



بررسی روند تغییر پارامترهای اقلیمی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG، مطالعه موردی: منطقه سردشت، آذربایجان غربی

مریم آقائی^{۱*}، زهرا اسلامیان^۲

۱- دانش آموخته علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۲- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	با توجه به اهمیتی که تغییر اقلیم بر ساختار محیط کره زمین و ساکنین آن داشته و خواهد داشت تلاش به منظور شناخت هر چه بیشتر چگونگی رخدادهای تغییر اقلیم امری مسلم است. در این مطالعه در فاز اقلیمی، داده‌های روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک سردشت در دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۶ با استفاده از مدل آماری LARS-WG شبیه‌سازی شد و پس از اطمینان از کارایی این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مذکور در منطقه سردشت، برای بررسی پارامترهای اقلیمی در تغییر اقلیم، داده‌ها؛ سه سناریوی A2 (سناریوی حداکثر)، A1B (سناریوی حد وسط) و B1 (سناریوی حداقل) مدل HadCM3 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با مدل آماری LARS-WG کوچک مقیاس شد. نتایج نشان داد که بر اساس برآورد مدل LARS-WG برای سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی میانگین دمای حوزه آبخیز سردشت به میزان ۴ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. مقدار بارش نیز در مقایسه با دوره پایه به میزان ۲ درصد افزایش را نشان می‌دهد. همچنین، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بطور کلی عملکرد مدل LARS-WG در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی ایستگاه‌های تحت بررسی مناسب است و می‌توان از آن به منظور بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها در دوره گذشته و یا تطویل این داده‌ها به دوره آینده بهره برد. به علاوه، می‌توان از آن برای ارزیابی اقلیم آینده استان در مقیاس محلی استفاده کرد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰	
کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، ریز مقیاس نمایی، HadCM3، LARS-WG سردشت	



Investigation of the trend of climate change using simulated data of LARS-WG model in the period of 2011-2030 (Case study: Sardasht region of West Azerbaijan)

Maryam Aghaei^{*1}, Zahra Islamian²

1- Graduated in Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran

2- PhD Student in Desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran

Article Info

Abstract

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
13/09/2022

Accepted:
01/05/2023

Available online:
01/08/2023

Keywords:
Climate change,
Microscale,
HadCM3,
LARS-WG,
Sardasht

Considering the impact of climate change has and will have on the structure of the earth's environment and its inhabitants, trying to understand as much as possible how climate change events are happening is a matter of course. In this study in the climatic phase, daily data of minimum temperature, maximum temperature, precipitation and sunshine hours of Sardasht synoptic station in the period of 1996-1996 were simulated using LARS-WG statistical model and after ensuring the efficiency of this model in simulation of meteorological parameters in Sardasht region, to study climatic parameters in climate change, three scenarios A2 (maximum scenario), A1B (medium scenario) and B1 (minimum scenario) of HadCM3 model in the period of 2030-2011 were scaled with LARS-WG small statistical model. The results showed that according to the estimation of LARS-WG model for the studied scenarios in the future periods, the average temperature of Sardasht watershed will increase by 4 degrees Celsius. The amount of precipitation also shows an increase of 2 percent compared to the base period. Also, the results show that in general, the performance of LARS-WG model in modeling the meteorological variables of the studying stations is appropriate and can be used to reconstruct the data of stations in the past or extend this data to the next period. In addition, it can be used to assess the future climate of the province on a local scale.

* Corresponding author E-mail address: aghaiem348@gmail.com

مقدمه

هوا و اقلیم تاثیر عمیقی بر زندگی انسان و حیات در کره زمین دارد و در امور برنامه‌ریزی و مدیریت نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند. به‌منظور درک، آشکارسازی و تعیین میزان آسیب‌پذیری تاثیرات انسان بر اقلیم نیاز به درک کامل تاثیرات و نوسانات اقلیمی است (هیات بین‌الدول تغییر اقلیم ۱، ۲۰۰۸). یکی از مهم‌ترین تبعات تغییر آب و هوا، تأثیر آن بر مصرف آب کشاورزی می‌باشد که می‌تواند مدیریت منابع آب را با چالش‌های جدی روبرو سازد (بهمنش و همکاران، ۲۰۱۵) و یک تهدید بزرگ برای زندگی جوامع بشری و موجودات زنده، بر روی کره زمین باشد (منا و همکاران، ۲۰۱۳). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به دلیل فعالیت‌های بشری، عامل انسانی تشدید پدیده تغییر اقلیم است (استوکر و همکاران، ۲، ۲۰۱۳). بخش‌های کشاورزی، هیدرولوژی و منابع آب از مناطق عمده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم می‌باشند (لی و یانگ، ۳، ۲۰۱۴). در زمینه پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر روی میزان بارش و دما با استفاده از مدل SDSM۴، تحقیقات گسترده‌ای در سرتاسر جهان و از جمله ایران انجام شده است، که می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد: در پژوهشی دیگر، با استفاده از مدل SDSM، اثرات پدیده تغییر اقلیم را بر روی میزان بارش و دما در حوزه ۵ ایکسین در کشور چین تحت سناریوی A2، مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از افزایش بارش و دما در دوره آتی بود (زانگ و همکاران، ۲۰۱۶). مهم‌ترین نقطه قوت این مدل‌ها ارزان بودن، سرعت بالا و امکان استفاده از آن‌ها، بدون نیاز به ابر رایانه‌ها و یا رایانه‌های بسیار سریع می‌باشد. از جمله این مدل‌های آماری می‌توان به لارس اشاره کرد. در این تحقیق بعلاوه تضمین کیفیت و سازگاری بهتر با کاراکترهای واقعی تغییرپذیر در اقلیم، از داده‌های روزانه سه سناریوی انتشار A1B (سناریوی حد وسط)، A2 (سناریوی حداکثر) و B1 (سناریوی حداقل) مدل HadCM۷ استفاده شده است. در این پژوهش دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۹۶ به عنوان دوره پایه و دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ به عنوان آینده نزدیک، برای بررسی اثر تغییر اقلیم در نظر گرفته شده است. در تحقیقی فرزانه و همکاران (۱۴۰۱) به منظور پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل LARS-WG نسخه ششم با در نظر گرفتن دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۲۰ انجام شد. نتایج کلی گویای میزان درصد تغییرات دمای حداقل در استان 02/16 درصد افزایشی، میزان درصد تغییرات دمای حداکثر ۸/۴۹ درصد افزایشی و مقدار درصد بارش ۹/۸۵ درصد کاهش می‌باشد. تعداد روزهای خشک در ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش می‌یابد. ادوای و همکاران (۲۰۱۸)، به منظور شبیه‌سازی تاثیرات تغییرات آب و هوایی بر تولید سیب زمینی در استان اصفهان؛ دو نوع مدل عمومی (HadCM3 و IPCM4) و سه سناریو (A1B، A2 و B1) مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل لارس و مدل SUBSTOR دارای دقت مناسب برای شبیه‌سازی پارامترهای آب و هوا و رشد سیب زمینی بودند سمنو (۲۰۰۷)، در مطالعه‌ای سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بر اساس برنامه UKCIPO2 مورد بررسی قرار داد. در تحقیق او از مدل آماری LARS-WG برای ساختن سناریوهای اقلیمی روزانه استفاده شد. همچنین، تأثیر تغییر اقلیم بر رشد دو گونه گندم تا سال ۲۰۸۰ مورد بررسی قرار داد. با بررسی دو پارامتر، ضریب تنش خشکی و دمای بالا نشان داد که دو گونه مورد نظر نسبت به افزایش درجه حرارت و کاهش بارش در تابستان مقاوم بوده و رشد آن‌ها کاهش نخواهد یافت. شا و وانگ (۲۰۱۹) در برآورد تغییرات اقلیمی آینده در مناطق سردسیر با مدل LARS-WG تحت سناریوهای CMIP5 در ارزیابی پاسخ دما و بارش مورد بررسی قرار دادند نتایج نشان داد این مدل قادر به ارائه تجزیه و تحلیل مقیاس کوچک برای تولید آب و هوای روزانه آینده از طریق به روز رسانی پارامترهای مدل کالیبره شده بر اساس خروجی‌های مختلف GCM است. تبدیل به طور کلی گرم شدن و مرطوب شدن در آینده برای مکان‌های مورد مطالعه ادامه خواهد داشت، اما ناسازگاری زیادی بین GCM های مختلف وجود دارد.

1. IPCC
2. Stocker, et al.
3. Li, H., Yang, X.
4. Statistical Downscaling model
5. Xin.
6. Zhang, et al.
7. Hadley Centre Coupled Model, version
8. LARS-WG
9. Sha & Wang

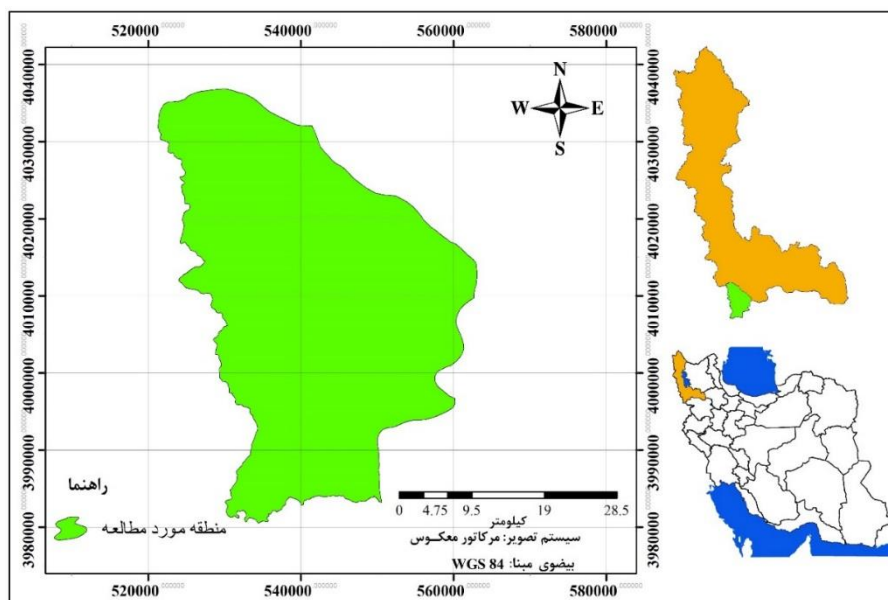
یکی از مدل‌های گردش عمومی جو که در سراسر جهان توسعه یافته، مدل HadCM3 می‌باشد که به طور گسترده‌ای برای ارزیابی و تشخیص گرمایش جهانی، شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دوره‌های آبی و سایر مطالعات حساس آب و هوایی مورد استفاده قرار گرفته است و دقت آن در بسیاری از مطالعات به اثبات رسیده است (حسامی و همکاران، ۲۰۱۸؛ تابی سمیرمی و همکاران، ۲۰۱۸؛ نوری و آلام^۱، ۲۰۰۶؛ زرغامی و همکاران ۲۰۱۱؛ نصیر و یارمرادی، ۲۰۱۶؛ خسروانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ مشکاتی و همکاران، ۲۰۱۰؛ ثانی خانی و همکاران، ۲۰۱۳؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ جهانگیر و همکاران، ۱۳۹۹) در پژوهش حاضر، مورد استفاده قرار گرفت. مدل HadCM3، یک مدل گردش عمومی است که داده‌های آن در گام زمانی روزانه می‌باشند و دارای قدرت تفکیک افقی ۲/۵ در ۳/۷۵ عرض و طول جغرافیایی می‌باشد. تعداد لایه‌های این مدل در راستای قائم ۱۲ لایه می‌باشد (پپ و همکاران ۲۰۰۰)^۲.

کرمی و همکاران (۱۴۰۰)، در ارزیابی تغییرات اقلیمی در حوضه تالاب بین‌المللی هامون با استفاده از مدل LARS-WG6 در دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 نتایج ریزمقیاس گردانی نشان داد میانگین دمای کمینه و بیشینه در همه‌ی ماه‌ها در هر سه دوره، تحت دو سناریوی در همه مدل‌ها افزایش خواهد یافت. تغییرات میانگین بارش ماهانه تحت مدل‌ها و سناریوهای مختلف بین ۳/۶۸- الی ۸/۶ میلی‌متر خواهد بود. نتایج این مطالعه می‌تواند در اتخاذ راهکارهای معیشتی و شیوه‌های کشاورزی سازگار با اقلیم برای مدیران عرصه‌های منابع طبیعی مفید باشد. به طور کلی هدف این مقاله ریز مقیاس کردن داده‌های بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر، ساعات آفتابی برای ایستگاه سینوپتیک منطقه سردشت و تولید سناریوهای اقلیمی در دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۶ و بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، سردشت در جنوب غربی استان آذربایجان غربی است که در طول جغرافیایی "۴۳/۶۶'۲۸°۴۵ و عرض جغرافیایی "۱۹/۳۰'۰۹°۳۶ واقع شده است و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۳۹ متر است.



شکل (۱) نقشه موقعیت منطقه سردشت در استان آذربایجان غربی و ایران

1. Nury, Alam
2. Pope et all

در این تحقیق به منظور ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 از مدل LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد، استفاده شده است. این مدل برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده بکار می‌رود. به طور کلی تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد که شامل کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره آبی است. بر این اساس برای اجرای این مدل در تحقیق حاضر، ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۶ به عنوان دوره پایه، داده‌های مورد نیاز این مدل شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه سینوپتیک است که این دوره آماری از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ شد.

در تحقیقی برای ارزیابی مصرف انرژی در یک ساختمان معمولی در ایران براساس پیش بینی متغیرهای اقلیم مدل LARS-WG را برای برخی از ایستگاه‌های شمال غرب ایران از جمله تبریز، اردبیل، ارومیه، کرمانشاه، همدان، سنندج، قزوین و زنجان مورد بررسی، میانگین ۴ درجه سانتیگراد در تمامی هشت شهر ایران است. علاوه بر این، در نتیجه این تغییرات مورد انتظار، حداکثر و حداقل دما در فضای باز در فصل زمستان بیشتر خواهد شد و در پاییز کاهش می‌یابد. بنابراین، با تغییرات نیمه در هوا و در فصل گرم، مصرف انرژی به یک چهارم از ارزش پیش بینی اولیه کاهش می‌یابد، و در فصل سرد شدن، مصرف انرژی کمی بالاتر خواهد بود، و به مصرف انرژی که امروز تعریف شده است، خواهد رسید. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که اکنون لحظه مناسب برای تعیین معیارهای طراحی ساختمان آینده است (روشن و اروسا^۱ ۲۰۱۵).

برای تولید داده توسط مدل لارس ابتدا باید مشخصات هر ایستگاه شامل نام، موقعیت مکانی و ارتفاع از سطح دریا و همچنین فایل داده‌های هواشناسی روزانه در دوره مشاهداتی به عنوان ورودی به مدل داده شد، سپس توسط مدل لارس این داده‌ها آنالیز شد که حاصل آن یک فایل متنی خلاصه شده شامل خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی بصورت میانگین‌های ماهانه و فصلی برای کل دوره تحت بررسی است. سپس مدل با توجه به روند موجود در سری زمانی داده‌های مشاهداتی اقدام به باز تولید داده‌های ایستگاه‌ها در همین دوره کرده و در نهایت با استفاده از آزمون‌های آماری و رسم نمودار، میانگین‌های ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی مقایسه شده است تا توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در این ایستگاه‌ها مورد ارزیابی قرارگیرد. پس از ارزیابی توانمندی مدل در هر ایستگاه، جهت تولید داده برای دوره‌های آینده لازم است فایل سناریوی تغییر اقلیم، با توجه به خروجی مدل‌های گردش عمومی جو برای محل مورد مطالعه تدوین و برای مدل تعریف شود (سمنو و همکاران ۲۰۰۲).

برای بررسی توانایی کلی مدل در شبیه‌سازی داده‌های مشاهداتی در دوره تحت بررسی، متوسط بایاس و خطای مطلق (MEA) بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ماهانه در دوره تحت بررسی محاسبه شده است. برای این کار از روابط زیر استفاده شده است:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط S مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل، O نشان‌دهنده مقادیر واقعی، اندیس i ماه‌های سال و n تعداد ماه‌های سال است که برابر ۱۲ است.

در این جا با استفاده از سناریوهای A2، B1 و A1B مدل HadCM3 تایید شده‌ی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم که در مدل LARS-5/5 WG طراحی شده است، داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل، حداکثر و ساعات آفتابی برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (آینده نزدیک) مدل HadCM3 با کمک مدل LARS-WG 5/5 محاسبه شد.

نتایج یافته‌های پژوهش

پس از آماده‌سازی داده‌های ورودی و اطمینان از همگن بودن داده‌ها، مدل LARS-WG 5/5 اجرا شد که در اولین مرحله از اجرای مدل دو فایل حاصل می‌شود. فایل اول پسوند wg داشته و در برگیرنده توزیع تجربی سری‌های تر و خشک است. در شکل ۲ فایل مذکور ارائه شده است.

```
sardasht55.tst - Notepad
File Edit Format View Help
[VERSION]
LARS-WG5.5
[NAME]
sardasht55
[LAT, LON and ALT]
45.00 36.00 1539.00
[KS-test for seasonal wet/dry SERIES distributions: Ef
DJF wet 12 0.370 0.0642
DJF dry 12 0.036 1.0000
MAM wet 12 0.307 0.1874
MAM dry 12 0.069 1.0000
JJA wet 12 0.092 1.0000
JJA dry 12 0.046 1.0000
SON wet 12 0.108 0.9986
SON dry 12 0.070 1.0000
[KS-test for daily RAIN distributions: Effective N, KS
J 12 0.116 0.9959
F 12 0.093 0.9999
M 12 0.118 0.9948
A 12 0.044 1.0000
M 12 0.095 0.9999
J 12 0.376 0.0574
J 12 0.162 0.8967
A 12 0.217 0.5954
```

شکل (۲) فایل متنی در برگیرنده توزیع تجربی سری‌های تر و خشک سردشت

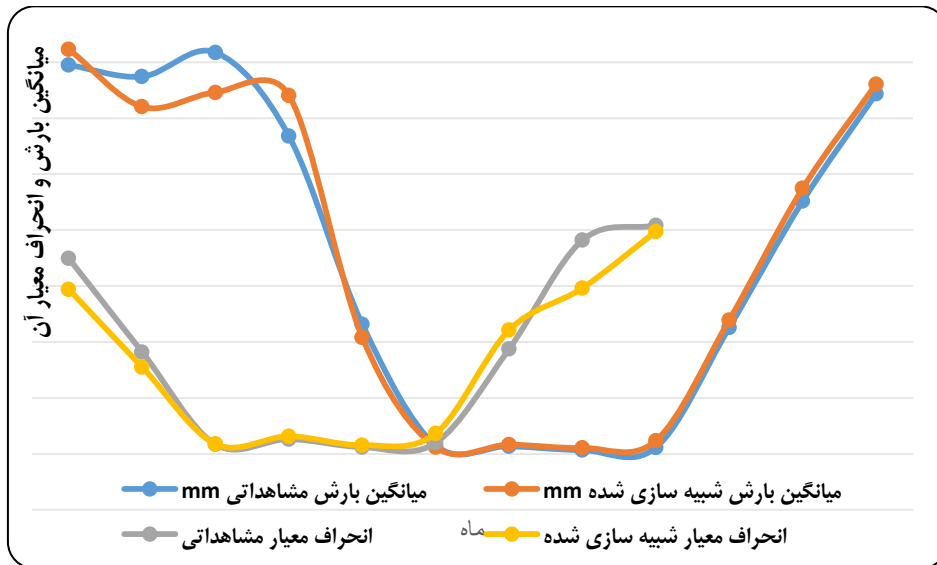
دومین فایل به دست آمده دارای پسوند tst بوده و حاوی خصوصیات آماری است که جهت شبیه‌سازی داده‌های روزانه در مدل به کار می‌رود. در شکل ۳ فایل مذکور ارائه شده است.

```
sardasht55.stx - Notepad
File Edit Format View Help
[VERSION]
LARS-WG5.5
[NAME]
sardasht55
[LAT, LON and ALT]
45.00 36.00 1539.00
[YEARS]
1
19
[SERIES seasonal distributions: WET and DRY]
[DJF]
249 23 3.08 2.17 3.13 2.02
0.000 0.253 0.490 0.520 0.550 0.580
1.00 2.00 2.00 3.00 3.00 3.00
236 23 3.56 3.12 3.69 2.88
0.000 0.301 0.525 0.553 0.580 0.608
1.00 2.00 2.00 3.00 3.00 3.00
[MAM]
255 23 2.62 2.07 2.90 1.90
0.000 0.357 0.620 0.640 0.661 0.682
1.00 2.00 3.00 3.00 3.00 3.00
244 23 5.64 13.00 5.80 11.80
0.000 0.266 0.447 0.480 0.513 0.546
1.00 2.00 3.00 3.00 3.00 3.00
[JJA]
```

شکل (۳) فایل متنی شامل خصوصیات آماری پارامترهای هواشناسی سردشت

واسنجی و ارزیابی مدل آماری لارس

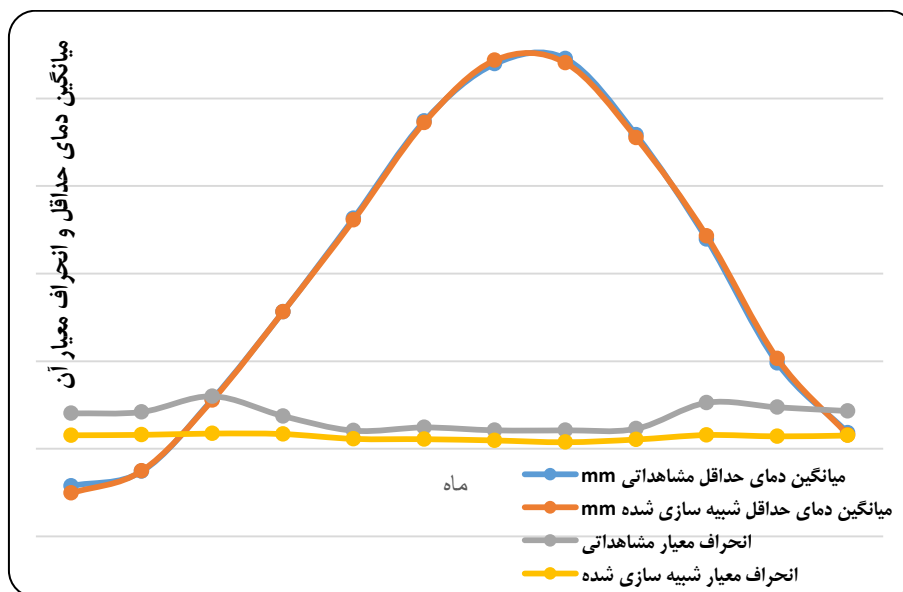
در شکل‌های ۳ تا ۷ نمودار میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده پارامترهای اقلیمی بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی و نیز انحراف معیار مربوط به آن‌ها در دوره پایه نشان داده شده است.



شکل (۴) نمودار میانگین بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده منطقه سردشت و انحراف معیار آن‌ها در

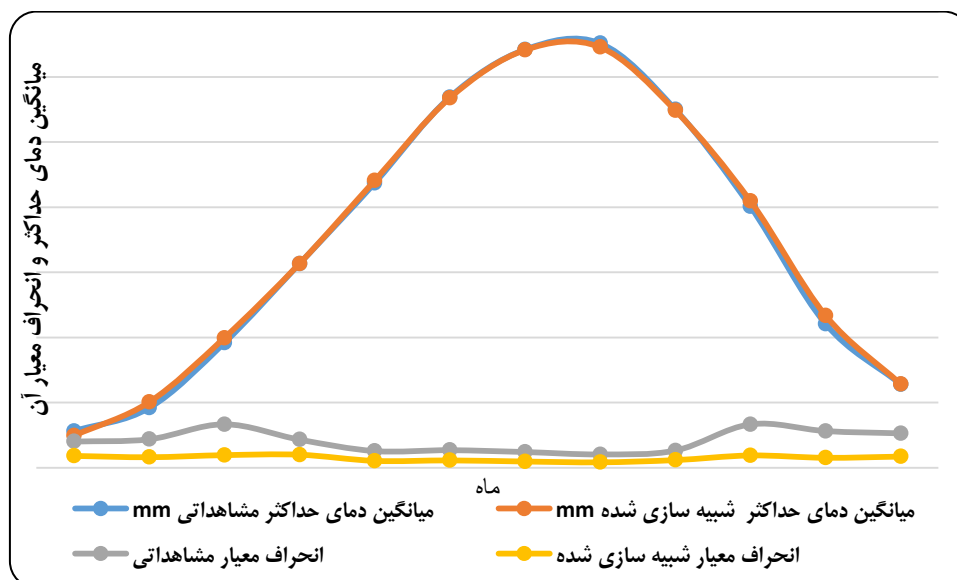
دوره آماری (۲۰۱۴-۱۹۹۶)

با دقت در شکل ۴ مشخص می‌شود که تنها در ماه‌های فوریه، مارس بارش مشاهده‌ای بیشتر از بارش شبیه‌سازی شده است و در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت، اکتبر و دسامبر می‌توان گفت میزان بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با هم برابر هستند و در مورد ماه‌های مه، سپتامبر و نوامبر اختلاف بسیار جزئی وجود دارد. مقادیر انحراف معیار مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در ماه‌های مارس، آوریل، مه و سپتامبر تقریباً با هم برابر هستند و در ماه اوت میزان انحراف معیار شبیه‌سازی شده کمتر از مشاهده‌ای است.



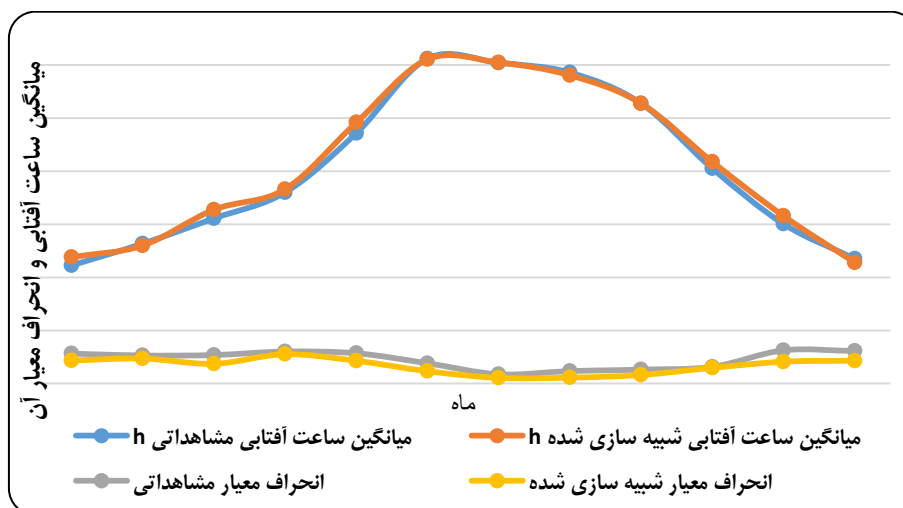
شکل (۵) نمودار میانگین دمای حداقل مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده منطقه سردشت و انحراف معیار آن‌ها در دوره آماری (۲۰۱۴-۱۹۹۶)

نمودار دمای حداقل نیز نشان می‌دهد که انحراف معیار دمای حداقل مشاهداتی و انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی در ماه‌های مه، ژوئن، ژوئیه، اوت با هم برابر است و در ماه‌های آوریل و سپتامبر اختلاف جزئی دارند. میانگین دمای حداقل مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در بیشتر ماه‌های سال برابر است فقط در ماه ژانویه اختلاف جزئی وجود دارد.



شکل (۶) نمودار میانگین دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده منطقه سردشت و انحراف معیار آن‌ها در دوره آماری (۲۰۱۴-۱۹۹۶)

نمودار دمای حداکثر نشان می‌دهد که انحراف معیار دمای حداکثر مشاهداتی در تمام ماه‌های سال بیش‌تر از انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی است و میانگین دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در بیشتر ماه‌های سال برابر است و فقط در دو ماه فوریه و نوامبر اختلاف بسیار جزئی وجود دارد.



شکل (۷) نمودار میانگین ساعت آفتابی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده منطقه سردشت و انحراف معیار آن‌ها در دوره آماری (۲۰۱۴-۱۹۹۶)

با دقت در شکل ۷ مشخص می‌شود که ساعت آفتابی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی با هم برابر و در ماه‌های ژانویه، مارس، مه و نوامبر اختلاف جزئی دارند و انحراف معیار ساعت آفتابی مشاهداتی و انحراف معیار شبیه‌سازی در تمام ماه‌های سال با هم برابرند و فقط در ماه نوامبر و دسامبر اختلاف ناچیزی دارند.

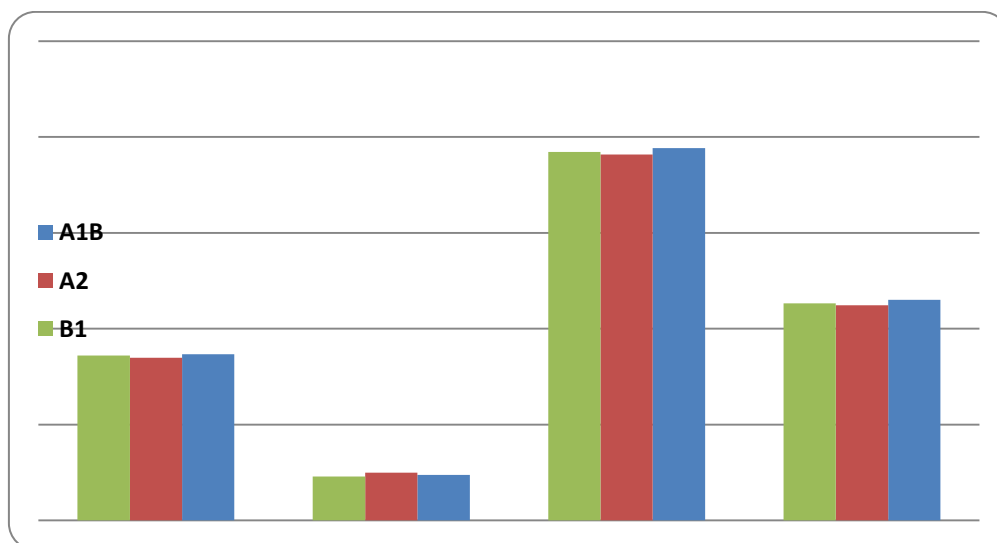
نتایج شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی

پس از اطمینان از صحت و کارایی مدل LARS-WG 5 در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی منطقه، با کمک مدل LARS-WG 5 داده‌های روزانه پارامترهای مذکور برای سه سناریوی A2، A1B و B1 مدل HadCM3 برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ شبیه‌سازی شد. که به عنوان نمونه فایل خروجی سناریوی A1B در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در شکل ۸ ارائه شده است.

File	Edit	Format	View	Help				
1		5	1.7	6.7	71.4	0.00	0.00	
1		6	1.8	3.6	21.9	1.44	0.16	
1		7	-0.8	3.1	0.0	3.99	0.54	
1		8	-1.4	1.4	12.5	8.64	1.19	
1		9	2.1	8.3	3.1	9.62	1.60	
1		10	1.8	9.3	6.6	4.01	0.63	
1		11	-4.4	1.0	0.0	3.41	0.41	
1		12	-3.0	2.7	0.0	7.51	1.03	
1		13	0.8	7.0	1.6	8.12	1.28	
1		14	0.2	7.4	8.4	9.48	1.51	
1		15	-0.1	2.4	0.0	7.37	1.05	
1		16	-1.6	3.3	0.0	3.91	0.52	
1		17	-0.0	7.2	0.0	2.99	0.42	
1		18	1.1	7.0	0.2	0.51	0.02	
1		19	-4.8	-0.1	0.0	8.86	1.11	
1		20	-6.9	-0.7	0.0	9.75	1.16	
1		21	-5.2	-2.5	0.0	6.73	0.79	
1		22	-4.5	-1.2	0.0	9.27	1.15	
1		23	1.5	5.8	0.0	5.47	0.84	
1		24	-0.3	2.6	0.0	0.46	0.01	
1		25	-6.1	-0.9	0.0	6.26	0.74	
1		26	-7.0	2.4	0.0	5.67	0.70	
1		27	-3.7	1.5	0.0	9.76	1.30	
1		28	-2.3	-1.6	0.0	10.01	1.29	
1		29	-2.0	5.2	0.0	9.47	1.40	
1		30	-0.7	7.3	0.0	7.45	1.15	
1		31	-0.6	4.8	0.0	3.82	0.53	
1		32	-1.1	2.4	0.0	8.94	1.27	

شکل (۸) مقادیر داده‌های روزانه شبیه‌سازی شده سناریو A1B در منطقه سردشت در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰

ستون‌های مشاهداتی در شکل ۸ به ترتیب بیانگر شماره سال، روز، دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش، ساعات آفتابی شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG 5/5 است.



شکل (۹) مقایسه داده‌های روزانه شبیه‌سازی شده سناریو A1B-A2-B1 در منطقه سردشت در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰

شکل ۹ مشخص می‌شود که در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در حوزه آبخیز سردشت استان آذربایجان غربی از بین سه سناریو مورد بررسی تغییرات سه سناریو در مقایسه با یکدیگر جزئی است دمای حداکثر و بارش در مقایسه با سه سناریو میزان یکسانی دارد تنها دمای حداقل در سناریو A1B یک درجه افزایش و ساعات آفتابی در سناریو A2 در مقایسه با سه سناریو یک درجه کاهش را نشان می‌دهد به‌طور کلی از مقایسه سه سناریو دمای حداکثر در مقایسه با سایر موارد دارای میزان تغییرات و افزایش ۴ درجه سانتیگراد است و میزان بارش در مقایسه با سایر موارد دارای تغییرات بیشتر و در مقایسه با دوره پایه به میزان ۲ درصد افزایش یافته است و نشان می‌دهد در دوره مورد بررسی بطور کلی تغییر اقلیم آن با افزایش دما و افزایش میزان بارندگی در سال مواجه خواهد شد.

مدل LARS-WG به طور وسیع جهت شبیه‌سازی بارش استفاده می‌شود و به طور کلی به دو حالت بارش و نیز تر یا خشک بودن آن توجه می‌کند. در این مدل در مجموع داده‌های شبیه‌سازی شده برای یک روز به آنچه در روز قبل اتفاق افتاده مربوط است. یعنی اگر روز قبل گرم باشد انرژی گرمایی در خاک ذخیره می‌شود و رها شدن این انرژی در طول زمان به این معنی است که روز بعد گرم خواهد بود. این وابستگی به روز قبل با خود هم‌بستگی مشخص شده است که این مدل از مقادیر متوسط خود هم‌بستگی دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش استفاده می‌کند. شبیه‌سازی وقوع بارش به عنوان جایگزین سری‌های خشک و مرطوب مدل‌سازی شده است و یک روز با بارش بیش‌تر از صفر میلی‌متر به عنوان روز مرطوب تلقی می‌شود. در مواقعی که تابش خورشیدی در دسترس نباشد می‌توان از ساعت آفتابی نیز استفاده نمود و مدل به طور خودکار میزان ساعت آفتابی را به تابش خورشیدی تبدیل می‌نماید. در مدل LARS-WG مدل‌سازی دما و بارش مستقل از تابش اندازه‌گیری می‌شود. مدل LARS-WG قادر است با داده‌های مشاهداتی کم (مثلاً در حد یک‌سال)، داده‌های اقلیمی را پیش‌بینی کند ولی برای اینکه مدل بتواند اقلیم درست‌تر و دقیق‌تری را پیش‌بینی کند بهتر است که از ۲۰-۳۰ سال داده روزانه استفاده کرد (سمنو و همکاران ۲۰۰۲). در این تحقیق نیز دوره آماری پایه ۱۸ سال در نظر گرفته شده است.

از مزیت مدل‌های آماری و از جمله مدل LARS-WG کم‌هزینه بودن، سرعت بالا و امکان استفاده از آن بدون نیاز به ابر رایانه‌ها و یا رایانه‌های بسیار سریع می‌باشد. یکی از محدودیت‌های مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی این است که در اکثر موارد انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی شده کم‌تر از انحراف معیار مشاهداتی است که این موضوع باید در مطالعات مربوط به تغییر اقلیم با استفاده از شبیه‌سازی داده توسط این مدل، مد نظر قرار گیرد و انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی شده با روش‌های آماری اصلاح شود.

نمودارهای پراکنش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه سولقان در دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۶ (فصل نتایج) نشان داد که هم‌بستگی بالایی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود دارد که با نتایج حاصل از مطالعات (فرزانه و همکاران ۱۴۰۱) با پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل LARS-WG نسخه ششم با در نظر گرفتن دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۲۰ انجام شد. نتایج کلی گویای میزان درصد تغییرات دمای حداقل در استان 02/16 درصد افزایشی، میزان درصد تغییرات دمای حداکثر ۸/۴۹ درصد افزایشی دارد مطابقت دارد مقدار درصد بارش ۹/۸۵ درصد کاهش است. تعداد روزهای خشک در ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش می‌یابد.

همچنین نتایج این پژوهش نشان داد براساس برآورد مدل LARS-WG برای سناریوی مورد بررسی در دوره‌های آتی میانگین دمای حداکثر حوضه آبخیز سردشت بر اثر پدیده تغییر اقلیم به میزان ۴ درجه سانتیگراد افزایش و مقدار بارش نیز در مقایسه با دوره پایه به میزان ۲ درصد افزایش می‌یابد که با نتایج (زانگ و همکاران ۲۰۱۶، ۱) که با استفاده از مدل، SDSM، اثرات پدیده تغییر اقلیم را بر روی میزان بارش و دما در حوزه ۲ ایکسین در کشور چین تحت سناریوی A2، مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنان حاکی از افزایش بارش و دما در دوره آتی بود مشابهت دارد. همچنین با بررسی میزان کالیبراسیون و شبیه‌سازی در این مدل برای منطقه سردشت نشان داده شده است که در مدل با دقت خوبی شبیه‌سازی انجام شده است که با نتایج حاصل از پژوهش (اداوی و همکاران ۲۰۱۸)، به منظور شبیه‌سازی تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر تولید سیب زمینی در استان اصفهان؛ دو نوع مدل عمومی (HadCM3 و IPCM4) و سه سناریو (A1B، A2 و B1) مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل لارس و مدل SUBSTOR دارای دقت مناسب برای شبیه‌سازی پارامترهای

1. Zhang, et al.

2. Hadley Centre Coupled Model, version

3. Xin.

آب و هوا و رشد سیب زمینی بودند سازگاری دارد. همچنین، با مقایسه میانگین‌های ماهانه پارامترهای مذکور با استفاده از آزمون کای اسکوئر این نتیجه حاصل شد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی در دوره پایه وجود نداشته و میانگین پارامترهای اقلیمی داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی شبیه به هم بوده و هم‌بستگی بالایی بین آن‌ها وجود دارد همچنین مقادیر دمای حداقل و حداکثر بیش‌ترین همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت آفتابی کم‌ترین همبستگی را داراست که با نتایج (مشکاتی و همکاران ۲۰۱۰) مطابقت داشت. به علاوه، نتایج نشان داد براساس برآورد مدل LARS-WG برای سناریوی مورد بررسی در دوره‌های آبی میانگین دمای حداکثر حوضه آبخیز سردشت بر اثر پدیده تغییر اقلیم به میزان ۴ درجه سانتیگراد افزایش و مقدار بارش نیز در مقایسه با دوره پایه به میزان ۲ درصد افزایش می‌یابد که با نتایج (خسروانی و همکاران ۲۰۱۵) که با بکارگیری مدل تغییر اقلیم HADCM و A2, B1 و A1B در دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹، مورد بررسی قرار گرفت نتایج این پژوهش نشان داد دمای میانگین حوضه قره سو به میزان ۰/۵۶ تا ۴/۰۴ سلسیوس افزایش و مقدار بارش در مقایسه دوره پایه به میزان ۱۰/۲۸ تا ۲۳/۷۱ درصد افزایش یافت مطابقت دارد و نیز با نتایج (نصیری و یارمادی ۲۰۱۶) که با کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی استان لرستان که با بکارگیری مدل تغییر اقلیم HADCM و A1B, B1A2 در دوره پایه ۲۰۰۵-۲۰۹۹، مورد بررسی قرار دادند نتایج تحقیق آنان در این پژوهش نشان داد میانگین دمای بیشینه و بارش استان به ترتیب حدود ۰/۹ تا ۱/۰۳ درجه و ۱۲/۰۴ درصد افزایش و میانگین ساعات آفتابی حدود ۰/۶ کاهش خواهد یافت. همچنین، با وجود تغییرات کمتر دمای بیشینه نسبت به دمای کمینه، افزایش متوسط دمای هوا در این دوره قابل انتظار می‌باشد سازگاری دارد. همچنین با نتایج (ثانی‌خانی و همکاران ۲۰۱۳) که با بکارگیری مدل تغییر اقلیم HADCM در حوضه آبی چای و سناریوهای B1 و A2، A1B در افق ۲۰۵۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از افزایش دما در منطقه بودند مطابقت دارد و نتایج پژوهش (ثانی‌خانی و همکاران، ۲۰۱۳) کاهش بارندگی را نشان می‌دهد که در مقایسه با نتایج این پژوهش که افزایش بارندگی دارد مشابهت ندارد. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج (جهانگیر و همکاران ۱۳۹۹) که نشان داد که میانگین بارش سالانه در دوره آبی نسبت به دوره پایه با در نظر گرفتن سناریوی A2، ۱/۵٪ و با در نظر گرفتن سناریوی A1B، ۵/۵٪ افزایش خواهد یافت. مطابقت دارد همچنین مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش بود، اما در شبیه‌سازی پارامتر بارش نسبت به دیگر پارامترها خطای بیش‌تری را نشان داد. بیش‌ترین افزایش با حدود ۸۰٪ متعلق به ماه سپتامبر تحت سناریو A2 بود که در دوره آبی نسبت به دوره مطالعاتی رخ داده است. از آنجا که در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در حوضه آبخیز سردشت استان آذربایجان غربی از بین سه سناریو مورد بررسی تغییرات سه سناریو در مقایسه با یکدیگر جزیی است دمای حداکثر و بارش در مقایسه با سه سناریو میزان یکسانی دارد تنها دمای حداقل در سناریو A1B یک درجه افزایش دارد

نتایج این پژوهش با نتایج کرمی و همکاران (۱۴۰۰) که میانگین دمای کمینه و بیشینه در همه‌ی ماه‌ها در هر سه دوره، تحت دو سناریوی در همه مدل‌ها افزایش خواهد داشت مطابقت دارد. میزان بارش در مقایسه با سایر موارد دارای تغییرات بیشتر و در مقایسه با دوره پایه به میزان ۲ درصد افزایش یافته است نتایج این پژوهش با پژوهش کرمی و همکاران (۱۴۰۰) که میانگین بارش ماهانه در مدل‌ها افزایش یافته مشابهت دارد از آنجا که در این پژوهش به طور کلی با افزایش میزان بارش و دمای هوا همراه است با نتایج پژوهش شا و وانگ (۲۰۱۹) که نشان دادند به طور کلی گرم شدن و مرطوب شدن در آینده برای مکان‌های مورد مطالعه ادامه خواهد داشت مطابقت دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌گونه که در نتایج تحقیق ذکر شد مدل LARS-WG کارایی لازم را جهت تولید داده‌های پارامتر اقلیمی در حوضه سردشت استان آذربایجان غربی دارا بوده و می‌توان با طراحی سناریو در این مدل میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی را پیش‌بینی نمود با توجه به پیش‌بینی دقیق این مدل و نیز کم هزینه بودن استفاده از آن می‌توان بعد از اطمینان از کارایی آن در مناطق مختلف برای بررسی تغییرات؛ تغییر اقلیم و پیش‌بینی‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی مقادیر مؤلفه‌های اقلیمی، به دلیل مشخص بودن تأثیر معنی‌دار آن‌ها بر جوامع انسانی و سیستم‌های طبیعی، همواره از اهمیت روزافزونی برخوردار بوده است؛ بنابراین پیش‌یابی تغییرپذیری زمانی - مکانی این متغیرها در مقیاس محلی و منطقه‌ای جهت برنامه‌ریزی-

های آتی در سراسر جهان، ضرورتی اجتناب ناپذیر است (قانقرمخ و همکاران ۲۰۱۳). در این پژوهش با استفاده از ریزمقیاس نمائی داده‌های مدل گردش عمومی جو به پیش‌بینی تغییرات آماره توسط مدل HADCM3 پرداخته پیش‌بینی اقلیمی استان آذربایجان غربی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که این منطقه در ۲۰ سال آینده با پدیده گرمایش جهانی روبه‌رو شده و تغییرات مشهودی نیز در الگوهای بارش رخ خواهد داد. در واقع بر اساس برآورد مدل LARS-WG برای سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی این تحقیق میانگین دمای حوضه آبخیز سردشت بر اساس پدیده تغییر اقلیم ۴ درجه سانتیگراد افزایش و مقدار بارش نیز در مقایسه با دوره پایه به میزان ۲ درصد افزایش می‌یابد که باید جهت دقت بیشتر برنامه‌ریزی‌های منطقه میزان این تغییرات را لحاظ کرد. در مورد روند افزایشی بارش هم پیشنهاد می‌شود، مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب به منظور تغذیه مصنوعی و جمع‌آوری آب باران به صورت درجا و غیر درجا و به کارگیری روش‌های استحصال و ذخیره آب باران در منطقه صورت گیرد تا اگر در آینده نتایج محقق شد بتوان از این آب مازاد استفاده کرد. همان‌گونه که ذکر شد، روند افزایشی میزان بارش در توافق با نتایج (ضرغامی و همکاران ۲۰۱۱) است.

منابع

- ثانی خانی، هادی؛ دین پژوه، یعقوب؛ پوریوسف، سعید؛ زمان زاد قویدل، سروین؛ صولتی، بهاره (۱۳۹۲). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی). آب و خاک، ۲۷(۶)، ۱۲۳۴-۱۲۲۵. doi: 10.22067/jsw.v0i0.21513
- جهانگیر، محمد حسین؛ جهان‌پناه، مریم؛ ابوالقاسمی، مهناز. (۱۳۹۹). پیش‌بینی وضعیت خشکسالی برای دوره‌های آتی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز). محیط زیست و مهندسی آب، ۶(۱)، ۶۹-۸۲. <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.215515.1343>
- خسروانیان، جهانتاب، اونق، مجید، گودرزی، مسعود، حجازی، سید اسداله. (۱۳۹۴). کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره سوه در استان گلستان. جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۹(۵۳)، ۹۳-۱۱۵.
- سبحانی، بهروز، اصلاحی، مهدی، باباییان، ایمان. (۱۳۹۴). کارایی مدل‌های کاهش مقیاس آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی حوضه دریاچه ارومیه. فصلنامه تحقیقات جغرافیای فیزیکی، ۴۷(۴)، ۴۹۹-۵۱۶.
- فرزانه، مهسا، ملبوسی، شراره، حمیدیان پور، محسن. (۲۰۲۲). پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی استان سیستان و بلوچستان تحت شرایط سناریوهای واداشت تابشی RCP. پژوهش‌های اقلیم شناسی، ۱۴۰۱(۵۱)، ۱۴۸-۱۲۹.
- نصیری، بهروز، یارمرادی، زهرا. (۱۳۹۶). پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آتی با استفاده از مدل HADCM3. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۱)، ۱۴۳-۱۵۴.
- مشکواتی، امیرحسین، کردجزی، محمد، باباییان، ایمان. (۱۳۸۹). بررسی و ارزیابی مدل لارس در برنامه ریزی فضایی داده‌های هواشناسی استان گلستان در بازه زمانی ۱۹۹۷-۱۹۹۳. مجله تحقیقات کاربردی علوم زمین، دوره ۱۹:۱۶، صفحات ۹۶-۸۱.
- Adavi, Z., Moradi, R., Saeidnejad, A. H., Tadayon, M. R & Mansouri, H. (2018). Assessment of potato response to climate change and adaptation strategies. *Scientia Horticulturae*, 228, 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.017>
- Babaeian, E., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibe, M., Adab, H., & Malbisei, S. (2009). Climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G model. *Geography and development Iranian journal*, 7(16), 135-152. <https://doi.org/10.22111/GDIJ.2009.1179>
- Behmanesh, J., Azad Talatappeh, N., Montaseri, M., Rezayi, H., & Khalili, K. (2015). Climate change impact on reference evapotranspiration, precipitation deficit and vapor pressure deficit in Urmia. *Water and Soil Science*, 25(2), 79-91.
- Ghanghermeh, A., Roshan, G.R., Orosa, J., Calvo-Rolle, L., & Costa Ángel, M. (2013). New climatic indicators for improving Urban Sprawl a case study of Tehran city. *Entropy*, 15: 999-1013 <https://doi.org/10.3390/e15030999>.

- Hessami, M., Gachon, P., Ouarda, T. B., & St-Hilaire, A. (2008). Automated regression-based statistical downscaling tool. *Environmental Modelling & Software*, 23(6), 813-834. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.10.004>
- IPCC Fourth Assessment report, Climate Change. (2007). Synthesis Report. Valencia, Spain, 12-17 November 2007: 52p.
- Li, H., Yang, X. (2014). Temperate dryland vegetation changes under a warming climate and strong human intervention—with a particular reference to the district XilinGol, Inner Mongolia, China. *CATENA*, 119: 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.03.003>
- Meena, P.K., Khare, D & Nema, M.K. (2016). Constructing the downscale precipitation using ANN model over the Kshipra river basin, Madhya Pradesh. *Journal of Agrometeorology*, 18 (1): 113–119. <https://doi.org/10.54386/jam.v18i1.912>
- Nury, A. H., & Alam, M. J. B. (2014). Performance study of global circulation model HADCM3 using SDSM for temperature and rainfall in North-Eastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, 6(1), 87-96.
- Pope, V., Gallani, M., Rowtree, P., & Stratton, R. (2000). The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model. *Climate Dynamics*, 16:123–146. <https://doi.org/10.1007/s003820050009>
- Roshan, G. & A Orosa, J. (2015). Regional climate changes and their effects on monthly energy consumption in buildings in Iran. *Natural Environment Change*, 1(1), 31-48.
- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. & C. W. Richardson. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates, *Climate Research*, Vol 10: (2)95–107. <https://doi.org/10.3354/cr010095>
- Semenov, M.A., Barrow, E.M. (2002). Stochastic Weather Generator and LARS-WG for Use in Climate Impact Studies, .. User Manual, Version, 3.0: 28.
- Semenov, M. A. (2007). Developing of high-resolution UKCUP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol (144): 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.02.003>
- Sha, J., Li, X., & Wang, Z. L. (2019). Estimation of future climate change in cold weather areas with the LARS-WG model under CMIP5 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3), 3027-3039. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02781-4>
- Stocker, T.F., Dahe, Q., & Plattner, G.K. (2013). The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of IPCC: Summary for Policymakers. 159-254
- Zhang, Y., You, Q., Chen, C.H., & Jing, G.E. (2016). Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China. *Atmospheric research*, 178-179: 521-534. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.04.018fhf>