



ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌سازی آماری SDSM و LARSWG جهت غربالگری کمی در پیش-

بینی سناریوهای اقلیمی

مطالعه‌ی موردی: کانون گرد و غبار جنوب و جنوب شرق اهواز

مریم باران پور^۱، بیژن خلیلی مقدم^۲، امین ذرتی پور^{۳*}

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۹

وصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

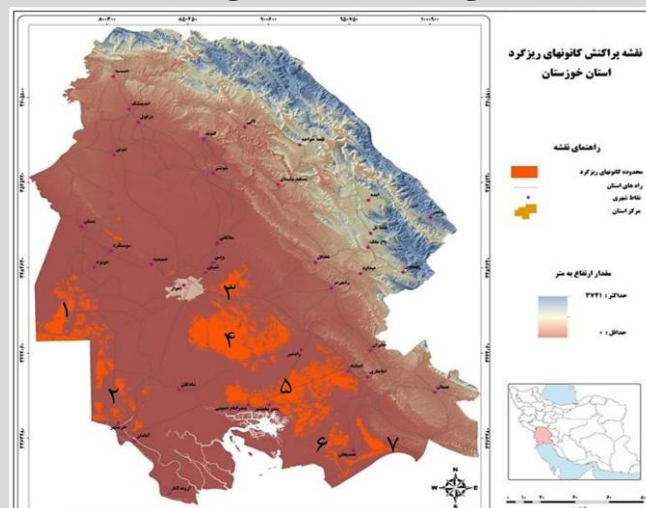
چکیده

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر تخریب منابع آب و خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک است؛ که باعث افزایش وقوع پدیده‌ی گرد و غبار می‌گردد. هدف از این مطالعه ارزیابی عملکرد دو مدل ریزمقیاس‌سازی آماری SDSM و LARSWG به منظور غربالگری کمی در پیش‌بینی سناریوهای اقلیمی و همچنین پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در کانون گرد و غبار جنوب و جنوب شرق اهواز می‌باشد. از مدل‌های سه بعدی جفت‌شده‌ی اقیانوسی-اتمسفری AOGCM با نام HadCM3، برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دما، باد و بارش؛ تحت سناریوهای انتشار B2 و A2 در دو دوره‌ی آینده نزدیک و دور استفاده شد. نتایج نشان دادند، داده‌های شبیه‌سازی شده هر دو مدل، نسبت به داده‌های مشاهده شده، در مقایسه با میانگین طولانی مدت دوره‌ی پایه، معنی‌دار و از همبستگی بالایی با ضریب تبیین بالا برای کلیه‌ی پارمترها از ۰/۸۷ تا ۰/۹۸، برخوردار هستند. در نهایت با تأیید وجود پدیده‌ی تغییر اقلیم در استان خوزستان و به خصوص در کانون بحرانی ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز، مدل SDSM به دلیل استفاده مستقیم از مدل‌های HadCM3 و داده‌های بزرگ مقیاس NCEP و نوع فرآیند شبیه‌سازی و همچنین ساختار ترکیبی در ریزمقیاس‌گردانی داده‌ها با RMSE، MAE و ME به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۱۸ و ۰/۲۱؛ از دقت و صحت بالاتری نسبت به مدل LARSWG در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در کانون گرد و غبار جنوب اهواز برخوردار است. همچنین مدل SDSM در شبیه‌سازی داده‌های دمایی روزانه و سرعت باد موفق‌تر عمل نموده و مدل LARSWG، پیش‌بینی بهتری از پارامتر بارش روزانه داشته و دقت و صحت بالاتری نشان داد.

کلمات کلیدی: مدل‌های اقلیمی، سناریو، HadCM3، ریزمقیاس‌سازی، کانون گرد و غبار، جنوب شرق اهواز

۱- مقدمه

تغییر اقلیم عبارت از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه‌ی مورد انتظار است (آقاشاهی و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۰). گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر شدت و گسترش فرآیند بیابانزایی و تخریب اراضی از جانب بسیاری از دانشمندان علوم مختلف و از زوایای گوناگون مورد توجه و دقت قرار گرفته است؛ به طوری که تغییرات در میزان آلودگی سطح زمین به سبب تغییرات ویژگی‌های پوششی سطح زمین، اثر نقشی افزایش گرد و غبارهای معدنی بر کاهش میزان قابلیت بارندگی ابرها (شوکلا و همکاران^۱، ۲۰۱۵: ۷۵) و رابطه‌ی بین بیابان زایی و خشکسالی (آبکار و همکاران^۲، ۲۰۱۳: ۱۷) از جمله این موضوعات مهم می‌باشد. ایجاد طوفان‌های گرد و غبار در ایران موضوعی است که طی چند سال اخیر، کشور و به ویژه استان خوزستان را تحت تأثیر خود قرار داده است که اهمیت و ضرورت اجرای چنین موضوعاتی را دو چندان می‌کند. مطالعات گسترده‌ای به منظور کنترل گرد و خاک در استان خوزستان، کانون‌های این پدیده با منشأهای داخلی و خارجی شناسایی شده‌اند. پژوهش‌ها نشان داده است در استان خوزستان هفت کانون اصلی داخلی به همراه کانون‌های خارجی ایجاد گرد و غبار در این استان را سبب می‌شود (شکل ۱) (عباسی، ۲۰۲۱: ۸۴).



شکل (۱): محدوده‌ی کانون‌های منشأ گرد و غبار استان خوزستان (عباسی، ۲۰۲۱)
 Fig (1): Range of dust sources in Khuzestan province (Abbasi, 2021)

تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های متوالی، کاهش بارندگی، کاهش میزان رطوبت هوا و خاک از جمله عواملی است که در افزایش میزان گرد و غبار در منطقه تأثیرگذار است (آبکار و

همکاران، ۲۰۱۳: ۱۷). در این راستا، در پژوهشی روی حوضه‌ای در چین، اثر تغییر اقلیم بر منابع آبی آنجا را طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ بررسی گردید. محققان به منظور شبیه‌سازی تغییرات بارش از مقادیر کمینه، بیشینه دما و چهار مدل گردش عمومی جو و نوعی مدل هیدرولوژیک را برای شبیه‌سازی تغییرات رواناب خروجی در نتیجه تغییرات اقلیمی با مدل‌های و سناریوهای مختلف به کار گرفتند. نتایج پژوهش یاد شده نشان داد بارش سالانه بین ۲/۳- تا ۷/۸ درصد تغییر خواهد کرد و دمای بیشینه و کمینه به ترتیب از ۰/۷ تا ۲/۲ و ۱/۲ تا ۲/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. مقدار رواناب از ۱۹/۸- تا ۳۷ و درصد رطوبت از ۵/۵- تا ۱۷/۲ تغییر خواهد کرد و همچنین تبخیر-تعرق بین ۰/۱ تا ۵/۹ درصد افزایش می‌یابد (پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در بازه‌ی اقلیمی زمانی ۲۰۱۳-۲۰۳۷ و ۲۰۳۶-۲۰۶۲ در حوضه‌ی سیوران در شمال شرق اسپانیا با استفاده از مدل گردش عمومی ECHAM5 بر پایه‌ی سناریوهای اقلیمی از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، بارش-رواناب در دوره‌های یاد شده مورد ارزیابی قرار گرفت (چو و همکاران^۱، ۲۰۱۰: ۱۲). به بررسی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پرداختند. در این تحقیق از آمار ایستگاه سینوپتیک کرمان به عنوان نماینده مناطق خشک جنوب شرق کشور و دو مدل گردش عمومی جو HadCM3 و CGCM تحت دو سناریو A2 و B2 مدنظر قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل SDSM توانایی لازم برای شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی را دارد. همچنین استفاده از داده‌های مدل HadCM3 نسبت به داده‌های مدل CGCM نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد. بر اساس داده‌های این مدل میزان افزایش میانگین درجه حرارت سالانه برای دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۸۹-۲۰۷۰) نسبت به دوره‌ی پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) به ترتیب ۱/۵، ۲/۸ و ۴/۵ درجه سانتی‌گراد است (آبکار و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۷). شاخص‌های اقلیمی حوضه‌ی آبخیز تمر، استان گلستان را در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین دما با در نظر گرفتن سناریوی A2، ۲/۴۸ درجه سلسیوس و با در نظر گرفتن سناریوی A1B، ۲/۴۳ درجه افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان از افزایش ۱۶ درصد بارش در سناریوی A2 و ۲ درصد بارش در سناریوی A1B در دوره‌ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ دارد (دوستی و همکاران^۲، ۲۰۱۳: ۱۲). در پژوهشی دیگر به ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه‌ی آبخیز گرگانرود با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم از خروجی‌های مدل چرخش عمومی جو برای حد پایین و بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام گردید. نتایج مطالعه ضمن تأیید کارایی مدل نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره‌ی زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مقدار بارندگی سالانه حوضه به میزان ۳/۲ تا ۶/۷ درصد

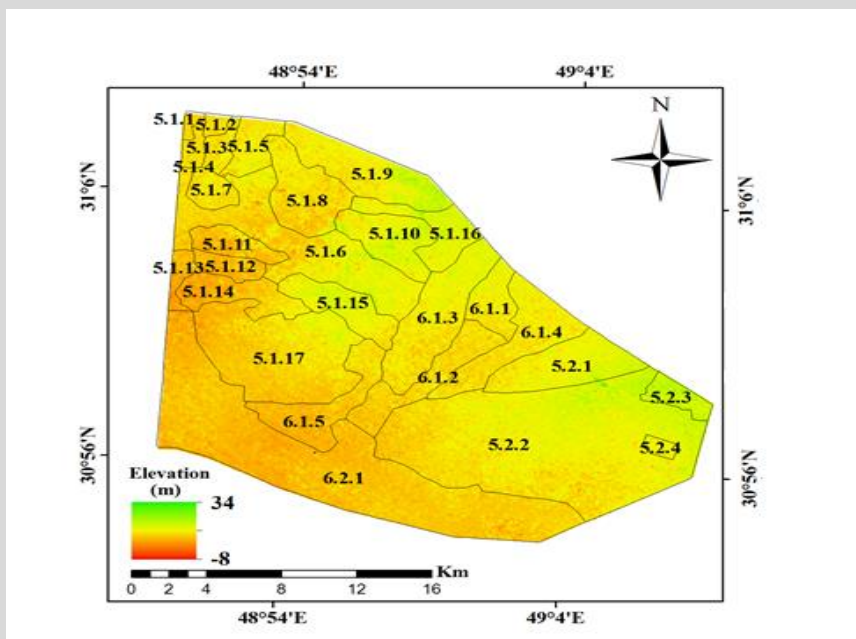
کاهش خواهد یافت. مدل سازی اقلیم استان های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه شمالی و جنوبی البرز مرکزی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق ایستگاه های سینوپتیک دو استان تهران و مازندران در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۸ مورد بررسی قرار گرفته و برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و ریزمقیاس نمایی داده های گردش عمومی جو پیش بینی شده است. این محققین به این نتیجه رسیدند که در نهایت با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی در هر دو استان کویرزایی در آینده سرعت بیشتری خواهد یافت (هاجرپور و همکاران^۱، ۲۰۱۴: ۱۵). شوکلا و همکاران (۲۰۱۵: ۷۵)، به بررسی ریزمقیاس نمایی آماری بارش و دما با استفاده از مدل SDSM تحت سناریو A2 و مدل گردش عمومی جو HadCM3 در منطقه ای کانال ایندیرو ساگار در هند پرداختند. در این تحقیق دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۷۱ به عنوان دوره پایه و سه دوره (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) به عنوان دوره های آینده در نظر گرفته شد. نتایج نهایی نشان داد که در دوره های آینده ۲۰۹۹-۲۰۱۰، مدل SDSM افزایش میانگین بارش سالانه و میانگین دمای سالانه را در ایستگاه مورد نظر برآورد می کند. پیش بینی می شود که میانگین دما از ۱/۵۰ درجه سانتی گراد به ۲/۵۰ درجه سانتی گراد افزایش پیدا کند و درصد تغییرات میانگین بارش روزانه در ماه ژوئیه از ۰/۵۹ درصد به ۲/۰۹ درصد و در ماه اگوست از ۰/۷۹ درصد به ۱/۱۹ درصد افزایش خواهد داشت. به مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش و همچنین بررسی عدم قطعیت ها در مدل ها و سناریوهای اقلیمی در حوضه شهرچای ارومیه پرداختند. ایشان در این مطالعه به بررسی مدل گردش عمومی جو با سه سناریوی A1B، A2 و B2 با مدل آماری LARSWG به این نتیجه رسیدند که مدل مذکور عدم قطعیت پایین و دقت خوبی در شبیه سازی داده های اقلیمی داشته، به طوری که به کاهش بارش ها در ده های آتی تا ۹ میلی متر می شود. دمای حداقل تا ۱/۰۵ و دمای حداکثر ۰/۸۷ درجه سانتی گراد افزایش خواهند داشت. که به هم خوردن توزیع زمانی بارش و افزایش دما منجر خواهد شد. همچنین در مطالعه ای چندین روش ریزمقیاس نمایی را در شبیه سازی بارش های حدی در سرتاسر شمال ایالات متحده با هم مقایسه کردند. روش مقایسه شده شامل مدل آماری SDSM و یک مدل اقلیمی HadRM3 بود. نتایج SDSM با داده های مشاهداتی تطابق بیشتری داشت و مدل HadRM3 بارش را بیشتر از مقدار واقعی تخمین زد (جهانبخش اصل و همکاران^۲، ۲۰۱۷: ۱۵). در تحقیقی به اثر تغییر اقلیم در تولید رواناب حوضه آبریز سیلاخور رحیم آباد لرستان به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل SDSM و LarsWG کاهش بارش و افزایش دما را با دقت قابل قبولی نشان می دهند. هر دو مدل از ضریب کارایی و دقت بالایی برخوردار

هستند. همچنین برای شبیه‌سازی تغییر اقلیم بر رواناب حوضه از مدل SIMHYD استفاده کردند که تغییرات خوبی از روند شبیه‌سازی رواناب حوضه نشان داده است. همچنین مدل SDSM تغییرات بیشتری نسبت به مدل LARSWG نشان داده است (کونانی و همکاران^۱، ۲۰۲۱: ۱۷). بنابراین هدف از انجام این پژوهش مقایسه‌ی کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی SDSM و LARSWG جهت غربالگری کمی و پیش‌بینی سناریوهای تغییر اقلیم در منطقه‌ی مطالعاتی کانون گرد و غبار جنوب و جنوب شرق اهواز است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

کانون ریزگرد جنوب شرق اهواز فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی اهواز آغاز و در امتداد بزرگراه اهواز ماهشهر در مختصات جغرافیایی ۴۷'، ۴۸°، تا ۱۷'، ۴۹° طول شرقی و ۴۵'، ۳۰° تا ۱۵'، ۳۱° عرض شمالی ادامه می‌یابد (شکل ۱). محدوده‌ی مورد مطالعه به مساحت ۱۱۳۳۴۵ هکتار شامل مستثنیات به مساحت ۲۲۸۹۷ هکتار و اراضی ملی شامل عرصه‌های بیابانی و مرتعی ۸۷۳۷۰ هکتار است. بر اساس آمار مربوط به نزدیک‌ترین ایستگاه باران‌سنج به منطقه (ایستگاه اهواز)، متوسط بارش این منطقه در بلندمدت تقریباً ۲۱۸ میلی‌متر می‌باشد. علاوه بر آن طبق بررسی تغییرات دما از آمار ایستگاه سینوپتیک اهواز، حداکثر و حداقل دمای میانگین بلندمدت به ترتیب ۳۳/۴ و ۱۹/۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای بلندمدت سالانه ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد است. منطقه‌ی مورد مطالعه براساس فاکتورهای کاربری اراضی، توپوگرافی، و سازندهای زمین‌شناسی به ۲۷ واحد تقسیم شده است (عباسی^۲، ۲۰۲۱: ۸۴).



شکل (۲): نقشه‌ی اجزاء واحد اراضی در منطقه‌ی جنوب شرقی اهواز (۵: دشت رسوبی، ۶: اراضی پست)

Fig (2): Map of the components of the land unit in the southeastern region of Ahvaz (5: Flood Plain, 6: Low land)

۲-۲- روش تحقیق

با توجه به مطالب بخش مرور منابع، مدل‌های مختلفی از نظر نحوه‌ی عملکرد و کارایی مدها جهت انجام ریزمقیاس‌سازی مدل‌های اقلیمی وجود دارد. بنابراین این تحقیق به مطالعه و بررسی کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی SDSM و LARSWG جهت غربالگری کمی در پیش‌بینی سناریوهای تغییر اقلیم و بررسی نحوه‌ی پدیده‌ی تغییر اقلیم در کانون‌های ریزگردی فعال استان خوزستان در دشت اهواز-ماهشهر، واقع در حوضه‌ی کانون ریزگرد شماره چهار شرق اهواز می‌پردازد. در راستای این هدف از یکی از مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو AOGCM4 با نام HadCM3 برای شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی دما، باد و بارش تحت سناریوهای انتشار B2 و A2 در دوره‌ی آتی، آینده نزدیک (۲۰۰۲-۲۰۴۲) و آینده‌ی دور (۲۰۴۳-۲۰۸۳) استفاده گردید. همچنین به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی روزانه جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از مدل‌های SDSM و LARS-WG استفاده شد. داده‌های مورد نیاز در تحقیق دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای متوسط، سرعت باد و بارش در مقیاس روزانه در طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۱ (داده‌های مشاهداتی) می‌باشد، که این داده‌ها برای کانون ریزگرد جنوب شرق اهواز، از ایستگاه سینوپتیک شهر اهواز اخذ گردید.

۲-۲-۱- مدل اقلیمی HadCm3

در این مطالعه جهت ارزیابی و مقایسه‌ی مدل‌های تغییر اقلیم از خروجی مدل گردش عمومی جو موسوم به HadCM3 استفاده گردید. HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM) است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی شده است. قدرت تفکیک این مدل، شبکه‌ای با ابعاد ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است که توسط گوردون و همکاران^۱ (۲۰۰۰: ۱۶)، تبیین شده است. HadCM3 از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام‌های HadAM3 (مدل جوی) و HadOM3 (مدل اقیانوسی) که دارای یک مدل یخ-دریا نیز می‌باشد، تشکیل شده است (۲۱). این مدل نیازی به تنظیمات شار سطحی (شار مصنوعی اضافی برای سطوح اقیانوس) برای بهبود شبیه‌سازی ندارد. شبیه‌سازی بر مبنای تقویم سال ۳۶۰ روزه و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی، مهم‌ترین مزیت دیگر این مدل، هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی آن است.

۲-۲-۲- مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM

مدل آماری ریزمقیاس‌سازی SDSM، توسط ویلبی و داوسون^۴ (۲۰۰۷: ۱۵۵) به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس کردن به روش آماری توسعه یافته طراحی گردید. مبنای این مدل رگرسیون چندمتغیره است و برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی چون بارش و دما در دراز مدت با توجه به سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی استفاده می‌شود. در این مدل برای هر ماه از سال یک مدل رگرسیون خطی چندمتغیره بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی بزرگ مقیاس منتخب (متغیرهای مستقل) و متغیر پیش‌بینی‌شونده (بارش و یا دما)، به عنوان متغیر وابسته، تدوین می‌گردد. پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس مناسب با استفاده از تحلیل‌های همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، همبستگی جزئی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها و پیش‌بینی‌شونده‌ها و همچنین با توجه به حساسیت فیزیکی میان پیش‌بینی‌کننده‌ها و پیش‌بینی‌شونده‌ها، در محدوده‌ی حوضه‌ی مطالعاتی، انتخاب می‌شوند (ویلبی و داوسون، ۲۰۰۷: ۱۵۵).

نرم‌افزار SDSM، کار ریزمقیاس‌نمایی آماری سری‌های روزانه آب و هوا را به هفت فرآیند مجزا تقسیم می‌کند (مشکاتی، ۲۰۱۵)؛ که شامل، کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها، غربال‌گری متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، واسنجی مدل، تولید داده‌های آب و هوا (پیش‌بینی‌کننده‌های مشاهده شده)، تحلیل‌های آماری، ترسیم خروجی مدل و تولید سناریو (پیش‌بینی‌کننده‌های مدل اقلیم). همچنین مدل LARS-WG یک مولد آب و هوای استوکسیستیکی است، که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های وضع در یک منطقه در هر دو شرایط اقلیم حاضر و آینده مورد

1- Atmosphere-Ocean General Circulation Model

2 - Gordon et al.,

3- Statistical Down Scaling Model

4- Wilby & Dowson

استفاده قرار گیرد. این شبیه‌سازی برای متغیرهای اقلیمی، یعنی بارش (میلی متر)، دمای کمینه و دمای بیشینه (درجه سلسیوس)، و تابش خورشیدی (مگاژول بر مترمربع در روز) انجام می‌شود (آبکار و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۷).

۲-۲-۳- مدل ریزمقیاس‌سازی LARS-WG

در این مدل از مولدهای تصادفی آب و هوایی که براساس الگوهای سری زمانی است، استفاده شده است. در این الگو از توزیع‌های نیمه‌تجربی برای سری‌های روزانه خشک و تر بارش و تشعشع خورشیدی به‌نحو مطلوبی استفاده می‌شود. LARS-WG یک مولد آب و هوای استوکسیتیکی است، که می‌تواند برای شبیه‌سازی در هر دو اقلیم حاضر و آینده مورد استفاده قرار گیرد. این شبیه‌سازی برای متغیرهای اقلیمی، یعنی بارش (میلی متر)، دمای کمینه و دمای بیشینه (درجه سلسیوس)، و تابش خورشیدی (مگاژول بر مترمربع در روز) انجام می‌شود. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌ی خشک و تر، بارش روزانه و سری تابش‌ها، توزیع نیمه‌تجربی است. در توزیع نیمه‌تجربی فاصله‌ها به‌طور مساوی بین مینیمم و ماکزیمم زمانی ماهانه تقسیم می‌شوند (رابطه‌ی ۱):

$$EMP = \{a_i \cdot h_i \quad . i = 0.1.2 \dots \dots .10\} \quad (1)$$

که در اینجا EMP یک هیستوگرام با ده بازه با شدت‌های مختلف بارندگی است.

$$[a_{i-1} \text{ و } a_i] \quad (2)$$

که در آن: $a_{i-1} < a_i$

h_i ، تعداد رخداد بارش در i امین فاصله را نشان می‌دهد. فاصله‌ها برای روزهای تر و خشک و بارش افزایشی هستند. در این مدل تابش به‌طور مستقل از درجه حرارت مدل شده است و به جای آن می‌توان از ساعات آفتابی نیز استفاده کرد. مقدار بارش یک روز تر از توزیع نیمه‌تجربی بارش ماه مورد نظر و مستقل از سری‌های تر با مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. در این مدل سری‌های فوریه درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرایندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر و خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه‌ی سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌روند (۵). خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشند. تولید داده‌های مدل LARS-WG و SDSM در سه مرحله‌ی کلی انجام می‌شود، که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و صحت‌سنجی و ایجاد داده‌های هواشناسی (داده‌های مصنوعی) به شرح زیر است:

۱- کالیبره و واسنجی کردن مدل

این مرحله دربرگیرنده‌ی تمام پارامترهای لازم برای تولید داده‌های مصنوعی است. در مرحله‌ی کالیبره کردن

مدل، داده‌های تهیه شده دوره‌ی پایه را برای ایستگاه شرق اهواز پردازش کرده و داده‌ها برای ورود به مدل لارس آماده شده و در نهایت پارامترها در مقیاس روزانه شبیه‌سازی شدند.

۲- ارزیابی مدل

گام دوم در اجرای مدل‌ها، ارزیابی مدل است. در این مرحله باید تعیین شود که آیا این مدل برای تولید داده‌های تصادفی در مکان مورد مطالعه مناسب است یا خیر؟

۳- تولید داده‌های مصنوعی

بعد از کالیبره کردن و ارزیابی دقت مدل باید پارامترهای هواشناسی تولید شوند. برای تولید داده‌های آب و هوای مصنوعی نیاز به یک سناریوی اقلیمی (به طور مثال سناریوی A₂ و B₂) است. در این مرحله تولید داده‌های مصنوعی، می‌تواند برای دوره‌های آتی ریزمقیاس شده و تولید داده‌های مصنوعی انجام شود. در این مطالعه شبیه‌سازی داده‌های مصنوعی متغیرهای اقلیمی شامل دما، باد و بارش در دو دوره، آینده‌ی نزدیک (۲۰۰۲-۲۰۴۲) و آینده‌ی دور (۲۰۴۳-۲۰۸۳) اجرا گردید. همچنین از دوره‌ی ۱۹۶۱-۲۰۰۱ (داده‌های مشاهداتی) برای واسنجی و کالیبره کردن مدل و سپس کل همین دوره برای صحت‌سنجی مدل استفاده گردید. نتایج به دست آمده از مدل‌ها با مقادیر مشاهده شده مقایسه و نحوه‌ی عملکرد مدل ارزیابی شد.

۲-۳- معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی عملکرد مدل SDSM و LARS-WG، از آماره‌های معیار مربعات ریشه‌ی خطای باقی‌مانده (RMSE) و معیار میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و معیار میانگین (ME) و ضریب تبیین (R²) که از روابط زیر به دست می‌آیند، استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (3)$$

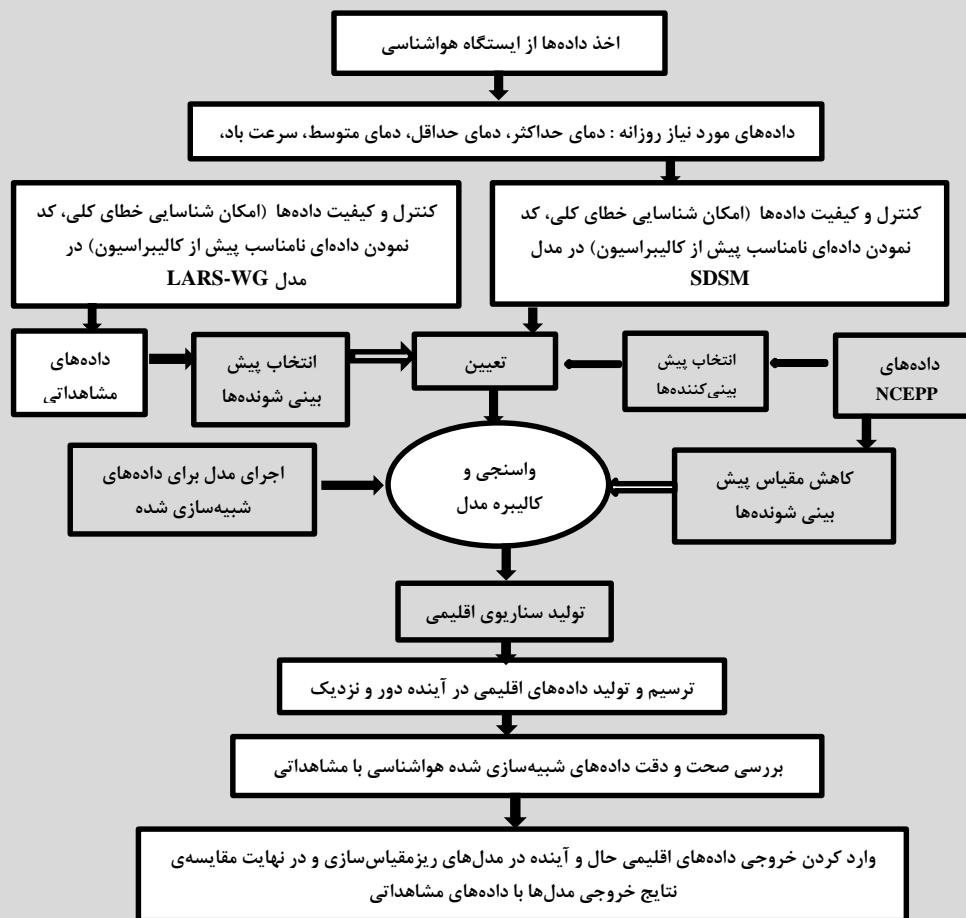
$$ME = \sum_{i=1}^n \frac{p_i - o_i}{o_i} \quad (4)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n \frac{|p_i - o_i|}{n} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(o_i - \bar{o})]^2}{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 \sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad (6)$$

ضریب تبیین (R²) معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. (Khan, 2006) پیشنهاد نمود که MAE، ME و RMSE می‌توانند به عنوان معیاری که هر دو ویژگی انحراف و دقت برآورد را در بردارند. برای

مقایسه‌ی دقت عمل‌های مختلف به کار می‌روند. هر چه میزان MAE، ME و RMSE کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی کارایی بیشتر مدل در برآورد آن می‌باشد.



شکل (۳): فلوچارت روند اجرای تحقیق
 Fig (3): Flowchart of the research process

۳- بحث

نتایج بدست آمده از پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب برای ریزمقیاس کردن متغیرهای هواشناسی ایستگاه اهواز در جدول (۱) ارائه شده است. به طور کلی شناخت روابط تجربی بین پیش‌بینی‌کننده‌های شبکه شده (مانند فشار سطح آزاد دریا) و پیش‌بینی‌شونده‌های یک محل منفرد (مانند بارش یک ایستگاه) موضوع اصلی در تمامی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری است و غالباً بیشترین زمان در این فرایند را به خود اختصاص می‌دهد. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری می‌باشد. که از بین آن‌ها، متغیرهای مستقل انتخاب می‌شوند.

باتوجه به این که متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP، می‌توانند روابط مختلفی با داده‌های پیش‌بینی‌شونده داشته باشند، لذا متغیرهایی که انتخاب شدند و حائز اهمیت هستند، که دارای بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین واریانس خطا باشند (جدول ۱).

جدول (۱): پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب برای ریزمقیاس‌کردن متغیرهای هواشناسی در ایستگاه اهواز

Table (1): Selected forecasters to downscaling variables at Ahwaz station

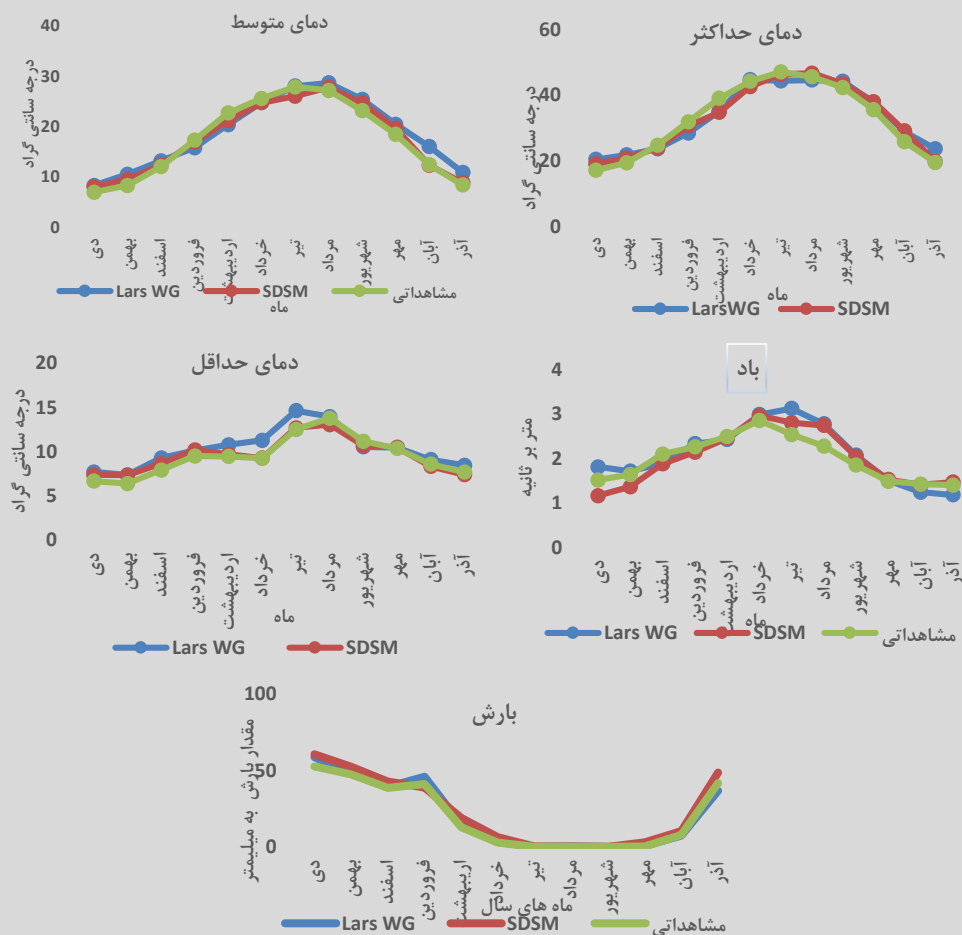
p-value	ضریب همبستگی	پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب	متغیر
۰/۴۹	۰/۷۳	Ncepp-zaf	دمای بیشینه و بارش
۰/۰۱	۰/۸۷	Ncepp500af	
۰	۰/۸۵	Ncepshumaf	
۰	۰/۹۵	Nceptempaf	دمای متوسط
۰/۸۳	۰/۷۰	Ncepp-zaf	
۰	۰/۸۲	Ncepp500af	
۰	۰/۸۸	Ncepshumaf	
۰	۰/۹۳	Nceptempaf	دمای کمینه
۰	۰/۴۲	Ncepp-vaf	
۰	۰/۵۷	Ncepshumaf	
۰	۰/۴۵	Nceptempaf	
۰/۱۷	۰/۲۵	Ncepp5-vaf	سرعت باد
۰/۲۰	۰/۴۲	Ncepp8-faf	
۰/۰۱	۰/۲۵	Ncepp8-uaf	

۳-۱- نتایج شبیه‌سازی پارامترها در دوره‌ی پایه و مقایسه با دوره‌های آتی

در پژوهش حاضر به منظور واسنجی و ارزیابی مدل‌های ریزمقیاس‌کننده، پیش‌بینی‌شونده‌های مدل‌های هواشناسی با دوره مشاهداتی (۲۰۰۱-۱۹۶۱ میلادی) توسط منتخب پیش‌بینی‌کننده (NCEP)، در سناریوهای A2 و B2 مدل جهانی HadCM₃ در شهر اهواز شبیه‌سازی و مقایسه شدند. به منظور ارزیابی کارایی مدل‌های آماری SDSM و LARS-WG در پیش‌بینی دماهای کمینه، بیشینه، متوسط سرعت باد و بارش روزانه در بازه‌های زمانی آینده نزدیک و دور، با دوره‌های پایه‌ی هر یک از مدل‌های گردش عمومی جو شبیه‌سازی شدند. سپس نتایج ریزمقیاس‌نمایی در این مرحله، به دو روش آماری و ترسیمی با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید. نتایج به تفکیک مدل‌های اقلیمی، در زیر ارائه می‌شود. به منظور اطمینان از درستی واسنجی مدل از شاخص‌های خطاسنجی (صحت‌سنجی) معیار مربعات ریشه‌ی خطای باقیمانده (RMSE) و معیار میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و خطای میانگین (ME) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد.

۳-۲- نتایج ارزیابی عملکرد دو مدل SDSM و مدل LARS-WG تحت سناریو A2 و B2

نتایج شاخص‌های اقلیمی پیش‌بینی‌شونده (میانگین طولانی مدت داده‌های هواشناسی روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده) با مدل‌های ریزمقیاس‌سازی SDSM و LARS-WG، در ایستگاه اهواز در اشکال زیر (شکل ۴) آورده شده است. این پارامترها شامل دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای متوسط روزانه، بارش روزانه و سرعت باد است.



شکل (۴): نمودار پارامترهای اقلیمی خروجی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی SDSM و LARS-WG و مقایسه با داده‌های مشاهداتی

Fig (4): Diagram of output climate parameters of SDSM and LARS-WG downscaling models and comparison with observational data

با توجه به نتایج شکل ۴، مشخص گردید خروجی داده‌های اقلیمی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی شده، در هر دو مدل دقت مناسبی را نشان دادند، به طوری که مقایسه‌ی داده‌های شبیه‌سازی شده با مشاهده شده در دمای

حداکثر RMSE، در مدل SDSM ۲/۰۴ و در مدل LarsWG، ۲/۷۴ برآورد گردید و ضریب تبیین هر دو مدل به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۹۵ بدست آمد. البته مقایسه‌ی نمودارهای بالا نشان می‌دهد خروجی مدل ریزمقیاس‌سازی LARSWG نسبت به مدل SDSM، با دقت کمتر و دارای مقداری بیش برآوردی در مقایسه با داده‌های مشاهداتی است.

همچنین با مشاهده جدول ۲، ارزیابی معیارهای تعیین خطای برآوردی داده‌های شبیه‌سازی شده نسبت به داده‌های مشاهداتی مشخص نمود، مدل SDSM در شبیه‌سازی داده‌های دمای حداکثر روزانه، دمای حداقل روزانه و دمای متوسط روزانه و سرعت باد دقت و صحت بیشتری نسبت به مدل LARSWG داشته است و خروجی‌های آن صحت بالاتری نسبت به مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. همچنین مدل LARSWG توانسته در پیش‌بینی تنها پارامتر بارش دقت و صحت بیشتری نسبت به مدل SDSM داشته باشد. به طوری که مقایسه‌ی داده‌های شبیه‌سازی شده با مشاهده شده در پارامتر بارش RMSE، در مدل SDSM ۴/۲۸ و در مدل LarsWG، ۲/۷۱ برآورد گردید و ضریب تبیین هر دو مدل به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹۸ بدست آمد. با توجه به نتایج جدول مذکور، بیشترین دقت در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مربوط به داده‌های سرعت باد و پس از آن دمای متوسط است. کمترین دقت مربوط به بارش می‌باشد. در ادامه، نتایج شاخص‌های آماری میانگین طولانی مدت داده‌های هواشناسی روزانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده روزانه، با مدل SDSM و LARS-WG، در ایستگاه اهواز تحت دو سناریو A2 و B2 نیز در جداول ۳ و ۴ آورده شده است.

جدول (۲): نتایج ارزیابی آماری پارامترهای اقلیمی ریزمقیاس شده خروجی توسط مدل‌های SDSM و LARS-WG

Table (2): Results of statistical evaluation of downscaling climatic parameters of output by SDSM and LARS-WG models

ردیف	پارامتر اقلیمی	مدل ریزمقیاس کننده	RMSE	MAE	ME	ضریب تبیین (R ²)
۱	دمای حداکثر	SDSM	۲/۰۴	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۹۶
		LARS-WG	۲/۷۳	۰/۴۴	۰/۰۴	۰/۹۵
۲	دمای حداقل	SDSM	۱/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۹۹
		LARS-WG	۱/۹۷	۱/۰۱	۰/۱	۰/۹۴
۳	دمای متوسط	SDSM	۰/۵۴	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۹۱
		LARS-WG	۱/۱۵	۰/۸۷	۰/۱	۰/۸۷
۴	سرعت باد	SDSM	۰/۲۲۴	۰/۱۸	۰/۰۰۵	۰/۸۸
		LARS-WG	۰/۲۷۲	۰/۲۱	۰/۰۴۱	۰/۸
۵	بارش	SDSM	۴/۲۸	۳/۰۵	۲/۰۲	۰/۹۵
		LARS-WG	۲/۷۱	۰/۷۹	۰/۲۸	۰/۹۸

جدول (۳): شاخص‌های آماری مربوط به ارزیابی عملکرد مدل SDSM و مدل LARS-WG تحت سناریو A2
Table (3): Statistical indicators related to performance evaluation of SDSM model and LARS-WG model under A2 scenario

بارش	سرعت باد			دمای کمینه			دمای متوسط			دمای بیشینه					
	R2	MAE	RMSE	R2	MAE	RMSE	R2	MAE	RMSE	R2	MAE	RMSE			
دوره‌ی پایه	۰/۹۹	۲/۷	۳/۷	۰/۸۸	۱۳/۱۷	۱۸/۸۵	۰/۹۴	۵/۳۷	۱۰/۹۴	۰/۹۴	۹/۹۶	۱۵/۰۸	۰/۹۸	۱/۷۸	۶/۲۶
۲۰۰۲-۲۰۴۲	۰/۹۹	۲/۲	۳/۴	۰/۸۸	۱۰/۴	۱۷/۱۱	۰/۹۴	۵/۲۸	۱۱/۰۳	۰/۹۴	۸/۱۰	۱۴	۰/۹۸	۱/۷۸	۶/۲۶
۲۰۴۳-۲۰۸۳	۰/۹۹	۲/۵	۳/۱	۰/۸۸	۱۶/۹	۲۲/۱۳	۰/۹۴	۵/۸۳	۱۱/۴۰	۰/۹۴	۱۳/۰۲	۱۷/۷۹	۰/۹۸	۱/۸۴	۶/۳۰

نتایج جدول ۳، نتایج به دست آمده تحت سناریو A2، بیانگر آن است که داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل‌ها، در مقایسه با دوره‌ی پایه (۲۰۰۱-۱۹۶۱) از دقت و صحت معنی‌داری و همبستگی قابل قبولی برخوردار هستند.

جدول (۴): شاخص‌های آماری مربوط به عملکرد مدل SDSM و مدل LARS-WG تحت سناریو B2
Table (4): Statistical indicators related to the performance of the SDSM model and the LARS-WG model under Scenario B2

بارش	سرعت باد			دمای کمینه			دمای متوسط			دمای بیشینه					
	R2	RMSE	MAE	R2	MAE	RMSE	R2	MAE	RMSE	R2	MAE	RMSE			
دوره‌ی پایه	۰/۹۹	۲/۲۷	۳/۲	۰/۸۸	۱۳/۱۳	۱۸/۸۴	۰/۹۴	۵/۳۸	۱۰/۹۵	۰/۹۴	۹/۹۷	۱۵/۰۹	۰/۹۸	۱/۷۷	۶/۲۵
۲۰۰۰-۲۰۴۲	۰/۹۹	۲/۲	۳/۲	۰/۸۸	۱۰/۸۵	۱۷/۲۶	۰/۹۴	۵/۲۵	۱۰/۹۴	۰/۹۴	۸/۲۱	۱۴/۰۹	۰/۹۸	۱/۶۹	۶/۱۶
۲۰۸۳-۲۰۴۳	۰/۹۹	۲/۳۵	۳/۷	۰/۸۸	۱۶/۸۹	۲۱/۹۹	۰/۹۴	۵/۷۷	۱۱/۳۸	۰/۹۴	۱۲/۸۵	۱۷/۵۵	۰/۹۸	۱/۸۳	۶/۱۹

نتایج به دست آمده تحت سناریو B2 (جدول ۴)، کاملاً مشابه به مرحله‌ی قبل است و مجموع رتبه‌های به دست آمده تغییر چندانی نکرده است. در مجموع مشخص گردید مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای بارشی از توانایی قابل قبولی برخوردار می‌باشد و مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای دمایی از توانایی قابل قبولی برخوردار می‌باشد.

جدول ۵ اختلاف میانگین بلندمدت کلیه پارامترها، مربوط به عملکرد مدل SDSM و مدل LARS-WG در ایستگاه اهواز تحت سناریو A2 را نشان می‌دهد. دمای بیشینه در دوره‌ی آینده نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۲ درجه افزایش و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۴/۶۲ افزایش داشته است. دمای کمینه در آینده نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۰/۶۱ و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۱/۵۱ افزایش داشته است. دمای متوسط آینده‌ی

نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۱/۴۳ و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۳/۴۷ افزایش داشته است. اختلاف میانگین بلندمدت بارندگی، تبخیر و تعرق و سرعت باد تحت مدل LARS-WG، نشان داد متوسط سرعت باد سالانه (متر بر ثانیه) در آینده‌ی نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۰/۰۳ کاهش و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۰/۰۴ کاهش داشته است. تبخیر و تعرق (میلی‌متر در روز) در آینده‌ی نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۰/۷۷ افزایش و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۱/۵۴ میلی‌متر در روز افزایش داشته است. بارندگی در آینده‌ی نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۱۱/۷۷ و آینده‌ی دور ۱۵/۵۴ میلی‌متر در سال افزایش خواهد داشت.

جدول (۵): میزان اختلاف روزانه دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و آینده‌ی دور در سناریو A2

Table (5): The daily difference between the near future and the distant future in scenario A2

پارامتر	دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۱)	آینده نزدیک (۲۰۰۲-۲۰۴۲)	آینده دور (۲۰۴۳-۲۰۸۳)	میزان اختلاف آینده نزدیک به دوره پایه	میزان اختلاف آینده دور به دوره پایه
دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)	۳۲/۵۵	۳۴/۵۵	۳۷/۱۷	۲ درجه افزایش	۴/۶۲ افزایش
دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)	۹/۵۱	۱۰/۱۲	۱۱/۰۲	۰/۶۱ افزایش	۱/۵۱ افزایش
دمای متوسط (درجه سانتی‌گراد)	۱۷/۵۷	۱۹	۲۱/۰۴	۱/۴۳ افزایش	۳/۴۷ افزایش
تبخیر و تعرق (میلی‌متر در روز)	۸/۴۸	۹/۲۵	۱۰/۰۲	۰/۷۷ افزایش	۱/۵۴ افزایش
بارندگی (میلی‌متر در سال)	۲۴۵/۳۹	۲۵۷/۱۶	۲۶۰/۹۳	۱۱/۷۷ افزایش	۱۵/۵۴ افزایش
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۲/۱۲	۲/۰۹	۲/۰۸	۰/۰۳ کاهش	۰/۰۴ کاهش

جدول ۶ اختلاف میانگین بلندمدت کلیه پارامترها، مربوط به عملکرد مدل SDSM و مدل LARS-WG در ایستگاه اهواز تحت سناریو B2 را نشان می‌دهد. دمای بیشینه در دوره‌ی آینده نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۲/۱۸ درجه افزایش و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۳/۵۳ افزایش داشته است. دمای کمینه در آینده‌ی نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۰/۶۹ و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۱/۱۸ افزایش داشته است. دمای متوسط آینده‌ی نزدیک نسبت به دوره پایه ۱/۵۸ و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۲/۶۵ افزایش داشته است. اختلاف میانگین بلندمدت بارندگی، تبخیر و تعرق و سرعت باد تحت مدل LARS-WG، نشان داد متوسط سرعت باد سالانه (متر بر ثانیه) در آینده‌ی نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۰/۰۵ متر بر ثانیه کاهش و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۰/۱ متر بر ثانیه افزایش داشته است. تبخیر و تعرق (میلی‌متر در روز) در آینده‌ی نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه ۰/۷۸ افزایش و آینده‌ی دور نسبت به دوره‌ی پایه ۱/۵۶ میلی‌متر در روز افزایش داشته است. بارندگی در آینده‌ی نزدیک نسبت به دوره پایه ۱۱/۷۸ و آینده دور ۱۵/۶ میلی‌متر در سال افزایش خواهد داشت.

جدول (۶): میزان اختلاف روزانه دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و آینده‌ی دور در سناریو B2
 Table (6): Daily difference between the near future and the distant future in scenario B2

پارامتر	دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۱)	آینده‌ی نزدیک (۲۰۰۲-۲۰۴۲)	آینده‌ی دور (۲۰۴۳-۲۰۸۳)	میزان اختلاف آینده نزدیک به دوره‌ی پایه	میزان اختلاف آینده دوره، دوره‌ی پایه
دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)	۳۲/۷۳	۳۴/۹۱	۳۶/۲۶	۲/۱۸ افزایش	۳/۵۳ افزایش
دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)	۹/۵۴	۱۰/۲۳	۱۰/۷۲	۰/۶۹ افزایش	۱۱/۱۸ افزایش
دمای متوسط (درجه سانتی‌گراد)	۱۷/۶۱	۱۹/۱۹	۲۰/۲۶	۱/۵۸ افزایش	۲/۶۵ افزایش
تبخیر و تعرق (میلی‌متر در سال)	۸/۶۹	۹/۴۷	۱۰/۲۵	۰/۷۸ افزایش	۱۱/۵۶ افزایش
بارندگی (میلی‌متر در سال)	۲۴۵/۵۹	۲۵۷/۳۷	۲۶۱/۱۵	۱۱/۷۸ افزایش	۱۵/۵۶ افزایش
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۲/۱۱	۲/۰۶	۲/۱۱	۰/۰۵ کاهش	۰/۱ افزایش

با توجه به جدول‌های ۵ و ۶ مقایسه‌ی پارامترهای اقلیمی تولید شده با داده‌های مشاهداتی بیانگر این امر بود که تفاوت معنی‌داری بین این دو سری از داده‌ها وجود ندارد. نتایج مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل SDSM نشان داد ریزمقیاس کردن داده‌های دما با دقت بالاتری انجام گرفته است و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای بارشی از توانایی قابل قبولی برخوردار می‌باشد. در مجموع مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای دمایی از توانایی قابل قبولی برخوردار می‌باشد. با توجه به نتایج مشخص شد که سناریو A2 تطابق بیشتری با شرایط اقلیمی دوره‌ی پایه را دارد. تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که این سناریو به واقعیت تولید گازه‌های گلخانه‌ای نزدیک‌تر بوده و سناریوی واقعی‌تر و نرمال‌تری ارائه می‌دهد و سناریوی B2 مقداری خوشبینانه‌تر می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه از دو مدل ریزمقیاس گردانی آماری SDSM و LARS-WG، خروجی مدل جهانی HadCM3 در جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در کانون گرد و خاک (گرد و غبار) جنوب و جنوب شرق اهواز، در سه دوره‌ی مشاهداتی (۱۹۶۱-۲۰۰۱) و دوره‌ی شبیه‌سازی آینده‌ی نزدیک (۲۰۰۲-۲۰۴۲) و آینده‌ی دور (۲۰۴۳-۲۰۸۳) استفاده گردید. با توجه به نتایج ارزیابی‌های پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی شده (متغیرهای پیش‌بینی‌شونده) با داده‌های مشاهداتی، دقت و صحت هر دو مدل را نشان داده و تفاوت معنی‌داری بین این دو مدل ریزمقیاس‌سازی وجود ندارد و هر دو مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی پارامترها را دارند. مشخص گردید، مدل SDSM در شبیه‌سازی داده‌های دمای حداکثر روزانه، دمای حداقل روزانه و دمای متوسط روزانه و سرعت باد دقت و صحت بیشتری نسبت به مدل LARSWG داشته است و خروجی‌های آن صحت بالاتری نسبت به مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. همچنین مدل LARSWG در پیش‌بینی بهتر پارامتر بارش دارای دقت و صحت بیشتری نسبت به مدل SDSM بوده است. همچنین، بیشترین دقت در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مربوط به داده‌های

سرعت باد و پس از آن دمای متوسط است. کمترین دقت مربوط به بارش می‌باشد. نتایج حاصل از ریزمقیاس‌گردانی مدل‌ها در میانگین طولانی مدت پارامترهای اقلیمی در کانون ریزگرد شماره چهار استان خوزستان نشان داد؛ کلیه پارامترهای مورد بررسی در آینده (۲۰۰۱-۲۰۴۱ و ۲۰۴۲-۲۰۸۳) نسبت به دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۱) افزایش می‌یابند. مشخص گردید پدیده‌ی تغییر اقلیم در منطقه با سرعت در حال انجام است، به‌طوری که پارامترهای هواشناسی (دمای حداکثر، حداقل و متوسط روزانه، باد و بارش روزانه)، در آینده (نزدیک و دور) نسبت به دوره‌ی مشاهداتی، افزایشی هستند؛ پارامترهای دمای حداقل و حداکثر به ترتیب ۰/۶۱ و ۲ درجه سانتی‌گراد، تبخیر و تعرق، ۰/۷۸ میلی‌متر در روز افزایش، بارندگی ۱۱/۷۸ میلی‌متر در سال، نسبت به دوره‌ی پایه افزایش خواهند یافت. نتایج تحقیق با یافته‌های (هاجرپور و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۵)، (عجم‌زاده و ملانیا، ۲۰۱۴: ۱۰) مطابقت دارد. مشخص گردید مدل‌های مذکور توانمندی ریزمقیاس‌سازی دما و بارش دوره گذشته ایستگاه‌های تحت مطالعه را بر اساس سناریوی حالت پایه دارا می‌باشد.

برآوردها نشان داد مدل SDSM، با داشتن کمترین خطا، در شبیه‌سازی داده‌های نسبت به مدل LARS-WG توانایی مناسبی در شبیه‌سازی داده‌های مشاهداتی جهت ریزمقیاس‌گردانی دارد. بطوری که در مدل SDSM عمل ریزمقیاس‌گردانی از طریق ایجاد یک رابطه رگرسیونی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها و پیش‌بینی شونده‌ها در یک ایستگاه صورت می‌گیرد. ولیکن مدل LARS-WG متغیرهای بزرگ مقیاس جوی نقش مستقیمی در شبیه‌سازی داده‌ها ندارند، بلکه مدل در ابتدا به منظور تعیین پارامترها و خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی آن‌ها را آنالیز می‌کند سپس هم‌راستا با نوع تغییرات آینده‌ی متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس، پارامترهای آماری داده‌های مشاهداتی را تغییر داده و اقدام به باز تولید داده‌ها در دوران آینده می‌نماید، این نتایج با مطالعات (آقاشاهی و همکاران، ۱۰)، مطابقت دارد.

به‌طور کلی در ارزیابی عملکرد مدل‌ها در مناطق مختلف، برای پارامترهای اقلیمی مختلف و همچنین مقیاس‌های ماهانه و سالانه در دوره‌ی مورد بررسی شاهد تفاوت در نتایج و نوع عملکرد مدل‌ها می‌باشیم، اما در این مطالعه مشخص شد به دلیل نوع فرآیند شبیه‌سازی و همچنین ساختار ترکیبی مدل SDSM در ریزمقیاس‌گردانی داده‌ها و استفاده مستقیم از مدل‌های HadCM3 و داده‌های بزرگ مقیاس NCEP این مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در منطقه‌ی کانون ریزگرد شرق اهواز دارد. از طرف دیگر نیز مدل LARS-WG به سبب سادگی مکانیسم مدل، داده‌های ورودی به مدل و نیاز به مهارت کمتر و سرعت عملکرد دارای برتری می‌باشد، و به کاربر قدرت انعطاف بیشتری را می‌دهد. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های (هاجرپور و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۵)، (عجم‌زاده و ملانیا، ۲۰۱۴: ۱۰) مطابقت دارد.

مدل SDSM دارای فرآیندها پیچیده‌تر است و نیاز به دقت و زمان بیشتر و همچنین تخصص نسبتاً بالای کاربر دارد که البته از مزایای این مدل نیز محسوب می‌شود و علاوه بر پارامترهای هواشناسی از قبیل دما، بارش، ساعت آفتابی و سرعت باد و غیرقابل استفاده برای سایر متغیرهای هیدرولوژی و زیست‌محیطی از قبیل پارامترهای کیفیت هوا، پوشش برف، تبخیر و غیره نیز کارایی بالایی دارد. از طرفی برای مدل LARS-WG با توجه به ویژگی‌های اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان سناریوهای جدید تغییر اقلیم تعریف نمود که در این مطالعه در خصوص پارامتر بارش دقت بالاتری نسبت به مدل SDSM نشان داد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت این مدل‌ها علی‌رغم تفاوت‌هایی که دارند می‌توانند رفتار آماری داده‌های اقلیمی یک ایستگاه را از نظر میانگین، انحراف معیار و غیره تولید نمایند که با رفتار آماری داده‌های مشاهداتی یکسان هستند و هیچ‌کدام از مدل‌ها بر یکدیگر برتری مطلق ندارند. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های (هاشمی و همکاران: ۱۸)، (ولی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴: ۸)، (آقاشاهی و همکاران: ۱۰)، (عجم‌زاده و ملانیا: ۱۰) مطابقت دارد.

۵- منابع

- Abbasi, H.R., (2021)). Physico-chemical properties of soils in khuzestan dust sources, technical report no, *Research Institute Forests and Rangelands*, Iran, p. 84.
- Abkar, A. J., Habibnejad, M., Soleimani, K. And, e. Naqvi. (2013). Assessing the efficiency of the SDSM model in simulating temperature indicators in arid and semi-arid regions, *Journal of Irrigation and Water Engineering Research*, Fourth Year, No. 144: 1-17.
- Aghashahi, M. Ardestani, M. Nicksokhan, MH. And Tahmasebi, B. (2012). Introduce and compare the LARS-WG model and SDSM in order to fine-scale environmental modeling studies of climate change, the Sixth National Conference and Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, p 10.
- Ajamzadeh, A. and Mullaniya, M R. (2014). Comparison of the performances SDSM and LARS-WG Downscaling Case resources. *ASCE, J. Water Resources. Planning and Management*. 125(4): 194-204.
- Bakhshandeh Mehr, L. Soltani, S. Sepehr, A. (2014). Evaluation of the current situation of desertification and modalization of the Madalus model in the Segzi plain of Isfahan, *Natural Resources of Iran*, 66 (1), 27-41.
- Chu, J.T., Xia, J., Xu, C. Y. and V.P. Singh. (2010). Statistical Downscaling of daily mean Temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 99, Issue 1: 149-161.
- Dosti, M., Habibnejad, M., Shahedi, K., Mirighoubzadeh, M. H. (2013). Investigation of climatic characteristics of Tamar watershed, Golestan province in climate change conditions using LARS-WG model. *Journal of Earth and Space Physics*. Volume 39. Number 4, pp. 177-189.
- Ebrahimian, N. (2012). Investigating the Uncertainty of the Impact of Climate Change on Plant-Water-Agricultural Performance in All of Iran with the AEZ / GIS Approach. Master Thesis, Department of Agricultural Engineering, Irrigation and Drainage, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran. (In Persian)
- Gordon C, Cooper C, Senior C.A, Banks H, Gregory J.M, Johns T.C, Mitchell J.F.B, and Wood R.A. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, *Clim. Dynam*, 16, 147-168.
- Jahanbakhshasl, S. Khorshiddodt, A.M. Aalinejad, M.H. Pourasghar, F. (2017). The effect of climate change on temperature and precipitation considering the uncertainty of climate models and scenarios (Case study: Urmia Tea City Basin), *Hydrogeomorphology*, Vol.2, No.7, Summer 2017, pp: 107-122.
- Hajjarpour, A. Yousefi, M. and Kamkar, B. (2014). Precision test of simulators LARS-WG, Weather Man and CLIMGE Ninthree different climates simulated (Gorgan, Gonabad and Mashhad), *Geography and Development*, University of Sistan and Baluchestan; 35: 201-216.

- Hashemi, M. Z. Shamseldin. A Y. and Melville. B W. (2010). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a Watershed, *Stoch environmental Reserche Rick Assess*, p 18.
- Konami, Z. Eilldermi, A.R. Zeinivand, H. Nori. H. (2021). The effect of climate change on runoff of Silakhor Rahimabad catchment in Lorestan, *Hydrogeomorphology*, Vol.7, No.25, Winter 2021, pp: 1-17.
- Momirović, N, Kadović, R., Perović, V., Marjanović, M., Baumgertel, A., (2019). Spatial assessment of the areas sensitive to degradation in the rural area of the municipality Čukarica. *International Soil and Water Conservation Research*, 7, 71–80.
- Mushkooti, A. (2015). Application of statistical models in climate change assessment and its effects (LA RS-WG and SDSM models). Publications of Islamic Azad University, *Research Sciences Branch*, 190 pages.
- Rezaei, M., Nehtani, M., Abkar, A. J., Rezaei, M. And m. Rigi's death. (2014). Evaluation of the Efficiency of Micro-Statistical Scale Model (SDSM) in Predicting Temperature Parameters in Two Dry and Extraterrestrial Climates (Case Study: Kerman and Bam), *Watershed Management Management Journal*, Fifth Year, No. 10: 117-131.
- Shukla, R., Khare, D. and R. Deo. (2015). Statistical Downscaling of Climate Change Scenarios of Rainfall and Temperature over Indira Sagar Canal Command area in Madhya Pradesh. India, 14th International Conference on Machine Learning and Applications, 75 P.
- Valizadeh, J. Ziaei, S M. and Mazlounzadeh, S M. (2014). Assessing climate change impacts on wheat production (a case study), *Journal of the Saudi Society of Agricultural Scienc*, Vol 13, Issue 2, P 107-115.