نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵

صفحات ۱۲۰- ۹۹

تاثیر تغییر اقلیم بر شدت و دوره بازگشت خشکسالی های ایران

سید رضا الوانکار، دکتری منابع آب، استادیار گروه عمران آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، ایران.

فرزانه نظری، کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، کارشناس ارشد مهندسین مشاور لار، تهران، ایران.

ابراهیم فتاحی[1]، دانشیار اقلیم شناسی، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران.

دریافت مقاله:۱۳۹۴/۰۹/۳۰ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۳/۰۳

چکیده

امروزه معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدلهای AOGCM می‌باشد. از جمله مدلهایی که برای ریز مقیاس نمایی مبتنی بر روشهای آماری استفاده می‌کنند مدل LARS-WG می‌باشد، در این مطالعه بر اساس مدل HadCM۳ و دو سناریوی A۱B، A۲ برای دوره پایه (۱۹۶۱- ۱۹۹۰) و دوره پیش بینی (۲۰۴۰- ۲۰۱۱) در مقیاس روزانه فرایند ریز مقیاس نمایی انجام شد. و داده های مقادیر مجموع بارش روزانه برای ایستگاههای منتخب تولید شد. بعد از کالیبراسیون مدل و اطمینان از توانمندی مدل در ساخت سری های زمانی بارش که با مقایسه داده های شبیه سازی شده با مقادیر بارش در دوره پایه در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت پذیرفت، جهت بررسی وضعیت خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) بکار رفت. نتایج نشان داد که میزان بارش نسبت به دوره پایه طی دوره‌های آینده نزدیک تحت خروجی های مدل گردش عمومی جو HadCM۳ و دو سناریوی A۱B، A۲ تغییر معنی‌داری در بیشتر مناطق کشور خواهد داشت. بیشترین درصد تغییر مربوط به جنوب شرقی کشور می باشد که برای هر سه تداوم زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه افزایش خشکسالی را نشان میدهد بطوریکه برای برای تداوم زمانی ۱۲ ماهه و ۵۰ ساله شدت خشکسالی دوره پایه ۱۳/۸۲ بوده ولی در دوره آتی سناریوی A۲، ۱۵/۰۵ و در دوره آتی سناریوی A۱B ، ۱۸/۳۹ را نشان میدهد. در غرب و شمال کشور نیز بطور مشابه در کلیه تداوم های زمانی شدت خشکسالی در دوره‌های آتی بیشتر از دوره پایه است، بطوریکه در دوره ۲۴ ماهه و دوره بازگشت ۵۰ ساله شدت خشکسالی پایه ۱۶/۳۱ ولی در دوره آتی A۲ ، ۱۸/۶۵ و در دوره آتی A۱B، 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 بطوریکه در تداوم زمانی ۲۴ ماهه شدت خشکسالی با دوره برگشت ۵۰ ساله پایه ۲۳ ولی در دوره‌های آتی ۱۸/۴۴ را نشان میدهد. در نهایت، اگرچه در پیش بینی‌های بدست آمده از ریزمقیاس گردانی خروجی های مدل های اقلیمی عدم قطعیت هایی وجود دارد که این امر به علت ساختار مدل‌های گردش عمومی جو، داده های مشاهداتی و ... می باشد اما از آنجایی که مدل های اقلیمی به عنوان معتبرترین ابزار تولید سناریوهای اقلیمی مطرح می باشند، ضروری است مدیران و تصمیم گیران بخش های مختلف منابع آب و کشاورزی نتایج حاصل از چنین پژوهش‌هایی را نیز مد نظر قرار داده تا امکان برنامه ریزهای بلند مدت میسر شود.

واژگان کلیدی: HadCM۳ ، LARS-WG ،خشکسالی ، SPI, AOGCM

[1] - نویسنده مسئول: Email: ebfat۲۰۰۲@yahoo.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

مقدمه

یک موضوع بسیارمهم بررسی اثرات تغییر اقلیم در زمینه های مرتبط ، نظیر وقایع حدی (فرین) در یک منطقه است. در رابطه با اینکه زیان آورترین اثرات تغییرات آب وهوایی به دلیل افزایش پتانسیل (درفرکانس ویاشدت) نمایه‌های حدی آب وهوایی و وقایع اقلیمی است اتفاق نظر وجود دارد. اگرچه وقایع حدی، به ندرت روی می دهند اما تاثیر مستقیمی بر مردم، کشورها و مناطق آسیب پذیر دارند (Sura, ۲۰۱۲). بستر رخداد وقایع آب وهوایی حدی، شرایط دمایی و بارش‌های حدی است؛ بنابراین، بررسی داده‌های اقلیمی حدی امری ضروری به نظرمی رسد. (تقوی و محمدی ۱۳۸۶). هیئت بین دول تغییرات آب وهوایی (IPCC) درسومین گزارش ارزیابی خود (TAR, ۲۰۰۱) پیش بینی کرد که درطول دوره ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰، متوسط‌دمای جهان۱/۱ تا ۴/۶ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت و بیشتر، فراوانی و شدت وقایع حدی اقلیمی (سیل،خشکسالی، وغیره)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 سابقه ای ازوقایع آب وهوایی حدی مانندخشکسالی وگردباد را تجربه کرده است و این وقایع همچنان رو به افزایش اند. دلایل وقوع وقایع حدی آب وهوایی و اقلیمی بدلیل نابود کردن زندگی انسانها و افزایش هزینه های مرتبط با آنها درچند سال اخیر بشدت مورد توجه قرار گرفته است (Easterling et al, ۲۰۰۰)، زیرا می‌توانند اثرات عمده‌ای برجامعه،اقتصادومحیط زیست در پی داشته باشد(Manton et al, ۲۰۰۱). 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 تاثیر قرار دهد. فعالیتهای متعددی در سراسر جهان در رابطه با روند تغییرات نمایه‌های حدی دما و بارش انجام گرفته است. بر این اساس روند نمایه های 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 فرین های مرطوب در دوره۱۹۹۹-۱۹۴۶ برای بارش افزایش داشته، ولیکن این روند معنی دار نبوده است. همچنین در مطالعه‌ای تغییرات ممکن در بارش بیشینه در انگلستان با استفاده از مدل HadCM۳ تحت سناریوی انتشار A۲ برای سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ ، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و۲۰۹۹-۲۰۷۰ بررسی شد(Ekstrom et al, ۲۰۰۵). مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) ، اثرات تغییر اقلیم روی دما و بارندگی و رواناب در حوضه آبریز زاینده رود اصفهان را با استفاده از مدل HadCM۳ تحت دو سناریوی B۲,A۲ در دوره های آتی مورد بررسی قرار دادند. و کاهش بارندگی وافزایش دما را پیش بینی نمودند. علاوه بر این اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما را در حوضه آبریز زاینده رود در دوره های آتی با استفاده از مدل CGCM۳ تحت دو سناریوی انتشار A۲ وB۲ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان دهنده افزایش دما در دوره‌های آینده و تغییرات بارش بوده است (آذرانفر و ابریشم‌چی،۱۳۸۵). تغییرات اقلیمی استان خراسان رضوی در افق ۱۴۰۰ شمسی با استفاده از داده‌های مدل ECHO-G در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاکی از کاهش ده درصدی بارش بوده است ولکین علی رغم این کاهش، آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین افزایش نشان داده است (بابائیان و همکاران ،۱۳۸۷). بررسی مقادیر حدی و روند تغییرات آن‌ها در دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱ در کل کشورنشان داده است هر سه حالت ایستا، روند مثبت و منفی از نمایه‌های فوق در سطح کشور قابل مشاهده است اما در حالیکه 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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

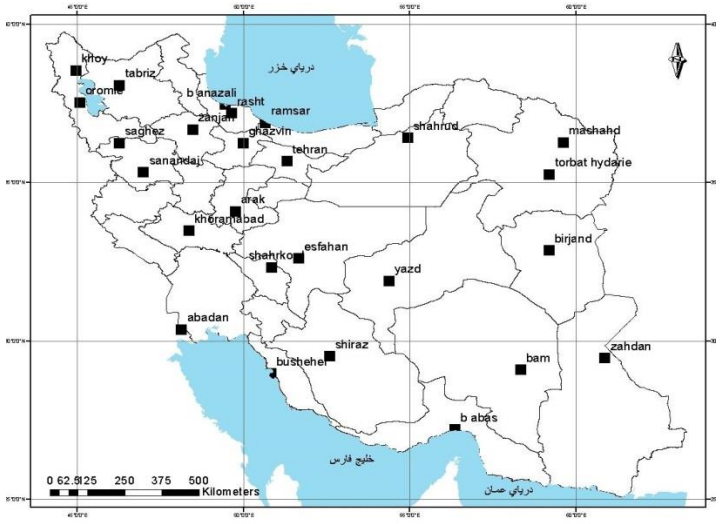
شده است(عسگری و همکاران ،۱۳۸۶). همچنین بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره مذکور نشان داد نمایه‌های حدی چون روزهای یخبندان ،روزهای یخی، روزهای سرد، شبهای سرد و دامنه تغییرات شبانه-روزی دما در اغلب نقاط کشور دارای روند منفی است و نمایه‌هایی چون روزهای تابستانی ،روزهای گرم و شبهای گرم ، نیز در اغلب نقاط کشور روند افزایشی داشته‌اند و به‌طور کلی روند نمایه‌ها جدا از موارد استثنایی، همسو با آخرین یافته‌های هیات بین‌الدول تغییر اقلیم و مطالعات جهانی دیگر می‌باشد (رحیم‌زاده و همکاران،۱۳۸۸). عملکرد دو مدل LARS-WG و ClimGen در شبیه‌سازی متغییرهای دما، بارش و تابش را بررسی کردند نتایج حاکی از عملکرد بهتر مدل LARS-WG در شبیه سازی بارش و تابش و عملکرد بهتر مدل ClimGem در شبیه سازی دما می باشد (بذر افشان و همکاران، ۱۳۸۸). گل محمدی و مساح (۱۳۹۰) با شبیه سازی بارش با مدل HadCM۳ تحت سناریوی A۲ در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی برای حوضه آبریز قرسو، وضعیت خشکسالی این حوضه را در این دوره برای دوره بازگشت های مختلف مشخص کردند. 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 مقیاس های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه با افزایش دوره بازگشت افزایش می یابد. این در حالی است که برای خشکسالی های ۲۴ ماهه با افزایش دوره بازگشت، شدت خشکسالی حوضه بیش از دوره پایه خواهد بود. همچنین ارزیابی شاخصهای اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاههای منتخب خراسان رضوی نشان داد 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(بابائیان و کوهی،۱۳۹۱) . بررسی خشکسالی تحت تأثیر تغییر اقلیم در سه دهه آینده در ایستگاه یزد نشان می دهد دمای کمینه و بیشینه ایستگاه یزد در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ میلادی تحت هر دو سناریوی انتشار A۲, B۲ نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت ولیکن تغییرات بارش منطقه تحت دو سناریوی مورد مطالعه یکسان نبوده به طوری که سناریوی A۲ برای تمامی ماه‌های سال بارش بیشتری را نسبت به دوره مشاهداتی برای این ایستگاه در بردارد. از طرف دیگر سناریوی B۲ فقط بارش‌های ماه های مارس، می و اکتبر را بیش از دوره مشاهداتی تخمین زده و برای بقیه ماه‌ها بارش کمتری را نسبت به دوره پایه شبیه‌سازی کرد (دستورانی و همکاران ،۱۳۹۰).تحلیل خشکسالی هواشناسی کشاورزی استان گلستان در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از مدل HadCM۳ و ریز مقیاس نمایی مدل LARS-WG حاکی از آن است که بیشترین فراوانی خشکسالی شدید در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ مربوط به ایستگاه کلاله و تحت سناریوی A۱Bمی‌باشد. در همین دوره بیشترین فراوانی خشکسالی بسیار شدید مربوط به ایستگاه گنبد می‌باشد که در سناریوهای B۱و A۱B پنج خشکسالی بسیار شدید در این ایستگاه پیش‌بینی می‌شود (کردجزی و همکاران ،۱۳۹۰). در این مطالعه تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر رژیم بارش ایران زمین و مشخصاً روند تغییرات فراوانی و شدت خشکسالی کشور تحت تاثیر تغییر اقلیم طی دهه-های آتی مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از مدل مولد LARS -WG بر اساس مدل HadCM۳ و تحت سناریوی انتشار A۱B،A۲ داده های دوره های آتی تولید و خشکسالی با استفاده از نمایه SPI محاسبه و در نهایت با اعمال روش تحلیل فراوانی بر سریهای زمانی دوره پایه و داده های حاصل از مدل های اقلیمی ، شدت – فراوانی و دوره برگشت خشکسالی های دوره پایه و دهه های آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ محاسبه و ارزیابی شده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

داده ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه : با توجه به هدف تحقیق منطقه مورد مطالعه گستره ایران زمین است و داده های مورد نیاز برای این پژوهش از مجموع بارش روزانه و سری‌های اقلیمی دمای حداقل، حداکثر و ساعات آفتابی در مقیاس روزانه از ۲۷ ایستگاه سینوپتیک که دارای داده های معتبر و طولانی مدت (۱۹۹۰-۱۹۶۱) بوده اند انتخاب گردیده است . لازم به ذکر است انتخاب ایستگاه های با توجه به در دسترس بودن داده های بارش، توزیع مناسب منطقه ای، هم دوره بودن اطلاعات ایستگاه‌ها در دوره های آماری انتخاب شده است. درتحقیق حاضر همچنین از داده های مجموع بارش ماهانه ایستگاه های سینوپتیک منتخب طی دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) برای پایش خشکسالی استفاده گردیده است در شکل شماره (۱) پراکندگی ایستگاههای مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱: پراکندگی ایستگاههای مورد مطالعه در سطح کشور

- **سناریوهای اقلیمی و سناریوهای انتشار**

مدل‌های GCM مدل‌های سه بعدی هستند که که بر پایهٔ قوانین فیزیکی (که بوسیلهٔ روابط ریاضی ارائه می‌شوند) استوار می‌باشند و متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای مختلف انتشار (A۱,A۲,B۱,B۲) در دوره‌های زمانی مختلف شبیه‌سازی می‌گردند. در این سناریوها مقادیر گازهای گلخانه‌ای با نرخی ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد . (IPCC ; ۲۰۰۷, Wilby R.L. and I. Harris, ۲۰۰۶). در این تحقیق از خروجی مدل HadCM۳ ، تحت سناریوی A۱B و A۲ استفاده شده است.

- **روشها**

الف) کوچک مقیاس نمایی

در مطالعات ارزیابی تغییرات اقلیم در سطوح منطقه ای، یکی از مشکلات اصلی در استفاده از مدل های موجود، وسعت محدوده پیش بینی متغیرها در این مدل ها است که با توجه به تغییرات توپوگرافی و اقلیم در این محدوده، نمی توان از نتایج مستقیم در مقیاس ایستگاهی استفاده نمود. برای رفع این نقیصه، روش های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس منطقه ای ایجاد شده اندکه به آن ها ریز مقیاس کردن (Down-Scaling) گفته می‌شود(حق طلب و همکارن، ۱۳۹۲). از این روی با توجه به قدرت تفکیک پایین زمانی و مکانی این مدلها و عدم قطعیت بالای آنها در خروجی‌های روزانه بویژه بارش، استفاده مستقیم از این خروجی ها در مطالعات تحلیل رویدادهای فرین و کاربرد در

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

مدل های مختلف را نامناسب ساخته است (Semenov, ۲۰۰۸). لذا جهت استفاده از این داده‌ها لازم است تا خروجی های این مدل‌ها توسط تکنیک های مختلف در سطوح ایستگاهی ریز مقیاس گردد. یکی از این ابزارها مدل LARS-WG می باشد.

- **مدل** LARS-WG

مدل LARS-WG مولد مصنوعی داده های آب و هوایی است که می تواند برای شبیه سازی داده های هواشناسی در یک مکان واحد تحت شرایط اقلیم حال وآینده بکار رود. خواص آماری داده های تولید شده مشابه دوره آماری بوده اما انحراف معیار آنها به نسبت اختلاف داده های مدل GCM در دوره آینده و گذشته پریشیده می شود این مدل توانایی تولیدسری های زمانی داده‌های آب و هوایی یکسان با دوره دیده بانی را داراست(Semenov, ۲۰۰۸; ۲۰۱۰) .

نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد (Racsko,۱۹۹۹). هدف اصلی از این کار غلبه بر محدودیت های زنجیره مارکف در وقوع بارش بود. جدیدترین نسخه LARS-WG به طور کامل باز بینی شد که در نتیجه آن یک مدل قوی برای تولید داده های مصنوعی آب و هوایی برای محدوده های وسیعی از اقلیم ایجاد گردید.

ب) شاخص استاندارد شده بارش (SPI)

کمبود بارش بر رطوبت خاک، جریان سطحی، ذخیره منابع و سطح آب های زیرزمینی و غیره در مقیاس های زمانی متفاوت اثر می گذارد. در مقیاس زمانی کوتاه مدت، این کمبود عمدتاً بر روی وضعیت رطوبت خاک اثر می‌گذارد، در صورتی که کمبود بارش طولانی مدت اغلب بر آب های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر منابع آب موثر است. مک کی و همکاران (۱۹۹۳) شاخص SPI را برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس های زمانی چندگانه معرفی کردند(McKee et al. ۱۹۹۳). بطوریکه این نمایه در توصیف خشکسالی در هانگری توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفت (Szalai et al, ۲۰۰۰ ; Szinell et al, ۱۹۹۸) ایشان نتیجه گرفتند که SPI برای کیفی کردن بیشتر انواع خشکسالی مناسب می باشد . محاسبه SPI برای هر مکان، با استفاده از رکوردهای طولانی مدت مدت در دوره زمانی مورد نظر صورت می گیرد. این داده ها، 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, ۲۰۰۱). جدول شماره (۴) مقیاس طبقه بندی SPI را نشان می‌دهد(McKee et al, ۱۹۹۵).

جدول ۱ : طبقه بندی خشکسالی با مقادیر SPI و احتمالات مرتبط با هر رویداد

احتمال %	طبقه	طبقه	مقدار SPI
۲/۳	ترسالی حاد	Extremely Wet	بیشتر از ۲+
۴/۴	ترسالی شدید	Severely Wet	۱/۵≤SPI≤+۱/۹۹
۹/۲	ترسالی متوسط	Moderately Wet	۱ ≤SPI≤۱/۴۹
۳۴/۱	ترسالی خفیف	Mildly Dry	۰/۹۹ ≤SPI≤۰
۳۴/۱	خشکسالی خفیف	Mild drought	۰ ≤SPI≤-۰/۹۹
۹/۲	خشکسالی متوسط	Moderate drought	-۱/۴۹ ≤SPI≤ -۱
۴/۴	خشکسالی شدید	Severe Drought	-۱/۹۹≤SPI≤ -۱/۵
۲/۳	خشکسالی حاد	Extreme Drought	≤SPI-۲

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

ج) 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 شده است (Kim et al, ۲۰۰۲ ; Loukas etal, ۲۰۰۴) و سپس آنالیز فراوانی بر روی آن انجام شد. مراحل محاسبه این شاخص به شرح ذیل می باشد:

- محاسبه مقادیر SPI ماهانه برای کلیه مقیاس های ۳، ۱۲و ۲۴ ماهه

مجموع سالانه مقادیر SPI در دوره های خشک ماهانه (SPI<-۰.۵) در هر مقیاس زمانی با فراوانی وقوع خشکسالی در هر سال ضرب گردید.

فراوانی وقوع خشکسالی از تقسیم تعداد ماههایی که (SPI<-۱) است بر عدد ۱۲ ماه بدست می آید.

این مراحل برای مقیاس های ۳، ۱۲و ۲۴ ماهه SPI و برای دوره مشاهداتی و آتی برای دو سناریو A۲ و A۱B محاسبه شده است.

پس از محاسبه شدت خشکسالی تجمعی وزنی سالانه(AWCDS) و برازش توزیع های مختلف آماری به آمار آنها ، با استفاده از کمترین خطای استادارد بهترین توزیع انتخاب شده است . لازم به ذکر است در این مطالعه به منظور بررسی منطقه‌ای خشکسالی، کشور به ۹ منطقه تقریبا 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 مقیاس های زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای دوره مشاهداتی و آتی برای این مناطق ترسیم و مقایسه شده است.در نهایت پهنه بندی نمایه شدت خشکسالی برای کل ایران برای دوره های برگشت ۵ ، ۱۰، ۲۰ ، ۲۵ و ۵۰ نشان داده شده است.

شرح و تفسیر نتایج

- نتایج صحت سنجی واطمینان ازتوانمندی مدلLARS-WG برای شبیه سازی مقادیر بارش در دهه های آینده :

به منظور صحت سنجی واطمینان ازتوانمندیمدلLARS-WG برای شبیه سازی مقادیر بارش در دهه های آینده،ابتدامدل برای دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ اجراگردید وسپس خروجی‌های(در اینجا) مقادیر بارش روزانه، با داده‌های ۳۰ سال دیدبانی شده ایستگاههای مورد مطالعه مقایسه و 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 ایستگاه ها نشان داد که بین میانگین شبیه سازی شده ی بارش با مقدار واقعی آن طی دوره پایه، اختلاف معنی داری در سطح معنی داری ۰/۰۵ وجود ندارد . همبستگی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول شماره(۲) ارائه شده است و 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 ٪ است. به طور کلی حاکی است، مدلLARS-WG توانمندی مدلسازی اقلیم را در بر داشته و می توان از نتایج مدل فوق برای شبیه سازی اقلیم آینده از آن بهره جست.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

جدول ۲: مقایسه مقادیر بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل LARS-WG۵ 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	تربت 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		

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

از آنجا که هدف مطالعه حاضر شناخت دوره های خشک و تر در ایران طی دوره پایه و مقایسه آن با دوره های 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 داده های بارندگی است. هدف شاخص SPI اختصاص ارزش عددی به بارندگی است ، تا بتوان نواحی با آب و هوا ی کاملا متفاوت را مقایسه کرد. شاخص فوق با مقایسه کل بارش تجمعی برای ایستگاه یا ناحیه ای خاص در یک فاصله زمانی ویژه برای مثال ماه گذشته و یا ۳ ماه گذشته با میانگین بارش برای همان فاصله زمانی در تمام دوره آماری بدست می آید.محاسبه شاخص برای هر منطقه ای معین بر پایه ی آمار درازمدت بارش برای یک دوره دلخواه ۱،۳،۶،و.... می باشد. با مطالعه انجام شده بر روی ایستگاههای منتخب، مشخص گردید که در تمامی ایستگاههای مورد مطالعه پدیده خشکسالی و کاهش بارش وجود دارد و در تمامی ایستگاههای کشور از مناطق کم بارش تا مناطق پربارش 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 تفاوت هایی نیز مشاهده می شود ، همچنین نتایج بیانگروقوع فراوانی بیشتر خشکسالی و تر سالی های ضعیف نسبت به وقوع خشکسالی و تر سالی متوسط و شدید است. وقوع بارش های حدی ، رویداد های نظیر سیل ، تر سالی و خشکسالی های شدید را باعث می گردد، این رویدادها پدیده های کمیاب با درجه سختی بالایی هستند که وقوع آنها جوامع بشری را تحت تاثیر قرار می دهد. با استفاده از پیش آگاهی هایی که امروزه به کمک خروجی های مدل AOGCM برای مقادیر بارش در دهه های آتی در اختیار است، به نظر می‌رسد می توان از خروجی این مدل ها برای پیش بینی و پیش آگاهی چگونگی نمایه های حدی نظیر خشکسالی-بهره گرفت، تا بدین ترتیب بتوان برنامه ریزی مناسبی برای سازگاری ومقابله با آن درسطح کشور فراهم نمود. نتایج بسیاری از مطالعات بیانگر وجود روند افزایشی قابل ملاحظه در مقیاس های منطقه ای 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 مدل های اقلیمی با در نظر گرفتن افزایش گاز های گلخانه ای می باشد.در شکل های شماره۲ و ۳ نسبت فراوانی خشکسالی ایستگاههای مورد مطالعه طی دوره پایه ۹۰-۱۹۶۱ را به دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ را بر اساس مدل HadCM۳ و سناریوهایی A۱B و A۲ را برای بازه زمانی سه ماهه به تصویر کشیده است. همچنین در جداول شماره ۳ و ۴ مقایسه تعداد ماههای خشک ،نرمال و مرطوب در دوره پایه و دوره آتی۲۰۴۰-۲۰۱۱ برای

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

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 می دهد. به عبارتی الگوی حاصل از مدل HadCM۳ و بر اساس سناریوی A۱B بیانگر نرخ کاهشی در فراوانی رخداد خشکسالی های ایستگاه بندر عباس در دهه های آتی را بیان می دارد.همچنین نتایج حاصل از مدل فوق حاکی از کاهش در رفتار خشکسالی های سال های آتی در ایستگاههای خوی ، رشت ،بندر انزلی ، بوشهر و مشهد را نسبت به دوره پایه نشان می دهد. این در حالی است که نتایج حاصل از مدل HadCM۳ و بر اساس سناریوی های A۱B و A۲ برای پایش خشکسالی با بازه زمانی سه ماهه بیانگر افزایش رخداد خشکسالی بیش از ۱۰ درصد نسبت به دوره پایه را در ایستگاههای 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 آتی به همراه داشته باشد.

جدول۳ :تعداد ماههای خشک ،نرمال و مرطوب در دوره مشاهداتی و دوره آتی۲۰۴۰-۲۰۱۱برای تداوم زمانی ۳ ماهه

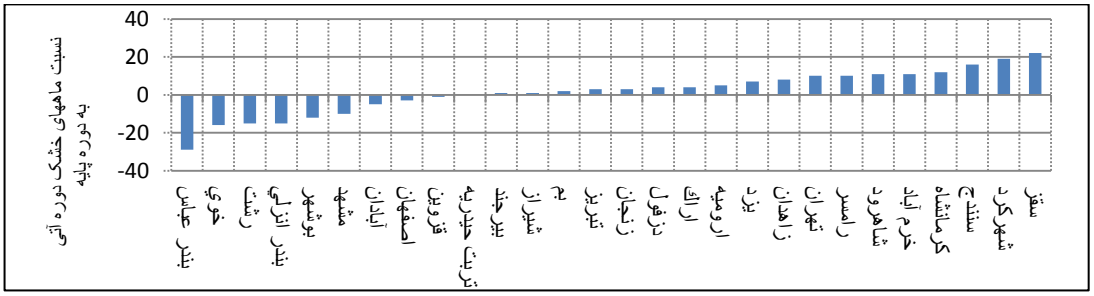
نام ایستگاه	دوره مشاهداتی			Had CM۳-A۱B			Had CM۳-A۲		
	ماههای خشک	ماههای مرطوب	ماههای نرمال	ماههای خشک	ماههای مرطوب	ماههای نرمال	ماههای خشک	ماههای مرطوب	ماههای نرمال
آبادان	۴۲	۲۰۳	۱۱۲	۴۰	۵۲	۲۶۴	۲۰	۶۳	۲۷۱
اراک	۴۳	۲۴۵	۶۲	۴۶	۶۱	۲۵۰	۴۶	۶۱	۲۵۰
بندر عباس	۳۰	۲۶۹	۵۹	۲۰	۵۸	۲۷۴	۲۰	۶۳	۲۷۱
بم	۳۴	۲۶۹	۵۵	۳۴	۶۲	۲۵۸	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	۳۸	۲۵۲	۶۷	۵۰	۵۵	۲۵۰	۴۸	۶۰	۲۴۷
شیراز	۳۸	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

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

جدول ۴: تعداد ماههای خشک ،نرمال و مرطوب در دوره مشاهداتی و دوره آتی۲۰۴۰-۲۰۱۱ برای تدام ۲۴ماهه

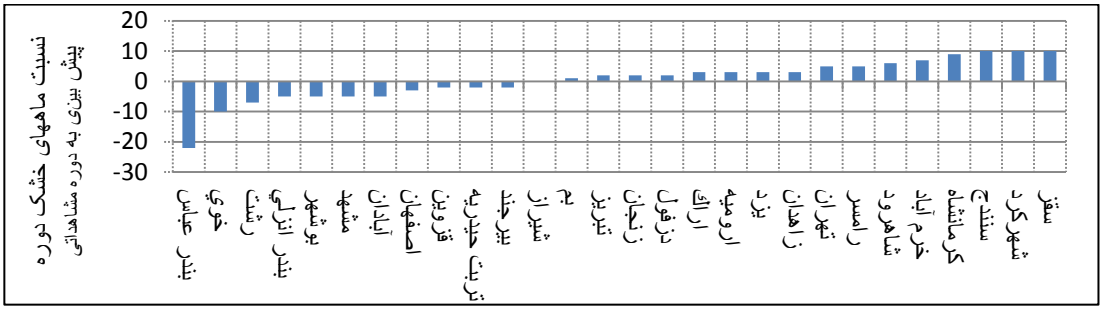
نام ایستگاه	دوره مشاهداتی			Had CM۳-A۱B			Had CM۳-A۲		
	ماههای خشک	ماههای مرطوب	ماههای نرمال	ماههای خشک	ماههای مرطوب	ماههای نرمال	ماههای خشک	ماههای مرطوب	ماههای نرمال
آبادان	۵۲	۵۵	۲۳۱	۵۹	۵۳	۲۲۵	۶۳	۵۳	۲۲۱
اراک	۶۸	۵۶	۲۱۳	۳۲	۴۶	۲۵۹	۳۱	۵۳	۲۵۳
بندر عباس	۷۳	۷۱	۱۹۴	۶۳	۶۱	۲۱۳	۵۳	۷۶	۲۱۰
بم	۵۹	۶۵	۲۱۴	۶۶	۶۳	۲۱۰	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 ایستگاههای منتخب دوره پایه و دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ براساس مدل Had CM۳ و سناریوی A۱B برای مقیاس زمانی ۳ ماهه

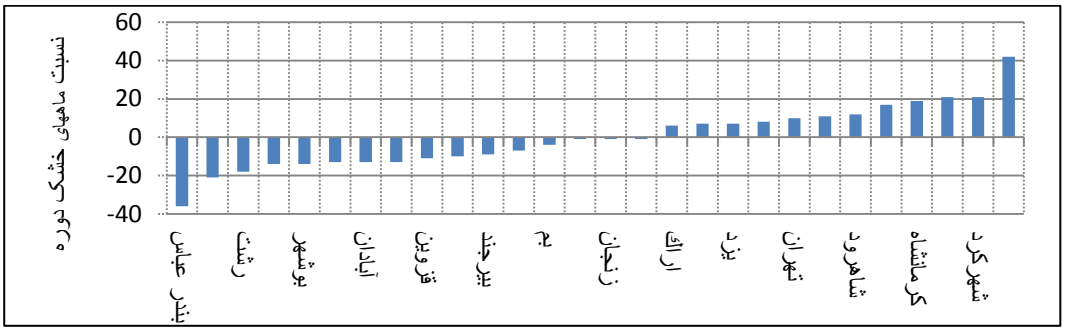
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

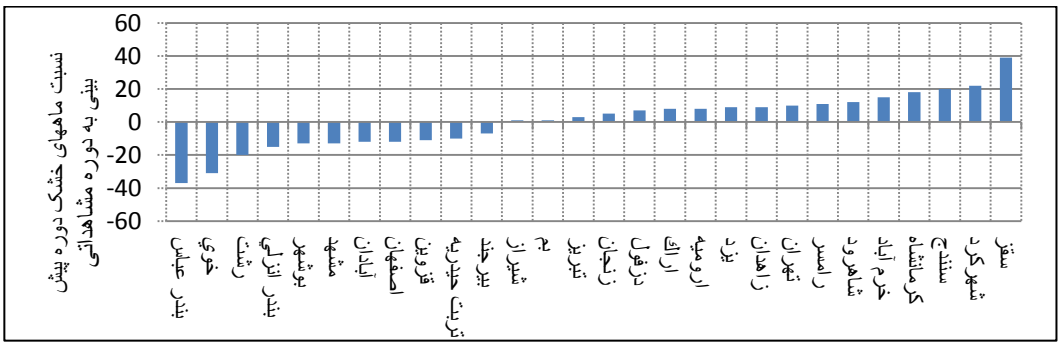


شکل ۳ : نسبت فراوانی خشکسالی ایستگاههای منتخب دوره مشاهداتی و دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ براساس سناریوی CM۳-A۲Had برای مقیاس زمانی ۳ ماهه

نتایج حاصل از مقایسه رفتار خشکسالی های بلند مدت (با بازه زمانی ۲۴ ماهـه) طـی دوره پایـه ۹۰-۱۹۶۱ بـا خشکسالی های دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۱ در شکل های ۴و ۵ ارائه شده است . همانگونه که ملاحظه می شـود الگـوی حاصل از مدل HadCM۳ و بر اساس هر دو سناریوی A۲ و A۱B نتایج مشابهی را نشان می دهند و مطابق با نتـایج 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 ۴ : نسبت فراوانی خشکسالی ایستگاههای منتخب دوره مشاهداتی و دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ براساس سناریوی Had CM۳-A۱B برای مقیاس زمانی ۲۴ ماهه



شکل ۵ : نسبت فراوانی خشکسالی ایستگاههای منتخب دوره مشاهداتی و دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ براساس سناریوی CM۳-A۲Had برای مقیاس زمانی ۲۴ ماهه

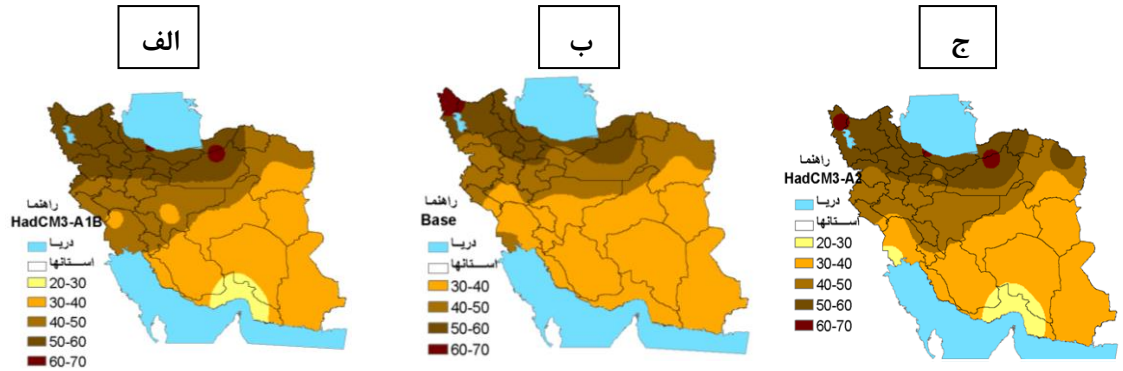
- **پهنه بندی توزیع فراوانی خشکسالی برای دوره مشاهداتی و دوره آتی**

در شکل شماره۶ حالت (الف) پهنه بندی فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص SPI و برای بازه زمانی سه ماهه (طـی دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱) را نشان می دهد. همانطور که در این شکل ملاحظه مـی گـردد ، بیشـترین فراوانـی در رخـداد خشکسالی های با بازه سه ماهه مربوط به مناطق شمال غرب و کرانه های دریای خزر می باشـد کـه بـا بـیش از ۵۰

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

رخداد خشکسالی بیشترین سهم را در سطح کشور به خود اختصاص داده اند.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. استان های شمال شرقی ، و استانهای واقع در جنوب رشته کوههای البرز و غرب کشور نیز با فروانی 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 داده اند. پهنه بندی توزیع فراوانی خشکسالی برای (شکل شماره۶ حالت (ب و ج) دوره آتی بر اساس سناریوهای A۲, A۱B برای تداوم زمانی ۳ ماهه ، بیانگر شباهت الگوی نقشه های دوره های آتی با دوره پایه است ، بنحوی که طی دهه های آتی بیشترین فراوانی رخداد خشکسالی در کرانه های دریای خزر و شمال غرب ایران و استان های واقع در جنوب رشته کوههای البرز رخ خواهد داد.

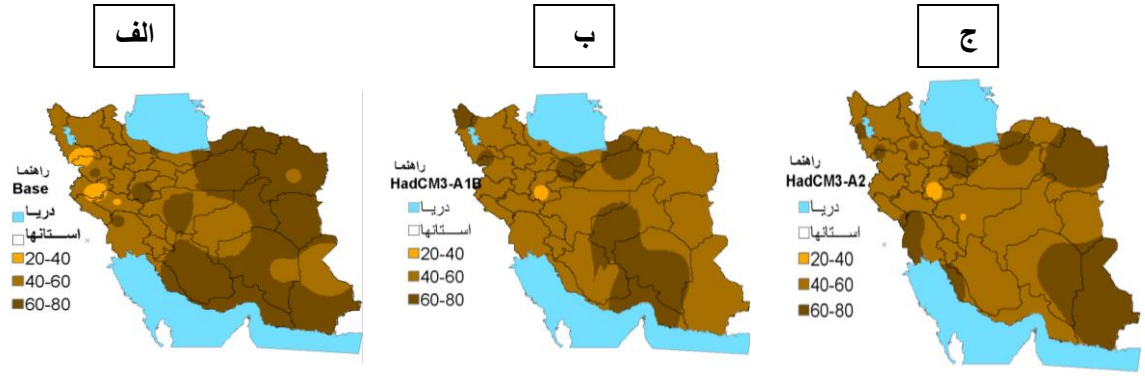
شکل شماره۷ حالت (الف) پهنه بندی فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص SPI و برای بازه زمانی ۲۴ماهه یا بلندمدت (طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱) را نشان می دهد. با توجه به الگوی نقشه فوق ، میزان خشکسالی در دوره پایه در نواحی شمال شرقی ، شرقی و جنوبی حدود ۶۰ تا ۸۰ دوره به وقوع پیوسته است. که در دوره های آتی (شکل شماره۷ حالت (ب و ج) و بر اساس سناریو های A۲, A۱B فراوانی خشکسالی آن در این نواحی شمال شرقی به ۴۰ تا ۶۰ می رسد.



شکل ۶: توزیع فراوانی خشکسالی(SPI) برای تداوم زمانی ۳ ماهه به ترتیب برای الف :دوره مشاهداتی (پایه) و دوره های آینده ب: HadCM۳ –A۱B و ج- HadCM۳ –A۲

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]



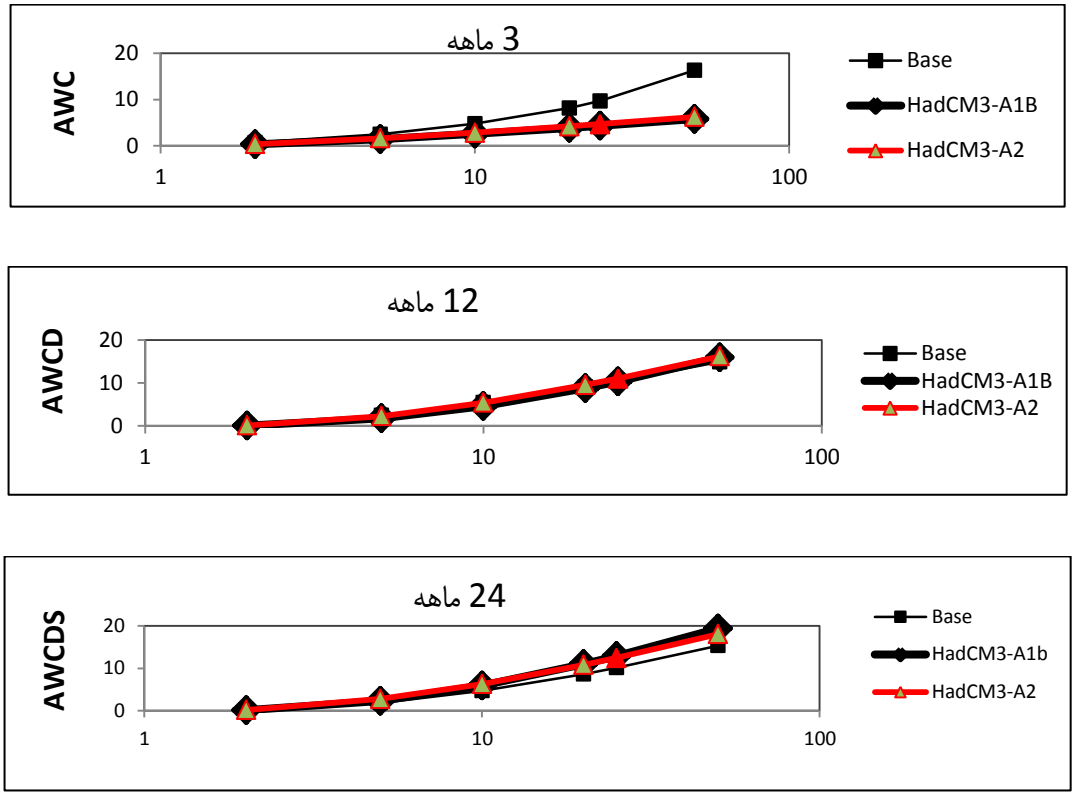
شکل ۷: توزیع فراوانی خشکسالی(SPI) برای تداوم زمانی ۲۴ ماهه به ترتیب برای الف :دوره مشاهداتی (پایه)و دوره های آینده ب: HadCM۳ –A۱B و ج- HadCM۳ –A۲

- **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 ۳، ۱۲و ۲۴ ماهه و برای دوره های مشاهداتی و آتی محاسبه و ترسیم شده است.شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه شمال غرب کشور برای تداوم های زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در شکل ۸ آورده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می شود که میزان شدت تجمعی وزنی خشکسالی (دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال) در دوره مشاهداتی و برای دوره های کوتاه مدت (مقیاس زمانی ۳ ماهه) افزایش جشمگیری را نشان می دهد، مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره های آتی در سناریوهای A۱Bو A۲نشان می دهد که شدت خشکسالی کوتاه مدت مناطق شمال غرب کشور روند کاهشی را نشان می دهد ، به عبارتی انتظار می رود که از شدت خشکسالی های کوتاه مدت (۳ ماهه)در شمال غرب کشور طی دهه های آینده کاسته شود. اما برای دوره های میان مدت (۱۲ ماهه) تغییر جشمگیری در شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه شمال غرب دیده نمی شود . مقایسه نمایه شدت خشکسالی برای دوره مشاهداتی با دوره های آتی و بر اساس سناریوهای A۱B و A۲ نشان می دهد که شدت تجمعی وزنی خشکسالی برای بازه زمانی ۱۲ ماهه دوره مشاهداتی دوره پیش بینی تفاوت چندانی ندارد. در حالی که بر اساس بازه زمانی ۲۴ ماهه (خشکسالی های با تداوم بلند مدت) و بر اساس سناریوهای A۱B و A۲ شدت تجمعی وزنی خشکسالی طی دهه های آتی روند افزایشی را نسبت به دوره پایه نشان می دهد ، 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 تمهیدات و تصمیمات خاصی اتخاذ شود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

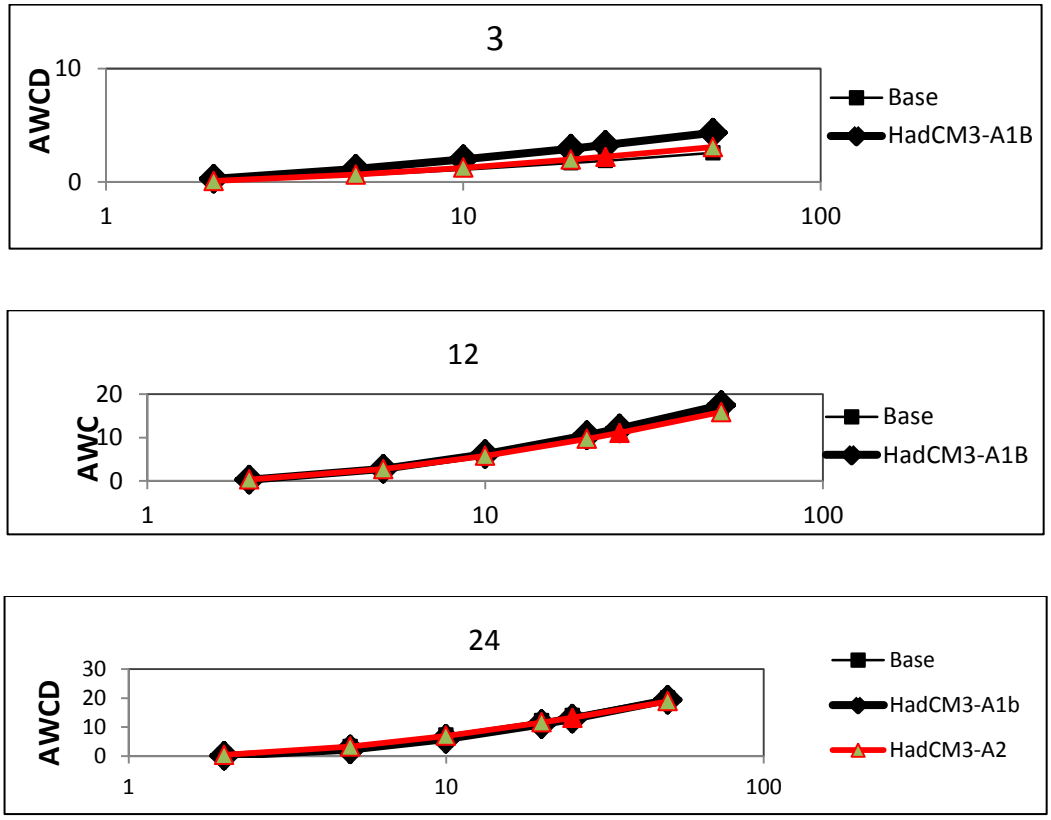


شکل ۸: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی ، A۱B و A۲و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای شمال غرب کشور

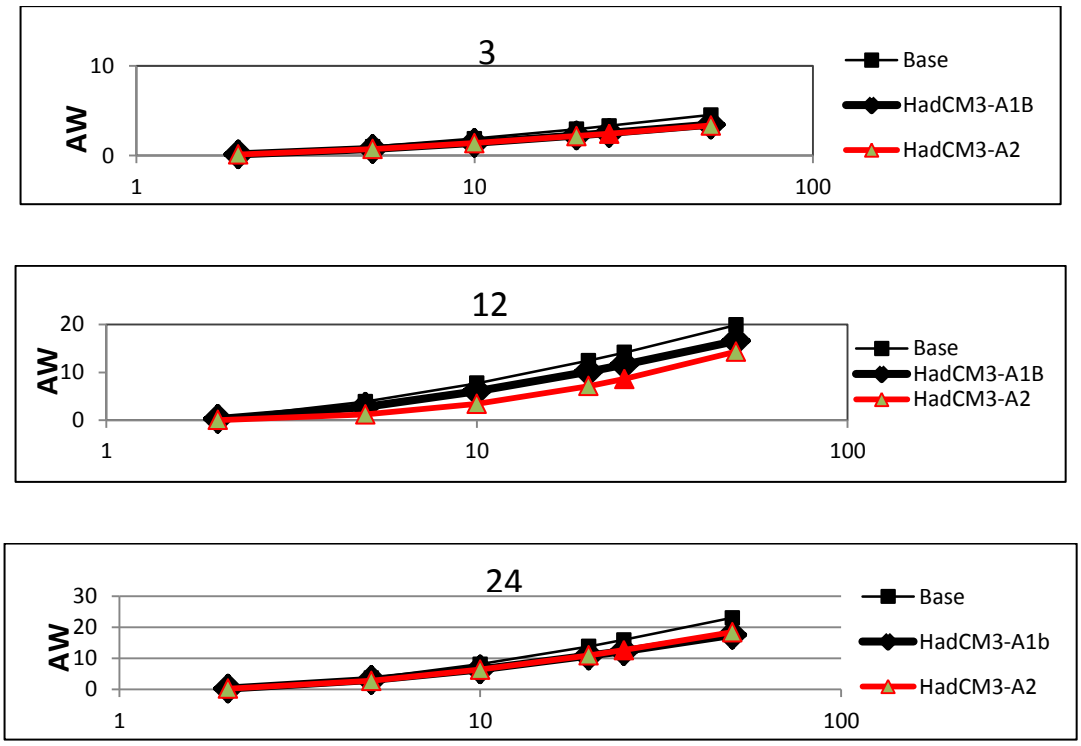
شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه غرب کشور برای تداوم های زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در شکل ۹ آورده شده است. مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره های آتی در سناریوهای A۱B و A۲نشان می دهد که شدت خشکسالی کوتاه مدت مناطق غرب کشور روند افزایشی را نشان می دهد ، به عبارتی انتظار می رود، شدت خشکسالی های کوتاه مدت (۳ ماهه)در غرب کشور طی دهه های آینده افزایش یابد. اما برای دوره های میان مدت (۱۲ ماهه) و بلند مدت (۲۴ ماهه) تغییر جشمگیری در شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه غرب دیده نمی شود . مقایسه نمایه شدت خشکسالی برای دوره مشاهداتی با دوره های آتی و بر اساس سناریوهای A۱B و A۲ نشان می دهد که شدت تجمعی وزنی خشکسالی برای بازه زمانی ۱۲ ماهه دوره مشاهداتی دوره پیش بینی تفاوت چندانی ندارد. همچنین بر اساس بازه زمانی ۲۴ ماهه (خشکسالی های با تداوم بلند مدت) و بر اساس سناریوهای A۱B و A۲ شدت تجمعی وزنی خشکسالی طی دهه های آتی روند افزایشی را نسبت به دوره پایه نشان نمی دهد .

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]



شکل ۹: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی ، A۱B و A۲و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای غرب کشور

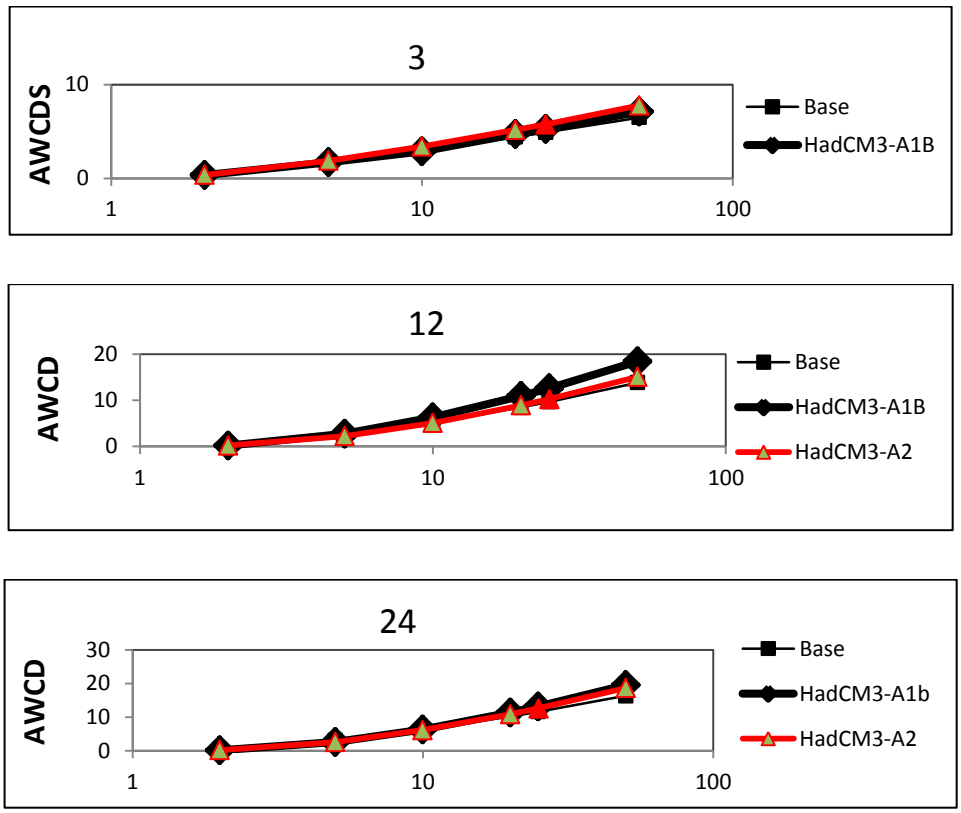


شکل ۱۰: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی ، A۱B و A۲و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای جنوب غرب کشور

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه جنوب غرب ایران برای تداوم های زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در شکل ۱۰ آورده شده است. در جنوب غرب کشور شدت خشکسالی طی هر دو دوره مشاهداتی دوره پیش بینی با افزایش تداوم زمانی در دوره برگشت های مختلف افزایش یافته است. مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت ، میان مدت وبلند مدت طی دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره های آتی در سناریوهای A۱Bو A۲نشان می دهد که شدت خشکسالی برای دوره مشاهداتی بیشتر از دوره پیش بینی دردو سناریوهای A۱B و A۲ می باشد که این نشان دهنده کاهش در شدت خشکسالی آینده در این منطقه است. در شمال کشور نیز همانطور که در شکل ۴-۱۱ نشان می دهد شدت خشکسالی در دوره مشاهداتی و پیش بینی برای تداوم زمانی ۳ ماهه به سمت تداوم زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه افزایش یافته است.همچنین شدت خشکسالی برای دوره پیش بینی بر اساس سناریوهای A۱B و A۲ نسبت به دوره مشاهداتی برای دوره برگشت بالاتر از ۲۰ سال روند افزایش شدیدی را نشان می دهد.

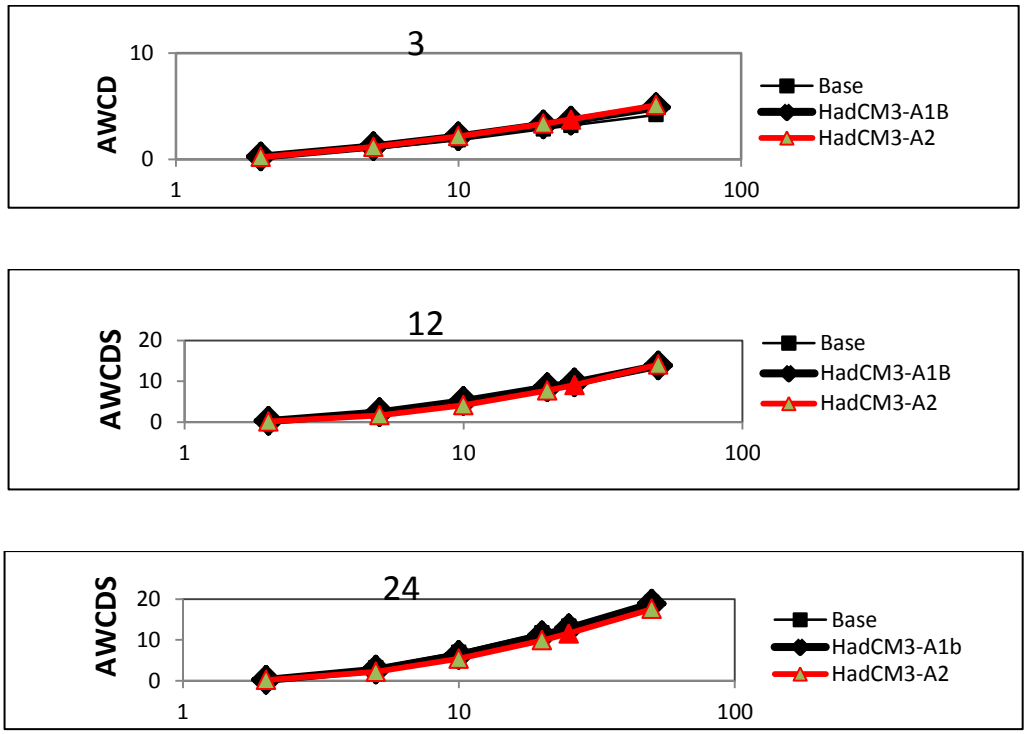


شکل ۱۱: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای تداوم زمانی۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی ، A۱B و A۲و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای شمال کشور

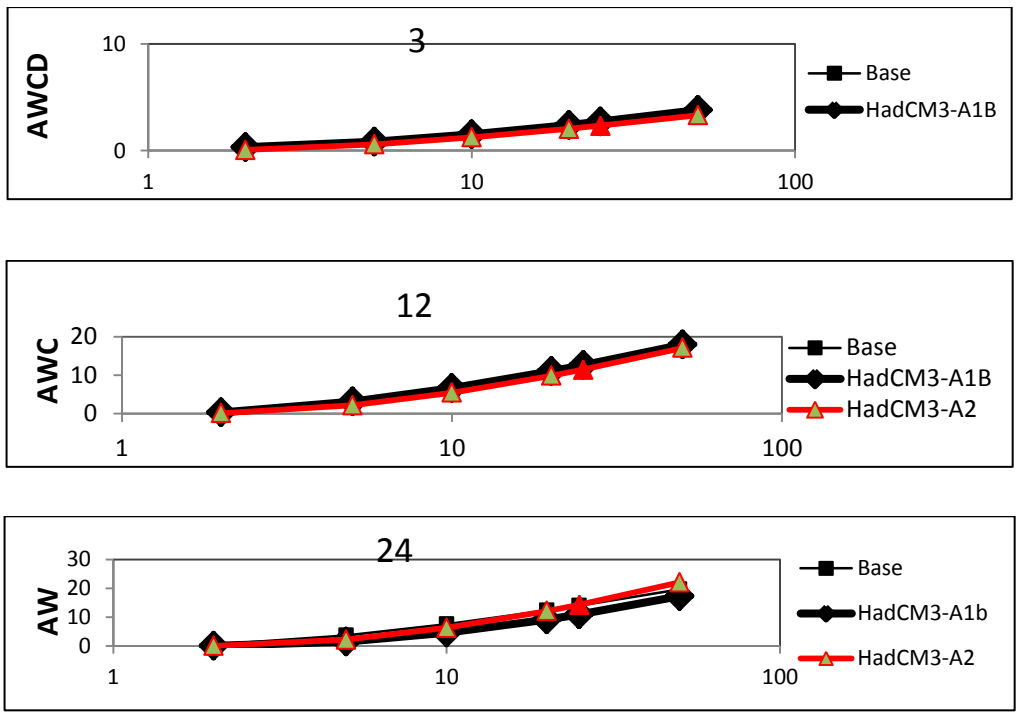
در نواحی مرکزی کشور نیز همانطور که در شکل شماره۱۲ نشان می دهد شدت خشکسالی در دوره مشاهداتی و پیش بینی از تداوم زمانی ۳ ماهه به سمت تداوم زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه افزایش یافته است.همچنین شدت خشکسالی برای دوره پیش بینی در سناریوهای A۱B و A۲ نسبت به دوره مشاهداتی بسیار به هم نزدیک میباشد که نشاندهنده تغییرات کم شدت خشکسالی در آینده در این منطقه می‌باشد. شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه جنوب کشور برای تداوم های زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در شکل ۱۳ آورده شده است. مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره های آتی در سناریوهای A۱Bو A۲نشان می دهد که شدت خشکسالی کوتاه مدت مناطق جنوبی کشور تغییرات چندانی را نشان نمی دهد ، اما برای دوره های میان مدت (۱۲ ماهه) و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

بلند مدت (۲۴ ماهه) و بویژه برای دوره های برگشت کمتر از ۲۰ سال از شـدت تجمعـی وزنـی خشکسـالی منطقـه جنوب کشور در سال های آتی کاسته خواهد شد.



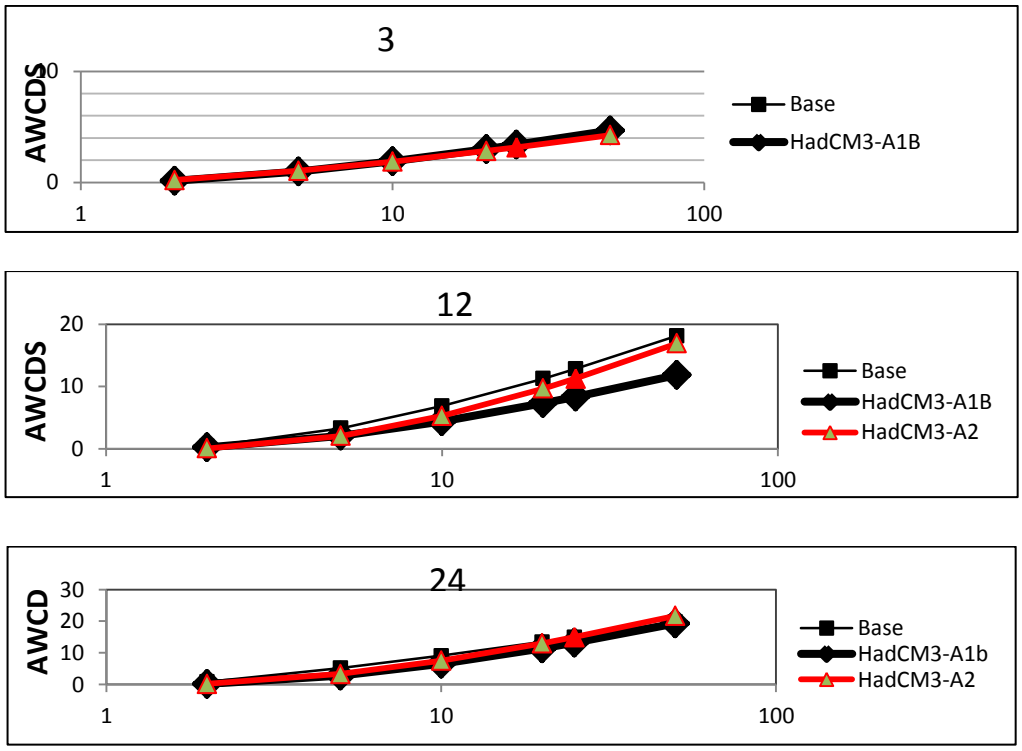
شکل ۱۲: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای برای تداوم زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی ، A۱B وA۲ و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای مناطق مرکزی ایران



شکل ۱۳: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای برای تداوم زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی ، A۱B وA۲ و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای مناطق جنوبی ایران

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

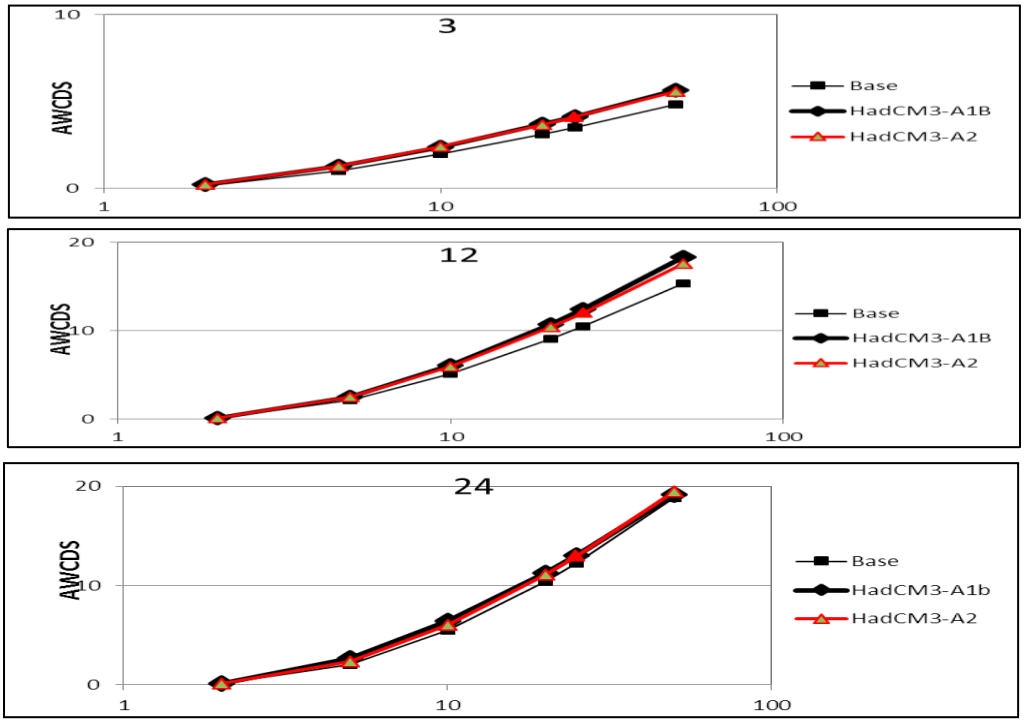
شکل شماره ۱۴ تحلیل فراوانی و نمودار شدت خشکسالی تجمعی را برای مقیاس های زمانی ۳ ، ۱۲ و ۲۴ ماهه و دوره برگشت ۲ تا ۵۰ ساله منطقه شمال شرق کشور را نشان می دهد. از آنجایی که هر یک از مقیاس های زمانی (نمودار های ارائه شده) فاصله زمانی طبیعی بین بارش و منابع آبی (جریان رودخانه ها ، رطوبت خاک و منابع آب زیر زمینی و غیره) را بیان می دارند ، بنابراین کاربرد های مختلفی می توانند داشته باشند. نتایج شکل شماره ۱۴ نشان می دهد شدت خشکسالی در دوره مشاهداتی و پیش بینی از تداوم زمانی ۳ ماهه به سمت تداوم زمانی ۲۴ ماهه در دوره برگشت های مختلف افزایش یافته است. همچنین مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت سه ماهه طی دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره های آتی در سناریوهای A1Bو A2تفاوت معنی داری را ندارد. در حالی که شدت خشکسالی تجمعی برای دوره پیش بینی بر اساس سناریوهای A1B و A2 نسبت به دوره مشاهداتی روند کاهشی را نشان می دهد. شکل شماره ۱۵ شدت تجمعی خشکسالی با تداوم زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه طی دوره مشاهداتی و دوره های آتی بر اساس سناریوهای A1B وA2 و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای شرق ایران را نشان می دهد. مقایسه نمایه شدت خشکسالی کوتاه مدت سه ماهه و دوازده ماهه دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره های آتی بر اساس سناریوهای A1Bو A2 روند افزایشی شدت تجمعی خشکسالی را طی دهه های آتی را نشان می دهد ، به عبارتی انتظار می رود ، شدت خشکسالی های کوتاه مدت (۳ ماهه) و (۱۲ ماهه)در شرق کشور طی دهه های آینده افزایش یابد. شدت تجمعی وزنی خشکسالی منطقه شرق کشور برای تداوم های زمانی ۲۴ ماهه نیز در شکل ۴-۱۵ آورده شده است. مقایسه نمایه شدت خشکسالی بلند مدت دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره های آتی و بر اساس سناریوهای A1Bو A2 تغییرات چندانی را در روند رخداد شدت تجمعی خشکسالی بلند مدت نشان نمی دهد.



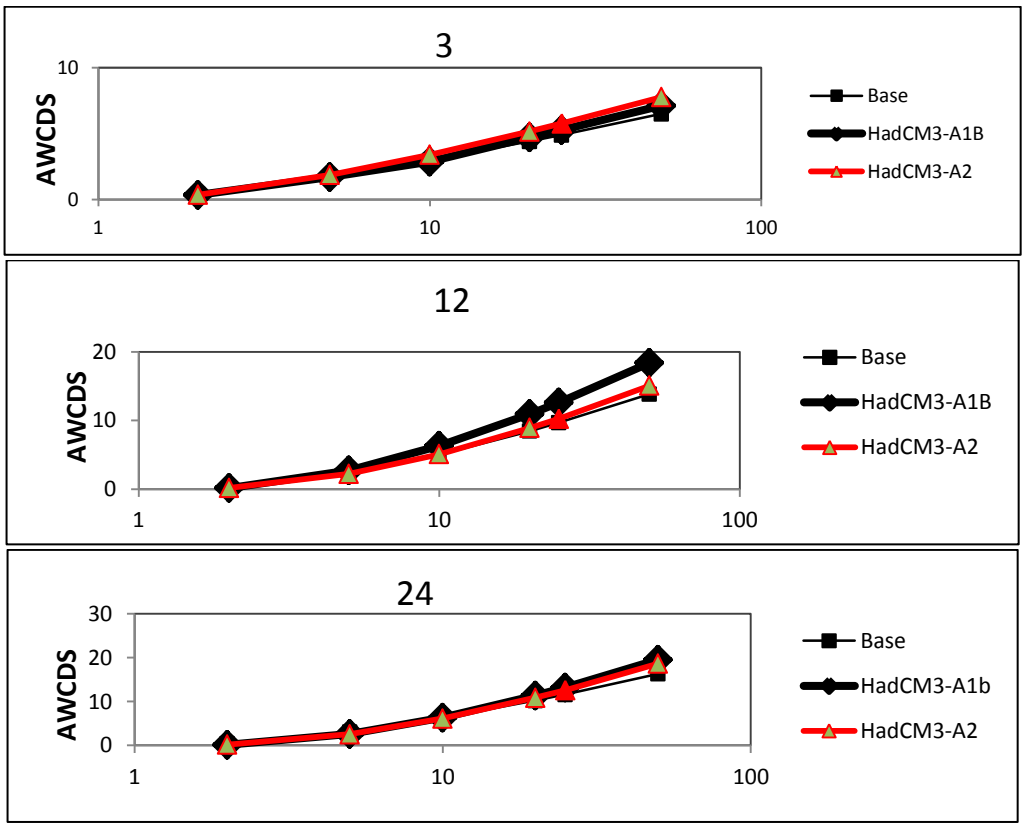
شکل ۱۴: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای برای تداوم زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی ، A1B وA2 و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای مناطق شمال شرق ایران

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]



شکل ۱۵: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای برای تداوم زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی ، A۱B وA۲ و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای شرق ایران



شکل ۱۶: شدت تجمعی خشکسالی به ترتیب از بالا به پایین برای برای تداوم زمانی ۳ ، ۱۲و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی ، A۱B وA۲ و برای دوره برگشت ۲ تا ۵۰ سال برای جنوب شرق ایرا

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

شکل شماره ۱۶ تحلیل فراوانی و نمودار شدت خشکسالی تجمعی را برای مقیاس های زمانی ۳ ، ۱۲ و ۲۴ ماهه و دوره برگشت ۲ تا ۵۰ ساله منطقه جنوب شرق کشور را نشان می دهد. نتایج حاصل از شکل شماره ۱۶ مطابق با الگوی منطقه شرق کشور می باشد ، بطوری 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 ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با دوره های آتی و بر اساس سناریوهای A۱Bو A۲ 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 کاملا مشهود می باشد.

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 ایستگاه های منتخب کشور انجام پذیرفت. در راستای انجام این هدف، از معتبرین ابزار برای پیش بینی متغیرهای آب و هوایی (در این پژوهش بارش)، یعنی مدل های گردش عمومی جو استفاده گردید، اما با توجه به اینکه خروجی این مدل ها در مقیاس بزرگ (حدود ۳۰۰ کیلومتر مربع در مدل HadCM۳) ارائه می‌شوند، لذا برای پیش بینی پارامترهای هواشناسی در مقیاس ایستگاهی، نیاز به عمل ریزمقیاس نمایی می باشد. در این تحقیق، از بین روش های مختلف ریزمقیاس نمایی، از مدل LARS-WG استفاده شد. در ابتدا، با استفاده از داده های 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 سری های زمانی بارش که با مقایسه داده های شبیه سازی شده با مقادیر بارش در دوره پایه در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت پذیرفت، متغیر بارش با استفاده از خروجی های مدل گردش عمومی جو HadCM۳ تحت دو سناریوی A۱B، A۲ طی دوره آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۱ میلادی) ریزمقیاس گردید. جهت بررسی وضعیت خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) بکار رفت. نتایج نشان داد که میزان بارش نسبت به دوره پایه طی دوره های آینده نزدیک تحت خروجی های مدل گردش عمومی جو HadCM۳ و دو سناریوی A۱B، A۲ تغییر معنی داری در بیشتر مناطق کشور خواهد داشت. بیشترین درصد تغییر مربوط به جنوب شرقی کشور می باشد که برای هر سه تداوم زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه افزایش خشکسالی را نشان میدهد بطوریکه برای برای تداوم زمانی ۱۲ ماهه و ۵۰ ساله شدت خشکسالی دوره پایه ۱۳/۸۲ بوده ولی در دوره آتی سناریوی A۲، ۱۵/۰۵ و در دوره آتی سناریوی A۱B ، ۱۸/۳۹ را نشان میدهد. در غرب و شمال کشور نیز بطور مشابه در کلیه تداوم های زمانی شدت خشکسالی در دوره‌های آتی بیشتر از دوره پایه است، بطوریکه در دوره ۲۴ ماهه و دوره بازگشت ۵۰ ساله شدت خشکسالی پایه ۱۶/۳۱ ولی در دوره آتی A۲ ، ۱۸/۶۵ و در دوره آتی A۱B، 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 بطوریکه در تداوم زمانی ۲۴ ماهه شدت خشکسالی با دوره

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

برگشت ۵۰ ساله پایه ۲۳ ولی در دوره‌های آتی ۱۸/۴۴ را نشان می‌دهد. از آنجایی که مدل های اقلیمی به عنوان معتبرترین ابزار تولید سناریوهای اقلیمی مطرح می باشند، ضروری است مدیران و تصمیم گیران بخش های مختلف منابع آب، کشاورزی و ... نتایج حاصل از چنین پژوهش هایی را نیز مد نظر قرار داده تا امکان برنامه ریزیهای بلند مدت برای این منطقه میسر شود.

با توجه به وجود روش های دیگر ریزمقیاس نمایی و همچنین خروجی مدل های گردش عمومی جو تحت سناریوهای متفاوت انتشار، پیشنهاد می شود با هدف کاهش عدم قطعیت در نتایج، محاسبه نمایه استاندارد شده بارش با استفاده از خروجی این مدل ها و دیگر روش های ریزمقیاس نمایی مانند SDSM، ASD و ... صورت پذیرد و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه و در صورت امکان میانگین نتایج به عنوان پیش بینی قطعی تر این نمایه عنوان گردد. همچنین با توجه به امکان پیش بینی این نمایه برای دوره های بعدی، پیشنهاد می گردد دورنمایی از این نمایه برای دوره پایانی این قرن نیز ارایه گردد.

تشکر و قدردانی

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، آرش؛ احمد ابریشم چی و مسعود تجریشی. 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 ، ایمان، زهرا نجفی نیک، فاطمه عباسی، مجید نوخندان، حامد ادب و شراره ملبوسی. ۱۳۸۷. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹- ۲۰۱۰ با استفاده از ریز مقایس نمائی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G . *جغرافیا و توسعه*، **۱۶**: ۱۵۲- ۱۳۵.

بابائیان، ایمان و معصومه کوهی. ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه های منتخب خراسان رضوی۱۳۹۱. *نشریه آب و خاک*، **۲۶**: ۹۶۷-۹۵۳.

بذرافشان جواد، علی خلیلی، علی هورفر؛ صدیقه ترابی و سهراب حجام. ۱۳۸۸. بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل لارس و ClimGen در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، **۱**: ۵۷-۴۴.

تقوی، فرحناز و حسین محمدی. ۱۳۸۶. بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی. *محیط شناسی*، **۳۳** : ۱۱-۲۰.

حق طلب نفیسه، محسن گودرزی، مجید حبیبی نوخندان، احمدرضا یاوری و حمیدرضا جعفری . ۱۳۹۲. مدل سازی اقلیم استان های تهران و مازندران با استفاده از مدل LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه های شمالی و جنوبی البرز مرکزی. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، **۱۵**.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

دستورانی محمد تقی، سمانه پور محمدی، علیرضا مساح بوانی و محمدحسین رحیمیان. ۱۳۹۰. پیش بینی خشکسالی تحت تأثیر تغییر اقلیم در سه دهه آینده به کمک مدل‌های چرخش عمومی (مطالعه موردی ایستگاه یزد). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب.

کردجزی، محمد، سعید باقری، ایمان بابائیان و عبدالجبار ملاعراضی.۱۳۹۰. تحلیل خشکسالی هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از سناریو های مختلف مدل گردش عمومی جو HadCM۳، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب.

گل محمدی، مریم و علیرضا مساح بوانی. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم، *نشریه آب و خاک*، **۲۵** : ۳۲۶-۳۱۵.

مساح بوانی، علیرضا و سعید مرید. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی. *نشریه تحقیقات منابع آب ایران*، **۱**: ۴۷-۴۰.

Easterling, D. R.; Evans, J. L.; Groisman, P. Ya.; Karl, T. R.; Kunkel, K. E. and Ambenje, P. ۲۰۰۰. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. Bull. Amer. Meteor. Soc. ۸۱: ٤۱۷–٤۲٥.

Ekström, M.; Fowler, H.J.; Kilsby C.G. and Jones P.D. ۲۰۰٥. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. ۲. Future estimates and use in impact studies. Hydrol, J. ۳۰۰, ۲۳٤-۲٥۱.

Hayes, Michael, J. ۲۰۰۲. When Is Drought? Drought Indices. Climate Impacts Specialist. National Drought Mitigation Center. (http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm).

Manton, M.J.; Della-Marta, P.M.; Haylock, M.R.; Hennessy, K.J.; Nicholls, N.; Chambers, L.E.; Collins, D.A.; Daw, G.; Finet, A.; Gunawan, D.; Inape, K.; Isobe, H.; Kestin, T.S.; Lefale, P.; Leyu, C.H.; win, T. L; Maitrepierre, L.; Ouprasitwong, N.; Page, C.M.; Pahalad, J.; Plummer, N.; Salinger, M.J.; Suppiah, R.; Tran, V.L.; Trewin, B.; Tibig, I. and Yee, D. ۲۰۰۱. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific. ۱۹۱٦-۱۹۹۸. Int. Journal of Climatol. ۲۱: ۲٦۹-۲۸٤.

McKee, T.B.; Doesken, N.J. and Kliest, J. ۱۹۹٥. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. In Prox, ۹th Conf. on Applied Climatology. January. ۱۷-۲۲. American Metorology Society, Massachustts. Pp.۱۷۹-۱۸٤.

Semenov, M.A. and Brooks, R.J. ۱۹۹۹. Spatial interpolation of the LARS-WG weather generator in Great Britain. Climate Research. ۱۱:۱۳۷-۱٤۸ (pdf)

Semenov, M.A.; Barrow, E.M. ۱۹۹۷. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. Climatic Change. ۳٥: ۳۹۷-٤۱٤.

Semenov, M. ۲۰۰۸. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research. ۳٥: ۲۰۳–۲۱۲.

Sura, P. ۲۰۱۲. Stochastic Models of Climate Extremes: Theory and Observations. Presentation at AMS General Meeting. American Meteorological Society. New Orleans, Louisiana.

Szalai, S.; Szinell, C.S. ۲۰۰۰. Comparison of Two Drought Indices for Drought Monitoring in Hungary - A Case Study, Drought and Drought Mitigation in EuropeAdvances in Natural and Technological Hazards Research. ۱٤: ۱٦۱-۱٦٦.

Szinell, C.S.; Bussay, A. and Szentimrey, T. ۱۹۹۸. Drought tendencies in Hungary. International Journal of Climatology. ۱۸(۱۳): ۱٤۷۹–۱٤۹۱.

Kim T.W., Valdes J.B., and Aparicio J. ۲۰۰۲. Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos River Basin, Mexico, Water Int., ۲۷, ۳, ٤۲۰-٤۳۰.

Loukas A., and Vasiliades L. ۲۰۰٤. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., ٤, ۷۱۹-۷۳۱.

Wilby R. L. and Harris, I, ۲۰۰٦. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research , ٤۲, W۰۲٤۱۹, doi:۱۰.۱۰۲۹/۲۰۰٥WR۰۰٤۰٦٥.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]

Semenov, M. A., Stratonovitch, P (۲۰۱۰), "Use of Multi-model Ensembles from Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts," CLIMATE RESEARCH, ٤, pp. ۱–۱٤.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.99]