

# بررسی تغییرات بارندگی و دمای هوا تحت تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهر کرد)

زهرا ایزدی<sup>۱</sup>، علی حیدر نصرالهی<sup>۲</sup>، بیژن حقیقتی بروجنی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، nasrolahi.a@lu.ac.ir

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸

## چکیده

در این پژوهش داده‌های خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سه سناریوی تغییر اقلیم A2، A1B و B1 به وسیله مدل آماری LARS-WG در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد ریزمقیاس‌نمایی شد و نتایج حاصل از آن در دوره پایه (۱۹۹۵-۱۹۷۱) و دوره‌های آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ برای پارامترهای هواشناسی دما و بارش مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل در دوره‌های آتی نشان از افزایش دمای بیشینه و کمینه برای تمام ماه‌ها و سناریوها در منطقه مطالعاتی نسبت به دوره پایه دارد، بر این اساس حداکثر افزایش دمای بیشینه و کمینه ماهانه به ترتیب به مقدار ۳٫۶۲ و ۳/۵۵ درجه سانتی‌گراد بود که در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریو A1B مشاهده شد. اما نتایج مدل برای بارندگی بسیار نوسانی بود و نظم خاصی در آن مشاهده نشد با این وجود کاهش بارندگی در فصول رویشی گیاهان به‌ویژه در فصل بهار و ماه‌های ادیبهشت و خرداد قابل مشاهده بود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سناریوهای اقلیمی، ریزمقیاس‌نمایی، مدل LARS-WG

## مقدمه

سرعت باد، تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و دمای هوا می‌شود. توجه به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای جوی اهمیت زیادی پیدا کرده است (محمدی و تقوی، ۱۳۸۴). طبق گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)<sup>۱</sup> میانگین افزایش دمای جهان برای سال ۲۰۵۰ در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد و در پایان قرن حاضر حدود ۴٫۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (IPCC, 2007). با وجود عدم قطعیت در این پیش‌بینی‌ها باید به خاطر

تغییر اقلیم از جمله تغییرات بی‌سابقه‌ای است که در حال وقوع است و به عنوان چالشی بزرگ، جهانی و اثرگذار شناخته و پذیرفته شده است. تغییر اقلیم عبارت است از، هرگونه تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوا، که در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی، رخ دهد، این پدیده که ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز دی‌اکسیدکربن در جو می‌باشد، باعث تغییراتی در رژیم بارش، میزان رواناب،

1- Inter-Governmental Panel on Climate Change

مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹). از جمله مدل‌هایی که در روش‌های آماری استفاده می‌شود می‌توان به LARS-WG، CLIMGEN، SDSM و MET & ROLL اشاره نمود که مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است که در ادامه به بعضی از آنها اشاره می‌گردد. حجارپور و همکاران (۱۳۹۳) 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 بود و به طور کلی هر سه مدل پارامتر دما را بهتر از سایر پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند. صلاحی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و خروجی مدل HadCM3 تحت سه سناریوی A2، A1B و B1 برای سه ایستگاه سینوپتیک سقز، تبریز و ارومیه در دهه ۲۰۵۰ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که مدل ریزگردانی 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 پایه کاسته خواهد شد. در تحقیقی در سندج به ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی پرداخته شد و نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و همچنین تابش است، اما در شبیه‌سازی بارش خطای بیشتری را نسبت به سایر پارامترهای جوی نشان می‌دهد (خلیلی اقدم و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهشی به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDSM برای شبیه‌سازی بارش‌های شدید در حوضه کلوتا واقع در جزیره جنوبی نیوزلند

داشت که چنانچه دمای فعلی تنها ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، کره زمین به گرم‌ترین دمای خود در طی ۱۹ هزار سال گذشته خواهد رسید.

معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم، استفاده از متغیرهای آب و هوایی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت‌شده گردش عمومی جوی- اقیانوسی (AOGCM)<sup>۱</sup> می‌باشد. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده توسط هیئت بین دولتی تغییر اقلیم مدل‌سازی نمایند. این سناریوها حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین می‌باشند. در این سناریوها مقادیر گازهای گلخانه‌ای با نرخ ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. هرکدام از این سناریوها مربوط به یکی از خانواده‌های A1، A2، B1 و B2 می‌باشند. تأثیرات تغییر اقلیم بسیار به شرایط جغرافیائی محلی و تغییرپذیری اقلیمی محل بستگی دارد. بنابراین مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم بایستی در مقیاس محلی صورت پذیرد تا امکان ارزیابی نتایج احتمالی آن فراهم گردد. یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM، تفکیک مکانی کم آنهاست که به لحاظ مکانی و زمانی با دقت مورد نیاز در مطالعات مختلف مطابقت ندارد، بنابراین از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای رفع این محدودیت استفاده می‌شود (مجرد و همکاران، ۱۳۹۵). ریزمقیاس‌نمایی را می‌توان به دو روش دینامیکی و آماری انجام داد. در روش‌های آماری می‌توان در عرض چند ثانیه، ریزمقیاس‌نمایی را برای یک سایت یا ایستگاه مشخص در چندین دهه انجام داد در حالی که روش‌های دینامیکی معمولاً با محدودیت زمانی مواجه می‌باشند، لذا استفاده از روش‌های آماری، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی

آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ با به کارگیری مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG<sup>۱</sup> استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرکرد که در ۲ کیلومتری جنوب شهر شهرکرد (مرکز استان چهارمحال و بختیاری) واقع شده است و دارای مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۲۰۶۱ متر از سطح دریا و با اقلیم منطقه‌ای نیمه مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد می‌باشد، استفاده شد.

در این تحقیق به منظور ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 از مدل LARS-WG استفاده شده است. مشخصات مدل HadCM3 و سناریوهای A2، A1B و B1 مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است

پرداخته شد، نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل توانایی‌های مشابه و خوبی در شبیه‌سازی بارش‌های شدید دارند و قابل استفاده برای پیش‌بینی‌های اقلیمی می‌باشند (Hashemi et al., 2010). همچنین کمال و مساحت بوانی (۱۳۸۹) با استفاده از خروجی سناریوی A2 مدل HadCM3 و ریزمقیاس‌نمایی توسط مدل SDSM نوسانات و مقادیر متوسط متغیرهای دما و بارش حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی را شبیه‌سازی نموده و افزایش دما در ماه‌های مختلف سال بین ۰.۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد و تغییرات بارش بین ۱۰ - تا ۲۰ میلی‌متر را گزارش نمودند.

در این تحقیق از داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1 مربوط به چهارمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (AR4)، برای ارزیابی تغییرات ماهانه بارش و دمای هوا در شهرستان شهرکرد در دوره‌های

جدول ۱- ویژگی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و سناریوهای تغییر اقلیم (IPCC, 2007)

طراح مدل	قدرت تفکیک جوی	قدرت تفکیک	سناریوهای انتشار
مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی- بریتانیا	عرض جغرافیایی ۲/۷۵ و طول جغرافیایی ۳/۷۵ درجه	عرض ۴۵ درجه: ۲۹۵ کیلومتر × ۲۸۷ کیلومتر	A2، A1B، B1
خصوصیات سناریوهای تغییر اقلیم	A2	رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان	
	B1	همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصاد (کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر)	

درجه طول جغرافیایی است. مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های تولید داده‌های هواشناسی است که برای تولید بارش روزانه، تابش، بیشینه و کمینه درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت

HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی- اقیانوسی است که توسط گوردن و همکاران (۲۰۰۰) ارائه شده است. این مدل دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲۰۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳۰۷۵

1- Hadley Center Model, version3

2- Long Ashton Research Station Weather Generator

تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه شد. در مرحله سوم، شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی برای دوره‌های آتی انجام شد. در این مرحله، مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 با استفاده از سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 تأیید شده توسط IPCC اقدام به شبیه‌سازی نمود و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور تولید شد.

سپس میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی بر اساس داده‌های خروجی مدل LARS-WG محاسبه شد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |S_i - O_i|}{n} \quad (3)$$

در روابط فوق  $S_i$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای،  $\bar{O}$  مقدار میانگین داده‌های مشاهده‌ای و  $n$  تعداد داده‌هاست.

### نتایج و بحث

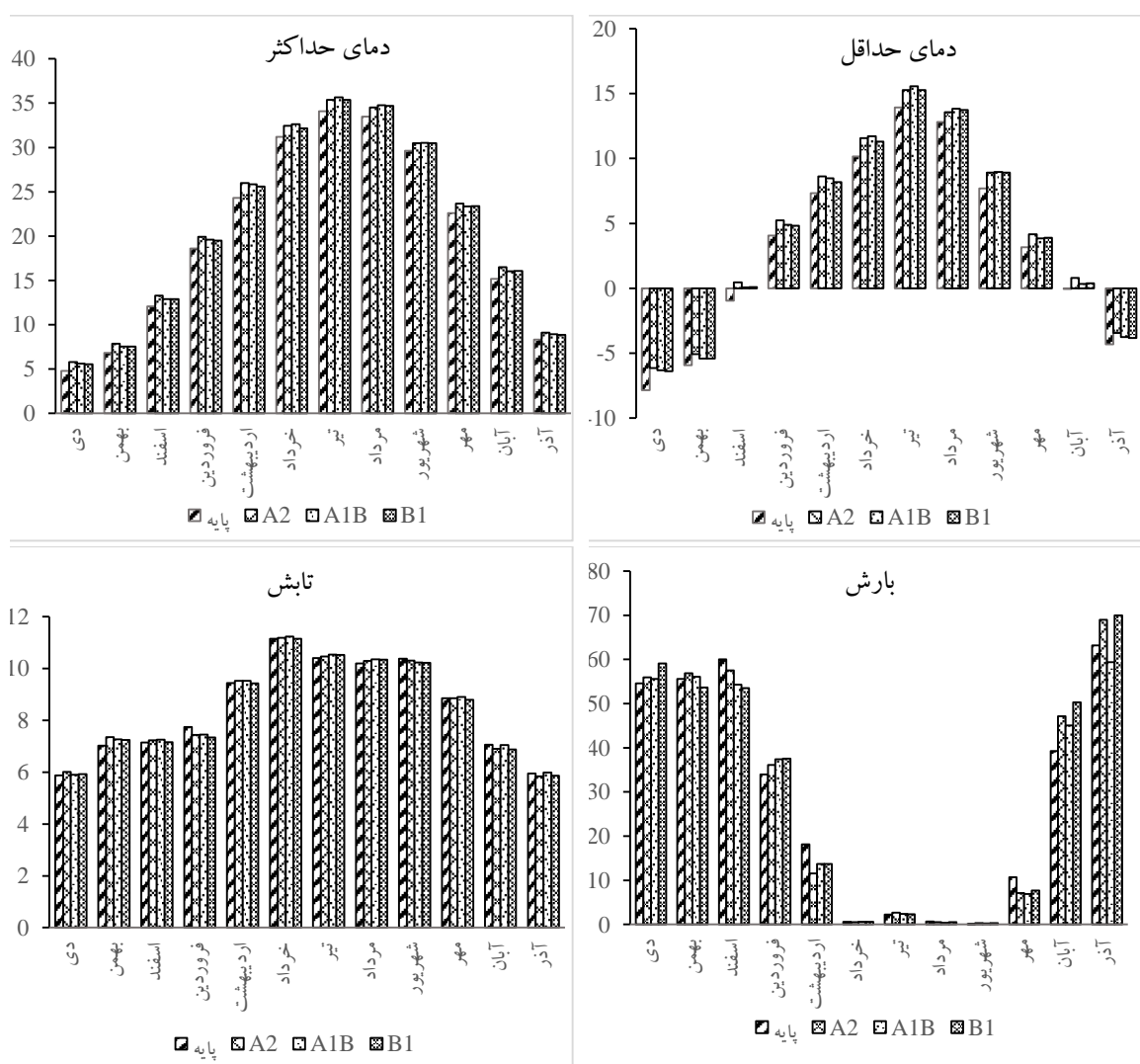
نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های تولید شده با استفاده از مدل LARS-WG و داده‌های مشاهده شده در دوره پایه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد مقدار ضریب تبیین در همه موارد از مقدار قابل توجهی برخوردار است و میانگین خطای مطلق نیز کم می‌باشد در حالی که ریشه میانگین مربعات خطا در شبیه‌سازی بارش نسبت به دیگر پارامترها خطای بیشتری را نشان می‌دهد. بنابراین توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی به اثبات می‌رسد با این حال مدل در شبیه‌سازی بارش دقت کمتری را نشان می‌دهد که با نتایج خیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد. در ادامه نتایج مربوط به تغییرات دما، بارش و تابش در دو

شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود، نسخه اولیه این مدل در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس کردن به روش آماری در کشور مجارستان ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از زنجیره مارکوف است که به طور مکرر از آن استفاده شده است. مدل LARS-WG برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی، توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به کار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی می‌باشد. سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زنند درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشد. توانایی و کارایی این مدل در تحقیقات مختلفی به اثبات رسیده است (لو و همکاران، ۲۰۰۹) همچنین در شرایط آب و هوایی مختلف ایران نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است (آبایی و همکاران، ۱۳۸۹). به طور کلی تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از: واسنجی داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی برای دوره آتی. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می‌باشد. بر این اساس برای اجرای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۲۵ ساله ۱۹۹۵-۱۹۷۱ به عنوان دوره پایه، داده‌های مورد نیاز مدل، شامل مقادیر روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی، در این دوره آماری پردازش و مرتب‌سازی شد و فایل‌های ورودی مدل برای دوره پایه تهیه شد و بدین ترتیب مرحله واسنجی به پایان رسید. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) که روابط آنها در ادامه آمده است، اقدام به ارزیابی داده‌های

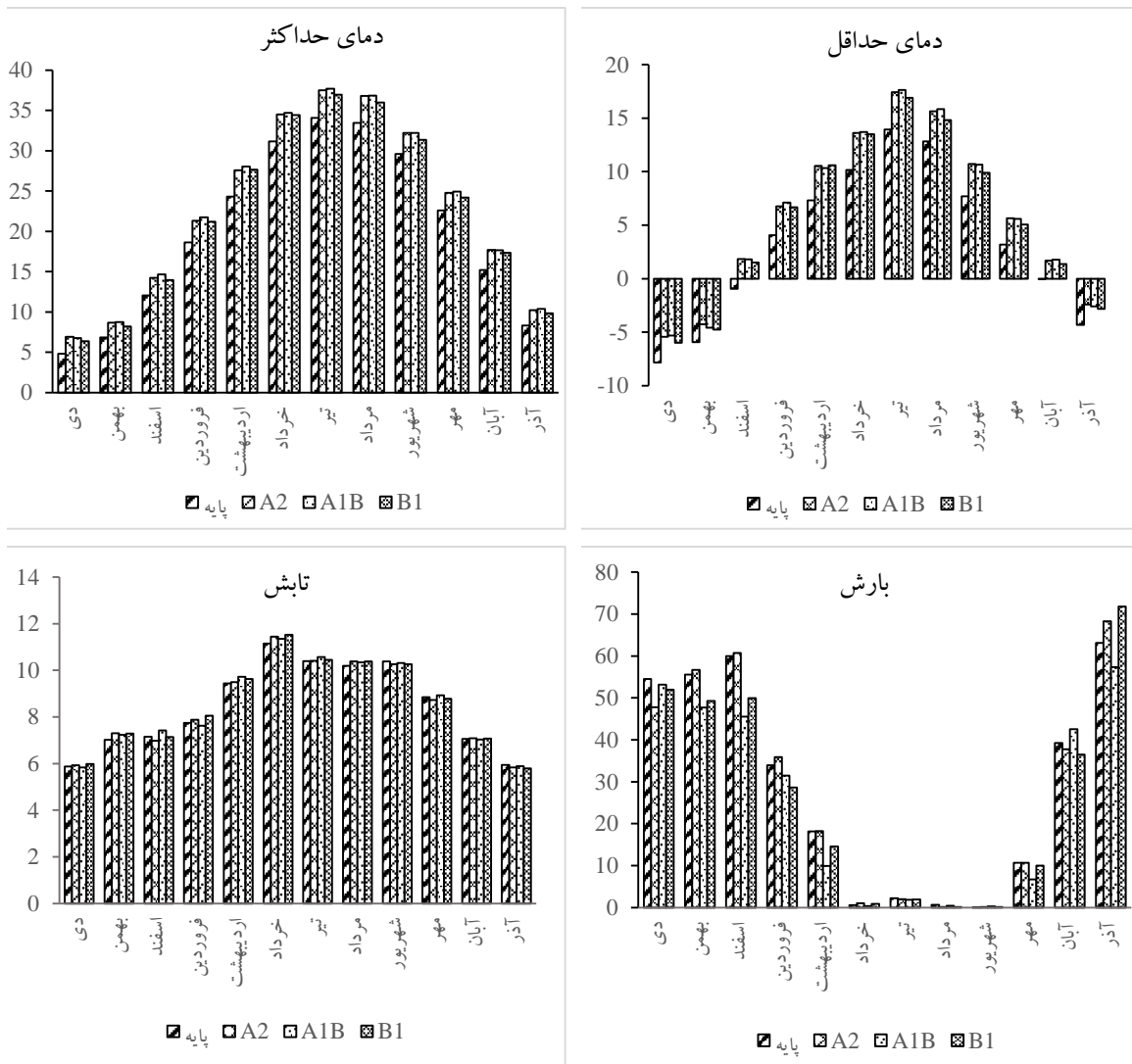
دوره آتی نسبت به دوره پایه تحت هر کدام از سناریوهای انتشار در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- شاخص‌های آماری ارزیابی مدل LARS-WG

پارامتر	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
دمای حداقل	۰٫۹۹۸۷	۰٫۲۸	۰٫۰۵
دمای حداکثر	۰٫۹۹۹۷	۰٫۲۰	۰٫۰۳
ساعات آفتابی	۰٫۹۹۴۴	۰٫۱۶	۰٫۰۱
بارش	۰٫۹۹۴۸	۲٫۰۲	۰٫۱۶



شکل ۱- میانگین ماهانه دما، بارش و تابش در دوره پایه و دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۸ تحت سناریوهای انتشار B1 و A1B، A2



شکل ۲- میانگین ماهانه دما، بارش و تابش در دوره پایه و دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریوهای انتشار B1 و A1B, A2

ماه‌ها دچار تغییر شده است اما نظم خاصی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود به طوری که در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مقدار بارش تحت سناریو A2 در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد، مهر و اسفند و تحت سناریو B1 در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد، مهر، بهمن و اسفند و تحت سناریو A1B در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد، مهر، آذر و اسفند، کاهش و در بقیه ماه‌ها افزایش نشان می‌دهند که بیشترین افزایش و کاهش به میزان ۱۱ و ۶/۵۸- میلی‌متر به ترتیب تحت سناریو B1 و A2 در ماه‌های آبان و اردیبهشت رخ می‌دهد. همچنین در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ بیشترین افزایش و کاهش

با توجه به شکل ۱ و ۲ دمای حداکثر و حداقل شبیه‌سازی شده برای دو دوره آبی تحت هر سه سناریو نسبت به دوره پایه برای تمام ماه‌ها افزایش نشان خواهد داد که در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ بیشترین افزایش دمای حداکثر، به میزان ۱۰۶۹ درجه سانتی‌گراد برای ماه اردیبهشت و بیشترین افزایش دمای حداقل به میزان ۱/۷ درجه سانتی‌گراد در دی ماه تحت سناریوی A2 و برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ بیشترین افزایش دمای حداکثر و حداقل به ترتیب به میزان ۳/۶۲ و ۳/۵۵ درجه سانتی‌گراد در تیر ماه تحت سناریو A1B می‌باشد. میانگین بارش نیز در دوره‌های آبی در همه

و بارش در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ پرداخته شد و نمودار میانگین دما و بارش به صورت ماهانه برای دوره‌های آینده در مقایسه با دوره پایه بررسی گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG پیش‌بینی می‌کند که مقادیر دمای حداکثر و حداقل در طی دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ در ایستگاه مطالعاتی افزایش خواهد یافت. در صورتی که میانگین ماهانه بارش نیز در دوره‌های آتی در همه ماه‌ها تغییر داشته است اما این تغییرات منظم نبودند، با این وجود کاهش بارندگی در فصول رویشی گیاهان بویژه فصل بهار وجود داشت، بنابراین پیشنهاد می‌شود که مسئولان منطقه مورد بررسی، در بخش‌های کشاورزی، منابع آب و محیط زیست، راهکارهای لازم برای کاهش پیامدهای ناشی از افزایش دما و کاهش بارندگی را اتخاذ نمایند.

بارندگی به ترتیب ۸/۶۶ و ۱۴/۴۵- میلی‌متر برای ماه‌های آذر و اسفند تحت سناریو B1 و A1B می‌باشد. تغییرات تابش نیز در هر دو دوره تحت هر سه سناریو به صورت جزئی می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا با اجرای مدل LARS-WG داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد شبیه‌سازی شد که نتایج حاصل، حاکی از توانمندی بالای این مدل مولد هواشناسی برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده می‌باشد سپس داده‌های دمای حداکثر با استفاده از خروجی مدل HadCM3 تحت سه سناریوی A2، A1B و B1 برای ایستگاه سینوپتیک شهرکرد و دوره‌های آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس نمایی شدند. در ادامه به بررسی تغییرات دما

### منابع

- ۱- آبابایی، ب. سهرابی، ت. میرزایی، ف. رضوردی‌نژاد، و و ب. کریمی. ۱۳۸۹. اثر تغییر آب و هوا بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روددشت اصفهان). مجله دانش آب و خاک. ۲۰ (۳): ۱۵۰-۱۳۵.
- ۲- حجارپور، ا. یوسفی، م و ب. کامکار. ۱۳۹۳. آزمون دقت شبیه‌سازی‌های LARS-WG، WeatherMan و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد). جغرافیا و توسعه. شماره ۳۵: ۲۱۶-۲۰۱.
- ۳- خلیلی اقدام، ن. مساعدی، ا. سلطانی، ا و ب. کامکار. ۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سندج. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۹ (۴): ۱۱۲-۸۵.
- ۴- صلاحی، ب. گودرزی، م و س. ا. حسینی. ۱۳۹۴. پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در دهه ۲۰۵۰ در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۸ (۴): ۴۳۸-۴۲۵.
- ۵- عباسی، ف. ملبوسی، ش. بابائیان، ا. اثمیری، م و ر. برهانی. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. مجله آب و خاک، شماره ۲: ۲۳۳-۲۱۸.
- ۶- کمالی، ع.ر و ع.ر. مساح بوانی. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی. مجله آب و خاک. ۲۴ (۵): ۹۳۱-۹۲۰.
- ۷- محمدی، ح و ف. تقوی. ۱۳۸۴. روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳: ۱۷۲-۱۵۱.

- ۸- مجرد، ف. نادری، ل. فرهادی، ب و م. حافظپرست. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات عملکرد ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم در استان کرمانشاه. فصلنامه مدرس علوم انسانی (برنامه ریزی و آمایش فضا). ۲۰ (۴): ۲۵۵-۲۲۷.
- 9- Gordon, C. Cooper, C. Seinor, CA. Banks, H. Gregory, JM. Johns, TG. Mitchell, JFB. and RA. Wood. 2000. The simulation of SST, Seas ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Center coupled model without flux adjustment. *Climate Dynamics*. 16: 147-168.
- 10- Hashemi, M.Z. Shamseldin, A.Y. 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- IPCC, 2007. *Climate Change 2007*. Cambridge University Press, New York.
- 12- Luo, Q. Bellotti, W. Williams, M. and E. Wang. 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: Analysis of management and breeding strategies agriculture. *Ecosystems and Environment*. 129: 261-267.