

پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در دهه ۲۰۵۰ در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

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

^۱ دانشیار، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، ^۲ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۳ دانشجوی دکتری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۱۵

چکیده

پیش‌بینی تغییرات دما و بارش برای اطلاع از میزان تغییرات آن در آینده و در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات آب و هوایی بر منابع آبی و کشاورزی و همچنین اثرات محیطی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، بر همین اساس، مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) طراحی شده‌اند که می‌توانند پارامترهای اقلیمی را شبیه‌سازی کنند. لذا، در این پژوهش داده‌های خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سه سناریوی تغییر اقلیم A1B، A2 و B1 به وسیله مدل آماری LARS-WG در ایستگاه‌های منتخب حوزه آبخیز دریاچه ارومیه ریزمقیاس گردانی شد و نتایج حاصل از آن در سه ایستگاه سینوپتیک منتخب شامل ایستگاه‌های سقز، تبریز و ارومیه در دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دهه ۲۰۵۰ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) برای سه متغیر اقلیمی شامل 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 شاخص‌های MSE، RMSE، MAE و ضریب تعیین و همبستگی پرداخته شد و مدل برای منطقه مورد مطالعه، مناسب ارزیابی شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل در دهه ۲۰۵۰ نیز حاکی از کاهش ۸/۲۲ درصدی بارش و افزایش ۳/۱ درجه سلسیوس دما در منطقه مطالعاتی نسبت به دوره پایه می‌باشد. بیشترین افزایش دمای حداکثر مربوط به ایستگاه سینوپتیک تبریز و بیشترین افزایش دمای حداقل و همچنین، بیشترین میزان کاهش بارش در منطقه نیز مربوط به ایستگاه سینوپتیک ارومیه می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند کمک فراوانی به حل چالش‌های مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در دوره‌های آتی نماید.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه سینوپتیک، شمال غرب ایران، GCMs، HadCM3، LARS-WG

مقدمه

اقلیم می‌باشند، بگذارند (IPCC، ۲۰۰۷). تبعات منفی این پدیده برای بشر تا آنجا می‌تواند مخرب باشد که در بین ۱۰ عامل تهدیدآمیز بشر در قرن ۲۱، مانند فقر، سلاح‌های هسته‌ای، کمبود غذا و غیره، پدیده تغییر اقلیم مقام اول را به خود اختصاص داده است

افزایش گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی و در نتیجه تشدید تغییرات پارامترهای اقلیمی، می‌تواند تأثیرات منفی زیادی را بر سیستم‌های مختلف از جمله منابع آب، محیط زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه سیستم‌هایی که در کنش با سیستم

^۱ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

* مسئول مکاتبات: hosseini.asad8@gmail.com

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 آب و هوای استان از نیمه‌خشک به خشک می‌باشد.

Valizadeh و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی عملکرد گندم تحت تغییرات آب و هوایی آینده در منطقه سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سه سناریو A1B، B1 و A2 در سه دوره زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ 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. Vanuytrecht و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل LARS-WG و مدل‌های جهانی و منطقه‌ای اقلیم به مقایسه اثرات تغییرات آب و هوایی بر غلات در منطقه فلاندر در بلژیک پرداختند، نتایج مطالعه اثرات عمدتاً مثبت تغییرات آب و هوایی بر روی ذرت و گندم در منطقه را نشان داد. Babaeian و همکاران (۲۰۰۹) به ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G و سناریوی A1 پرداخت و نتایج آن را بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور تجزیه و تحلیل نمود. نتایج کلی برای دوره مورد بررسی حاکی از کاهش نه درصدی بارش و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سلسیوس می‌باشد. Abbasi و همکاران (۲۰۱۰) 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 برای دوره مذکور حاکی از افزایش چهار درصدی بارش و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سلسیوس می‌باشد.

Ababaei و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در چهار ایستگاه ساحلی شمالی و هشت ایستگاه ساحلی جنوبی ایران در رابطه با شبیه‌سازی سری‌های روزهای خشک و مرطوب، بارندگی، دما و تابش پرداختند، نتایج این مطالعه نشان داد که مدل مورد استفاده در شبیه‌سازی توزیع روزانه و

(IPCC, ۲۰۰۱). فرایند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش مهمترین بحث در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. این پدیده به‌دلیل ابعاد علمی و کاربردی (اثرات محیطی و اقتصادی-اجتماعی) آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نمایند (Zahabioun و همکاران، ۲۰۱۱). جهت ارزیابی تغییرات اقلیمی مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs)^۱ طراحی شده‌اند. این مدل‌ها خصوصیات فیزیکی، چرخش‌ها و حرکات اتمسفری را تحلیل می‌نمایند و به دنبال آن متغیرهای هواشناسی را در شبکه‌های خاص شبیه‌سازی می‌کنند (Shaemi و Habibinokhandan, ۲۰۰۹).

Semenov و همکاران (۱۹۹۸) به بررسی و مقایسه دو مدل LARS-WG و WGEN بر روی ۱۸ ایستگاه واقع در ایلات متحده، اروپا و آسیا پرداختند، نتایج حاصل نشان داد که مدل LARS-WG از توانایی خوبی در تولید داده‌های آب و هوایی مختلف از جمله حوادث شدید آب و هوایی برخوردار است. Khan و همکاران (۲۰۰۶) به تحلیل عدم قطعیت در سه مدل ریز گردانی SDSM، LARS-WG و ANNs پرداختند، نتایج حاصل از بررسی آنان نشان داد که مدل‌های SDSM و LARS-WG نتایج خوبی داشته است ولی مدل ANN از دقت کمتری در این زمینه برخوردار می‌باشد. Semenov (۲۰۰۷) از مدل LARS-WG برای ساختن سناریوهای اقلیمی روزانه در انگلستان استفاده نمود و همچنین، تأثیر تغییر اقلیم بر رشد دو گونه گندم تا سال ۲۰۸۰ را مورد بررسی قرار داد. Hashemi و همکاران (۲۰۱۰) 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. Zarghami و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر رواناب در استان آذربایجان

^۱ Global Climate Models (GCMs)

و به‌طور کلی هر سه مدل پارامتر دما را بهتر از سایر پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند. با توجه به آن‌که منابع آب در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیمی قرار دارند، بررسی تغییرات دما و بارش در سال‌های آینده می‌تواند راه‌گشای معضلاتی چون خشکسالی، سیلاب‌های ناگهانی، تبخیر زیاد و تخریب‌های زیست-محیطی که منجر به ایجاد یا توسعه بیابان خواهد شد، باشد.

لذا، در این پژوهش به بررسی تغییرات دما و بارش در دوره آماری (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و پیش‌بینی این تغییرات در دهه ۲۰۵۰ (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در سه ایستگاه سینوپتیک سقز، تبریز و ارومیه واقع در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از روش ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG و خروجی مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM3 پرداخته شد.

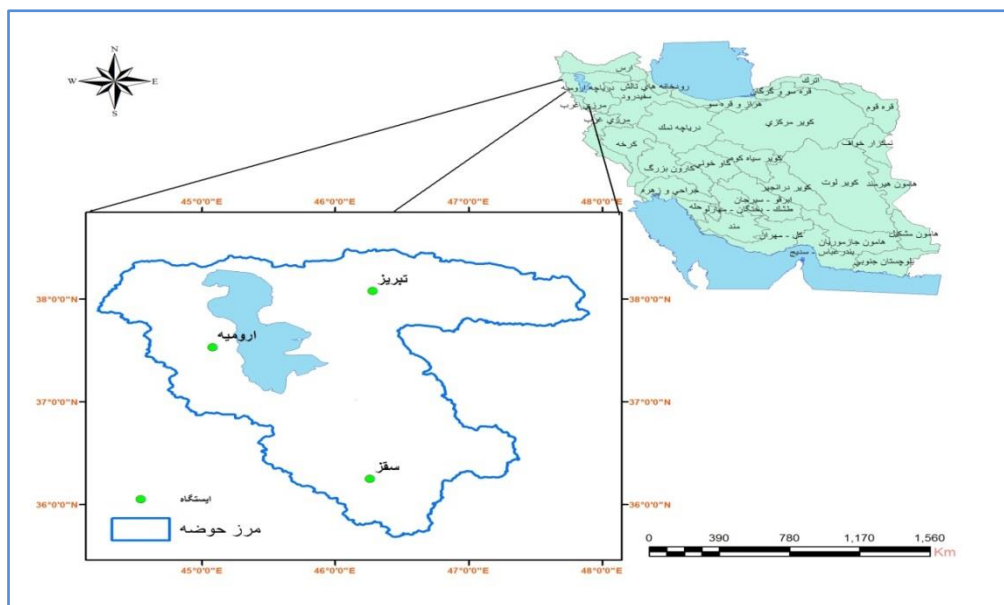
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران بیستمین دریاچه جهان از لحاظ وسعت محسوب می‌شود. وسعت حوزه آبخیز این دریاچه ۵۲۳۵۵ کیلومتر مربع است که از این مقدار حدود ۵۸۲۲ کیلومتر مربع وسعت خود دریاچه مستقیماً با ارتفاع آب دریاچه رابطه دارد و با افزایش یا کاهش آن تغییر پیدا می‌کند. این حوضه در مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 30'$ تا $44^{\circ} 53'$ طول شرقی و $35^{\circ} 40'$ تا $38^{\circ} 30'$ عرض شمالی قرار گرفته است.

متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه بارندگی در این منطقه بین ۱۸۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر است (Mahsifar و همکاران، ۲۰۱۱). در این بررسی از داده‌های مشاهداتی دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در سطح حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ میلادی استفاده شده که موقعیت حوزه آبخیز و ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی در شکل ۱ و همچنین، مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است.

میانگین ماهانه و فصلی اکثر سری‌ها، عملکرد مناسبی دارد، اما عملکرد آن در مورد برآورد مقادیر انحراف استاندارد مجموع بارش ماهانه و میانگین ماهانه دما و تابش چندان مناسب نیست. Khaliliaghdam و همکاران (۲۰۱۲) به ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی سندج پرداختند و نشان دادند 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.

Aghashahi و همکاران (۲۰۱۲) به معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به‌منظور ریزمقیاس‌سازی پارامترهای زیست محیطی در مطالعات تغییر اقلیم پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM دارای عدم قطعیت کمتر و فرایند شبیه‌سازی پیچیده‌تر و مدل LARS-WG دارای سادگی و سرعت عملکرد بیشتر و کارایی مناسبی است. Hagtalab و همکاران (۲۰۱۳) به مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی 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 در هر دو استان بیابان‌زایی در آینده سرعت بیشتری خواهد یافت. Salahi (۲۰۱۳) به بررسی تغییرات اقلیمی دریاچه ارومیه با استفاده از دو مدل گردش عمومی ECHO-G و CCSM30 در مدل ترکیبی MAGICC SCENGEN تحت سه سناریوی P50 و A1ASF, B2ASF برای دوره ۲۰۱۴ تا ۲۰۵۰ پرداخت. نتایج حاصل از هر دو مدل و سناریوهای مورد بررسی حاکی از افزایش دما و کاهش بارندگی در دهه‌های آینده است. Hajjarpour و همکاران (۲۰۱۴) به مقایسه سه مدل LARS-WG, WeatherMan و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در سه اقلیم مختلف گرگان، گنبد و مشهد پرداختند. نتایج حاکی از کارایی بهتر LARS-WG در شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما در منطقه‌های گرگان و مشهد است



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های مورد پژوهش

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد پژوهش

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
سقز	۴۶° ۱۶'	۳۶° ۱۵'	۱۵۲۲/۸
تبریز	۴۶° ۱۷'	۳۸° ۰۵'	۱۳۶۱
ارومیه	۴۵° ۰۳'	۳۷° ۰۴'	۱۳۲۸

به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی به این مدل‌ها می‌باشد. بدین منظور ابتدا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده در سناریوهای انتشار به‌وسیله مدل‌های دیگر به غلظت و نهایتاً به میزان نیروی تابشی تبدیل شده و این مقادیر به‌عنوان ورودی برای مدل‌های AOGCM ارائه می‌شوند که در این پژوهش از سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 و خروجی مدل HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس (HCCPR^۴) طراحی و توسعه یافته است، استفاده خواهد شد. جدول ۲ مشخصات این مدل را نشان می‌دهد.

ریز‌مقیاس گردانی: یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM بزرگ‌مقیاس بودن سلول محاسباتی آن‌ها، به لحاظ مکانی و زمانی

مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs): این مدل‌ها برای ارزیابی تغییرات اقلیمی طراحی شده‌اند و همه عوامل اقلیمی شایان توجه، در آن‌ها منظور شده است. اساس این مدل‌ها بر مبنای قوانین اساسی فیزیک جو قرار دارد و به مدل‌های گردش عمومی جو نیز مشهورند (Shaemi و Habibinokhandan, ۲۰۰۹) و به سه نوع چرخش عمومی جو (AGCM)^۱، چرخش عمومی اقیانوس (OGCM)^۲ و مزدوج (AOGCM)^۳ تقسیم می‌شوند (Asakereh, ۲۰۰۷). در حال حاضر یکی از معتبرترین ابزارها برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت شده گردش عمومی جو-اقیانوس (AOGCM) می‌باشد (Wilby و Harris, ۲۰۰۶). پس از شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته توسط مدل‌های AOGCM، به‌منظور شبیه‌سازی وضعیت این متغیرها در دوره‌های آتی، نیاز

¹ Atmospheric General Circulation Model

² Oceanic General Circulation Model

³ Atmospheric-Oceanic General Circulation Model

⁴ Hadley Center for Climate Prediction and Research

غیرواقعی باشد و نتوان از خروجی آن‌ها به‌دقت پایین مکانی و زمانی، به‌عنوان ورودی مدل‌های دیگر استفاده کرد. انتخاب تکنیک ریزمقیاس سازی به دو عامل بستگی دارد (Aghashahi و همکاران، ۲۰۱۲):

- ۱- میزان داده‌های مورد نیاز جهت واسنجی مدل
- ۲- متغیرهای مورد نیاز به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم

نسبت به منطقه مورد مطالعه است (Harris و Wilby، ۲۰۰۶). برای فائق آمدن به نقیصه تفکیک فضایی کم مدل‌های گردش عمومی، دو راهکار وجود دارد که عبارت‌اند از ریزمقیاس نمایی با استفاده از مدل‌های آماری و به‌کارگیری مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای. ریزمقیاس‌سازی زمانی معنی می‌یابد که شبیه‌سازی مدل‌های GCM در مورد متغیرهای سطحی موردنظر

جدول ۲- مشخصات مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM3

مدل	دقت مکانی AGCM (درجه)(طول×عرض)	دقت مکانی OGCM (درجه)(طول×عرض)	دوره شبیه‌سازی گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق در گذشته	طول دوره شبیه‌سازی (سال)	سناریوهای شبیه- سازی شده SRSE
HadCM3	۲/۵ × ۳/۷۵	۲/۵ × ۳/۷۵	CO ₂ : ۱۸۶۰-۱۹۸۹ SO ₄ : ۱۸۶۰-۱۹۸۹	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۱۹۵۰-۲۰۹۹	B2, B1, A2, A1

منبع: IPCC، ۱۹۹۹، به نقل از Ashofteh و Masahbavani، ۲۰۱۰

USCLIMATE و WGEN اشاره کرد (Babaeian و همکاران، ۲۰۰۹) که در این پژوهش از مدل LARS-WG برای کوچک مقیاس کردن داده‌های مدل HadCM3 استفاده شد. مدل LARS-WG یک مولد تصادفی داده‌ها برای تولید داده‌های آب و هوایی به‌وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس سازی آماری است (Wilks، ۱۹۹۲؛ Wilks و Wilby، ۱۹۹۹) که به‌مراتب از دیگر برنامه‌ها به‌دلیل تکرار محاسبات، نیاز کمتر به داده‌های ورودی و سادگی و کارایی دارای کاربرد بیشتری است (Kilsby و همکاران، ۲۰۰۷؛ Dibikey و Coulibaly، ۲۰۰۵؛ Hay و همکاران، ۲۰۰۰).

اولین نسخه این مدل در سال ۱۹۹۰ و در شهر بوداپست مجارستان به‌عنوان ابزاری برای ریزمقیاس سازی آماری ارائه شد. در حال حاضر این مدل به دو منظور تولید داده‌های روزانه آینده به‌صورت مصنوعی و داده سازی در بازه زمانی یا در ایستگاه‌های فاقد آمار به‌کار می‌رود. جهت تولید داده‌های مصنوعی، مدل از داده‌های روزانه بلندمدت (حداقل ۳۰ساله) مربوط به ایستگاه (دما، بارش، ساعات آفتابی) به‌صورت ورودی را با یکدیگر مقایسه می‌نماید. در صورت تطابق این دو دسته داده، مدل قادر به تولید سری‌های زمانی مربوط به آینده می‌باشد (Aghashahi و همکاران، ۲۰۱۲).

به‌طور خلاصه می‌توان گفت ریز گردانی روشی برای دستیابی به اطلاعات آب و هوایی یا تغییر آب و هوا با وضوح بالا از مدل‌های آب و هوایی سیاره‌ای با قدرت تفکیک پایین است و می‌توان بر اساس آن تغییر آب و هوا را در مقیاس نقطه‌ای و ایستگاه هواشناسی مطالعه و ارزیابی کرد (Shamsipoor، ۲۰۱۳). معتبرترین ابزار جهت ریز گردانی داده‌های AOGCM در کشور ما استفاده از روش‌های آماری می‌باشد (Goudarzi، ۲۰۱۱). به‌طور مختصر می‌توان گفت که روش‌های آماری به سبب اقتصادی بودن، سادگی و سرعت بالا در ریزمقیاس سازی ناحیه‌ای، نسبت به روش‌های دینامیکی ارجح هستند. از معایب روش‌های ریزمقیاس‌سازی آماری این است که این مدل‌ها برای شبیه‌سازی وقایع حدی بارش چندان مناسب نمی‌باشند، زیرا بارش دارای فرایند پیچیده‌ای بوده و به‌دلیل تاثیرپذیری آن از عوامل مختلف، شبیه‌سازی آن با دشواری همراه است، اما حتی این نقیصه نیز، به‌دلیل محاسن ذکر شده، هیدرولوژیست‌ها تمایل به استفاده از این مدل‌ها در شبیه‌سازی وقایع حدی دارند (Wilby و همکاران، ۲۰۰۳).

از جمله مدل‌های ریز گردانی که در روش‌های آماری استفاده می‌شوند می‌توان به -MAGICC، -CLIMGEN، -SDSM، -LARS-WG و -SCENGEN

ذکر است، ورودی‌ها و خروجی‌های این مدل به‌صورت ایستگاهی بوده و برای یک حوضه باید از چند ایستگاه منتخب با پراکندگی مکانی مناسب در سطح حوضه و دارای داده‌های طولانی‌مدت استفاده شود (Aghashahi و همکاران، ۲۰۱۲).

ارزیابی عملکرد مدل: برای ارزیابی عملکرد مدل، داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) مورد مقایسه قرار گرفتند که در این پژوهش جهت ارزیابی عملکرد شاخص‌های، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین مطلق خطا (MAE)، ضریب تعیین (R^2) و ضریب همبستگی (R) به‌کار گرفته شده است.

۱- **ضریب تعیین:** معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد (Sedaghatkerdar و Fattahi، ۲۰۰۸).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_o^2 \sum_{i=1}^N X_s^2}} \quad (1)$$

۲- **جذر میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا:** نشان‌دهنده میزان خطای مدل می‌باشند که بهترین مقدار آن‌ها برابر صفر است و از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند (Sedaghatkerdar و Fattahi، ۲۰۰۸).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (3)$$

۳- **میانگین مربعات خطا:** برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می‌شود که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند (Karamouz و همکاران، ۲۰۰۷).

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2 \quad (4)$$

۴- **ضریب همبستگی:** بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج برآورد شده مدل و داده‌های واقعی می‌باشد که بر اساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Khalili و همکاران، ۲۰۰۶) در واقع ضریب همبستگی ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی بسیار کاربرد دارد (Sedaghatkerdar و Fattahi، ۲۰۰۸).

این مدل به‌عنوان یک مدل ریز مقیاس‌سازی، در عین پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه‌سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییر اقلیم دارد (Stratonovitch و Semenov، ۲۰۱۰). ورودی‌های این مدل داده‌های میانگین دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه، میانگین بارش روزانه و ساعات آفتابی روزانه می‌باشد. فرآیند پیش‌بینی داده‌ها در زمان آینده توسط این مدل طی چهار مرحله انجام می‌گیرد (Aghashahi و همکاران، ۲۰۱۲):

۱- آنالیز داده‌های پایه: تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی به‌منظور تعیین ویژگی‌های آماری داده‌ها

۲- تولید اولیه داده: تولید داده به‌صورت مصنوعی به‌وسیله مدل در دوره پایه و تعیین خصوصیات آماری داده‌های مصنوعی تولید شده

۳- مقایسه آماری: تطبیق و مقایسه ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های مصنوعی تولید شده

۴- تولید داده‌های روزانه در آینده: استفاده از ویژگی‌های آماری داده‌های پایه و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و خروجی مدل‌های گردش عمومی در تولید سری‌های زمانی روزانه منتقل‌شده به آینده با همان خصوصیات آماری داده‌های پایه

روش کار به این صورت است که مدل، داده‌های دیده‌بانی شده دوره پایه را دریافت نموده، با بررسی آن‌ها مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج می‌شوند. سپس به‌منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل برای دوره آماری پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) مدل را اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود. سپس، این خروجی‌ها را به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها، با مشخصات آماری مشاهداتی ۳۰ ساله به کمک آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنوف (K-S)، T-test و F-test مقایسه می‌شوند. تطابق مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتولیدی، نشان می‌دهد که مدل، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای انتخابی (منتشرشده توسط IPCC) و خروجی مدل‌های اقلیمی GCM (در داخل مدل تعریف شده‌اند و نیاز به واردکردن مجزای آن‌ها نیست) را به داده‌های دوره پایه اعمال و تغییرات را شبیه‌سازی می‌کند، لازم به

جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM3 می‌باشند. به‌منظور واسنجی و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری پایه تدوین و مدل برای این دوره اجرا شد. سپس خروجی‌های مدل که شامل دمای حداقل و حداکثر و بارش ماهانه و انحراف معیار آن‌ها می‌باشد با داده‌های ۳۰ سال (۱۹۹۰-۱۹۶۱) مشاهداتی ایستگاه‌ها مقایسه شد که نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی و تولید شده به‌وسیله مدل با استفاده شاخص‌های آماری مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. تحلیل نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل-سازی شده و مقادیر مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد و مقادیر همبستگی پیرسون بین داده‌های مدل‌سازی شده و واقعی در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ قابل قبول می‌باشند، برای اطمینان از صحت واسنجی مدل از شاخص‌های خطاسنجی RMSE، MSE و MAE نیز استفاده شد، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که دقت مدل در ایستگاه‌های مورد بررسی و پارامترهای مختلف متفاوت است. بدین‌صورت که در شبیه‌سازی دما از دقت مناسب‌تری نسبت به شبیه‌سازی بارش برخوردار بوده و در شبیه‌سازی پارامترهای دمایی نیز، مدل در شبیه‌سازی دمای حداکثر نسبت به دمای حداقل موفق‌تر عمل نموده است که با توجه به مقادیر به‌دست آمده در جدول ۳ و شاخص‌های مورد بررسی، عملکرد مدل LARS-WG برای ایستگاه‌های مورد مطالعه مناسب ارزیابی می‌شود.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_o - \bar{X}_o)(X_s - \bar{X}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_o - \bar{X}_o)^2 \sum_{i=1}^N (X_s - \bar{X}_s)^2}} \quad (5)$$

که در آن، X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده، \bar{X}_o میانگین داده‌های مشاهداتی، \bar{X}_s میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها است.

پس از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و اطمینان از مناسب بودن مدل، داده‌های دهه ۲۰۵۰ با استفاده از مدل HadCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 تولید می‌شود. پس از تولید داده‌ها برای ۲۰ سال دوره (۲۰۴۶-۲۰۶۵) از خروجی‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر مدل میانگین‌گیری و متوسط ماهانه پارامترهای مذکور در ۲۰ سال آتی محاسبه شد، سپس تغییرات آن‌ها نسبت به مقادیر متوسط دوره پایه نیز محاسبه شده و نمودارهای تغییرات دما و بارش مربوط به هرکدام از ایستگاه‌ها ترسیم می‌شود.

نتایج و بحث

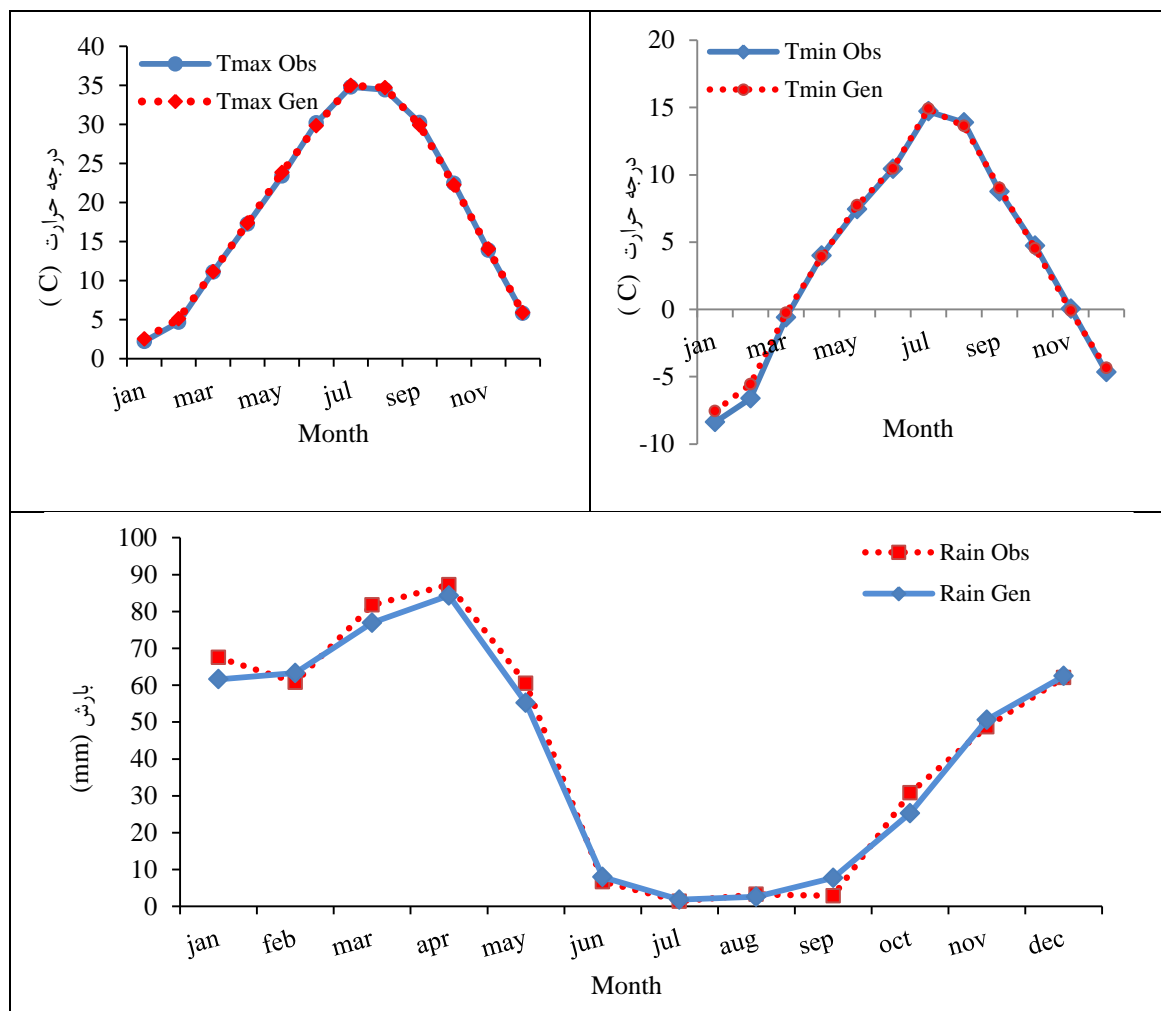
بررسی حاضر بر روی سه ایستگاه سینوپتیک منتخب با دوره آماری بلندمدت واقع در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه شامل ایستگاه‌های سقز، تبریز و ارومیه انجام شد و دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ میلادی به‌عنوان دوره پایه لحاظ شد. متغیرهای مورد مطالعه شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش به‌صورت روزانه و داده‌های سه سناریوی A1B، A2 و B1 مدل

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در دوره پایه با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و همبستگی

R	R ²	MAE	MSE	RMSE	پارامتر	ایستگاه
۰/۹۹	۰/۹۹	۳/۰۳	۱۳/۳۴	۳/۶۵	بارش	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۲۸	دمای حداکثر	سقز
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۴۴	دمای حداقل	
۰/۹۸	۰/۹۶	۲/۷۷	۱۲/۴۸	۳/۵۳	بارش	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۴۴	دمای حداکثر	تبریز
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۳۳	دمای حداقل	
۰/۹۷	۰/۹۴	۳/۰۳	۱۹/۰۵	۴/۳۶	بارش	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۲۱	دمای حداکثر	ارومیه
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۲۲	۰/۰۶	۰/۲۵	دمای حداقل	

ایستگاه سینوپتیک سقز برای پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و همچنین بارش تولید شده و مشاهداتی در شکل ۲ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر تولید شده و مشاهداتی پارامترهای مورد بررسی بسیار به هم نزدیک هستند که حاکی از دقت مناسب و قابل قبول مدل LARS-WG در حوضه مورد مطالعه است.

جهت نمایش بهتر عملکرد مدل و اطمینان از صحت پیش‌بینی مدل مورد بررسی به مقایسه مقادیر پارامترهای اقلیمی تولید شده به وسیله مدل و مقادیر مشاهداتی ایستگاه‌ها به صورت متوسط ماهانه بلندمدت در طول دوره آماری پایه با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای پرداخته شد که به علت تعداد زیاد نمودارهای مربوطه برای نمونه، نتایج مربوط به



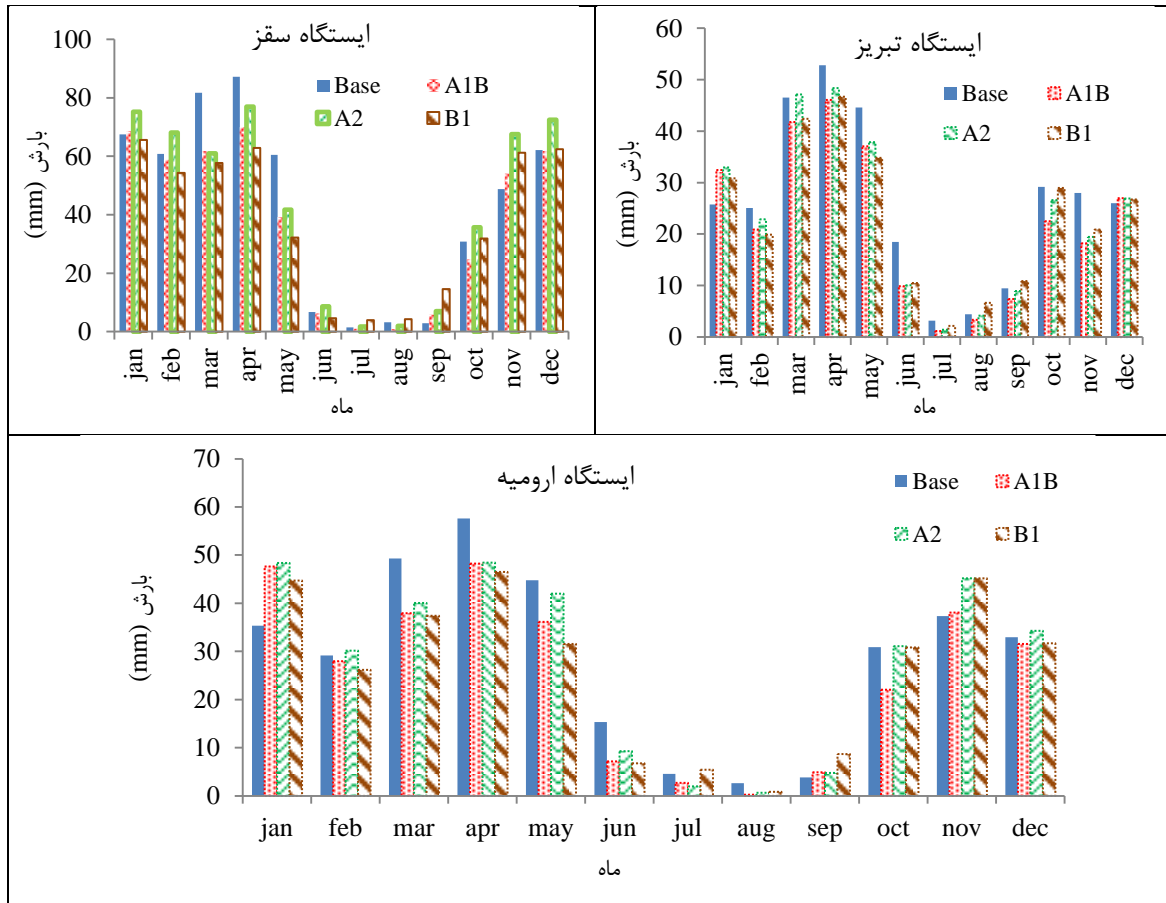
شکل ۲- مقادیر مشاهداتی و تولید شده دما و بارش ماهانه به وسیله مدل LARS-WG برای دوره پایه در ایستگاه سینوپتیک سقز

داشته و انتظار می‌رود که بارش در ۲۰ سال دوره پیش‌بینی شده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) کاهش داشته باشد، ولی وضعیت برای ایستگاه‌های ارومیه و سقز مقداری متفاوت است، به طوری که بر طبق سناریوهای مختلف به ویژه A2 در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر، دسامبر و ژانویه بارش به مقدار کمی افزایش داشته است و در سایر ماه‌ها از میزان بارش کاسته شده است و به نظر می‌رسد که الگوی بارش به سوی انتهای فصل گرم

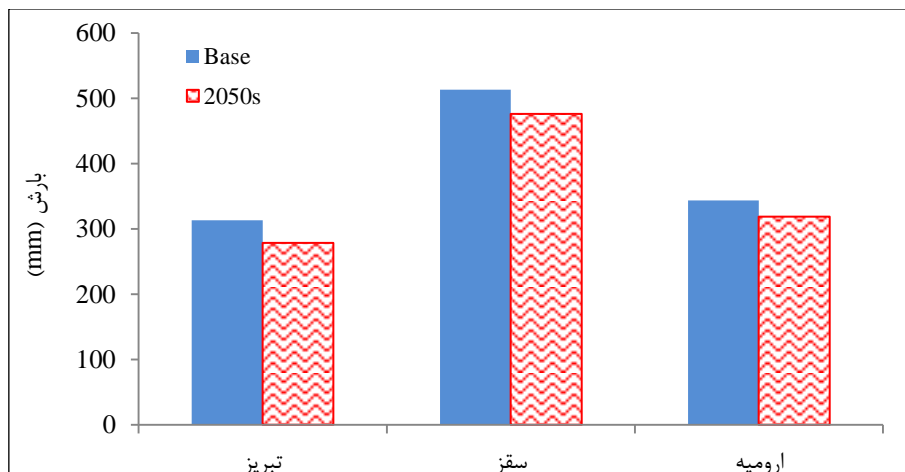
پس از ارزیابی مدل LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن آن به بررسی داده‌های پیش‌بینی شده به وسیله مدل برای سه سناریوی A1B، A2 و B1 تحت مدل HadCM3 پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی بارش ماهانه در سه ایستگاه مطالعاتی در شکل ۳ نشان می‌دهد که بارش در دهه ۲۰۵۰ در ایستگاه تبریز بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در بیشتر ماه‌ها به جز دسامبر و ژانویه نسبت به دوره پایه کاهش

کاهش به ترتیب برای ایستگاه‌های ارومیه، سقز و تبریز برابر با ۷/۸، ۷/۹ و ۱۲/۵ درصد کاهش نسبت به طول دوره پایه می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل در مجموع میزان بارش در دهه ۲۰۵۰ در محدوده مورد مطالعه نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.

جابه‌جا شده است. شکل ۴ نیز متوسط بلندمدت بارندگی طی دوره آماری پایه و همچنین مقدار آن در دهه ۲۰۵۰ به تفکیک ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود، در دهه ۲۰۵۰ در همه ایستگاه‌ها میزان بارش در مقایسه با دوره پایه کاهش خواهد یافت که این



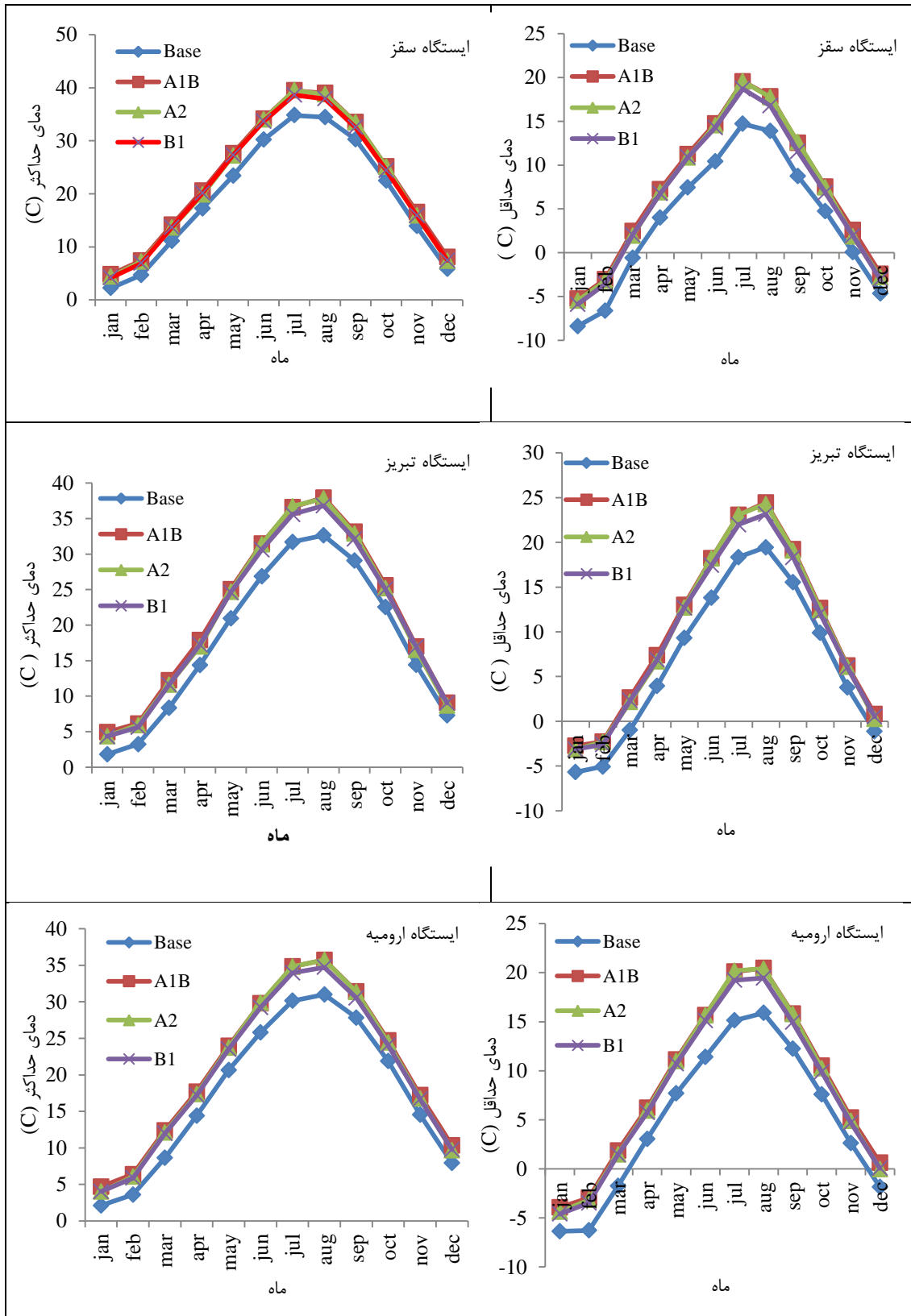
شکل ۳- تغییرات ماهانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه



شکل ۴- مقایسه بارش بلندمدت ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه

دما در هر سه سناریوی مورد بررسی و همچنین، در هر سه ایستگاه مطالعاتی نسبت به دوره پایه افزایش را نشان داده است.

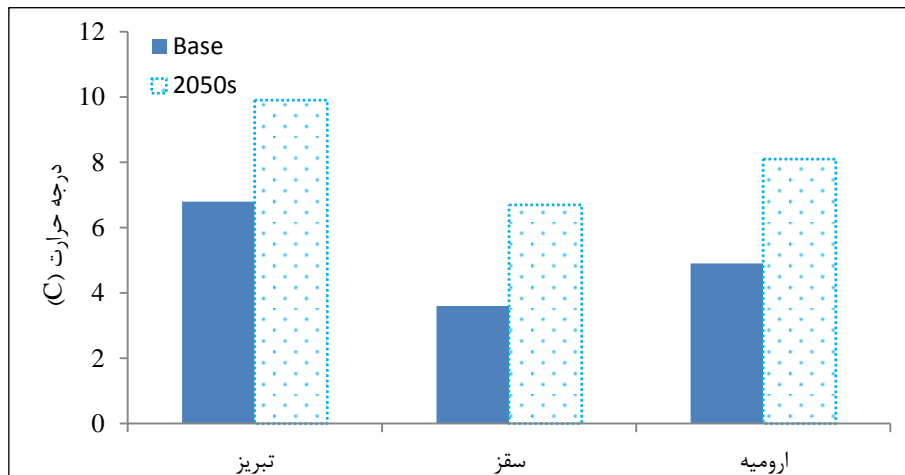
شکل ۵ میانگین ماهانه حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌های منتخب در دهه ۲۰۵۰ و دوره پایه را نشان می‌دهد، همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان



شکل ۵- تغییرات ماهانه دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه

دوره آتی برابر با $3/2$ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه می‌باشد. ایستگاه‌های سقز و تبریز نیز هر دو با $3/1$ درجه سلسیوس از نظر تغییرات دمای حداقل در رده‌های بعدی در سطح حوضه قرار می‌گیرند (شکل ۶).

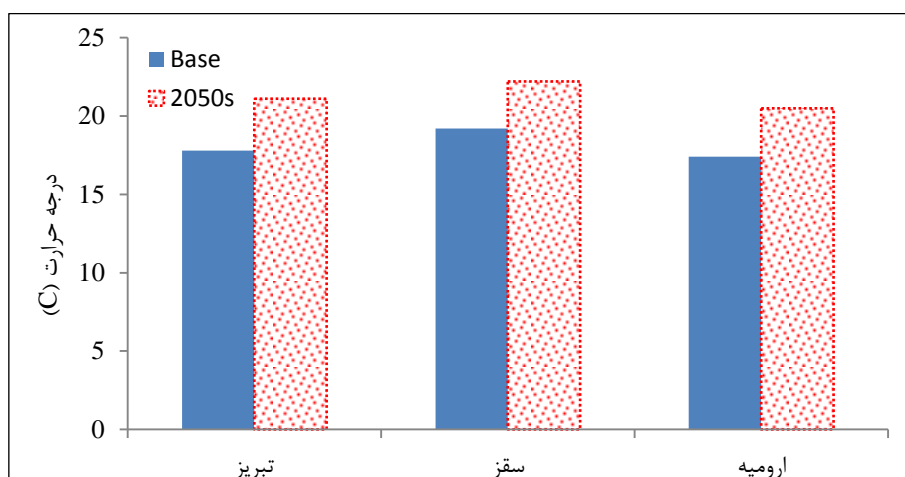
به‌طور متوسط بلندمدت نیز بیشترین تغییرات دمای حداقل مربوط به ایستگاه ارومیه می‌باشد، در واقع دماهای حداقلی که در این منطقه در دوره پایه اتفاق افتاده است، در دوره آینده مشاهده نشده و روند گرمایشی از خود نشان داده است که میزان آن در



شکل ۶- مقایسه دماهای حداقل بلندمدت ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه

نیز انتظار می‌رود، به ترتیب ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و سقز در دهه ۲۰۵۰ به میزان $3/2$ ، $3/1$ و 3 درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش دما داشته باشند.

بر طبق نتایج حاصل دماهای حداکثر در منطقه نیز افزایش خواهد یافت که بیشترین میزان افزایش آن مربوط به ایستگاه تبریز با $3/3$ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه خواهد بود (شکل ۷). از نظر میانگین دما



شکل ۷- مقایسه دماهای حداکثر بلندمدت ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه

تبریز و ارومیه واقع در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در دهه ۲۰۵۰ و با استفاده از مدل LARS-WG ریز گردانی شدند. پس از این که مدل برای دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) ارزیابی شد و بر اساس شاخص‌های

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، داده‌های دما و بارش با استفاده از خروجی مدل HADCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 برای سه ایستگاه سینوپتیک سقز،

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، بیشترین میزان کاهش بارش در سطح حوضه مربوط به ایستگاه سقز به میزان ۳۷/۵ میلی‌متر نسبت به دوره پایه است. بیشترین افزایش دمای حداقل نیز مربوط به ایستگاه ارومیه به میزان ۳/۲ و بیشترین افزایش دمای حداکثر به میزان ۳/۳ درجه سلسیوس مربوط به ایستگاه تبریز نسبت به دوره پایه می‌باشد.

خطاسنجی و ضریب تعیین و همبستگی، صحت و دقت مدل تعیین شد، به بررسی تغییرات دما و بارش در دهه ۲۰۵۰ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) پرداخته شد. نمودارهای میانگین بلندمدت دما و بارش به صورت ماهانه و دوره‌ای برای ۲۰ سال آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) در مقایسه با دوره پایه بررسی شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل ریز گردانی آماری LARS-WG پیش‌بینی می‌کند که مقادیر دمای حداقل و حداکثر در طی دهه ۲۰۵۰ در هر سه ایستگاه مطالعاتی افزایش خواهد یافت و از میزان بارش نسبت به دوره

جدول ۳- متوسط دما و بارش دوره پایه و دهه ۲۰۵۰ تحت سه سناریوی مدل HadCM3

پارامتر		بارش			دمای حداکثر			دمای حداقل		ایستگاه
		سقز	تبریز	ارومیه	سقز	تبریز	ارومیه	سقز	تبریز	
دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱)		۵۱۳/۵	۳۱۳/۳	۳۴۲/۸	۱۹/۲	۱۷/۷	۱۷/۴	۳/۶	۶/۸	۴/۹
دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵)		۴۵۳/۳	۲۶۷/۷	۳۰۴/۷	۲۲/۵	۲۱/۳	۲۰/۷	۷	۱۰/۲	۸/۴
A1B		۵۱۸/۷	۲۸۶/۷	۳۳۶/۳	۲۲/۲	۲۱	۲۰/۴	۶/۸	۹/۹	۸/۱
A2		۴۵۶/۱	۲۸۱/۴	۳۱۵/۷	۲۱/۹	۲۰/۷	۲۰	۶/۴	۹/۵	۷/۷
B1		۴۷۶	۲۷۸/۶	۳۱۸/۹	۲۲/۲	۲۱	۲۰/۵	۶/۷	۹/۹	۸/۱

سناریوهای مختلف، این حوزه آبخیز با مشکل کاهش نزولات جوی و افزایش دما و در نتیجه افزایش تبخیر روبه‌رو خواهد بود. لذا بحث کمبود آب در این حوضه در آینده جدی‌تر خواهد بود. بنابراین لازم است، با توجه به این امر و آگاهی از تبعات منفی تغییرات اقلیمی، برنامه‌ریزان استان‌های مربوطه (کردستان، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی) به‌ویژه در بخش‌های مدیریت منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت و سلامت و همچنین، بخش‌های اقتصادی و منابع طبیعی راه‌کارهای لازم برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید را اتخاذ نمایند و با توجه به وضعیت موجود و پیش‌بینی‌های حاصل از خروجی مدل‌های اقلیمی، بازنگری‌های اساسی در زمینه برنامه‌ریزی منابع آب و تخصیص و بهره‌برداری از منابع آب در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

بر اساس نتایج حاصل از سناریوهای مختلف انتظار می‌رود، به‌طور متوسط در سطح حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با توجه به ایستگاه‌های مورد بررسی میزان بارش ۸/۲۲ درصد کاهش و متوسط دما ۳/۱ درجه سلسیوس افزایش پیدا کند. این افزایش دما می‌تواند کاهش بارش‌های برفی و افزایش تبخیر و بارش‌های سنگین و سیل‌آسا را به دنبال داشته باشد که این امر هم می‌تواند موجب افزایش خسارات ناشی از وقوع بارش‌های سنگین و هدر رفت آب و نیز شسته شدن خاک‌های حاصلخیز را به دنبال داشته باشد، لذا تاکید و توجه به منابع طبیعی، آبخیزداری و آبخوانداری و تقویت مراتع برای کاهش اثرات بارش‌های سیل‌آسا مفید می‌باشد (Abbasi و همکاران، ۲۰۱۰). از آنجایی که دریاچه موجود در حوضه مورد مطالعه نیز در چند دهه اخیر با کاهش شدید سطح آب مواجه بوده است و بر اساس نتایج حاصل از

منابع مورد استفاده

1. Ababaei, B., F. Mirzaei and T. Sohrabi. 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., Sh. Malbousi, I. Babaeian, M. Asmry and R. Borhani. 2010. Prediction of climate change in the period of 2039-2010 in South Khorasan, using statistical downscaling model output ECHO-G. *Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Technology)*, 24(2): 233-218 (in Persian).
3. Aghashahi, M., M. Ardestani, M.H. Nicksokhan and B. Tahmasebi. 2012. Introduce and compare the LARS-WG model and the SDSM in order to fine-scale environmental modeling studies of climate change. The 6th National Conference and Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, 10 pages (in Persian).
4. Asakereh, H. 2007. Climate change. Zanjan University Press, 234 pages (in Persian).
5. Ashofteh, P. and A. Masahbovani. 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. Babaeian, I., Z. Najfinik, F. ZablaAbasy, M. Habibi nokhandan, H. Adab and Sh. Malbousi. 2009. Assessment of climate change in 2010-2039 period by downscaling models atmospheric data general circulation model ECHO-G. *Journal of Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan*, 16: 152-135 (in Persian).
7. Dibike, Y.B. and P. Coulibaly. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay Watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 12: 145-163.
8. Goudarzi, M. 2011. Evaluation of the effects of climate change on surface runoff occurs in Upper Karkheh by Physical Geography (Climatology). PhD Thesis, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tabriz, 125 pages (in Persian).
9. Haghtalab, N., M. Goodarzi, M. Habibinokhandan, A.R. Yavari and H.R. Jafari. 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. Hashemi, M.Z., A.Y. Shamseldin and B.W. Melville. 2010. Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach. 18th World IMACS, MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17.
11. Hay, L.E., R.L. Wilby and G.H. Leavesley. 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.
12. Hajjarpour, A., M. Yousefi and B. Kamkar. 2014. Precision test of simulators LARS-WG, WeatherMan and CLIMGEN in three different climates simulated (Gorgan, Gonbad and Mashhad). *Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan*, 35: 201-216 (in Persian).
13. IPCC. 2007. Summary for policymakers, in *Climate Change 2007*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.). The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental.
14. IPCC. 2001. In: Watson, R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss and D.J. Dokken, (Eds.), Special report on the regional impacts of climate change, an assessment of vulnerability. Cambridge University Press, UK.
15. Karamouz, M., F. Ramezani and S. Razavi. 2007. Forecasting the long-term of rainfall through meteorological signals: Application of Artificial Neural Networks. 7th International Congress on Civil Engineering. Tehran, 11 pages (in Persian).
16. Khaliliaghdam, N., A. Mosaeidi, A. Soltani and B Kamkar. 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).
17. Khalili, N., S. Khodashnas and K. Davari. 2006. Prediction rainfall using an artificial neural network. Second Conference on Water Resources Management, 8 pages (in Persian).
18. Khan, M.S., P. Coulibaly and Y. Dibike. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling method. *Journal of Hydrology*, 319: 357-382.
19. Kilsby, C.G., P.D. Jones, A. Burton, A.C. Ford and H.J. Fowler. 2007. A daily weather generator for use in climate change studies. *Environment Modeling Software*, 22: 1705-1719.
20. Mahsafar, H., R. Maknoun and B. Saghafian. 2011. Effects of climate change on the water balance of Urmia Lake. *Journal of Iran Water Resources Research*, 7(1): 58-47 (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 pages (in Persian).
22. Sedaghatkerdar, A. and E. Fattahi. 2008. Warning of drought indices in Iran. *Journal of Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan*, 6(11): 76-59 (in Persian).

23. Semenov, M. 2007. Developing of high-resolution UKCUP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*, 14(4):127-137.
24. Semenov, M., R. Brooks, E. Barrow and C. Richardson. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10: 95-107.
25. Semenov, M. and P. Stratonovitch. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41: 1-14.
26. Shaemi, A. and M. Habibinokhandan. 2009. *Global warming and bio-ecological consequences*. Ferdowsi University of Mashhad Press, 216 pages (in Persian).
27. Shamsipoor, A.A. 2013. *Climate modeling theory and methods*, Tehran. Tehran University Press, 294 pages (in Persian).
28. Valizadeh, J., S.M. Ziaei and S.M. Mazlounzadeh. 2014. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2): 107-115.
29. Vanuytrecht, E., D. Raes, P. Willems and M. Semenov. 2014. Comparing climate change impacts on cereals based on CMIP3 and EU-ENSEMBLES climate scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology*, 195-196: 12-23.
30. Wilby, R. and I. Harris. 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42: 10-23.
31. Wilby, R.L., C.W. Dawson and E.M. Barrow. 2003. SDSM a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modeling and Software*, 17: 147-159.
32. Wilks, D.S and R.L. Wilby. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*, 23: 329-357.
33. Wilks, D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climate Change*, 22: 67-84.
34. Zahabioun, B., M.R. Goudarzi and A. Msahbovani. 2010. Application of SWAT model for estimating runoff in future periods affected by climate change. *Journal of climatology research*, 1- 2: 43-58 (in Persian).
35. Zarghami, M., A. Abdi, I. Babaeian, Y. Hassanzadeh and R. Kanani. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, 78(3-4): 137-146.