

بررسی تغییرات دماهای کمینه در شمالغرب کشور با استفاده از ریزمقیاس گردانی آماری خروجی مدل‌های جهانی MPEH5 و HadCM3

ناصر جعفر بیگلوی^۱

علی محمد خورشید دوست^۲

مجید رضایی بنفشه^۳

هاشم رستم زاده^۴

چکیده

پیش‌بینی تغییرات دماهای کمینه 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 محصولات کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این راستا مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) طراحی شده‌اند که می‌توانند پارامترهای اقلیمی را شبیه‌سازی نمایند. در مطالعه حاضر داده‌های خروجی دو مدل گردش عمومی HadCM3 و MPEH5 براساس دو سناریوی A2 و B1، توسط مدل آماری LARS-WG در ۲۱ ایستگاه سینوپتیک واقع در شمال غرب کشور ریزمقیاس گردانی شد و نتایج حاصل از آن بصورت ماهانه و دوره‌ای در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و دهه ۲۰۵۰ (۲۰۶۵-۲۰۴۶) برای دمای کمینه 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 همچنین ضریب تعیین (R^2) پرداخته شد و مدل برای منطقه مناسب ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که مقدار دمای کمینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه در منطقه شمال غرب افزایش خواهد یافت. این مقدار افزایش دمای هوا در سطح منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل‌های HadCM3 و MPEH5 به طور متوسط، $1/9$ و $1/7$ درجه سانتی گراد تا افق ۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه خواهد بود. نیمه شمالی منطقه شمال غرب ایران از تغییرات دمایی بالاتری نسبت به مناطق نیمه جنوبی برخوردار خواهد بود. در واقع مناطق سردسیرتر عرض‌های بالا، با تغییرات افزایشی بیشتری در مقدار دماهای کمینه مواجه خواهند شد. نتایج و دستاوردهای این تحقیق برای برنامه‌های بلند مدت در جهت اقدامات سازگارانه در مدیریت باغهای میوه، تولیدات کشاورزی و مدیریت منابع آبی حائز اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، شمال غرب، دمای کمینه، ریزمقیاس گردانی، LARS-WG

مقدمه

فرین‌های اقلیمی همیشه چالش‌های جدی برای جوامع بشری بوده است. تغییرات در رخدادهای فرین اقلیمی، بر روی سیستم‌های طبیعی و اقتصادی - اجتماعی تأثیرگذار بوده و تغییرات آینده‌ای که در ارتباط با گرمایش جهانی رخ خواهد، چالش‌های بیشتری را به وجود خواهد آورد (کارل^۵ و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۱۰). در طول چند دهه گذشته، شدت و افزایش فزاینده‌ای در مخاطرات طبیعی در سراسر جهان با پیامدهای اجتماعی - اقتصادی سخت، به ویژه در کشورهای در حال توسعه رخ داده است. کشاورزی به عنوان یکی از مهم‌ترین

^۱ دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

Email: n.begloo53@yahoo.com – Tel: 09124821104

^۲ استاد گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

^۳ استاد گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

^۴ استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

بخش‌های اقتصادی، شدیداً تحت تاثیر مخاطرات اقلیمی قرار دارد (سیویا کومار^۱ و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۲). تغییرات در رخدادهای فرین اقلیمی می‌تواند جوامع انسانی، بوم‌نظام‌ها و حیات وحش را به طرق مختلف تحت تأثیر قرار بدهد. دماهای کمینه یکی از این فرین‌های اقلیمی با پیامدهای چندگانه محسوب می‌شوند (میل^۲ و همکاران، ۲۰۰۴: ۴۹۵). در واقع آب و هوا یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدود کننده تولید کشاورزی محسوب می‌شود، یا به تعبیری دیگر، خطر یخبندان در طول دوره رشد، بارش کم و نامنظم و خشکسالی در زمان کاشت، معمول‌ترین محدودیت‌های در کشاورزی محسوب می‌شوند (مونن^۳، ۲۰۰۲: ۱۳). یکی از بخش‌های مهم در کشاورزی، باغبانی و پرورش درختان میوه است که نقش مؤثری در اقتصاد کشور ایفا می‌نماید. ایران در زمره ۱۰ کشور عمده تولید محصولات باغی در جهان است (گنجی مقدم، ۱۳۸۹: ۷). در بخش کشاورزی با وجود پیشرفت‌های آن در سال‌های اخیر، متأسفانه تولید کنندگان این بخش، هنوز هم از امنیت اقتصادی بایسته، بهره‌مند نیستند. در این زمینه، یکی از علت‌های برجسته شرایط طبیعی و اقلیمی کشور است که سرمایه گذاری را در این بخش با تهدید جدی روبه‌رو ساخته است (حبیب‌الهی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۳). با توجه به تأثیر پذیری غیر قابل انکار گیاهان زراعی از تغییرات اقلیمی هر منطقه، شناخت این ویژگی‌ها و خصوصیات در هر منطقه به برنامه‌ریزان و کشاورزان آن منطقه کمک می‌نماید (کوزه‌گران، ۱۳۸۸، ۱۵). شرایط آب و هوایی، از مهم‌ترین مسائل در تعیین عملکرد و بهره‌وری محصولات کشاورزی به شمار می‌رود. در این میان، یکی از عامل‌های بلایای طبیعی که هر ساله به محصولات کشاورزی ایران خسارت وارد می‌کند، عوامل یا پارامترهای دمایی است. در این میان نیز، سرما و یخبندان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (فلاح‌قاله‌ری و احمدی، ۱۳۹۴: ۸۱). برای ارزیابی تغییرات اقلیمی مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs) 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 (شائمی و حبیبی‌نوخندان، ۱۳۸۸: ۳۴). کارل^۴ و همکاران (۱۹۹۳) به بررسی اثرات گرمایش جهانی بر روند تغییرات دمای کمینه و بیشینه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که یکی از اثرات عمده تغییرات آب و هوا و گرمای جهانی به صورت افزایش کمینه‌های دما ظاهر خواهد شد. جل‌استروم^۵ و همکاران (۲۰۰۱) مدلسازی فرین‌های دمایی در دوره گذشته و دوره آینده تحت شرایط تغییر اقلیم در اروپا را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که در دوره گذشته روند افزایشی در وضعیت دمای هوا بخصوص دماهای کمینه وجود دارد. در دوره آینده براساس سناریوهای بدبینانه و خوشبینانه، تغییرات افزایشی در مقدار دمای هوا رخ خواهد داد. در این راستا خان^۶ و همکاران (۲۰۰۶) به تحلیل عدم قطعیت در سه مدل ریزمقیاس مقیاس گردانی مختلف پرداختند نتایج حاصل از بررسی آنان نشان داد که مدل LARS-WG نتایج خوبی داشته است. سمونوف^۷ (۲۰۰۷) از مدل LARS-WG برای ساختن سناریوهای اقلیمی روزانه در در انگلستان استفاده نمود. نتایج نشان داد که مدل از عملکرد بالایی برخوردار می‌باشد. مدالا^۸ و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های مختلف GCM به پیش‌بینی تغییر اقلیم در دشت‌های مرتفع و هموار تگزاس پرداختند نتایج حاصل نشان داد که تا سال ۲۰۷۰ طول فصل بدون یخبندان ۲/۶ تا ۳/۴ هفته طولانی‌تر می‌گردد و روزهای یخبندان ۱۷/۹ تا ۳۰ درصد، در کل منطقه کاهش می‌یابد. کاپو^۹ و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات دمای کمینه و بیشینه اقلیم سونجن چین را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که دمای کمینه از روند افزایشی در منطقه برخوردار می‌باشد. تحت شرایط تغییر اقلیم دمای کمینه با تغییرات افزایشی بالایی همراه خواهد بود. شارما^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات دمای هوا براساس سناریوها و مدل‌های جهانی مختلف در ایالت راجستان هندوستان را بررسی نمودند. آنها در این مطالعه مدل‌های جهانی HadCM3 و سناریوهای بدبینانه و خوشبینانه در قالب گزارش چهارم تغییر اقلیم و مدل Lars-WG استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که روند افزایشی قابل توجه‌ای در

1-Sivakumar

2-Meehl

3-Moonen

4-Karl

5- Kjellström

6- Khan

7-Semnov

8-Modola

9- Qiu

10- Sharma

وضعیت دمای هوا بخصوص دمای کمینه در دهه‌های آینده وجود دارد. ورشاپیان و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای کمینه در چند نمونه اقلیمی ایران پرداختند. نتایج نشان داد که در اغلب مناطق ایران روند افزایشی معنی‌دار در مقادیر حدی دما به خصوص دمای کمینه وجود دارد. خلیلی‌ا قدم و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی سنج پرداختند نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و همچنین تابش است. رسولی و همکاران (۱۳۹۳) 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 این مدل، شبیه‌سازی دما را با دقت مناسب‌تری نسبت به دیگر پارامترها انجام داده است. حجارپور و همکاران (۱۳۹۳) به مقایسه سه مدل WeatherMan, LARS-WG 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. خیراندیش و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر طول فصل رشد در چشم انداز ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ پرداختند. آنها براساس سناریوهای A2 و B1 مشخص نمودند که دمای هوا در دوره آینده افزایش خواهد یافت. قربانی و ولیزاده (۱۳۹۳) به بررسی تاریخ یخبندان‌ها و سرماهای مؤثر تحت تاثیر تغییر اقلیم پرداختند. آنها با استفاده از سناریوهای A2 و B1 و مدل HadCM3 مشخص نمودند که دماهای کمینه در دوره آینده افزایش خواهد یافت و زمان دماهای سرد زودتر رخ خواهد داد. سبحانی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تاریخ آغاز و پایان یخبندان‌های زودرس و دیررس در استان اردبیل در دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که در مناطق شمالی استان مانند پارس‌آباد تاریخ خاتمه یخبندان دیررس در آوریل و در مرکز و جنوب مانند خلخال در ماه می پایان می‌یابد. خلیلی و همکاران (۱۳۹۶) پیش‌نگری کمی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر تاریخ و ریسک خسارت رخداد یخبندان دیررس بهاره طی قرن بیست و یکم در ایران را بررسی نمودند و با استفاده از مدل CGCM3 با سناریوهای انتشار A2 و A1B دوره آینده مشخص نمودند که در دوره آینده ریسک یخبندان دیررس بهاره کمتر خواهد شد. با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که یکی از اثرات عمده تغییر اقلیم در دوره آینده، از طریق افزایش دمای هوا، بخصوص دماهای کمینه آشکار خواهد شد. متناسب با افزایش دمای هوا، زمان رخداد دماهای کمینه و سردترین دماها زودتر رخ خواهد داد. همچنین در بیشتر بررسی‌ها از مدل‌های جفت شده به ویژه مدل HadCM3 و مدل Lars-wg استفاده شده است.

امروزه آگاهی قبل از زمان وقوع مخاطرات به بخشی یکپارچه از سیستم مدیریتی و برنامه ریزی توسعه ملی، در خیلی از کشورها تبدیل شده است (سیویاکومار^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). کشاورزی به طور ذاتی به شرایط اقلیمی حساس می‌باشد دمای کمینه که به عنوان مهم‌ترین فاکتور تعیین کننده در توزیع گونه‌های گیاهی بر روی کره زمین مشخص شده است، هم می‌تواند عامل محدود کننده باشد و هم اینکه موجب گسترش و توزیع گونه‌ها گردد (رودریگو^۲، ۲۰۰۰: ۱۵۵). لذا در این پژوهش به بررسی تغییرات دماهای کمینه در دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و پیش‌بینی این تغییرات در دهه ۲۰۵۰ (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در شمال غرب کشور با استفاده از روش ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG و خروجی مدل‌های جفت شده جوی-اقلانوسی HadCM3 و MPEH5 پرداخته خواهد شد.

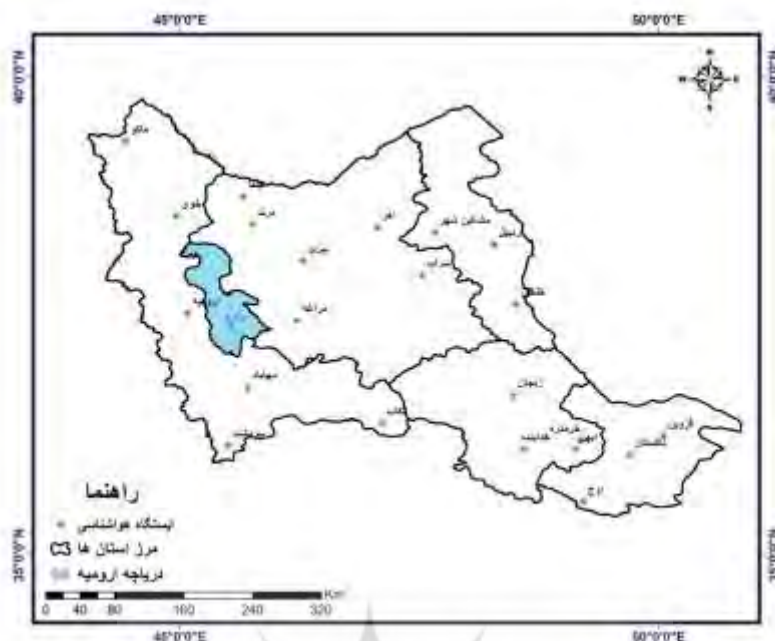
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به عنوان منطقه شمال غرب ایران، در محدوده استان‌های قزوین، زنجان، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل واقع شده است (شکل ۱). جهت بررسی تغییرات دماهای کمینه در منطقه مورد مطالعه از آمار هواشناسی ۲۱ ایستگاه سینوپتیک منتخب در شمال غرب کشور در طول دوره آماری پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) استفاده شد (شکل ۱).

¹- Sivakumar

²- Rodrigo



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG

این مدل یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش بصورت روزانه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود که ابتدا توسط راسکو و همکاران (۱۹۹۱) ارائه شد و سپس توسط سمونف و همکاران (۱۹۹۸) بازنگری شد. دلیل اصلی تولید این مدل غلبه بر نقاط ضعف زنجیره مارکف بود. این مدل به عنوان یک مدل ریزمقیاس سازی، در عین پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه‌سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییر اقلیم دارد (سمونف و استراتونویچ، ۲۰۱۰: ۱۴). که در این پژوهش جهت ریزمقیاس گردانی مدل‌های جهانی HadCM3 و MPEH5 استفاده شد. مدل HadCM3 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 (آشفته و مساح‌بوانی، ۱۳۸۹: ۳). مدل MPEH5 نیز دارای شبکه‌ای به ابعاد ۱/۹ درجه عرض جغرافیایی در ۱/۹ درجه طول جغرافیایی است که توسط مرکز ماکس پلانک هواشناسی آلمان طراحی شده است (جدول ۱) (حسینی، ۱۳۹۴: ۴۸). در مطالعه حاضر از دو سناریوی A2 و B1 استفاده شده است که هر یک نشان دهنده ویژگی‌هایی از جمله مربوط به رشد اقتصادی جهان، جمعیت جهان و آگاهی‌های اجتماعی می‌باشد (هاشمی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۶). جهت اجرای مدل LARS-WG از داده‌های روزانه دمای حداقل و دمای حداکثر و بارش روزانه در دوره آماری ۳۱ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۰) استفاده شد که به عنوان مبنای تغییر اقلیم گذشته و برای شبیه‌سازی اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفته است. 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 به منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه مدل را اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود. سپس این خروجی‌ها را به منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها، با مشخصات آماری مشاهداتی ۴۰ 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 و خروجی مدل‌های اقلیمی GCM را به داده‌های دوره پایه اعمال و تغییرات را شبیه‌سازی می‌کند (آقاشاهی و همکاران، ۱۳۹۲).



جدول (۱). مدل‌های جهانی مورد استفاده در این مطالعه

نام مدل	مرکز تحقیقاتی	شبکه بندی
HadCM3	مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلستان	$2.5^\circ \times 3.75^\circ$
MPEH5	موسسه ماکس پلانک هواشناسی آلمان	$1.9^\circ \times 1.9^\circ$

معیارهای عملکرد مدل

جهت بررسی عملکرد مدل در این پژوهش از ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده شده است که روابط مربوط به هر شاخص (روابط ۱ تا ۴) در ادامه آورده شده است.

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

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

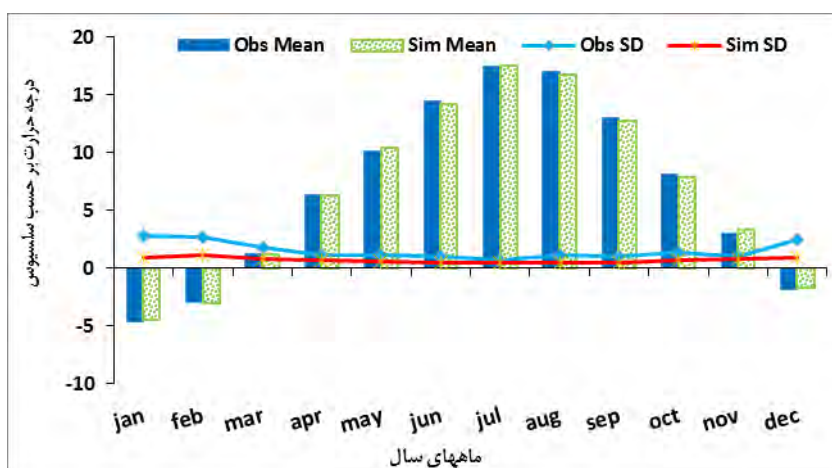
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (3)$$

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

در روابط فوق X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده، \bar{X}_o میانگین داده‌های مشاهداتی، N تعداد داده‌ها است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۰۸؛ حسینی، ۱۳۹۴: ۸۷). پس از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و اطمینان از مناسب بودن مدل، داده‌های دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) با استفاده از مدل HadCM3 و MPEH5 تحت دو سناریوی A2 و B1 تولید شد. پس از تولید داده‌ها، از خروجی‌های دمای کمینه مدل میانگین‌گیری و میانگین ماهانه و دوره‌ای پارامتر مذکور در ۲۰ سال آتی محاسبه شد سپس تغییرات آنها نسبت به مقادیر دوره پایه نیز محاسبه شده و نمودارهای تغییرات دما ترسیم می‌گردد.

نتایج و بحث

به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG، ابتدا مدل برای دوره آماری پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) اجرا گردید؛ سپس خروجی دمای کمینه و انحراف معیار آن با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه مقایسه گردید که به دلیل تعداد زیاد نمودارها، فقط خروجی حاصل برای ایستگاه قزوین آورده شده است (شکل ۲). که بیانگر اختلاف کم مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و همچنین انحراف از معیار آنها می‌باشد.



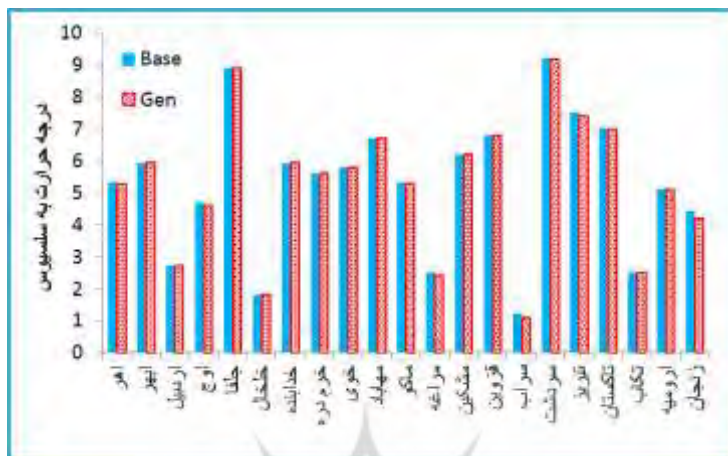
شکل (۲). مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای کمینه ایستگاه قزوین توسط مدل برای دوره پایه

نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG با استفاده شاخص‌های خطا سنجی RMSE، MSE و MAE برای ایستگاه‌های مورد بررسی نیز در جدول (۲) آورده شده است. نتایج حاصل بیانگر آن است که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد و مقادیر همبستگی پیرسون بین داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ قابل قبول می‌باشند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که دقت مدل در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است. در مجموع نتایج حاصل از شاخص‌های خطا سنجی بیانگر آن است که مدل LARS-WG از دقت مناسبی جهت ریزمقیاس گردانی پارامتر مورد بررسی است (جدول ۲).

جدول (۲). ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG از داده دوره آینده در منطقه مورد مطالعه

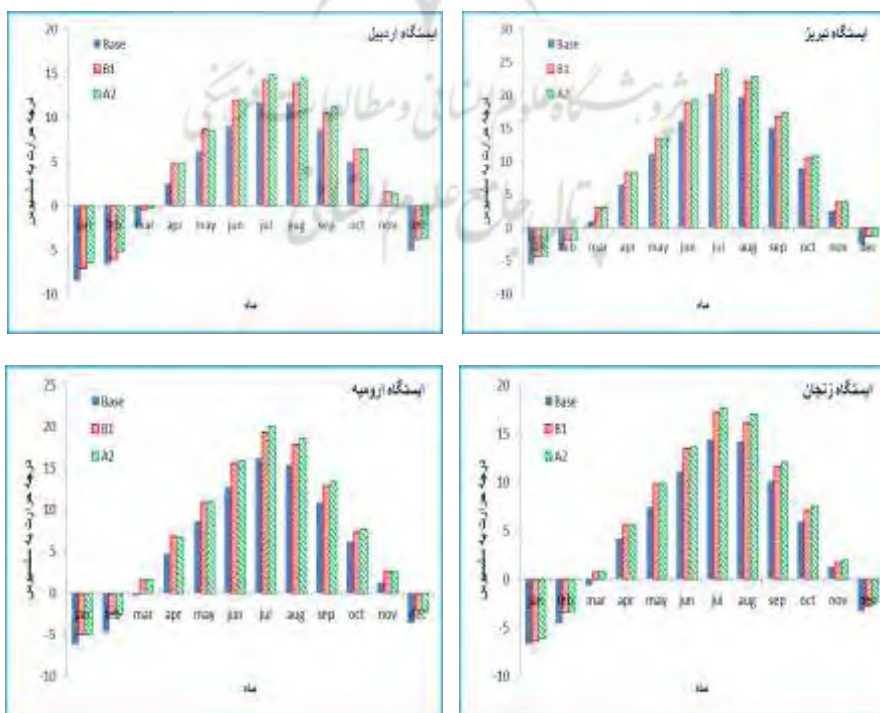
ردیف	ایستگاه	MSE	RMSE	MAE	R	R ²
۱	ابهر	۰/۰۹	۰/۳	۰/۲۲	۰/۹۹	۰/۹۹
۲	اهر	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹
۳	اردبیل	۰/۰۶	۰/۳۴	۰/۱۹	۰/۹۹	۰/۹۹
۴	اوج	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۹۹	۰/۹۹
۵	جلفا	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۹۹	۰/۹۹
۶	خلخال	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۲	۰/۹۹	۰/۹۹
۷	خدابنده	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۹۹	۰/۹۹
۸	خرم دره	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹
۹	خوی	۰/۰۴	۰/۲	۰/۱۷	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۰	مهاباد	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۱	ماکو	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۲	مراغه	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۳	مشکین شهر	۰/۱۳	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۴	قزوین	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۵	سراب	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۶	سردشت	۰/۱	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۷	تبریز	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۸	تاکستان	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۹	تکاب	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹
۲۰	ارومیه	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۹۹	۰/۹۹
۲۱	زنجان	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۹۹	۰/۹۹

جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت پیش‌بینی و همچنین بررسی عدم قطعیت در مدل‌های مورد بررسی به مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به صورت متوسط بلندمدت در طول دوره پایه در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای پرداخته شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر مشاهداتی و تولید شده در دوره پایه در همه ایستگاه‌ها بسیار به هم نزدیک هستند و مدل LARS-WG در زمینه شبیه‌سازی پارامتر مورد بررسی موفق عمل نموده است (شکل ۳).



شکل (۳). مقادیر مشاهداتی و تولید شده دمای کمینه توسط مدل LARS-WG در دوره پایه

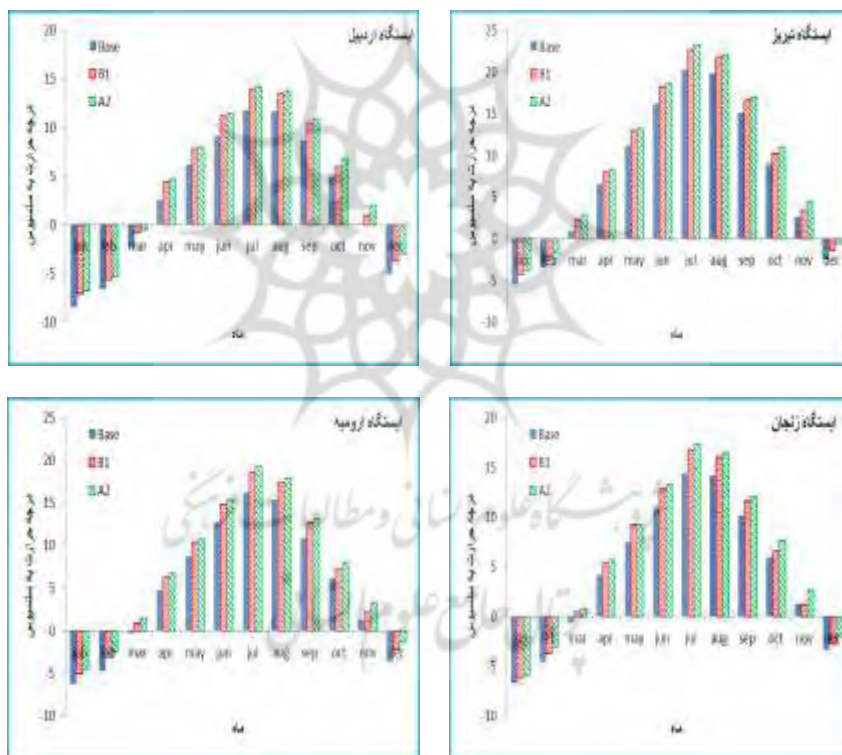
پس از ارزیابی مدل LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن آن، به بررسی داده‌های پیش‌بینی شده به وسیله مدل برای دو سناریوهای A2 و B1 با استفاده از مدل‌های HadCM3 و MPEH5 بصورت ماهانه و بلندمدت پرداخته شد. بررسی وضعیت تغییرات دمای کمینه ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره آتی (۲۰۵۶-۲۰۶۵) نشان می‌دهد که میزان دمای کمینه بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی و در همه ماه‌ها و در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. که به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌های مطالعاتی، فقط ایستگاه‌های واقع در مراکز استانی در سطح منطقه مورد مطالعه آورده شده است (شکل ۴).

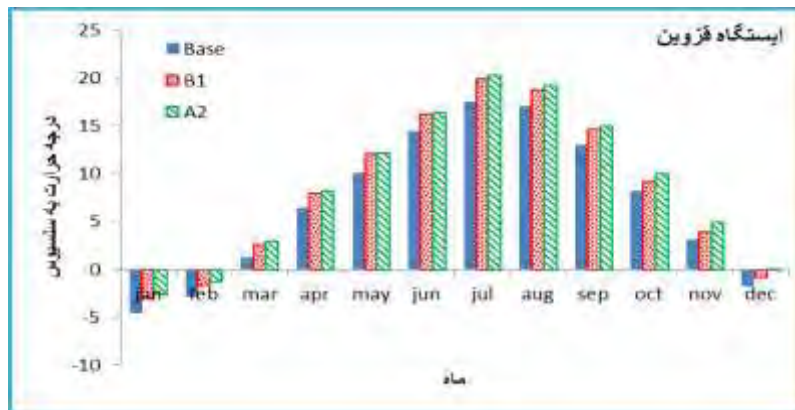




شکل (۴). وضعیت تغییرات ماهانه دماهای حداقل ایستگاه‌های منتخب بر اساس مدل HadCM3

بررسی وضعیت تغییرات دماهای کمینه با استفاده از خروجی مدل MPEH5 نیز نشان می‌دهد که میزان دما بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی و در همه ماه‌ها و در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به دوره پایه افزایش یافته است (شکل ۵).





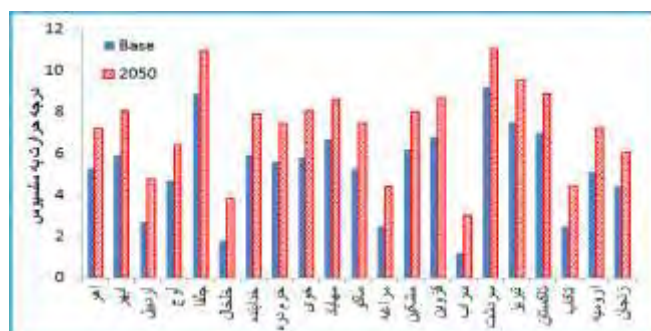
شکل (۵). وضعیت تغییرات ماهانه دماهای حداقل ایستگاه‌های منتخب بر اساس مدل MPEH5

میزان تغییرات دماهای کمینه طی دوره آماری آتی نسبت به دوره پایه براساس هر دو مدل جهانی و هر دو سناریوی مورد بررسی به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دهه ۲۰۵۰ در همه ایستگاه‌های میزان دمای حداقل بر اساس هر دو سناریوی و هر دو مدل مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهد یافت.

جدول (۲). متوسط دمای کمینه در دوره پایه و دهه ۲۰۵۰ تحت دو سناریوی مدل‌های مورد بررسی

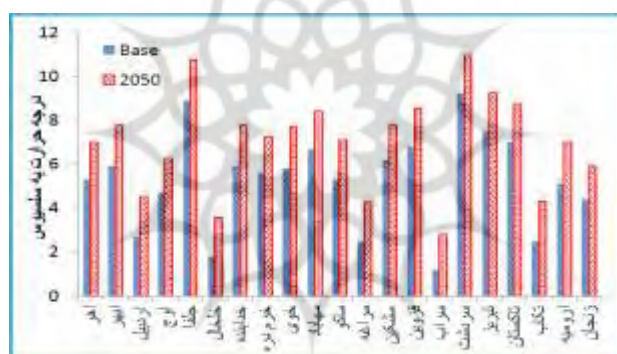
متوسط دوره آینده	HadCM3		متوسط دوره آینده	MPEH5		دوره پایه	ایستگاه
	A2	B1		A2	B1		
۷/۲	۷/۳	۷/۱	۷	۷/۲	۶/۸	۵/۳	اهر
۸/۰۵	۸/۲	۷/۹	۷/۷	۸	۷/۵	۵/۹	ابهر
۴/۷۵	۴/۹	۴/۶	۴/۵	۴/۷	۴/۳	۲/۷	اردبیل
۶/۴	۶/۵	۶/۳	۶/۲	۶/۵	۶	۴/۷	اوج
۱۰/۹	۱۱/۱	۱۰/۸	۱۰/۷	۱۱	۱۰/۵	۸/۹	جلفا
۳/۸	۳/۹	۳/۷	۳/۵	۳/۸	۳/۳	۱/۸	خلخال
۷/۹	۸	۷/۸	۷/۷	۸	۷/۵	۵/۹	خدابنده
۷/۴۵	۷/۶	۷/۳	۷/۲۵	۷/۵	۷	۵/۶	خرم دره
۸/۰۵	۸/۲	۷/۹	۷/۷	۸	۷/۴	۵/۸	خوی
۸/۶	۸/۷	۸/۵	۸/۴	۸/۷	۸/۱	۶/۷	مهاباد
۷/۴۵	۷/۶	۷/۳	۷/۱	۷/۴	۶/۸	۵/۳	ماکو
۴/۴	۴/۵	۴/۳	۴/۲	۴/۵	۴	۲/۵	مراغه
۸	۸/۱	۷/۹	۷/۷	۸	۷/۵	۶/۲	مشگین
۸/۷	۸/۹	۸/۵	۸/۵	۸/۸	۸/۳	۶/۸	قزوین
۳	۳/۱	۲/۹	۲/۸	۳	۲/۶	۱/۲	سراب
۱۱/۰۵	۱۱/۱	۱۱	۱۰/۹	۱۱/۲	۱۰/۷	۹/۲	سردشت
۹/۵۵	۹/۷	۹/۴	۹/۲	۹/۵	۹	۷/۴	تبریز
۸/۹	۹	۸/۸	۸/۷	۹	۸/۵	۷	تاکستان
۴/۴۵	۴/۵	۴/۴	۴/۳	۴/۶	۴	۲/۵	نکاب
۷/۲۵	۷/۴	۷/۱	۷	۷/۳	۶/۷	۵/۱	ارومیه
۶/۰۵	۶/۲	۵/۹	۵/۹	۶/۲	۵/۶	۴/۴	زنجان

بیشترین تغییرات دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه بر اساس متوسط سناریوهای مورد بررسی در مدل HadCM3 مربوط به ایستگاه‌های ابهر، اردبیل، جلفا، خلخال، خدابنده، خوی، ماکو، تبریز و ارومیه با بیش از ۲ درجه سلسیوس افزایش نسبت به دوره پایه می‌باشد و بطور متوسط دمای کمینه در سطح منطقه مورد مطالعه بر اساس این مدل بین ۱/۶ تا ۲/۳ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت (شکل ۶).



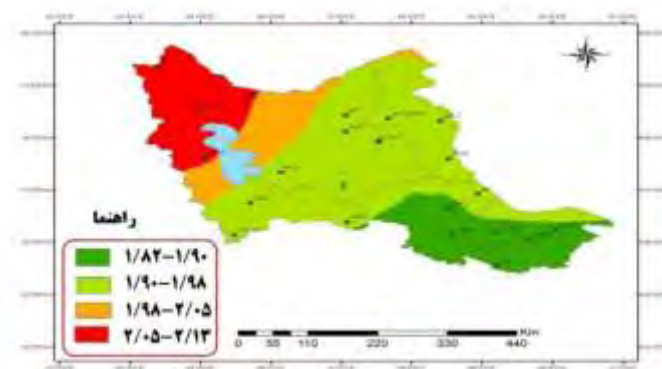
شکل (۶). مقایسه دماهای کمینه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه بر اساس مدل HadCM3

بر اساس مدل MPEH5 و متوسط سناریوهای مورد بررسی بیشترین تغییرات دمای کمینه مربوط به ایستگاه‌های خوی و ارومیه با $1/9$ درجه سلسیوس افزایش نسبت به دوره پایه می‌باشد و بطور متوسط دمای کمینه در سطح منطقه مورد مطالعه بر اساس این مدل بین $1/5$ تا $1/9$ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت (شکل ۷). جهت نمایش بهتر وضعیت تغییرات دمای کمینه در سطح منطقه مورد مطالعه، میزان تغییرات بر حسب درجه سلسیوس با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ در سطح منطقه برای هر دو مدل مورد بررسی پهنه‌بندی گردید نتایج حاصل از مدل HadCM3 نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین تغییرات دماهای کمینه به ترتیب مربوط به شمال غرب و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۸).



شکل (۷). مقایسه دمای کمینه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه بر اساس مدل MPEH5

نتایج حاصل از مدل MPEH5 نیز نشان می‌دهد که همانند مدل HadCM3 بیشترین و کمترین تغییرات دماهای کمینه به ترتیب مربوط به شمال غرب و جنوب شرق منطقه می‌باشد با این تفاوت که میزان این تغییرات مقداری کمتر است و مناطق با تغییرات کم دمایی در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه وسعت بیشتری نسبت به مدل قبلی دارد (شکل ۹).



شکل (۸). تغییرات دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه بر اساس خروجی مدل HadCM3



شکل (۹). تغییرات دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه بر اساس خروجی مدل MPEH5

نتیجه‌گیری

سرما و یخبندان یکی از مهم‌ترین و شاید عمده‌ترین مخاطره اقلیمی آسیب پذیر بر درختان میوه محسوب می شود. این نوع مخاطره اقلیمی هر ساله مناطق مختلف کشور، بخصوص مناطق سردسیر شمال غرب کشور را تحت تاثیر قرار می دهد. بررسی‌ها نشان می دهد که در سال‌های اخیر میزان خسارت اقتصادی بر درختان میوه در این منطقه بیشتر شده است لذا در این پژوهش به چشم انداز تغییرات دماهای کمینه در این منطقه با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG و خروجی دو مدل جهانی HadCM3 و MPEH5 در دهه ۲۰۵۰ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) پرداخته شد. جهت صحت و دقت مدل‌ها از شاخص‌های خطاسنجی و ضریب تعیین و همبستگی استفاده گردید. نتایج حاصل نشان داد که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیر مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه از توانایی مناسبی برخوردار است. نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل‌های مورد بررسی بصورت بلندمدت نشان می‌دهد که مقادیر دمای کمینه در همه ایستگاه‌های مطالعاتی افزایش خواهد یافت که این میزان افزایش بر اساس مدل‌های HadCM3 و MPEH5 در سطح منطقه مورد مطالعه به طور متوسط در دهه ۲۰۵۰ به ترتیب به میزان $1/9$ و $1/7$ نسبت به دوره پایه خواهد بود. نتایج حاصل مطالعات کایو و همکاران (۲۰۱۶)، شرما و همکاران (۲۰۱۷)، خلیل اقدم و همکاران (۱۳۹۱)، قادرزاده (۱۳۹۴)، سبحانی و همکاران (۱۳۹۶) و خلیلی و همکاران (۱۳۹۶) را مورد تأیید قرار می‌دهد. در مجموع بر اساس سناریوها و مدل‌های مورد بررسی انتظار می‌رود در سطح منطقه مورد مطالعه میزان دماهای کمینه در دوره آتی افزایش پیدا کند. که با افزایش آن نیز، عملکرد برخی محصولات که در دوره رشد و محصول دهی نیاز به سرما دارند، کاهش می‌یابد همچنین می‌تواند کاهش بارش‌های برفی و به دنبال آن سرمازدگی محصولات کشاورزی و کمبود آب در فصول خشک را به دنبال داشته باشد لذا با توجه به این که به دنبال تغییرات اقلیمی، شرایط اقلیم کشاورزی نیز دچار تغییر می‌گردند، لازم است مسئولین و برنامه‌ریزان مربوطه در بخش‌های کشاورزی راهکارهای لازم برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب‌وهوایی جدید را اتخاذ نمایند.

منابع

- احمدی، محسن، خاشعی سیوکی، عباس و سیاری، محمد حسن، ۱۳۹۵، بررسی مدل مناسب تعیین نیاز آبی زعفران (*Crocus sativus* L) و تعیین میزان تنش‌های آبی وارده، *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، جلد ۸، شماره ۴، صص ۵۲۰-۵۰۵.
- اوحدی، د، ۱۳۸۴، *بررسی کمی سرما زدگی در مراحل مختلف فنولوژی محصولات باغی (مطالعه موردی محصول سیب در مناطق سمیرم، کرج و گل‌مکان*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده آبیاری و آبادانی، گروه هواشناسی کشاورزی.
- آشفته، پریسا سادات، مساح بوانی، علیرضا، ۱۳۸۹، تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر: مطالعه موردی، حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، علوم آب و خاک، سال چهاردهم، شماره ۵۳، صص ۳۹-۲۵.
- آقاشاهی، محسن؛ اردستانی، مجتبی؛ نیک‌سخن، محمدحسین؛ طهماسبی، بهشته، ۱۳۹۱، معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به منظور ریزمقیاس‌سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم، *ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست*، تهران، ۱۰ ص.
- بازگیر، سعید، محمدی، حسین، شریفی، لیلا و سلیمانی، نوشین، ۱۳۹۵، تحلیل مخاطره یخبندان و سرمازدگی محصولات باغی آذربایجان غربی. *مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*، دوره ۳، شماره ۴، صص ۳۶۵-۳۷۸.
- حبیب الهی، غلامرضا، محمدی نژاد، امیر، مقدسی، رضا و پاسبان، فاطمه، ۱۳۹۴، بررسی عوامل موثر بر پذیرش بیمه‌های باغ‌های هلو و شلیل، پژوهش موردی (شهرستان ساوجبلاغ). *فصلنامه پژوهشی بیمه و کشاورزی*، سال دوازدهم، شماره ۱۴۶، صص ۱۵۹-۱۴۳.
- حجارپور، امیر؛ یوسفی، مرضیه؛ کامکار، بهنام، ۱۳۹۳، آزمون دقت شبیه‌سازهای LARS-WG، WeatherMan و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد)، *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، دانشگاه زاهدان، شماره ۳۵، صص ۲۰۱-۲۱۶.
- حسینی، سید اسعد. ۱۳۹۴. *بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب سطحی در حوضه ی آبریز دریاچه ارومیه*، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیای طبیعی.
- خلیلی، علی، رحیمی، جابر، بذرافشان، جواد. ۱۳۹۶. پیش‌نگری کمی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر تاریخ و ریسک رخداد یخبندان دیررس بهاره طی قرن بیست و یکم در ایران. *نشریه هواشناسی کشاورزی*، شماره ۲، صص ۴۸-۳۸.
- خلیلی‌اقدم، نبی؛ مساعدی، ابوالفضل؛ سلطانی، افشین؛ کامکار، بهنام، ۱۳۹۱، ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی سنج، *مجله پژوهش حفاظت آب و خاک*، جلد نوزدهم، شماره ۴، صص ۸۵-۱۲۲.
- خورشید دوست، علی محمد، سلمان پور، رقیه. ۱۳۸۷. تحلیل نوسانات و آستانه‌های یخبندان‌های بهاره و پاییزه شهرستان اهر. *فصلنامه فضای جغرافیایی*، شماره ۲۱، صص ۸۵-۱۰۰.
- خورشید دوست، علی. محمد، زارع نهندی، ف.، خلیلی، ۱۳۹۶، تأثیر عامل‌های اقلیمی بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال تامسون ناول در استان مازندران، *علوم باغبانی ایران*، شماره ۴۸، صص ۳۹-۴۷.
- خیر اندیش، مرضیه، قهرمان، نوذر و بذرافشان، جواد. ۱۳۹۲. بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر طول فصل رشد در چشم‌انداز ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ در چند نمونه اقلیمی ایران، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، دوره ۴۴، شماره ۲، صص ۱۵۰-۱۴۳.
- رسولی، علی اکبر؛ رضایی‌بنفشه، مجید؛ مساح‌بوانی، علیرضا؛ خورشیددوست، علی محمد؛ قرمزچشمه، باقر، ۱۳۹۳، بررسی اثر عوامل مرفو-اقلیمی بر دقت ریزمقیاس‌گردانی مدل LARS-WG، *نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*، سال هشتم، شماره ۲۴، صص ۱۸-۹.

- سبحانی، بهروز، گنجی، مسعود و گل دوست، اکبر. ۱۳۹۶. تعیین و بررسی تاریخ‌های آغاز و پایان یخبندان‌های زودرس و دیررس و احتمال تداوم، شدت و تواتر آن در استان اردبیل در دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۱، صص ۳۹-۵۳.
 - شائمی، اکبر، حبیبی‌نوخندان، مجید، ۱۳۸۸، **گرمایش جهانی و پیامدهای زیستی اکولوژیکی**، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۱۶ ص.
 - علیزاده، امین. ۱۳۸۹. **اقلیم و هواشناسی کشاورزی**، چاپ اول، انتشارات آستان قدس رضوی، ۵۰۴ صفحه.
 - فلاح قاله‌ری، غلامعباس، احمدی، حمزه. ۱۳۹۴. برآورد زمانی - مکانی تاریخ گلدهی درختان میوه در استان آذربایجان غربی با هدف کاهش و پیشگیری از خسارت مخاطره‌های اقلیمی. فصلنامه پژوهشی بیمه و کشاورزی، سال دوازدهم، شماره ۴۶، صفحات ۱۰۴-۸۱.
 - قربانی، خلیل، ولیزاده، اسمعیل. ۱۳۹۳. بررسی تاریخ یخبندان‌ها و سرماهای موثر در کشاورزی تحت تاثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مشهد، تبریز و قزوین). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۴، صص ۲۱۴-۱۹۷.
 - گنجی مقدم، ابراهیم. ۱۳۸۹. میوه کار در مناطق معتدله. چاپ اول، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.
 - ورشوایان، وحید، خلیلی، علی، قهرمان، نوذر و حجام، سهراب. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۱، صص ۱۷۹-۱۶۹.
 - هاشمی‌نسب، فریده السادات، موسوی بایگی، محمد، بختیاری، بهرام و داوری، کامران، ۱۳۹۲، پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM3، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال سوم، شماره ۱۲، صص ۴۳-۵۸.
-
- Hidalgo-Galvez, M. D., García-Mozo, H., Oteros, J., Mestre, A., Botey, R., & Galán, C. (2017). Phenological behaviour of early spring flowering trees in Spain in response to recent climate changes. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-11.
 - Karl, T. R., Knight, R. W., Gallo, K. P., Peterson, T. C., Jones, P. D., Kukla, G., Charlson, R. J. (1993). A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74(6): 1007-1023.
 - Karl, T. R., Meehl, G. A., Miller, C. D., Hassol, S. J., Waple, A. M., & Murray, W. L. (2008). Weather and climate extremes in a changing climate. *US Climate Change Science Program*.
 - Khan.M.S., Coulibaly.P., Dibike,Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling method. *Journal of Hydrology*, 319: 357-382.
 - Kjellström, E., Bärring, L., Jacob, D., Jones, R., Lenderink, G., Schär, C. (2007). Modelling daily temperature extremes: recent climate and future changes over Europe. *Climatic Change*, 81(1), 249-265.
 - Meehl, G. A., Tebaldi, C., & Nychka, D. (2004). Changes in frost days in simulations of twentyfirst century climate. *Climate Dynamics*, 23(5): 495-511.
 - Modala, N. R., Ale, S., Goldberg, D. W., Olivares, M., Munster, C. L., Rajan, N., & Feagin, R. A. (2016). Climate change projections for the Texas High Plains and Rolling Plains. *Theoretical and Applied Climatology*, 124:1-18.
 - Moonen, A. C., Ercoli, L., Mariotti, M., & Masoni, A. (2002). Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111(1): 13-27.

- Qiu, X., Zhang, L., Wenliang, L., Yang, Y., Tao, P. (2016). Studies on changes and cause of the minimum air temperature in Songnen Plain of China during 1961–2010. *Acta Ecologica Sinica*, 36(5): 311-320.
- Racsco, P., L. Szeidl and M. Semenov. (1991). A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 57(1): 27-41.
- Rodrigo, J. (2000). Spring frosts in deciduous fruit trees morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, 85(3): 155-173.
- Semenov M.A., (2007). Developing of high-resolution UKCUP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and forest meteorology*, 144:127.
- Semenov, M., R. Brooks, E. Barrow and C. Richardson. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Clim. Res.*, 10:95-107.
- Semenov M.A., Stratonovitch P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, *CLIMATE RESEARCH*. 41: 1-14.
- Sharma, A., Sharma, D., Panda, S. K., Dubey, S. K., Pradhan, R. K. (2017). Investigation of temperature and its indices under climate change scenarios over different regions of Rajasthan state in India. *Global and Planetary Change*. 161: 82–96.
- Sivakumar, M. V., Motha, R. P., & Das, H. P. (2005). *Natural Disaster and Extreme Events in Agriculture*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.