

دمای حداکثر مربوط به ایستگاه‌های ارومیه و تبریز و بیشترین افزایش دمای حداقل و همچنین بیشترین میزان کاهش بارش در منطقه نیز مربوط به ایستگاه ارومیه به ترتیب برابر با ۱/۶ درجه سلسیوس و ۲۶/۲ میلی‌متر می‌باشد.

کلید واژه‌ها: بارش، پیش‌بینی، تغییرات اقلیمی، دریاچه ارومیه، دما

مقدمه

قرن بیست و یکم با معضل‌های زیست‌محیطی زیادی روبه‌رو است که یکی از مهم‌ترین این معضل‌ها تغییرات اقلیمی است. تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی در آینده به سبب نگرش جوامع بر توسعه‌ی سریع صنعت و توجه کمتر به محیط‌زیست می‌تواند شدت گرفتن آن را به دنبال داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلف شامل منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد [۲۲]. طبق گزارش‌ها تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی در چند دهه اخیر در سطح جهان شده به گونه‌ای که بارندگی و جریان‌های سطحی در عرض‌های جغرافیایی بالا و میانی بیشتر و در عرض‌های پایینی کمتر شده و احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر اقلیمی مانند سیلاب و خشک‌سالی افزایش یافته است [۱۸]. از آنجا که افزایش این احتمال برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیان‌باری را برای جوامع بشری در پی داشته باشد در سال‌های اخیر تحقیق در مورد این موضوع برای حوضه‌های آبریز مختلف در سطح جهان مدنظر قرار گرفته است. بررسی تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آب می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های راهبردی آینده‌ی مدیریت منابع آب باشد، بدون توجه به این واقعیت که اقلیم در حال تغییر است، نمی‌توان برنامه‌ریزی واقع‌بینانه‌ای را در زمینه بهره‌برداری از منابع آب انجام داد [۱۱]. پیش‌بینی کمیت و کیفیت تحولات اقلیمی یکی از مسائل پیچیده‌ای است که اذهان اقلیم‌شناسان را به خود مشغول کرده است. اکنون به مدد دستیابی به فن‌آوری‌های نوین و در اختیار داشتن سری‌های متعدد داده‌های لازم از متغیرهای اقلیمی و به یاری دانش درک روابط بین این متغیرها گام‌های اساسی در درک و پیش‌بینی روندهای اقلیمی پدیدار شده است به نحوی که اکنون مدل‌های کامپیوتری همگی در حیطه توانائی خود به مسائل پیش‌بینی اقلیم و عوامل مؤثر بر تغییر اقلیم پاسخ می‌دهند [۸].

پیش‌بینی تغییر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰

برومند صلاحی^۱، مسعود گودرزی^۲ و سید اسعد حسینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۰

چکیده

تغییرات اقلیمی مهم‌ترین معضل کره زمین در قرن حاضر است بنابراین ارزیابی و پیش‌بینی این تغییرات در آینده به دلیل اثرات سوء تغییرات اقلیمی بر منابع آبی و محیط طبیعی و همچنین اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا در این پژوهش به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 با کاربست مدل گردش عمومی HadCM3 در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ از طریق مدل ریزمقیاس‌گردانی آماری LARS-WG در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداخته شد و نتایج حاصل از آن در سه ایستگاه سینوپتیک سقز، تبریز و ارومیه در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ (شاخص ۲۰۲۰) برای سه متغیر اقلیمی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ارزیابی مدل LARS-WG به بررسی میزان خطای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی با استفاده از معیارهای عملکرد MSE، RMSE، MAE و نیز ضریب تعیین و همبستگی پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به پیش‌بینی پارامترهای دمای حداقل و دمای حداکثر می‌باشد اما در شبیه‌سازی بارش نسبت به سایر پارامترها دقت کمتری را نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاصل بیانگر کاهش بارش در ایستگاه‌های ارومیه و تبریز در ۲۰ سال آتی نسبت به دوره پایه می‌باشد ولی در ایستگاه سقز میزان بارش به میزان ۶۳ میلی‌متر افزایش می‌یابد. میزان دمای حداقل و حداکثر نیز در هر سه ایستگاه افزایش نشان داده است که به‌طور متوسط برای سطح حوضه ۱/۵ درجه سلسیوس برآورد می‌گردد. بیشترین افزایش

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۳- نویسنده مسئول و دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی. پست

الکترونیک: Hosseini.asad8@gmail.com

MAGIC SCENGEN تحت سه سناریوی B2ASF، A1ASF و P50 برای دهه‌های آینده از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۵۰ پرداخت. نتایج حاصل از هر دو مدل و سناریوهای موردبررسی حاکی از افزایش دما و کاهش بارندگی در دهه‌های آینده در منطقه است. رسولی و همکاران [۲۰] به بررسی اثر عوامل مورفو- اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل LARS-WG در هفت ایستگاه سینوپتیک واقع در شمال غرب کشور پرداختند نتایج حاصل نشان داد که دقت مدل در ایستگاه‌های منتخب متفاوت بوده ولی شبیه‌سازی دما با دقت مناسب‌تری انجام گرفته و در برآورد بارش از دقت کم‌تری برخوردار است. با توجه به تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر فرایند هیدرولوژیکی، منابع آب موجود و آب در دسترس برای کشاورزی، شرب، صنعت، زندگی جانوری در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و نیروی برقایی، دبی و رواناب و غیره، بررسی مطالعات منطقه‌ای اثرات تغییرات اقلیم روی پارامترهای هیدرولوژیکی از قبیل، دما و بارش ضروری می‌نماید که در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی مدل‌های سه‌بعدی جفت شده گردش عمومی جو - اقیانوس (AOGCM) می‌باشد [۶]. لذا در این پژوهش به بررسی تغییرات دما و بارش در دوره آماری (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و پیش‌بینی این تغییرات در دهه ۲۰۲۰ (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سه ایستگاه سینوپتیک سقز، تبریز و ارومیه واقع در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از روش ریزگردانی آماری LARS-WG و خروجی مدل جفت شده جوی- اقیانوسی HadCM3 پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

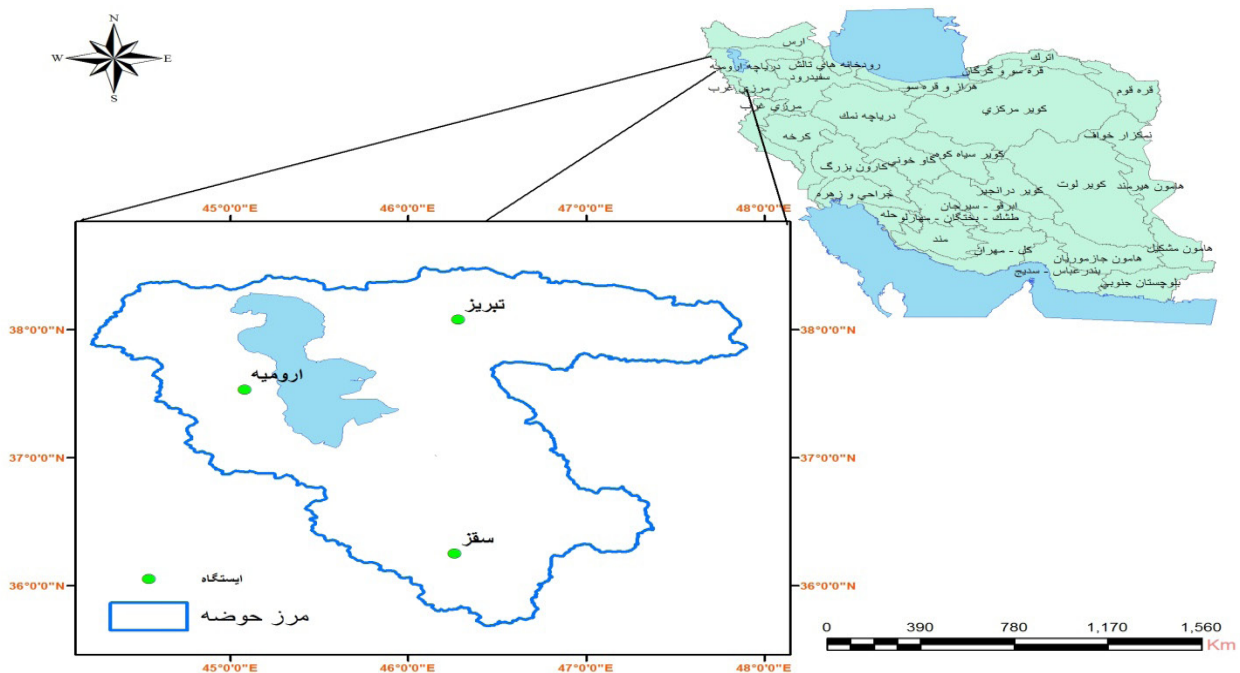
حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیق تا ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه در شمال غرب ایران قرار گرفته است که از لحاظ وسعت بیستمین دریاچه جهان محسوب می‌گردد. وسعت حوضه آبریز دریاچه ۵۲۳۵۵ کیلومترمربع است که از این مقدار حدود ۵۸۲۲ کیلومترمربع وسعت خود دریاچه مستقیماً با ارتفاع آب دریاچه رابطه داشته و با افزایش یا کاهش آن تغییر پیدا می‌کند. تراز کف دریاچه از سطح آزاد دریاها ۱۲۶۸ متر است [۱۹]. از نظر آب و هوایی جزو مناطق نیمه‌خشک و خشک سرد محسوب می‌شود. حداقل و حداکثر درجه حرارت مشاهده شده در سطح حوضه دریاچه ارومیه در سی سال گذشته ۳۳- و ۴۴+ درجه سلسیوس و متوسط درجه حرارت سالانه آن ۱۱ درجه سلسیوس است [۲۰]. میانگین سالانه بارندگی در منطقه نیز بین ۱۸۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر است [۱۹]. پژوهش حاضر بر روی سه ایستگاه سینوپتیک در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه انجام شده است که موقعیت جغرافیایی حوضه و ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) و همچنین مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌ها، در جدول (۱) آورده شده است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه ایستگاه سقز با ارتفاع

و همکاران [۳] از مدل HadCM3 تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 و ریزمقیاس گردانی آماری برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هیدرولوژی در حوضه گیلجلابی در اتیوپی استفاده کردند نتایج آن‌ها نشان داد که حجم رواناب برای فصل بارندگی در دوره زمانی (۲۰۹۹-۲۰۷۱) کاهش خواهد یافت. هاشمی و همکاران [۱۲] به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDSM برای شبیه‌سازی بارش‌های شدید در حوضه کلوتا واقع در جزیره جنوبی نیوزلند پرداختند نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل توانایی‌های مشابه و خوبی در شبیه‌سازی بارش‌های شدید دارند و قابل استفاده برای پیش‌بینی‌های اقلیمی می‌باشند. ضرغامی و همکاران [۳۰] به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر رواناب در استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل HadCM3 و روش ریزمقیاس گردانی آماری ANN و LARS-WG تحت سه سناریوی انتشار پرداختند. نتایج حاکی از کاهش بارش و رواناب و افزایش دما و تغییر آب‌وهوای استان از نیمه‌خشک به خشک می‌باشد. ولیزاده و همکاران [۲۵] به بررسی عملکرد گندم تحت تغییرات آب و هوایی آینده در منطقه سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار و در سه دوره زمانی با استفاده از مدل LARS-WG پرداختند نتایج حاصل نشان داد که مدل LARS-WG پیش‌بینی مناسبی از پارامترهای آب و هوایی در منطقه دارد. عباسی و همکاران [۲] به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از مدل LARS-WG و خروجی مدل ECHO-G پرداختند نتایج کلی بررسی‌ها برای دوره مذکوره حاکی از افزایش دما و بارش می‌باشد. گودرزی [۸] به بررسی و ارزیابی تأثیرات وقوع پدیده دگرگونی اقلیمی بر رواناب سطحی کرخه پرداخت و کاهش حدود ۱۹٪ رواناب را در این حوضه برای دوره‌های آتی پیش‌بینی نمودند. آبابایی و همکاران [۱] به ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در چهار ایستگاه ساحلی شمالی و هشت ایستگاه ساحلی جنوبی ایران در رابطه با شبیه‌سازی سرهای روزهای خشک و مرطوب، بارندگی، دما و تابش پرداختند نتایج حاصل نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی توزیع روزانه و میانگین ماهانه و فصلی اکثر سری‌ها عملکرد مناسبی دارد. خلیلی‌اقدم و همکاران [۱۵] به ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی سندج پرداختند نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و همچنین تابش است اما در شبیه‌سازی بارش خطای بیشتری را نسبت به سایر پارامترهای جوی نشان می‌دهد. حق‌طلب و همکاران [۹] به مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل LARS-WG و مقایسه آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی پرداختند نتایج حاصل نشان داد با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی، کویرزایی در آینده سرعت بیشتری خواهد یافت. صلاحی [۲۱] به بررسی تغییرات اقلیمی دریاچه ارومیه با استفاده از دو مدل گردش عمومی ECHO-G و CCSM30 در مدل ترکیبی

۱۵۲۲/۸ متر و ایستگاه ارومیه با ارتفاع ۱۳۲۸ متر از سطح دریا دارای بیشترین و کمترین ارتفاع در سطح حوضه می‌باشند. روش پژوهش

داده‌های مورد نیاز در این پژوهش شامل دمای حداقل و حداکثر و بارش بصورت روزانه در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۱۹۶۱) می‌باشد که از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است. در این بررسی از مدل LARS-WG برای کوچک مقیاس کردن داده‌های مدل HadCM3 استفاده شده است. مدل LARS-WG یک مولد تصادفی داده‌های آب و هوایی به‌وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس گردانی آماری است [۲۸، ۲۹] که به مراتب از دیگر برنامه‌ها به دلیل تکرار محاسبات، نیاز کمتر به داده‌های ورودی و سادگی و کارایی دارای کاربرد بیشتری

است [۷، ۱۷، ۱۳]. این مدل به‌عنوان یک مدل ریزمقیاس گردانی، در عین پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه‌سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییر اقلیم دارد [۲۴]. مدل HadCM3 نیز از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است که دارای شبکه‌ای به ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی در ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است [۵] که داده‌های آن‌ها از سال ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ موجود است. در مطالعه حاضر سه سناریوی تغییر اقلیم A1B، A2 و B1 استفاده شده است که هر یک نشان‌دهنده ویژگی‌هایی از جمله مربوط به رشد اقتصادی جهان، جمعیت جهان و آگاهی‌های اجتماعی می‌باشد [۸]. جهت اجرای مدل LARS-WG



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 1. Geographical position of Urmia lake basin and stations study

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Geographical characteristics of stations study

ارتفاع از سطح دریا Height from sea level	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	نام ایستگاه Station Name
1522.8	“ 15’36	“ 16’46	سغز Saghez
1361	“ 5’38	“ 17’46	تبریز Tabriz
1328	“ 4’37	“ 3’45	ارومیه Urmia

می شود که می تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی نهایت تغییر کند [۱۴]:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Obs_i - For_i)^2 \quad (4)$$

در رابطه فوق Obs_i و For_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده در دوره پایه و n تعداد کل داده های مشاهداتی می باشد.

۴- ضریب همبستگی: بیان کننده میزان همبستگی بین نتایج شبیه سازی شده مدل و داده های واقعی می باشد که بر اساس رابطه (۵) محاسبه می شود [۱۶]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act}) (y_{est} - \bar{y}_{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act})^2 \sum_{i=1}^n (y_{est} - \bar{y}_{est})^2}} \quad (5)$$

که در آن، y_{act} : مقادیر مشاهداتی، \bar{y}_{act} : میانگین مقادیر مشاهداتی، y_{est} : مقادیر شبیه سازی شده و \bar{y}_{est} : میانگین مقادیر شبیه سازی شده می باشد.

پس از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از شاخص های خطاسنجی و اطمینان از مناسب بودن مدل، داده های دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل HadCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 تولید می شود. پس از تولید داده ها برای ۲۰ سال آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) از خروجی های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر مدل میانگین گیری می شود و میانگین ماهانه پارامترهای مذکور در ۲۰ سال آتی محاسبه شده سپس تغییرات آن ها نسبت به مقادیر دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) نیز محاسبه و نمودارهای تغییرات دما و بارش مربوط به هر کدام از ایستگاه ها ترسیم می گردد.

نتایج

در این پژوهش جهت پیش بینی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دهه ۲۰۲۰ داده های دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش ایستگاه های سینوپتیک منتخب در سطح حوضه شامل سقر، تبریز و ارومیه به صورت روزانه با استفاده از مدل LARS-WG تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM3 ریزگردانی شد. جهت کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید و نتایج حاصل از خروجی مدل که شامل دمای حداقل و حداکثر و بارش ماهانه و انحراف معیار آن ها می باشد با داده های ۳۰ سال مشاهداتی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) مقایسه گردید، که نتایج حاصل از آن با استفاده شاخص های آماری مختلف در جدول (۲) آورده شده است. نتایج حاصل بیانگر آن است که اختلاف معناداری بین مقادیر مدل سازی شده و مقادیر مشاهداتی آن ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد و مقادیر همبستگی پیرسون بین داده های مدل سازی شده و واقعی در سطح معناداری ۰/۰۱ قابل قبول می باشد برای اطمینان از صحت واسنجی مدل از شاخص های خطاسنجی RMSE، MSE و MAE

از داده های روزانه دمای حداقل و دمای حداکثر و بارش روزانه در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۱۹۶۱) استفاده شد که به عنوان مبنای تغییر اقلیم گذشته و برای شبیه سازی اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفته است. روش کار به این صورت است که مدل، داده های دیده بانی شده دوره پایه را دریافت نموده، با بررسی آن ها مشخصه های آماری داده ها استخراج می شوند سپس به منظور صحت سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) مدل را اجرا نموده تا یک سری داده های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شوند سپس این خروجی ها را به منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده ها، با مشخصات آماری مشاهداتی ۳۰ ساله به کمک آزمون های کلموگروف-اسمیرنوف (K-S)، T-test و F-test مقایسه می شوند. تطابق مشخصات آماری داده های مشاهداتی و داده های باز تولیدی، نشان می دهد که مدل، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای انتخابی (منتشر شده توسط IPCC) و خروجی مدل های اقلیمی GCM (در داخل مدل تعریف شده اند و نیاز به وارد کردن مجزای آن ها نیست) را به داده های دوره پایه اعمال و تغییرات را شبیه سازی می کند. لازم به ذکر است ورودی ها و خروجی های این مدل به صورت ایستگاهی بوده و برای یک حوضه باید از چند ایستگاه منتخب با پراکندگی مکانی مناسب در سطح حوضه و دارای داده های طولانی مدت استفاده گردد [۴].

معیارهای عملکرد مدل

جهت بررسی عملکرد مدل، داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) مورد مقایسه قرار گرفتند، که در این پژوهش از بین معیارهای مرسوم، ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و ضریب همبستگی (R) به کار گرفته شده است.

۱- ضریب تعیین: معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر با یک می باشد. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن را نشان می دهد [۲۳]:

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^K X_k Y_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^K X_k^2 \sum_{k=1}^K Y_k^2}} \quad (1)$$

۲- مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا: نشان دهنده میزان خطای مدل می باشد که بهترین مقدار آن ها برابر صفر است و از طریق روابط زیر محاسبه می شوند [۲۳]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (X_k - Y_k)^2}{K}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{k=1}^K |X_k - Y_k|}{K} \quad (3)$$

در روابط فوق X_k مقادیر مشاهداتی، Y_k مقادیر شبیه سازی شده و K تعداد داده ها می باشد.

۳- میانگین مربعات خطا: برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده

نیز استفاده شد که نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که دقت مدل با توجه به معیارهای فوق در ایستگاه‌های مختلف و همچنین پارامترهای مختلف متفاوت است بدین صورت که در ایستگاه ارومیه در شبیه‌سازی دمای حداکثر و حداقل به ترتیب با میانگین مطلق خطای ۰/۱۷ و ۰/۲۷ درصد از دقت مناسب‌تری نسبت به دو ایستگاه دیگر برخوردار است، در حالی که در پیش‌بینی بارش ضعیف‌تر از ایستگاه‌های دیگر عمل نموده است. در ارتباط با پارامتر بارش مدل LARS-WG در ایستگاه تبریز با میانگین مطلق خطای ۲/۷۷ درصد بیشترین دقت و کارایی را داشته است. در مجموع بر اساس شاخص‌های فوق مدل در شبیه‌سازی پارامترهای دمایی نسبت به

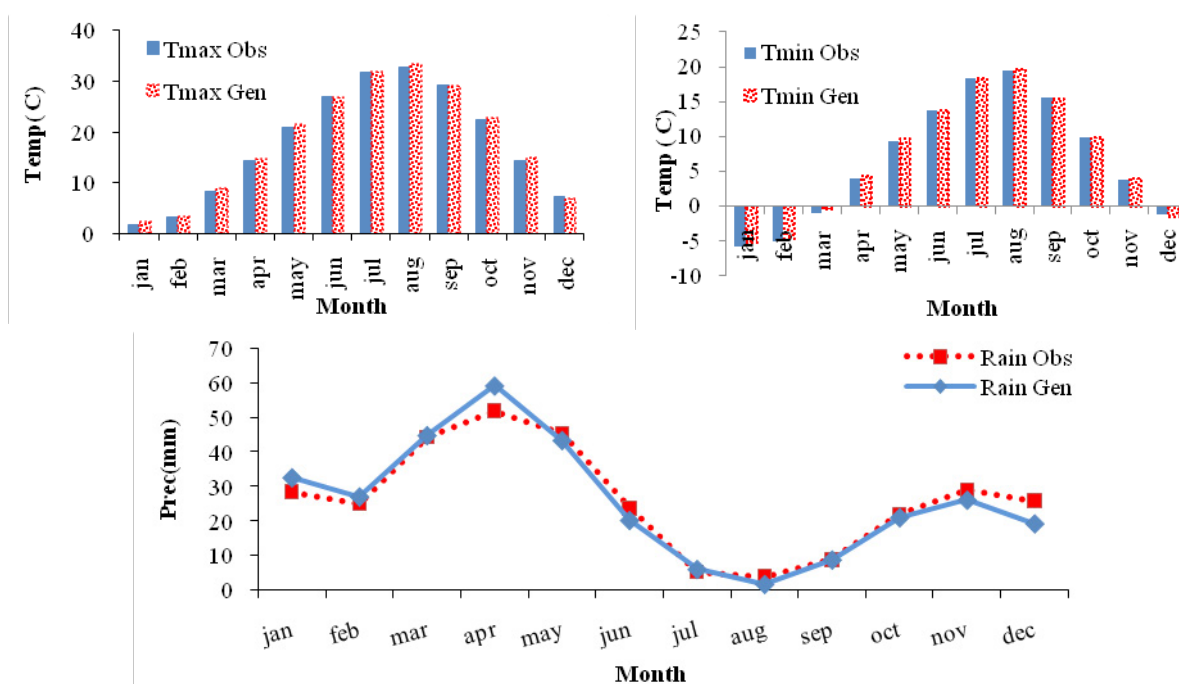
بارش موفق‌تر عمل نموده است. جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت پیش‌بینی به مقایسه مقادیر دمای حداقل و حداکثر و بارش تولیدشده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای در دوره پایه پرداخته شد که در این بررسی به علت تعدد نمودارهای مربوطه فقط ایستگاه سینوپتیک تبریز به‌عنوان نمونه در این مرحله آورده شده است (شکل ۲).

پس از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن آن به بررسی داده‌های تولیدشده به‌وسیله مدل برای سه سناریوی تغییر اقلیم با استفاده از مدل HadCM3 پرداخته شد. نتایج

جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل به‌صورت ماهانه در دوره پایه با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی برحسب درصد

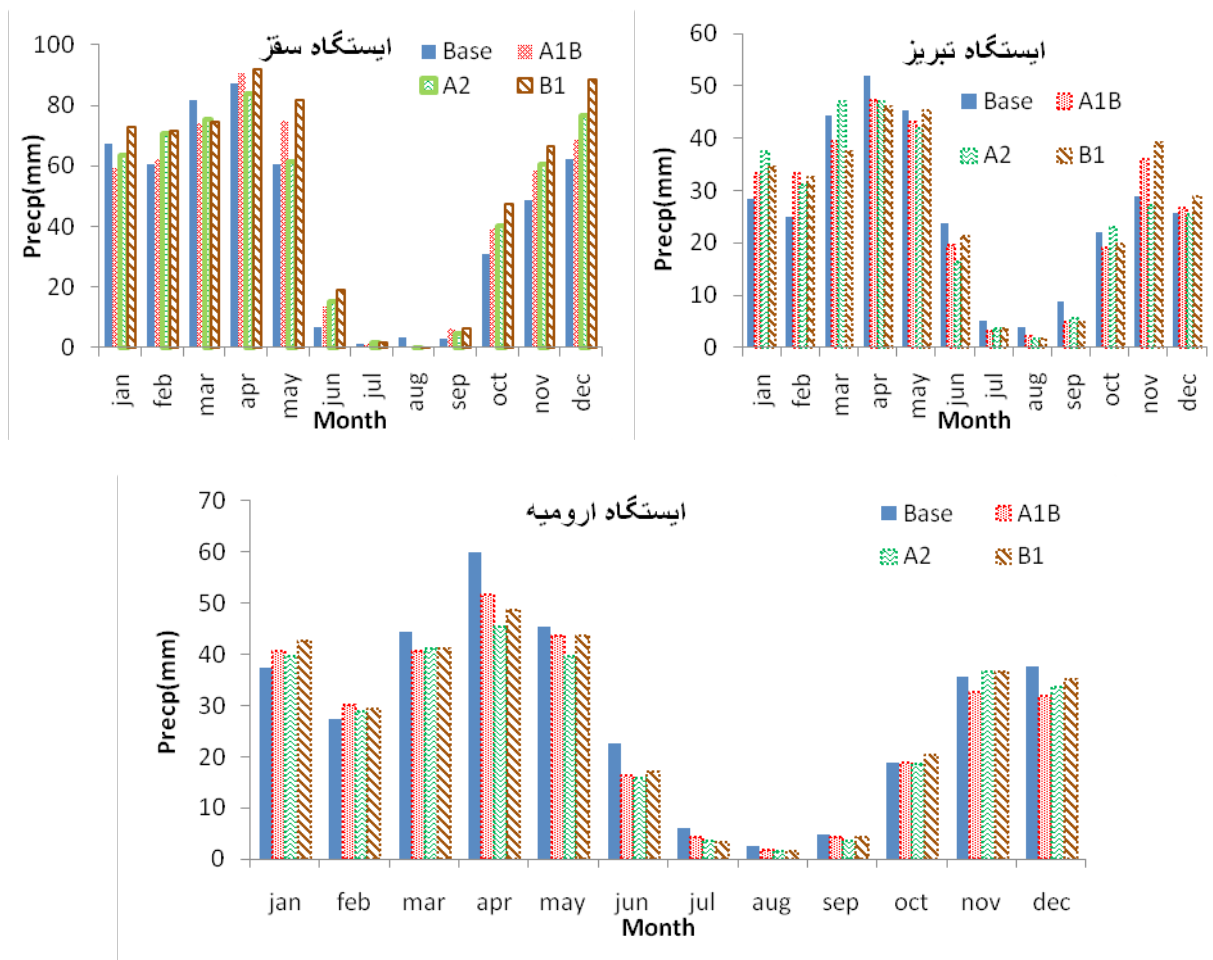
Table 2. Monthly performance of model using measurement error indexes in percent

R	R ²	MAE	MSE	RMSE	Parameter	پارامتر	ایستگاه station
0.99	0.99	3.03	13.34	3.65	precipitation	بارش	سنگسنگ Saghez
0.99	0.99	0.24	0.08	0.28	Tmax	دمای حداکثر	
0.99	0.99	0.33	0.19	0.44	Tmin	دمای حداقل	
0.98	0.96	2.77	12.48	3.53	precipitation	بارش	تبریز Tabriz
0.99	0.99	0.39	0.19	0.44	Tmax	دمای حداکثر	
0.99	0.99	0.27	0.11	0.33	Tmin	دمای حداقل	
0.97	0.94	3.03	19.05	4.36	precipitation	بارش	ارومیه Urmia
0.99	0.99	0.17	0.05	0.21	Tmax	دمای حداکثر	
0.99	0.99	0.22	0.06	.25	Tmin	دمای حداقل	



شکل ۲- مقادیر مشاهداتی و تولیدشده دما و بارش توسط مدل برای دوره پایه در ایستگاه سینوپتیک تبریز

Figure 2. Observed and generated values of temperature and precipitation for base period in Tabriz synoptic station

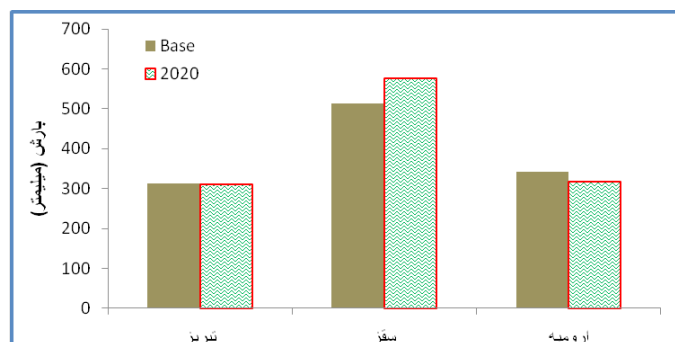


شکل ۳- تغییرات ماهانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه

Figure 3. The changes monthly of precipitation in stations study on 2020s compared to the base period

سال به‌غیراز آگوست افزایش داشته است و بر طبق سایر سناریوها در برخی ماه‌ها از میزان بارش کاسته شده است و به نظر می‌رسد که الگوی بارش به‌سوی انتهای فصل گرم جابجا شده است. شکل (۴) نیز میزان بارندگی طی دوره آماری پایه و متوسط سه سناریوی مورد بررسی در دهه ۲۰۲۰ به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح حوضه را نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود در دهه ۲۰۲۰ در ایستگاه‌های ارومیه و تبریز میزان بارش

حاصل از بررسی بارش ماهانه در سه ایستگاه مطالعاتی در شکل (۳) نشان می‌دهد که بارش در دهه ۲۰۲۰ در دو ایستگاه تبریز و ارومیه بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در اکثر ماه‌ها به غیر از ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه نسبت به دوره پایه کاهش داشته و انتظار می‌رود که بارش در ۲۰ سال آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) کاهش داشته باشد ولی وضعیت برای ایستگاه سقز مقداری متفاوت است به‌طوری‌که بر طبق سناریوهای مختلف به‌ویژه B2 در همه‌ی ماه‌های



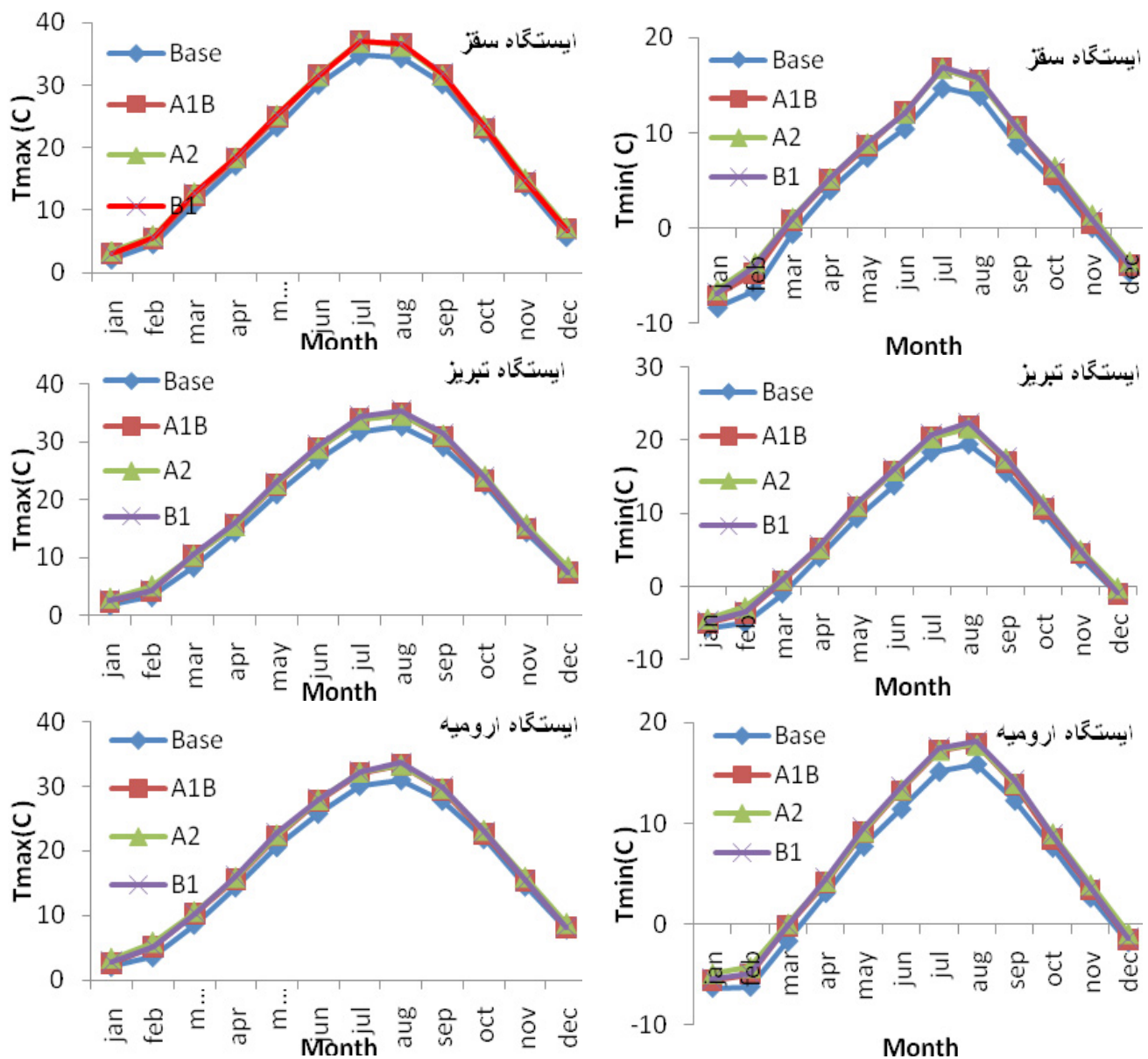
شکل ۴- مقایسه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌طور متوسط در دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه

Figure 4. Comparison of precipitation in stations study on 2020s compared to the base period

مطالعاتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است (شکل ۵). در بین سناریوهای مختلف به طور متوسط بیشترین تغییرات دمای حداقل در منطقه مورد مطالعه مربوط به ایستگاه‌های سقز و ارومیه می‌باشد در واقع دماهای حداقلی که در این ایستگاه‌ها در دوره پایه اتفاق افتاده است در دوره آینده مشاهده نشده و روند گرمایشی از خود نشان داده است که میزان آن در دوره آتی برای هر دو ایستگاه مذکور برابر با $1/6$ درجه سلسیوس افزایش نسبت به دوره پایه می‌باشد. ایستگاه تبریز نیز با $1/5$ درجه سلسیوس از نظر تغییرات دمای حداقل در رده‌ی بعدی قرار می‌گیرد (شکل ۶).

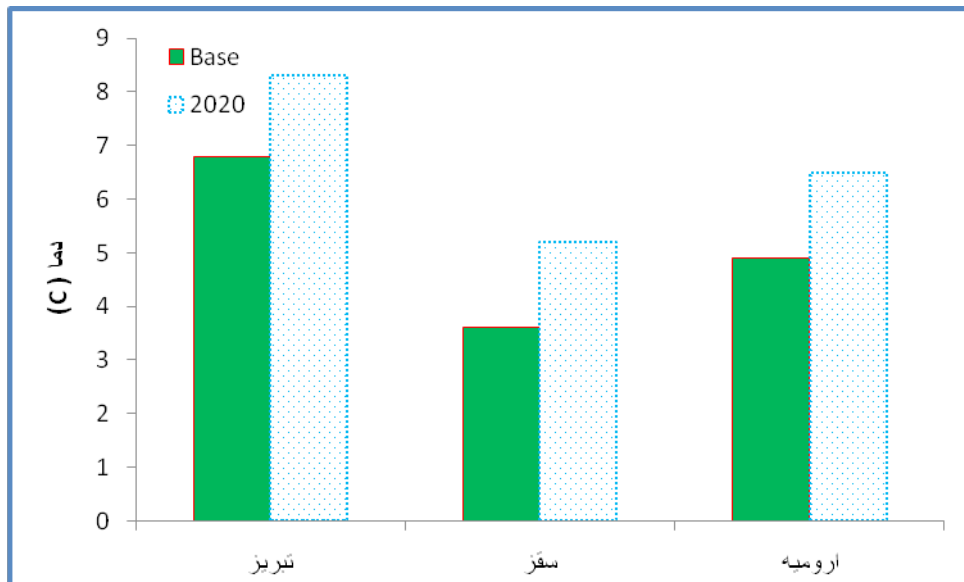
در مقایسه با دوره پایه کاهش خواهد یافت که این کاهش به ترتیب برابر با $8/3$ و $1/1$ درصد نسبت به طول دوره پایه می‌باشد. ولی برای ایستگاه سینوپتیک سقز به میزان $10/9$ درصد نسبت به دوره پایه افزایش نشان داده است؛ که دلیل این امر می‌تواند ناشی از رفتار اقلیمی متفاوت ایستگاه‌های مورد مطالعه و همچنین نقش عامل ارتفاع در سطح حوضه باشد.

بررسی میانگین ماهانه حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌های منتخب در دهه ۲۰۲۰ و دوره پایه نشان می‌دهد (شکل ۵) که میزان دما بر اساس هر سه سناریوی مورد بررسی و همچنین در هر سه ایستگاه

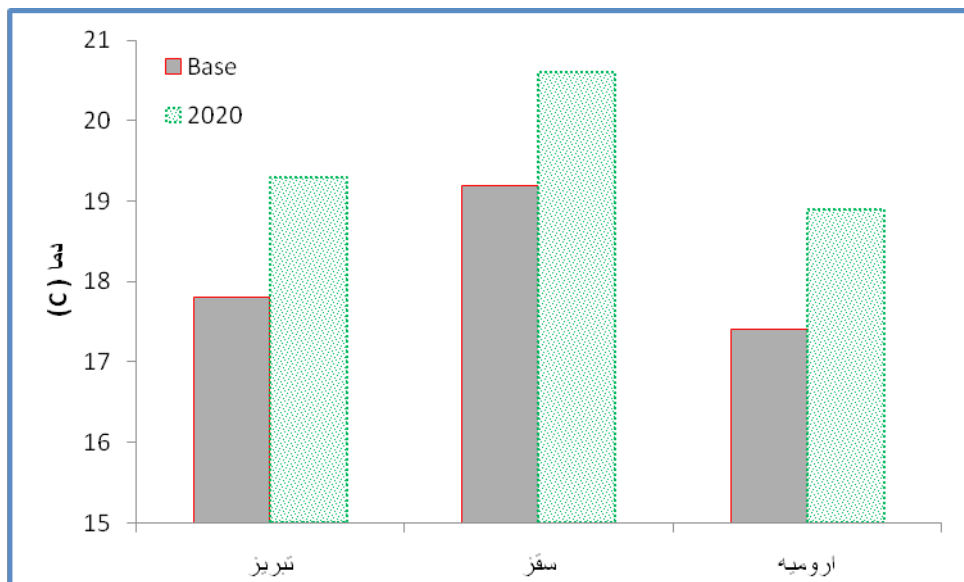


شکل ۵- تغییرات ماهانه دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه

Figure 5. The changes monthly minimum and maximum temperature in stations study on 2020s compared to the base period



شکل ۶- مقایسه دماهای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه به طور متوسط در دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه
Figure 6. Comparison of minimum temperatures the stations study area for the 2020s compared to the base period



شکل ۷- مقایسه دماهای حداکثر ایستگاه‌های حوضه مورد مطالعه به طور متوسط در دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه
Figure 7. Comparison of maximum temperatures the stations study area for the 2020s compared to the base period

با استفاده از خروجی مدل HadCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌گردانی آماری LARS-WG پرداخته است، نشان می‌دهد که بر اساس شاخص‌های خطاسنجی مدل ریزگردانی مورد بررسی کارایی مناسب و قابل قبولی در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در حوضه مورد مطالعه دارد و در پیش‌بینی پارامترهای دمایی از عملکرد بهتری نسبت به بارش برخوردار است.

بر طبق نتایج حاصل به طور متوسط، مقادیر دماهای حداکثر نیز در سطح حوضه افزایش یافته است که بیشترین میزان افزایش آن مربوط به ایستگاه‌های ارومیه و تبریز هر دو به میزان ۱/۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه خواهد بود (شکل ۷).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش که به بررسی تغییرات دما و بارش

جدول ۳- میانگین دما و بارش برای دوره پایه و آینده تحت سه سناریوی مدل HadCM^۳

Table 3. Average of temperature and precipitation for the base and future period under HadCM3 model

دمای حداقل			دمای حداکثر			بارش			پارامتر
Tmin			Tmax			precipitation			Parametr
ارومیه	تبریز	سقز	ارومیه	تبریز	سقز	ارومیه	تبریز	سقز	ایستگاه
Urmia	Tabriz	Saghez	Urmia	Tabriz	Saghez	Urmia	Tabriz	Saghez	Station
4.9	6.8	3.6	17.4	17.8	19.2	342.8	313.3	513.5	دوره پایه (Base)
6.2	8.1	5	18.7	19.1	20.4	317.1	307.5	549.5	A1B
6.6	8.5	5.3	19	19.4	2.7	308.4	307	555.7	A2
6.5	8.4	5.2	19	19.4	20.6	324.3	315.2	624.2	B1

کشاورزی، منابع طبیعی و منابع آب راهکارهای لازم برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید را اتخاذ نمایند.

منابع

1. Ababaei, B. Mirzaei, F. and Sohrabi, T. 2011. Performance evaluation of LARS-WG model in 12 coastal stations in Iran, Journal of Water Research. 5(9): 217-222. (In Persian)
2. Abbasi, F. Malbousi, Sh. Babaeian, I. Asmry, M. and Borhani, R. 2011. Prediction of climate change in the period 2039-2010. South Khorasan using statistical downscaling model output ECHO-G. 2010. Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Technology). 24(2):233-218. (In Persian)
3. Abdo, K. S. Fiseha, B M. Rientjes T. H. M. Gieske, A. S. M. and Haile, A.T. 2009. Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana Basin. Ethiopia. Hydrological Processes. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/hyp.7363.
4. Aghashahi, M. Ardestani, M. Nicksokhan, M. H. and Tahmasebi, B. 2012. Introduce and compare the LARS-WG model and the SDSM in order to fine-scale environmental modeling studies of climate change, the Sixth National Conference and Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, p 10. (In Persian)
5. Ashofteh, P. and Masah Bovani, A. 2010. Effects of climate change on peak flows: a case study, Aydoghmoush Basin, East Azerbaijan. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences. 14(53): 39-25. (In Persian)
6. Aspny, Keyamrs. Shahidi, A. Rostamiyan, R. and Farzaneh, M R. 2012. Evaluation of climate change in future periods using SDSM model Case study: Bhshtabad Basin in North Karun, First

نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل نیز نشان می‌دهد که مقادیر دمای حداقل و حداکثر در طی دهه ۲۰۲۰ در هر سه ایستگاه مطالعاتی افزایش خواهد یافت و از میزان بارش در نواحی غربی و شرقی حوضه (ایستگاه‌های ارومیه و تبریز) نسبت به دوره پایه کاسته خواهد شد که خلاصه نتایج آن برای هر سه سناریوی مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه در جدول (۳) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌طور میانگین بیشترین میزان کاهش بارش حوضه مربوط به ایستگاه ارومیه به میزان ۲۶/۲ میلی‌متر نسبت به دوره پایه است. بیشترین افزایش دمای حداقل نیز مربوط به ایستگاه‌های ارومیه و سقز به میزان ۱/۶ درجه سلسیوس و بیشترین افزایش دمای حداکثر به میزان ۱/۵ درجه سلسیوس مربوط به ایستگاه تبریز و ارومیه نسبت به دوره پایه می‌باشد (جدول ۳).

نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های ولیزاده و همکاران [۲۵]، آبابایی و همکاران [۱]، خلیلی‌اقدم و همکاران [۱۵]، صلاحی [۲۱] و رسولی و همکاران [۲۰] مطابقت دارد. برطبق سناریوهای مورد بررسی، در سطح حوضه، میزان بارش کاهش و میزان دما افزایش پیدا خواهد کرد. مقدار کاهش بارش به میزان ۰/۵ درصد یعنی ۱۱/۲ میلی‌متر نسبت به دوره پایه خواهد بود. میزان افزایش دمای حداقل و حداکثر نیز به ترتیب برابر ۲۴/۵ و ۷/۵ درصد نسبت به میانگین دوره پایه می‌باشد که این امر می‌تواند افزایش تبخیر و تعرق، کاهش بارش‌های برفی و افزایش بارش‌های رگباری و سیل‌آسا را به دنبال داشته باشد که این امر هم می‌تواند موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع آبی حوضه و نیز افزایش خسارات ناشی از وقوع بارش‌های رگباری و نیز شسته شدن خاک‌های حاصلخیز را به دنبال داشته باشد، لذا تأکید و توجه به منابع طبیعی، آبخیزداری و آبخوان‌داری و تقویت مراتع برای کاهش اثرات ناشی از بارش‌های سیل‌آسا مفید می‌باشد [۲]. با افزایش میانگین دمای حداقل نیز، عملکرد برخی محصولات که در دوره رشد و محصول دهی نیاز به سرما دارند، کاهش می‌یابد. لذا با توجه به این‌که به دنبال تغییرات اقلیمی، شرایط اقلیم کشاورزی و همچنین منابع آبی و طبیعی دچار تغییر می‌گردند، لازم است مسئولین و برنامه‌ریزان مربوطه در بخش‌های

18. Lane, M. E. Kirshen, P. H. and Vogel, R. M. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *ASCE, J. Water Resour. Planning and Manag.* 125(4): 194-204.
19. Mahsafar, H. Maknoun, R. and Saghafian, B. 2011. Effects of climate change on the water balance of Urmia Lake, *Journal of Iran Water Resources Research.* 7 (1):58-47 . (In Persian)
20. Rasouli, A. A. Rezaei banafsheh, M. Msah Bovany, AR. Khorshiddoust, A. M. and Qermzcheshmeh, B. 2014. Investigation Impact of Morpho-Climatic Parameters on Accuracy of LARS-WG Model, *Journal of Science and Watershed Engineering.* 8(24): 18-9. (In Persian)
21. Salahi, B. 2013. Assessment of Climate Change in Urmia Lake Using MAGICC SCENGEN, thirty-second meeting of the First International Congress on Earth Science. 7 P. (In Persian)
22. Samadi, S Z, and Msah Bovany, A. 2008. Introduction to artificial neural network and small-scale SDSM to the statistical data of temperature and rainfall, Iranian Water Resources Management Conference. University of Tabriz. 9 p. (In Persian)
23. Sedaghatkarder, A. and Fattahi, E. 2008. Warning of drought indices in Iran, *Journal of Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan.* 6 (11): 76-59. [In Persian]
24. Semonov, M.A. and Stratonovitch, P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, *CLIMATE RESEARCH.* 41: 1-14.
25. Valizadeh, J. Ziaei, S.M. and Mazloumzadeh, S.M. 2014. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study), *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* 13(2): 107-115.
26. Wilby R.L. and Harris, I. 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resource Research.* 42:10 pp.
27. Wilby, R.L. Dawson, C.W. and Barrow, E.M. 2002. SDSM a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, *Environmental Modeling & Software.* 17:147-159.
28. Wilks, D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climate Change.* 22: 67-84.
29. Wilks, D.S. and Wilby, R.L. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography.* 23: 329-357.
30. Zarghami, M. Abdi, A. Babaeian, I. Hassanzadeh, Y. and Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoff in East Azerbaijan, Iran, *Global and Planetary Change.* 78(3-4): 137-146.
- National Conference on Desertification. 11 p. (In Persian)
7. Dibike, Y.B. and Coulibaly, P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay Watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models, *Jornal of Hydrology.* 307: 145-163.
8. Goudarzi, M. 2011. Evaluation of the effects of climate change on surface runoff occurs in Upper Karkheh, *Physical Geography (Climatology) PhD thesis, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tabriz.* (In Persian)
9. Haghtalab, N. Goodarzi, M. Habibi Nokhandan, M. Yavari, A R. and Jafari H. R. 2013. Climate modeling Tehran and Mazandaran provinces climate using LARS-WG and comparison of the northern and southern sides of the central Alborz, *journal of Environmental Science and Technology.* 15(1): 49-37. (In Persian)
10. Hajjarpour, A. Yousefi, M. and Kamkar, B. 2014. Precision test of simulators LARS-WG, Weather Man and CLIMGEN in three different climates simulated (Gorgan, Gonbad and Mashhad), *Geography and Development, University of of Sistan and Baluchestan.* 35: 201-216. (In Persian)
11. Hardy, J.T. 2003. *Climate Change: Causes, Effects, and Solutions.* John Wiley & Sons, Ltd. 247 P
12. Hashmi, M.Z. Shamseldin, A.Y. and Melville, B.W. 2009. Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach. 18th World IMACS. MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17
13. Hay, L.E. Wilby, R.L. and Leavesley, G.H. 2000. A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States. *Journal of the American Water Resources Association.* 36: 387-397.
14. Karamouz, M. Ramezani, F. and Razavi, S. 2007. Forecasting the long-term of rainfall through meteorological signals: Application of Artificial Neural Networks, Seventh International Congress on Civil Engineering. Tehran, P 11. (In Persian)
15. Khalili Aghdam, N. Mosaeidi, A. Soltani, A. and Kamkar, B. 2012. Evaluation of ability of LARS-WG model for simulating some weather parameters in Sanandaj, *Journal of Soil and Water Conservation;* 19 (4):122-85. (In Persian)
16. Khalili, N. Khodashnas, S. and Davari, K. 2006. Prediction rainfall using an artificial neural network, Second Conference on Water Resources Management; p 8. (In Persian)
17. Kilsby, C.G. Jones, P.D. Burton, A. Ford, A.C. and Fowler, H. J. 2007. A daily weather generator for use in climate change studies, *Environ Model Soft.* 22: 1705-1719.

*Abstract***Prediction of the Climate Parameters in the Urmia Lake Basin during 2011-2030**B. Salahi¹, M. Goudarzi² and S. A. Hosseini³

Received: 2014/10/16 Accepted: 2015/07/01

Climate change is one of the most important problems in the present century. So, assessing and prediction of future changes is important to mitigate climate change impacts on water resources is very important for economics and socio-economic affairs. The purpose of this research is to predict the temperature and precipitation changes under Scenario A1B, A2 and B1 HadCM3 general circulation models during 2011 to 2030 using LARS-WG downscaling model in the Urmia Lake Basin synoptic stations. The results of the analysis were evaluated in three synoptic stations including Saghez, Tabriz and Urmia in the base period (1990-1961) and in 2010-2030 (2020s) for three variables including minimum temperature, maximum temperature and precipitation. During assessing process, LARS-WG model is evaluated via measures of MSE, RMSE, MAE and the coefficients of determination and correlation. The results showed the model is able to predict the above mentioned parameters accurately, but has less accuracy in the simulation of precipitation. Also, the results indicate a decrease in precipitation in Urmia and Tabriz stations for the next 20 years compared with the base line period. Maximum and minimum temperatures show an increase in all the three stations. It is estimated there would be an increase equal to 1.5 degrees Celsius for the whole basin. Maximum temperature would rise in Tabriz and Urmia stations. An increase in minimum temperature and the maximum amount of rainfall would occur in the Urmia station. It would be equal to 1.6 ° C and 2.26 mm, respectively.

Keywords: *Climate change, Precipitation, Prediction, Temperature, Urmia lake*

1- Associate Professor, Department of Physical Geography (Climatology), University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute SCWMRI, Tehran, Iran

3- PhD in Physical Geography (Climatology), University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran. Corresponding author, Email: Hosseini.asad8@gmail.com