

بررسی کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی دما و بارش

علی سلاجقه^۱، الهام رفیعی ساردوئی^{۲*}، علیرضا مقدم نیا^۳، آرش ملکیان^۳، شهاب عراقی نژاد^۴، شهرام خلیقی سیگارودی^۳، امین صالح پورجم^۵

۱. استاد، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۴. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۵. استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۶/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۷/۴)

چکیده

در این تحقیق، نتایج دو روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG در نظر گرفتن معیارهای خطا، از لحاظ بارش روزانه، دماهای حداقل و حداکثر روزانه در دو ایستگاه سینوپتیک روانسر و کرمانشاه مقایسه می‌شود. در هر دو مدل دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۶۱ و ۱۹۸۹-۲۰۰۱ به ترتیب برای انجام واسنجی و صحت‌سنجی در نظر گرفته شدند. نتایج کلی نشان داد که مدل SDSM در دو ایستگاه موردبررسی، در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، برای دماهای حداقل و حداکثر روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد در حالی که برای بارش روزانه، مدل LARS-WG دارای عملکرد بهتری می‌باشد. از نتایج ریزمقیاس‌نمایی، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در دو دهه ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ تحت سناریو A2 و با به‌کارگیری مدل بزرگ‌مقیاس HadCM3، ایستگاه کرمانشاه و روانسر با میزان بارش کمتری مواجه می‌شوند. هم‌چنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در هر دو مدل دمای حداقل و دمای حداکثر در دو دهه آتی تحت سناریو A2 در هر دو ایستگاه افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، بارش دمای حداقل، دمای حداکثر.

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن باعث برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین گردیده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب شده است. تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن خصوصاً گرم شدن کره زمین، به‌عنوان بزرگ‌ترین معضل قرن بیست و یکم مطرح است، به‌طوری‌که طی چند سال اخیر همواره یکی از محورهای اصلی سران کشورهای صنعتی جهان، مسئله تغییر اقلیم بوده است (Andersen et al, 2006). بررسی‌ها نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر بخش‌های مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. اولین اثر تغییر اقلیم روی عناصر اتمسفری خصوصاً درجه حرارت و بارش می‌باشد. سپس با توجه به ارتباط بین عناصر اتمسفری و اکوسیستم‌های زمینی، منابع آب، پوشش گیاهی، خاک و هم‌چنین زندگی انسان تحت تأثیر

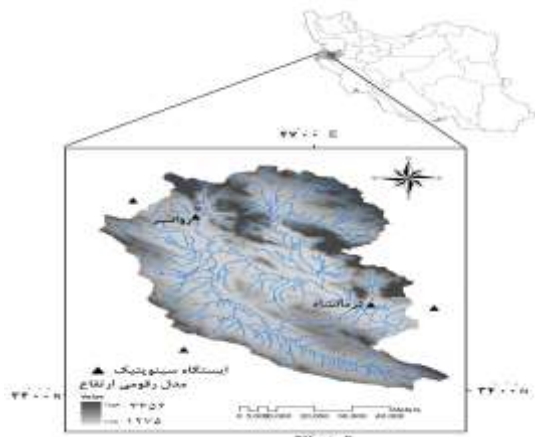
این پدیده قرار خواهد گرفت. بنابراین بررسی روند متغیرهای اتمسفری مانند دما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو، پیش‌بینی‌های اقلیمی جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور خصوصاً در رابطه با بلایای طبیعی ضروری به نظر می‌رسند. معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی‌شده توسط مدل‌های جفت شده جوی-اقیانوسی می‌باشد. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره طولانی‌مدت با استفاده از سناریوهای تاییدشده مدل-سازی نمایند (IPCC, 2014)، اما ضعف عمده این مدل‌ها قدرت تفکیک مکانی کم و ساده‌سازی‌هایی است که برای فرآیندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند. برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک پایین لازم است خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس شوند. به‌طورکلی چهار روش ریزمقیاس‌نمایی شامل روش آماری، روش الگوهای آب و هوا، روش احتمالی و روش دینامیکی ارائه شده‌اند. از بین این روش‌ها، روش آماری به متغیرهای کمتری نسبت به سایر روش‌ها احتیاج داشته و به همین دلیل در کاربردهای علوم آب

al. (2015) عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (اقلیم سرد و نیمه‌خشک) بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی دما نسبت به بارش دارند و در شبیه‌سازی پارامترهای دما، مدل SDSM موفق‌تر عمل نموده و دارای عدم قطعیت کمتری است در حالی که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دوره‌های بارش از کارایی بهتری برخوردار است و دارای سادگی و سرعت عملکرد بیشتری نسبت به مدل SDSM است. در مجموع بر اساس نتایج حاصل هیچ‌کدام از مدل‌ها برتری مطلق بر یکدیگر ندارند و علی‌رغم تفاوت‌هایی در شبیه‌سازی، می‌توانند در بررسی‌های تغییرات اقلیمی مفید واقع شوند. از آنجا که در تمامی تحقیقات صورت گرفته جهت مقایسه دو مدل از ناحیه عدم قطعیت (فاصله اطمینان) استفاده شده و به بررسی معیارهای خطا پرداخته نشده است لذا در این تحقیق سعی بر این است که عملکرد دو مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM با در نظر گرفتن معیارهای خطا RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) و R (ضریب رگرسیون)، در شبیه‌سازی متغیرهای بارش و دما در حوزه قره‌سو کرمانشاه که از لحاظ اقلیمی گرم و نیمه‌خشک می‌باشد، مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه کرمانشاه در طول جغرافیایی $09^{\circ} 47'$ عرض جغرافیایی $21^{\circ} 34'$ و ارتفاع $1318/6$ و ایستگاه روانسر در عرض جغرافیایی $43^{\circ} 34'$ ، طول جغرافیایی $39^{\circ} 46'$ و ارتفاع $1379/7$ قرار دارند. هر دو ایستگاه از ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک استان کرمانشاه می‌باشند. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک کرمانشاه و روانسر در استان کرمانشاه نشان داده شده است.



شکل ۱. نمای از موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک کرمانشاه و روانسر

بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این زمینه پژوهش‌های متعددی در سطح جهانی صورت گرفته است. در پژوهشی Aghashahi (2012) به معرفی و مقایسه دو مدل SDSM و LARS-WG پرداختند. نتایج نشان داد که مدل SDSM دارای عدم قطعیت کمتری نسبت به مدل دیگر می‌باشد. *et al.* Kabiri *al.* (2015) اثر تغییر اقلیم را روی روند رواناب با استفاده از مدل SDSM و HEC-HMS مطالعه کردند. نتایج نشان داد که مدل SDSM به‌عنوان یک مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری، از کارایی خوبی جهت پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برخوردار است. در پژوهشی *Chen et al.* (2012) از دو مدل SDSM و ماشین بردار پشتیبان برای ریزمقیاس نمودن بارندگی در حوزه رودخانه هانجیانگ استفاده نمود. نتایج عملکرد بهتر مدل SDSM را در مقایسه با ماشین بردار پشتیبان نشان داد. *et al.* Hashmi (2011) از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی بارش حدی استفاده کردند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که هر دو مدل دارای عملکرد مشابه و خوبی در شبیه‌سازی بارش حدی می‌باشند و بنابراین می‌توانند برای بررسی اثر تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرند. *et al.* Zulkarnain (2014) از دو مدل SDSM و LARS-WG برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس‌نمایی بارش و دما در مالزی (با اقلیم حاره‌ای) استفاده کردند. نتایج نشان داد که خروجی‌های SDSM دارای عملکرد بهتری در مقایسه با LARS-WG می‌باشند، به‌استثنای اینکه مدل SDSM طول دوره‌های تر و خشک را کمتر برآورد می‌کند. اگرچه هر دو مدل دارای نتایج یکسانی نمی‌باشند، سری‌های زمانی ایجادشده توسط هر دو مدل روند افزایشی در مقادیر دمای متوسط روزانه نشان می‌دهند. درحالی‌که روند بارش روزانه دو مدل مشابه یکدیگر نیست و مدل SDSM در مقایسه با LARS-WG تغییرات بیشتری را در بارش سالانه نشان می‌دهد. *et al.* Zamani Nuri (2014) به بررسی عدم قطعیت پارامترهای اقلیمی دما و بارش شبیه‌سازی‌شده توسط دو مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM پرداختند و فاصله اطمینان خروجی‌های هر دو مدل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی بارش دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل SDSM می‌باشد و در آینده نزدیک کاهش در بارش را نشان می‌دهد. هم‌چنین مدل SDSM در شبیه‌سازی دما دارای عملکرد بهتری بوده و افزایش دما را نشان می‌دهد. *Alizadeh and Zahraei* (2014) هم‌چنین مدل رگرسیونی چند متغیره (SDSM) و مدل مولد آب و هوایی استوکستیک (LARS-WG) را در ریزمقیاس‌نمایی بارش روزانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از عملکرد بهتر مدل LARS-WG در شبیه‌سازی بارش‌های حدی بود. *et al.* Goudarzi

پارامترهای هواشناسی تولید شوند. برای تولید داده‌های آب و هوای مصنوعی مدل تحت سناریوی تغییر اقلیم A2 اجرا شد. در مورد مدل SDSM، پس از آماده‌سازی داده‌های مشاهداتی و کنترل کیفیت آن‌ها، ریزمقیاس‌نمایی آماری با کاربرد داده‌های مشاهداتی روزانه (پیش‌بینی شونده)، پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس مشاهداتی (NCEP¹) و نیز پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو (HadCM3²)، انجام شد. پس از انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP که به طور معنی‌داری از همبستگی با داده‌های مشاهداتی مرتبط با هر ایستگاه برخوردارند، واسنجی و صحت‌سنجی مدل انجام شد و در نهایت سناریوهای اقلیمی با استفاده از پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهداتی شبیه‌سازی شدند. در جدول (۱) پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب جهت ریزمقیاس کردن آماری دما و بارش روزانه ایستگاه کرمانشاه نشان داده شده است.

1. National Centers for Environmental Prediction
2. Hadley Centre Coupled Model Version

جدول ۱. پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب جهت ریزمقیاس کردن آماری دما و بارش روزانه ایستگاه کرمانشاه

متغیر	پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب	پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب	P-value	همبستگی جزئی
	Mean Sea Level Pressure	میانگین فشار سطح دریا	.	۰/۱۳۸
بارش	500hpa Geopotential	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۱۹
	Relative humidity in 500 hpa surface	رطوبت نسبی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۳۱
	Mean Sea Level Pressure	میانگین فشار سطح دریا	.	۰/۳۳
دما	500hpa Geopotential	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۵۴۳
حداقل	Relative humidity in 500 hpa surface	رطوبت نسبی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۴۴۷
	Mean Temperature at 2m	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	.	۰/۶۸
	Mean Sea Level Pressure	میانگین فشار سطح دریا	.	۰/۴۲
دما	500hpa Geopotential	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۵۰۰ هکتوپاسکال	.	۰/۵۵
حداکثر	Mean Temperature at 2m	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	.	۰/۶۵
	850hpa Geopotential	ژئوپتانسیل در ارتفاع معادل ۸۵۰ هکتوپاسکال	.	۰/۴۳

در این تحقیق، دوره زمانی ۱۹۶۱-۲۰۰۱ به عنوان پایه در نظر گرفته شد. براین اساس، واسنجی مدل، طی دوره ۱۹۶۱-۱۹۸۸ مبتنی بر داده‌های ریزمقیاس شده حاصل از پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهداتی (NCEP) و صحت‌سنجی مدل، طی دوره ۲۰۰۱-۱۹۸۹ مبتنی بر داده‌های ریزمقیاس شده حاصل از NCEP و HadCM3 با سناریو A2 صورت گرفت. برای ارزیابی مدل LARS-WG و SDSM، سه سری داده برای دوره

در این تحقیق ابتدا داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک کرمانشاه و روانسر جمع‌آوری شده و کنترل کیفی روی آنها صورت گرفت. سپس مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM 5.1 و LARS-WG برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دما و بارش در دو ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و روانسر در دوره پایه و دوره آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفت. برای مدل LARS-WG با توجه به آمار موجود دوره ۲۰۰۱-۱۹۶۱ به‌عنوان دوره پایه انتخاب شد، پارامترهای اقلیمی موردنیاز جهت اجرای مدل LARS-WG جمع‌آوری و مورد پردازش قرار گرفت. در مرحله واسنجی، مدل داده‌های دیده‌بانی شده دوره ۱۹۶۱-۱۹۸۸ را دریافت نموده که با بررسی آنها مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج می‌شوند، سپس به‌منظور بررسی صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، مدل متناسب با داده‌های منطقه مطالعاتی بدون در نظر گرفتن سناریوهای انتشار اجرا شد. بدین صورت که در رویه weather generator (قسمت تولید داده) در مدل LARS-WG یک سناریوی حالت پایه در دوره ۱۹۸۹-۲۰۰۱ تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید. بعد از کالیبره کردن و ارزیابی مدل، باید

در این تحقیق، دوره زمانی ۱۹۶۱-۲۰۰۱ به عنوان پایه در نظر گرفته شد. براین اساس، واسنجی مدل، طی دوره ۱۹۶۱-۱۹۸۸ مبتنی بر داده‌های ریزمقیاس شده حاصل از پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهداتی (NCEP) و صحت‌سنجی مدل، طی دوره ۲۰۰۱-۱۹۸۹ مبتنی بر داده‌های ریزمقیاس شده حاصل از NCEP و HadCM3 با سناریو A2 صورت گرفت. برای ارزیابی مدل LARS-WG و SDSM، سه سری داده برای دوره

مدل‌ها و مقایسه آنها از دو روش ترسیمی و معیارهای آماری مرسوم RMSE و R استفاده گردید. این معیارها بر اساس روابط (۱ و ۲) محاسبه می‌شوند.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - o_i)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن o_i داده‌های مشاهداتی، s_i داده‌های برآورد شده، \bar{o} و \bar{s} میانگین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده می‌باشد. هرچه مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است. R بیانگر ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد و حدود تغییرات آن بین -۱ تا +۱ است.

درصد باقی‌مانده خطا برای بارش روزانه (residual of rainfall) و باقی‌مانده خطا برای دمای حداقل و دمای حداکثر (residual of temperature) به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\% \text{ residual of rainfall} = \frac{\text{simulated} - \text{observed}}{\text{observed}} \times 100$$

Simulated data - residual of temperature = Observed data
 که در آن Observed مقادیر مشاهداتی و Simulated مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشند.

نتایج و بحث

جدول (۲) ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی برای داده‌های بارش و دماهای حداقل و حداکثر ماهانه ریزمقیاس

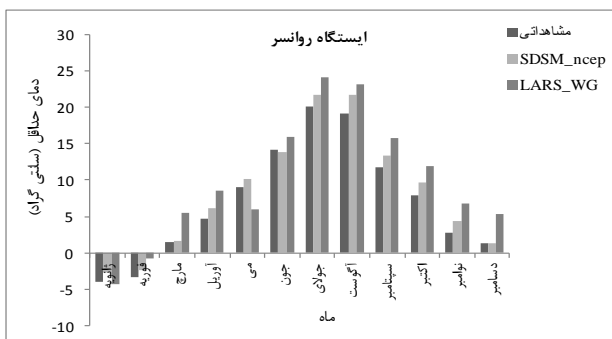
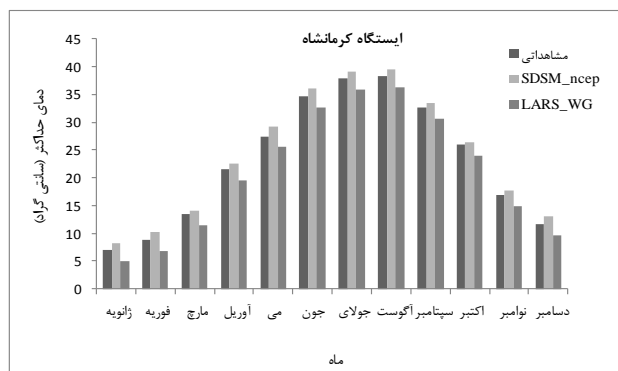
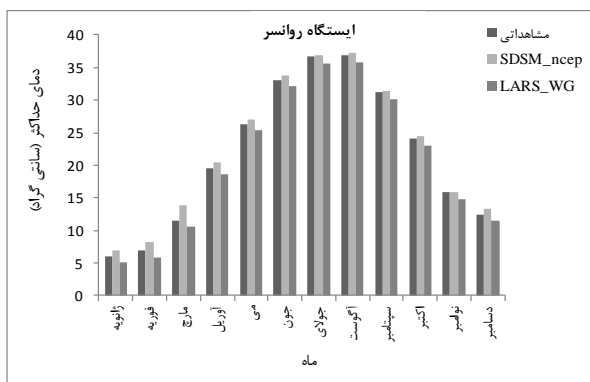
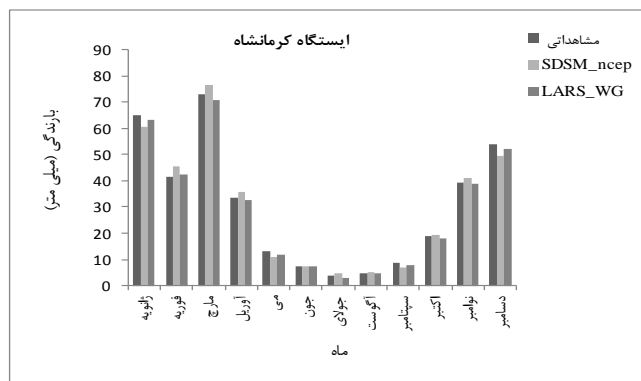
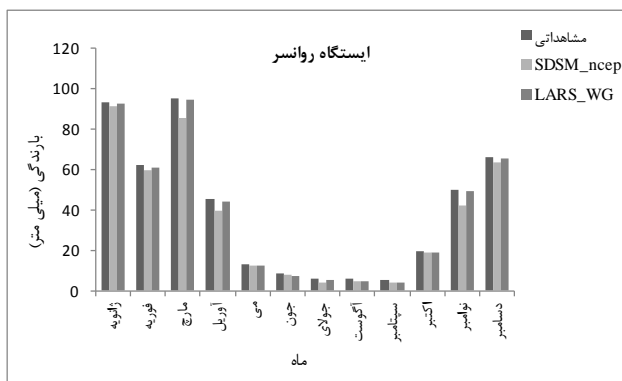
شده توسط مدل SDSM (با استفاده از متغیرهای NCEP) و LARS-WG را در طول دوره واسنجی نشان می‌دهد. چنانچه نتایج نشان می‌دهد در مرحله واسنجی مدل SDSM در هر دو ایستگاه روانسر و کرمانشاه به ترتیب با مقادیر R، ۰/۹۱ و ۰/۹۵ دارای عملکرد بهتری نسبت به LARS-WG، در شبیه‌سازی دمای حداکثر و به ترتیب با مقادیر R، ۰/۸۹ و ۰/۹۳ دارای عملکرد بهتری در شبیه‌سازی دمای حداقل می‌باشد. در حالی که مدل LARS-WG در دو ایستگاه روانسر و کرمانشاه به ترتیب با مقادیر R، ۰/۸۴ و ۰/۹۲ در شبیه‌سازی بارش دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل SDSM می‌باشد.

شکل‌های (۲ و ۳) واسنجی مدل‌های SDSM و LARS-WG را در دو ایستگاه کرمانشاه و روانسر برای پارامترهای بارش و دمای حداقل و دمای حداکثر نشان می‌دهد.

جدول (۳) ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا برای داده‌های بارش و دما حداقل و حداکثر ماهانه ریزمقیاس شده توسط مدل SDSM (با استفاده از متغیرهای NCEP و خروجی مدل HADCM3 تحت سناریو A2) و LARS-WG در طول دوره صحت سنجی را نشان می‌دهد. چنانچه نتایج نشان می‌دهد در مرحله صحت سنجی نیز، در هر دو ایستگاه کرمانشاه و روانسر، مدل SDSM و SDSM-A2 در شبیه‌سازی دمای حداکثر و دمای حداقل، بر اساس ضریب R دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل LARS-WG می‌باشند. در حالی که مدل SDSM و SDSM-A2 در شبیه‌سازی بارش دارای عملکرد ضعیفی بوده و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی بارش دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل SDSM و SDSM-A2 می‌باشد. جزییات نتایج صحت سنجی مدل‌های SDSM و LARS-WG در اشکال ۴ و ۵ و جدول ۳ نشان داده شده است. جدول ذکرشده از شکل‌های (۴ و ۵) اقتباس شده است.

جدول ۲. عملکرد مدل‌ها در طول دوره واسنجی

ایستگاه کرمانشاه		ایستگاه روانسر		مدل ریزمقیاس نمایی	متغیر اقلیمی
RMSE	R	RMSE	R		
۳/۸	۰/۸۲	۵/۶	۰/۷۶	SDSM	بارش ماهانه (میلی‌متر)
۲/۳	۰/۹۲	۳/۵۲	۰/۸۴	LARS-WG	
۱/۵۲	۰/۹۵	۱/۳۴	۰/۹۱	SDSM	دمای حداکثر ماهانه (سانتی‌گراد)
۷/۸	۰/۶۷	۹/۱۲	۰/۶۱	LARS-WG	
۲/۵	۰/۹۳	۲/۶۵	۰/۸۹	SDSM	دمای حداقل ماهانه (سانتی‌گراد)
۶/۸	۰/۷۸	۷/۴۳	۰/۷۲	LARS-WG	

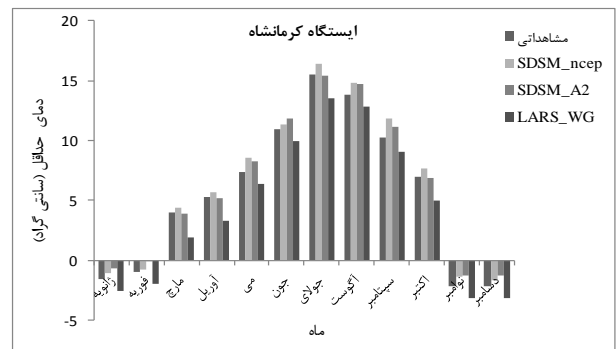
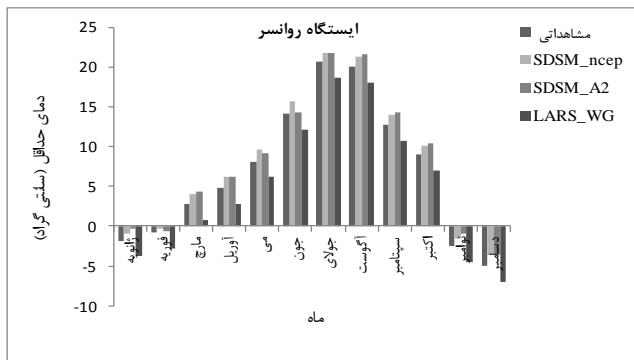
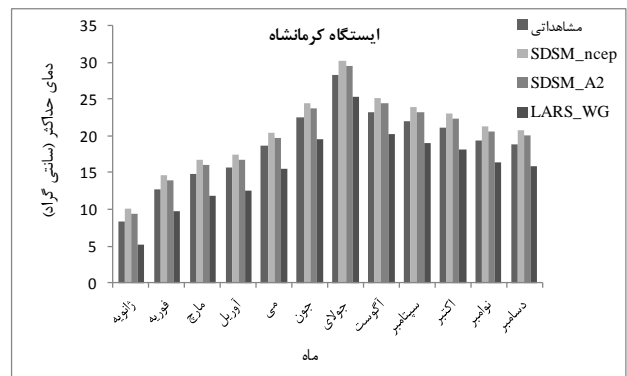
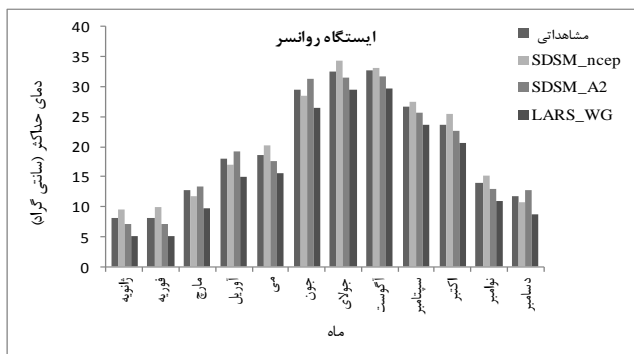
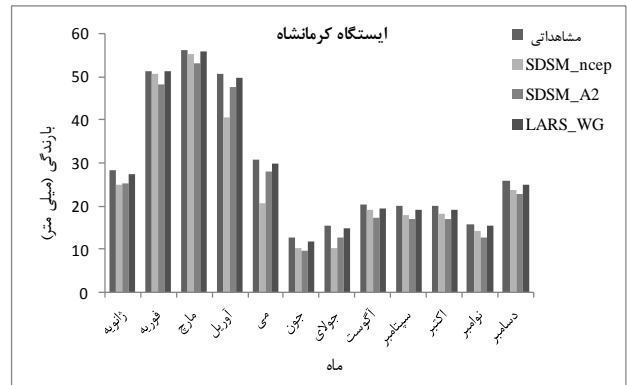
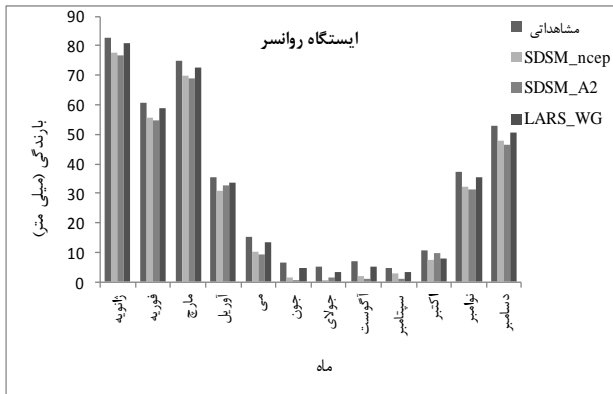


شکل ۳. نتایج واسنجی مدل‌های SDSM و LARS-WG در ایستگاه روانسر

شکل ۲. نتایج واسنجی مدل‌های SDSM و LARS-WG در ایستگاه کرمانشاه

جدول ۳. عملکرد مدل در طول دوره صحت‌سنجی

ایستگاه کرمانشاه		ایستگاه روانسر		مدل ریزمقیاس‌نمایی	متغیر اقلیمی
RMSE	R	RMSE	R		
۹/۳۱	۰/۷۴	۱۳/۴	۰/۶۱	SDSM	بارش ماهانه (میلی‌متر)
۷/۷۶	۰/۸۱	۱۰/۵۶	۰/۷۴	SDSM_A2	
۰/۳۶	۰/۹۷	۱/۴۳	۰/۹۲	LARS-WG	
۰/۸۵	۰/۹۴	۱/۹۸	۰/۹	SDSM	دمای حداکثر (سانتی‌گراد)
۱/۲۳	۰/۸۹	۳/۲۱	۰/۸۹	SDSM_A2	
۹/۲۷	۰/۶۷	۸/۷۹	۰/۶۸	LARS-WG	
۱/۳۸	۰/۹	۱/۴۳	۰/۹۱	SDSM	دمای حداقل (سانتی‌گراد)
۱/۸۷	۰/۸۵	۲/۶۹	۰/۸۸	SDSM_A2	
۸/۷۶	۰/۷۹	۱۰/۳۸	۰/۶۹	LARS-WG	



شکل ۵. نتایج صحت سنجی مدل‌های SDSM و LARS-WG در ایستگاه روانسر

شکل ۴. نتایج صحت سنجی مدل‌های SDSM و LARS-WG در ایستگاه کرمانشاه

می‌باشد.

در دوره صحت سنجی، در ایستگاه کرمانشاه نتایج حاکی از این است که مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و SDSM A2، تطابق رضایت‌بخشی را بین دمای حداقل و دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در اکثر ماه‌های سال نشان می‌دهند. بیشترین میزان باقیمانده خطا در مورد دمای حداکثر و دمای حداقل که توسط مدل‌های SDSM A2 و SDSM و LARS-WG پیش‌بینی می‌شود، به ترتیب $3/86$ و $2/4$ درجه سانتی‌گراد بوده که مربوط به مدل LARS-WG می‌باشد. مشاهده می‌شود که مدل SDSM و SDSM A2 در مقایسه با مدل LARS-WG پایین‌ترین میزان خطا را در برآورد دماهای حداقل و حداکثر با

مقادیر درصد باقیمانده خطا برای بارش ($\% residual of rainfall$) و باقیمانده خطا برای دماهای حداقل و حداکثر ($residual of temperature$) برای دو مدل LARS-WG و SDSM در ایستگاه کرمانشاه برای دوره واسنجی در جدول (۴) و برای دوره صحت سنجی در جدول (۵) آورده شده است. چنانچه نتایج نشان می‌دهد در دوره واسنجی در ایستگاه کرمانشاه، مدل LARS-WG با پایین‌ترین میزان باقیمانده خطا $0/14$ درصد در ماه جون (ژوئن) و نیز در تمامی ماه‌ها میزان خطای کمتری را در برآورد بارش نسبت به مدل SDSM داراست. در مورد دمای حداکثر و دمای حداقل، مدل SDSM به ترتیب با میزان خطای $0/53$ و $0/31$ دارای خطای کمتری نسبت به مدل LARS-WG

خطای مطلق بین ۰/۱۸-۱/۹۳ درجه سانتی‌گراد در تمامی ماه‌ها دارند. در مورد بارش، بیشترین درصد باقیمانده خطا توسط مدل SDSM پیش‌بینی می‌شود که به میزان ۳۴/۵ درصد در ماه جولای می‌باشد. مشاهده می‌شود که LARS-WG پایین‌ترین میزان خطا را در برآورد بارش با درصد باقیمانده خطای بین ۰/۱۷-۷/۷۶ درصد در مقایسه با مدل‌های دیگر را دارد.

جدول ۴. اختلاف بین مقادیر بارش و دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی در ایستگاه کرمانشاه

ماه	بارش (درصد)		دمای حداکثر (سانتی‌گراد)		دمای حداقل (سانتی‌گراد)	
	SDSM_ncep	LARS_WG	SDSM_ncep	LARS_WG	SDSM_ncep	LARS_WG
	ژانویه	۳/۰۶	۷/۲	-۲/۰۱	-۱/۲۱	-۱/۴۴
فوریه	-۲/۴	-۹/۵۶	-۲/۱۴	-۱/۳۴	-۱/۲۵	-۰/۳۱
مارس	۲/۷۴	۴/۸۸	-۱/۴	-۰/۶	۲/۰۱۳	-۱/۲
آوریل	۲/۹۸	۷/۲۹	۱/۷۶	۰/۹۶	-۱/۶۳	۰/۸۳
می	-۷/۷۳	-۱۵/۴۴	۲/۴۷	۱/۶۷	۱/۴۴	۰/۶۴
جون	-۰/۰۱۴	-۰/۱۳	۱/۸	۱/۴	-۳/۲۶	-۱/۴۶
جولای	۱۲/۹۲	۲۵/۱۲	-۲/۰۹	-۱/۳	۱/۵۶	۰/۶۷
آگوست	۰/۴۱	۶/۵۶	-۲/۲۷	-۱/۲۲	۲/۵۸	۱/۷۸
سپتامبر	۱۱/۶۵	۱۷/۳۷	-۱/۵۹	-۱/۸	۳/۰۷	۱/۲۷
اکتبر	۳/۷۱	۳/۰۹	۱/۳۳	۰/۵۳	۲/۳۴	۱/۵۴
نوامبر	۱/۵۲	۳/۶۳	-۱/۷	-۰/۹	۱/۷۵	-۰/۹۵
دسامبر	۳/۶	۸/۴۷	۲/۳۹	۱/۲۹	-۲/۱۴	-۱/۳۴

جدول ۵. اختلاف بین مقادیر بارش و دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره صحت‌سنجی در ایستگاه کرمانشاه

ماه	بارش (درصد)			دمای حداکثر (سانتی‌گراد)			دمای حداقل (سانتی‌گراد)		
	SDSM_ncep	SDSM_A2	LARS_WG	SDSM_ncep	SDSM_A2	LARS_WG	SDSM_ncep	SDSM_A2	LARS_WG
	ژانویه	۱۱/۵۵	۱۰/۶	۳/۱۸	-۱/۸۷	-۰/۸۸	-۰/۷۶	-۰/۶۷	-۱/۳
فوریه	۱/۵۴	۵/۸۴	۰/۱۹	-۱/۶۲	-۰/۶۴	-۰/۵۱	-۰/۴۸	-۱/۴۶	-۰/۱۸
مارس	۱/۶۱	۵/۳۵	۰/۱۷	-۲/۳۵	-۰/۹۶	-۰/۷۴	-۰/۷	-۱/۶۸	-۰/۴۱
آوریل	۲۰/۲۲	۱۶/۱	۱/۷۷	۱/۹۲	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۸۷	۰/۳۴
می	۲۲/۸۵	۱۹/۷	۵/۹۱	-۲/۷۹	-۱/۸۲	-۰/۶۸	-۰/۸۵	-۱/۵۴	-۰/۳۲
جون	۱۹/۰۱	۲۳/۷	۷/۱۱	۱/۸۵	۰/۸۶	۰/۵۴	-۰/۶۹	-۱/۶۷	-۰/۲۹
جولای	۳۴/۵۴	۱۹/۱۷	۵/۷۵	۲/۹	۱/۸۲	۰/۹۴	۱/۱۷	۲/۱۵	۰/۶۷
آگوست	۳۳/۶	۱۴/۶۶	۴/۴	۳/۸۶	۱/۹۳	۱/۱۵	-۱/۴۱	-۲/۰۷	-۰/۹۸
سپتامبر	۱۰/۰۲	۱۵/۰۱	۷/۷۶	۲/۵۱	۱/۵۳	۱/۳۲	۱/۱۳	۱/۸۷	۰/۷۸
اکتبر	۹/۵۱	۱۴/۹۸	۴/۵	-۱/۹۶	-۰/۹۸	-۰/۸۵	-۰/۸۸	۱/۹۸	-۰/۶
نوامبر	۸/۶۷	۱۹/۱۱	۰/۶۳	-۲/۶۳	-۱/۶۵	-۱/۴۲	-۱/۰۳	-۲/۴	-۰/۷۳
دسامبر	۸/۸۳	۱۱/۵	۳/۴۷	-۲/۷۲	-۱/۷۴	۰/۶۱	۰/۷۳	۱/۷۹	۰/۴۷

ماه دسامبر) و در تمامی ماه‌ها، دارای خطای کمتری نسبت به مدل LARS-WG می‌باشد. در دوره صحت‌سنجی نیز، نتایج حاکی از آن است که مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و SDSM A2، تطابق رضایت بخشی را بین دمای حداقل و دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی برای تمامی ماه‌های سال نشان می‌دهند. بیشترین میزان باقیمانده خطا در مورد دمای حداکثر و دمای حداقل که توسط مدل‌های SDSM A2، SDSM و LARS-

همین نتایج برای ایستگاه روانسر در جدول‌های (۶ و ۷) آورده شده است. نتایج حاکی از آن است که در ایستگاه روانسر در دوره واسنجی، مدل LARS-WG با پایین‌ترین میزان درصد باقیمانده خطا (۱/۶ درصد) در ماه ژانویه و در تمامی ماه‌ها میزان خطای کمتری را در برآورد بارش نسبت به مدل SDSM داراست. در مورد دمای حداقل و دمای حداکثر، مدل SDSM به ترتیب با پایین‌ترین میزان باقیمانده خطا ۰/۰۸ (در ماه نوامبر) و ۱/۶ (در

مدل‌های LARS-WG و SDSM و SDSM A2 پیش‌بینی می‌شود که به ترتیب ۳۸/۷۶ و ۴۹/۱۹ درصد در ماه آگوست است که به ترتیب مربوط به مدل SDSM-A2 و SDSM-ncep می‌باشد. مشاهده می‌شود که مدل LARS-WG پایین‌ترین میزان خطا را در برآورد بارش با درصد باقیمانده خطای بین ۲/۴-۳۰/۳ درصد در مقایسه با مدل‌های دیگر دارد.

WG پیش‌بینی می‌شود، به ترتیب ۴/۳ و ۳/۱۱ سانتی‌گراد بوده که مربوط به مدل LARS-WG می‌باشد. مشاهده می‌شود که SDSM و SDSM A2 پایین‌ترین میزان خطا را با خطای مطلق بین ۰/۰۷-۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با مدل LARS-WG دارند. در مورد بارش، بیشترین درصد باقیمانده خطا که توسط

جدول ۶. اختلاف بین مقادیر بارش و دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی در ایستگاه روانسر

ماه	بارش (درصد)		دمای حداکثر (سانتی‌گراد)		دمای حداقل (سانتی‌گراد)	
	SDSM_ncep	LARS_WG	SDSM_ncep	LARS_WG	SDSM_ncep	LARS_WG
ژانویه	۲/۷۳	۱/۶۱	۱/۲	۳/۳	۰/۱۲	۰/۸۱
فوریه	۵/۵۷	۳/۰۴	-۰/۸۷	-۲/۹۴	۰/۴۱	۱/۳۱
مارس	۱۲/۶	۹/۸۷	-۲/۴۳	-۳/۱	-۱/۲۲	-۲/۳۹
آوریل	۱۴/۸	۱۰/۲۹	-۰/۲۷	-۱/۶۷	۰/۱۹	۰/۸۹
می	۶/۳۸	۴/۶۷	۰/۴۵	۰/۸۹	۰/۲۴	۰/۶۷
جون	۴/۲۲	۳/۸۳	-۰/۸۷	-۱/۶	-۰/۱۴	-۰/۷
جولای	۳۱/۵۶	۲۷/۴۳	۱/۵	۳/۶	۰/۰۹۸	۰/۳۱
آگوست	۲۲/۵۱	۱۸/۲۷	۲/۳۶	۴/۵۹	۰/۲۱	۰/۴۲
سپتامبر	۱۹/۲۵	۱۷/۱۱	-۰/۶۵	-۲/۷۵	۰/۱۸	۰/۲۳
اکتبر	۵/۲۷	۳/۷۶	-۱/۸۷	-۳/۴۵	۰/۱۱	۰/۴
نوامبر	۱۵/۵	۱۲/۳	-۱/۴	-۲/۵	۰/۰۸	۰/۱۲
دسامبر	۴/۳۷	۲/۴۸	-۰/۱۶	-۲/۰۸	۰/۲	۰/۹۳

جدول ۷. اختلاف بین مقادیر بارش و دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره اعتبارسنجی در ایستگاه روانسر

ماه	بارش (درصد)			دمای حداکثر (سانتی‌گراد)			دمای حداقل (سانتی‌گراد)		
	SDSM_ncep	SDSM_A2	LARS_WG	SDSM_ncep	SDSM_A2	LARS_WG	SDSM_ncep	SDSM_A2	LARS_WG
ژانویه	۶/۰۳	۷/۲۴	۲/۴	۱/۲	۲/۸	۲/۸	۱/۴۳	۱/۴۳	-۱/۹۷
فوریه	۸/۲۳	۹/۸۸	۳/۲۹	-۱/۵۱	۴/۳	۴/۳	-۰/۲۲	-۰/۲۲	۱/۲۳
مارس	۶/۶۸	۸/۰۱	۲/۶۷	-۰/۷	۲/۰۱	۲/۰۱	۲/۰۵	۲/۰۵	۳/۱۱
آوریل	۱۲/۸۷	۸/۳۸	۵/۶	-۱/۱۹	۳/۰۸	۳/۰۸	-۱/۹	-۱/۹	-۲/۶۵
می	۲۲/۳۵	۲۸/۸۲	۱۲/۹۴	-۱/۴۳	۱/۹	۱/۹	-۰/۸۷	-۰/۸۷	۱/۹۱
جون	۴۰/۲۵	۳۵/۳۲	۳۰/۳۴	۱/۶۵	۲/۴۲	۲/۴۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۱/۸۳
جولای	۳۳/۲۷	۳۵/۵۴	۲۷/۱۷	۱/۲۲	۴/۱۱	۴/۱۱	-۰/۶	-۰/۶	-۱/۵۲
آگوست	۴۹/۱۹	۳۸/۷۶	۲۵/۸۴	۱/۴۱	۲/۲۸	۲/۲۸	-۱/۸	-۱/۸	-۲/۰۲
سپتامبر	۴۰/۵۶	۳۷/۶۵	۲۸/۹۷	۲/۱۴	۳/۲	۳/۲	۱/۳	۱/۳	۱/۶۵
اکتبر	۳۰/۵۲	۲۶/۷۲	۲۰/۱۵	۰/۸۶	۱/۷۲	۱/۷۲	-۱/۱۸	-۱/۱۸	-۱/۴۵
نوامبر	۱۳/۳۶	۱۶/۰۳	۵/۳۴	۲/۰۳	۳/۴۱	۳/۴۱	-۱/۹	-۱/۹	۱/۴۳
دسامبر	۹/۴۸	۱۱/۳۸	۳/۷۹	۱/۰۶۸	۲/۵۳	۲/۵۳	-۱/۷	-۱/۷	۲/۸۱

سالانه در هر دو ایستگاه کرمانشاه و روانسر نسبت به دوره پایه تحت سناریو A2 در دهه ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. میزان کاهش بارش شبیه‌سازی شده توسط LARS-WG_ A2 کوچک‌تر از شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM A2 است که در آن درصد تغییرات در ایستگاه کرمانشاه ۷/۵-۱۶/۸ و در ایستگاه

جدول (۸) درصد تغییرات در میانگین بارش سالانه، دمای حداقل و دمای حداکثر سالانه را در دهه ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ با توجه به دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۱) تحت مدل HadCM3 با سناریو A2 که از مدل LARS-WG و SDSM به دست آمده است، نشان می‌دهد. برای مدل SDSM نشان داده شده که متوسط بارش

حداکثر سالانه شبیه‌سازی شده توسط هر دو مدل LARS-WG و SDSM_A2 افزایش می‌یابد. افزایش دمای شبیه‌سازی شده توسط LARS-WG_A2 بیشتر از SDSM A2 می‌باشد. چنانچه مشاهده می‌شود میزان افزایش دما در هر دو مدل در دهه ۲۰۵۰ نسبت به ۲۰۲۰ بیشتر بوده است.

روانسر ۱۱/۹-۳/۷ می‌باشد. چنانچه نشان داده شده است میزان کاهش بارش در دهه ۲۰۵۰ نسبت به ۲۰۲۰ در هر دو مدل بیشتر بوده است. جدول ۵ تغییرات در دمای حداقل و دمای حداکثر را در دهه ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ تحت مدل HadCM3 سناریو A2 برای هر دو مدل نسبت به دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۱) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در هر دو ایستگاه دمای حداقل و دمای

جدول ۸. درصد تغییرات در میانگین بارش سالانه، دمای حداقل و دمای حداکثر سالانه در دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۲۰

ایستگاه	متغیر اقلیمی	مدل ریزمقیاس نمایی	دهه ۲۰۲۰	دهه ۲۰۵۰
	درصد بارش سالانه	SDSM_A2	-۱۴/۶	-۲۰/۸
		LARS_WG	-۷/۵	-۱۶/۸
ایستگاه کرمانشاه	دمای حداکثر (سانتی گراد)	SDSM_A2	۰/۷	۱/۵
		LARS_WG	۱/۸	۲/۱۸
	دمای حداقل (سانتی گراد)	SDSM_A2	۰/۸۵	۱/۶۷
		LARS_WG	۱/۳	۳/۷
	درصد بارش سالانه	SDSM_A2	-۱۷/۸	-۳۲/۶۵
		LARS_WG	-۳/۷۸	-۱۱/۹
ایستگاه روانسر	دمای حداکثر (سانتی گراد)	SDSM_A2	۱/۰۱	۱/۷۲
		LARS_WG	۱/۶۹	۳/۲۱
	دمای حداقل (سانتی گراد)	SDSM_A2	۰/۷۴	۱/۳۲
		LARS_WG	۲/۷	۶/۴

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌های گردش عمومی جو، به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن شبکه محاسباتی آنها قادر به پیش‌بینی پارامترهای آب و هواشناختی در مقیاس منطقه‌ای نیستند، بنابراین بایستی با استفاده از روش‌های مختلف ریزمقیاس کرد. از بین روش‌های ریزمقیاس نمایی، روش‌های آماری به دلیل عملکرد سریع و آسان مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری مدل‌های LARS-WG و SDSM می‌باشند. از نتایج این مطالعه یافت می‌شود که بر اساس معیارهای خطای ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی، مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی دمای حداقل و دمای حداکثر در طول دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی بهتر از LARS-WG عمل می‌کند. در مورد بارش، مدل LARS-WG در طول دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی نسبت به مدل SDSM بهتر عمل کرده و دارای خطای کمتری است که با نتایج Zamani Nuri et al. (2014) مطابقت دارد با این تفاوت

که آنها از روش فاصله اطمینان جهت بررسی عملکرد خروجی‌های دو مدل استفاده کردند. خروجی‌های مدل SDSM، تغییرات بیشتری را در بارش در مقایسه با خروجی‌های LARS-WG نشان می‌دهند. خروجی‌های LARS-WG نیز تغییرات بیشتری را در دمای حداقل و دمای حداکثر در مقایسه با SDSM نشان می‌دهد که با نتایج Zulkarnain et al (2014) مطابقت دارد با این تفاوت که این تحقیق در شرایط اقلیمی حاره‌ای در مالزی انجام شده است. با وجود این هر دو مدل قادرند تا سری‌های زمانی اقلیم حاضر را در منطقه مورد مطالعه که از لحاظ اقلیمی گرم و نیمه‌خشک می‌باشد، برای بیشتر ماه‌های سال به خوبی برآورد کنند (Hashmi et al, 2011). از نتایج ریزمقیاس نمایی، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در آینده ایستگاه کرمانشاه و روانسر با میزان بارش کمتری مواجه می‌شود. هم‌چنین در هر دو مدل دمای حداقل و دمای حداکثر در دو دهه آتی تحت سناریو A2 افزایش می‌یابد.

REFERENCES

Aghashahi, M. (2012) Comparison between LARS-WG and SDSM in order to downscaling environmental parameters in climate change studies. *The sixth National Conference of Environmental Engineering*. Tehran University. Environment Faculty.

Alireza Zamani Nuri, Mohammadreza Farzaneh, Kiamars Espanayi. 2014. Assessment of climatic parameters uncertainty under effect of different downscaling techniques. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 8(9), 838-225.

- Alizadeh, H and Zahraei, B. (2014). Comparison of statistical downscaling models in simulation of the daily rainfall, *The Sixteenth Conference of Iran Geophysics*, Pages 128-132.
- Andersen, H. E., Kronvang, B., Larsen, S. E., Hoffmann, C. C., Jensen, T. S and Rasmussen, E. K. (2006). Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Science of the Total Environment*, 365(1), 223-237.
- Chen, H., Xu, C. Y and Guo, S. (2012). Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of hydrology*, 434, 36-45.
- Farzaneh M, Samadi, S. Z., Akbarpour, A and Eslamian S. S. (2010). Introduction of selected predictors for statistical downscaling in Behesht-Abad subbasin of northern Karoon. *The first conference of practical researches of water resources of Iran, Kermanshah*, Industrial Kermanshah University.
- Goudarzi, M., Salahi, B and Hosseini, S. A. (2015). Performance Assessment of LARS-WG and SDSM Downscaling Models In Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 9(31).
- Harpham, C and Wilby, R. L. (2005). Multi-site downscaling of heavy daily precipitation occurrence and amounts. *Journal of Hydrology*, 312(1), 235-255.
- Hashmi, M. Z., Shamseldin, A. Y and Melville, B. W. (2011). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(4), 475-484.
- IPCC, (2014), Summary for policymakers. In: Climate Change. 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- Kabiri, R., Ramani Bai, V and Chan, A. (2015). Assessment of hydrologic impacts of climate change on the runoff trend in Klang Watershed, Malaysia, *Environmental Earth Science Journal*, 73, 27-37.
- Tatsumi, K., Oizumi, T and 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.
- Zulkarnain H., Shamsudin, S and Sobri, H. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature, *Theor. Appl. Climatol.*, 116, 243-257.