

پیش‌نمایی بارش و روند تغییرات آن تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آتی (مطالعه موردی: تبریز)

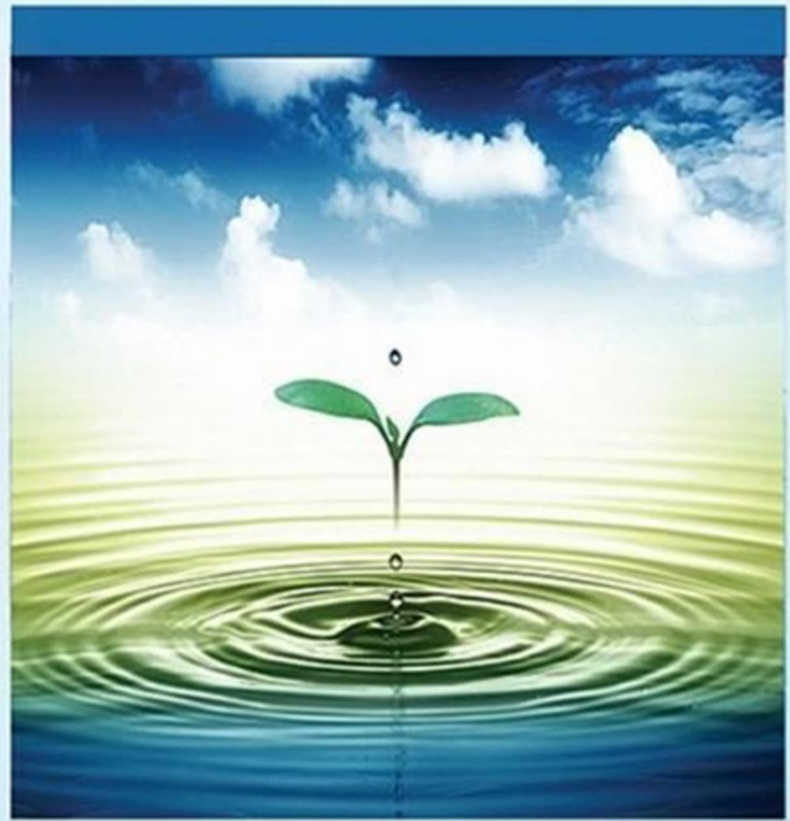
امین صادقی و یعقوب دین‌پژوه

دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۳۳۹ - ۳۵۰

Vol. 5(4), Winter 2020, 339 – 350

DOI: 10.22034/jewe.2020.210941.1339

Projection of Precipitation and its Variability
under the Climate Change Conditions in the
Future Periods (Case Study: Tabriz)
Sadeqi A. and Dinpazhoh Y.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

صادقی ا. و دین‌پژوه ی. (۱۳۹۸). پیش‌نمایی بارش و روند تغییرات آن تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آتی (مطالعه موردی: تبریز). محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۴، صفحات: ۳۳۹-۳۵۰.

Citing this paper: Sadeqi A. and Dinpazhoh Y. (2020). Projection of precipitation and its variability under the climate change conditions in the future periods (case study: Tabriz). Environ. Water Eng., 5(4), 339-350. DOI: 10.22034/jewe.2020.210941.1339.

www.SID.ir

پیش‌نمایی بارش و روند تغییرات آن تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آتی (مطالعه موردی: تبریز)

امین صادقی^{۱*} و یعقوب دین‌پژوه^۲

^۱ کارشناس ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

* نویسنده مسئول: aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۸/۰۹/۱۶]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۸/۱۱/۲۰]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۸/۱۱/۲۵]

چکیده

در این پژوهش، پیش‌نمایی بارش در سه دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG6 انجام شد. بدین منظور از دو سناریوی RCP4.5 (انتشار پایین گازهای گلخانه‌ای) و RCP8.5 (انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای) و مدل گردش عمومی جو MPI-ESM-MR که یکی از مدل‌های جفت شده CMIP5 است، استفاده شد. روند تغییرات بارش به صورت سالانه و فصلی در دوره پایه و دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۲۱ با روش من-کندال تحلیل شد. شیب‌خط روند با روش تخمین‌گر سن به دست آمد. نتایج نشان داد که در فصل زمستان در هر سه دوره آتی طبق هر دو سناریو، بارش افزایش خواهد یافت. همچنین در فصل بهار و پاییز، طبق سناریوی RCP8.5 در تمام دوره‌ها، بارش کاهش خواهد یافت. ماه‌های دسامبر و ژانویه در هر سه دوره طبق هر دو سناریو افزایش بارش خواهند داشت. برعکس، ماه‌های مارس، ژوئیه، سپتامبر و اکتبر نیز در هر سه دوره آتی طبق هر دو سناریو کاهش در میزان بارش را تجربه خواهند کرد. میانگین بارش سالانه در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ بر اساس هر دو سناریو کاهش و بیش‌ترین کاهش در میانگین بارش سالانه در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ بر اساس سناریوی RCP8.5 به میزان ۱/۴٪ خواهد بود. همچنین بیش‌ترین افزایش در میانگین بارش سالانه در دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ بر اساس سناریوی RCP4.5 به میزان ۸/۱٪ مشاهده شد. در هیچ‌یک از دوره‌ها در سطح ۵٪ روند معنی‌داری مشاهده نشد. در تمام فصول شیب‌خط روند در دوره پایه و دوره آتی بر اساس سناریوی RCP8.5 منفی و بر اساس سناریوی RCP4.5 مثبت گزارش شد.

واژه‌های کلیدی: بارش؛ تبریز؛ تغییر اقلیم؛ سناریو RCP؛ LARS-WG6.

۱- مقدمه

رسیدند که تغییر اقلیم باعث دگرگونی وضعیت نرمال پارامترهای هواشناسی شده است که افزایش دمای کره زمین مشخص‌ترین علامت این تغییرات است.

در پژوهشی جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی به منظور تولید داده‌های اقلیمی آینده از نرم‌افزار LARS-WG تحت سناریوهای A₁B، A₂ و B₁ برای دو دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ (اواسط قرن) و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ (اواخر قرن) استفاده شد (Parajuli et al. 2016). نتایج نشان داد دمای بیشینه، حداکثر به میزان ۴/۸°C افزایش خواهد یافت. به جز افزایش فراوانی حداکثر بارش رخ داده در حوضه، الگوهای بارش ماهانه بر اساس سناریوهای آینده بدون تغییر باقی می‌ماند. (Stevens and Madani 2016) مطالعه‌ای به تأثیر اقلیم آینده بر تولید محصول ذرت و امنیت غذایی در مالاوی پرداختند. آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG و پنج مدل مختلف گردش عمومی جو برای دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۱۱ دما و بارش را پیش‌نمایی کردند. بر اساس یافته‌های این پژوهش، هیچ روند قوی (افزایش یا کاهش) در بارش مشاهده نگردید؛ ولی افزایش دما در آینده مورد انتظار گزارش شد.

در ایران نیز مطالعات پراکنده‌ای در زمینه تغییر اقلیم در دوره‌های آتی انجام شده است. مثلاً Zarghami et al. (2009) به بررسی تغییر اقلیم و آسیب‌پذیری منابع آب شهر تبریز پرداختند. به منظور شبیه‌سازی اقلیم آتی تبریز از ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG و مدل گردش عمومی HADCM3 طبق سه سناریوی انتشار A₂، B₁ و A₁B در سه افق ۲۰۲۰، ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰ استفاده کردند. نتایج نشان داد که بر اساس سناریوی A₂ در میانه قرن بیست و یکم میانگین سالانه دما ۳°C افزایش و بارش ۵٪ کاهش خواهد یافت.

در مطالعه دیگری (Zarghami et al. 2011) به مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر رواناب استان آذربایجان شرقی پرداختند. بدین منظور، از نرم‌افزار LARS-WG جهت ریزمقیاس‌نمایی مدل گردش عمومی جو HADCM3 در افق‌های زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰ تحت سناریوهای A₁B، A₂ و B₁ استفاده شد. نتایج

افزایش گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت بشر در صد سال گذشته، باعث گرم‌شدن زمین شده است. افزایش دما و دگرگونی توزیع زمانی و مکانی بارش از اثرات تغییر اقلیم است. بر اساس گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، درجه حرارت کره زمین در طول صد سال گذشته، به طور متوسط حدود ۱°C افزایش داشته است (IPCC 2014). تمام تلاش‌ها در آخرین نشست سران کشورهای جهان این بوده که این افزایش حداکثر به ۲°C محدود شود (Sharma 2016). افزایش دمای جهانی در اثر تغییر اقلیم با سرعت بخشیدن به تبخیر از سطح اقیانوس‌ها می‌تواند چرخه هیدرولوژیکی را دگرگون کند (Hannah 2015).

استفاده از مدل‌های مختلف گردش عمومی جو^۱ (GCM) با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG^۲ مورد توجه بسیاری از هیدرولوژیست‌ها قرار گرفته است (Sanikhani et al. 2018، Wang et al. 2017، Baule et al. 2017، Rajsekhar and Gorelick 2017، Rajbhandari et al. 2017، Hamidianpour et al. 2014، al. 2016، Nikbakht Shahbazi 2017).

در پژوهشی در مورد پیش‌نمایی دما و بارش در سودان و سودان جنوبی در دوره‌های آتی از نه ایستگاه و هفت مدل GCM بر اساس سناریوی A₂ با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG برای دوره‌های ۲۰ ساله ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ استفاده شد (Chen et al. 2013). آن‌ها گزارش کردند پیش‌نمایی بارش نتایج متناقضی را داده است که مبین عدم قطعیت زیاد در مدل‌های گردش عمومی جو است. (Pinkerton and Rom 2016) به بررسی جهانی تغییر اقلیم پرداختند. به این منظور از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) و سناریوهای انتشار IPCC استفاده نمودند. آن‌ها به این نتیجه

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

² General Circulation Model (GCM)

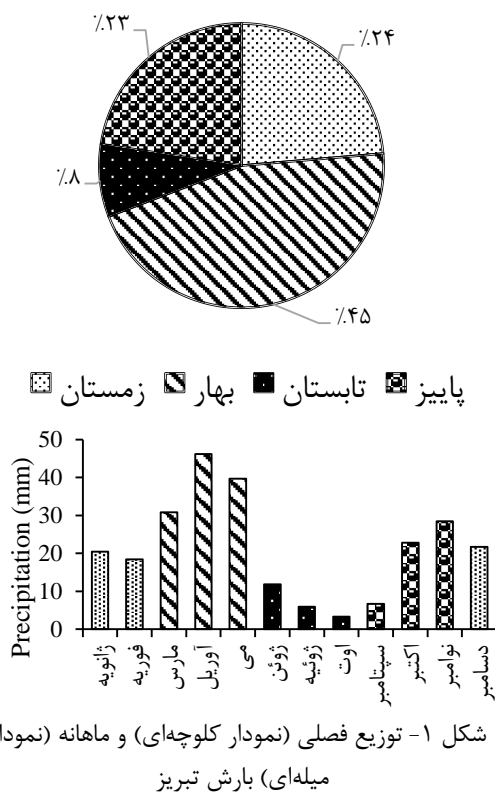
³ Long Ashton Research Station – Weather Generator

توجه به بررسی منابع صورت گرفته چنین پژوهشی تاکنون به‌طور دقیق و جامع برای تبریز انجام نشده است. پیش‌نمایی روند بارش در آینده به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح منابع آب ضروری است. نتایج این پژوهش می‌تواند در مدیریت بهینه منابع آب به برنامه‌ریزان و مدیران شهر تبریز کمک نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تبریز بزرگ‌ترین شهر در شمال غرب کشور و مرکز استان آذربایجان شرقی است. براساس آمار بلندمدت ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک تبریز، میانگین بارش سالانه آن ۲۸۲ mm و میانگین سالانه دمای هوای آن $12/3^{\circ}\text{C}$ می‌باشد که طبق شاخص اقلیمی دومارتن در منطقه نیمه‌خشک واقع شده است. شکل (۱) توزیع فصلی و ماهانه بارش تبریز را نشان می‌دهد. تبریز از شمال به کوه عینالی، از جنوب به دامنه کوه سهند و از سمت غرب به جلگه تبریز و دریاچه ارومیه محدود است.



شکل ۱- توزیع فصلی (نمودار کلوچه‌ای) و ماهانه (نمودار میله‌ای) بارش تبریز

Fig. 1 Seasonal (Pie chart) and monthly (Bar chart) distribution of Tabriz rainfall

نشان داد الگوی تغییرات دما و بارش اثرات جدی بر کمیت و کیفیت منابع آب داشتند. میانگین افزایش دمای سالانه حدود $2/3^{\circ}\text{C}$ و یک کاهش بارش حدود $3/3$ در اواسط قرن حاضر پیش‌نمایی شد. Zareian et al. (2015) به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم با رویکرد وزن‌گذاری منطقه‌ای اصلاح‌شده در حوضه زاینده‌رود پرداختند. به این منظور، ترکیبی از GCM ها با نرم‌افزار LARS-WG ریزمقیاس شدند. طبق دو سناریوی A_2 و B_1 نتایج نشان داد در دوره $2044-2078+1/78$ و $2044-2078-2/78$ تغییر خواهد کرد. همچنین بیش‌ترین افزایش دما در فصل تابستان روی خواهد داد. در دوره $2045-2074$ دمای سالانه بین $1/02^{\circ}\text{C}$ - $2/53$ افزایش و بارش بین $14/35\text{mm}$ - $32/82$ کاهش خواهد یافته و بیش‌ترین شدت کاهش بارش در زمستان مشاهده خواهد شد. Asakereh and Akbarzadeh (2017) به شبیه‌سازی بارش و دمای شهر تبریز در دوره آتی $2010-2100$ طبق سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از SDSM پرداختند. به‌طورکلی بارش در سه سناریوی موردبررسی برای دو دوره $2010-2039$ و $2040-2099$ کاهش و برای دوره $2040-2069$ افزایش می‌یابد. همچنین بارش به‌طورکلی در فصل زمستان افزایش و در بقیه فصول با کاهش بارش مواجه خواهد بود.

هدف از این پژوهش بررسی تغییرات بارش تبریز در دوره پایه و سه افق آتی 2030 ، 2050 و 2070 با استفاده از جدیدترین گزارش IPCC (گزارش ارزیابی پنجم) است که طبق آن تغییرات بارش تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP4.5 (انتشار پایین گازهای گلخانه‌ای) و RCP8.5 (انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای) بررسی شد. همچنین ریزمقیاس نمایی خروجی مدل گردش عمومی جو با جدیدترین نسخه LARS-WG (نسخه ششم) انجام شد. روند تغییرات بارش در دوره تاریخی و دوره آتی با روش‌های ناپارامتری به‌دست آمده و نتایج تجزیه و تحلیل شد. با

¹ Statistical DownScaling Model

۳۸/۱۲ درجه شمالی و ۴۶/۲۴ درجه شرقی استفاده شد. جدول (۱) مشخصات ایستگاه سینوپتیک تبریز را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک تبریز

Table 1 Geographic characteristics of the synoptic station in Tabriz

ایستگاه	کد ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	دوره پایه
تبریز	40706	1361	38.12	46.24	1980-2015

سه بخش اصلی به شرح واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده تشکیل شده است. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می‌باشد. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، بیشینه و کمینه دما و ساعت آفتابی دوره پایه، برای ایستگاه موردبررسی تهیه و مدل بر اساس آن اجرا شد. پس از کنترل و تأیید توانایی LARS-WG در شبیه‌سازی رفتار متغیرهای اقلیمی در دوره پایه، شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی برای دوره‌های آینده بر اساس داده‌های یک مدل GCM و سناریوی RCP صورت پذیرفت. در این مرحله، مدل با استفاده از رفتار متغیرها در دوره پایه و ریزمقیاس نمای آماری داده‌های یک مدل چرخش عمومی جو بر اساس هر یک از سناریوهای موجود، پارامترهای اقلیمی آینده را در حد مقیاس منطقه مورد مطالعه، شبیه‌سازی می‌کند (Zareabyaneh et al. 2016).

IPCC جهت پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم سناریوهای مختلفی را ارائه کرده است. جدیدترین سناریوهای منتشرشده IPCC در گزارش ارزیابی پنجم^۲ (AR5) آمده است. سناریوهای جدید RCP نماینده خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای هستند. RCP دارای چهار خط سیر کلیدی به نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 و RCP8.5 می‌باشد که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. جدول (۲) ویژگی سناریوهای RCP را نشان می‌دهد. در این پژوهش از دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 برای تولید داده‌های بارش در سه دوره آتی ۲۰ ساله استفاده شده است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از آمار روزانه بلندمدت (۱۹۸۰-۲۰۱۵) ایستگاه سینوپتیک تبریز به مختصات جغرافیایی

۲-۳- مدل گردش عمومی جو

به‌منظور پیش‌بینی تغییر اقلیم از خروجی مدل‌های گردش عمومی استفاده می‌شود. از آنجایی که این مدل‌ها بزرگ‌مقیاس می‌باشند، با به‌کارگیری روش‌های مختلف برای یک نقطه خاص ریزمقیاس می‌شوند. روش‌های مختلفی برای ریزمقیاس‌نمایی وجود دارند که دو روش آماری و دینامیکی نسبت به سایر روش‌ها بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش از نرم‌افزار ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG استفاده شده است که از مزایای آن می‌توان به کم‌هزینه بودن، کاربرد آسان و توانایی تولید سری‌های طولانی‌مدت اشاره کرد. نسخه ششم این نرم‌افزار که اوایل سال ۲۰۱۸ عرضه شد و در این مطالعه نیز به‌عنوان نوآوری برای اولین بار در ایران از آن استفاده شد. از سناریوهای RCP و مدل‌های جفت‌شده CMIP5 پشتیبانی می‌کند. نرم‌افزار LARS-WG مولد آب و هوایی بر پایه روش سری‌ها است که می‌تواند به‌منظور شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیمی فعلی و آتی استفاده شود. این مولد با استفاده از داده‌های آب و هوایی مشاهداتی در یک ایستگاه مفروض، پارامترهای توزیع‌های احتمالاتی متغیرهای آب و هوایی و نیز با دست‌یابی به رابطه بین آن‌ها، داده‌های مربوط به دوره آینده را تولید می‌کند. درواقع هدف اصلی از کاربرد و ایجاد نرم‌افزار LARS-WG برای برطرف نمودن محدودیت‌های زنجیره مارکف است. LARS-WG برای هر یک از متغیرهای بیشینه و کمینه دما، بارش، تابش خورشیدی (تعداد ساعات آفتابی)، توزیع نیمه تجربی جداگانه‌ای در نظر می‌گیرد. فرآیند مدل‌سازی به کمک LARS-WG از

² Fifth Assessment Report

¹ Representative Concentration Pathways (RCP)

جدول ۲- ویژگی سناریوهای RCP (IPCC 2014)

Table 2 Characteristics of RCPs scenarios

معادل آنومالی دمای هوا طبق سناریوی انتشار SRES ^a	خط سیر	آنومالی دما (°C)	غلظت کربن دی‌اکسید (ppm)	واداشت تابشی	نام سناریو
A1F1	افزایشی	۴.۹	≥ ۱۳۷۰	۸/۵ w/m ² در سال ۲۱۰۰	RCP۸.۵
B۲	تثبیت بدون جهش	۳.۰	~۸۵۰	۶ w/m ² پس از سال ۲۱۰۰	RCP۶
B۱	تثبیت بدون جهش	۲.۴	~۶۵۰	۴/۵ w/m ² پس از سال ۲۱۰۰	RCP۴.۵
هیچ‌کدام	افزایش سپس کاهش	۱.۵	~۴۹۰	۳ w/m ² در اواسط قرن ۲۱ ام که تا پایان قرن به ۲/۶ w/m ² کاهش می‌یابد	RCP۲.۶ (RCP۳PD)

توجه: در مطالعه فعلی از دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. ^aSpecial Report on Emissions Scenarios

آلمان است و دارای وضوح مکانی $1/85^{\circ} \times 1/88^{\circ}$ می‌باشد، استفاده شده است.

۲-۶- روش من-کندال (M-K)

به منظور بررسی روند بارش از آزمون ناپارامتری من-S با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (1)$$

که در آن n تعداد داده‌های سری، i و j اندیس سال، داده در زمان i ام و داده در زمان j ام می‌باشند. $\text{Sgn}(X_j - X_k)$ تابع علامت بوده و به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$\text{Sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} 1 & X_j > X_k \\ 0 & X_j = X_k \\ -1 & X_j < X_k \end{cases} \quad (2)$$

آماره S به ازای $n \geq 8$ دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس به صورت رابطه (۳) است:

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t,j} t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (3)$$

در نهایت آماره Z از رابطه (۴) به دست آمد. در یک آزمون دو دامنه‌ای جهت تشخیص روند سری داده‌ها، فرض صفر (مبنی بر عدم وجود روند یکنواخت) در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۵) برقرار باشد.

۲-۴- سناریوهای مورد استفاده

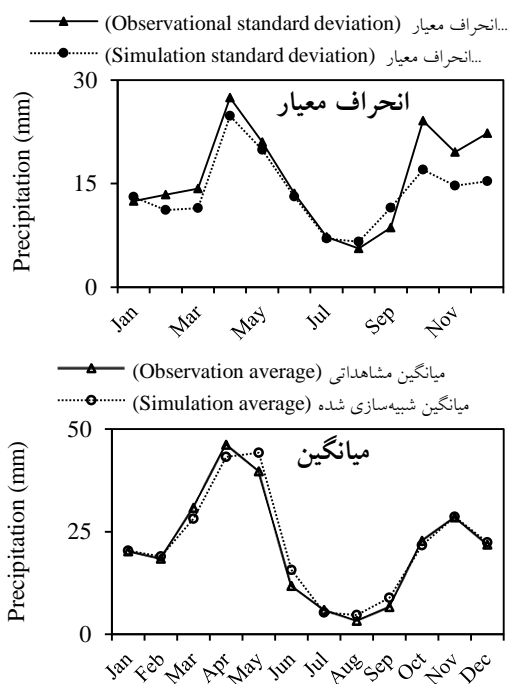
در این مطالعه از دو سناریو به شرح زیر استفاده شد. سناریوی اول RCP4.5 می‌باشد که به وسیله گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای پس از سال ۲۱۰۰ در مقدار $4/5 \text{ w/m}^2$ فرض می‌شود. سناریوی دوم RCP8.5 می‌باشد که توسط گروه مدل‌سازی MESSAGE در موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش ارائه شده است که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است. بدون اتخاذ سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی RCP پیش خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان $8/5 \text{ w/m}^2$ در سال ۲۱۰۰ می‌شود. در این هنگام غلظت کربن دی‌اکسید به بیش از ppm ۱۰۰۰ رسیده و همچنان روند افزایشی خواهد داشت (Asakereh and Akbarzadeh 2017).

نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی که در تهیه گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد، تحت عنوان پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های جفت شده (CMIP5) شناخته شده است. در این پژوهش جهت پیش‌نمایی مقادیر بارش برای دوره‌های آتی از مدل گردش عمومی MPI-ESM-MR^۱ که متعلق به موسسه هواشناسی ماکس پلانک

² Mann-Kendall

¹ Max Planck Institute for Meteorology

معیار شبیه‌سازی شده در ماه‌های سرد کم‌تر از انحراف معیار مشاهداتی است که این اختلاف در سه ماه پایانی سال (اکتبر، نوامبر و دسامبر) بیش‌تر از سایر ماه‌های سال است. بر اساس نتایج برخی از تحقیقات قبلی، نرم‌افزار LARS-WG در شبیه‌سازی مقادیر میانگین نسبت به انحراف معیار دقت بیش‌تری دارد درحالی‌که مولد آب‌وهوایی SDSM در شبیه‌سازی مقادیر انحراف معیار نسبت به میانگین دقت بالاتری دارد (Zarehabyaneh et al. 2016).



شکل ۲- انحراف معیار و میانگین بارش مشاهداتی ایستگاه تبریز و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط LARS-WG برای دوره پایه

Fig. 2 Standard deviation and average of observation precipitation of Tabriz station and LARS-WG simulated values for the baseline

۳-۲- پیش‌نمایی بارش

در شکل (۳) مقایسه میزان بارش ماهانه بر اساس دو سناریوی RCP در دوره پایه و سه دوره آتی قابل‌مشاهده است. جهت مشاهده اختلاف مقادیر بارش دوره پایه با دوره‌های آتی (طبق هر دو سناریوی RCP)، مقادیر آن در جدول (۳) قرار داده شده است. بر اساس ارقام این جدول در ماه‌های دسامبر و ژانویه در تمام دوره- سناریوها افزایش بارش مشهود است. همچنین در ماه‌های ژوئیه تا اکتبر نیز کاهش بارش در

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

$$|Z| \leq \frac{Z_{\alpha}}{2} \quad (۵)$$

که در آن α سطح معنی‌داری است که در این مطالعه ۰/۰۵ و ۰/۰۱ در نظر گرفته شد. در صورتی‌که آماره Z مثبت باشد، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند داده‌ها نزولی در نظر گرفته شد. در آزمون M-K شیب‌خط روند، β ، با روش تخمین‌گر سن از رابطه ناپارامتری (۶) به دست آمد.

$$\beta = \text{median} \left| \frac{X_j - X_i}{j - i} \right| \quad (۶)$$

که در آن β برآوردگر شیب‌خط روند و مقادیر مثبت و منفی β نشان‌دهنده روند افزایشی و کاهش سری داده‌هاست. به منظور تشخیص روند در سری زمانی تولیدشده و مقایسه آن با دوره پایه از آزمون مان-کندال به صورت فصلی و سالانه هم برای داده‌های مشاهداتی (دوره پایه) هم برای یک دوره آتی ۶۰ ساله (۲۰۲۱-۲۰۸۰) محاسبه شد. این کار هم با سناریوی RCP4.5 و هم با سناریوی RCP8.5 انجام شد.

۳- یافته‌ها و بحث

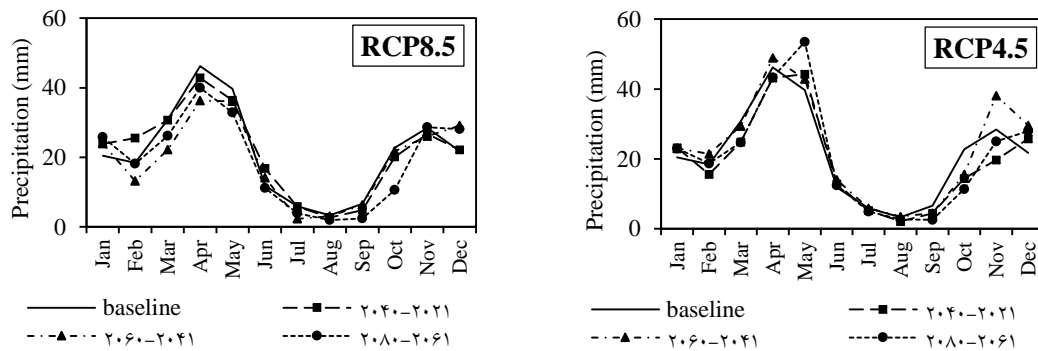
۳-۱- عملکرد و دقت مدل مولد آب و هوایی

در پژوهش حاضر داده‌های روزانه دمای کمینه و دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره زمانی ۱۹۸۰-۲۰۱۵ از سازمان هواشناسی اخذ گردید و به عنوان داده‌های ورودی به نرم‌افزار داده شد. شکل (۲) ارزیابی عملکرد و دقت LARS-WG در شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار بارش را نشان می‌دهد. طبق نتایج این شکل، LARS-WG میانگین بارش را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند و تقریباً منطبق بر میانگین مشاهداتی است؛ اما انحراف

¹ Sen's slope estimator

اوت طبق سناریوی RCP4.5 مقادیر بارش در دوره‌های آتی تقریباً برابر با دوره پایه تخمین زده می‌شود.

همه دوره- سناریوها انتظار می‌رود. در سایر ماه‌ها نیز در بعضی دوره‌ها افزایش و در بعضی دیگر کاهش بارش تخمین زده می‌شود. در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و



شکل ۳- تغییرات بارش ماهانه در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در سه دوره آتی ۲۰ ساله و دوره پایه

Fig. 3 Monthly rainfall variations in the two RCP4.5 and RCP8.5 scenarios over the next 20 years and baseline periods

جدول ۳- اختلاف مقادیر بارش ماهانه پیش‌نمایی شده با دوره پایه

Table 3 Difference of projected monthly precipitation values with the baseline period

Months	Scenario (2030)		Scenario (2040)		Scenario (2050)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
January	2.8	3.4	12.7	17.1	12.7	26.2
February	-2.8	7.0	16.6	-28.5	1.5	-1.3
March	-5.9	-0.2	-4.4	-28.0	-19.6	-15.2
April	-3.0	-3.4	5.9	-21.6	-6.2	-13.5
May	4.5	-3.4	7.9	-9.2	34.8	-17.1
June	1.0	4.9	18.7	19.3	5.5	-5.5
July	-0.6	-0.1	-0.6	-61.4	-15.3	-34.3
August	-1.2	-0.6	6.8	-7.5	-17.9	-42.0
September	-2.2	-1.8	-31.3	-6.1	-60.2	-63.7
October	-8.4	-2.7	-31.5	-4.8	-49.9	-53.6
November	-8.7	-1.7	33.9	-8.5	-12.2	0.7
December	4.0	0.4	36.3	33.8	28.6	29.2

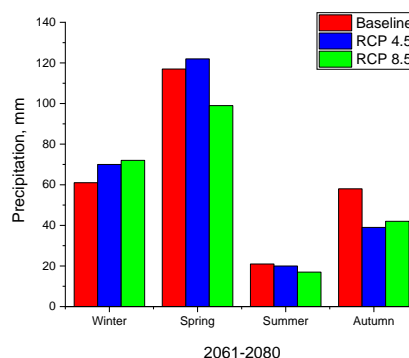
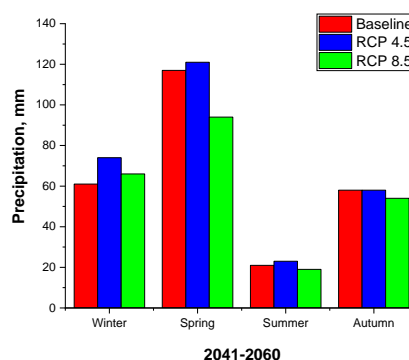
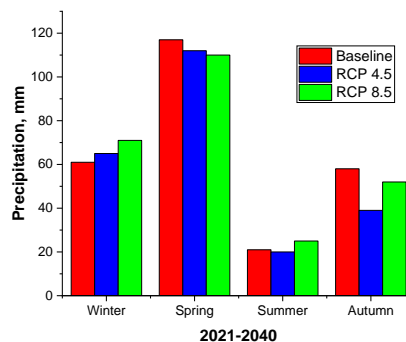
شهبازی (۱۳۹۶) گزارش نمود که با استفاده از LARS-WG5 و مدل‌های CMIP3 بیشترین افزایش بارش در حوضه کارون ۳ در زمستان و دی‌ماه اتفاق می‌افتد که با نتیجه مطالعه فعلی که از LARS-WG6 و مدل جدید MPI-ESM-MR برای تبریز استفاده شده است، مطابقت دارد. Hamidianpour et al. (2016) در مطالعه‌ای که در جنوب غرب کشور با استفاده از LARS-WG5.1 و مدل‌های CMIP3 انجام داده است گزارش نمود که مقدار بارش در فصول سرد سال در تمامی ایستگاه‌ها روند افزایشی خواهد داشت که با یافته‌های مطالعه حاضر که با نسخه جدیدتر LARS-WG6 برای تبریز انجام شده همسو می‌باشد.

در شکل (۴) تغییرات بارش (در مقیاس زمانی فصلی) در دوره پایه و دوره‌های آتی قابل مشاهده است. به‌منظور درک درست نتایج این شکل، اختلاف مقادیر بارش فصلی و سالانه دوره پایه با دوره‌های آتی در جدول (۴) قرار داده شده است. طبق نتایج این جدول، در فصل زمستان در همه دوره- سناریوها افزایش بارش انتظار می‌رود. همچنین در فصل پاییز نیز کاهش بارش در سال‌های آتی دور از انتظار نیست. Asakereh and Akbarzadeh (2017) گزارش نمودند که تغییرات بارش تبریز در سناریوی RCP4.5 بیشتر از سایر سناریوها است و به‌طورکلی، بارش در فصل زمستان افزایش می‌یابد، این نتیجه با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد. همچنین نیکبخت

درحالی که با سناریوی RCP4.5 این رقم در همان دوره ۲۰ ساله اول به کم تر از ۲۳۶ mm افت می کند. به عبارت دیگر حدود ۲۰/۵ mm (۰/۸٪) از میزان بارش سالانه کاسته می شود. از طرفی در دوره آتی (۲۰۶۰-۲۰۴۱) بارش سالانه با سناریوی RCP8.5 حدود ۸/۶٪ کاهش می یابد. ولی با سناریوی RCP4.5 بارش سالانه حدود ۸/۱٪ افزایش نشان می دهد. همچنین در دوره آتی سوم (۲۰۶۱-۲۰۸۰) بارش سالانه تبریز با سناریوی RCP8.5 حدود ۱۰/۴٪ کاهش می یابد درحالی که با سناریوی RCP4.5 این کاهش حدود ۲/۲٪ می باشد. یافته های این پژوهش با نتایج مطالعه Golmohammadi and Massah Bavani (2011) نیز همسو می باشد. همچنین Sadeqi et al. (2019) نیز از افزایش بارش حوضه قزل اوزن در افق ۲۰۵۰ خبر داده اند.

۳-۳- آزمون روند من- کندال و تخمین گر شیب سن

شکل (۵) بارش سالانه مشاهداتی و تولید شده بر اساس دو سناریوی RCP تا سال ۲۰۸۰ را نشان می دهد. به منظور تشخیص روند بارش از آزمون ناپارامتری مان-کندال استفاده شد و شیب خط روند نیز با روش ناپارامتری تخمین گر سن محاسبه شد. جدول (۵) مقادیر p-value و شیب سن سری زمانی بارش (در دوره پایه ۲۰۱۵-۱۹۸۰ و دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۲۱) را نشان می دهد. طبق ارقام این جدول، در دوره پایه و دوره آتی طبق هر دو سناریوی RCP در سطح اطمینان ۵٪ هیچ روند معنی داری مشاهده نشد. نتایج نشان داد، در دوره پایه و دوره آتی بر اساس سناریوی RCP8.5 شیب خط روند بارش در تمامی فصول سال منفی است؛ اما در سناریوی RCP4.5 در تمام فصول شیب خط روند مثبت گزارش شد. در دوره پایه تندترین شیب مربوط به فصل تابستان به مقدار ۳/۴ mm- به دست آمد. همچنین ملایم ترین شیب بارش فصلی نیز مربوط به فصل بهار بود که تقریباً شیب خط روند آن صفر بود. همچنین در سناریوی RCP4.5 تندترین و ملایم ترین شیب به ترتیب در فصول زمستان (به مقدار ۰/۱۳ mm) و در تابستان (تقریباً صفر) مشاهده شد. همچنین در سناریوی



شکل ۴- تغییرات بارش فصلی در دوره پایه و در سه دوره آتی ۲۰ ساله بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5
Figure 4. Seasonal rainfall variations in the baseline period and in the next three 20-year periods according to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios

بر اساس نتایج این پژوهش، میانگین بارش سالانه تبریز در دوره پایه ۲۵۶/۳ mm است که با توجه به سناریوی RCP8.5 این عدد در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱) به ۲۵۸ mm می رسد. به عبارت بهتر تغییر محسوسی در بارش سالانه تبریز مشاهده نمی شود.

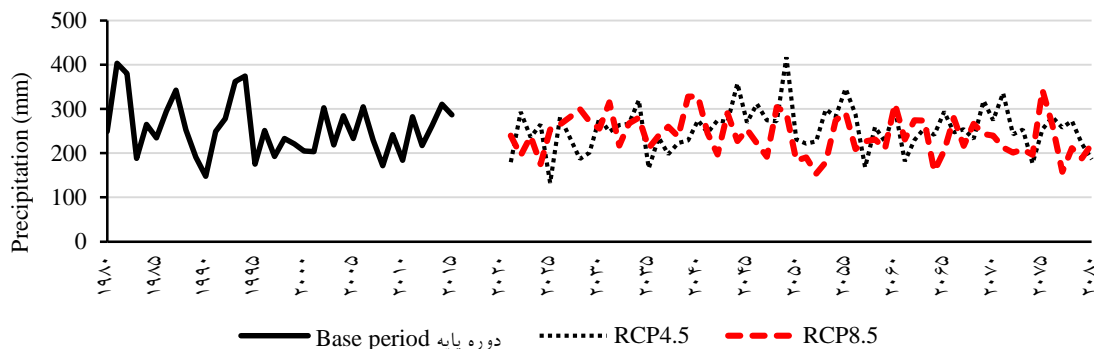
سناریو شیب‌خط روند در دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۲۱ در حدود -0.72 mm خواهد بود. برخلاف سناریوی RCP8.5 در سناریوی RCP4.5 انتظار می‌رود شیب بارش سالانه افزایشی باشد. طبق این سناریو، شیب‌خط روند بارش سالانه تبریز به مقدار 0.23 mm تخمین زده می‌شود.

RCP8.5 تندترین شیب‌خط روند بارش فصلی در فصل بهار با -0.17 mm تخمین زده شد. در سناریوی مذکور ملایم‌ترین شیب نیز مربوط به زمستان بود که شیب آن تقریباً صفر به دست آمد. شیب‌خط روند بارش سالانه تبریز در دوره پایه ۲۰۱۵-۱۹۸۰ نزولی بوده است مقدار شیب آن -0.68 mm به دست آمد. انتظار می‌رود در سناریوی RCP8.5 همچنان روند کاهش بارش سالانه ادامه یابد طوری که طبق این

جدول ۴- اختلاف مقادیر بارش فصلی و سالانه پیش‌نمایی شده با دوره پایه

Table 4. Difference of projected seasonal and annual precipitation values with the baseline period

سالانه	پاییز	تابستان	بهار	زمستان	سناریو	افق
-20.5	-19.3	-0.8	-4.4	4.0	RCP4.5	2030
1.7	-6.3	4.2	-7.0	10.8	RCP8.5	
20.8	0.4	2.4	4.5	13.5	RCP4.5	2050
-22.2	-3.9	-1.6	-22.2	5.6	RCP8.5	
-5.7	-18.8	-0.8	4.9	9.1	RCP4.5	2070
-26.6	-16.2	-4.1	-17.7	11.5	RCP8.5	



شکل ۵- بارش سالانه مشاهداتی و تولیدشده بر اساس دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 تا پایان سال ۲۰۸۰ در تبریز
Fig. 5 Observed and generated annual precipitation based on two scenarios RCP4.5 and RCP8.5 by the end of 2080 in Tabriz

جدول ۵- مقادیر شیب‌خط روند سن و p-value آزمون مان-کندال

Table 5 The values of Sen trend line slope and p-value of Mann-Kendall test

سالانه		پاییز		تابستان		بهار		زمستان		دوره زمانی
Sen's Slope	p-value	Sen's Slope	p-value	Sen's Slope	p-value	Sen's Slope	p-value	Sen's Slope	p-value	
-0.68	0.54	-0.26	0.70	-0.34	0.51	-0.02	0.99	-0.14	0.74	دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۰)
0.23	0.53	0.08	0.61	0.03	0.77	0.05	0.90	0.13	0.49	RCP4.5-۲۰۸۰ (۲۰۲۱)
-0.72	0.07	-0.14	0.41	-0.13	0.17	-0.17	0.33	-0.04	0.84	RCP8.5-۲۰۸۰ (۲۰۲۱)

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه روند بارش تبریز در دوره پایه و پیش‌نمایی آن برای افق‌های آتی منجر به نتایج زیر شد:

۱- افزایش گازهای گلخانه‌ای باعث تغییر در میزان بارش تبریز شده است. بر اساس سناریوی RCP8.5 در فصول بهار و پاییز در تمام دوره‌های بیست‌ساله بارش کاهش خواهد یافت که بیشترین کاهش به مقدار ۲۸٪ مربوط به فصل پاییز در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ مشاهده شد. بیش‌ترین کاهش در فصل پاییز رخ خواهد داد که بیش‌ترین مقدار کاهش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به مقدار ۳۳٪ به دست آمد. در هر سه دوره طبق هر دو سناریو بیش‌ترین افزایش بارش در فصل زمستان رخ خواهد داد که بیش‌ترین مقدار افزایش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به مقدار ۲۲٪ خواهد بود.

۲- بارش ماه‌های مارس، ژوئیه، سپتامبر و اکتبر در هر سه دوره طبق هر دو سناریو کاهش خواهد یافت. این در حالی است که ماه‌های دسامبر و ژانویه در تمامی حالت‌ها افزایش بارش را تجربه خواهند کرد.

۳- بارش سالانه طبق سناریوی RCP4.5 در دو دوره ۲۰ ساله ابتدایی و انتهایی کاهش ولی در دوره میانی افزایش خواهد یافت. همچنین بارش سالانه تبریز بر اساس سناریوی RCP8.5 فقط در دوره ابتدایی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

۴- شیب‌خط روند بارش سالانه در دوره پایه و دوره آتی طبق سناریوی RCP8.5 منفی و در دوره آتی بر اساس سناریوی RCP4.5 مثبت به دست آمد.

نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در حل چالش‌های مرتبط با آب تبریز مفید واقع شود. با توجه به نتایج این پژوهش برنامه‌ریزان بخش آب، محیط‌زیست و بهداشت، می‌توانند راه‌کارهای لازم را برای سازگاری و کاهش پیامدهای تغییر اقلیم اتخاذ نمایند.

سپاسگزاری

از سازمان هواشناسی کشور به دلیل در اختیار گذاشتن آمار و اطلاعات لازم برای انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌شود. ضمناً از سردبیر و داوران محترم که در بهبود کیفیت این مقاله نقش ارزنده‌ای ایفا نمودند تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Asakereh H. and Akbarzadeh Y. (2017). Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station using statistical Downscaling and Canesm2 climate change model output. Geogr. Environ. Hazard., 23, 153-174 [In Persian].
- Baule W., Allred B., Frankenberger J., Gamble D., Andresen J., Gunn K. M. and Brown L. (2017). Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections. Agri. Water Manage., 189, 87-97.
- Chen H., Guo, J, Zhnag Z. and Xu, C. Y. (2013). Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. Theor. Appl. Climatol., 113, 363-375.
- Golmohammdi M. and Masshah Bavani A. (2011). The persual of climate change impact on drought intensity and duration. J. Water Soil, 25, 315-326 [In Persian].
- Hamidianpour M., Baaghdeh M. and Abbasnia M. (2016). Assessment of the Precipitation and temperature changes over south east iran using downscaling of general circulation models outputs. Phys. Geogr. Res. Quart., 48(1), 15-17 [In Persian].
- Hannah L. (2015). The climate system and climate change. climate change biology (Second Edition). Academic Press, Boston, 13-53.
- IPCC (2014). Climate change: impacts, adaptation, and vulnerability. Summaries, frequently asked questions, and cross-chapter boxes. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the

- Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Mohammadlou M., Haghizadeh A., Zeinivand H. and Tahmasebipour N. (2014). Evaluation of climate change on temperature and precipitation trends in Barandozchay watershed, in the West Azerbaijan, using general circulation models (GCM). *J. Geogr. Space*, 56 (16), 151-168 [In Persian].
- Nikbakht Shahbazi, A. (2017). Assessment of climate change impact on precipitation and temperature variation in watershed of Karoon 3 Dam. *J. Environ. Water Eng.*, 3(2), 133 – 143 [In Persian].
- Parajuli P., Jayakodi P., Sassenrath G. and Ouyang Y. (2016). Assessing the impacts of climate change and tillage practices on stream flow, crop and sediment yields from the Mississippi River Basin. *Agri. Water Manage.*, 168, 112-124.
- Pinkerton K. E. and Rom W. N. (2016). *Global climate change and public health*, Springer.
- Rajbhandari R., Shreshta A. B., Nepal S., Wahid S. and Ren G. Y. (2017). Extreme climate projections over the transboundary Koshi River Basin using a high resolution regional climate model. *Adv. Clim. Chang. Res.*, 8(3), 199-211.
- Rajsekhar D. and Gorelick S. M. (2017). Increasing drought in Jordan: climate change and cascading Syrian land-use impacts on reducing transboundary flow. *Sci. Adv.*, 3(8), e1700581, 1-15.
- Sadeqi A., Dinpashoh Y. and Zarghami M. (2019). Projection and spatial analysis of agroclimatic indices in Ghezel Ozan River Basin during the growing season. *J. Water Soil Resour. Conserv.*, 8(4), 162-139 [In Persian].
- Sanikhani H., Kishi O. and Amirataee B. (2018). Impact of climate change on runoff in Lake Urmia basin, Iran. *Theor. Appl. Climatol.*, 132, 491-502.
- Sharma B. (2016). Outcomes of the UN climate change conference in Paris. Pacific Inst Management Pacific Hills, Pratap Nagar Extention, Airport Rd, Udaipur, Rajasthan, 313 001, India.
- Stevens T. and Madani K. (2016). Future climate impacts on maize farming and food security in Malawi. *Sci. Rep.*, 6, 36241.
- Wang Z., Lin L., Zhang X., Zhang H., Liu L. and Xu Y. (2017). Scenario dependence of future changes in climate extremes under 1.5° C and 2°C global warming. *Sci. Reports*, DOI: 10.1038/srep46432.
- Zareabyaneh H., Ghobaeisough M. and Mosaedi A. (2016). Drought monitoring based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) under the effect of climate change. *J. Water Soil*, 29, 374-392 [In Persian].
- Zareian M. J., Eslamian S. and Safavi H. R. (2015). A modified regionalization weighting approach for climate change impact assessment at watershed scale. *Theor. Appl. Climatology*, 122, 497-516.
- Zarghami, M. Abdi, A. Babaeian, I. Hassanzadeh, Y. and Kavani, R. (2011). Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global Planetary Change*, 78, 137-146.
- Zarghami M., Y. Hassanzadeh, Babaeian I. and Kanani R. (2009). Climate change and water resources vulnerability: Case study of Tabriz City. *SENSE symposium on climate proofing cities*, Amsterdam/Volendam.

Projection of Precipitation and Its Variability under the Climate Change Conditions in the Future Periods (Case Study: Tabriz)

Amin Sadeqi ^{*1} and Yagob Dinpazhoh²

¹M.Sc., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir

Original Paper

Received: December 07, 2019

Revised: February 09, 2020

Accepted: February 14, 2020

Abstract

In this research, projection of precipitation in the three distinct 20-years future periods (i.e. 2021-2040, 2041-2060, and 2061-2080) was performed using the LARS-WG6 statistical downscaling model. For this purpose, two scenarios of the IPCC fifth assessment report (namely RCP4.5 and RCP8.5) and MPI-ESM-MR general circulation model, which is known to be a CMIP5 coupled models were utilized. The precipitation trends were analyzed in the base and future periods using the Mann-Kendall method for both seasonal and annual time scales. Sen's estimator method was used to estimate the slopes of trend lines. The results showed that winter precipitation will be increased during the three considered future periods. Moreover, in the spring and autumn, according to the RCP8.5 scenario, precipitation will be decreased in all future periods. The precipitation in December and January would be increased in all three future periods using both scenarios. March, July, September, and October will also experience a decline in precipitation in the three future periods, according to both scenarios. The mean annual precipitation in the future period of 2061-2080 would be decreased based on both scenarios. The highest reduction in precipitation would occur in the period 2061-2080 belonged to the RCP8.5 scenario in which the amount of reduction in mean annual precipitation is equal to 10.4%. In addition, based on the RCP4.5 scenario, the highest increase in the average annual precipitation during the future period of 2041-2060 was equal to 8.1%. There was no significant trend in precipitation series at 5% level. The slope of the trend lines in the base period and the future periods, based on the scenario RCP8.5, was found to be negative in all seasons. While in the future period, based on the RCP4.5 scenario, the trend line slope was positive for in all seasons.

Keywords: Climate Change; LARS-WG6; Precipitation; RCP Scenarios; Tabriz.