

پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی برای دوره‌های آتی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز)

محمدحسین جهانگیر، مریم جهان‌پناه و مهناز ابوالقاسمی

دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، صفحات ۸۲-۶۹

Vol. 6(1), Spring 2020, 69 – 82

DOI: 10.22034/jewe.2020.215515.1343

**Drought Forecasting for Future Periods Using
LARS-WG Model (Case Study: Shiraz Station)**

Jahangir M. H., Jahananah M. and Abolghasemi
M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

جهانگیر م. ح.، جهان‌پناه م. و ابوالقاسمی م. (۱۳۹۹). پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی برای دوره‌های آتی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز). محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۱، صفحات: ۸۲-۶۹.

Citing this paper: Jahangir M. H., Jahanpanah M. and Abolghasemi M. (2020). Drought forecasting for future periods using LARS-WG model (Case study: Shiraz Station). Environ. Water Eng., 6(1), 69–82. DOI: 10.22034/jewe.2020.215515.1343.

www.SID.ir

پیش بینی وضعیت خشک سالی برای دوره های آتی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز)

محمد حسین جهانگیر^{۱*}، مریم جهان پناه^۲ و مهناز ابوالقاسمی^۳

^۱استادیار، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۲دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۳کارشناسی ارشد، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: mh.jahangir@ut.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۲/۲۴]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۲/۲۲]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۸/۱۰/۲۲]

چکیده

در این پژوهش به منظور شبیه سازی اقلیم آینده سال های (۱۳۹۷-۱۴۴۳) برای محاسبه شاخص خشک سالی در استان فارس، داده های مورد استفاده شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه شیراز در یک دوره ۴۶ ساله (۱۳۴۹-۱۳۹۵) و به عنوان ورودی برای مدل آماری LARS-WG بود. برای شبیه سازی پارامترهای اقلیمی در حوضه ایستگاه شیراز داده های مدل HADCM3 با استفاده از مدل WG-LARS تحت دو سناریوی A_1B و A_2 ریزمقیاس شدند. نتایج نشان داد که میانگین بارش سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه با در نظر گرفتن سناریوی A_2 ، ۱/۵٪ و با در نظر گرفتن سناریوی A_1B ، ۵/۵٪ افزایش خواهد یافت. همین طور میزان ساعت های آفتابی در دوره بررسی و با در نظر گرفتن هر دو سناریو کاهش خواهد یافت. همچنین مدل با دقت بالایی قادر به شبیه سازی پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش بود، اما در شبیه سازی پارامتر بارش نسبت به دیگر پارامترها خطای بیش تری را نشان داد. بیش ترین افزایش با حدود ۸۰٪، متعلق به ماه سپتامبر تحت سناریو A_2 بود که در دوره آتی نسبت به دوره مطالعاتی رخ داده است. در ادامه مطابق شاخص خشک سالی SPI شدیدترین خشک سالی ایستگاه مربوط به سال ۱۳۸۷ با مقدار شاخص $-۲/۸۹$ و حادث ترین ترسالی مربوط به سال ۱۳۷۴ با مقدار شاخص $۱/۹۲$ بود.

واژه های کلیدی: ریزمقیاس نمایی؛ شاخص خشک سالی SPI؛ شیراز؛ مدل گردش عمومی جو؛ مدل LARS-WG

۱- مقدمه

خشک‌سالی به‌ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته می‌شود (Wilhite 1997). بر اساس گزارش هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم^۲ IPCC در قرن بیستم دمای کره زمین به میزان $4/7^{\circ}\text{C}$ افزایش یافته و پیش‌بینی شده در بیست سال نخست قرن ۲۱ نرخ افزایش دما به $0/2^{\circ}\text{C}$ در هر ۱۰ سال برسد و متوسط دمای سطح کره زمین به میزان $1/1$ تا $4/6^{\circ}\text{C}$ تا سال ۲۱۰۰ افزایش یابد.

از جمله روش‌های معتبر آشکارسازی تغییرات دما و بارش پیشگویی‌های اقلیمی بر اساس تغییرات عمومی جو به کمک مدل‌های چرخه عمومی جو GCM می‌باشد که یکی از این مدل‌ها مدل لارس می‌باشد (Hadinia et al. 2012). مدل LARS یک مدل تولیدکننده داده‌های هواشناسی است. این مدل ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو اقدام به پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی می‌نماید (et al. 2010). تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر خشکی و شاخص خشک‌سالی انجام شده است. (Loukas et al. 2008). اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشک‌سالی در منطقه تسالی در یونان را بررسی و برای تخمین شدت خشک‌سالی از شاخص SPI و از GIS برای تقسیم منطقه تسالی به ۱۲ ناحیه یکنواخت هیدرولوژیکی بر اساس ژئومورفولوژی آن‌ها استفاده کردند. نتایج این بررسی نشان داد که شدت خشک‌سالی سالیانه برای همه مناطق هیدرولوژیکی و مقیاس‌های زمانی SPI با سناریوی A_۲ افزایش می‌یابد. در بررسی دیگری شاخص خشک‌سالی SPI را برای تجزیه و تحلیل روند خشکی در ۳۰ سال گذشته در مقیاس‌های زمانی متفاوت ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماه در ۴۲ ایستگاه هواشناسی کشور مورداستفاده قرار دادند. نتایج این تحقیق روند منفی خشک‌سالی را

امروزه گرمایش جهانی و رابطه تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش نقاط مختلف کره زمین، به‌عنوان مهم‌ترین نمودهای تغییر اقلیم، موردتوجه قرار گرفته‌اند همچنین در نیمه دوم قرن بیستم دمای کره زمین نسبت به نیمه اول این قرن افزایش پیدا کرده است و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش دما در قرن بیست و یکم هم چنان ادامه یابد و در نتیجه تغییراتی در شرایط اقلیمی مناطق مختلف کره زمین به‌وجود آید (Ghasemi and Fatahi 2011).

تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی، سبب گسترش خشک‌سالی‌ها و تداوم آن‌ها شده و همچنین منجر به ناهمگنی توزیع بارش شده و بر منابع آب تأثیر می‌گذارد. هرگونه تغییر در مؤلفه‌های بارش و دما، بر میزان تبخیر و تعرق تأثیر خواهد گذاشت. گرمایش جهانی شرایط خشکی را در نواحی خشک جهان با افزایش پتانسیل تبخیر و تعرق و افزایش بیابان‌زایی تشدید خواهد کرد (Roshan and Mohammadnejad 2013).

در پژوهش‌های اقلیمی، خشک‌سالی یکی از موضوعاتی است که به‌طور گسترده موردبررسی قرار گرفته است؛ زیرا خشک‌سالی به‌طور مستقیم جوامع را از طریق تغییرات در فراوانی یا قابلیت دسترسی به مواد غذایی، منابع آب و ذخایر انرژی تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین اثرات مستقیم بر محیط‌زیست دارد (Karimi et al 2002). در حال حاضر شاخص SPI^۱ به‌طور گسترده‌ای در امور تحقیقاتی و اجرایی در سراسر جهان جهت پایش خشک‌سالی استفاده می‌شود. این شاخص به‌علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل‌دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه‌ی مکانی نتایج، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل

² Intergovernmental Panel on Climate Change

¹ Standardized Precipitation Index

به ترتیب افزایش و کاهش دارند (Steele-Dunne et al. 2008). در مطالعه (Ababaei et al. 2012)، عملکرد مدل LARS-WG در رابطه با شبیه‌سازی سری روزهای خشک و مرطوب، بارندگی، دما، تابش خورشیدی نیز، شبیه‌سازی وقایع حدی دما بررسی شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی توزیع روزانه و میانگین ماهانه و فصلی اکثر سری‌ها عملکرد مناسبی دارد. طی چند سال اخیر استان فارس درگیر خشک‌سالی‌های شدید بوده و در نتیجه این خشک‌سالی‌ها و همچنین در اثر احداث سدها و بندهای مختلف بر روی بزرگ‌ترین رودخانه استان دریاچه‌های طشک و بختگان در سال ۱۳۸۸ به‌طورکلی خشک‌شده و مضرات زیست‌محیطی فراوانی به بار آوردند. لذا در این شرایط انجام یک بررسی در مورد خشک‌سالی‌های اخیر ایستگاه شیراز مرکز استان و بررسی پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی برای دوره‌های آتی ایستگاه شیراز بیش‌ازپیش اهمیت می‌یابد.

هدف از پژوهش حاضر بررسی وضعیت خشک‌سالی برای دوره‌های پایه با استفاده شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی سه، شش، ۱۲ و ۲۴ ماهه به‌منظور تعیین شدت، مدت و فراوانی خشک‌سالی‌های اخیر در ایستگاه سینوپتیک شیراز است. همچنین میزان تغییرات میانگین دمای ماکزیمم، مینیمم و میزان تغییرات میانگین بارش ماهانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه با مدل HADCM3 به دست آمد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر شیراز، مرکز استان فارس می‌باشد. این شهر در $30^{\circ} 25'$ عرض جغرافیایی و $29^{\circ} 37'$ طول جغرافیایی قرار گرفته است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۵۹۰ m می‌باشد. موقعیت قرارگیری این ایستگاه در کشور مطابق شکل (۱) نشان

در برخی از قسمت‌های ایران، به‌خصوص جنوب شرق، غرب و جنوب غرب نشان داد. در ادامه هرچند برخی از نقاط شمال ایران از جمله اطراف دریای خزر و شمال شرقی روند قابل‌ملاحظه‌ای در خشک‌سالی مشاهده نمی‌شود، اما در دیگر قسمت‌های کشور شدت خشکی در طول ۳۰ سال اخیر افزایش یافته است (Abarghouei et al 2011).

در پژوهشی دیگر خصوصیات سیر تکاملی خشکی را بر اساس شاخص خشک‌سالی SPI در چین مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه از شاخص SPI برای تجزیه و تحلیل شاخص خشک‌سالی سالیانه طی سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۱۰ میلادی استفاده شد. مشاهدات نشان داد که فراوانی خشک‌سالی در حوضه رودخانه کاهش و شدت خشک‌سالی در آغاز قرن ۲۱ افزایش می‌یابد (Yan-Jun et al. 2012). مطالعه‌ای به‌منظور پیش‌بینی اقلیم آینده در نه شهرستان استان فارس از دو مدل اقلیمی (HadCM4 و IPCM4) استفاده شد. همچنین برای ریزمقیاس کردن پارامترهای اقلیمی از LARS-WG استفاده شد. برای محاسبه شاخص خشکی سالی از شاخص SPI استفاده شد. نتایج نشان داد که در دوره پایه شهرستان‌های آباد و لار در طبقه خشکی حاد (۲/۴۸- و ۲/۰۹-) قرار داشتند. در صورتی که تحت شرایط تغییر اقلیم آینده شهرستان لامرد در طبقه خشکی حاد قرار می‌گیرد. به‌طورکلی در دوره پایه بخش عمده‌ای از مناطق استان فارس با استفاده از شاخص SPI در طبقه نرمال (نیمه جنوبی استان) و خشکی ملایم (نیمه شمالی استان) قرار دارند. در حالی که در آینده عمده مناطق استان فارس در طبقه نرمال قرار خواهند گرفت (Dehimfard et al. 2015). طی پژوهشی، تأثیر تغییر اقلیم را بر رواناب با استفاده از مدل گردش عمومی ECHAM5 و سناریوی انتشار A₁B مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق که در کشور ایرلند صورت گرفت، نتایج در مجموع نشان داد که بارش زمستانه و بارش تابستانه

در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین^۲ (R^2)، میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE)، میانگین انحراف خط^۴ (MBE) و میانگین خطای مطلق^۵ (MAE) با استفاده از رابطه‌های (۱) تا (۴) در محیط نرم‌افزار SAS اقدام به ارزیابی داده‌های تولیدشده توسط مدل در دوره پایه و مقایسه آن‌ها با داده‌های واقعی (مشاهده‌شده) گردید (Soltani 2007).

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

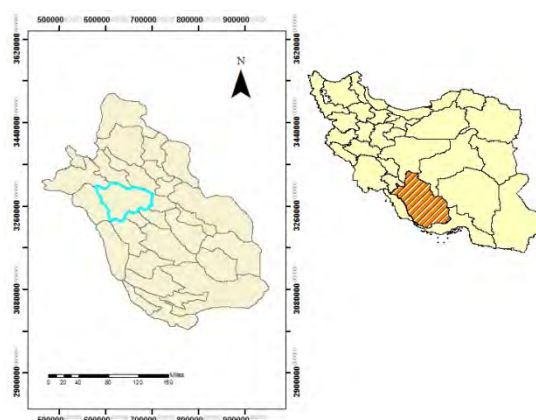
$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (4)$$

که در آن‌ها، X_i و Y_i به ترتیب i امین داده واقعی (مشاهده‌شده) و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. پس از اطمینان از درستی نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌شده هواشناسی، اقدام به اجرای مرحله سوم با شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ گردید. نیاز اساسی مدل برای اجرای این مرحله، دو فایل با پسوند WG و Sce است. فایل اول همان داده‌های روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره پایه می‌باشد و فایل دوم از خروجی یکی از مدل‌های گردش عمومی جو در دوره مشابه با دوره پایه به دست می‌آید. در حقیقت در این مرحله، مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های یک مدل گردش عمومی جو، پارامترهای اقلیمی آینده را در

داده‌شده است. در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی اقلیم آینده برای محاسبه شاخص خشک‌سالی در استان فارس، داده‌های مورد استفاده شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه شیراز در یک دوره ۴۶ ساله (۱۳۹۵-۱۳۴۹) و به عنوان ورودی برای مدل آماری LARS-WG استفاده شد. سپس آزمون نرمال بودن داده‌ها صورت گرفت. با توجه به اینکه در ایستگاه هواشناسی شیراز در بعضی از ماه‌های سال داده هواشناسی ثبت نشده و در برخی موارد داده‌های پرت وجود داشت، با استفاده از برنامه^۱ WeatherMan داده‌های گم‌شده و پرت ایستگاه مورد بررسی محاسبه و اصلاح شد (Hoogenboom et al. 2003).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه شیراز

Fig. 1 Geographical location of Shiraz station

۲-۲- مدل LARS-WG

مدل LARS-WG از سه بخش اصلی تشکیل شده است که عبارت هستند از: کالیبراسیون، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده. نیاز اساسی مدل در مرحله کالیبراسیون، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می‌باشد. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه همدیدی شیراز با در نظر گرفتن یک دوره ۴۶ ساله (۱۹۷۰-۲۰۱۶) به عنوان دوره پایه، تهیه شده و مدل بر اساس آن اجرا شد.

¹ Weather data manager

²-Coefficient of Determination

³-Root Mean of Square Error

⁴ - Mean of Bias Error

⁵ - Mean of Absolute Error

احتمالاتی برآزش داده می‌شوند و سپس به یک توزیع نرمال تبدیل می‌گردند، به طوری که میانگین SPI برای هر منطقه یا دوره مورد نظر صفر است. مطابق جدول (۲) مقدار SPI مثبت بیانگر بارش بیش تر از متوسط و مقدار SPI منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط می‌باشد. زمانی که مقدار SPI محاسبه شده منفی باشد، نشانه شروع خشک سالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد، پایان خشک سالی را نوید می‌دهد.

جدول ۱- مقیاس‌های طبقه بندی برای SPI
Table 1 Classification scales for SPI

وضعیت	عدد مربوط به شاخص
ترسالی حاد	$2 < SPI$
ترسالی شدید	$1.5 < SPI < 2$
ترسالی متوسط	$1 < SPI < 1.49$
ترسالی خفیف	$0.5 < SPI < 0.99$
نرمال	$-0.49 < SPI < 0.49$
خشک سالی خفیف	$-0.99 < SPI < -0.05$
خشک سالی متوسط	$-1.49 < SPI < -1$
خشک سالی شدید	$-1.99 < SPI < -1.5$
خشک سالی حاد	$SPI < -2$

شاخص SPI بر اساس اختلاف میان مقدار بارندگی در هرماه و میانگین بارندگی در دوره زمانی مشخص بر انحراف معیار بارندگی در آن مقیاس زمانی محاسبه می‌گردد (رابطه ۷). مهم ترین مزیت این شاخص در مقایسه با سایر شاخص‌ها، قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف است که باعث می‌شود این شاخص بتواند اثرات دوره‌های کوتاه مدت ذخایر آب (از جمله رطوبت خاک که در تولیدات کشاورزی نقش مهمی دارد) و اثرات دوره‌های طولانی مدت منابع آب (از جمله ذخایر آب زیرزمینی، سطح آب مخازن و جریان رودخانه‌ای) را پایش نماید. مقیاس‌های زمانی می‌توانند ۳، ۶، ۱۲ و یا ۲۴ ماهه باشند که در این بررسی از مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده شد. به طور کلی روش محاسبه SPI با توزیع گاما به صورت رابطه (۷) است (Resko et al. 1991):

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \quad (7)$$

حد مقیاس منطقه مورد مطالعه (ایستگاه‌های هواشناسی)، شبیه سازی می‌کند. در پژوهش حاضر از داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 که یکی از مدل‌های جفت شده اقیانوسی - جوی است و توسط مرکز تحقیقات و پیش بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده، به عنوان فایل Sce استفاده شد. در نسخه جدید مدل در مقایسه با نسخه‌های قدیمی، سناریوهای اقلیمی مختلفی به صورت پیش فرض در مدل گنجانده شده‌اند. از آنجایی که در تمامی سال‌ها انحراف معیار متوسط سالیانه تمامی متغیرها از انحراف معیار دوره آماری کم تر است و انتظار بر این است که مقادیر حدی اقلیمی در آینده افزایش یابد، در نتیجه، برای رفع این نقیصه با استفاده از رابطه‌های (۵) و (۶) ضمن حفظ میانگین‌ها، انحراف معیار این متغیرها به نسبت انحراف معیار داده‌های مشاهده شده به داده‌های شبیه سازی شده توسط مدل برای دوره گذشته، در دوره پایه افزایش داده شده.

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (5)$$

$$STD = \frac{STD_{base}^{obs}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (6)$$

که در آن، F_{obs} ، F_{fut} ، F_{GCM}^{base} و F_{GCM}^{fut} به ترتیب نشان دهنده متغیرهای پیش بینی شده، مشاهده شده، پیش بینی شده بر روی شبکه مدل در دوره آینده و شبیه سازی شده بر روی شبکه مدل در دوره گذشته می‌باشند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها مطابق رابطه (۶) محاسبه شد که در آن STD انحراف معیار متغیر هواشناسی است (Ababaei et al. 2012).

۲-۳- شاخص خشک سالی SPI

در پژوهش حاضر پس از پیش بینی بارندگی تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، برای برآورد احتمال وقوع خشک سالی در آینده شهر شیراز از شاخص خشک سالی SPI استفاده شد. شاخص SPI احتمال بر مبنای بارش برای تعدادی از ماه‌های متوالی است. هدف اصلی آن بیان کمبود بارش یک منطقه در مقیاس زمانی خاص نسبت به اقلیم آن منطقه است. در این روش داده‌های طولانی مدت ثبت شده با یک توزیع

شد. در شکل (۲) شاخص SPI سالانه شیراز محاسبه شده و آورده شده است و تحلیل و بررسی آن آورده شده است.

جدول ۲- میانگین ماهانه بارش در ایستگاه شیراز در طول ۴۶ سال

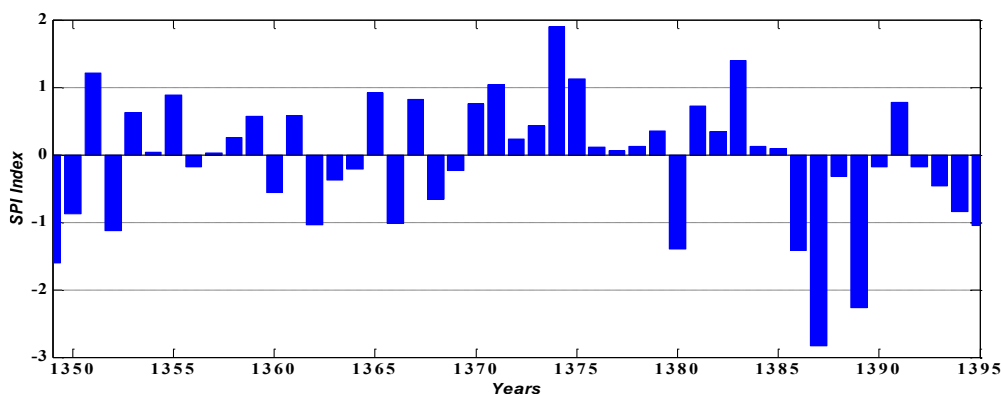
Table 2 Average monthly rainfall at Shiraz station in 46 years

میانگین بارش (cm)	ماه	میانگین بارش (cm)	ماه
0.2	July	78.6	January
1.4	August	55.8	February
0.1	September	30.2	March
2.3	October	40.5	April
23.3	November	15.3	May
75.3	December	0.5	June

که در آن، X_i : مقدار بارندگی، \bar{X} : متوسط بارندگی و S_x : انحراف از معیار بارندگی است.

۳- یافته‌ها و بحث

ابتدا میانگین بارش ایستگاه شیراز در مقیاس ماهانه در بازه زمانی ۴۶ ساله محاسبه شد که نتایج در جدول (۲) آمده است. بیشترین بارش ماهانه شیراز در دی ماه و ژانویه مشاهده شد. همچنین عمده بارش در فصل زمستان اتفاق افتاده است. به دلیل موقعیت جغرافیایی و ارتفاع، بیشتر این بارش‌ها به صورت باران می‌باشد. میانگین بلندمدت بارش سالانه شیراز $375/3$ mm بوده و از این نظر شیراز در بین نقاط نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. همان‌طور که گفته شد، در پژوهش حاضر از شاخص بارش استاندارد شده سالانه به منظور سنجش خشک‌سالی در مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه و سالانه انجام

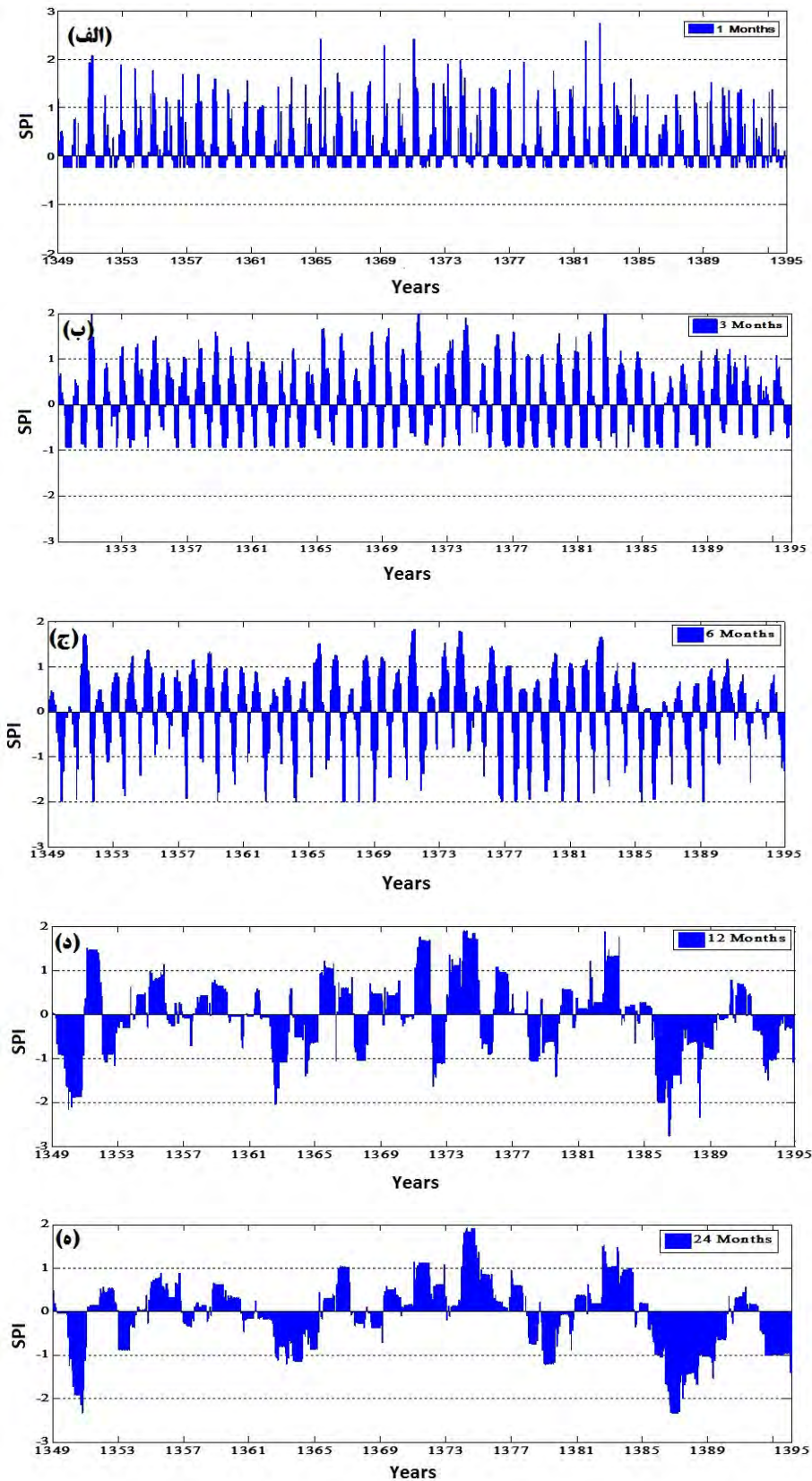


شکل ۲- شاخص SPI سالانه شیراز برای دوره ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۵

Fig. 2 Annual SPI index of Shiraz for the period of 1970 to 2016

تغییرات شاخص بارش استاندارد SPI برای ایستگاه شیراز در مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه با اطلاعات بارندگی در ۴۶ سال آماری محاسبه و در شکل (۳) تغییرات این شاخص از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۵، نشان داده شده است. مطابق شکل (۳) شدیدترین دوره خشک‌سالی شهر شیراز در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۰، بوده؛ درحالی‌که بیشترین ترسالی آن در سال ۱۳۸۳، با ضریب SPI بیش از ۲ رخ داده است. همان‌گونه که ذکر شد، مقیاس‌های مختلف زمانی با در نظر گرفتن وضعیت بارش ماه‌های قبل از هرماه و تأثیرگذاری بر ماه موردنظر، شدت و تداوم انواع خشک‌سالی‌ها را از دیدگاه‌های مختلف نشان می‌دهند.

با توجه به شکل (۲) سال‌های با بارش نزدیک به نرمال دارای فراوانی ۲۴ سال می‌باشد، ۱۱ سال خشک‌سالی و ۱۱ سال در مجموعه سال‌های ترسالی قرار می‌گیرد. شدیدترین خشک‌سالی مربوط به سال ۱۳۸۷ می‌باشد. بیشترین فراوانی خشک‌سالی‌ها طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۵ با ۴ مورد شامل دو مورد حاد در سال ۱۳۸۷ و یک مورد هم در سال ۱۳۸۹ و یک مورد خشک‌سالی شدید در سال ۱۳۸۶ باشد. یک مورد خشک‌سالی خفیف در سال ۱۳۹۵ مشاهده شده است. همچنین شدیدترین خشکی مشاهده شده مربوط به سال ۱۳۸۷ با مقدار شاخص SPI، $-2/89$ است. در ادامه حادترین ترسالی مربوط به سال ۱۳۷۴ با مقدار شاخص $1/92$ است.



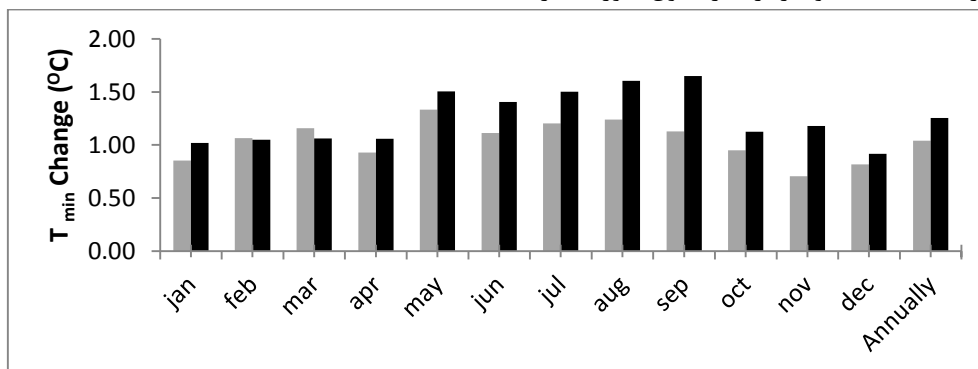
شکل ۳- روند تغییرات شاخص SPI در ایستگاه شیراز طی سال‌های ۱۳۴۹-۱۳۹۵: الف) - ۱ ماهه، ب) ۳ ماهه، ج) ۶ ماهه، د) ۱۲ ماهه، و ه) ۲۴ ماهه

Fig. 3 The trend SPI index in Shiraz station during the years 1970-2016: a) 1 month, b) 3-months, c) 6-months, d) 12-months, and e) 24 months

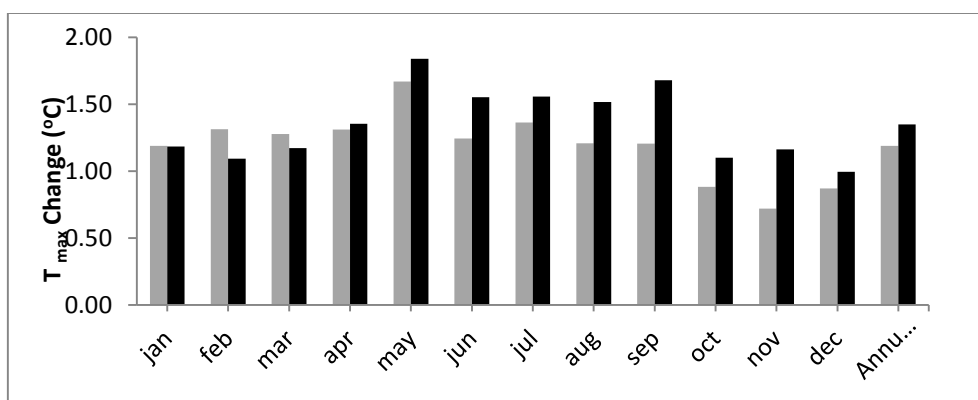
موردنظر تقریباً برابر نشان می‌دهد. در سال‌های ۱۳۵۰-۱۳۵۱، ۱۳۸۶-۱۳۸۵ و اواسط ۱۳۶۲ و ۱۳۸۷ خشک‌سالی‌هایی با درجه شدید تا خیلی شدید رخ داده است. از نظر دوره ترسالی نیز، بین سال‌های ۱۳۷۱-۱۳۷۲، ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۵ و ۱۳۸۳-۱۳۸۴ ترسالی‌هایی با درجه شدید تا حاد رخ داده است. این موضوع در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه کاملاً مشهود می‌باشد. دوره ترسالی مذکور در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه دارای دوره تداوم دو تا سه سال بوده است. روند وقوع خشک‌سالی‌های شدید تا خیلی شدید در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه بهتر دیده می‌شوند. به‌طوری‌که در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، خشک‌سالی سال‌های ۱۳۵۰-۱۳۵۱ و ۱۳۸۵-۱۳۹۰ با تداوم طولانی‌مدت و افزایش شدت، کاملاً مشهود می‌باشند.

لذا اعمال مقیاس‌های زمانی مختلف روی هرماه، اثرات ماه‌های قبل از آن ماه را نیز نشان می‌دهد. به‌طوری‌که مقیاس زمانی شش‌ماهه، اثرات پنج ماه قبل از هرماه، مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، اثرات ۱۱ ماه قبل از هرماه و مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، اثرات ۲۳ ماه قبل از هرماه را لحاظ می‌نماید. به‌همین علت مقیاس‌های زمانی مختلف می‌توانند روند خشک‌سالی، ترسالی، سال‌های نرمال، شدت‌های وقوع و تأثیرات حاصله بر روی انواع منابع آب را نشان دهند.

رابطه شدت و مدت‌زمان تداوم خشک‌سالی، در قالب نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه، در ایستگاه منتخب استان فارس (شیراز) در شکل (۳) قابل‌مشاهده و تعداد دوره‌های خشک و تر را در طول دوره آماری



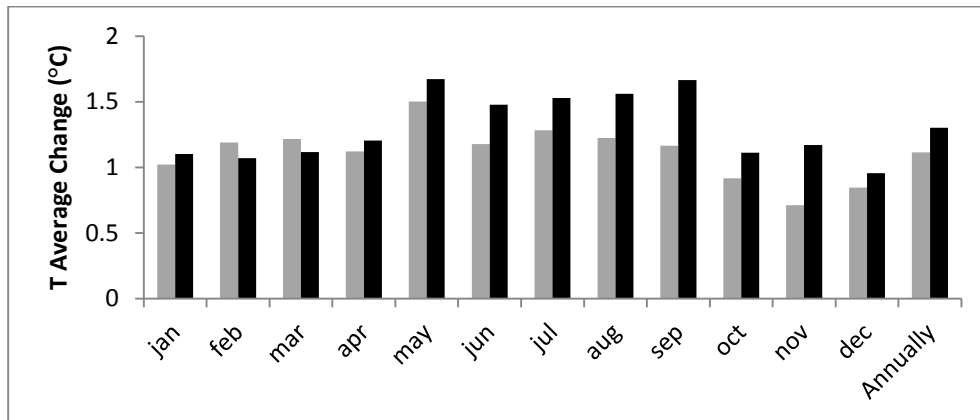
شکل ۴- میزان تغییرات میانگین دما مینیمم ماهانه و سالانه در دوره آتی (۱۳۹۹-۱۴۴۵) نسبت به دوره پایه (۱۳۴۹-۱۳۹۵)
Fig. 4 The amount of changes in the average minimum monthly and annual temperature in the next period (1399-1445) compared to the basic period(1349-1395)



شکل ۵- میزان تغییرات میانگین دما ماکزیمم ماهانه و سالانه در دوره آتی (۱۳۹۹-۱۴۴۵) نسبت به دوره پایه (۱۳۴۹-۱۳۹۵)
Fig. 5 The amount of changes in the average maxim monthly and annual temperature in the next period (1399-1445) compared to the basic period(1349-1395)

شکل‌های (۴) و (۵) ملاحظه می‌شود، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، تحت هر دو سناریو انتشار، دمای بیشتری را در تمام ماه‌ها برای دوره آتی نسبت به دوره پایه تخمین زده می‌شود. همچنین میزان تغییرات دمای میانگین تحت این دو سناریو در دوره آتی (۱۳۹۷-۱۴۴۳) نسبت به دوره پایه (۱۳۴۹-۱۳۹۵) نیز در شکل (۵) نشان داده شده است.

در پژوهش حاضر، میزان تغییرات میانگین دمای ماکزیمم، مینیمم و میزان درصد تغییرات میانگین بارش ماهانه در دوره آتی (۱۳۹۹-۱۴۴۵) نسبت به دوره پایه (۱۳۴۹-۱۳۹۵) با مدل HADCM3 به دست آمد. در شکل‌های (۴) تا (۷)، این مقادیر برای دوره پایه با رنگ آبی و برای دوره پیش‌بینی (۱۳۹۹-۱۴۴۵) با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. همانطور که در

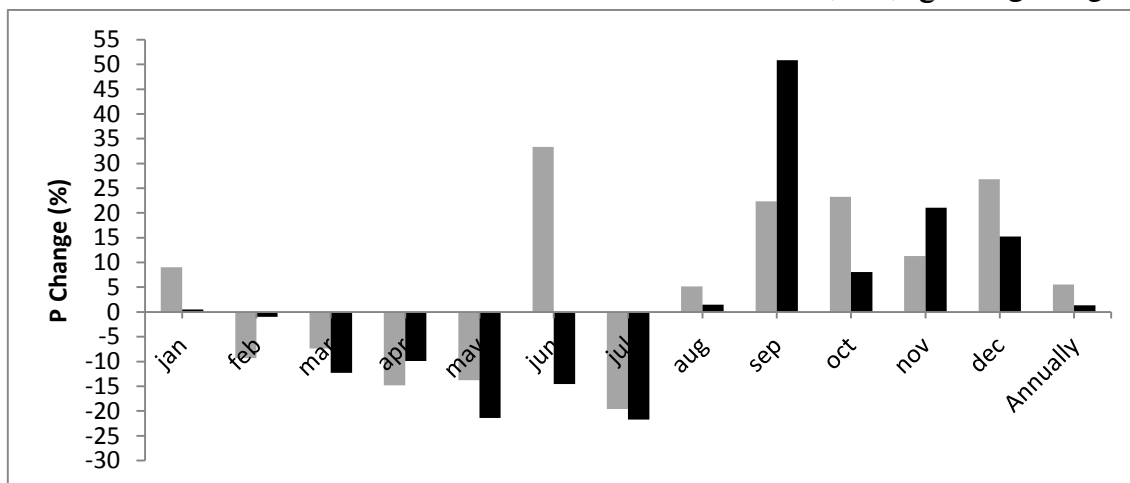


شکل ۶- میزان تغییرات دما متوسط ماهانه و سالانه در دوره آتی (۱۳۹۹-۱۴۴۵) نسبت به دوره پایه (۱۳۴۹-۱۳۹۵)

Fig 5. The average monthly and annual temperature changes in the next period (1399-1445) compared to the basic period(1349-1395)

همسو بوده زیرا در این بررسی نیز افزایش دما در سال‌های آتی برآورد شده است. همچنین مشهود است که بیش‌ترین افزایش دما در هر دو سناریو متعلق به فصل بهار و تابستان می‌باشد.

مطابق شکل (۶) در مجموع انتظار می‌رود که دمای متوسط سالانه حوضه در دوره آتی تحت سناریو A₁B حدود ۱/۱ °C و تحت سناریو A₂ حدود ۱/۳ °C نسبت به دوره پایه افزایش یابد. که نتایج این تحقیق با نتایج Babazadeh e al. (2012)



شکل ۷- میزان درصد تغییرات بارش میانگین ماهانه و سالانه در دوره آتی (۱۳۹۹-۱۴۴۵) نسبت به دوره پایه (۱۳۴۹-۱۳۹۵)

Fig. 7 Percentage of changes in average monthly and annual rainfall in the next period (1399-1445) compared to the basic period (1970-2016)

از طرف دیگر همان‌طور که در شکل (۷) ملاحظه می‌شود، میزان تغییرات میانگین بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه در ماه‌های مختلف و تحت دو سناریو بسیار متغیر است. بیشترین افزایش با حدود ۸۰٪، متعلق به ماه سپتامبر تحت سناریو A_۲ است که در دوره آتی نسبت به دوره مطالعاتی رخ داده‌است. همچنین با توجه به این شکل، تحت سناریو A_۱B، میانگین آتی نسبت به دوره پایه حدود ۱۵٪ افزایش خواهد یافت همچنین قابل ذکر است نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق (Dehimfard et al 2015) که نشان‌دهنده افزایش بارش و در نتیجه آن شاخص SPI در آینده وضعیت مرطوب‌تری را نسبت به حال نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج آزمون کای اسکوئر برای توزیع‌های احتمال داده‌های بارندگی و دمای حداقل و دمای حداکثر مشاهده و تولیدشده توسط LARS-WG

Table 3 Chi-square test results for probability distribution of rainfall data a and minimum temperature and maximum temperature observed and produced by LARS-WG

ماه	داده‌های دمای حداقل مشاهده شده و تولیدشده		داده‌های دمای حداکثر مشاهده شده و تولیدشده	
	P-value	مقدار کای اسکوئر	P-value	مقدار کای اسکوئر
Jan	0.9125	0.158	0.9989	0.106
Feb	0.9125	0.158	0.9989	0.106
Mar	0.9989	0.106	0.9989	0.106
Apr	0.9989	0.106	1	0.053
May	1	0.053	0.9991	0.105
Jun	0.9989	0.106	0.9989	0.106
Jul	0.9989	0.106	0.9991	0.105
Aug	0.9991	0.105	0.9989	0.106
Sep	0.9989	0.106	0.9989	0.106
Oct	1	0.053	0.9989	0.106
Nov	0.9989	0.106	0.9989	0.106
Dec	0.9989	0.106	0.9989	0.106

جدول ۴- مقایسه مقادیر میانگین داده‌های بارندگی ماهانه مشاهده شده و تولیدشده توسط LARS-WG

Table 4 Comparison of average monthly rainfall data observed and generated by LARS-WG

ماه	میانگین داده‌های مشاهده شده بارش	میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده بارش	t آزمون	P-value
Jan	47.28	37.55	1.665	0.101
Feb	41.75	38.39	0.69	0.493
Mar	59.95	62.59	-0.393	0.696
Apr	49.15	53.84	-0.621	0.537
May	57	49.01	1.194	0.237
Jun	51.38	50.75	0.087	0.931
Jul	67.55	69.62	-0.251	0.803
Aug	66.1	61.19	0.641	0.524
Sep	66.85	72.91	-0.839	0.405
Oct	61.92	63.65	-0.197	0.845
Nov	63.62	65.1	-0.172	0.864
Dec	41.38	39.92	0.259	0.797

متغیرهای بارندگی و دمای ایستگاه منطقه مطالعاتی را دارد.

جدول ۶- مقایسه مقادیر میانگین داده‌های دمای حداکثر

ماهان مشاهده شده و تولید شده توسط LARS-WG

Table 6 Comparison of mean values of maximum monthly temperature data observed and generated by LARS-WG

ماه	میانگین داده‌های مشاهده شده	میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده	آزمون t	P-value
Jan	7.71	6.99	1.659	0.103
Feb	8.85	8.45	0.907	0.368
Mar	12.17	11.27	1.717	0.091
Apr	18.27	18.82	1.219	0.228
May	21.35	21.39	0.104	0.918
Jun	24.84	24.76	0.219	0.827
Jul	25.36	25.09	0.726	0.471
Aug	25.83	25.63	0.498	0.62
Sep	23.42	23.33	0.221	0.826
Oct	19.45	19.13	0.761	0.45
Nov	14.31	14.28	0.07	0.944
Dec	10.29	9.95	0.811	0.421

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی اقلیم آینده (سال-های ۱۳۹۷-۱۴۴۳) برای محاسبه شاخص خشک سالی در استان فارس، داده‌های مورد استفاده شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه شیراز در یک دوره ۴۶ ساله (۱۳۹۵-۱۳۴۹) و به عنوان ورودی برای مدل آماری LARS-WG استفاده شد. برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در حوضه ایستگاه شیراز داده‌های مدل HADCM3 با استفاده از مدل WG-LARS تحت دو سناریوی A۲ و A۱B ریزمقیاس شدند. بر اساس نتایج به دست آمده از به کارگیری مدل LARS-WG و با توجه به دقت مدل در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده شده، توانایی خوب این مدل در پیش‌بینی مشخص می‌گردد.

۱- با توجه به توانایی این مدل در پیش‌بینی پارامترهای آب و هوایی در حدود اطمینان ۹۵٪، مدل حاضر را می‌توان برای ارزیابی تغییر اقلیم در این ناحیه و نواحی با اقلیم مشابه استفاده کرد.

۳-۱- ریزمقیاس نمایی به وسیله مدل LARS-WG

همان‌طور که گفته شد مراحل تولید سناریوهای اقلیم روزانه توسط مدل LARS-WG در سه گام انجام می‌شود. ابتدا مدل توسط داده‌های مشاهداتی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی ۴۶ ساله (۱۳۴۹-۱۳۹۵) ایستگاه شیراز مورد واسنجی قرار می‌گیرد. گام دوم صحت‌سنجی مدل می‌باشد که در این مرحله توانایی مدل در شبیه‌سازی اقلیم ایستگاه شیراز بررسی می‌شود. برای این منظور ۲۰۰ سال داده‌های ساختگی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی توسط پارامترهای به دست آمده در طی واسنجی مدل، تولید می‌شود. سپس مشخصه‌های آماری داده‌های هواشناسی مشاهده شده و ساختگی برای تعیین اینکه آیا اختلافات معنی‌داری وجود دارد یا نه از طریق مقایسه دو فابیل آماری تحلیل می‌شوند.

جدول ۵- مقایسه مقادیر میانگین داده‌های دمای حداقل

ماهان مشاهده شده و تولید شده توسط LARS-WG

Table 5 Comparison of mean values of minimum monthly temperature data observed and generated by LARS-WG

ماه	میانگین داده‌های مشاهده شده	میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده	آزمون t	P-value
Jan	-3.9	-4.13	0.695	0.49
Feb	-3.4	-3.79	1.227	0.225
Mar	-0.22	-0.38	0.64	0.525
Apr	4.45	4.5	-0.198	0.844
May	7.69	7.9	-1.033	0.306
Jun	11.44	11.19	1.718	0.091
Jul	14.32	14.24	0.464	0.644
Aug	14.61	14.55	0.354	0.725
Sep	10.92	10.74	0.784	0.436
Oct	6.52	6.57	-0.248	0.805
Nov	2.09	2.18	-0.437	0.664
Dec	-1.37	-1.31	-0.181	0.857

نتایج آزمون کای اسکوتر و P-value در جدول‌های (۳) الی (۶) آورده شده است. نتایج آزمون‌ها برای داده‌های بارندگی، دمای حداقل و دمای حداکثر در تمامی ماه‌های سال را نشان می‌دهد. مقادیر P-value همگی در سطح معنی‌داری یک درصد قابل قبول بوده و می‌توان گفت مدل LARS-WG، توانمندی لازم را برای شبیه‌سازی

۳- دمای متوسط سالانه حوضه در دوره آتی تحت سناریو A₁B حدود ۱/۱°C و تحت سناریو A_۲ حدود ۱/۳°C نسبت به دوره پایه افزایش یابد. بیشترین افزایش دما در هر دو سناریو متعلق به فصل بهار و تابستان می‌باشد.
۴- مطابق شاخص SPI روند تغییرات ماهه شاخص SPI در ایستگاه شیراز حاکی از این است که تداوم و شدت خشکسالی در دهه‌ی اخیر افزایش یافته و ادامه دارد.

۲- میزان تغییرات میانگین بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه در ماه‌های مختلف و تحت دو سناریو بسیار متغیر است. بیشترین افزایش با حدود ۰/۸۰٪، متعلق به ماه سپتامبر تحت سناریو A_۲ است که در دوره آتی نسبت به دوره مطالعاتی رخ داده است. همچنین تحت سناریو A_۱B، میانگین بارش سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه حدود ۵/۵٪ افزایش خواهد یافت و تحت سناریو A_۲ بارش سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه حدود ۱/۵٪ افزایش خواهد یافت

References-

- Ababaei B., Mirzaei F. and Sohrabi T. (2012). Evaluation of the performance of LARS-WG model in 12 coastal stations in Iran. *Iran. J. Water Res.*, 5(9), 217-222 [In Persian].
- Abarghouei B. H., Asadizarch M. A., Dastorani M. T., Kousari M. R. and Safari Zarch M. (2011). The survey of climatic drought trend in iran. *Stochast. Environ. Res. Risk Assess.*, 25, 851-863.
- Babazadeh H., Shamsniya S., Bostani, F., Norozyaghdam E., Khodadadydehkardy D. (2012). Analysis of drought, wetness year and forecasting of climate parameters, precipitation and temperature using stochastic methods in Shiraz City. *Geogr. Plan.*, 16(41), pp. 23-47 [In Persian].
- Dehimfard R., Eyni Nargseh H. and Haghghat M. (2015). Drought zoning in Fars province under the influence of climate change conditions using standard rainfall index. *Agri. Ecol.*, 7(4), 528-546 [In Persian].
- Ghasemi E. and Fatahi E. (2011). Investigation of climate change in the Uremia tea town basin during the period of 2030-3011 using exponential gradient of HadCM3 barium general circulation model. National Conference of Climate Change and its Impact on Agriculture and the Environment, Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azarbaijan [In Persian].
- Hadinia H., Pirmoradian N., and Afshinzade A. (2012). Evaluation of GCM Models and different scenarios of climate change in meteorological data simulation case study of synoptic station in Rasht. First International Conference on Iran's Environmental Crisis and its Improvement [In Persian].
- Hoogenboom G., Jones J. W., Porter C. H., Wilkens P. W., Boote K. J., Batchelor W. D., Hunt L. A. and Tsuji G. Y. (2003). Decision support system for agrotechnology transfer Version 4.0. Overview. University of Hawaii, Honolulu, 1, 60.
- Karimi V., Kamkar-Haghighi A. A., Sepaskhah A. R. and khalili D. (2002). Evaluation of meteorological drought in Fars Province. *J. Water Soil Sci.*, 5(4), 1-11.
- Loukas A., Vasidiales L. and Tzabiras J. (2008). Climate change effects on drought severity. *Adv. Geosci.*, 17, 23-29.
- Nematollahi F., Rahimi A. and Gheinani T. T. (2010). Evaluation and evaluation of Lars model in the simulation of meteorological data of Golestan province in the period of 1997-1993. *Appl. Geogr. Sci.*, 16, 81-96 [In Persian].
- Resko P., Szeidl L. and Semenov M. A. (1991). A serial approach to local stochastic models. *Ecol. Model.*, 57, 27-41.
- Roshan G. and Mohammadnejad V. (2013).

- Forecasting the hydrological changes of Lake Urmia water level with the approach to hypothetical plans of global warming in the coming decades. *Quant. Geomorphol. Res.*, 1(3), 69-88 [In Persian].
- Soltani A. (2007). Application and using of SAS program in statistical analysis. Jihad-Daneshgahi Press, Tehran [In Persian].
- Steele- Dunne S., Lynch P., McGrath R., Semmler T., Wang Sh., Hanafin J. and Nolan P. (2008). The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *J. Hydrol.*, 356, 28- 45.
- Wilhite D. A. (1997). Responding to drought: common threads from the past, vision for the future. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 33, 951-959.
- Yan-Jun L., Xiao-dong Z. and Jing M. A. (2012). Analysis of drought Evolvment characteristics based on standardized precipitation index in the Huaihi river basin. *Proc. Eng.*, 28, 434-437.

Drought Forecasting for Future Periods Using LARS-WG Model (Case Study: Shiraz Station)

Mohammad Hossein Jahangir^{1*}, Maryam Jahanpanah² and Mahnaz Abolghasemi³

¹Assist. Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

²M.Sc. Student, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

³M.Sc. Alumni, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding author: mh.jahangir@ut.ac.ir

Original Paper

Received: January 12, 2020

Revised: May 11, 2020

Accepted: May 13, 2020

Abstract

In this study, in order to simulate the current climate (1970-2016) for calculating the drought index in Fars Province, the data used include daily rainfall, minimum temperature, maximum temperature, and sunny hours at Shiraz station in a period of 46 years (1970-2016) as the entry for the LARS-WG statistical model. To simulate the climatic parameters at the Shiraz station basin, the data of HADCM3 model were subscaled using WG-LARS model under two scenarios A₂ and A₁B. The results showed that the average annual rainfall will increase under A₂ scenario by about 1.5% and under A₁B scenario by about 5.5. Moreover, sunshine hours in the study period will be reduced under both scenarios. With high precision, the model could simulate maximum temperature, minimum temperature, and radiation parameters, but more error in simulating was presented in the precipitation parameter than other parameters. The highest increase, with about 80%, was due in September under scenario A₂, which occurred in the upcoming period of the study period. Based on the SPI drought index, the most severe droughts occurred in 2008 in Shiraz station showing an index value of -2.89. Moreover, SPI shows that the most precipitation was recorded in 1995 with an index value of 1.91.

Keywords: Atmospheric General Circulation Model; Downscaling; LARS-WG Model; SPI; Shiraz.