که نتایج نشان می‌دهد در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ طول دوره رشد در دو ایستگاه مشهد و سبزوار افزایش و در تربت حیدریه کاهش می‌یابد، اما در هر سه ایستگاه این شاخص در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ تا ۱۸/۶ روز افزایش خواهد یافت. تغییرات بارش در دوره‌ها و ایستگاهها متفاوت ارزیابی شد. در این مطالعه تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رژیم بارش ایران زمین و مشخصاً روند تغییرات فراوانی و شدت خشکسالی کشور تحت تأثیر تغییر اقلیم طی دهه‌های آتی مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از مدل مولد LARS - WG بر اساس مدل HadCM3 و تحت سناریوی انتشار A1B، A2 برای منطقه مورد مطالعه تهیه سپس داده‌های تولید شده (دوره‌های آتی) با استفاده از نمایه SPI محاسبه و در نهایت با اعمال روش تحلیل فراوانی بر سریهای زمانی دوره پایه و داده‌های حاصل از مدل‌های اقلیمی، شدت - فراوانی و دوره برگشت خشکسالی‌های دوره پایه و دهه‌های آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ محاسبه و ارزیابی می‌شود.

مواد و روش‌ها

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر از دو مرجع سازمان هواشناسی کشور و برون‌داد مدل‌های گردش عمومی جو جمع‌آوری شده است. در این پژوهش از داده‌های مجموع بارش روزانه سری‌های اقلیمی دمای حداقل، حداکثر، ساعات

آفتابی در مقیاس روزانه و برای ۲۷ ایستگاه که دارای داده‌های معتبر و طولانی مدت بودند جدول شماره ۳-۱ استفاده شده است. ویژگی‌ها و مشخصات داده‌ها و مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ و جدول ۲ آمده است. انتخاب ایستگاه‌های با توجه به در دسترس بودن داده‌های بارش، توزیع مناسب منطقه‌ای، هم دوره بودن اطلاعات ایستگاه‌ها در دوره‌های آماری انتخاب شده است. در تحقیق حاضر همچنین از داده‌های مجموع بارش ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب طی دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) برای پایش خشکسالی استفاده شد.

جدول ۱: ویژگی متغیرهای استفاده شده در تحقیق حاضر

ردیف	نام متغیر	مقیاس زمانی	دقت مکانی (درجه)	دوره پایه	مرجع
۱	مجموع بارش روزانه دمای حداقل، حداکثر، ساعات آفتابی	میانگین روزانه	در سطح ایستگاه	(۱۹۶۱-۱۹۹۰)	سازمان هواشناسی کشور
۲	مجموع بارش ماهانه	ماهانه	در سطح ایستگاه	(۱۹۶۱-۱۹۹۰)	سازمان هواشناسی کشور
۳	برونداد مدل‌های گردش عمومی جو	سالانه، ماهانه و روزانه	۲/۵*۲/۵	۱۹۶۱-۱۹۹۰ ۲۰۱۱-۲۰۴۰	برونداد مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs)

معرفی مدل LARS-WG

مدل LARS-WG مولد مصنوعی داده‌های آب و هوایی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان واحد تحت شرایط اقلیم حال و آینده بکار رود. خواص آماری داده‌های تولید شده مشابه دوره آماری بوده اما انحراف معیار آنها به نسبت اختلاف داده‌های مدل GCM در دوره آینده و گذشته پریشیده می‌شود. داده‌ها در سری‌های زمانی روزانه برای یک سری متغیرهای اقلیمی مناسب برای مثال بارش، دمای کمینه و بیشینه و تابش (مگاژول بر متر مربع) ایجاد می‌شوند. مدل‌های مولد مصنوعی داده‌های آب و هوایی برای دو هدف عمده توسعه یافته‌اند. ۱- تهیه میانگین سری‌های زمانی داده‌های مصنوعی شبیه‌سازی شده با مشخصات آماری مطابق با آماردیده بانی شده در یک

ایستگاه. دوره آماری طولانی مدت جهت کاربرد مدیریت ریسک در کشاورزی و هیدرولوژی بکار می رود، این داده‌ها از روی مدل های گردش عمومی جو بر اساس سناریوی اقلیمی پیش بینی برای دوره های آتی تهیه می شوند.

جدول شماره ۲: مشخصات ایستگاه های منتخب مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	وضعیت تغییرات ایستگاه
آبادان	۴۸-۱۵	۳۰-۲۲	۶	جابجایی بدون تغییر در طول و عرض جغرافیایی در سال ۱۹۸۵
اراک	۴۹-۴۶	۳۴-۰۶	۱۷۰۸	عدم دسترسی
ارومیه	۴۵-۰۵	۳۷-۳۲	۱۳۱۲	احداث پلات فرم جدید با ابعاد ۲۶*۲۶ و قطع درختان اطراف ایستگاه در سال ۱۹۸۴
اصفهان	۵۱-۵۲	۳۲-۴۰	۱۶۰۰	تغییر مکان به محل جدید ازن سنجی در سال ۱۹۹۴
بم	۵۸-۲۱	۲۹-۰۹	۱۰۶۶	تغییر مکان ایستگاه در سال ۱۹۸۴
انزلی	۴۹-۲۸	۳۷-۲۸	-۲۶	تغییر مکان ایستگاه در سال ۱۹۸۵
بندر عباس	۵۶-۲۲	۲۷-۱۳	۱۰	تغییر مکان از محل قدیم به محل جدید واقع در فرودگاه در سال ۱۹۷۰
بوشهر	۵۰-۵۰	۲۸-۵۹	۱۹	تغییر مکان به محل جدید واقع در فرودگاه در سال ۱۹۷۰
تبریز	۴۶-۱۷	۳۸-۰۵	۱۳۶۱	در سال ۱۹۸۳ پلانفرم استاندارد شده و از ساختمان اداری فاصله گرفته است
تهران	۵۱-۱۹	۳۵-۴۱	۱۱۹۰	بدون تغییر مکان
رامسر	۵۰-۴۰	۳۶-۵۴	-۲۰	بدون تغییر مکان
زاهدان	۶۰-۵۳	۲۹-۲۸	۱۳۶۹	تغییر مکان
زنجان	۴۸-۴۱	۳۶-۴۱	۱۶۶۰	عدم دسترسی به شناسه ایستگاه
شهرکرد	۵۰-۵۱	۳۲-۱۷	۲۰۶۱	تغییر مکان
قزوین	۵۰-۰۳	۳۶-۱۵	۱۲۷۸	احداث پلات فرم جدید با ابعاد ۲۶*۲۶ در سال ۱۹۸۴
بیرجند	۵۹-۱۲	۳۲-۵۲	۱۴۹۱	بدون تغییر مکان
دزفول	۴۸-۲۳	۳۲-۲۴	۱۴۳	عدم دسترسی به شناسه ایستگاه
خرم آباد	۴۸-۲۲	۳۳-۲۹	۱۱۲۵	در سال ۱۹۸۱ از مرکز شهر به داخل فرودگاه انتقال یافته است.
خوی	۴۴-۵۸	۳۸-۳۳	۱۱۰۳	در سال ۱۹۸۴ به محل جدید با اختلاف ارتفاع ۵۴ متری انتقال یافته است.
سندج	۴۷-۰۰	۳۵-۲۰	۱۳۷۳	در سال ۱۹۷۴ ایستگاه از داخل شهر به محل فرودگاه انتقال یافته و در سال ۱۹۸۸ در داخل فرودگاه جایجا شده و در حدود ۳۰۰ متر بالاتر از محل قبلی در جهت شمالی تغییر مکان داده است.
شاهرود	۵۴-۵۷	۳۶-۰۵	۱۳۴۵	ایستگاه تغییر مکان داشته است. هر چند در این تغییر مکان ها طول و عرض آن تغییر نکرده است ولی ارتفاع آن تغییر کرده است.
شیراز	۵۲-۳۶	۲۹-۳۳	۱۴۸۸	عدم دسترسی به شناسه ایستگاه
تربت حیدریه	۵۹-۱۳	۳۵-۱۶	۱۴۵۱	عدم دسترسی به شناسه ایستگاه
رشت	۴۹-۳۹	۳۷-۱۲	۳۷	در سال ۱۹۹۶ به محل جدید انتقال یافته است.
سقز	۴۶-۱۹	۳۶-۱۳	۱۵۲۲	عدم دسترسی به شناسه ایستگاه
کرمانشاه	۴۷-۰۷	۳۴-۱۹	۱۳۲۲	تغییر مکان در سال ۱۹۸۶
مشهد	۵۹-۳۸	۳۶-۱۶	۹۹۰	تغییر مکان در سال ۱۹۸۵
یزد	۵۴-۲۴	۳۱-۵۴	۱۲۳۰	عدم دسترسی به متا دیتا ایستگاه

۲- فراهم کردن میانگین های طولانی مدت سری های زمانی پارامتر های هواشناسی برای ایستگاههایی که دارای داده های گمشده بوده یا اینکه امکان دیده بانی در آنجا وجود نداشته باشد. نکته قابل توجه این است که مولدهای مصنوعی داده های آب و هوایی ابزاری برای پیش بینی نیستند، که بتوان در پیش بینی های آب و هوایی استفاده کرد. اما توانایی تولید سری های زمانی داده های آب و هوایی یکسان با دوره دیده بانی را دارند. در این روش با شبیه سازی و تولید داده های آب و هوایی مصنوعی در مقیاس محلی می توان مطالعات تغییر اقلیم را در یک ایستگاه انجام داد. در حال حاضر خروجی مدل های جهانی اقلیم (GCM) دقت مکانی و زمانی کمی دارند. یک مدل مولد مصنوعی داده های آب و هوا می تواند به-

عنوان یک ابزار محاسبه‌ای ارزان در تولید سناریوهای تغییر اقلیم چند ساله در مقیاس زمانی روزانه به کار رود (Semenov & Brooks, 1999). نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد (Racsko, 1999). هدف اصلی از این کار غلبه بر محدودیت‌های زنجیره مارکف در وقوع بارش بود. مدل‌های متداول در بسیاری موارد از روش‌هایی برای مدل‌سازی وقوع بارش استفاده می‌کنند که همیشه قادر نیستند شبیه‌سازی صحیحی از طول روزهای خشک انجام دهند. نسخه اصلاح شده مولد مصنوعی داده‌های آب و هوایی که اکنون LARS-WG نامیده می‌شود، در ساخت سناریوهای تغییر اقلیم در دو پروژه تحقیقاتی مهم اتحادیه اروپا به کار گرفته شد و اثرات تغییر اقلیم بر منابع بالقوه کشاورزی در اروپا به‌عنوان مثال CLATRE, CLIVARA تست شد. جزئیات بیش‌تر دقت بالای این سناریوهای تغییر اقلیم توسط زمنف و بارو ۱۹۹۷ انتشار یافته است (Semenov and Brow, 1997). جدیدترین نسخه LARS-WG به طور کامل بازبینی شد که در نتیجه آن یک مدل قوی برای تولید داده‌های مصنوعی آب و هوایی برای محدوده‌های وسیعی از اقلیم ایجاد شد. مراحل تولید ریزمقیاس‌نمایی و تولید داده‌ها با استفاده از مدل LARS-WG به این شرح می‌باشد. ۱- جمع‌آوری داده‌های روزانه مربوط به کمیت‌های دمای کمینه روزانه، دمای بیشینه روزانه، مجموع بارش روزانه، و تابش روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری پایه ۹۰-۱۹۶۱. ۲- تشکیل فایل ورودی بر اساس فرمت مدل LARS-WG به طوری که هر متغیر در یک ستون قرار می‌گیرد و روزها بر اساس تاریخ ژولیوسی مرتب می‌شوند. ۳- مرحله کالیبراسیون مدل که در بخش Site Analysis مدل انجام می‌شود. در این بخش داده‌های دیدبانی شده مورد تحلیل و آنالیز قرار می‌گیرد. ۴- مرحله اعتبارسنجی مدل که در بخش Q-test انجام می‌شود. در این مرحله ویژگی‌های آماری داده‌های دیدبانی شده توسط مدل، جهت تعیین تفاوت‌های آماری مورد تحلیل قرار می‌گیرد. به عبارتی در این مرحله توانایی مدل برای شبیه‌سازی داده‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرد. در این مرحله داده‌های تولید شده توسط مدل با داده‌های دیدبانی شده مورد مقایسه قرار می‌گیرد، بطوری که داده‌های دیدبانی شده با داده‌های تولید شده با استفاده از آزمون Chi-square و آزمون T-test و F-test مورد تحلیل قرار می‌گیرد. ۵- مرحله تولید داده‌ها Generator در این مرحله به شرط مناسب بودن و معنی دار بودن نتایج بخش اعتبارسنجی، داده‌های مصنوعی بر اساس سری‌های آب و هوایی دوره پایه (دوره دیدبانی شده) برای دوره‌های آتی و بر اساس مدل‌های و سناریوهای منتخب انجام می‌شود.

شاخص استاندارد شده بارش (SPI)

کمبود بارش بر رطوبت خاک، جریان سطحی، ذخیره منابع و سطح آب‌های زیرزمینی و غیره در مقیاس‌های زمانی متفاوت اثر می‌گذارد. در مقیاس زمانی کوتاه مدت، این کمبود عمدتاً بر روی وضعیت رطوبت خاک اثر می‌گذارد، در

صورتی که کمبود بارش طولانی مدت اغلب بر آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر منابع آب موثر است. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) شاخص SPI را برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی چندگانه معرفی کردند (McKee et al., 1993). Szinell و همکاران (۱۹۹۸) و Szalai و همکاران (۲۰۰۰) کاربرد این نمایه را در توصیف خشکسالی در هانگری مورد ارزیابی قرار دادند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که SPI برای کیفی کردن بیش‌تر انواع خشکسالی مناسب می‌باشد (Hayes, 2001, McKee et al., 1995). محاسبه SPI برای هر مکان، با استفاده از رکوردهای طولانی مدت در دوره زمانی مورد نظر صورت می‌گیرد. این داده‌ها، با یک توزیع احتمالاتی برازش داده می‌شوند و سپس به یک توزیع نرمال تبدیل می‌گردند، به طوری که میانگین SPI برای هر منطقه در دوره مورد بررسی صفر است (Hayes, 2001). جدول شماره ۳ مقیاس طبقه بندی SPI را نشان می‌دهد (McKee et al., 1995).

جدول شماره ۳: طبقه بندی خشکسالی با مقادیر SPI و احتمالات مرتبط با هر رویداد

مقدار SPI	طبقه	طبقه	احتمال (درصد)
بیشتر از +۲	Extremely Wet	ترسالی حاد	۲/۳
$1/5 \leq SPI \leq +1/99$	Severely Wet	ترسالی شدید	۴/۴
$1 \leq SPI \leq 1/49$	Moderately Wet	ترسالی متوسط	۹/۲
$0/99 \leq SPI \leq 0$	Mildly Dry	ترسالی خفیف	۳۴/۱
$0 \leq SPI \leq -0/99$	Mild drought	خشکسالی خفیف	۳۴/۱
$-1/49 \leq SPI \leq -1$	Moderate drought	خشکسالی متوسط	۹/۲
$-1/99 \leq SPI \leq -1/5$	Severe Drought	خشکسالی شدید	۴/۴
$\leq SPI -2$	Extreme Drought	خشکسالی حاد	۲/۳

در این تحقیق به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی ایران زمین طی دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و همچنین دوره‌های آتی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) با استفاده از نمایه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) پرداخته شده است. در این مطالعه از خروجی مدل‌های GCM از مدل HadCM3 و دو سناریوی A2 و A1B برای بررسی حد بالا و پایین اثر تغییرات اقلیم بر مقادیر بارش دهه‌های آتی استفاده شده است. از توانمندی مدل مولد داده‌های آب و هوایی (نرم افزار LARS-WG) برای فرایند ریزمقیاس‌نمایی و تولید داده‌های روزانه دهه‌های آتی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) بهره گرفته شده است. در نهایت با اعمال سری‌های زمانی حاصل از مدل‌های اقلیمی، بر نمایه SPI، شدت - فراوانی و دوره برگشت خشکسالی‌های دهه‌های آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ محاسبه شده است. مقایسه نتایج مربوط به ویژگی خشکسالی طی دوره پایه با دوره‌های آتی، روند

تغییرات خشکسالی ایران زمین را برای سال‌های آینده نمایان می‌سازد. یافته‌های تحقیق در مدیریت منابع آب، کشاورزی و سایر فعالیت‌ها کاربرد دارد. جهت محاسبه این نمایه باید داده‌های ماهانه بارش هر ایستگاه برای مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه) مقدار نمایه مورد نظر را بدست آورد استفاده از شاخص بارش استاندارد شده این امکان را می‌دهد که خشکسالی را هم برای مقیاس‌های کوتاه مدت نظیر رطوبت خاک و مطالعات هواشناسی و هم برای مقیاس‌های درازمدت نظیر آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی پایش نمود. آنها همچنین برای تعیین خشکی و تری در هر ایستگاه یک سیستم طبقه بندی معین برای مقادیر به دست آمده SPI تعیین و معرفی نمودند، که بیانگر شدت‌های متفاوتی از خشکسالی در یک منطقه می‌باشد. ویژگی دیگر شاخص SPI این است که براساس آن روش می‌توان آستانه خشکسالی را برای هر دوره زمانی تعیین کرد، بنابراین براساس این شاخص علاوه بر محاسبه شدت خشکسالی، مدت آن را نیز می‌توانیم تعیین نماییم.

محاسبه شدت خشکسالی تجمعی وزنی سالانه (AWCDS)

در این مطالعه به منظور رسم منحنی شدت خشکسالی-مقیاس زمانی SPI- دوره بازگشت ابتدا عامل شدت خشکسالی تجمعی وزنی سالانه AWCDS محاسبه و سپس آنالیز فراوانی بر روی آن انجام شد. مراحل محاسبه این شاخص به شرح ذیل می‌باشد: محاسبه مقادیر SPI ماهانه برای کلیه مقیاس‌های ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه، مجموع سالانه مقادیر SPI در دوره‌های خشک ماهانه ($SPI < -0.5$) در هر مقیاس زمانی با فراوانی وقوع خشکسالی در هر سال ضرب شد.

فراوانی وقوع خشکسالی از تقسیم تعداد ماه‌هایی که ($SPI < -1$) است بر عدد ۱۲ ماه به دست می‌آید. این مراحل برای مقیاس‌های سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه SPI و برای دوره مشاهده‌ای و آتی برای دو سناریو A2 و A1B محاسبه شده است. پس از محاسبه شدت خشکسالی تجمعی وزنی سالانه (AWCDS) و برازش توزیع‌های مختلف آماری به آمار آن‌ها، با استفاده از کمترین خطای استاندارد بهترین توزیع انتخاب شده است. در این مطالعه به منظور بررسی منطقه‌ای خشکسالی، کشور به ۹ منطقه تقریباً همگن از نظر اقلیمی و موقعیتی که شامل شمال، شمال غرب، غرب، جنوب غرب، جنوب، جنوب شرق، شرق و شمال شرق و مرکزی تقسیم بندی شد و نمودارهای شدت خشکسالی تجمعی مقیاس زمانی SPI دوره بازگشت برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای دوره مشاهده‌ای و آتی برای این مناطق ترسیم و مقایسه شده است. در نهایت پهنه بندی نمایه شدت خشکسالی برای کل ایران برای دوره‌های برگشت پنج، ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ نشان داده شده است.

نتایج و بحث

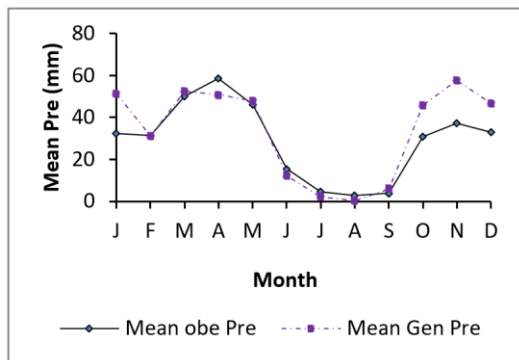
نتایج صحت سنجی و اطمینان از توانمندی مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی مقادیر بارش در دهه‌های

آینده

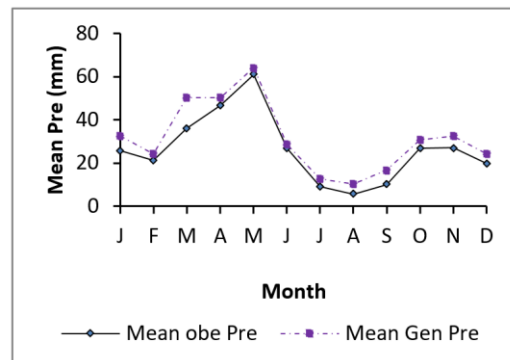
به‌منظور ارائه سناریوهای آبی دما و بارش توسط مدل LARS-WG، ابتدا با استفاده از ۳۰ سال داده دیدبانی شده طی دوره پایه در ایستگاه‌ها، پارامترهای اقلیمی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از تابع مربوطه در مدل LARS-WG محاسبه، سپس مدل برای تولید داده‌های سال‌های آبی بر اساس پارامترهای به‌دست آمده هر ایستگاه، اجرا شد. در بررسی توانمندی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های آب و هوایی می‌توان مقادیر میانگین و واریانس‌های متغیرهای اقلیمی را با استفاده از آزمون t و F مورد مقایسه قرار داد (Semenov, 2008). به منظور صحت سنجی و اطمینان از توانمندی مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی مقادیر بارش در دهه‌های آینده، ابتدا مدل برای دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ اجرا گردید و سپس خروجی‌های (در اینجا) مقادیر بارش روزانه، با داده‌های ۳۰ سال دیدبانی شده ایستگاه‌های مورد مطالعه مقایسه شدند. برای ارزیابی مدل، داده‌های دیدبانی شده با داده‌های مدل شده با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای اعتباریابی شدند. علاوه بر این کاربرد آزمون‌های آماری (T زوجی و F) اختلاف معناداری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر واقعی را نشان نمی‌دهد. نتایج حاصل از آزمون t برای این ایستگاه‌ها نشان داد که بین میانگین شبیه‌سازی شده ی بارش با مقدار واقعی آن طی دوره پایه، اختلاف معنی داری در سطح معنی داری ۰/۰۵ وجود ندارد. نتایج در جدول شماره ۴ آورده شده است. همچنین در شکل ۱ مقایسه مقادیر بارش تولید شده توسط مدل و مقادیر مشاهده‌ای در ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. بررسی شکل‌های نشان می‌دهد در ایستگاه‌های سینوپتیک زنجان، رشت، رامسر، خرم‌آباد، تهران، تربت‌حیدریه و بوشهر مقادیر متوسط بارش شبیه‌سازی شده به مقادیر متوسط مشاهده‌ای بسیار نزدیک و از روند صعودی و نزولی مشابهی برخوردار می‌باشند، اما در سایر ایستگاه‌هایی مانند یزد، اراک، بم، سنندج و سقز مقادیر متوسط بارش شبیه‌سازی شده بخصوص در برخی ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل و مارس نسبت به مقادیر متوسط مشاهده‌ای کم‌تر شبیه‌سازی شده است. با این وجود همبستگی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه که در (جدول ۴) ارائه شده است نشان می‌دهد در اکثر ایستگاه‌ها مقادیر همبستگی بیش از ۹۵ درصد است و تنها در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و بم این مقدار کمتر از ۹۵ درصد را نشان می‌دهد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد، مدل LARS-WG توانمندی مدل‌سازی اقلیم را در بر داشته و می‌توان از نتایج مدل فوق برای شبیه‌سازی اقلیم آینده از آن بهره جست.

جدول ۴: مقایسه مقادیر بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG5 در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱

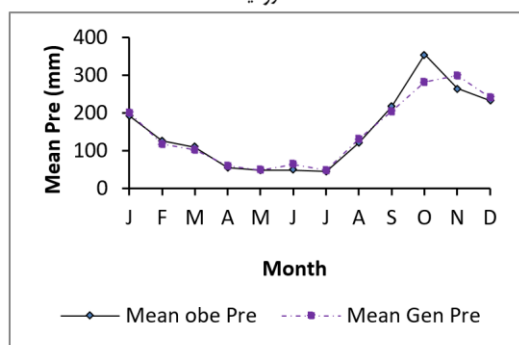
ایستگاه	ضریب همبستگی	ایستگاه	ضریب همبستگی	ایستگاه	ضریب همبستگی
خوی	۰/۹۸	زاهدان	۰/۹۸	تهران	۰/۹۹
ارومیه	۰/۹۰	اراک	۰/۹۶	ترت حیدریه	۰/۹۹
تبریز	۰/۹۲	بم	۰/۹۰	یزد	۰/۹۶
بندر انزلی	۰/۹۷	آبادان	۰/۹۲	زنجان	۰/۹۹
بیرجند	۰/۹۹	شیراز	۰/۹۸	رشت	۰/۹۸
بوشهر	۰/۹۷	سنندج	۰/۹۴	رامسر	۰/۹۸
اصفهان	۰/۹۷	سقز	۰/۹۷	شاهرود	۰/۹۸
مشهد	۰/۹۹	بندرعباس	۰/۹۴	شهرکرد	۰/۹۹
خرم آباد	۰/۹۹	کرمانشاه	۰/۹۸		



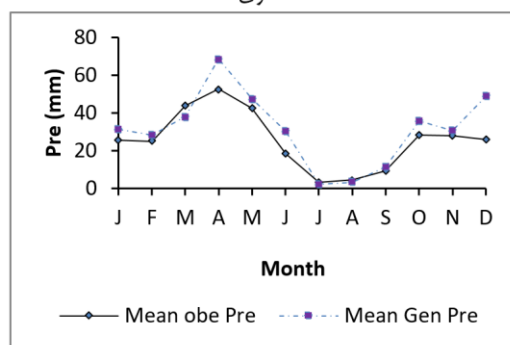
ارومیه



خوی

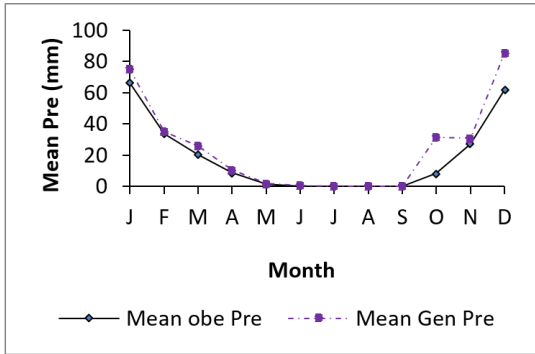


بندر انزلی

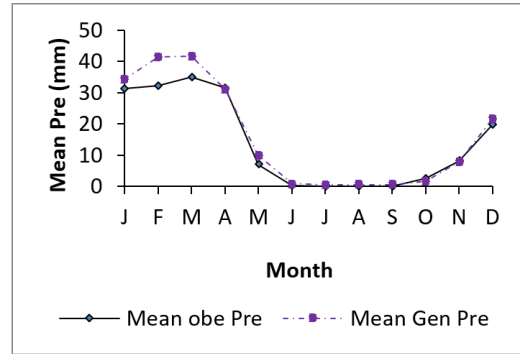


تبریز

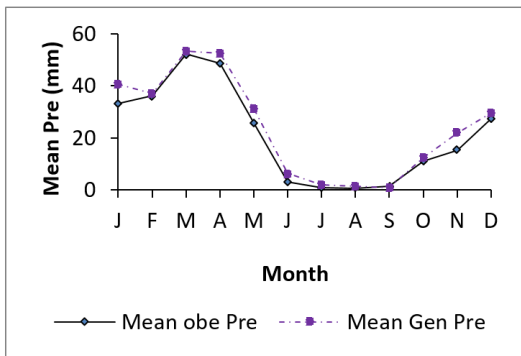
شکل ۱: مقایسه میانگین ماهانه بارش مشاهده‌ای (Obs) و شبیه‌سازی شده (Gen) طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱



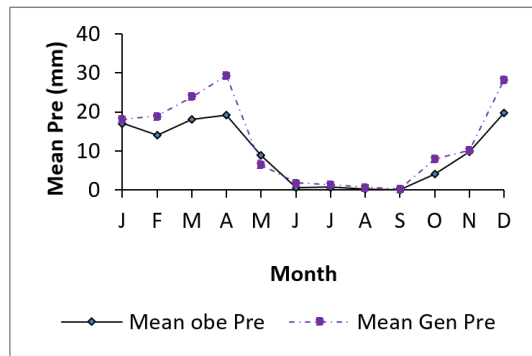
بوشهر



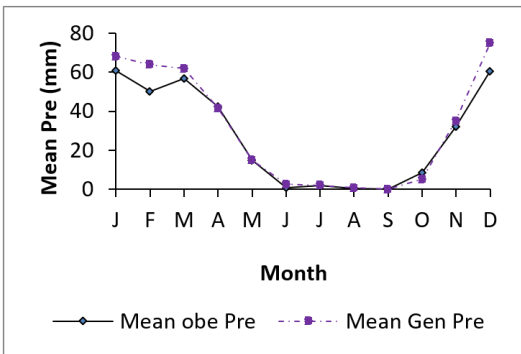
بیرجند



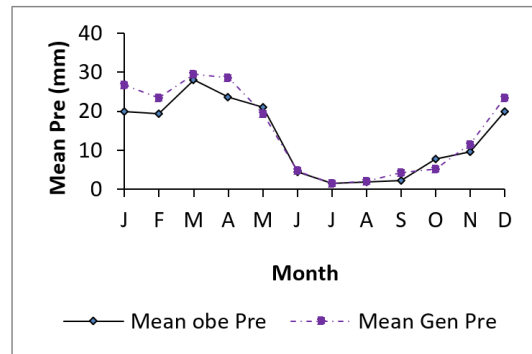
مشهد



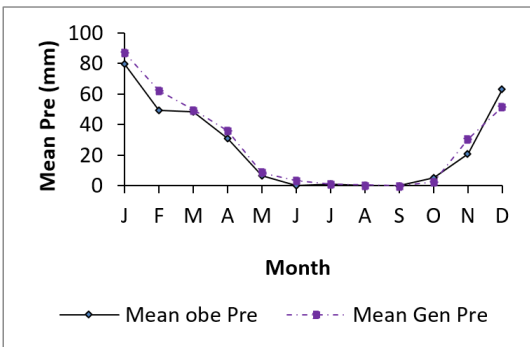
اصفهان



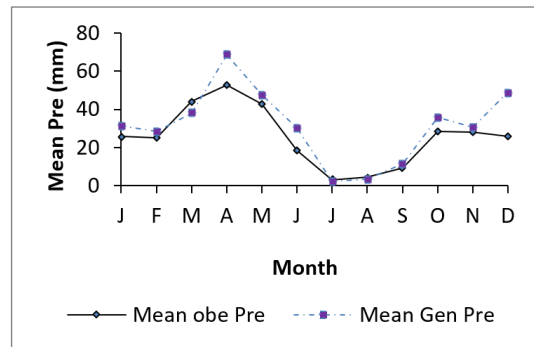
شهرکرد



شاهرود

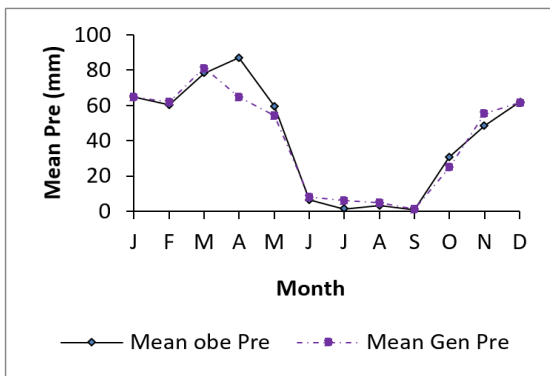


شیراز

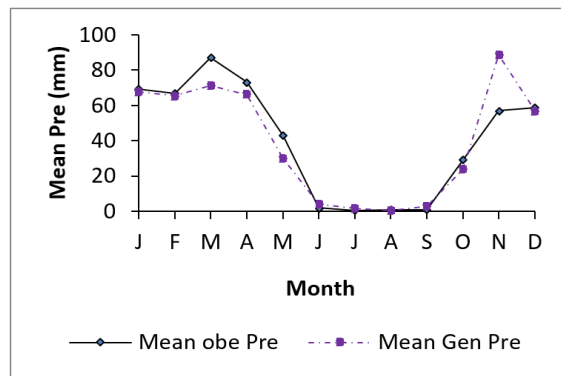


آبادان

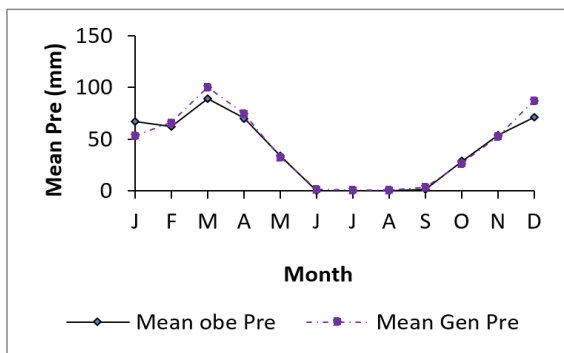
ادامه شکل ۱: مقایسه میانگین ماهانه بارش مشاهده‌ای (Obs) و شبیه سازی شده (Gen) طی دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰



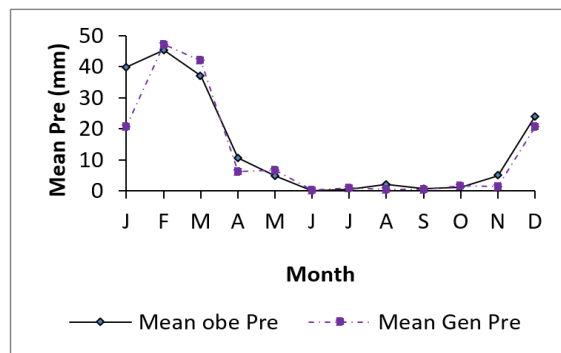
سقز



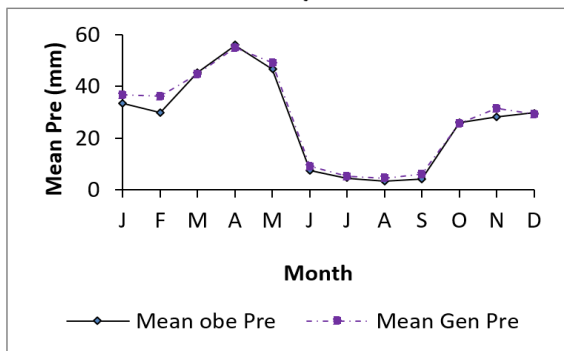
سنندج



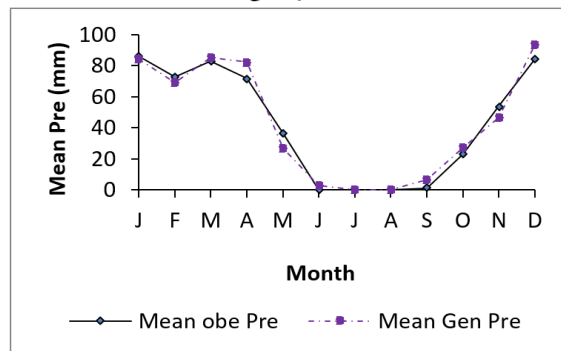
کرمانشاه



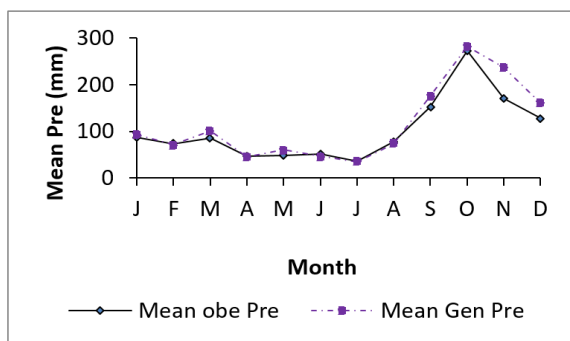
بندرعباس



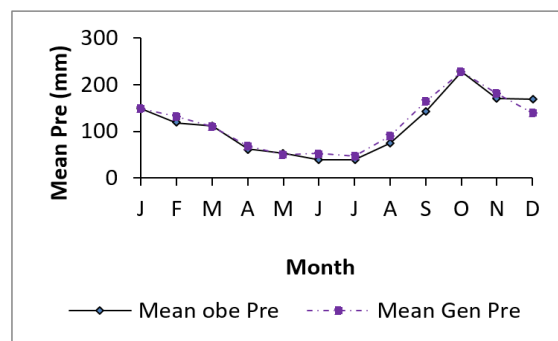
زنجان



خرم آباد



رامسر



رشت

ادامه شکل ۱: مقایسه میانگین ماهانه بارش مشاهده‌ای (Obs) و شبیه سازی شده (Gen) طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱

مقایسه تعداد ماه‌های خشک و مرطوب طی دوره پایه و دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۱۱)

از آنجا که هدف مطالعه حاضر شناخت دوره‌های خشک و تر در ایران طی دوره پایه و مقایسه آن با دوره‌های آتی است، بنابراین در این مطالعه به منظور بررسی تغییرپذیری بارش و پایش خشکسالی از روش شاخص بارش استاندارد شده SPI استفاده شد. زیرا این شاخص، ابزاری قوی برای تحلیل داده‌های بارندگی است. هدف شاخص SPI اختصاص ارزش عددی به بارندگی است، تا بتوان نواحی با آب و هوای کاملاً متفاوت را مقایسه کرد. شاخص فوق با مقایسه کل بارش تجمعی برای ایستگاه یا ناحیه‌ای خاص در یک فاصله زمانی ویژه برای مثال ماه گذشته، و یا سه ماه گذشته با میانگین بارش برای همان فاصله زمانی در تمام دوره آماری بدست می‌آید. محاسبه شاخص برای هر منطقه‌ای معین بر پایه‌ی آمار دراز مدت بارش برای یک دوره دلخواه یک، سه، شش و غیره می‌باشد. با مطالعه انجام شده بر روی ایستگاه‌های منتخب، مشخص شد که در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه پدیده خشکسالی و کاهش بارش وجود دارد و در تمامی ایستگاه‌های کشور از مناطق کم بارش تا مناطق پر بارش با پدیده خشکسالی روبرو هستیم. در رابطه با ریسک پذیری نسبت به پدیده خشکسالی در مناطق مختلف ایران، با وجود اینکه در کلیه مناطق کشور خشکسالی تکرار پذیر است، اما تفاوت‌هایی نیز مشاهده می‌شود، همچنین نتایج بیانگر وقوع فراوانی بیشتر خشکسالی و ترسالی‌های ضعیف نسبت به وقوع خشکسالی و ترسالی متوسط و شدید است. وقوع بارش‌های حدی، رویداد‌های نظیر سیل، ترسالی و خشکسالی‌های شدید را باعث می‌شود، این رویدادها پدیده‌های کمیاب با درجه سختی بالایی هستند که وقوع آنها جوامع بشری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با استفاده از پیش‌آگاهی‌هایی که امروزه به کمک خروجی‌های مدل AOGCM برای مقادیر بارش در دهه‌های آتی در اختیار است، به نظر می‌رسد می‌توان از خروجی این مدل‌ها برای پیش‌بینی و پیش‌آگاهی چگونگی نمایه‌های حدی نظیر خشکسالی بهره‌گرفت، تا بدین ترتیب بتوان برنامه‌ریزی مناسبی برای سازگاری و مقابله با آن در سطح کشور فراهم نمود. نتایج بسیاری از مطالعات بیانگر وجود روند افزایشی قابل ملاحظه در مقیاس‌های منطقه‌ای است و تعداد کمی از مطالعات نیز بیانگر روند منفی و یا عدم وجود آن بوده که استنتاج فوق، کم و بیش در هماهنگی با نتایج بدست آمده از اجرای مدل‌های اقلیمی با در نظر گرفتن افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. در شکل ۲ و شکل ۳ نسبت فراوانی خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره پایه ۹۰-۱۹۶۱ را به دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ را بر اساس مدل HadCM3 و سناریوهای A1B و A2 را برای بازه زمانی سه ماهه به تصویر کشیده است. همچنین در جدول ۵ و جدول ۶ مقایسه تعداد ماه‌های خشک، نرمال و مرطوب در دوره پایه و دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ برای تداوم زمانی ۳ و ۲۴ ماهه درج شده است. با توجه به شکل ۲ ایستگاه بندر عباس با ۲۸ درصد فراوانی بیش‌ترین روند منفی را در بین ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. به عبارتی الگوی حاصل از مدل HadCM3 و بر اساس سناریوی A1B بیانگر نرخ کاهشی در فراوانی رخداد خشکسالی

های ایستگاه بندر عباس در دهه های آبی را بیان می دارد. همچنین نتایج حاصل از مدل فوق حاکی از کاهش در رفتار خشکسالی های سال های آبی در ایستگاه های خوی، رشت، بندر انزلی، بوشهر و مشهد را نسبت به دوره پایه نشان می دهد.

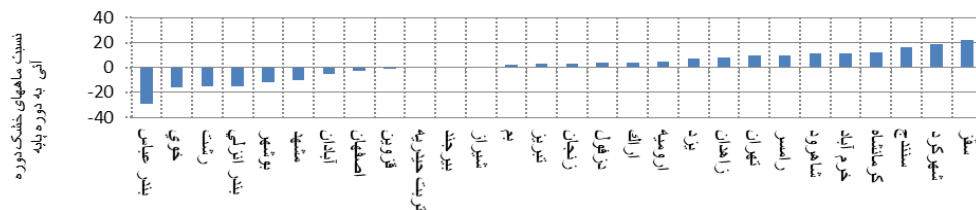
جدول ۵: تعداد ماه های خشک، نرمال و مرطوب در دوره مشاهده ای و دوره آبی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ برای تداوم زمانی ۳ ماهه

نام ایستگاه	دوره مشاهده ای			Had CM3-A1B			Had CM3-A2		
	ماه های خشک	ماه های مرطوب	ماه های نرمال	ماه های خشک	ماه های مرطوب	ماه های نرمال	ماه های خشک	ماه های مرطوب	ماه های نرمال
آبادان	۴۲	۲۰۳	۱۱۲	۴۰	۵۲	۲۶۴	۲۰	۶۳	۲۷۱
اراک	۴۳	۲۴۵	۶۲	۴۶	۶۱	۲۵۰	۴۶	۶۱	۲۵۰
بندر عباس	۳۰	۲۶۹	۵۹	۲۰	۵۸	۲۷۴	۲۰	۶۳	۲۷۱
بم	۳۴	۲۶۹	۵۵	۳۴	۶۲	۲۵۸	۳۲	۵۸	۲۶۴
بندر انزلی	۶۱	۲۳۶	۶۰	۵۷	۵۶	۲۴۲	۵۶	۵۴	۲۴۴
بیرجند	۳۳	۲۴۵	۷۷	۳۲	۵۷	۲۶۷	۳۰	۵۳	۲۷۵
بوشهر	۴۰	۲۰۷	۱۱۰	۳۷	۸۲	۲۳۸	۳۸	۶۸	۲۵۱
اصفهان	۳۷	۲۵۳	۶۶	۳۵	۶۰	۲۵۹	۴۰	۵۴	۲۶۰
قزوین	۶۰	۲۲۵	۷۱	۵۸	۵۹	۲۴۲	۵۵	۶۰	۲۴۳
کرمانشاه	۴۰	۲۵۱	۶۱	۴۸	۵۵	۲۴۸	۵۰	۵۸	۲۵۰
خرم آباد	۳۷	۲۵۸	۶۴	۴۴	۵۷	۲۵۷	۴۰	۵۳	۲۶۴
خوی	۶۹	۲۳۳	۵۵	۶۰	۶۱	۲۴۲	۶۲	۵۹	۲۴۰
مشهد	۴۷	۲۴۶	۶۶	۴۴	۵۵	۲۵۷	۵۷	۵۸	۲۴۳
ارومیه	۵۱	۲۴۵	۵۶	۵۴	۶۰	۲۴۵	۵۶	۶۱	۲۳۹
رامسر	۵۶	۲۴۶	۵۰	۶۲	۶۱	۲۳۸	۶۳	۵۶	۲۴۲
رشت	۵۸	۲۲۹	۶۷	۵۳	۵۸	۲۴۶	۶۰	۵۷	۲۳۹
سقز	۴۱	۲۵۸	۵۶	۵۷	۵۵	۲۴۵	۵۰	۵۶	۲۵۱
سنندج	۴۲	۲۵۷	۵۷	۵۰	۶۰	۲۴۸	۴۷	۵۸	۲۵۱
شاهرود	۵۶	۲۳۹	۶۰	۶۲	۵۸	۲۳۹	۶۲	۶۱	۲۳۵
شهرکرد	۲۸	۲۵۲	۶۷	۵۰	۵۵	۲۵۰	۴۸	۶۰	۲۴۷
شیراز	۲۸	۲۶۳	۵۶	۳۷	۹۲	۲۳۱	۳۶	۶۰	۲۶۵
تبریز	۵۸	۲۳۷	۵۹	۵۹	۵۲	۲۴۶	۶۰	۵۴	۲۴۵
تهران	۴۶	۲۴۹	۵۸	۵۱	۶۸	۲۳۹	۴۹	۶۸	۲۴۰
تربت حیدریه	۳۸	۲۵۶	۶۱	۳۶	۶۴	۲۵۳	۳۳	۶۳	۲۵۸
یزد	۳۵	۲۱۲	۱۰۹	۳۸	۵۷	۲۶۲	۳۷	۵۵	۲۶۴
زاهدان	۳۲	۲۷۰	۵۶	۳۶	۶۹	۲۵۲	۳۳	۶۴	۲۵۹
زنجان	۵۹	۲۳۹	۶۴	۶۰	۵۸	۲۳۹	۵۴	۶۲	۲۴۳

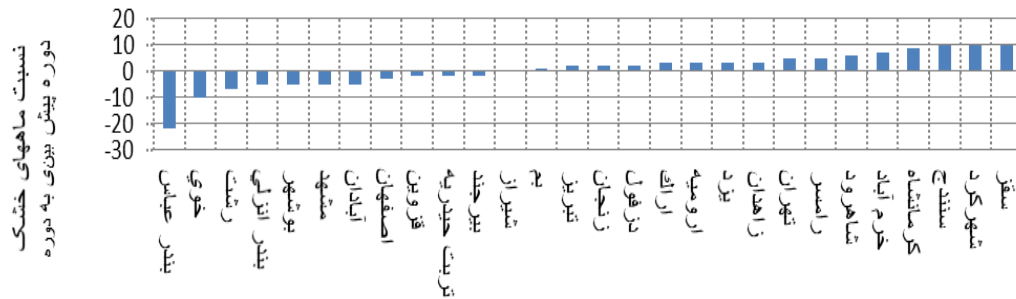
این در حالی است که نتایج حاصل از مدل HadCM3 و بر اساس سناریوی های A1B و A2 برای پایش خشکسالی با بازه زمانی سه ماهه بیانگر افزایش رخداد خشکسالی بیش از ۱۰ درصد نسبت به دوره پایه را در ایستگاه های واقع در غرب کشور (سقز، شهرکرد، سنندج، کرمانشاه و خرم آباد) را نشان می دهد، که با توجه به سهم قابل ملاحظه این منطقه در تامین آب رودخانه های بزرگ کشور نظیر رودخانه های دز، کارون و کرخه و استقرار بخش عمده ای از سازه های آبی در این منطقه، افزایش روند خشکسالی می تواند تهدیدی برای منطقه باشد و تنش های آبی و زیست محیطی را در دهه های آبی به همراه داشته باشد.

جدول ۶: تعداد ماه های خشک، نرمال و مرطوب در دوره مشاهده ای و دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ برای ۲۴ ماهه

نام ایستگاه	دوره مشاهده ای			Had CM3-A1B			Had CM3-A2		
	ماه های خشک	ماه های مرطوب	ماه های نرمال	ماه های خشک	ماه های مرطوب	ماه های نرمال	ماه های خشک	ماه های مرطوب	ماه های نرمال
آبادان	۵۲	۵۵	۲۳۱	۵۹	۵۳	۲۲۵	۶۳	۵۳	۲۲۱
اراک	۶۸	۵۶	۲۱۳	۳۲	۴۶	۲۵۹	۳۱	۵۳	۲۵۳
بندر عباس	۷۳	۷۱	۱۹۴	۶۳	۶۱	۲۱۳	۵۳	۷۶	۲۱۰
بم	۵۹	۶۵	۲۱۴	۶۶	۶۳	۲۱۰	۶۹	۷۴	۱۹۴
بندر انزلی	۵۶	۵۸	۲۳۵	۴۳	۶۶	۲۳۰	۴۹	۶۲	۲۲۸
بیرجند	۶۶	۶۵	۲۱۷	۴۵	۴۶	۲۴۶	۵۴	۵۷	۲۲۷
بوشهر	۶۰	۴۲	۲۴۸	۵۹	۷۵	۲۰۳	۶۷	۴۷	۲۲۸
اصفهان	۷۰	۵۵	۲۲۴	۵۶	۶۹	۲۱۴	۳۹	۶۵	۲۳۵
قزوین	۵۹	۶۴	۲۲۶	۴۸	۵۷	۲۳۴	۴۹	۵۴	۲۳۶
کرمانشاه	۲۷	۳۰	۲۹۵	۴۸	۵۱	۲۳۸	۴۷	۵۷	۲۳۴
خرم آباد	۳۸	۴۷	۲۶۳	۵۹	۶۲	۲۱۸	۵۳	۶۰	۲۲۴
خوی	۵۶	۵۲	۲۳۰	۶۷	۴۳	۲۲۷	۵۹	۴۲	۲۳۶
مشهد	۷۱	۶۶	۲۱۲	۵۳	۶۵	۲۱۹	۶۰	۶۷	۲۱۰
ارومیه	۴۹	۳۵	۲۶۴	۴۸	۳۷	۲۵۳	۶۱	۷۲	۲۰۴
رامسر	۶۲	۵۴	۲۳۳	۴۹	۶۱	۲۲۷	۶۳	۵۴	۲۲۰
رشت	۵۵	۴۵	۲۴۸	۶۳	۶۶	۲۰۸	۴۳	۶۵	۲۲۹
سقز	۲۳	۱۴	۳۱۱	۶۵	۶۶	۲۰۶	۶۲	۵۹	۲۱۸
سنندج	۶۷	۴۶	۲۳۶	۵۳	۵۰	۲۳۴	۵۴	۵۱	۲۳۲
شاهرود	۷۷	۵۳	۲۲۱	۶۴	۵۳	۲۳۴	۶۳	۵۵	۲۲۱
شهرکرد	۴۸	۵۵	۲۴۶	۶۰	۵۸	۲۲۰	۴۹	۶۶	۲۲۳
شیراز	۶۷	۵۹	۲۲۲	۶۰	۵۹	۲۱۸	۵۴	۵۵	۲۲۸
تبریز	۵۱	۵۴	۲۴۴	۵۷	۳۵	۲۴۶	۶۰	۴۳	۲۳۵
تهران	۵۴	۳۳	۲۶۲	۷۳	۳۹	۲۲۶	۷۶	۴۹	۲۱۲
تربت حیدریه	۵۸	۶۱	۲۳۰	۵۷	۷۳	۲۰۷	۶۳	۵۳	۲۲۱
یزد	۴۸	۵۰	۲۵۱	۶۵	۴۴	۲۲۹	۵۷	۴۲	۲۳۸
زاهدان	۵۷	۷۴	۲۱۷	۴۸	۶۱	۲۲۸	۶۵	۶۲	۲۱۱
زنجان	۴۴	۴۴	۲۶۱	۵۴	۷۲	۲۱۲	۶۲	۶۹	۲۰۶



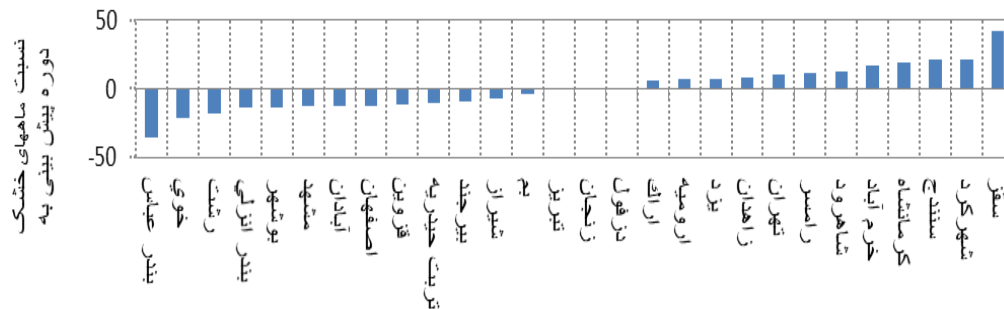
شکل ۲: نسبت فراوانی خشکسالی ایستگاه های منتخب دوره پایه و دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ براساس مدل Had CM3 و سناریوی A1B برای مقیاس زمانی ۳ ماهه



شکل ۳: نسبت فراوانی خشکسالی ایستگاه‌های منتخب دوره مشاهده‌ای و دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ براساس سناریوی

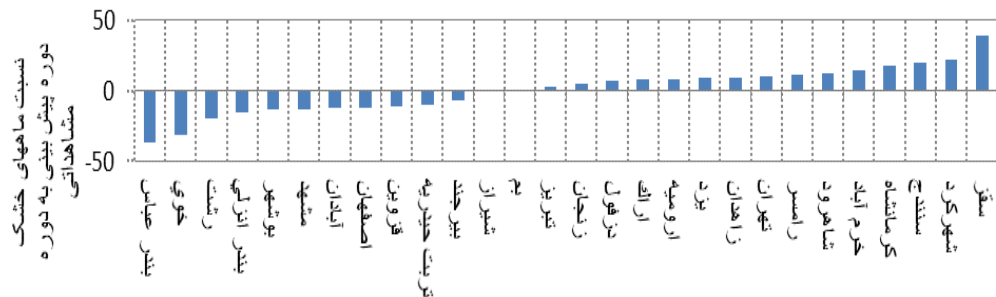
CM3-A2Had برای مقیاس زمانی ۳ ماهه

نتایج حاصل از مقایسه رفتار خشکسالی های بلند مدت (با بازه زمانی ۲۴ ماهه) طی دوره پایه ۹۰-۱۹۶۱ با خشکسالی های دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۹ در شکل های ۴ و ۵ ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می شود الگوی حاصل از مدل HadCM3 و بر اساس هر دو سناریوی A2 و A1B نتایج مشابهی را نشان می دهند و مطابق با نتایج حاصل از رفتار خشکسالی در بازه زمانی سه ماهه ایستگاه‌های بندر عباس، خوی، رشت، بندر انزلی، بوشهر، آبادان و مشهد جزء مناطقی هستند که طی دهه های آتی با کاهش بین ده تا سی درصد مواجه هستند.



شکل شماره ۴: نسبت فراوانی خشکسالی ایستگاه‌های منتخب دوره مشاهده‌ای و دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹ براساس

سناریوی Had CM3-A1B برای مقیاس زمانی ۲۴ ماهه

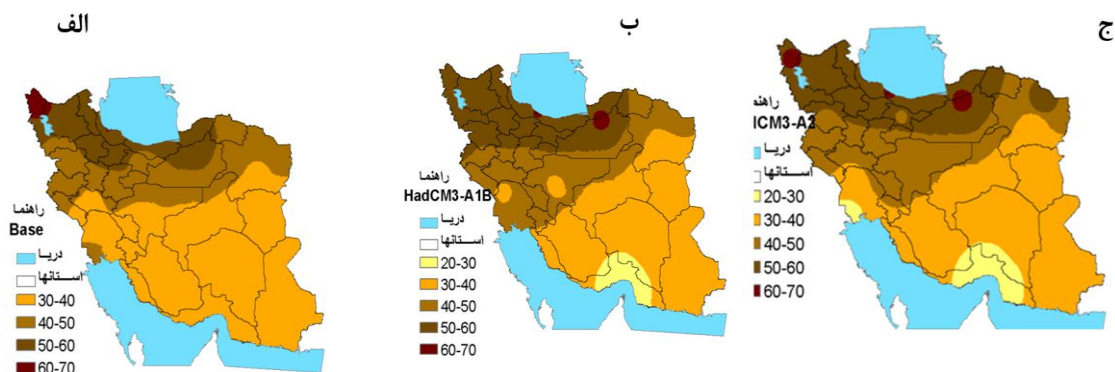


شکل ۵: نسبت فراوانی خشکسالی ایستگاه‌های منتخب دوره مشاهده‌ای و دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ براساس سناریوی

CM3-A2Had برای مقیاس زمانی ۲۴ ماهه

پهنه‌بندی توزیع فراوانی خشکسالی برای دوره مشاهده‌ای و دوره آتی

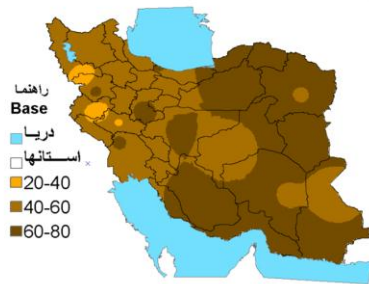
در (شکل ۶) حالت (الف) پهنه‌بندی فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص SPI و برای بازه زمانی سه ماهه (طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، بیش‌ترین فراوانی در رخداد خشکسالی های با بازه سه ماهه مربوط به مناطق شمال غرب و کرانه های دریای خزر می‌باشد که با بیش از ۵۰ رخداد خشکسالی بیش‌ترین سهم را در سطح کشور به خود اختصاص داده‌اند. به عبارتی فراوانی وقوع ماههای کم آب در این مناطق (نسبت به متوسط بارش همان مناطق) طی دوره پایه بیش از سایر ایستگاه‌های کشور بوده است. استان‌های شمال شرقی، و استانهای واقع در جنوب رشته کوه‌های البرز و غرب کشور نیز با فراوانی رخداد خشکسالی بین ۴۰ تا ۵۰ دوره در رتبه دوم قرار دارند، سایر استانهای کشور با رخداد خشکسالی های کوتاه مدت بین ۳۰ تا ۴۰ دوره، طی دوره پایه کم‌ترین فراوانی در رخداد خشکسالی را طی دوره پایه به خود اختصاص داده‌اند. پهنه‌بندی توزیع فراوانی خشکسالی برای شکل ۶ (حالت ب و ج) دوره آتی بر اساس سناریوهای A1B, A2 برای تداوم زمانی سه ماهه، بیانگر شباهت الگوی نقشه های دوره‌های آتی با دوره پایه است، به‌نحوی که طی دهه‌های آتی بیش‌ترین فراوانی رخداد خشکسالی در کرانه‌های دریای خزر و شمال غرب ایران و استان های واقع در جنوب رشته کوه‌های البرز رخ خواهد داد. (شکل ۷) حالت (الف) پهنه‌بندی فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص SPI و برای بازه زمانی ۲۴ ماهه یا بلندمدت (طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱) را نشان می‌دهد. با توجه به الگوی نقشه فوق، میزان خشکسالی در دوره پایه در نواحی شمال شرقی، شرقی و جنوبی حدود ۶۰ تا ۸۰ دوره به وقوع پیوسته است. که در دوره‌های آتی (شکل ۷) حالت ب و ج) و بر اساس سناریو های A1B, A2 فراوانی خشکسالی آن در این نواحی شمال شرقی به ۴۰ تا ۶۰ می‌رسد.



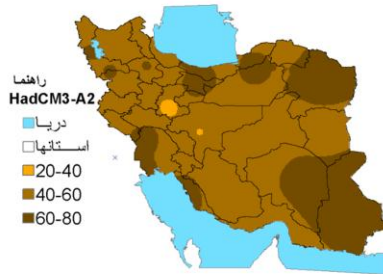
شکل ۶: توزیع فراوانی خشکسالی (SPI) برای تداوم زمانی سه ماهه به ترتیب برای الف: دوره مشاهده‌ای (پایه) و

دوره‌های آینده ب: HadCM3-A1B و ج- HadCM3-A2

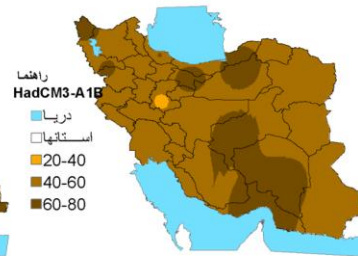
الف



ب



ج

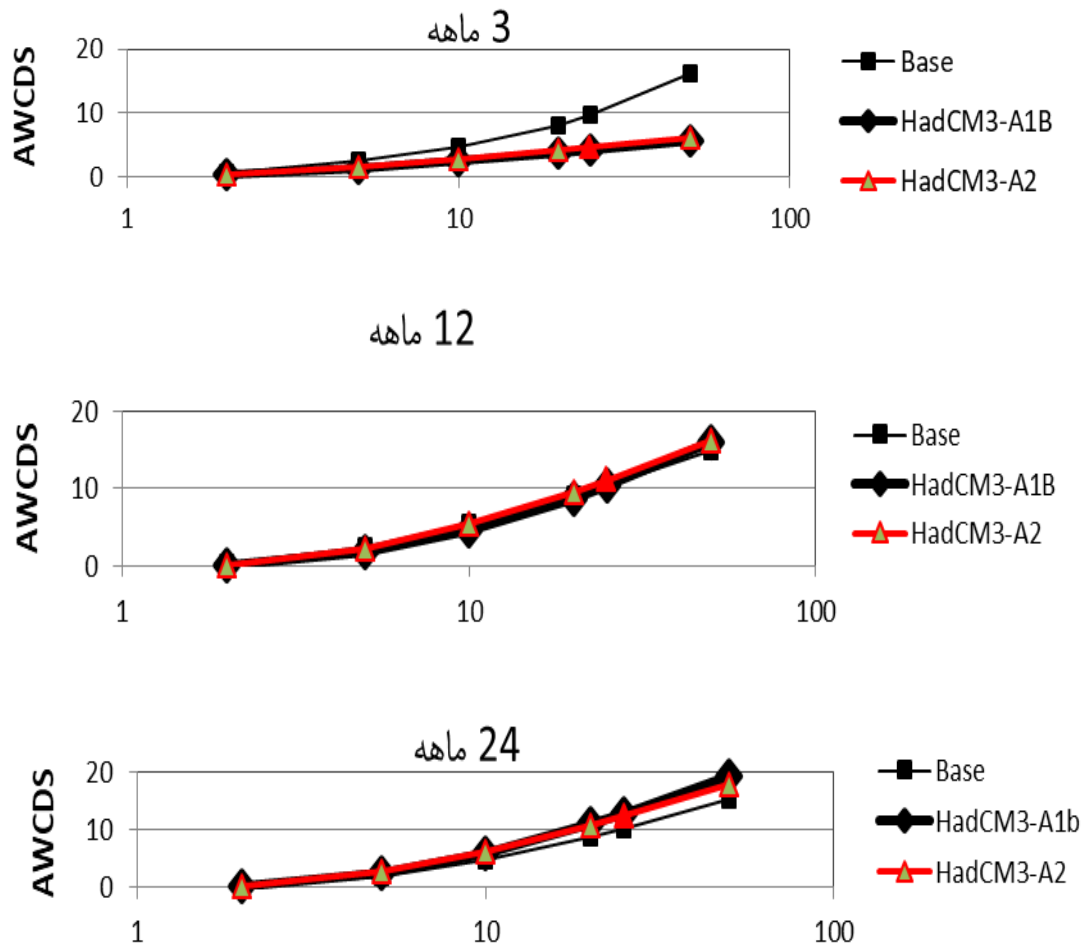


شکل ۷: توزیع فراوانی خشکسالی (SPI) برای تداوم زمانی ۲۴ ماهه به ترتیب برای الف: دوره مشاهده‌ای (پایه) و

دوره های آینده ب: HadCM3-A1B و ج- HadCM3-A2

تحلیل فراوانی شدت تجمعی وزنی خشکسالی (AWCDS) مناطق مختلف کشور

نتایج تحلیل فراوانی شدت تجمعی وزنی خشکسالی (AWCDS) برای مناطق نه گانه کشور برای مقیاس زمانی SPI سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه و برای دوره‌های مشاهده‌ای و آتی محاسبه و ترسیم شده است. شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه شمال غرب کشور برای تداوم های زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه در (شکل ۸) آورده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که میزان شدت تجمعی وزنی خشکسالی (دوره برگشت دو تا ۵۰ سال) در دوره مشاهده‌ای و برای دوره‌های کوتاه مدت (مقیاس زمانی سه ماهه) افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد، مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ با دوره‌های آتی در سناریوهای A1B و A2 نشان می‌دهد که شدت خشکسالی کوتاه مدت مناطق شمال غرب کشور روند کاهشی را نشان می‌دهد، به عبارتی انتظار می‌رود که از شدت خشکسالی های کوتاه مدت (۳ ماهه) در شمال غرب کشور طی دهه‌های آینده کاسته شود. اما برای دوره‌های میان مدت (۱۲ ماهه) تغییر چشمگیری در شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه شمال غرب دیده نمی‌شود. مقایسه نمایه شدت خشکسالی برای دوره مشاهده‌ای با دوره‌های آتی و بر اساس سناریوهای A1B و A2 نشان می‌دهد که شدت تجمعی وزنی خشکسالی برای بازه زمانی ۱۲ ماهه دوره مشاهده‌ای دوره پیش‌بینی تفاوت چندانی ندارد. در حالی که بر اساس بازه زمانی ۲۴ ماهه (خشکسالی‌های با تداوم بلند مدت) و بر اساس سناریوهای A1B و A2 شدت تجمعی وزنی خشکسالی طی دهه‌های آتی روند افزایشی را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد، که با توجه به مشکلات منابع آب و کاهش تراز آب دریاچه ارومیه و خشک شدن دریاچه، که به عنوان اصلی ترین چالش های آبی و زیست محیطی شمال غرب کشور طی سال های اخیر به شمار می رود، بایستی تصمیمات خاصی اتخاذ شود.

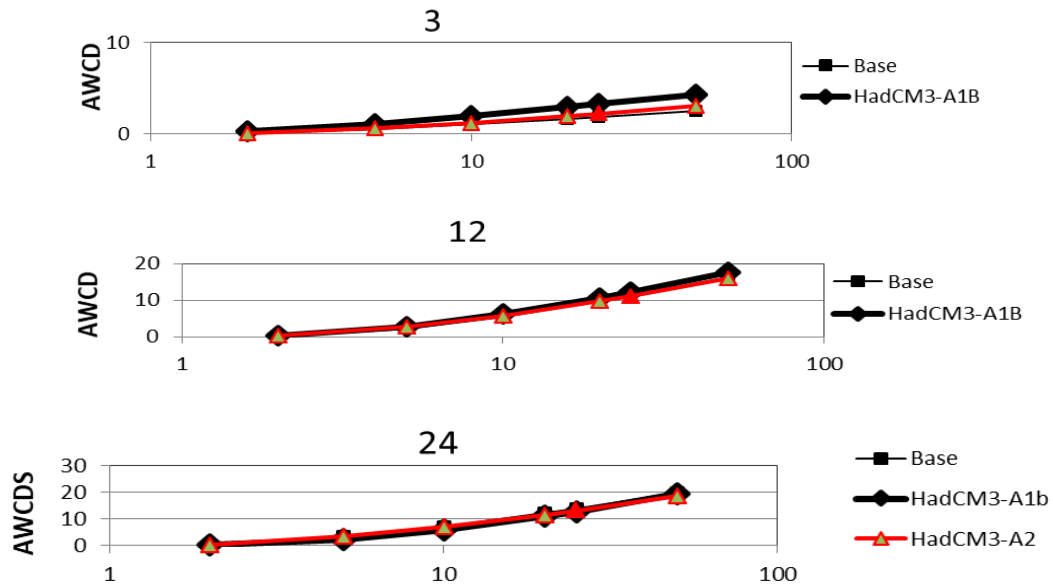


شکل ۸: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره مشاهده‌ای،

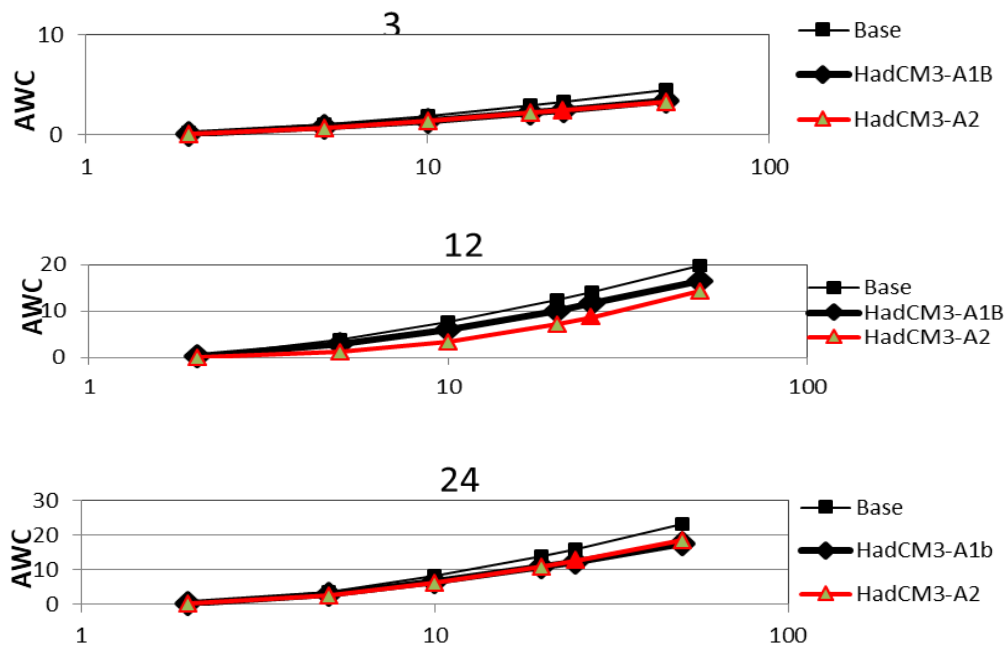
A1B و A2 برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای شمال غرب کشور

شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه غرب کشور برای تداوم های زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه در (شکل ۹) آورده شده است. مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ با دوره‌های آتی در سناریوهای A1B و A2 نشان می‌دهد که شدت خشکسالی کوتاه مدت مناطق غرب کشور روند افزایشی را نشان می‌دهد، به عبارتی انتظار می‌رود، شدت خشکسالی های کوتاه مدت (۳ ماهه) در غرب کشور طی دهه‌های آینده افزایش یابد. اما برای دوره‌های میان مدت (۱۲ ماهه) و بلند مدت (۲۴ ماهه) تغییر چشمگیری در شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه غرب دیده نمی‌شود. مقایسه نمایه شدت خشکسالی برای دوره مشاهده‌ای با دوره‌های آتی و بر اساس سناریوهای A1B و A2 نشان می‌دهد که شدت تجمعی وزنی خشکسالی برای بازه زمانی ۱۲ ماهه دوره مشاهده‌ای دوره پیش‌بینی تفاوت چندانی ندارد. همچنین

بر اساس بازه زمانی ۲۴ ماهه (خشکسالی‌های با تداوم بلند مدت) و بر اساس سناریوهای A1B و A2 شدت تجمعی وزنی خشکسالی طی دهه‌های آتی روند افزایشی را نسبت به دوره پایه نشان نمی‌دهد.

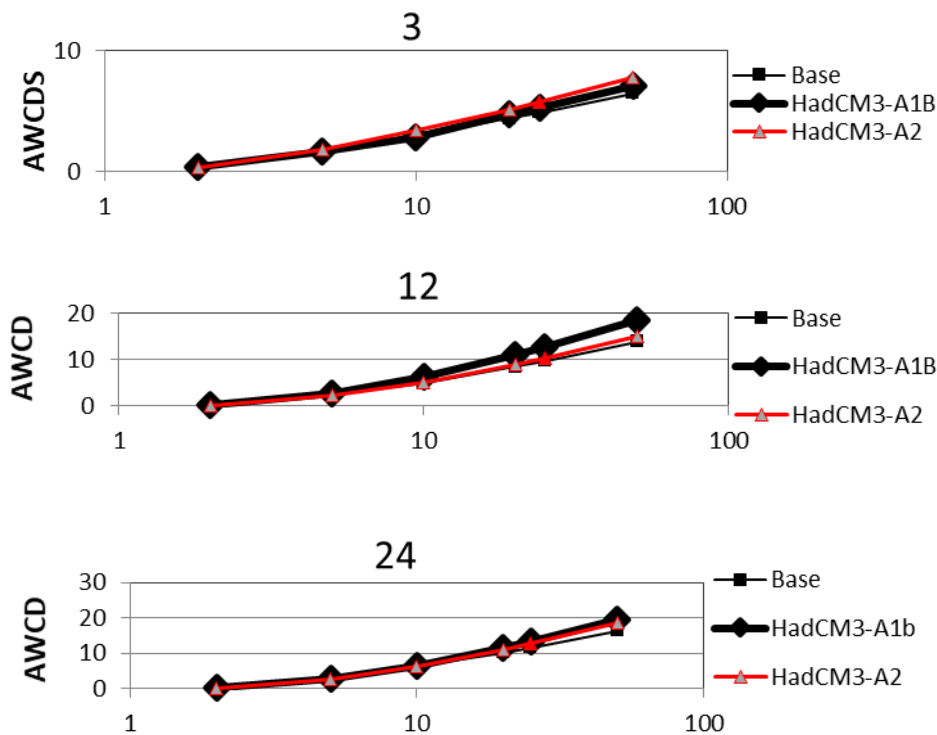


شکل شماره ۹: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره مشاهده‌ای، A1B و A2 و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای غرب کشور



شکل ۱۰: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره مشاهده‌ای، A1B و A2 و برای دوره برگشت دو تا ۵۰ سال برای جنوب غرب کشور

شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه جنوب غرب ایران برای تداوم‌های زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه در (شکل ۱۰) آورده شده است. در جنوب غرب کشور شدت خشکسالی طی هر دو دوره مشاهده‌ای دوره پیش‌بینی با افزایش تداوم زمانی در دوره برگشت‌های مختلف افزایش یافته است. مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت طی دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره‌های آبی در سناریوهای A1B و A2 نشان می‌دهد که شدت خشکسالی برای دوره مشاهده‌ای بیش‌تر از دوره پیش‌بینی در دو سناریوهای A1B و A2 می‌باشد که این نشان دهنده کاهش در شدت خشکسالی آینده در این منطقه است. در شمال کشور نیز همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان می‌دهد شدت خشکسالی در دوره مشاهده‌ای و پیش‌بینی برای تداوم زمانی سه ماهه به سمت تداوم زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه افزایش یافته است. همچنین شدت خشکسالی برای دوره پیش‌بینی بر اساس سناریوهای A1B و A2 نسبت به دوره مشاهده‌ای برای دوره برگشت بالاتر از ۲۰ سال روند افزایش شدیدی را نشان می‌دهد.

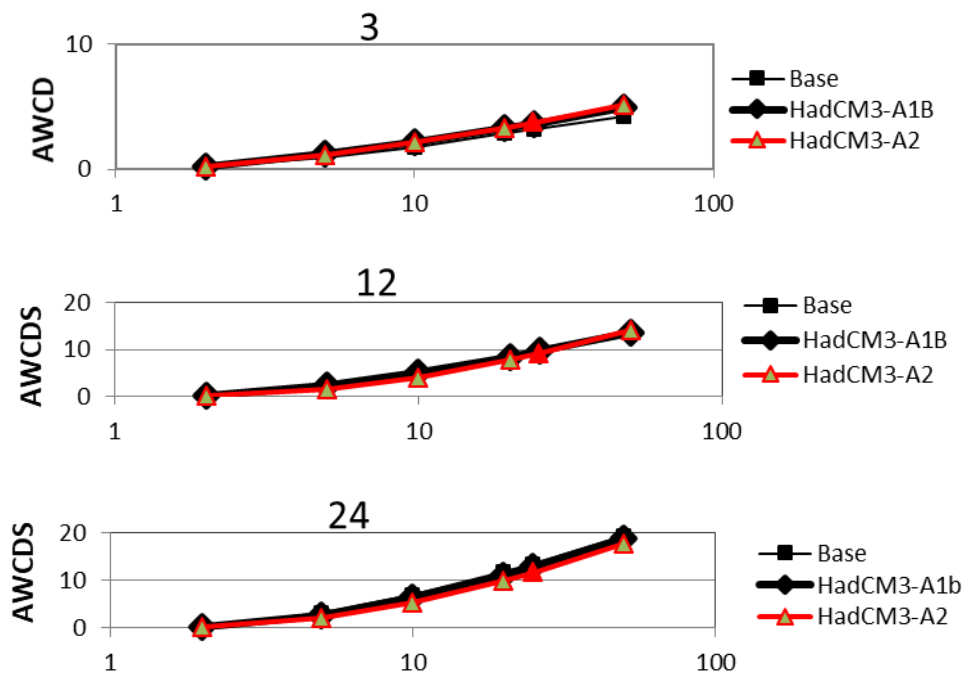


شکل ۱۱: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره مشاهده‌ای،

A2 و A1B و برای دوره برگشت دو تا ۵۰ سال برای شمال کشور

در نواحی مرکزی کشور نیز همان‌طور که در شکل (شماره ۱۲) نشان می‌دهد شدت خشکسالی در دوره مشاهده‌ای و پیش‌بینی از تداوم زمانی ۳ ماهه به سمت تداوم زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه افزایش یافته است. همچنین شدت خشکسالی برای دوره پیش‌بینی در سناریوهای A1B و A2 نسبت به دوره مشاهده‌ای بسیار به هم نزدیک می‌باشد که نشان‌دهنده تغییرات

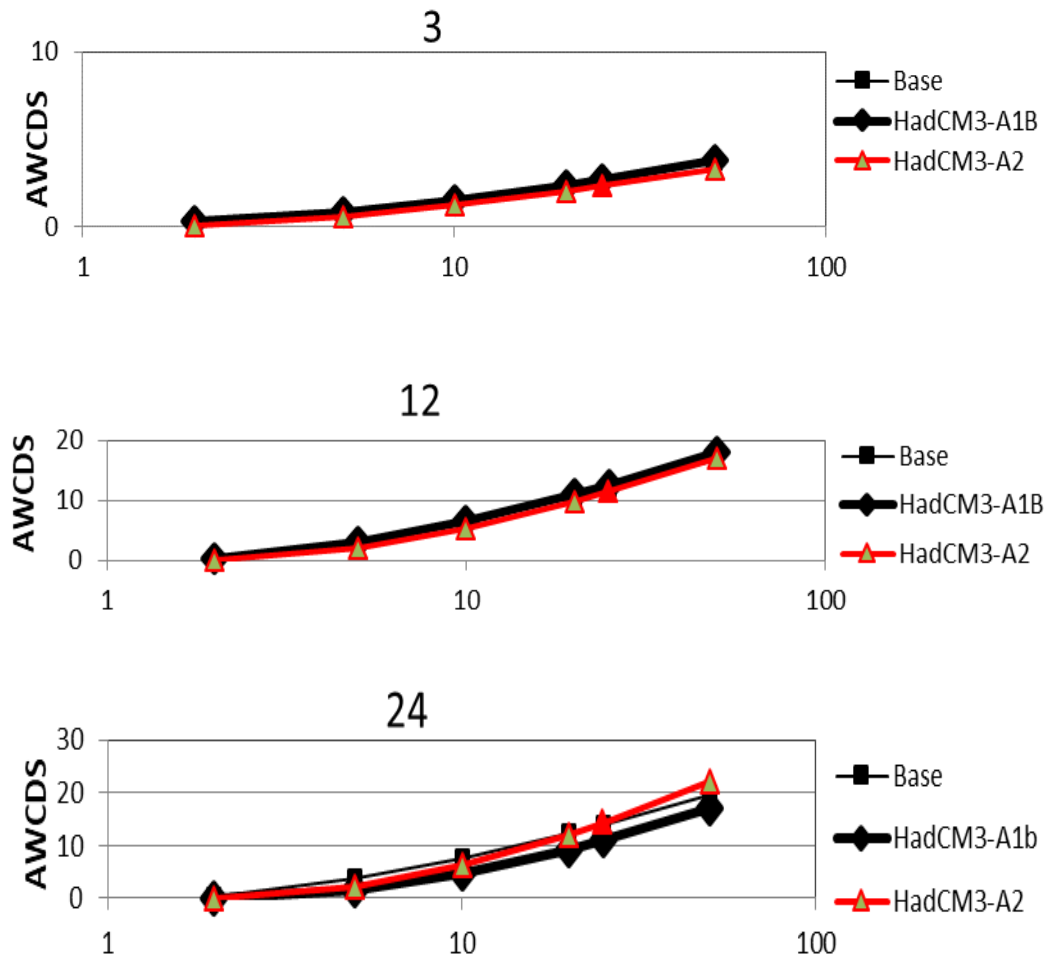
کم شدت خشکسالی در آینده در این منطقه می‌باشد. شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه جنوب کشور برای تداوم های زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در شکل ۱۳ آورده شده است. مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ با دوره‌های آتی در سناریوهای A1B و A2 نشان می‌دهد که شدت خشکسالی کوتاه مدت مناطق جنوبی کشور تغییرات چندانی را نشان نمی‌دهد، اما برای دوره‌های میان مدت (۱۲ ماهه) و بلند مدت (۲۴ ماهه) و بویژه برای دوره‌های برگشت کمتر از ۲۰ سال از شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه جنوب کشور در سال‌های آتی کاسته خواهد شد.



شکل ۱۳: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره

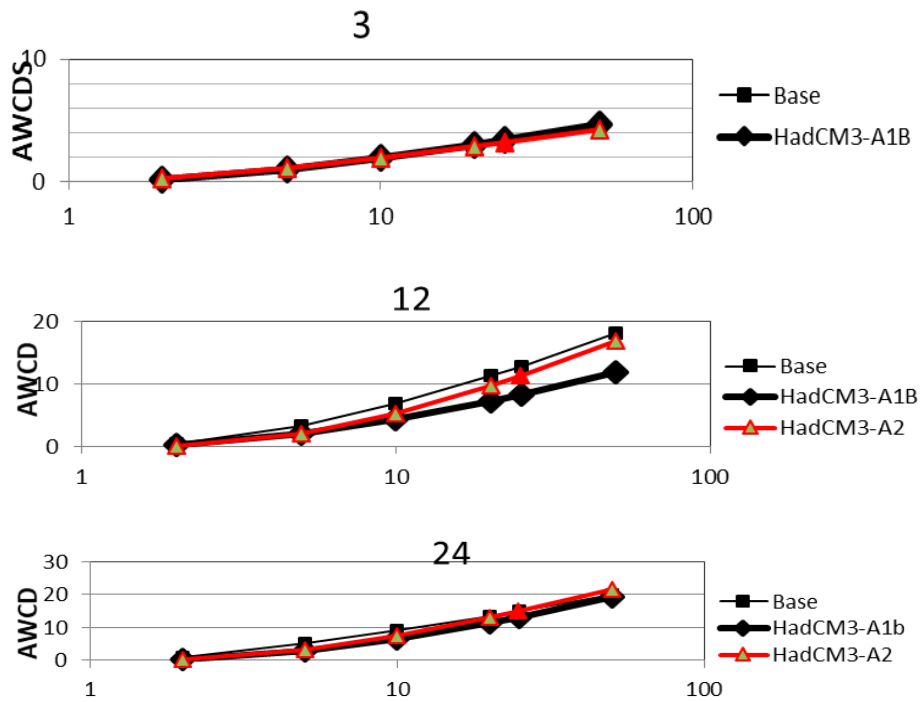
مشاهده‌ای، A1B و A2 و برای دوره برگشت دو تا ۵۰ سال برای مناطق مرکزی ایران

(شکل ۱۴) تحلیل فراوانی و نمودار شدت خشکسالی تجمعی را برای مقیاس‌های زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه و دوره برگشت دو تا ۵۰ ساله منطقه شمال شرق کشور را نشان می‌دهد. از آنجایی که هر یک از مقیاس‌های زمانی نمودارهای ارائه شده (فاصله زمانی طبیعی بین بارش و منابع آبی (جریان رودخانه‌ها، رطوبت خاک و منابع آب زیر زمینی و غیره) را بیان می‌دارند، بنابراین کاربردهای مختلفی می‌توانند داشته باشند. نتایج شکل ۱۴ نشان می‌دهد شدت خشکسالی در دوره مشاهده‌ای و پیش‌بینی از تداوم زمانی سه ماهه به سمت تداوم زمانی ۲۴ ماهه در دوره برگشت‌های مختلف افزایش یافته است. همچنین مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت سه ماهه طی دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ با دوره‌های آتی در سناریوهای A1B و A2 تفاوت معنی‌داری را ندارد. در حالی که شدت خشکسالی تجمعی برای دوره پیش‌بینی بر اساس سناریوهای A1B و A2 نسبت به دوره مشاهده‌ای روند کاهشی را نشان می‌دهد.



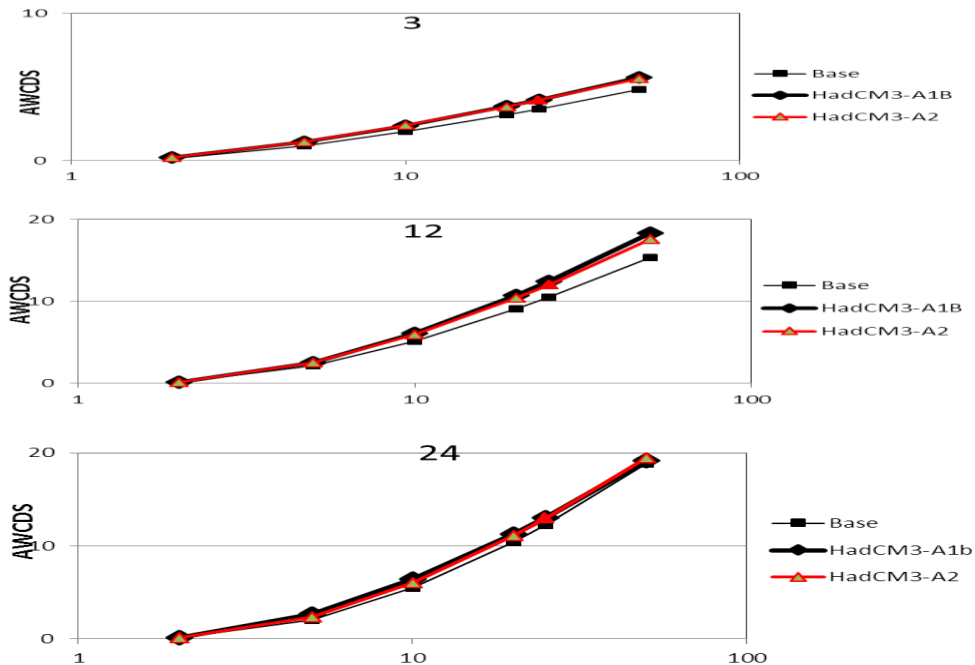
شکل ۱۳: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره مشاهده‌ای، A1B و A2 و برای دوره برگشت دو تا ۵۰ سال برای مناطق جنوبی ایران

شکل ۱۵ شدت تجمعی خشکسالی با تداوم زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه طی دوره مشاهده‌ای و دوره‌های آتی بر اساس سناریوهای A1B و A2 و برای دوره برگشت دو تا ۵۰ سال برای شرق ایران را نشان می‌دهد. مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت سه ماهه و ۱۲ ماهه دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره‌های آتی بر اساس سناریوهای A1B و A2 روند افزایشی شدت تجمعی خشکسالی را طی دهه‌های آتی را نشان می‌دهد، به عبارتی انتظار می‌رود، شدت خشکسالی‌های کوتاه مدت (سه ماهه) و (۱۲ ماهه) در شرق کشور طی دهه‌های آینده افزایش یابد. شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه شرق کشور برای تداوم های زمانی ۲۴ ماهه نیز در (شکل ۱۵) آورده شده است. مقایسه نمایه شدت خشکسالی بلند مدت دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره‌های آتی و بر اساس سناریوهای A1B و A2 تغییرات چندانی را در روند رخداد شدت تجمعی خشکسالی بلند مدت نشان نمی‌دهد.



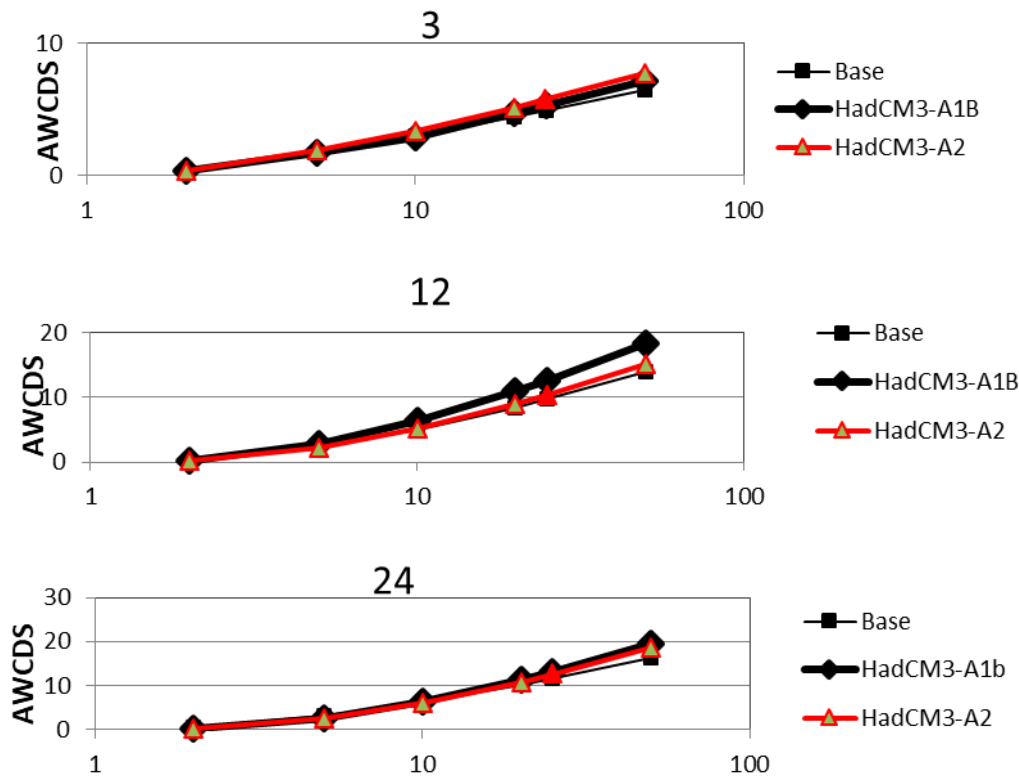
شکل ۱۴: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی سه ، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره

مشاهده‌ای، A1B و A2 و برای دوره برگشت دو تا ۵۰ سال برای مناطق شمال شرق ایران



شکل ۱۵: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی سه ، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره

مشاهده‌ای، A1B و A2 و برای دوره برگشت دو تا ۵۰ سال برای مناطق شمال شرق ایران



شکل ۱۶: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره

مشاهده‌ای، A1B و A2 و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای جنوب شرق ایران

شکل تحلیل فراوانی و نمودار شدت خشکسالی تجمعی را برای مقیاس های زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه و دوره برگشت دو تا ۵۰ ساله منطقه جنوب شرق کشور را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از (شکل ۱۶) مطابق با الگوی منطقه شرق کشور می‌باشد، به طوری که مقایسه نمایه شدت خشکسالی تجمعی برای بازه های کوتاه مدت سه ماهه، میان مدت (۱۲ ماهه) و بلند مدت (۲۴ ماهه) طی دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ با دوره های آتی و بر اساس سناریوهای A1B و A2 بیانگر افزایش رخداد خشکسالی در دهه های آتی منطقه جنوب شرق کشور است، این روند افزایشی بویژه برای دوره برگشت های بیشتر از ۱۰ سال کاملاً مشهود می‌باشد.

نتیجه گیری

بر اساس گزارش های ارائه شده توسط وزارت نیرو، یکی از چالش های پیش روی کشور در سال های آتی، بحران آب خواهد بود. یکی از راهکارهای مبارزه با چنین چالشی، پیش بینی وضعیت آتی متغیرهای آب و هوایی همچون بارش و دما با هدف ارائه دورنمایی از میزان تغییرات این متغیرها در سال های آتی، می باشد که این امر با استفاده از خروجی های مدل های اقلیمی صورت می پذیرد. در این راستا، این پژوهش با هدف پیش بینی وضعیت خشکسالی طی دوره ۲۰۳۹-

۲۰۱۱ در ایستگاه‌های منتخب کشور انجام پذیرفت. در راستای انجام این هدف، از معتبرین ابزار برای پیش‌بینی متغیرهای آب و هوایی (در این پژوهش بارش)، یعنی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد، اما با توجه به اینکه خروجی این مدل‌ها در مقیاس بزرگ (حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع در مدل HadCM3) ارائه می‌شوند، لذا برای پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در مقیاس ایستگاهی، نیاز به عمل ریزمقیاس‌نمایی می‌باشد. در این تحقیق، از بین روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی، از مدل LARS-WG استفاده شد. در ابتدا، با استفاده از داده‌های بارش دیدبانی شده هر ایستگاه طی دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ میلادی، پارامترهای آماری متغیرهای آب و هوایی استخراج و بعد از کالیبراسیون مدل و اطمینان از توانمندی مدل در ساخت سری‌های زمانی بارش که با مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر بارش در دوره پایه در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت پذیرفت، متغیر بارش با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت دو سناریوی A1B، A2 طی دوره آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۱ میلادی) ریزمقیاس‌شد. جهت بررسی وضعیت خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) به کار رفت. نتایج نشان داد که میزان بارش نسبت به دوره پایه طی دوره‌های آینده نزدیک تحت خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و دو سناریوی A1B، A2 تغییر معنی‌داری در بیش‌تر مناطق کشور خواهد داشت. بیش‌ترین درصد تغییر مربوط به جنوب شرقی کشور می‌باشد که برای هر سه تداوم زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه افزایش خشکسالی را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که برای تداوم زمانی ۱۲ ماهه و ۵۰ ساله شدت خشکسالی دوره پایه ۱۳/۸۲ بوده ولی در دوره آتی سناریوی A2، ۱۵/۰۵ و در دوره آتی سناریوی A1B، ۱۸/۳۹ را نشان می‌دهد. در غرب و شمال کشور نیز به‌طور مشابه در کلیه تداوم‌های زمانی شدت خشکسالی در دوره‌های آتی بیش‌تر از دوره پایه است، به‌طوری‌که در دوره ۲۴ ماهه و دوره بازگشت ۵۰ ساله شدت خشکسالی پایه ۱۶/۳۱ ولی در دوره آتی A2، ۱۸/۶۵ و در دوره آتی A1B، ۱۹/۵۵ را نشان می‌دهد. در مناطق جنوب، مرکز و شرق کشور مقادیر شدت خشکسالی پایه و آتی با تداوم زمانی ۲۴ ماهه و در دوره برگشت ۵۰ ساله همگی حدود ۱۸/۸ بوده و شدت خشکسالی تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد. شدت خشکسالی در شمال غرب کشور و جنوب غرب کشور در هر سه تداوم زمانی سه، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دوره‌های آتی کم‌تر از دوره پایه خواهد بود بطوری‌که در تداوم زمانی ۲۴ ماهه شدت خشکسالی با دوره برگشت ۵۰ ساله پایه ۲۳ ولی در دوره‌های آتی ۱۸/۴۴ را نشان می‌دهد. از آنجایی که مدل‌های اقلیمی به عنوان معتبرترین ابزار تولید سناریوهای اقلیمی مطرح می‌باشند، ضروری است مدیران و تصمیم‌گیران بخش‌های مختلف منابع آب، کشاورزی و ... نتایج حاصل از چنین پژوهش‌هایی را نیز مد نظر قرار داده تا امکان برنامه‌ریزی‌های بلندمدت برای این منطقه میسر شود. با توجه به وجود روش‌های دیگر ریزمقیاس‌نمایی و همچنین خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای متفاوت انتشار، پیشنهاد می‌شود با هدف کاهش عدم قطعیت در نتایج، محاسبه نمایه استاندارد شده بارش با استفاده از

خروجی این مدل‌ها و دیگر روش‌های ریزمقیاس‌نمایی مانند SDSM، ASD و غیره صورت پذیرد و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه و در صورت امکان میانگین نتایج به عنوان پیش‌بینی قطعی تر این نمایه عنوان شود. همچنین با توجه به امکان پیش‌بینی این نمایه برای دوره‌های بعدی، پیشنهاد می‌شود دورنمایی از این نمایه برای دوره پایانی این قرن نیز ارائه شود.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی بررسی تغییرات شدت خشکسالی ایران زمین تحت تاثیر تغییر اقلیم و با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب انجام پذیرفته است که تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

آذرانفر، الف.، ابریشم چی، الف. و تجریشی، م. (۱۳۸۵). ارزیابی تغییرات بارش و دما بر اثر تغییر اقلیم با استفاده از خروجی مدل‌های چرخش عمومی، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران.

بابائیان، الف.، نجفی نیک، زهرا، عباسی، ف.، نوخندان، م.، ادب، ح. و ملبوسی، ش. (۱۳۸۷). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه، ۱۶: ۱۵۲-۱۳۵.

بابائیان، الف. و کوهی، م. (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی ۱۳۹۱، نشریه آب و خاک، ۲۶: ۹۶۷-۹۵۳.

بذرافشان، ج.، خلیلی، ع.، هورفر، ع.، ترابی، ص. و حجام، س. (۱۳۸۸). بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل لارس و ClimGen در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال پنجم، شماره ۱، ص: ۴۴-۵۷.

تقوی، ف. و محمدی، ح. (۱۳۸۶). بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی، محیط شناسی، ۳۳(۴۳): ص: ۱۱-۲۰.

گل محمدی، م.، مساح بوانی، ع. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم، نشریه آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۲، تیرماه ۱۳۹۰، ص: ۳۲۶-۳۱۵.

مساح بوانی، ع. و مرید، س. (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی. مجله تحقیقات منابع آب. سال اول.

Easterling, D. R., J. L. Evans, P. Ya. Groisman, T. R. Karl, K. E. Kunkel, and P. Ambenje (2000). Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. Bull. Amer. Meteor. Soc., 81, pp: 417-425.

Ekström, M., H.J. Fowler, C.G. Kilsby and P.D. Jones. (2005). New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2 Future estimates and use in impact studies. J. Hydrol., 300, pp: 234-251.

Hayes, Michael, J. (2002). When Is Drought? Drought Indices. Climate Impacts Specialist. National Drought Mitigation Center. (<http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm>).

Manton, M.J., P.M. Della-Marta, M.R. Haylock, K.J. Hennessy, N. Nicholls, L.E. Chambers, D.A. Collins, G. Daw, A. Finet, D. Gunawan, K. Inape, H. Isobe, T.S., Kestin, P. Lefale, C.H. Leyu, T. Lwin, L. Maitrepierre, N. Ouprasitwong, C.M. Page, J. Pahalad, N. Plummer, M.J. Salinger, R. Suppiah, V.L. Tran, B. Trewin, I. Tibig, and D., Yee (2001). Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the South Pacific: 1916-1998, Int. J. of Climatol, 21, pp: 269-284.

McKee, T.B., N.J., Doesken and J., Kliest. (1995). Drought Monitoring with Multiple Time Scales. In Prox, 9th Conf. on Applied Climatology, January 17-22, American Meteorology Society, Massachusetts, pp:179-184.

Semenov, M.A and Brooks, R.J. (1999). Spatial interpolation of the LARS-WG weather generator in Great Britain. Climate Research, 11:137-148 (pdf)

Semenov, M.A and Barrow, E.M. (1997). Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. Climatic Change, 35, pp: 397-414.

Semenov, M. (2008). Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, Climate Research, 35, pp: 203-212.

Sura, P. (2012). Stochastic Models of Climate Extremes: Theory and Observations. Presentation at AMS General Meeting, American Meteorological Society, New Orleans, Louisiana .

Szalai, S., Szinell, C. S. (2000). Comparison of Two Drought Indices for Drought Monitoring in Hungary - A Case Study, Drought and Drought Mitigation in Europe Advances in Natural and Technological Hazards Research, 14, pp: 161 - 166.

Szinell, C. S., Bussay, A. and Szentimrey, T. (1998). Drought tendencies in Hungary, *International Journal of Climatology*, 18, 13, pp: 1479–1491.