

مقیاس‌کاهی آماری برون‌داد دمای کمینه مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای RCP در غرب ایران

محمد لطفی^۱، غلامعلی کمالی^{۲*}، امیرحسین مشکوتی^۳، وحید ورشاپیان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۴

چکیده

نظر به تاثیر مشهود پدیده‌های زیان‌بار سرمازدگی و یخبندان بر تولیدات زراعی و باغی ایران، در پژوهش حاضر، به بررسی چشم‌انداز تغییرات دمای کمینه در ۱۷ ایستگاه هواشناسی سه استان کردستان، کرمانشاه و ایلام در غرب ایران پرداخته شد. بدین منظور با استفاده از دو مولد داده آماری LARS-WG و SDSM پیش‌نگری دمای کمینه دو مدل اقلیم جهانی HadGEM2 و CanESM2 تحت سه سناریوی واداشت تابشی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مقیاس‌کاهی و استفاده شدند. بر این اساس، چشم‌انداز تغییرات دمای کمینه در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۸) مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی عملکرد مولدهای هواشناسی، از معیارهای MSE، RMSE، MAE و R² استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که مدل‌های مورد بررسی با دقت بالایی قادر به آشکارسازی روند دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه هستند. با این وجود، مدل SDSM از دقت بیشتری نسبت به مدل LARS-WG برخوردار است. نتایج حاصل از چشم‌انداز تغییرات دمای کمینه نشان داد که بر اساس هر دو مدل، میزان دمای کمینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه به‌طور متوسط بین ۰/۶ تا ۱/۵ درجه سلسیوس در مناطق مورد مطالعه افزایش می‌یابد. از نظر مکانی نیز بیشترین تغییرات مربوط به مناطق سردسیر واقع در شمال محدوده مطالعاتی به ویژه ایستگاه‌های سقز و زرینه اوباتو است. یافته‌های پژوهش در مدیریت ریسک یخبندان و برنامه‌ریزی‌های اقلیمی کشاورزی منطقه مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دمای کمینه، سناریو واداشت تابشی، LARS-WG، SDSM

مقدمه

زمین که عمدتاً توسط دما و بارش مشخص می‌شود، در حال تغییر است (Azizi, 2004). از طرفی مخاطرات اقلیمی یکی از مرگ‌بارترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی در جهان محسوب می‌شود (Guan et al., 2015). در این میان کشاورزی به عنوان مهم‌ترین فعالیت اقتصادی پایه‌ای در جهان بیشترین وابستگی را به شرایط جوی دارد و آب و هوا یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده تولید کشاورزی محسوب می‌شود (Moonen et al., 2002). در واقع شرایط آب و هوایی، از مهم‌ترین مسائل در تعیین عملکرد و بهره‌وری محصولات کشاورزی به شمار می‌رود. در این میان یکی از عوامل جوی که هر ساله به محصولات کشاورزی ایران خسارت وارد می‌کند، عوامل یا پارامترهای دمایی است (Fallahghalhari and

امروزه تغییر اقلیم یک موضوع اصلی در مجامع علمی و نشریات مرتبط با علوم محیطی و جوی می‌باشد. یک بررسی سطحی از مدارک تاریخی و اقلیمی و اسناد رسانه‌ها یا نوشته‌های اقلیمی نشان می‌دهد که اقلیم کره

^۱ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
^۲ دانشیار گروه هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
(*نویسنده مسئول: a.kamali@srbiu.ac.ir)
^۳ دانشیار گروه هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
^۴ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران

نحوه ارجاع مقاله:

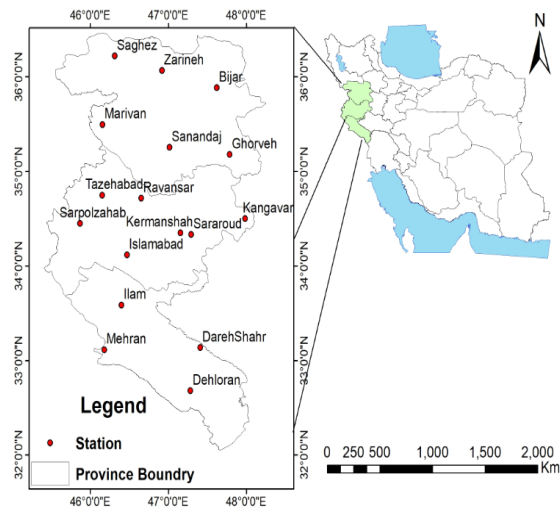
لطفی، م.، کمالی، غ.، مشکوتی، ا.، ورشاپیان، و. ۱۳۹۹. مقیاس‌کاهی آماری برون‌داد دمای کمینه مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای RCP در غرب ایران. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۸(۲): ۳-۱۳. DOI: 10.22125/agmj.2020.227415.1097

Lotfi, M., Kamali G. A., Meshkatee, A., Varshavian, V. 2020. Statistical downscaling of climate models projection of minimum temperature under RCP scenarios in Western of Iran. Journal of Agricultural Meteorology, 8(2): 3-13. DOI: 10.22125/agmj.2020.227415.1097

هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد که تا پایان دوره پیش‌بینی دما بین ۰/۶ تا ۵ درجه افزایش می‌یابد. (Modala et al., 2016) با استفاده از مدل‌های GCM به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در نگرانس پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تا سال ۲۰۷۰ طول فصل بدون یخبندان ۱۸ تا ۲۴ روز طولانی‌تر می‌گردد و روزهای یخبندان در کل منطقه کاهش می‌یابد. Hidalgo-Galvez et al., (2017) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در اسپانیا پرداختند. نتایج حاصل افزایش دمای کمینه در تمام ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه را نشان داد. Dimri et al., (2018) به ارزیابی تغییرات احتمالی حداقل و حداکثر دما تحت سناریوهای مختلف در هیمالیا پرداختند. بر اساس نتایج حاصل دمای حداقل و حداکثر در این منطقه بین ۰/۵۴- تا ۰/۲۳ درجه سلسیوس در هر دهه افزایش می‌یابد. (Ghaderzadeh, 2015) به ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی درختان سیب در شهرستان ارومیه پرداخت. نتایج نشان داد در دوره آینده دمای هوا تا ۳ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت که این شرایط تأثیر زیادی بر وضعیت و زمان جوانه‌زنی و گلدهی درختان سیب می‌گذارد. (Hosseini and Ahmadi, 2016) به چشم‌انداز تغییرات دمای کمینه و بیشینه با استفاده از مدل LARS-WG در شهرستان سقز پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که دما در تمامی ماه‌های سال در این منطقه افزایش خواهد یافت. (Salahi et al., 2016) به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در دهه ۲۰۵۰ با استفاده از مدل LARS-WG در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج حاکی از کاهش ۸/۲۲ درصدی بارش و افزایش ۳/۱ درجه سلسیوس دما نسبت به دوره پایه می‌باشد. (Abbasnia et al., 2017) تغییرات دمای حداکثر روزانه ۴۴ ایستگاه سینوپتیک در ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که در دهه‌های آینده نواحی کوهستانی و مرتفع عرض‌های شمالی در فصل بهار و همچنین پهنه مرکزی ایران در فصل تابستان با بیشترین افزایش دما مواجه خواهد بود. (Houshyar et al., 2018) به بررسی روند و چشم‌انداز تغییرات دمای حداکثر در ایستگاه همدیدی ارومیه با کاربست مدل مقیاس کاهی SDSM پرداختند. نتایج نشان داد که در

(Ahmadi, 2015). تغییرات دما می‌تواند شاخص مناسبی برای بررسی تغییرات اقلیمی در یک منطقه محسوب شود. پیش‌بینی دقیق حداقل دما برای پیش‌بینی زمان وقوع و شدت یخبندان در دستیابی به استراتژی‌های کاهش آسیب‌رسانی به گیاهان بسیار مؤثر است. بنابراین ضرورت پیش‌بینی تغییرات دمایی اهمیت پیدا می‌کند. لذا با توجه به اهمیت دماهای کمینه و پدیده یخبندان و سرما و همچنین شواهد پدیده تغییر اقلیم در ایران (Babaieian and Najafi, 2010) علاوه بر ضرورت انجام مطالعات پایه‌ای به منظور شناخت راه‌های مقابله با آن، می‌بایست توجه ویژه‌ای به چگونگی تغییرات اقلیمی طی سده کنونی در مناطق مختلف کشور گردد که این مهم توسط مدل‌های گردش عمومی جو، سناریوهای اقلیمی و روش‌های مقیاس کاهی امکان‌پذیر شده است (Khali et al., 2016). مدل‌های گردش عمومی جو مهم‌ترین و شاخص‌ترین نوع مدل‌های آب و هوایی هستند که تمامی پدیده‌های مؤثر بر آب و هوا را در مقیاس کل سیاره زمین، نمایش می‌دهند (Shamsipour, 2013). مدل‌های گردش عمومی (GCM) واکنش اقلیم جهانی به غلظت گازهای گلخانه‌ای و نیز سناریوهای اقلیمی آینده را برای سراسر کره زمین شبیه‌سازی می‌کنند (IPCC, 2013)، ولی مدل‌های GCM متعددی توسعه یافته است و به دلیل تفاوت ساختار این مدل‌ها و تفاوت شرایط اولیه‌ای که تحت آن اجرا می‌شوند، نتایج آن‌ها حتی برای یک سناریوی انتشار یکسان، متفاوت است. لذا برای استفاده در مطالعات منطقه‌ای، لازم است خروجی این مدل‌ها با استفاده از یک روش مناسب ریزمقیاس شود (Kay et al., 2009) و ذاتاً قادر نیستند که دینامیک و اشکال با شبکه ریزتر از مقیاس محلی را به نمایش بگذارند (Carter et al., 1994; Sharma et al., 2007). ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف موقتی و فضایی بین متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس و متغیرهای هواشناسی با مقیاس محلی را پر کند که در این مورد، رویکرد اساسی همان روش‌های ریزمقیاس‌گردانی هستند (Wilby et al., 2002). در این راستا (Sarkar et al., 2015) به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل‌های GCM و ریزمقیاس‌گردانی LARS-WG در

اقلیمی بر اساس خروجی مدل CanESM2 تحت سه سناریوی واداشت تابشی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 پرداخته می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

Figure 1- Geographical location of the study area and meteorological stations

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Table 1- Geographical characteristics of the meteorological stations under study

Station	Station type	Lat (N°)	Lon (E°)	Elevation (m)
Bijar	Synoptic	35.89	47.62	1883.4
DarehShahr	Synoptic	33.14	47.41	630
Dehloran	Synoptic	32.68	47.28	232
Ghorveh	Synoptic	35.18	47.79	1906
Ilam	Synoptic	33.59	46.40	1337
Islamabad	Synoptic	34.12	46.47	1348.8
Kangavar	Synoptic	34.50	47.98	1468
Kermanshah	Synoptic	34.35	47.15	1318.5
Marivan	Synoptic	35.50	46.15	1287
Mehran	Synoptic	33.11	46.18	150
Ravansar	Synoptic	34.72	46.65	1380
Saghez	Synoptic	36.22	46.31	1522.8
Sanandaj	Synoptic	35.25	47.01	1373.4
Sararoud	Agriculture	34.33	47.29	1361.7
Sarpolzahab	Synoptic	34.45	45.87	545
Tazehabad	Synoptic	34.75	46.15	1226
ZarinehObatou	Synoptic	36.07	46.92	2142.6

سناریوهای واداشت تابشی تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی بازگشتی به جو توسط زمین می‌باشد. واداشت مثبت (ورودی بیشتر انرژی تابشی خورشید) موجب افزایش و واداشت منفی (برونرفت بیشتر انرژی) موجب کاهش دمای سیستم زمین می‌گردد.

طول دوره آماری پایه، دما دارای روند افزایشی است و در دوره آتی نیز مقدار آن افزایش می‌یابد. لذا با توجه به اهمیت موضوع در این پژوهش به چشم‌انداز تغییرات دمای کمینه در غرب کشور با استفاده از روش‌های مقیاس‌کاهی آماری LARS-WG و SDSM و همچنین خروجی دو مدل GCM تحت سناریوهای واداشت تابشی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل سه استان کردستان، کرمانشاه و ایلام در غرب کشور می‌باشد. جهت بررسی از داده‌های مشاهداتی دمای کمینه، ۱۷ ایستگاه هواشناسی منتخب در سطح منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در شکل ۱ و همچنین مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی در جدول ۱ نشان داده شده است.

مدل مقیاس‌کاهی SDSM

مدل SDSM یک روش نمونه‌برداری مجدد شرطی و دو مرحله‌ای جهت مقیاس‌کاهی داده‌های مدل‌های GCM است (Wilby and Dawson, 2007)؛ که اولین بار توسط Wilby et al., (2002) تحت عنوان نسخه ۲/۱ جهت مقیاس‌کاهی داده‌های دما و بارش با استفاده از روش‌های آماری ارائه شد. این روش ابتدا متغیر پیش‌بینی کننده (مانند دما و بارش) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی، کوچک‌مقیاس کرده و در مرحله بعد در محل ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد (Tatsumi et al., 2013). در واقع SDSM ترکیبی از روش مولد هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است. برای کالیبره کردن با استفاده از مدل ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM، از داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) در دوره پایه (در این پژوهش دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۹) استفاده شد. پس از اطمینان و ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره پایه در منطقه مطالعاتی، به پیش‌بینی پارامترهای

است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است که دارای شبکه‌ای به ابعاد $1/25$ درجه عرض جغرافیایی در $1/875$ درجه طول جغرافیایی است که داده‌های آن‌ها از سال ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ موجود است (Goudarzi et al., 2015). 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 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. لازم به ذکر است ورودی‌ها و خروجی‌های این مدل به صورت ایستگاهی است (Aghashahi et al., 2012).

ارزیابی عملکرد مدل‌ها

جهت ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل‌های تخمین و پیش‌بینی شاخص‌های عملکردی مختلفی وجود دارد که در ادامه به توضیح مختصری راجع به شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش پرداخته می‌شود. ضریب تعیین (R^2) معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. معادله ۱ نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد (Sedaghatkardar et al., 2008). میانگین مربعات خطا (MSE) که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند. که به صورت معادله ۲ تعریف می‌گردد (Karamouz et al., 2007). مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به کار می‌رود این معیار که به صورت معادله ۳ تعریف می‌شود به عنوان مرسوم‌ترین شاخص خطا به کار می‌رود (Lin et al., 2006). میانگین مطلق خطا (MAE) برای مقایسه عبارت به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه به

برای مثال مطابق با سناریوی RCP2.6، واداشت تابشی در پایان سال ۲۱۰۰ به $2/6$ وات بر مترمربع می‌رسد که برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند (Goudarzi et al., 2015). در واقع واداشت تابشی که می‌تواند مهم‌ترین علت تغییر اقلیم باشد، برای ارزیابی و مقایسه هر یک از عاملان طبیعی و انسانی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد (IPCC, 2007). مدل CanESM2 نیز چهارمین نسل از مدل‌های آب‌وهوایی است که توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب‌وهوای کانادا (CCCma) زیر نظر سازمان محیط‌زیست این کشور توسعه یافته است. در این مدل کل زمین به صورت 64×128 سلول شبکه‌بندی شده است که دارای شبکه‌ای با ابعاد 1×1 درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد (Goudarzi et al., 2015).

مدل مقیاس‌کاهی LARS-WG

این مدل یک مدل تصادفی با استفاده از توزیع نیمه‌تجربی برای تولید داده‌های آب و هوایی به وسیله تکنیک‌های مقیاس‌کاهی آماری است (Wilks and Wilby, 1999) که به مراتب از دیگر برنامه‌ها به دلیل تکرار محاسبات، نیاز به داده‌های ورودی کمتر و همچنین سادگی و کارایی دارای کاربرد بیشتری است (Dibike and Coulibaly, 2005). این مدل به عنوان یک مدل ریزمقیاس گردانی، در عین پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه‌سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دارد (Semonov and Stratonovitch, 2010). اولین نسخه آن در سال ۱۹۹۰ در شهر بوداپست مجارستان ارائه شد. داده‌های ورودی به مدل شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و میزان تابش به صورت روزانه می‌باشد این داده‌ها که از سازمان هواشناسی کشوری اخذ گردید نسخه ۶ این مدل (LARS-WG6) در سال ۲۰۱۸ جهت ریزمقیاس گردانی داده‌های گزارش پنجم (CIMP5) به روز و منتشر گردید. در مدل LARS-WG6 چون نتایج مدل CanESM2 در ورودی‌های این مدل خورنده نشده است از داده‌های مدل جهانی HadGEM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. مدل HadGEM2 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی

مقایسه گردید. همچنین به منظور اطمینان از صحت مدل مقیاس‌کاهی SDSM، به ارزیابی پارامترهای شبیه‌سازی شده با استفاده از متغیرهای NCEP و داده‌های واقعی برای دوره آماری پایه پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین متغیرهای NCEP و داده‌های مشاهداتی، متغیرهای متوسط فشار در سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال و متوسط دما در ارتفاع دو متری بیشترین ارتباط را با پارامتر مورد بررسی (دمای کمینه) در منطقه مطالعاتی دارند. نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای کمینه توسط هر دو مدل مقیاس‌کاهی با استفاده شاخص‌های آماری مختلف در جدول ۲ آورده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که این مدل از دقت بالایی در شبیه‌سازی دما برخوردار است به طوری که مقایسه خطای بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی بسیار کم است و تمام ایستگاه‌ها ضریب تبیین برابر با ۰/۹۹ دارند. بر اساس نتایج کمترین خطای مدل‌های مورد بررسی در این زمینه مربوط به ایستگاه کنگاور و بیشترین خطا مربوط به ایستگاه‌های بیجار و تازه آباد است که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

مقادیر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود که به صورت معادله ۴ ارائه می‌گردد (Hu et al., 2001).

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

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (3)$$

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

که در آن‌ها X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

به منظور واسنجی و اطمینان از صحت مدل LARS-WG، ابتدا مدل برای دوره آماری پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۸) اجرا گردید سپس خروجی‌های مدل و انحراف معیار پارامترهای مورد بررسی (در این پژوهش دمای کمینه) می‌باشد با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل‌های مقیاس‌کاهی مورد بررسی در شبیه‌سازی دماهای کمینه

Table 2- Performance evaluation of downscaling models for simulation of minimum temperatures

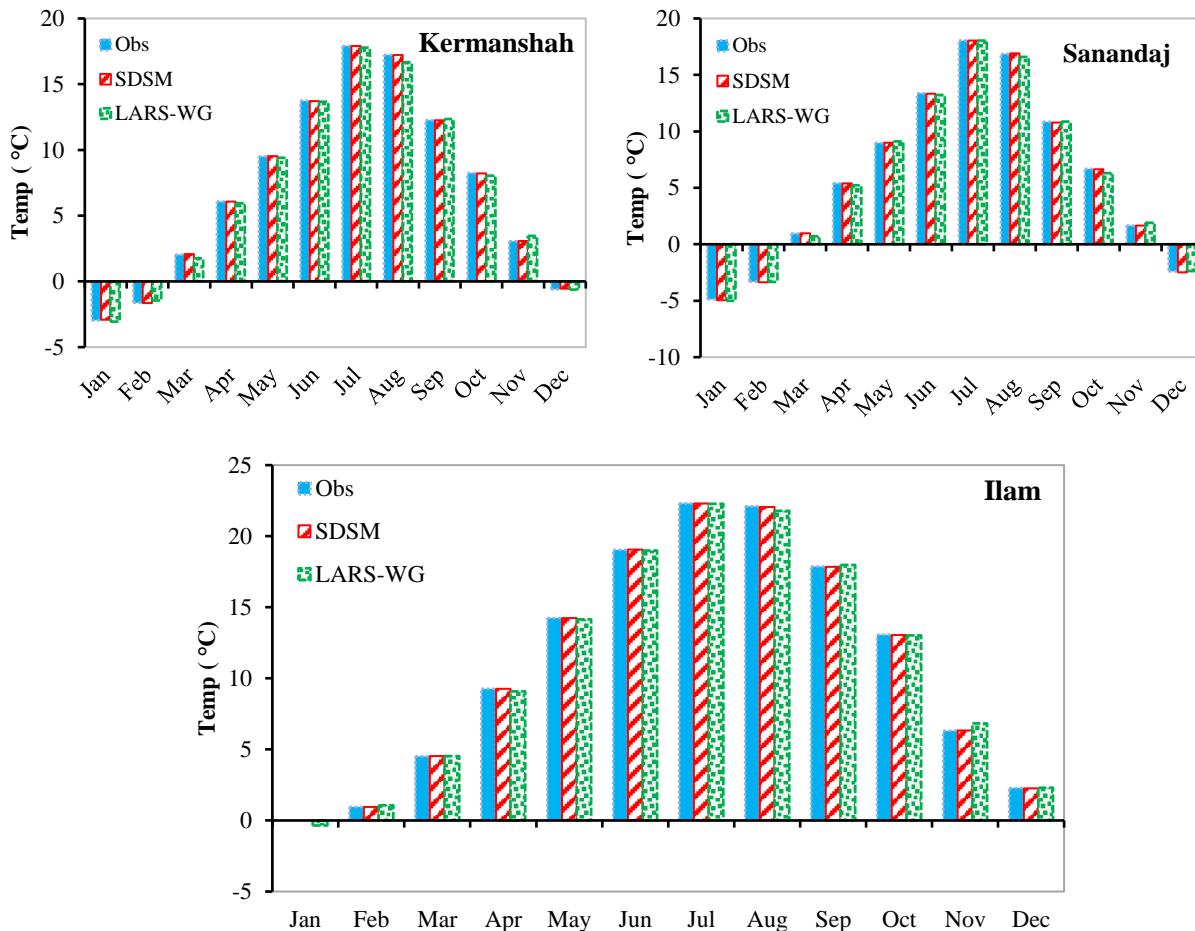
Station	RMSE		MSE		MAE		R ²	
	SDSM	LARS-WG	SDSM	LARS-WG	SDSM	LARS-WG	SDSM	LARS-WG
Bijar	0.03	0.35	0.00	0.12	0.02	0.27	0.99	0.99
DarehShahr	0.1	0.29	0.01	0.08	0.08	0.25	0.99	0.99
Dehloran	0.03	0.22	0.00	0.05	0.02	0.18	0.99	0.99
Ghorveh	0.03	0.23	0.00	0.05	0.02	0.19	0.99	0.99
Ilam	0.02	0.2	0.00	0.04	0.02	0.14	0.99	0.99
Islamabad	0.03	0.17	0.00	0.03	0.02	0.14	0.99	0.99
Kangavar	0.03	0.1	0.00	0.01	0.02	0.08	0.99	0.99
Kermanshah	0.03	0.23	0.00	0.05	0.02	0.17	0.99	0.99
Marivan	0.04	0.23	0.00	0.05	0.03	0.19	0.99	0.99
Mehran	0.12	0.24	0.01	0.06	0.08	0.18	0.99	0.99
Ravansar	0.03	0.13	0.00	0.02	0.03	0.1	0.99	0.99
Saghez	0.03	0.3	0.00	0.09	0.02	0.21	0.99	0.99
Sanandaj	0.04	0.18	0.00	0.03	0.03	0.14	0.99	0.99
Sararoud	0.1	0.23	0.01	0.05	0.07	0.18	0.99	0.99
Sarpolzahab	0.03	0.3	0.00	0.1	0.02	0.26	0.99	0.99
Tazehabad	0.12	0.31	0.01	0.1	0.1	0.27	0.99	0.99
Zarineh	0.03	0.14	0.00	0.02	0.02	0.11	0.99	0.99

طول دوره آماری مورد بررسی در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای پرداخته شد. در این بخش به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌های مورد

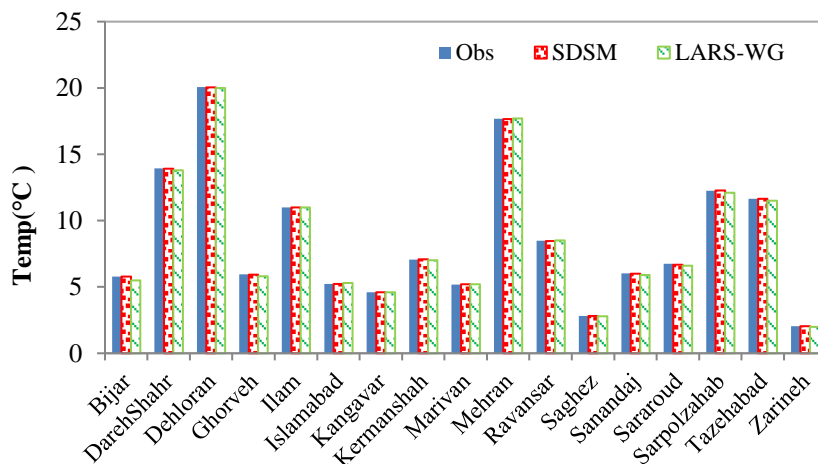
جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت واسنجی مدل‌های مقیاس‌کاهی مورد بررسی به مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به صورت ماهانه و سالانه در

مدل مورد بررسی، در بیشتر ماه‌ها و همچنین به صورت سالانه همان‌طوری که در شکل‌های ۲ و ۳ مشخص است در بیشتر ایستگاه‌ها مدل SDSM موفق‌تر از مدل LARS-WG عمل نموده است.

مطالعه فقط ایستگاه مراکز استانی (ایلام، سنندج و کرمانشاه) جهت نمایش آورده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که دقت مدل‌ها در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف متفاوت است و با وجود دقت بالای هر دو



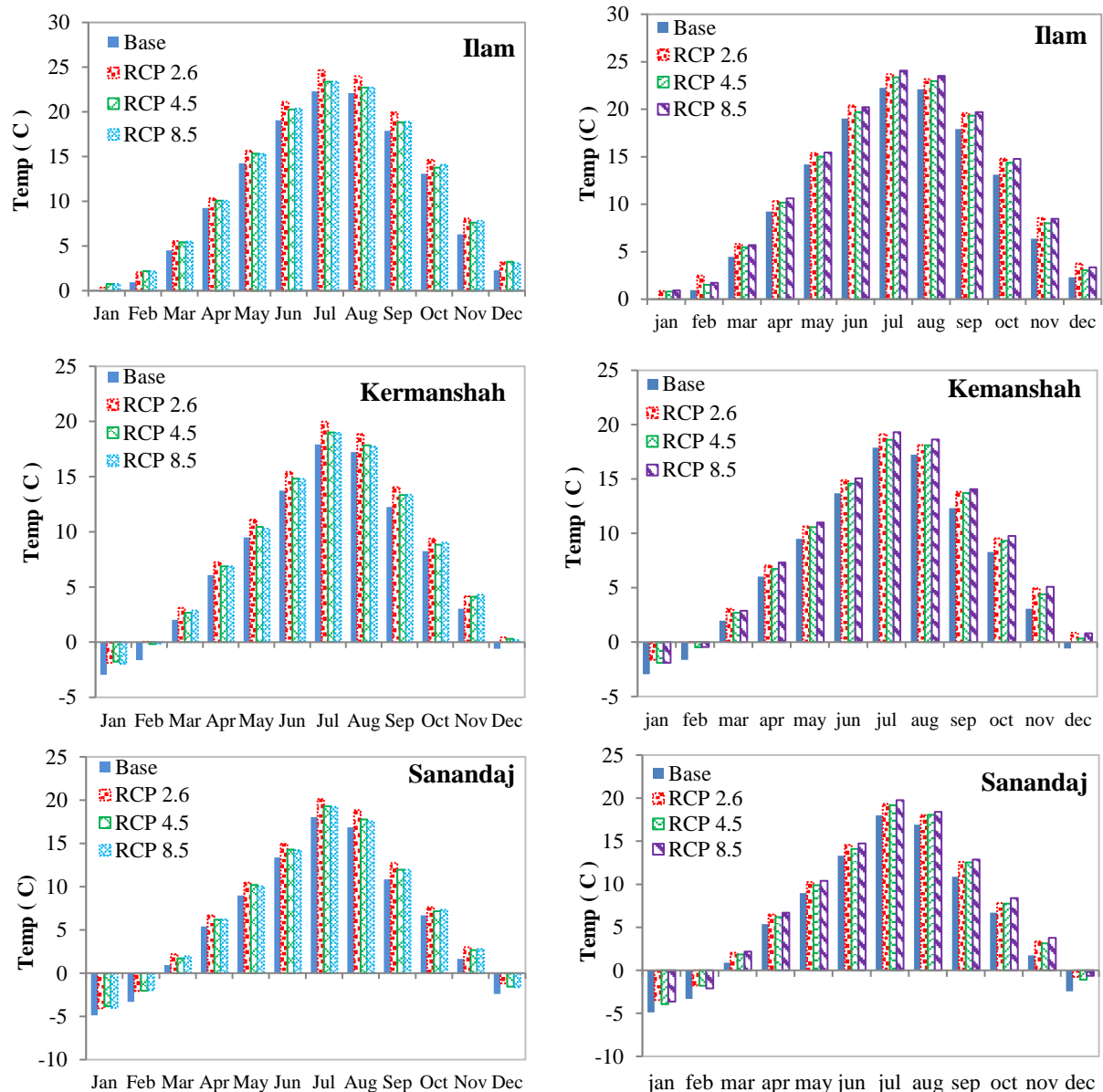
شکل ۲- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دمای کمینه به صورت ماهانه توسط مدل‌های SDSM و LARS-WG
Figure 2- Observed and simulated of monthly minimum temperature by SDSM and LARS-WG models



شکل ۳- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دمای کمینه به صورت سالانه توسط مدل‌های SDSM و LARS-WG
Figure 3- Observed and simulated of annual minimum temperature by SDSM and LARS-WG models

بررسی مربوط به سناریوی RCP 8.5 و سپس RCP 2.6 در ماه‌های سرد سال بیشتر از ماه‌های گرم سال است که ناشی از گرمایش و تأثیرپذیری بیشتر دماهای کمینه از این امر است. در این بخش نیز به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌های مورد مطالعه، فقط ایستگاه‌های مراکز استانی (ایلام، سنندج و کرمانشاه) بر اساس دو روش مورد بررسی جهت نمایش آورده شده است (شکل ۴).

نتایج حاصل از بررسی تغییرات ماهانه دمای کمینه بر اساس مدل‌های مورد بررسی در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد که میزان دمای کمینه بر اساس هر دو روش ریزمقیاس‌گردانی در دوره آینده در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه و بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در تمامی ماه‌های سال نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت و انتظار می‌رود در دوره آینده میزان دما افزایش یابد. بیشترین تغییرات ماهانه نیز بر اساس سناریوهای مورد



شکل ۴- تغییرات ماهانه دمای کمینه بر اساس مدل LARS-WG (سمت راست) و SDSM (سمت چپ)

Figure 4- Monthly minimum temperature changes based on LARS-WG (right) and SDSM (left) model

پایه و آینده به تفکیک سناریوها و ایستگاه‌های مختلف در جدول ۳ آورده شد. بر اساس نتایج حاصل دمای کمینه بر

جهت نمایش بهتر وضعیت تغییرات دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه، میزان دمای کمینه طی دوره آماری

افتاده است در دوره آینده مشاهده نشده و روند گرمایشی از خود نشان داده است. بیشترین تغییرات نیز بر اساس سناریوی RCP 8.5 برآورد شده است.

طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در تمام ایستگاه‌های مطالعاتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. در واقع دماهای کمینه‌ای که در این ایستگاه‌ها در دوره پایه اتفاق

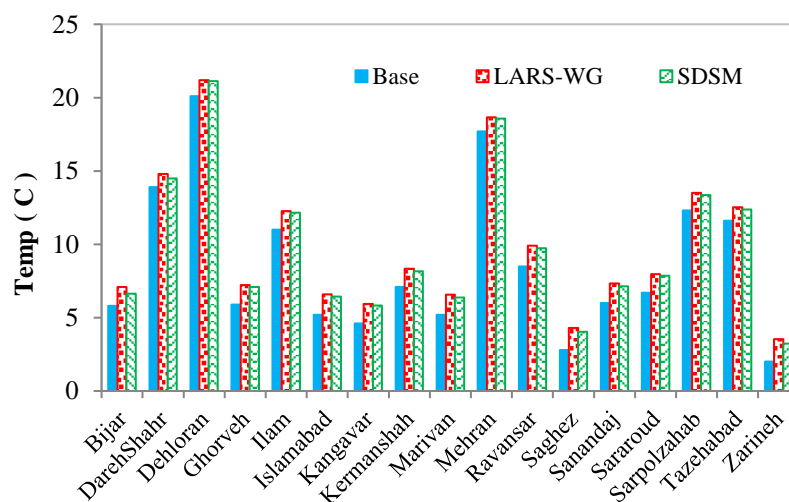
جدول ۳- تغییرات دمای کمینه (°C) در دوره آینده نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوها و مدل‌های مختلف

Table 3- Minimum temperature changes (°C) in future period compared to the base period

Station	Base	SDSM			LARS-WG		
		RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 2.6
Bijar	5.8	6.7	6.6	6.6	7.3	6.9	7.1
DarehShahr	13.9	14.6	14.6	14.3	14.9	14.6	14.9
Dehloran	20.1	21	21	21.4	21.3	20.9	21.4
Ghorveh	5.9	7	6.9	7.4	7.4	7	7.3
Ilam	11	12	12	12.5	12.4	12	12.4
Islamabad	5.2	6.3	6.3	6.7	6.7	6.4	6.7
Kangavar	4.6	5.7	5.7	6.1	6.1	5.7	6
Kermanshah	7.1	8	8	8.5	8.5	8.1	8.4
Marivan	5.2	6.2	6.2	6.7	6.7	6.4	6.6
Mehran	17.7	18.5	18.4	18.8	18.8	18.5	18.7
Ravansar	8.5	9.6	9.6	10	10.1	9.7	9.9
Saghez	2.8	3.8	3.8	4.5	4.5	4.1	4.3
Sanandaj	6	7	7	7.4	7.4	7.2	7.4
Sararoud	6.7	7.7	7.7	8.2	8.1	7.7	8.1
Sarpolzahab	12.3	13.2	13.2	13.7	13.6	13.3	13.6
Tazehabad	11.6	12.3	12.2	12.6	12.6	12.4	12.6
Zarneh	2	3	3.1	3.6	3.7	3.3	3.6

ایستگاه‌های سقز و زرینه اوباتو با ۱/۵ درجه سلسیوس افزایش نسبت به دوره پایه است. بر اساس مدل SDSM نیز بیشترین تغییرات با ۱/۲ درجه سلسیوس مربوط به ایستگاه‌های قروه، ایلام، اسلام آباد، کنگاور، میوان، روانسر، سقز، سرارود و زرینه اوباتو خواهد بود. کمترین تغییرات نیز مربوط به ایستگاه دره شهر به میزان ۰/۶ درجه سلسیوس است.

بررسی تغییرات بلندمدت دمای کمینه در ایستگاه‌های مطالعاتی بر اساس متوسط سناریوهای مورد بررسی در شکل ۵ آورده شده است. نتایج حاصل نشان داد که دمای کمینه بر اساس هر دو مدل مورد بررسی در تمام ایستگاه‌های مطالعاتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بر اساس مدل LARS-WG بیشترین تغییرات دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه مربوط به

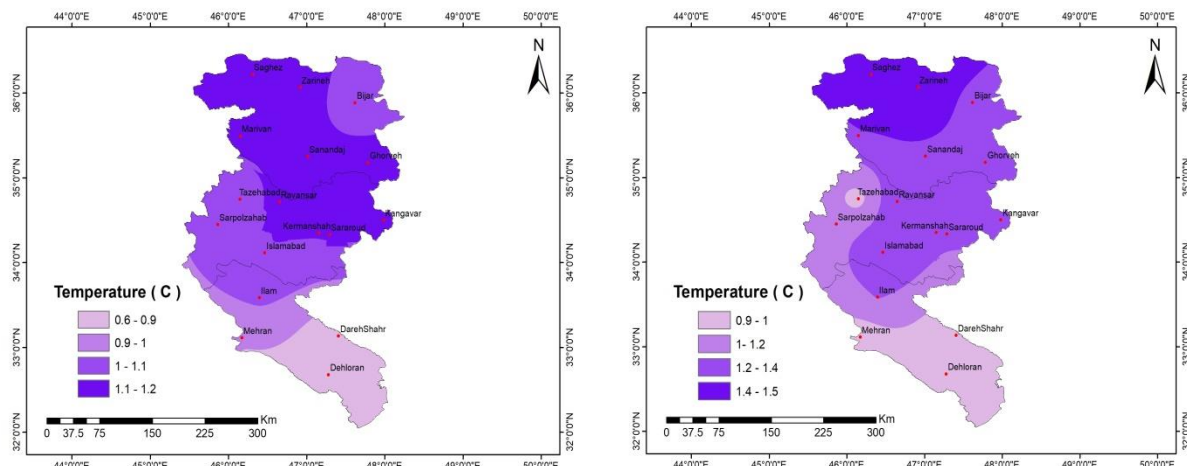


شکل ۵- متوسط دمای کمینه دوره پایه و آینده بر اساس ریزمقیاس گردانی مدل‌های SDSM و LARS-WG

Figure 5- Average minimum temperature of base and future periods based on SDSM and LARS-WG

ریزمقیاس گردانی مورد بررسی مربوط به نواحی سردسیر منطقه یعنی نواحی شمالی منطقه مورد مطالعه خواهد بود. بر اساس مدل LARS-WG میزان این تغییرات بین ۰/۹ تا ۱/۵ درجه سلسیوس و بر اساس مدل SDSM نیز بین ۰/۶ تا ۱/۲ درجه سلسیوس خواهد بود. از نظر مقایسه بین مدل‌های مورد بررسی نیز بیشترین تغییرات بر اساس مدل LARS-WG برآورد شده است و مدل SDSM تغییرات به نسبت کمتری را نشان می‌دهد (شکل ۶).

جهت نمایش بهتر وضعیت تغییرات دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه، میزان تغییرات دمای کمینه در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۸) بر اساس مدل‌های مورد بررسی در محیط ArcGIS با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW) درون‌یابی گردید. نتایج حاصل نشان داد میزان دمای کمینه در دوره‌های آتی در کل منطقه مورد مطالعه افزایش قابل ملاحظه‌ای را خواهد داشت. بیشترین تغییرات آن نیز بر اساس هر دو مدل



شکل ۶- تغییرات دما کمینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه بر اساس مدل‌های LARS-WG (راست) و SDSM (چپ)
 Figure 6- minimum temperature changes in future period to the base period based on the LARS-WG (Right) and SDSM models (Left)

مدل‌های مقیاس‌گامی مورد بررسی از کارایی بالایی جهت شبیه‌سازی تغییرات دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. همچنین بر اساس نتایج حاصل از خروجی مدل‌های جهانی و مدل‌های مقیاس‌گامی مختلف در منطقه مورد مطالعه میزان دمای کمینه در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که این میزان در سطح منطقه بین ۰/۶ تا ۱/۵ درجه سلسیوس خواهد بود و بیشترین تغییرات آن نیز از نظر منطقه‌ای مربوط به ایستگاه‌های واقع در مناطق سردسیر به ویژه در شمال منطقه مورد مطالعه خواهد بود. نتایج حاصل از این پژوهش مطالعات Hosseini and Ahmadi, Dimri et al., (2018), (2016), و Houshyar et al., و Salahy et al., (2016) را مورد تأیید قرار می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش در منطقه مورد مطالعه میزان دما افزایش پیدا خواهد کرد که این امر می‌تواند باعث افزایش تبخیر/تعرق، کاهش ذخایر منابع آبی، کاهش رطوبت خاک، افزایش نیاز

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت دمای حداقل در کشاورزی و همچنین با توجه به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی، در این پژوهش با استفاده از دو مدل ریزمقیاس‌گردانی آماری LARS-WG و SDSM و خروجی مدل‌های جهانی HadGEM2 و CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 چشم‌انداز تغییرات دمای کمینه با توجه به تغییرات اقلیمی احتمالی در غرب ایران در دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره (۱۹۸۹-۲۰۱۸) مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های مختلفی جهت ریزمقیاس‌گردانی خروجی مدل‌های GCM وجود دارد که به دلیل تفاوت در چگونگی انجام ریزمقیاس‌گردانی، خروجی حاصل از این روش‌ها یکسان نمی‌باشد. بنابراین استفاده از نتایج دو یا چند مدل می‌تواند راهکار مناسبی برای نتیجه‌گیری مناسب در یک منطقه و همچنین بررسی عدم قطعیت تغییرات اقلیمی باشد. نتایج حاصل از بررسی عملکرد مدل‌ها نشان داد که

یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره و به دنبال آن تاریخ‌های جوانه‌زنی و گلدهی محصولات دستخوش تغییر خواهند شد. بنابراین لازم است مسئولین و برنامه‌ریزان مربوطه در بخش‌های کشاورزی، انرژی، منابع طبیعی و غیره راهکارهای لازم برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب‌وهوایی جدید را اتخاذ نمایند.

منابع

- Abbasnia, M., Tavousi, T., Khosravi, M. 2017. Comprehensive Evaluation of the Future Seasonal Changes of the Maximum Temperature of Iran During the Warm Period Based on General Climate Circulation Models. Geographical arrangement of space, 7(25): 134-121. (In Farsi)
- Aghashahi, M. Ardestani, M. Nicksokhan, MH. and Tahmasebi, B. 2012. Introduce and compare the LARS-WG and SDSM model in order to fine-scale environmental modeling studies of climate change, the 6th National Conference and Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, p 10. (In Farsi)
- Azizi, Q. 2004. Climate Change, First Edition, Qomes Publication, Tehran. 284 p. (In Farsi)
- Babaeian, I., Najafi Nik, Z. 2010. Climate Change Analysis of Khorasan Razavi Province in the Period of 2039-2010 Using GCM Model Output Rotation. Geography and Regional Development, 15: 2-19. (In Farsi)
- Carter, T R., Parry, M L., Harasawa, H., Nishioka, S. 1994. IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations, IPCC Special Report to Working Group II of IPCC, London
- Dibike, Y B., Coulibaly, P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay Watershed: Comparison of Ownscaling Methods and Hydrologic Models. Journal of Hydrology, 307: 145-163.
- Dimri., A P., Kumar, D., Choudhary, A., Maharana, P. 2018. Future changes over the Himalayas: Maximum and minimum temperature, Global and Planetary Change, 162: 212-234.
- Fallahghalhari, Gh A., Ahmadi, H. 2015. Spatio-temporal estimation of flowering date of fruit trees in West Azarbaijan province in order to reduce and prevent climatic hazards. Insurance and Agricultural Research Quarterly, 46: 104-81. (In Farsi)
- Ghaderzadeh, A. 2015. Evaluation of Climate Change Consequences on Phenological Stages of Apple Trees in Urmia. M.Sc., Faculty of Literature and Humanities, Department of Physical Geography, Mohaghegh Ardebili University. (In Farsi)
- Goudarzi, M., Hosseini, S A., Masgari, I. 2015. Meteorological Models, First Edition, Azar Kelk Publications, Zanjan.Iran. (In Farsi)
- Guan, Y., Zheng, F., Zhang, P., Qin, C. 2015. Spatial and temporal changes of meteorological disasters in china during 1950-2013. Natural Hazards. 75:2607-2623.
- 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, 132: 263-273..
- Hosseini, S A., Ahmadi, H. 2016. Projection of temperature changes using statistical downscaling of HadCM3 outputs. Journal of Agricultural Meteorology, 1: 68-73. (In Farsi)
- Houshyar, M., Sobhani, B., Hosseini, S A. 2018. Projection of Urmia Maximum Temperature Variation Using Statistical downscaling of CanESM2 Model. Geography and Planning, Volume 23(63): 305-325. (In Farsi)
- Hu, T S., Lam, K.C., Ng, S T. 2001. River flow time series prediction with a range dependent neural network. Hydrological Science Journal, 46: 729-745.
- IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change;
- Karamouz, M., Ramezani, F., Razavi, S. 2007. Forecasting the long-term of rainfall through meteorological signals: Application of Artificial Neural Networks, 7th International Congress on Civil Engineering. Tehran; P. 11. (In Farsi)
- Kay, AL., Davies, H N., Bell, VA., Jones, R G. 2009. Comparison of uncertainty sources for climate change impacts L flood frequency in England. Climate Change, 92: 41-63.
- Khalili, A., Rahimi, J., Bazrafshan, J. 2016. Quantitative Forecasting of the Possible Impacts of Climate Change on the History and

- Risk of Late Glacial Occurrence during the 21st Century in Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 2: 38-48. (In Farsi)
- Lin, J Y., Cheng, C T., Chau, K W. 2006. Using support vector machines for long-term discharge prediction. *Hydrological Science Journal*, 51: 599-612.
- 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: 13-27.
- Salahi, B., Goodarzi, M., Hosseini, S A. 2016. Forecasting Temperature and Precipitation Changes in the 2050s in Urmia Lake Basin, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 4: 425-438. (In Farsi)
- Shamsipour, A A. 2013. *Climate Modeling Theory and Method*, University of Tehran Publications, p 101. (In Farsi)
- Sarkar, J., Chicholikar, J. R., Rathore, L. S. 2015. Predicting Future Changes in Temperature and Precipitation in Arid Climate of Kutch, Gujarat: Analyses Based on LARS-WG Model, research article, *Current science*, 109(11): 2084-2093.
- Sedaghatkardar, A., Fattahi, E. 2008. Warning of drought indices in Iran, *Journal of Geography and Development*, University of Sistan and Baluchestan; 6 (11):76-59. (In Farsi)
- Semonov, 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, D., Gupta, A. D., Babel, M. S. 2007. Spatial disaggregation of bias-corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping River Basin, Thailand. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1373-1390.
- Tatsumi, K., Oizumi, T., Yamashiki, Y. 2013. Introduction of daily minimum and maximum temperature change signals in the Shikoku region using the statistical downscaling method by GCMs. *Hydrological Research Letters*, 7(3): 48-53.
- Wilby R.L., Dawson C.W., Barrow, E.M. 2002. SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, *Environmental Modeling & Software*, 17: 147-159.
- Wilby, R.L., Dawson, W.C. 2007. SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales:94p.
- Wilks, D.S., Wilby, R. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*, 23: 329-357.

Statistical downscaling of climate models projection of minimum temperature under RCP scenarios in Western of Iran

M. Lotfi¹, G. A. Kamali^{2*}, A. Meshkatee³, V. Varshavian⁴

Received: 18/04/2020

Accepted: 15/10/2020

Abstract

Considering the significant effect of chilling and frost phenomenon on agricultural production in Iran, the aim of this study is projection of minimum temperature in three provinces of Kurdistan, Kermanshah and Ilam, Western of Iran. For this purpose, the data of 17 meteorological stations during the baseline period of (1989-2018) were collected. Then, the HadGEM2 and CanESM2 climate models outputs were statistically downscaled using LARS-WG and SDSM weather generators under three climate change scenarios of RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 during future period (2021–2050) and compared with observed data. The performance of the two weather generators, were compared using MSE, RMSE, MAE and R² indices. The results indicated the good accuracy of both statistical models in simulating the minimum temperature in the study area; however the SDSM model performed better than the LARS-WG. The projected changes of minimum temperature compared to the baseline period revealed a significant increase varying between 0.6 – 1.5 °C in study stations. The most significant change was observed in northern parts of study region especially in the Saqhez and Zarineh stations. The findings of this study can be used in frost risk management and agroclimatic planning in the region.

Keywords: Climate Change, LARS-WG, Minimum Temperature, RCP, SDSM, Iran



¹ Ph.D. Student in Agrometeorology, Department of Earth Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran.Iran

² Associate Professor of Agrometeorology, Department of Earth Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch

(*Corresponding Author Email Address: a.kamali@srbiau.ac.ir)

³ Associate Professor of Meteorology, Department of Earth Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor of Water Science and Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran