

## ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سالهای ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل WG-Lars

مصطفی کریمی<sup>۱</sup>

عادل نبی زاده<sup>۲</sup>

### چکیده

امروزه پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه اقلیم‌شناسان و پژوهشگران قرار گرفته است، در این تحقیق اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر پارامترهای بارش روزانه، حداقل و حداکثر دما و ساعات آفتابی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه، تبریز و سقز) که دارای آمار بلند مدت بودند در دوره ۲۰۰۹-۱۹۸۰ مورد بررسی قرار گرفت. پیش-بینی‌ها تحت سناریوی منطقه‌ای A۲ با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM۳ برای دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ انجام شد، برای ریزمقیاس‌نمایی از مدل Lars-WG استفاده گردید. نتایج حاکی از کاهش بارش می‌باشد. بیشترین کاهش مربوط به ماه آوریل به میزان ۷/۵ درصد و بیشترین افزایش آن مربوط به ماه فوریه به میزان ۵/۲۸ درصد خواهد بود. در مجموع کاهش ۴/۰۳ درصدی بارش سالانه در کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه پیش‌بینی می‌شود. میانگین دمای حداقل، افزایش ۰/۶۴ تا ۱/۳۵ درجه سانتیگرادی در کل حوضه خواهد داشت و بیشترین افزایش دمای

<sup>۱</sup> - استادیار اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، (نویسنده مسئول)

E-mail: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> - دانشجوی دکتری جغرافیای اقلیم‌شناسی دانشگاه خوارزمی

حداکثر در ماه نوامبر به میزان ۱/۲۷ و کمترین افزایش آن در ماه ژانویه به میزان ۰/۳۳ درجه خواهد بود. میانگین ساعات آفتابی حوضه در دوره محاسباتی تغییرات اندک و نامحسوسی خواهد داشت.

**واژگان کلیدی:** Lars-WG، تغییر اقلیم، دریاچه ارومیه، سناریوی انتشار، HadCM۳

### مقدمه

تغییرات بی‌سابقه‌ای در اقلیم در حال وقوع است، دگرگونی‌های اقلیمی تأثیری ژرف بر محیط طبیعی، زندگی، چشم انداز و استراتژی‌های اقتصادی، اجتماعی برجای می‌نهند. در طول زندگی بشر، تغییر اقلیم به سختی قابل درک است و اثرات بالقوه آن به سختی شناخته می‌شود، ولی در فاصله‌ای نه چندان دور انکار این که این اثرات بصورت تغییراتی در سطح بحرانی آشکار می‌شوند غیر ممکن است. یکی از این بحران‌ها شتاب کاهش میزان بارندگی‌ها، افزایش دما و خشکسالی‌ها و اثرات ناگوار آنها بر زندگی انسان است. بررسی‌های اولیه هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم نشان از تغییر پارامترهای مختلف اقلیمی همانند؛ دما، بارندگی، پوشش برف و سطح دریاها در اثر پدیده تغییر اقلیم دارد (رضایی‌بنفشه و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۴). پژوهش‌های مختلف نشان از وجود تأثیر افزایش گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم کره زمین دارد. مهمترین اثر این افزایش بر درجه‌حرارت جو کره زمین بوده که از آن به عنوان گرم شدن سراسری یاد می‌گردد. این تأثیر فقط بر درجه‌حرارت نبوده و دیگر متغیرهای اقلیمی از جمله؛ بارندگی، تبخیر و تعرق، تابش را نیز تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به اینکه تغییرات کوچک در متغیرهای اقلیمی می‌تواند منجر به تغییرات محسوس در بهره‌برداری از منابع آب شود، بررسی این تغییرات اهمیت بالایی خواهد داشت. امروزه پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه اقلیم شناسان و پژوهشگران قرار گرفته است.

معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جفت‌شده جوی-

اقیانوسی (AOGCM) است (اکسترم و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵: ۲۱۲). برون داد مدل های گردش عمومی نمی تواند مستقیما برای پیش بینی و ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقه-ای و محلی مورد استفاده قرار گیرند. آنها نیازمند ریزگردانی با لحاظ رفتار اقلیمی مشاهداتی منطقه یا ایستگاه مورد مطالعه می باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۷). بر همین اساس مدل های شبیه سازی توسعه یافته اند که می توانند پارامترهای اقلیمی را در مقیاس ریزتر، پیش بینی نمایند. در واقع این مدل ها ریزمقیاس کننده داده های خروجی مدل های گردش عمومی جو در زمینه تغییرات اقلیمی بویژه اقلیم آینده می باشند که به نوعی سعی در ترکیب پیش یابی های پهنه ای مدل های گردش عمومی جو با تغییرات نقطه ای اقلیم (ایستگاهی) یک منطقه دارند. این مدل ها شامل: Lars-WG، MAGICC، SCENGEN، و SDSM (استیل دون و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸) و ASD می باشد.

شبیه سازی متغیرهای بارش و دما در خراسان نشان داد که مدل لارس متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر را در سه ایستگاه مشهد، سبزوار و بیرجند کمتر از مقادیر واقعی پیش بینی نموده است (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۹). اما در مقایسه دو مدل SDSM و Lars-WG بر روی ایستگاه های تبریز و ارومیه، برای عناصر کمینه و بیشینه دمای روزانه، مدل SDSM نسبت به مدل Lars-WG عملکرد بهتری داشته و در مورد مؤلفه بارش روزانه عملکرد هر دو مدل در هر دو ایستگاه مشابه بوده است (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۹۹).

استفاده از رویکرد ریزمقیاس نمایی خروجی های مدل های گردش عمومی جو در مطالعات متعدد و موضوعات متنوعی در سال های اخیر دیده شده است. به طور مثال برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب انگلستان (کارلتون و آرنل<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱: ۲۳۸)، تغییرات اقلیمی در دو حوضه واقع در شمال شرقی ایالات متحده آمریکا با استفاده از روش های ریز مقیاس نمایی هشت مدل اقلیمی (چانگی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱: ۲۶۳)، و برآورد میزان تغذیه سفرهای آب

<sup>۱</sup>. Ekstrom, et.al,

<sup>۲</sup>. Steele-Dunne, et.al,

<sup>۳</sup>. Charlton and Arnell

<sup>۴</sup>. Chungi

زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج (رضایی‌بنفشه و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۹) مورد استفاده قرار گرفته است.

حوضه آبریز دریاچه ارومیه یکی از مهمترین حوضه‌های آبریز کشور است که در سال‌های اخیر دچار تنش‌های فراوانی شده و نوسانات ورودی آب دریاچه، گستره آن را بسیار بحرانی نموده است. این امر باعث شده شرایط و علل این روند به یکی از مهمترین موضوعات پژوهشی جامعه علمی کشور تبدیل گردد.

بررسی اثر تغییر اقلیم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، و شرایط اقلیمی آینده آن نشان داد که روند بارش، دمای حداکثر، دمای حداقل و میانگین دمای سالانه در مقیاس زمانی بلندمدت، تحت تأثیر روند تغییر اقلیم در قرار گرفته است (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۱). بارش سالانه ایستگاه تبریز روند کاهشی، دمای حداکثر، دمای حداقل و میانگین سالانه روند افزایشی و در ایستگاه ارومیه بارش سالانه، دمای حداکثر، دمای حداقل و میانگین دمای سالانه روند کاهشی را نشان می‌دهند (جهانبخش اصل و همکاران؛ ۱۳۹۱). همچنین با استفاده از سناریوهای A1B، B1، و A2 و با مدل ریزمقیاس Lars-WG و مدل هیدرولوژی شبکه عصبی مصنوعی، مشخص شد که افزایش ۲/۳ درجه دمای متوسط سالانه و کاهش ۳ درصدی بارش سالانه از اواسط قرن در استان آذربایجان غربی اتفاق خواهد افتاد (ضرغامی و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۳۷). همچنین بررسی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه‌رود نشان داد که پدیده تغییر اقلیم، کاهش ۴۰ درصدی بارش ماهانه و افزایش ۲ درجه-ای دما و کاهش ۲۵ درصدی منابع آبی در حوضه سیمینه‌رود را در پی داشته است (رضایی‌زمان و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۲۵۹).

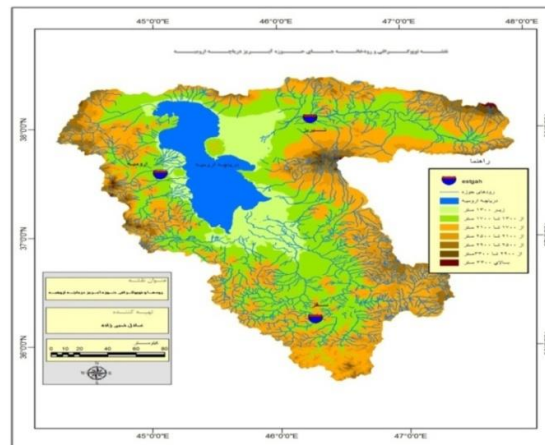
بنابراین مخاطرات زیست محیطی متعدد و حاد، در کنار نگرانی‌ها و توجهات اخیر نظام مدیریت کلان کشور به امر جلوگیری از نابودی دریاچه ارومیه به عنوان یک میراث طبیعی ملی و بین‌المللی در شمال غرب ایران و نیز توجه جامعه جهانی به آن به عنوان یک میراث زیست محیطی جهانی از جمله ضرورت‌های اساسی در پرداختن به روند تغییرات پارامترهای اقلیمی این حوضه آبریز می‌باشد.

## مواد و روش

حوضه آبریز دریاچه ارومیه دارای مختصات جغرافیایی ۴۴ تا ۴۷ درجه طول شرقی و ۳۵ تا ۳۷ درجه عرض شمالی می‌باشد. میانگین ارتفاع آن از سطح دریاهای آزاد ۱۲۷۵ متر است (شکل ۱). طول دریاچه ارومیه بین ۱۳۰ تا ۱۴۶ کیلومتر و عرض آن در عریض‌ترین قسمت ۵۸ کیلومتر و در کم عرض‌ترین قسمت (مقابل شبه جزیره اسلامی) ۱۵ کیلومتر است (شاهنقی و همکاران، ۱۳۸۹). مساحت حوضه آبریز دریاچه ارومیه که بزرگ‌ترین دریاچه داخلی کشور نیز می‌باشد، حدود ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع است. این دریاچه شورترین دریاچه دائمی ایران و یکی از دریاچه‌های فوق‌اشباع از نمک دنیا چون سالت لیک (Salt Lake) در آمریکا و بحرالمت در فلسطین اشغالی می‌باشد.

سمینوف و بارو کارایی دو مدل لارس و WGEN را در ۱۸ ایستگاه سینوپتیک آمریکا، اروپا و آسیا بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مدل لارس در مقایسه با WGEN نتایج بهتری تولید می‌کند (سمنوف و بارو<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸). اگرچه کریمی و قاسمی (۱۳۹۶: ۳۴۱) در ارزیابی توانایی مدل‌های ریزگردانی آماری، مدل SDSM را مناسب تر تشخیص دادند ولی گوردزی و همکاران (۱۳۹۴: ۱۱) در ارزیابی این دو مدل در حوضه دریاچه ارومیه برتری خاصی را نشان ندادند. با توجه به داده‌های در دسترس مدل لارس برای انجام این تحقیق انتخاب گردیده است. گرچه مدل‌های متنوع گردش عمومی (GCMS) وجود دارد اما مدل HadCM<sup>۳</sup> بیش از همه در مطالعات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته است (خورانی و جمالی، ۱۳۹۵: ۱۱۵؛ صلاحی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۷۵؛ خسروانیان و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۳) به همین علت در این تحقیق نیز از داده‌های خروجی این مدل استفاده گردیده است.

<sup>۱</sup> Semenov & Barrow



شکل ۱- توپوگرافی و رودخانه‌های حوزه آبریز دریاچه ارومیه

نسخه اولیه مدل Lars-WG توسط راسکو و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۱ در بوداپست مجارستان به عنوان بخشی از پروژه ریسک‌های کشاورزی ابداع شد و سپس توسط سمینوف و بارو ارتقاء یافت. لارس یک مدل تصادفی تولید داده‌های هواشناسی است که برای شبیه‌سازی و تولید داده‌های هوا در یک نقطه مورد استفاده قرار می‌گیرد (شاه کرمی، و همکاران، ۱۳۸۶). اساس این مدل بر سری زمانی داده‌های گذشته ایستگاه مورد مطالعه و برآیند تغییرات آب‌وهوایی و سناریوهای گرمایش جهانی در آینده می‌باشد. داده‌های استفاده شده در این مدل بر اساس سری زمانی داده‌های روزانه می‌باشد. بر این اساس، داده‌های روزانه مورد نیاز در مدل عبارتند از: بارش (mm)، کمینه و بیشینه دما، و تابش خورشیدی (در صورتی که داده‌های تابش در دسترس نباشد، می‌توان از داده‌های ساعت آفتابی به عنوان ورودی مدل استفاده نمود). در این مدل برای طول دوره روزهای تر و خشک، بارش روزانه و تابش از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌شود (اکسترم و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۱۳).

مکانیسم عمل مدل به این صورت است که در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که در برگیرنده رفتار اقلیم پایه می‌باشد، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق رابطه ۱:

<sup>۱</sup> Rasko, et.al,

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{fut(GCM)} - F_{base(GCM)}) \quad (1)$$

محاسبه می کند. در این رابطه fut آینده و obs گذشته می باشد. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن ها را مطابق رابطه ۲:

$$STD_{fut} = \frac{STD_{obs}}{STD_{base(GCM)}} \times STD_{fut(GCM)} \quad (2)$$

تغییر می دهد. خروجی های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می باشد.

سناریوی A<sub>2</sub> که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته یک سناریوی منطقه ای می باشد و بر اساس این واقعیات که در منطقه اکثر کشورها در حال توسعه صنعتی بوده و یک منطقه ویژه با مصرف انرژی بالاست مناسب تر از سناریو های خانواده B که خوشبینانه و بر اساس کنترل های اعمال شده در توسعه شتابناک و مصرف سوخت و همچنین سناریو A<sub>1</sub> که تمام دنیا را در موضوعات بالا همگرا و یکپارچه در نظر می گیرد تشخیص داده شده است (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی های مدل گردش عمومی HadCM<sub>3</sub> و سناریوی انتشار A<sub>2</sub> (IPCC, ۲۰۰۷)

نام مدل	گروه مؤسس	قدرت تفکیک جوی	قدرت تفکیک اقیانوسی
مدل HADCM <sub>3</sub>	UK Met, Office	۲,۷۵° × ۳,۷۵°	۱,۲۵° × ۱,۲۵°
سناریوی A <sub>2</sub>	رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد نا همگن و همسو با شرایط منطقه ای در سراسر جهان		

به منظور مقایسه داده های دیده بانی و تولید شده توسط مدل از آزمون های آماری و نمودارهای مقایسه ای استفاده گردید. مقایسه آماری این داده ها برای ۴ پارامتر مذکور و خصوصیات آماری آن ها شامل میانگین ماهانه، انحراف معیار، خطاهای نسبی مقادیر متوسط، خطاهای نسبی انحراف معیار و میزان همبستگی و دیگر آزمون ها (T-test) تهیه شدند.

در این پژوهش از ایستگاه‌های سینوپتیک سقز، ارومیه و تبریز در سه استان کردستان، آذربایجان غربی و شرقی که دارای آمار طولانی مدت بودند، استفاده شده است. دوره آماری ۱۹۸۰ - ۲۰۰۹ میلادی به عنوان دوره پایه لحاظ گردیده است. داده‌های آماری این دوره بعنوان داده‌های مشاهداتی با مدل Lars-WG ریزمقیاس نمایی شد و برای دوره زمانی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) اثرات تغییر اقلیم بر روند پارامترهای هواشناسی مذکور پیش بینی گردید (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	دوره آماری
ارومیه	۳۷° ۳۳' N	۴۵° ۴' E	۱۳۶۳ متر	۱۹۸۰-۲۰۰۹
تبریز	۳۸° ۷' N	۴۶° ۲۰' E	۱۳۴۵ متر	۱۹۸۰-۲۰۰۹
سقز	۳۶° ۱۴' N	۱۶° ۴۶' E	۱۵۰۰ متر	۱۹۸۰-۲۰۰۹

به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، داده‌های روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه، شامل دما (کمینه و بیشینه) و بارش و ساعات آفتابی در دوره آماری مذکور به مدل داده شد و بر اساس این داده‌ها یک سناریوی حالت پایه ( $A^2$ ) به عنوان سناریوی حد واسطه مدل گردش عمومی جو ( $HadCM^3$ )، که با واقعیات جغرافیایی منطقه همخوانی دارد، برای بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۱-۲۰۴۰) ایستگاه‌های مورد مطالعه بصورت روزانه تدوین گردید.

### یافته‌ها و بحث

ارزیابی مدل از طریق مقایسه داده‌های دوره مشاهداتی و داده‌های تولید شده توسط مدل با استفاده از محاسبه ضریب همبستگی ( $R$ ) و شاخص‌های ارزیابی، میانگین مجذور مربعات خطا ( $RMSE$ ) و میانگین خطای مطلق ( $MAE$ ) صورت گرفت (جدول ۳).

مقدار ضریب همبستگی بالایی درمورد همه متغیرها ( $R = 0.99$ ) به دست آمد. شاخص‌های ارزیابی از جمله میانگین خطای مطلق، میانگین انحراف خطا و میانگین مربعات خطا نیز



کوچک بودند. که بیانگر اختلاف اندک بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در طول دوره آماری توسط مدل است (جدول ۳).

جدول ۳- ارزیابی مدل در دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۰) با استفاده از آماره های ارزیابی

متغیر	بارندگی	حداکثر دما	حداقل دما	ساعات آفتابی
R	۰,۹۹	۰,۹۹	۰,۹۹	۰,۹۹
RMSE	۰,۳۹۴۴	۰,۸۳۵	۰,۶۳۲۲	۰,۵۲۵۵
MAE	۰,۳۷۶۶	۰,۷۳۷	۰,۹۲۵۵	۰,۵۱۳۳

نتایج t-test مدل نیز در آزمون پیش‌بینی همه متغیرها در تمام ماه‌ها بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده‌شده با مقادیر پیش‌بینی شده در سطح احتمال ۵ درصد است (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر t-test محاسباتی مدل برای صحت‌سنجی در سطح احتمال ۵ درصد

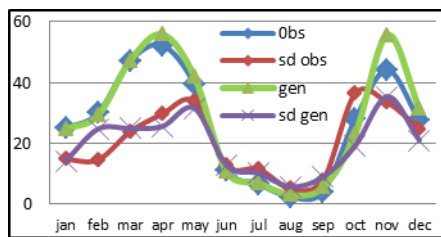
ایستگاه	ایستگاه ارومیه				ایستگاه تبریز				ایستگاه سفز			
	بارش	تابش	دمای حداقل	دمای حداکثر	بارش	تابش	دمای حداقل	دمای حداکثر	بارش	تابش	دمای حداقل	دمای حداکثر
ژانویه	۰,۰۹۴	۰,۰۴۴	۰,۱۰۶	۰,۱۰۶	۰,۰۵۲	۰,۰۴۴	۰,۱۰۶	۰,۱۰۶	۰,۰۸۶	۰,۰۴۴	۰,۱۰۶	۰,۱۰۶
فوریه	۰,۰۴۱	۰,۱۳۱	۰,۰۵۳	۰,۱۵۸	۰,۰۸۵	۰,۰۸۷	۰,۱۰۶	۰,۰۵۳	۰,۰۴۸	۰,۰۴۴	۰,۱۰۵	۰,۱۰۶
مارس	۰,۰۸	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۱۰۶	۰,۰۴۹	۰,۰۴۴	۰,۱۰۶	۰,۰۵۳	۰,۰۵۹	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۰۵۳
آوریل	۰,۰۵۵	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۰۵۳	۰,۰۵۱	۰,۰۴۴	۰,۱۰۵	۰,۰۵۳	۰,۰۶۳	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۱۰۶
می	۰,۰۵۹	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۰۵۳	۰,۰۳۵	۰,۰۴۴	۰,۱۰۵	۰,۰۵۳	۰,۰۵۸	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۰۵۳
ژوئن	۰,۰۷۹	۰,۱۳۱	۰,۱۰۵	۰,۱۰۶	۰,۱۵۳	۰,۰۸۷	۰,۱۰۵	۰,۰۵۳	۰,۱۵۲	۰,۱۳۱	۰,۰۵۳	۰,۰۵۳
جولای	۰,۱۱۹	۰,۰۸۷	۰,۱۰۵	۰,۰۵۳	۰,۰۹۳	۰,۰۴۴	۰,۱۰۵	۰,۰۵۳	۰,۰۷۹	۰,۰۸۷	۰,۱۰۶	۰,۱۰۶
آگوست	۰,۲۳۵	۰,۰۴۴	۰,۱۰۶	۰,۱۵۸	۰,۲۳۴	۰,۰۸۷	۰,۱۵۸	۰,۱۵۸	۰,۲۶۱	۰,۱۳۱	۰,۰۵۳	۰,۱۰۶
سپتامبر	۰,۱۲۷	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۱۰۶	۰,۱۳۸	۰,۰۸۷	۰,۱۰۶	۰,۱۰۶	۰,۱۷۴	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۱۰۶
اکتبر	۰,۰۵۷	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۰۵۳	۰,۰۵۱	۰,۰۴۴	۰,۰۵۳	۰,۰۵۳	۰,۰۹۵	۰,۰۴۴	۰,۱۰۶	۰,۰۵۳

۰,۰۵۳	۰,۰۵۳	۰,۰۴۴	۰,۰۲۱	۰,۰۵۳	۰,۰۵۳	۰,۰۴۴	۰,۰۷۴	۰,۰۵۳	۰,۰۵۳	۰,۰۴۴	۰,۰۷۴	نوامبر
۰,۰۵۳	۰,۰۵۳	۰,۰۴۴	۰,۰۴۱	۰,۱۰۶	۰,۱۰۶	۰,۰۸۷	۰,۰۳۸	۰,۱۰۶	۰,۰۵۳	۰,۰۸۷	۰,۰۴۷	دسامبر

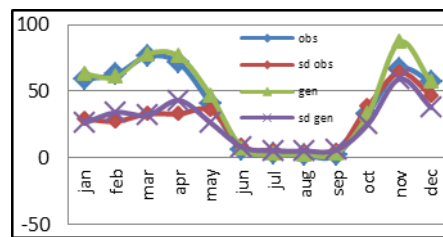
### بارندگی

مقایسه میانگین بارش ماهانه دوره مشاهداتی (۲۰۰۹-۱۹۸۰) و دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۱۱) شکل (۲ تا ۴).

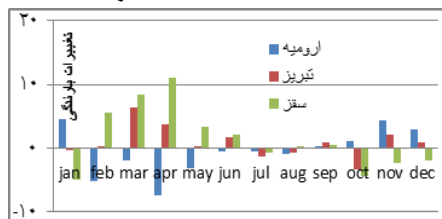
اگرچه اختلاف و خطای بیشتری نسب به دما وجود دارد، اما مقادیر p-value آزمون t نشان داد که مدل لارس توانایی بالایی در شبیه‌سازی داده‌های بارش همانند دما دارد.



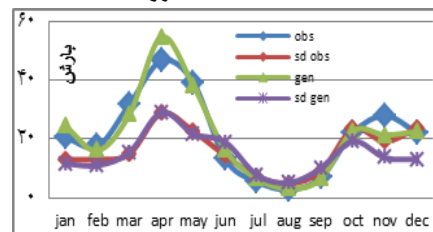
شکل ۳- مقایسه میانگین بارندگی (mm) ماهانه ایستگاه سقر



شکل ۲- مقایسه میانگین بارندگی (mm) ماهانه ایستگاه ارومیه



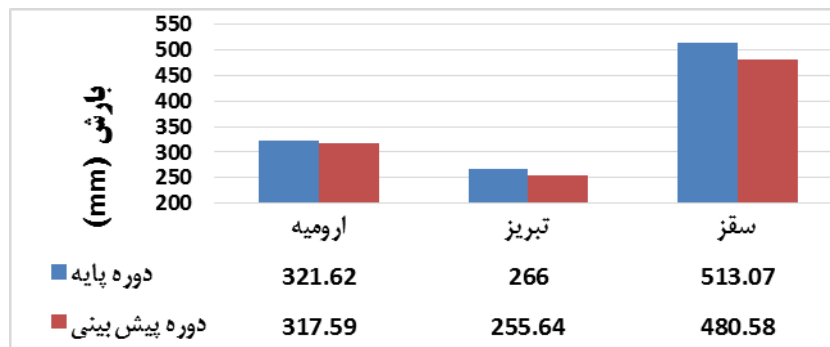
شکل ۵- مقایسه درصد تغییرات بارندگی ماهانه ایستگاه-ها (۲۰۴۰-۲۰۱۱)



شکل ۴- مقایسه میانگین بارندگی (mm) ماهانه ایستگاه تبریز

پیش‌بینی بارندگی در دوره آینده حکایت از افزایش اندک بارش در ایستگاه ارومیه در فصل پاییز بخصوص ژانویه (۴/۶۲٪) و کاهش بارش در دیگر ماه‌ها بویژه آوریل به میزان (۷/۴۹٪) دارد اما در ایستگاه تبریز بیشترین افزایش مربوط به مارس به میزان (۶/۴٪) و بیشترین کاهش مربوط به اکتبر به میزان (۳/۳٪-) است. در ایستگاه سقر دامنه تغییرات

بیشتر بوده بطوریکه بیشترین افزایش بارش در فروردین به میزان (۱۱/۱۳٪) و بیشترین کاهش در فصل پاییز و اوایل زمستان بخصوص در ژانویه به میزان (۴/۹۳٪) پیش‌بینی شده است (شکل ۵).

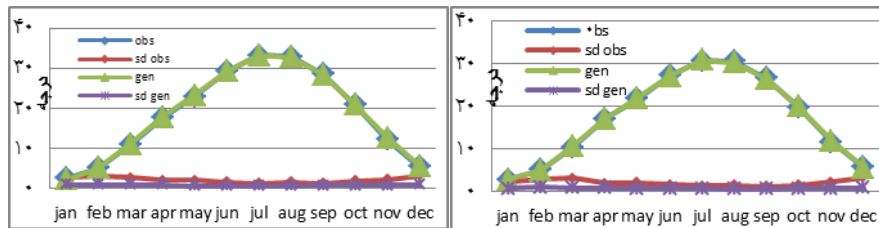


شکل ۶- مقایسه مجموع بارندگی سالانه‌ی ایستگاه‌ها تحت سناریوی A۲

در کل متوسط بارش سالانه در دوره آینده روند کاهشی را نشان می‌دهد. براساس پیش‌بینی، بارش دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۴۰) در ایستگاه تبریز با ۲۵۵/۶۴ میلی‌متر در مقابل بارش دوره مشاهداتی (۲۶۶ میلی‌متر)، ۴٪ کاهش را نشان می‌دهد. این کاهش در ایستگاه سقز و ارومیه به ترتیب برابر با ۶/۳ و ۱/۲۵ درصد بوده است (شکل ۶). براساس مدل HadCM۳ تحت سناریوی A۲ بطورکلی در بارش سالانه روند کاهشی در ایستگاه‌های مورد مطالعه شاهد خواهیم بود. مقدار کاهش به ترتیب در ایستگاه ارومیه ۴، تبریز ۱۰/۳۶ و در ایستگاه سقز ۳۲،۴۹ میلی‌متر پیش‌بینی گردیده است.

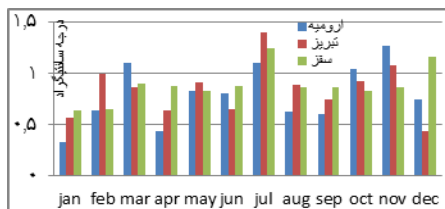
### دمای حداکثر

بین پیشینه دمای دوره مشاهداتی و مدل تطابق بسیار خوبی وجود دارد و انحراف معیار پایین آن حاکی از دقت بالای مدل دارد (شکل‌های ۷ تا ۹).

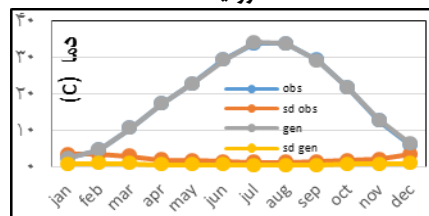


شکل ۸- مقایسه دمای حداکثر ماهانه ایستگاه تبریز

شکل ۷- مقایسه دمای حداکثر ماهانه ایستگاه

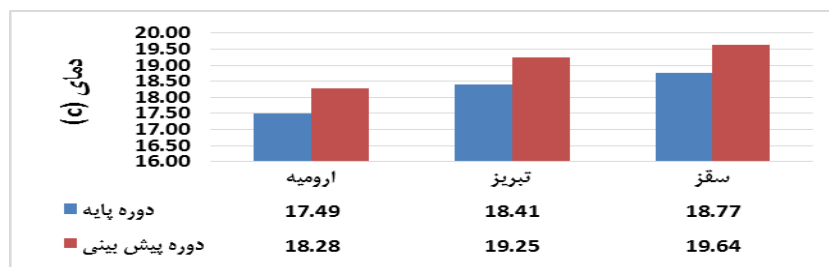


شکل ۱۰- مقایسه تغییرات میانگین دمای حداکثر ایستگاهها



شکل ۹- مقایسه دمای حداکثر ماهانه ایستگاه سقز

دمای حداکثر در تمامی ماه‌ها در کلیه ایستگاه‌ها روندی افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). در مجموع می‌توان نتیجه گرفت در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ شاهد افزایش دمای حداکثر در تمام ایام سال خواهیم بود، بطوریکه به ترتیب بیشترین افزایش دمای حداکثر در ایستگاه ارومیه در ماه نوامبر به میزان ۱/۲۷، ایستگاه تبریز در جولای ۱/۳۹ و در ایستگاه سقز نیز در جولای به میزان ۱/۲۴ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی گردیده است.

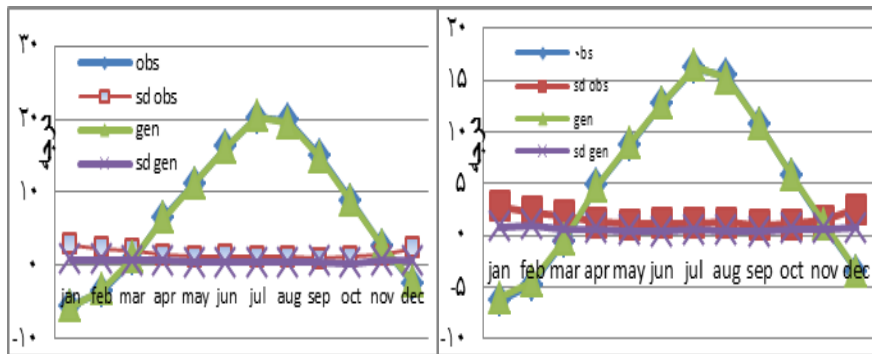


شکل ۱۱- مقایسه میانگین دمای حداکثر ایستگاه‌ها تحت سناریوی A۲

میانگین دمای حداکثر در هر سه ایستگاه ارومیه، تبریز و سقز روند افزایشی خواهد داشت (شکل ۱۱) که این افزایش در ایستگاه ارومیه (۰/۷۹) درجه، در ایستگاه تبریز و سقز به ترتیب (۰/۸۴) و (۰/۸۷) درجه سانتی گراد، تحت سناریوی A<sup>۲</sup> با مدل HadCM<sup>۳</sup> پیش‌بینی شده است.

### دمای حداقل

بین دمای حداقل دوره مشاهداتی (۲۰۰۹-۱۹۸۰) و دوره شبیه‌سازی شده (۲۰۴۰-۲۰۱۱) نیز تطابق مناسبی وجود دارد و انحراف معیار آنها پایین می‌باشد (شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴). همان‌طور که در شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود دمای حداقل در تمامی ماه‌ها در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی خواهد داشت. بیشترین افزایش در ایستگاه ارومیه در فوریه به میزان ۱/۳۵ درجه، در ایستگاه تبریز در جولای به میزان ۱/۳۷ درجه و در ایستگاه سقز در ماه‌های فوریه، مارس و جولای به ترتیب به میزان (۱/۲۹، ۱/۳ و ۱/۲۹) درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است.

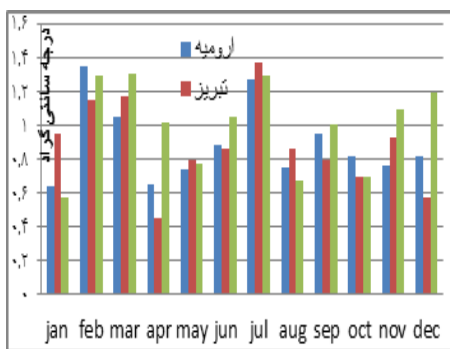


شکل ۱۳- مقایسه دمای حداقل ماهانه ایستگاه

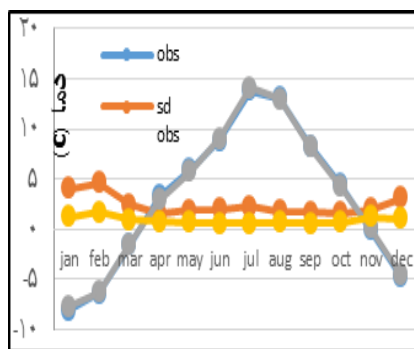
تبریز

شکل ۱۲- مقایسه دمای حداقل ماهانه ایستگاه

ارومیه

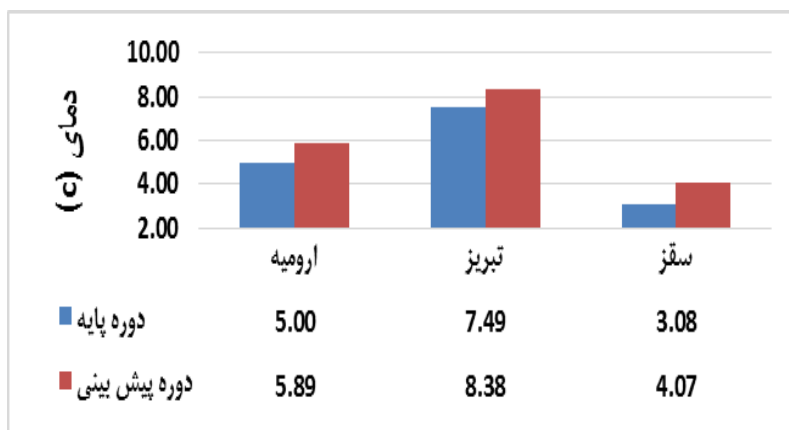


شکل ۱۵- مقایسه تغییرات میانگین دمای حداقل در ایستگاهها



شکل ۱۴- مقایسه دمای حداقل ماهانه ایستگاه سقز

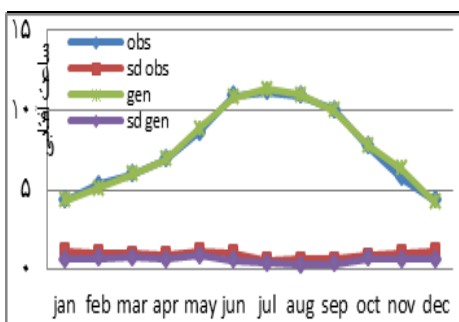
میانگین دمای حداقل در کلیه ایستگاههای مورد مطالعه روند افزایشی دارد که این افزایش در ایستگاه ارومیه (۰/۸۹) درجه، در ایستگاه تبریز به میزان (۰/۸۸) درجه و در ایستگاه سقز به میزان (۱) درجه سانتی گراد پیش‌بینی شده است (شکل ۱۶).



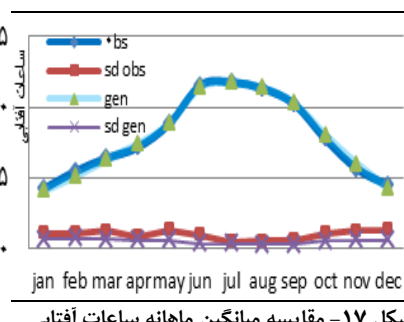
شکل ۱۶- تغییرات میانگین دمای حداقل تحت سناریوی A۲

### ساعات آفتابی

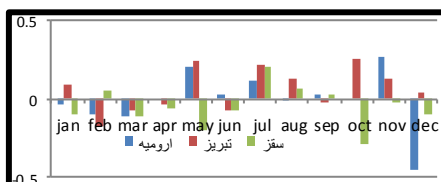
تغییرات اندکی بین دوره مشاهداتی و پیش‌بینی شده در میانگین ساعات آفتابی در ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود (شکل‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹). بیشترین افزایش و کاهش ساعات آفتابی در ایستگاه ارومیه به ترتیب در نوامبر و دسامبر (۰/۲۷) و (۰/۴۶-)، در ایستگاه تبریز در اکتبر (۰/۲۶) و فوریه (۰/۱۸-) و در ایستگاه سقز در جولای (۰/۲۱) ساعت و در اکتبر (۰/۳-) ساعت می‌باشد، ولی در مجموع تغییرات ساعات آفتابی بسیار اندک و جزئی است (شکل ۲۰).



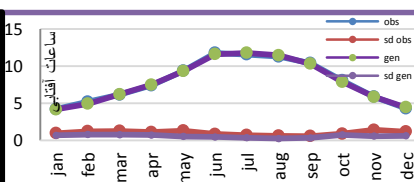
شکل ۱۸- مقایسه میانگین ماهانه ساعات آفتابی در ایستگاه تبریز



شکل ۱۷- مقایسه میانگین ماهانه ساعات آفتابی در ایستگاه ارومیه



شکل ۲۰- مقایسه تغییرات میانگین ماهانه ساعات آفتابی در ایستگاه‌ها



شکل ۱۹- مقایسه میانگین ماهانه ساعات آفتابی در ایستگاه سقز

## نتیجه گیری

به منظور بررسی اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر عناصر اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه از داده‌های ایستگاهی (تبریز، ارومیه و سقز) و خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریو انتشار منطقه‌ای A2 استفاده شد. نتایج حاصل از کاربرد مدل ریزمقیاس نمایی آماری Lars-WG نشان داد که دمای بیشینه در کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه (در هر سه ایستگاه) روندی افزایش خواهد داشت و دمای کمینه در کل حوضه با افزایش تا حدود ۱/۵ درجه مواجه خواهد شد و بیشترین افزایش مربوط به فصل تابستان خواهد بود (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۰۶) که با نتایج قبلی (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۱ و ضرغام و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۳۷) هم‌خوانی دارد. همچنین میزان بارندگی در مجموع در حوضه بین ۱/۲۵ تا ۶ درصد کاهش خواهد یافت که در تحقیقات (بهمنش و آزاد طلاتپه، ۱۳۹۴: ۵۳؛ رضایی بنقشه و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۳؛ رضایی بنقشه و جلالی، ۱۳۹۷: ۵۹) اشاره شده است. می‌توان گفت که روند کلی دما در حوضه آبریز دریاچه ارومیه افزایشی ولی بارش کاهش خواهد بود. این تغییرات دمایی و بارشی می‌تواند منجر به افزایش تبخیر و تعرق و کاهش ورودی دریاچه و همچنین تغذیه سفره‌های زیرزمینی گردد (رضایی بنقشه و جلالی، ۱۳۹۷: ۶۰)، که این شرایط بیابان آبی دریاچه را دستخوش تغییرات شدیدتر از شرایط فعلی خواهد نمود.

**سپاسگزاری:** با تشکر از دفتر مطالعات استانداری آ.غربی، مدیریت منابع آب منطقه‌ای استان آ.غربی و مرکز تحقیقات کاربردی هواشناسی ارومیه که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند.



## منابع

- بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا، (۱۳۸۹)، تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره‌ی ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM، *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، شماره ۱۵، صص ۱-۲۰.
- بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا، زابل عباسی، فاطمه، حبیبی نوخندان، مجید، ادب، حامد، ملبوسی، شراره، (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی مدل ECHO-G، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۶، صص ۱۳۵-۱۵۲.
- بهمنش، جواد، آزاد طلائی، نسرین، (۱۳۹۴)، بررسی تغییرات پارامترهای هواشناسی موثر بر اقلیم ارومیه، *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۱۹، ش ۵۱، صص ۴۱-۵۸.
- جهانبخش اصل، سعید، قاسمی بگناش، علی، طالشی، عبدالله، (۱۳۹۱)، مطالعه روند تغییر اقلیم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از تحلیل‌های آماری چندمتغیره، *پنجمین کنگره بین-المللی جغرافیدانان اسلام*، تبریز، دانشگاه تبریز.
- خسروانیان، جهانتاب، اونق، مجید، گودرزی، مسعود، حجازی، سید اسداله، (۱۳۹۴)، کاربرد مدل Lars-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو استان گلستان، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۹، ۵۳، صص ۹۳-۱۱۵.
- خورانی، اسداله، جمالی، زهرا، (۱۳۹۵)، اثر تغییر اقلیم بر شدت و مدت خشکسالی در ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک (بندر عباس) تحت مدل HadCM3، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۰، ۵۷، صص ۱۱۵-۱۳۱.
- رضایی بنفشه، مجید، جلالی، طاهره، (۱۳۹۷)، بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴، ش ۶۴، صص ۵۹-۷۹.
- رضایی بنفشه، مجید، سرافروزه، فاطمه، جلالی، طاهره، (۱۳۹۰)، بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۷، ش ۳۷، صص ۴۳-۷۴.

-رضایی‌زمان، مصطفی، مرید، سعید، دلاور، مجید، (۱۳۹۲)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود، *نشریه آب‌و‌خاک علوم و صنایع کشاورزی*، ۲۷، شماره ۶، صص ۱۲۴۷-۱۲۵۹.

-سبحانی، بهروز، اصلاحی، مهدی، بابائیان، ایمان، (۱۳۹۴)، کارایی الگوهای ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و Lars-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی درحوضه آبریز دریاچه ارومیه، *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷، شماره ۴، صص ۴۹۹-۵۱۶.

-شاه‌کرمی، نازنین، مساح‌بوانی، علیرضا، مرید، سعید، فهمی، هدایت، (۱۳۸۶)، تحلیل عدم قطعیت مدل‌های جفت‌شده اقیانوس-اتمسفر-گردش عمومی جو بر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی در حوضه زاینده‌رود، *کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب*.

-شاهنقی، نغمه، (۱۳۸۹)، ارزیابی اثرات پدیده تغییر اقلیم در برآورد نیاز آبی پتانسیل (مطالعه موردی: دشت گیلان و مشهد) پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

-صلاحی، برومند، عالی‌جهان، مهدی، عینی، سعیده، درخشی، جعفر، (۱۳۹۶)، پیش‌بینی تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان‌های سبک و سنگین استان کرمانشاه بر اساس برونداد مدل‌های اقلیمی Bcm۳ و HadCM۳ با بهره‌گیری از ریزگردان Lars-WG، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۱، صص ۱۷۵-۱۹۵.

-کریمی، مصطفی، قاسمی، الهه، (۱۳۹۶)، بررسی پدیده تغییر اقلیم با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۱، ش ۶۱، صص ۳۴۱-۳۶۱.

-کوچکی، علیرضا، نصیری، مهدی، بداغ‌جمالی، جواد، مرعشی، حسن، (۱۳۸۵)، مطالعه اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های رشد و عملکرد گندم دیم رقم سرداری با استفاده از مدل گردش عمومی جو، *مجله علوم و صنایع کشاورزی*، ۲۰، شماره ۷، صص ۸۳-۹۵.

-گوردزی، مسعود، صلاحی، برومند، حسینی، سید اسعد، (۱۳۹۴)، ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی Lars-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، *فصلنامه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، انتشارات انجمن آبخیزداری ایران، ۳۱، صص ۱۱-۲۲.

- هوشیار، محمود، سبحانی، بهروز، حسنی، سید اسد، (۱۳۹۷)، چشم انداز تغییرات دماهای حداکثر ارومیه با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل CanESM۲، *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۳، ش ۶۳، صص ۳۰۵-۳۲۵.
- Chung, S.O., Rodriguez-diaz, J. A., weatherhead, E. K., Knox, J. W., (۲۰۱۱), climate change impacts on water for irrigating paddy rice in south Korea, *Irrigation and Drainage*, ۶۰, ۲, pp ۲۶۳-۲۷۳.
- Charlton, Matthew and Arnell, Nigel, (۲۰۱۱), Adapting to Climate Change Impacts on Water Resources in England, An Assessment of Draft Water Resources Management Plans, *Global Environmental Change*, ۲۱, pp ۲۳۸-۲۴۸.
- Ekstrom, M, Fowler, HJ, Kilsby, CG and Jones, PD, (۲۰۰۵), new estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations.۲, Future estimations and use in impact studies, *J. Hydrology*, ۳۰۰, pp ۲۱۲-۲۳۳.
- IPCC, (۲۰۰۷), Climate Change ۲۰۰۷: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, ۹۷۶pp.
- Semenov, M.A., (۲۰۰۸), Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, *Climate Research*, ۳۵, ۲۰۳-۲۱۲.
- Semenov, M.A., Barrow, E.M., (۲۰۰۲), LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version۳,۰.
- Steele-Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, S., Hanafin, J., Nolan, P, (۲۰۰۸), The impacts of climate change on hydrology in Ireland, *J. Hydrology*, ۳۵۶, pp ۲۸-۴۵.

-Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hasanzadeh, Y., Kanani, R., (۲۰۱۱), Impacts of climate change on runoffs in east Azerbaijan, Iran, *Global and Planetary Change*, ۷۸, ۳-۴, pp ۱۳۷-۱۴۶.