

پهنه‌بندی دما و بارش استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل ریزمقیاس LARS-WG برای سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۶۵

محمدحسین جهانگیر^۱

استادیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

علی محمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۱۵

چکیده

تغییر اقلیم خصوصاً افزایش دما مهم‌ترین معضل کره زمین در قرن بیست و یکم می‌باشد. بنابراین ارزیابی میزان روند این معضل در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه تعداد زیادی مدل گردش عمومی جو برای پیش‌بینی وضعیت اقلیم در آینده طراحی شده است، اما خروجی حاصل از این مدل‌ها به دلیل محدودیت در تفکیک مکانی در مقیاس محلی، قابل استفاده نمی‌باشند. لذا روش‌های متعددی به منظور استفاده از خروجی این مدل‌ها در مقیاس منطقه‌ای و محلی ابداع شده است. یکی از متداول‌ترین این روش‌ها استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG است. در این تحقیق با هدف پهنه‌بندی اقلیم استان آذربایجان شرقی در ابتدا اطلاعات اقلیمی پانزده ساله (تا سال ۲۰۱۰ میلادی) ده ایستگاه سینوپتیک استان جمع‌آوری گردید. سپس با استفاده از مدل مذکور اطلاعات دما و بارش در بازه‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۳۰-۲۰۶۵ تولید گردید. با استفاده از روش عکس وزن فاصله اقدام به پهنه‌بندی استان در بازه‌های زمانی فوق‌صورت گرفت و سپس به ارزیابی عملکرد روش پرداخته شد که نتایج حاصل نشان‌دهنده عملکرد مناسب روش اتخاذ شده است. براساس نتایج بدست آمده مشخص گردید که بطور میانگین تا سال ۲۰۳۰ درجه حرارت در تمام استان ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و تا سال ۲۰۶۵ تا ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. در زمینه بارش، براساس نتایج مدل، مقدار بارش در هر دو بازه زمانی با روندی روبه‌کاهش مواجه خواهد بود به نحوی که بیش‌ترین آن تا سال ۲۰۶۵ به میزان ۴۰ میلی‌متر از میانگین دوره مشاهداتی می‌باشد.

واژگان کلیدی: درون‌یابی، تغییرات اقلیمی، استان آذربایجان شرقی، مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (LARS-WG)

مقدمه

تغییر اقلیم در حال وقوع، تمام زوایای سیستم‌های زیستی، از ژنتیک گرفته تا اکوسیستم را تغییر خواهد داد (Scheffers et al., 2016, 724). تا سال ۲۱۰۰ میلادی، تغییر اقلیم می‌تواند یک ششم از گونه‌ها را منقرض کرده و فراوانی و توزیع بسیاری از گونه‌های باقی‌مانده را تغییر دهد که در نتیجه جوامع جدیدی شکل می‌گیرد (Urban, 2015, 573; Williams and Jackson, 2007, 477). این تغییرات بطور اساسی زندگی را تغییر داده و اثرات بزرگی روی جوامع بشری خواهد داشت (Pecl et al., 2017, 1393). توسعه استراتژی‌ها و تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد استفاده از آب در آینده برای بخش‌های مختلف و مدیریت منابع آب در دسترس، نیاز به اطلاعات تغییر اقلیم (از نظر بارش و درجه حرارت در مقیاس حوضه) دارند که به طور مستقیم می‌تواند با مدل‌های هیدرولوژی مورد استفاده قرار گیرد (Hashmi et al., 2009, 15). تغییرات دمای کره زمین و روند رو به افزایش آن با توجه به میانگین شرایط آب و هوایی در سراسر جهان، به عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود (Hashmi et al., 2010, 24). به نظر می‌رسد تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی، سبب افزایش شرایط نامطلوب آب‌وهوایی در آینده‌ای نزدیک شود. دگرگونی در مقادیر حدی باعث بروز تغییرات اساسی اجتماعی و محیط‌زیستی می‌شود. طبق گزارش اخیر برنامه محیطی سازمان ملل، فراوانی وقوع سیل و دیگر شرایط حدی اقلیمی هر ساله دو برابر می‌شود (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵، ۱۰۸). بنابراین لازم است با استفاده از روش‌هایی این تغییر اقلیم شناسایی شوند. معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده اقیانوس- جو می‌باشد. این مدل‌ها قادرند پارامترهای اقیانوسی و جوی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC مدل‌سازی نمایند. 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. انواع مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری عبارتند از MET & ROLL, SDSM, LARS-WG, USCLIMATE و... (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸، ۱۴۱).

مبانی نظری و پیشینه

تاکنون مطالعات و پژوهش‌های زیادی در زمینه مدل‌سازی رفتار اقلیم مناطق مختلف جهان با استفاده از مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی انجام شده است. در مطالعه‌ای توسط Adavi و همکاران (۲۰۱۸، ۹۲)، به منظور ارزیابی سازگاری محصول سیب‌زمینی با مقوله تغییر اقلیم از مدل LARS-WG استفاده شد. برای پیش‌بینی تغییر در پارامترهای هواشناسی، از سناریوهای تعریف شده در مدل استفاده شد که نتایج پژوهش توانایی و دقت این مدل را در پیش‌بینی تأیید کرد. Osman و همکاران (۲۰۱۷، ۱) به بررسی تغییر اقلیم و وضعیت بارش آینده در کشور اقدام کردند. برای انجام این مطالعه داده‌های مورد نیاز از پنج ایستگاه سینوپتیک کشور عراق جمع‌آوری گردید. نتایج حاصل از اجرای مدل LARS-WG نشان داد که بیش‌تر مساحت کشور با کاهش میانگین بارش سالانه روبرو خواهد بود و این درحالی است که پیش‌بینی می‌شود فصل‌های پاییز و زمستان مرطوب‌تری وجود خواهد داشت. Hashmi و

همکاران (۲۰۱۰، ۲۰) ، به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDSM برای شبیه‌سازی بارش‌های شدید در حوضه کلوتا واقع در جزیره جنوبی نیوزیلند پرداختند. ایشان در این مطالعه نشان دادند هر دو مدل دارای توانایی‌های مشابه و خوبی در شبیه‌سازی رویدادهای بارش شدید می‌باشند و برای پیش‌بینی‌های اقلیمی قابل استفاده هستند. Sarkar و همکاران (۲۰۱۵، ۲۹) با استفاده از مدل LARS-WG به بررسی تغییرات دما و بارش منطقه Kutch در کشور هند پرداختند. آن‌ها در این مطالعه دست‌یافتند که مدل فوق می‌تواند ریز مقیاس‌نمایی بارش روزانه را بطور منطقی انجام دهد و دارای عملکرد بسیار بالایی در ریز مقیاس‌نمایی دمای حداقل و حداکثر می‌باشد.

در ایران برخی محققان به بررسی تغییرات روند بارش و دما در نقاط مختلف پرداخته‌اند. برای مثال، نوری و مساح بوانی (۱۳۹۶، ۱۲۷) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منحنی فرمان بهره‌برداری سدها (مطالعه موردی سد دز) پرداختند. در این مطالعه برای تبدیل خروجی‌های مدل گردش عمومی جو از مدل LARS-WG استفاده شد. سه سناریوی مورد بررسی سناریوهای B1، A1B و A2 بودند. نتایج نشان داد در شرایط تغییر اقلیم در دوره آتی، شاخص تأمین آب با کاهش ۱/۷ تا ۵/۷ درصدی روبرو خواهد بود.

عجم‌زاده و ملائی‌نیا (۱۳۹۵، ۹۶)، در پژوهشی اثر تغییر اقلیمی را با استفاده از دو مدل LARS-WG و SDSM بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش مدل‌های گردش جوی مناسب با منطقه مطالعاتی، از وزن‌دهی اولیه به عنوان عنصر غربالگری استفاده شده‌است. نتایج بررسی تغییر اقلیم نشان از افزایش دمایی بین ۰/۷ تا ۱/۸ درجه برای دمای حداقل و ۰/۷ تا ۱/۷ درجه‌ای برای دمای حداکثر است. برای بارش نیز هرچند میزان افزایش کم بوده است ولی نتایج افزایش ۲ تا ۱۲ درصدی بارش را نشان می‌دهد.

هاشمی نسب خبیصی و همکاران (۱۳۹۲: ۴۵)، به پیش‌بینی تغییرات بارش در استان کرمان با استفاده از مدل LARS-WG پرداختند. در این تحقیق مشخص شد در بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مقادیر بارش در این استان افزایش خواهد یافت و طول دوره‌تر در همه ایستگاه‌های استان افزایش و طول دوره خشک کاهش خواهد یافت.

حیمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۹۵، ۱۰۸)، به ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹ پرداختند. یافته‌های پژوهش نشان از افزایش دما بر اساس تمام مدل-سناریوها، طی دوره‌های آتی دارد، به طوری که میزان این افزایش دما در ایستگاه‌های واقع در خشکی از ایستگاه‌های مناطق ساحلی بیش‌تر بوده و بارش‌های بهاره روی ایستگاه‌های واقع در خشکی نسبت به نواحی ساحلی افزایش بیش‌تری خواهد داشت.

حق طلب و همکاران (۱۳۹۲، ۳۹)، با مدل سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی لارس و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی بر این باورند که با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی در هر دو استان، کویرزایی در آینده سرعت بیش‌تری خواهد یافت، که این نرخ رشد در دامنه جنوبی البرز مرکزی بسیار چشمگیرتر از دامنه شمالی آن است. همچنین احتمال افزایش بارندگی‌های سیل‌آسا و رگباری در هر دو دامنه وجود دارد که این احتمال با دوره برگشت کوتاه‌تر در تهران بیش‌تر است. دوستی و همکاران (۱۳۹۲، ۱۸۰) برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در حوضه تمر استان گلستان، داده‌های مدل HadCM3 را با استفاده از مدل

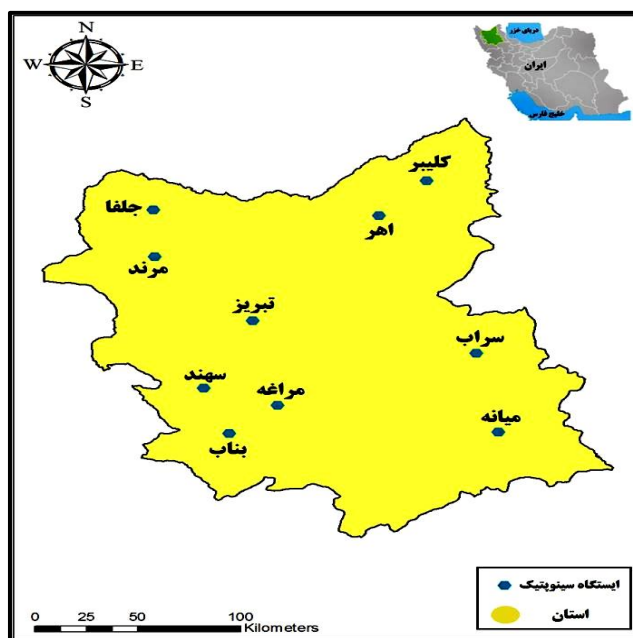
LARS-WG تحت دو سناریو A1B و A2 ریز مقیاس کردند و به این نتیجه دست یافتند که بارش در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریو A2، ۱۶٪ و سناریو A1B، ۲٪ افزایش می‌یابد.

در این مطالعه با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG تا سال ۲۰۶۵ اقلیم استان آذربایجان شرقی با خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از داده‌های تولید شده از این مدل، نقشه‌های پهنه‌بندی بارش و اقلیم استان در سناریوهای مذکور رسم گردیده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی از استان‌های مهم، پرجمعیت و آباد ایران است که در گوشه شمال غرب کشور واقع گردیده است و از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ۴۵ درجه و ۷ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این استان دارای وسعتی به مساحت ۴۵۴۹۰/۸۸ کیلومتر مربع (حدود ۲/۸۱ درصد مساحت کل کشور) می‌باشد و از این حیث در بین استان‌های کشور در رتبه دهم قرار دارد. آذربایجان شرقی یک منطقه سردسیر و کوهستانی است و از لحاظ تقسیم‌بندی‌های اقلیمی جزو مناطق نیمه خشک به حساب می‌آید و میانگین بارندگی سالیانه ۲۵۰ الی ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۶). موقعیت کوهستانی و عرض جغرافیایی استان از عوامل برودت و سرمای قسمت اعظم این منطقه است. از نظر تقسیمات حوضه‌ای، حوزه‌های آبخیز ارس، سفیدرود - قزل اوزن و دریاچه ارومیه، پهنه استان را پوشش می‌دهند و بیشترین مساحت استان در محدوده حوضه دریاچه ارومیه قرار گرفته است.



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

منبع: نگارندگان

در این مطالعه جهت تأمین داده‌های مورد نیاز مدل که در ادامه مطرح می‌گردد، اقدام به جمع‌آوری اطلاعات از ده ایستگاه سینوپتیک استان آذربایجان شرقی (شکل ۱) به مدت پانزده سال (تا سال ۲۰۱۰ میلادی) اقدام شد که اطلاعات ایستگاه‌های مذکور در جدول ۱ آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه (منبع: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۶)

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تبریز	۳۸° ۵۰'	۴۶° ۱۷'	۱۳۶۱
جلفا	۳۸° ۴۵'	۴۵° ۴۰'	۷۳۶/۲
اهر	۳۸° ۲۶'	۴۷° ۴۰'	۱۳۹۰/۵
میانه	۳۷° ۲۷'	۴۷° ۴۲'	۱۱۱۰
سهند	۳۷° ۵۶'	۴۶° ۷۰'	۱۶۴۱
کلبر	۳۸° ۵۲'	۴۷° ۱۰'	۱۱۸۰
سراب	۳۸° ۵۶'	۴۷° ۳۲'	۱۶۸۲
مراغه	۳۷° ۲۴'	۴۶° ۱۶'	۱۴۷۷/۷
بناب	۳۷° ۲۰'	۴۶° ۴۰'	۱۲۹۰
مرند	۳۸° ۲۸'	۴۵° ۴۶'	۱۵۵۰

منبع: یافته‌های پژوهش

معرفی مدل LARS-WG

LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در ایستگاه برای شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست و در سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد (Rasco et al., 1991, 33). این مدل برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی، از توزیع‌های آماری پیچیده‌ای استفاده می‌کند. مبنای این مدل برای مدل‌سازی دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه، سری‌های تابش و توزیع نیمه تجربی می‌باشد. در توزیع نیمه تجربی فاصله‌ها بطور مساوی بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم سری زمانی ماهانه تقسیم می‌شوند که رابطه آن به قرار زیر است:

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i, \dots, i=0,1,2,\dots,10\} \quad (1)$$

که در آن EMP یک هیستوگرام با ده بازه با شدت‌های مختلف بارش و h_i تعداد رخداد بارش در i امین فاصله می‌باشد. فاصله‌ها برای طول روزهای تر و خشک و بارش، افزایشی هستند.

در این مدل تابش بطور مستقل از درجه حرارت مدل شده است و به جای آن می‌توان از پارامتر ساعات آفتابی نیز استفاده کرد. مقدار بارش یک روز تر از توزیع نیمه تجربی بارش ماه موردنظر و مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل بدست می‌آید. در این مدل سری‌های فوریه درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های مینیمم و ماکزیمم روزانه بصورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی بکار می‌رود. رفتار حاکم بر مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیده‌بانی شده بدست می‌آیند، از طریق تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های مینیمم و ماکزیمم بدست می‌آید. خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشند. تولید داده‌ها توسط مدل LARS-

WG در سه مرحله انجام می‌گیرد که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. در این مدل ابتدا داده‌های مدل گردش عمومی جو (ECHO-G) شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش بصورت روزانه استخراج شده و برای هر شبکه ECHO-G یک سناریو خاص تولید داده تدوین می‌شود. برای تدوین این سناریو بایستی داده‌های شبکه‌ای مدل ECHO-G در دوره آینده با داده‌های دوره پایه مقایسه شوند. علاوه بر سناریوی تدوین شده برای هر شبکه محاسباتی، برای اجرای مدل LARS-WG نیاز به فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاه‌های واقع در داخل شبکه نیز وجود دارد. سپس این مدل با دریافت فایل محتوی رفتار اقلیم گذشته ایستگاه و فایل سناریو تولید داده، خروجی‌های مدنظر را به ما می‌دهد. مکانیسم عمل مدل به این صورت است که آن در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که در برگیرنده رفتار اقلیم پایه می‌باشد. تمامی داده‌های ماهانه مطابق رابطه ۲ بدست می‌آید:

$$F \quad (2)$$

که در آن F_{GCM}^{base} ، F_{GCM}^{fut} ، F_{obs} ، F_{fut} به ترتیب نشان‌دهنده پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده در ایستگاه هواشناسی، پارامتر هواشناسی دیده‌بانی شده در همان ایستگاه، پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده روی شبکه مدل در دوره آینده و پارامتر هواشناسی مدل شده روی شبکه مدل در دوره گذشته می‌باشند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها را مطابق رابطه ۳ تغییر می‌دهد (Babaeian et al., 2004, 73):

$$S \quad (3)$$

در این رابطه STD انحراف معیار پارامتر هواشناسی تحت بررسی است.

در این مطالعه جهت پهنه‌بندی اقلیمی استان، با توجه به محدودیت به دسترسی به تمام اطلاعات ایستگاه‌ها برای پارامترهای موجود در مدل و عدم کامل بودن اطلاعات بعضی ایستگاه‌های سینوپتیک استان، ده ایستگاه انتخاب گردید و بنابراین روشی که ارزیابی با آن توسط نرم افزار GIS^۱ جهت پهنه‌بندی انتخاب شد؛ روش عکس وزن فاصله (IDW)^۲ می‌باشد.

روش عکس وزن فاصله: مقدار یک متغیر در نقطه‌ای که نمونه‌برداری انجام نشده باشد از روی نقاط مجاورش با استفاده از رابطه ۴ تخمین زده می‌شود:

$$(4)$$

Z

که در آن، Z مقدار برآورد شده بارش، Z_i مقدار مشاهده شده بارش در اطراف نقطه مورد نظر، d_i فاصله بین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین، a عدد صحیح (بین ۱ تا ۵) و n تعداد نقاط مشارکت داده شده در درون‌یابی است (اقدسی، ۱۳۸۳).

¹ - Geographic Information System

² - Inverse Distance Weighting

معیارهای ارزیابی روش درونیابی نیز برای بررسی حائز اهمیت هستند. در ارزیابی دقت و اعتبار روش‌های درونیابی از روش اعتبارسنجی متقابل (حذفی) استفاده شد. این روش بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور مقداری برآورد شود، سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده و برای همه نقاط شبکه این عمل صورت می‌گیرد. در نهایت در هر روش با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده میانگین خطای مطلق، میانگین خطای اریبی و ریشه مجذور مربعات خطا از روابط ۵ تا ۸ محاسبه می‌شود:

$$M \quad (5)$$

$$M \quad (6)$$

$$R \quad (7)$$

آزمون تساوی میانگین‌ها: برای بررسی میانگین‌های دو نمونه معمولاً از آزمون t دو نمونه استفاده می‌شود. در این مطالعه، فرضیه‌های آزمون به صورت زیر است:

فرضیه H_0 = میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده مساوی میانگین داده‌های مشاهده شده است.

فرضیه H_1 = میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده با میانگین داده‌های مشاهده شده فرق می‌کند.

آماره آزمون t در شرایطی که اندازه و واریانس دو نمونه یکسان نباشد به فرم زیر است:

$$T \quad (8)$$

که در آن، n اندازه نمونه، S_2 واریانس نمونه و \bar{X} میانگین نمونه و اندیس‌های ۱ و ۲ معرف نمونه‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌اند. پس از محاسبه t ، احتمال مقادیر بزرگ‌تر از $|t|$ (یعنی p -value) بدست آمده از توزیع آماری t با درجه آزادی n_1+n_2-2 در سطوح معنی‌داری ۵ و ۱ درصد مقایسه می‌شود. چنانچه p -value کم‌تر از ۵ یا ۱ درصد باشد، فرضیه تساوی میانگین‌ها رد می‌شود (قربانی، ۱۳۹۲، ۷۵۴). در این مطالعه برای بدست آمدن داده‌های شبیه‌سازی شده، چهار مرتبه مدل اجرا شد، مقدار میانگین دو داده (مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده) به هم نزدیک شده است و اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نخواهد داشت.

یافته‌های پژوهش

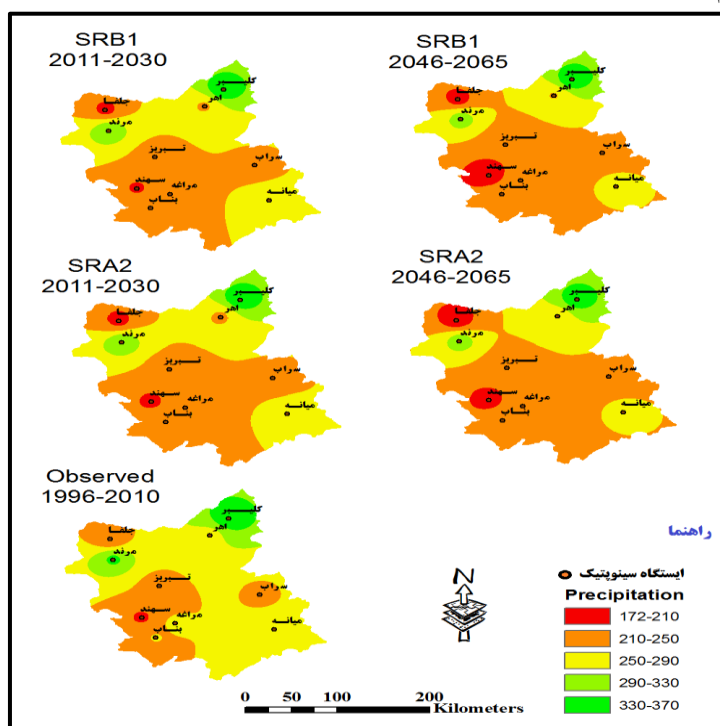
به منظور بررسی نتایج مدل اقلیمی LARS-WG، ابتدا قابلیت مدل اقلیمی فوق در شبیه‌سازی بارش و دما با استفاده از آزمون مقایسه میانگین‌ها و آزمون مقایسه واریانس‌ها بررسی شد (جدول ۲) و نتایج نشان داد که اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین دما و بارش شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی وجود ندارد.

جدول ۲. نتایج ارزیابی خطا در روش وزن عکس فاصله (منبع: یافته‌های پژوهش)

وزن عکس فاصله			روش
IDW			Method
MAE	RMSE	MBE	علامت اختصاری
Symbol			
۱۰۲/۹	۹۸/۹	-۱۱/۳	بارش مشاهده‌ای
View of Obsv			
SRA2			۲۰۱۱-۲۰۳۰
۱۰۳/۷	۱۱۹/۵	-۱۳/۴	
SRB1			۲۰۴۶-۲۰۶۵
۱۰۹/۹	۹۸/۶	-۱۸	
SRB1			۲۰۱۱-۲۰۳۰
۹۳/۳	۱۱۸/۴	-۱۵	۲۰۴۶-۲۰۶۵

منبع: یافته‌های پژوهش

جهت بررسی و نمایان شدن تغییرات اقلیمی آینده استان دو پارامتر مهم اقلیمی یعنی درجه حرارت و بارش، تحت سناریوهای مختلف، اقلیم استان پهنه‌بندی شد که نتیجه پهنه‌بندی بارش استان در شکل ۲ و جدول ۳ آمده است.



شکل (۲): پهنه‌های بارش در دوره پایه و دوره‌های آبی تحت سناریوهای مختلف برحسب میلی‌متر (منبع: یافته‌های پژوهش)

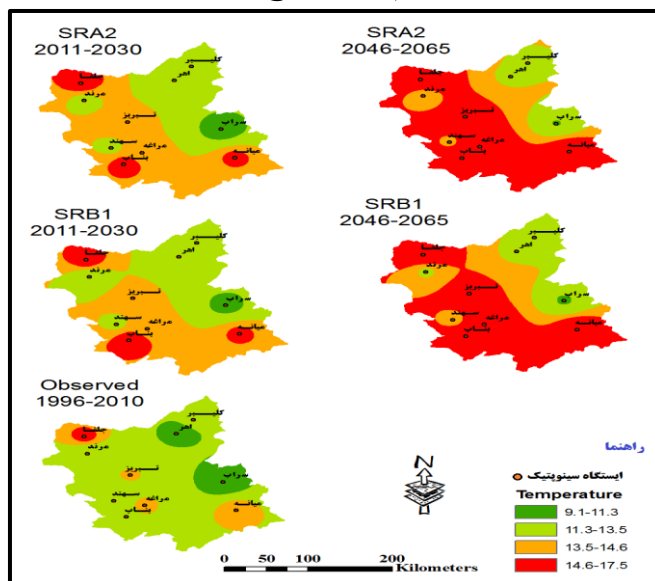
جدول (۳): درصد مساحت پهنه‌های بارش در دوره پایه و دوره‌های آبی تحت سناریوهای مختلف (مساحت بر حسب هکتار)

منبع: یافته‌های پژوهش

		دوره آماری								
		۲۰۴۶-۲۰۶۵	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۱۹۹۶-۲۰۱۰						
		SRB1	SRA2	p-obsv						
بارش (mm)	مساحت درصد	مساحت درصد	مساحت درصد	مساحت درصد						
۱۷۲-۲۱۰	۴/۹	۲۲۴۶۴	۴/۴	۲۰۲۶۳	۱/۲	۵۴۹۷۴	۱/۸۵	۸۴۵۲۹	۰/۵۳	۲۴۴۹/۵
۲۱۰-۲۵۰	۶۲/۳	۲۸۳۷۴	۶۱/۵	۲۸۰۳۳	۵۰/۷	۲۳۱۱۹	۵۵/۳	۲۵۱۷۱	۲۸/۳	۱۲۸۸۱۴۲/۵
۲۵۰-۲۹۰	۲۵	۱۱۳۸۳	۲۵/۶	۱۱۶۹۵	۳۸/۹	۱۷۷۳۹	۳۴/۱	۱۵۵۶۳	۵۸/۸	۲۶۷۹۸۹۴/۵
۲۹۰-۳۳۰	۵	۲۳۱۹۸	۵/۸	۲۶۵۶۷	۶	۲۷۶۶۳	۶	۲۷۳۴۲	۷/۶	۳۴۸۲۳۸/۵
۳۳۰-۳۷۰	۲/۶	۱۱۹۳۱	۲/۴	۱۱۰۵۲	۲/۹	۱۳۴۲۳	۲/۶۴	۱۲۰۲۵	۴/۶	۲۱۰۹۵۴/۲۵

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به شکل ۲ و جدول ۳، تحت دو سناریوی مورد بررسی، تا سال ۲۰۳۰ با توجه به سناریوهای A2 و B1، به ترتیب ۵۵/۳ و ۵۰/۷ درصد از مساحت استان در بازه بارشی ۲۱۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر قرار خواهد گرفت. همچنین تا سال ۲۰۶۵ نیز تحت سناریوهای A2 و B1، به ترتیب ۶۱/۵ و ۶۲/۳ درصد از استان در این بازه بارشی قرار می‌گیرد. این درحالی است که در دوره مشاهداتی، بیش‌ترین درصد آر مساحت استان (۵۸/۸ درصد) در بازه ۲۵۰ تا ۲۹۰ میلی‌متر قرار داشته است و در نتیجه تا سال ۲۰۶۵ مقدار بارش سالانه این استان بطور میانگین ۴۰ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. پهنه‌بندی درجه حرارت استان نیز انجام شد که نتایج آن در شکل ۳ و جدول ۴ آمده است.



شکل (۳): پهنه‌های درجه حرارت در دوره پایه و دوره‌های آبی تحت سناریوهای مختلف برحسب درجه سانتیگراد (منبع: یافته‌های پژوهش)

جدول (۴): درصد مساحت پهنه‌های دما در دوره پایه و دوره‌های آبی تحت سناریوهای مختلف (مساحت بر حسب هکتار)

منبع: یافته‌های پژوهش

		دوره آماری									
		۲۰۴۶-۲۰۶۵		۲۰۱۱-۲۰۳۰		۱۹۹۶-۲۰۱۰		-		-	
		SRB1		SRA2		SRB1		SRA2		t-obsv	
		مساحت		مساحت		مساحت		مساحت		مساحت	
		درصد		درصد		درصد		درصد		درصد	
۰/۵	۲۳۶۸۷/۷۵	۰/۲	۹۳۵۷/۲۵	۲/۸	۱۳۰۱۰۸/۷۵	۵	۲۲۹۸۸۵/۲۵	۱۱/۷	۵۳۵۷۱۳	۹/۱-۱۱/۳	۹۱/۱-۱۱۳/۳
۲۱/۴	۹۷۵۸۸۷/۷۵	۱۷/۵	۷۹۹۳۷۲/۷۵	۴۳/۵	۱۹۸۱۹۶۳	۳۶/۸	۱۶۷۸۹۶۴/۷۵	۷۵/۴	۳۴۳۴۸۹۷	۱۱/۳-۱۳/۵	۱۱۳/۳-۱۳۵/۵
۲۳/۷	۱۰۷۸۹۴۲/۲۵	۱۹/۹	۹۰۸۲۸۶/۵	۴۳/۹	۱۹۹۹۸۰۵/۷۵	۴۹/۸	۲۲۶۹۶۲۶/۵	۱۱/۳	۵۱۷۶۵۲/۵	۱۳/۵-۱۴/۶	۱۳۵/۵-۱۴۶/۶
۵۴/۳	۲۲۷۳۱۶۱/۵	۶۲/۲	۲۸۳۴۶۶۲/۷۵	۹/۶	۴۳۹۸۰۱/۷۵	۸/۱	۳۷۳۲۰۲/۷۵	۱/۳	۶۳۴۱۶/۷۵	۱۴/۶-۱۷/۵	۱۴۶/۶-۱۷۵/۵

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به جدول ۴ و شکل ۳، در دوره مشاهداتی، بیش‌ترین مساحت استان (۷۵/۴ درصد) در بازه دمایی ۱۱/۳ تا ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشته است، اما در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰، بیش‌ترین مساحت استان در بازه دمایی ۱۳/۵ تا ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد قرار خواهد گرفت به نحوی که در سناریو A2 این مقدار ۴۹/۸ درصد و در سناریوی B1، ۴۳/۹ درصد از کل مساحت استان خواهد بود. در بازه سال‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵، وضعیت دمایی تا حد زیادی تغییر پیدا کرده است بدین معنی که تحت سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۶۲/۲ و ۵۴/۳ درصد از کل مساحت استان با دمایی بین ۱۴/۶ تا ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد مواجه می‌شود. بنابراین اینگونه می‌توان نتیجه گرفت که

بطور میانگین تا سال ۲۰۳۰ درجه حرارت استان تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و تا سال ۲۰۶۵ تا ۳-۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

روندهای ثبت شده آر میانگین دمای سالانه کشور ایران نشان داده است که هر ساله میانگین کشوری ۰/۰۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (Moradi et al., 2013, 272). بنابراین کشور ما نیز از مقوله تغییر اقلیم مستثنی نیست. برای داشتن مدیریت پایین به بالا^۱ مقتضی است تا از سطح پایین‌تر که شامل استان‌های کشور می‌شود مطالعات آغاز شده تا بصورت منطقه‌ای بتوان وضعیت تغییر اقلیم را پایش و اقدامات لازم (سازگاری یا کاهش) نسبت به تغییر اقلیم را انجام داد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی پارامترهای اقلیمی استان آذربایجان شرقی و پیش‌بینی تغییر اقلیم استان با استفاده از مدل LARS-WG انجام شده است.

مهم‌ترین نتایجی که از بررسی پهنه‌های اقلیمی در دوره‌های اقلیمی ناشی از تغییر اقلیم بدست آمده این است که با مقایسه نتایج مدل و دوره مشاهداتی، این مدل توانایی بالایی برای ریزمقیاس نمایی بارش و درجه حرارت دارد و همچنین نتایج مدل اقلیمی LARS-WG نشان می‌دهد که در دوره‌های اقلیمی ۲۰۶۵-۲۰۱۱ در استان آذربایجان شرقی دمای هوا به میزان ۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. همچنین میانگین بارش سالانه نیز کاهش بارش را در استان نشان می‌دهد. سناریو A2 از بین سناریوهای تغییر اقلیم، افزایش دمای بیش‌تری را نسبت به دیگر سناریوها نشان می‌دهد. در مورد بارش نیز از دو سناریوی مورد بررسی، سناریو A2 روند کاهشی بیش‌تری را تا سال ۲۰۶۵ برای مقدار بارش در استان پیش‌بینی می‌کند. در واقع چنین می‌توان برداشت کرد که در دهه‌های آینده، با توجه به کاهش در مقدار بارش سالانه و همچنین افزایش در میانگین درجه حرارت سالانه، اقلیم استان با تغییر جدی روبرو خواهد بود و به سمت اقلیم خشک حرکت خواهد کرد. همانطور که ذکر شد در آینده تأثیر تغییر اقلیم بر استان بسیار قابل ملاحظه خواهد بود و بخش‌های مختلفی از این موضوع متأثر خواهند شد که می‌توان به منابع آب، تنوع‌زیستی، حوزه سلامت و اقتصاد اشاره کرد. گزینه نخست برای فائق آمدن بر تغییر اقلیم، اقدامات کاهشی نظیر کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های نو و غیره می‌باشد. منتهی به دلیل وسعت مسئله اقدامات سازگاری در سطح پایین تا حدی عملیاتی‌تر هستند. در این زمینه می‌توان اقداماتی را به‌طور خلاصه برای سازگاری با تغییر اقلیم ارائه داد. در زمینه منابع آب اقداماتی که سبب ذخیره آب بطور مطمئن می‌شوند در اولویت قرار خواهد داشت که روشی مانند تغذیه مصنوعی در این گروه قرار می‌گیرد. پایداری پوشش گیاهی و بالتبع آن محصولات کشاورزی نیز بسیار حائز اهمیت هستند، بهبود استراتژی‌های گیاهی برای مقابله با تنش‌های اقلیمی (مثل نگهداری رشد تحت تنش متوسط) بدین منظور قابل توصیه خواهند بود (Ergon et al., 2018, 204). از آنجا که استان آذربایجان شرقی سهم عمده‌ای در تولید محصولات کشاورزی و باغی کشور دارد، گرایش به استفاده از گونه گیاهان مقاوم به تنش خشکی و با آب‌بری کم‌تر برای کاشت در سطح استان قابل توصیه می‌باشد.

^۱ - Bottom-Up

منابع

- اقدسی، فاطمه (۱۳۸۳) ارزیابی چند روش زمین آماری ترسیم میدان عددی بارندگی روزانه و سالانه (مطالعه موردی: دشت برخوار). پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.
- بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا، زایل عباسی، فاطمه، حبیبی نوخندان، مجید، ادب، حامد و ملبوسی، شراره (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه، ۱۶(۱)، ۱۵۲-۱۳۵.
- حق طلب، نفیسه؛ گودرزی، محسن؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ یوری، احمدرضا و جعفری، حمیدرضا (۱۳۹۲). مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۵(۱): ۳۷-۴۹.
- حمیدیان‌پور، محسن؛ باعقیده، محمد و عباس‌نیا، محسن (۱۳۹۵). ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۱): ۱۰۷-۱۲۳.
- دوستی، مریم، حبیب نژاد روشن، محمود، شاهدی، کاکا و میریعقوب زاده، میرحسین (۱۳۹۲). بررسی شاخص‌های اقلیمی حوزه آبخیز تهر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۹(۴): ۱۷۷-۱۸۹.
- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۶). آمارنامه ۳۰ ساله پارامترهای اقلیمی استان آذربایجان شرقی. آدرس اینترنتی: www.irimo.ir
- قربانی، خلیل (۱۳۹۲). رگرسون وزن دار جغرافیایی. یک روش برای تعیین نقشه isohyets در استان گیلان، مجله آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی). ۲۶(۳): ۷۵۲-۷۴۳.
- عجم‌زاده، علی و ملائی‌نیا، محمودرضا (۱۳۹۵). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس، با ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش جوی به وسیله نرم‌افزارهای SDSM و LARS-WG. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۱): ۹۵-۱۰۹.
- نوری، نسترن و مساح یوانی، علیرضا (۱۳۹۶). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منحنی فرمان بهره‌برداری سدها (مطالعه موردی سد دز). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۲): ۱۳۹-۱۲۷.
- هاشمی نسب خبیصی، فریده السادات، موسوی بایگی، محمد، بختیاری، بهرام و داوری، کامران (۱۳۹۲). پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM3. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱۲(۸)، ۴۳-۵۷.
- Adavi, Z., Moradi, R., Saeidnejad, A. H., Tadayon, M. R., and Mansouri, H. (2018). Assessment of potato response to climate change and adaptation strategies. *Scientia Horticulturae*, 228, 91-102.
- Babaeian, I., Kwon, W.T. and Im, E. S. (2004). Application of Weather Generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research lab. 40, 66-79.
- Ergon, Å., Seddaiu, G., Korhonen, P., Virkajärvi, P., Bellocchi, G., Jørgensen, M., and Volaire, F. (2018). How can forage production in Nordic and Mediterranean Europe adapt to the challenges and opportunities arising from climate change?. *European Journal of Agronomy*, 92, 97-106.
- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y. and Melville, B.W. (2009). Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach. 18th World IMACS. MODSIM Congress, Cairns, Australia. 13, 13-17.
- Hashmi, 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 Environ Res Risk Assess.* 55, 17-28.
- Moradi, R., Koocheki, A., Mahallati, M. N., and Mansoori, H. (2013). Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: irrigation and planting date management. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 18(2), 265-284.

- Osman, Y., Abdellatif, M., Al-Ansari, N., Knutsson, S and Jawadm S. (2017). Climate Change and Future Precipitation in Arid Environment of Middle East: Case study of Iraq: *Journal of Environmental Hydrology*, 25, 1-18.
- Pecl, G. T., Araujo, M. B., Bell, J., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengard, B., Robinson, S. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355, 1-9.
- Rasco, P., Szeidl, L. and Semenov, M.A. (1991). A serial approach to local stochastic models. *J. Ecological Modeling* 57, 27-41.
- Sarkar, J., Chicholicar, J.R. and Rathore, L.S. (2015). Predicting future changes in temperature and precipitation in arid climate of Kutch, Gujarat: analysis based on LARS-WG model. *Current Science*, 57, 27-41.
- Scheffers, B. R., De Meester, L., Bridge, T. C., Hoffmann, A. A., Pandolfi, J. M., Corlett, R. T and Pacifici, M. (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, 354, 719-730.
- Urban, M. C. (2015). Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, 348, 571-573.
- Williams, J. W., and Jackson, S. T. (2007). Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, 475-482.