



## پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی مناطق حفاظت شده در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۹ با مدل HadCM3 (مطالعه موردی در استان همدان)

حمید نوری\*، استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران  
علیرضا ایلدرومی، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

وصول: ۱۳۹۰/۱۱/۲۳ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۲۷، صص ۹۶-۸۱

### چکیده

مدیریت و برنامه‌ریزی در مناطق حفاظت شده ایران، مستلزم داشتن اطلاعات کافی از تغییرات آب و هوا، منابع آب و خاک و شرایط رشد و توسعه اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌های حیات وحش در آینده است. اقلیم یکی از ستون‌های شکل‌گیری و اساس تغییرات این زیست بوم‌ها محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر، داده‌های HadCM3 با استفاده از مدل LARS-WG و تحت سه سناریوی A1B و A2، در منطقه حفاظت شده لشکر در ملایر در استان همدان ریزمقیاس‌نمایی شد. سپس تغییرات پارامترهای بارش، کمینه دما، بیشینه دما و تابش در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۹ برای فصول مختلف پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات بارش در فصول بهار و زمستان و بیشترین تغییرات مربوط به دما در فصول تابستان و بهار رخ می‌دهد. بیشترین تغییرات ساعات آفتابی در فصل تابستان و کمترین تغییرات در فصل پاییز و زمستان رخ خواهد داد. بارش در اکثر ماه‌ها روند افزایشی داشته که بیشترین آن در ماه‌های مارس، آوریل و دسامبر و کمترین آن مربوط به ماه‌های می و ژانویه است. پارامترهای هواشناسی دمای کمینه و دمای بیشینه در تمام ماه‌ها روند افزایشی خواهند داشت. تغییرات ساعت آفتابی در ماه‌های آوریل، اوت، سپتامبر و دسامبر کاهش و در بقیه ماه‌ها افزایشی است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد با تغییر سناریوهای اقلیمی که ریشه در مدیریت انسانی دارد پارامترهای هواشناسی در فصل زمستان روند کاهشی بیشتری نسبت به سایر فصول خواهند داشت. این درحالی است که فصل تابستان همواره دارای روند افزایشی در این پارامترهاست. بنابراین شرایط رشد و نمو و فنولوژی گیاهان، حاصلخیزی ماهیانه و سالیانه، متابولیسم میکروبی خاک و شرایط رطوبتی زیست بوم تغییر یافته، بنابراین لزوم تغییر برنامه‌های مدیریتی در ۳۰ سال آینده این منطقه حفاظت شده ضرورت می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای هواشناسی، مناطق حفاظت شده، مدل LARS-WG، همدان

## مقدمه

زندگی بشر در طول تاریخ همواره در معرض انواع مخاطرات طبیعی قرار داشته است که برخی از آنها ناشی از فرآیندهای آب و هوایی هستند. پس از انقلاب صنعتی، تغییرات بارزی در اقلیم کره زمین بوجود آمد که شاخص‌ترین آنها افزایش متوسط دمای زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، افزایش سطح دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، خشکسالی است. از دلایل افزایش این رخدادها می‌توان به استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی، افزایش جمعیت جهان و گسترش روز افزون فعالیت‌های صنعتی برای تأمین رفاه و نیازهای جمعیت کره زمین اشاره کرد (IPCC, 2007: 211). از جمله پارامترهای هواشناسی که تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند می‌توان به متوسط دما، مقادیر و زمان بارش، باد، تابش و دیگر پارامترهای هواشناسی اشاره نمود که به دلیل تغییرپذیری طبیعی یا در نتیجه فعالیت‌های بشر در آنها تغییراتی ایجاد شده است (IPCC, 2007: 436). افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب تغییرات مهمی در سیستم اقلیم کره زمین می‌گردد که در این بین اکوسیستم‌های طبیعی بدلیل قرار گرفتن گیاهان و جانوران این اکوسیستم‌ها در مرز تنش‌های حرارتی و آبی از حساسیت بالایی برخوردارند و تغییرات اندک دما و رژیم بارندگی و یا تغییر در تکرار و مقدار حدهای نهایی وقایع اقلیمی می‌تواند به طور اساسی ترکیب، توزیع و پراکنش گونه‌های گیاهی و همچنین تولید آنها را کاهش دهد (آرچر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸: ۲۳).

مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی<sup>۲</sup> با شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی از معتبرترین ابزارها برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم هستند (لین<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹: ۱۹۴). این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره بلند مدت مدل‌سازی نمایند. عمده‌ترین ضعف آن‌ها قدرت تفکیک مکانی کم و نیز ساده سازی‌هایی است که برای فرآیندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند. برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک پایین، لازم است که خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس<sup>۴</sup> شوند (صمدی و مساح بوانی، ۱۳۸۵: ۸۲). ریزمقیاس نمایی به دو روش آماری و دینامیکی انجام می‌شود. در روش آماری می‌توان از رگرسیون و همچنین مدل‌های مولد هواشناسی استفاده کرد و در روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی، معادلات حاکم بر بسته هوا در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روش‌های آنالیز عددی حل می‌شوند. استفاده از روش‌های آماری، خصوصاً در مواقعی که هزینه کم‌تر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت و قابلیت بیشتری برخوردار است (میشل<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳: ۲۱۷). پیش‌بینی تغییر اقلیم در آینده با توجه به شرایط و ابهامات نسبی موجود در روابط علت و معلولی آن فقط در قالب سناریو انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، با تعریف شرایط فعلی و روند تکاملی گذشته صرفاً می‌توان به فرضیه‌هایی از آینده دست یافت. بنابراین می‌توان گفت که سناریو تغییر اقلیم

2 Atmospheric Ocean General Circulation Model

3 Lane

4 downscale

5 Mitchell

1 Archer

تولید داده‌های بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در ایستگاه‌های منتخب خراسان مورد ارزیابی قرار داده و با توجه به میانگین و انحراف معیار داده‌های تولید شده و مقایسه آن با داده‌های مشاهده شده دوره آماری بر قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی داده‌های روزانه تأکید نمودند. آن‌ها داده‌های روزانه الگوی گردش عمومی ECHO-G را تحت سناریوی A1 در استان خراسان رضوی انجام و توسط مدل لارس ریزگردانی کردند، نتایج این پژوهش حاکی از کاهش بارش در منطقه مورد مطالعه، افزایش آستانه‌ی بارش‌های سنگین و بسیارسنگین بین ۴۵ تا ۶۰ درصد و همچنین کاهش بارش‌های فصل سرد تا حدود ۱۳ درصد و جابجایی آن در انتهای فصل سرد است. نتایج این پژوهش نشان دهنده افزایش حدود ۵۰ درصد بارش‌های تابستانه در این استان است. کوچکی و همکاران (۲۰۰۶: ۲۴۷) با کوچک مقیاس کردن خروجی‌های مدل گردش عمومی جو نشانه‌های پررنگ تاثیر دگرگونی اقلیمی در عملکرد گونه‌های آفتابگردان و نخود در تبریز را بررسی کردند ایشان دریافتند در شرایط افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای دوره رشد این دو گونه گیاهی در کشت دیم و غرقابی کاهش می‌یابد. عباسی و همکاران (۱۳۸۹: ۲۱۸)، از داده‌های سناریوی A1 مدل گردش عمومی جو<sup>۴</sup> برای ارزیابی تغییر اقلیم زاگرس با استفاده از مدل لارس در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ پرداختند و از داده‌های دمای کمینه<sup>۵</sup> بیشینه- تابش و بارش مدل لارس و داده‌های دیدبانی ۱۸ ایستگاه همدیدی منطقه زاگرس استفاده شد. نتایج کلی برای دهه ۲۰۲۰ حاکی از کاهش بارش

عبارت است از برآوردی فرضی، ممکن و سازگار با شرایط آتی اقلیم (ذهبیون، ۱۳۸۱: ۶۷). بابائیان و همکاران (۱۳۸۸: ۱۳۵) در پژوهشی تغییر اقلیم کشور ایران در دهه ۲۰۲۰ را با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G ارزیابی کردند. بر اساس گزارش این پژوهش در دهه ۲۰۲۰ میزان بارش کل کشور به طور متوسط ۹ درصد کاهش می‌یابد و میانگین دما حدود ۰/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت. خزانهداری و همکاران (۱۳۸۸: ۸۳) در مطالعه‌ای با عنوان "دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده" وضعیت خشکسالی ایران را طی دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی را با استفاده از مدل لارس<sup>۱</sup> بررسی کردند. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴: ۴۰) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و کشاورزی حوضه زاینده‌رود اصفهان را به کمک داده‌های الگوی گردش عمومی جو HadCM3 طی دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بررسی کردند و کارایی این مدل را جهت شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی مورد تأیید قرار دادند. سیمینف<sup>۲</sup> (۲۰۰۲: ۳۱) با استفاده از مدل لارس سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بررسی نموده و به قابلیت بالای این مدل برای شبیه‌سازی داده‌های روزانه اشاره کرد. الشمی و همکاران با استفاده از مدل‌های مولد هواشناسی، اثرات تغییر اقلیم در جنوب انگلستان را مورد مطالعه قرار داده و نتایج مشابهی را بیان نمودند (الشمی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۴). بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵: ۴۹) توانمندی مدل لارس را برای

1 LARS WG  
2 Semenov  
3 Elshamy

۲۰۱۱ با استفاده از روش ریز مقیاس نمایی آماری و بکارگیری مدل لارس بررسی شد.

### داده‌ها و روش پژوهش

منطقه حفاظت شده لشگر در استان همدان بین 48 درجه و ۵۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی و 34 درجه و ۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این منطقه با وسعتی در حدود ۱۶۰۰۰ هکتار در شرق و جنوب شرق ملایر همجوار روستای پری در شهرستان ملایر واقع در استان همدان است. این منطقه به سبب ویژگی‌های طبیعی دارای تنوع گیاهی و جانوری مناسبی بوده و از اکوسیستم‌های پویا و کمتر دست خورده استان همدان محسوب می‌شود. بلندترین نقطه منطقه ۲۷۵۸ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. این منطقه در بهمن ماه سال ۱۳۶۳ به عنوان منطقه شکار ممنوع و سپس به جهت بهبود شرایط اکولوژیکی و زیستی در اسفندماه سال ۱۳۶۹ با کوشش اداره کل حفاظت محیط زیست همدان با تصویب شورای عالی حفاظت محیط زیست عنوان «منطقه حفاظت شده» را از آن خود کرد. این منطقه به لحاظ موقعیت طبیعی و توپوگرافی دارای سه وضعیت کوهستانی، تپه ماهوری و نسبتاً دشتی است. مناطق کوهستانی زیستگاه کل و بز و مناطق تپه ماهوری زیستگاه گونه حمایت شده قوچ و میش ارمنی است و مناطق دشتی نیز به سبب تغییر نوع کاربری زمین از جانب روستائیان به صورت کشت باغات انگور درآمده است (گونه‌های جانوری) منطقه حفاظت شده لشگردر به سبب سیمای کوهستانی عدم دسترسی سهل و آسان به تپه ماهورهای قابل توجه و

۲٪، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین و افزایش میانگین سالانه دما که بیشترین افزایش دما مربوط به فصل زمستان است. سیمینف و همکاران (۲۰۱۳: ۹)، به اعتبارسنجی ELPIS در دوره‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۰ برای ارزیابی سناریوهای اقلیمی مشاهده شده در اروپا پرداختند. در این پژوهش از مدل LARS-WG برای کوچک مقیاس کردن و از مدل‌های CMIP3 EU-ENSEMBLES استفاده شده است. در این پژوهش چندین آزمون آماری استفاده شد، در ارتفاعات مختلف آزمون Kolmogrov-Smirnov برای توضیح دمای روزانه و در t-test برای دمای ماهانه مقایسه شد، برای بارش روزانه از آزمون KS-test استفاده شد، و حساسیت t-test نتایج معناداری برای ارتفاع بزرگ نشان داد. لشکری و همکاران (۱۳۸۹: ۹۲۶) نیز با استفاده از مدل HadCM3 به بررسی امکان کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تولید گیاهان دانه‌ای شمال شرق ایران پرداختند و تغییر تاریخ کشت را بعنوان راهکار سازگاری با شرایط افزایش دما و کاهش بارندگی در این مناطق پیشنهاد کردند. از این رو مطالعه تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در دهه‌های آینده برای برنامه‌ریزی‌های استراتژیک در مراتع ایران و آمادگی با بحران‌هایی از جمله خشکسالی‌ها لازم و ضروری است.

در این پژوهش تغییرات فصلی پارامترهای هواشناسی منطقه حفاظت شده لشگردر ملایر در استان همدان تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 در مدل گردش عمومی جو HadCM3 برای دوره ۲۰۳۹-

است. از پستانداران منطقه می‌توان پازن، گوسفند وحشی، گرگ، شغال، روباه، تشی، خرگوش، گورکن، کفتار و رودک و از پرندگان کبک، تیهو، باقرقره، عقاب طلایی، فاخته، دلیجه، کمر کلی، پری شاهرخ، چکچک، و از خزندگان انواع مار را می‌توان نام برد.

پوشش گیاهی نسبتاً مناسب از دیرباز وحوش قابل ملاحظه‌ای بوده است گرچه جمعیت آنان در سالیان اخیر سیر نزولی شدید را طی کرده است، اما پس از اعلام به عنوان حفاظت شده و حفظ و حراست آن احیاء جمعیت وحوش روند مطلوبی را طی نموده



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در نزدیکی شهر ملایر، استان همدان

گزارش‌های سوم و چهارم IPCC بر روی شش خانواده از سناریوهای انتشار بحث شده است که عبارتند از A1FI، A1B، A1T، A2، B1 و B2 که در این بین در این پژوهش از ۳ سناریو استفاده شده است. تعاریف هر یک از این سناریوهای انتشار به شرح ذیل است.

الف- سناریوی A1: در این سناریو جهان یکپارچه در نظر گرفته می‌شود. مشخصات خانواده A1 به این

در این پژوهش داده‌های پایه مورد استفاده شامل داده‌های مشاهداتی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی روزانه در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۹ میلادی از ایستگاه سینوپتیک ملایر است.

#### معرفی سناریوها

خانواده سناریوهای انتشار به سناریوهای اطلاق می‌شود که دارای موضوع و زمینه مشترکی هستند. در

### معرفی مدل LARS-WG

مولدهای هواشناسی<sup>۱</sup> مدلهایی هستند که توزیع‌های آماری را در یک متغیر اقلیمی محلی با استفاده از میانگین و واریانس داده‌ها منعکس می‌کنند. مولدهای هواشناسی در واقع مولدهای تصادفی و پیچیده‌ای بوده که خروجی آنها داده‌های هواشناسی در مقیاس روزانه است. مدل لارس یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید بارش روزانه، تابش، ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده بکار می‌رود (سیمینوف و بارو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲: ۲۶). مبنای این مدل برای مدلسازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش توزیع نیمه تجربی است. سری‌های فوریه درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه روزانه بصورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهایی 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. مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین مشاهده شده به دست می‌آیند، در تحلیل خود همبستگی زمانی داده‌های کمینه و بیشینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. خروجی‌های این مدل شامل دمای مطلق کمینه، دمای مطلق بیشینه، بارش و تابش است. این مدل از سه بخش اصلی تشکیل شده است؛ کالیبره کردن مدل، ارزیابی مدل و تولید داده‌های هواشناسی. ایجاد فایل سناریو از خروجی مدل‌های گردش

شرح است که با رشد اقتصادی سریع، جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر رسیده و پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد، گسترش سریع فناوری‌های جدید و کارآمد قابل رویت است و روش زندگی در بین مناطق با هم همگرا می‌شود. همچنین گسترش سریع تعاملات اجتماعی و فرهنگی در دنیا رخ می‌دهد. بر مبنای تاکید بر فناوری، سه زیرمجموعه برای خانواده A1 وجود دارند که در این پژوهش سناریوی A1B (تاکید بر استفاده متعادل از انواع منابع انرژی) استفاده شده است.

ب- سناریوی A2: مشخصات سناریوی A2 که در آن برخلاف سناریوی A1، دنیا همگرا در نظر گرفته نمی‌شود، به این شرح است که جهان آینده دنیایی است که در آن کشورها به طور مستقل عمل کرده و به خود متکی هستند، جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش می‌یابد و توسعه اقتصادی منطقه محور است.

ج- سناریوی B1: در این سناریوی دنیا یکپارچه و دوست دار محیط زیست در نظر گرفته می‌شود که مشخصات آن همراه با رشد اقتصادی سریع همانند سناریوی A1 و مبتنی بر ارائه خدمات و اطلاعات است، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر می‌رسد اما بعد از آن شبیه سناریوی A1 می‌شود، استفاده از منابع پاک و فناوری‌های نوین و با بازده بالا و کاهش مواد آلاینده، تاکید بر راه حل‌های جهانی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی است.

در این پژوهش با توجه به لزوم نگاه همه جانبه به تحلیل اقلیمی آینده از هر سه سناریو A1 (حداکثر)، A2 (متوسط) و B1 (حداقل) استفاده شد.

1 WGS

2 Semenov and Barrow

توجه به مقادیر بالای ضریب تبیین و مقادیر پایین شاخصهای خطاسنجی محاسبه شده، این مدل جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 و تولید داده‌های مصنوعی برای دوره 2011-2039 با استفاده از سه سناریوی A1B, A2 و B1 تأیید شده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، اجرا شده و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور تولید شد. سپس خروجی مدل (داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی در ۲۸ سال آتی) میانگین‌گیری شده و نرمال ماهانه پارامترهای هواشناسی در دوره ۳۰ ساله تحت مطالعه بر اساس سه سناریو تغییر اقلیم ذکر شده بدست آمد. در مرحله بعد با تفاضل مقادیر نرمال ماهانه دوره آتی (2011-2039) از دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۹)، تغییرات ماهانه پارامترهای مورد بررسی محاسبه شد. سرانجام با میانگین‌گیری از تغییرات ماهانه، تغییرات فصلی نیز بدست آمده و نمودارهای مربوطه ترسیم شد. جهت ارزیابی مدل، خصوصیات آماری مقادیر دیدبانی و مدل‌سازی شده شامل مقادیر میانگین ماهانه و سالانه، انحراف معیار، خطای نسبی و سایر مشخصات آماری دو سری داده بررسی شدند. برای مقایسه از آزمون دو نمونه‌ای زوجی T استیودنت استفاده شد. آزمون t با نمونه‌های جفت شده<sup>۳</sup> برای تجزیه و تحلیل آزمون‌هایی به کار می‌رود که هر فرد دو بار در دو وضعیت متفاوت مورد مشاهده قرار می‌گیرد. در حقیقت با به دست آوردن اختلاف در داده‌های متناظر، داده‌های به دست آمده تشکیل یک نمونه جدید می‌دهند. پس آزمون t جفت شده همان آزمون t یک

عمومی جو، یکی از نیازهای اساسی این مدل برای تولید داده‌های اقلیمی در دوره‌های آتی، است. سپس این مدل با دریافت داده‌های هواشناسی دوره مشاهداتی (1989-2010) و خروجی مدل‌های گردش عمومی جو در دوره آتی (2011-2039) می‌تواند پارامترهای هواشناسی را بصورت روزانه برای آینده منطقه مورد مطالعه تولید نماید. پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله کالیبره کردن به پایان رسید. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ناش<sup>۱</sup> (NA)، جذر میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب اریبی (Bias) که روابط آنها در ادامه آمده است، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های مشاهده شده موجود در دوره پایه گردید.

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

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

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

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i) \quad (4)$$

در این روابط  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب  $i$  امین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه‌سازی توسط مدل،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین کل داده‌های  $X_i$  و  $Y_i$  در جامعه آماری  $n$  و تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی هستند. پس از بررسی نتایج، مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی با

3 Paired sample T test

1 Coefficient of determination

2 Root mean square error

نمونه ای است که آزمون صفر شدن میانگین را برای آن انجام می دهیم. در این پژوهش این آزمون با نرم افزار SPSS انجام شد.

### یافته‌های تحقیق

نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر واقعی آنها در سطح خطای ۰/۰۵ وجود ندارد. مقادیر همبستگی پیرسن بین داده‌های مدل‌سازی شده و واقعی در سطح خطای ۰/۰۱ نیز قابل قبول است (جدول شماره ۱). همانطور که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود، مقادیر ضریب تبیین

در تمام پارامترها معنی دار و مقادیر شاخصهای خطاسنجی پایین است که نشان‌دهنده انطباق مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده دوره پایه است. نتایج حاصل از مقادیر دیدبانی و مدل‌سازی دمای مطلق کمینه، مطلق بیشینه، بارش و تابش ماهانه همراه با مقادیر انحراف معیار ایستگاه ملایر نشان می‌دهد که این مدل به خوبی توانسته روند تغییرات داده‌ها را مدل کند. به طور کلی نتایج آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای نشان دادند که این مدل توانمندی خوبی در مدل‌سازی داده‌های واقعی ایستگاه را دارد (جدول شماره ۲).

جدول (۱) مقایسه مقادیر مدل سازی شده توسط LARS-WG با مقادیر واقعی ایستگاه ملایر در دوره ۱۹۸۹-۲۰۱۰

میلادی

ایستگاه ملایر	بارش	کمینه دما	بیشینه دما	تابش
همبستگی	۰/۹۵**	۰/۹۶**	۰/۹۶**	۰/۹۷**
همبستگی وزنی	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴

\*\* معنی دار بودن در سطح ۱ درصد

جدول (۲) آماره توصیفی مقادیر واقعی و مدل شده ایستگاه ملایر در دوره ۱۹۸۹-۲۰۱۰

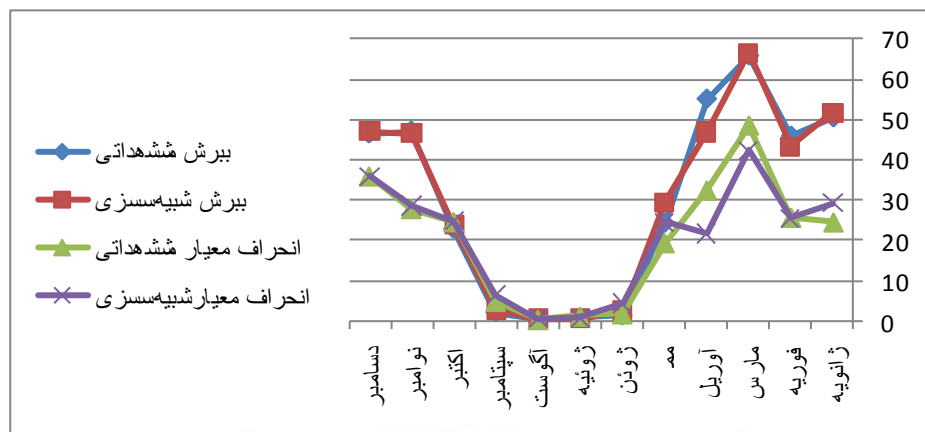
پارامترهای آماری	دمای کمینه (°C)	دمای بیشینه (°C)	ساعت آفتابی (h)	بارش (mm)
R <sup>2</sup>	۰,۹۹	۰,۹۹	۰,۹۹	۰,۹۸
MAE	۰,۰۷	۰,۰۲	۰,۰۶	۰,۰۳
RMSE	۰,۲۴	۰,۲۸	۰,۲۴	۰,۹۶
NA	۰,۹۹	۰,۹۹	۰,۹۹	۰,۹۸
BIAS	-۰,۰۶	-۰,۰۲	۰,۰۸	-۰,۰۵

در اشکال ۲ تا ۵ مقادیر میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی در حالت پایه و شبیه‌سازی شده توسط مدل لارس همراه با انحراف معیارهای مربوط به آنها نشان

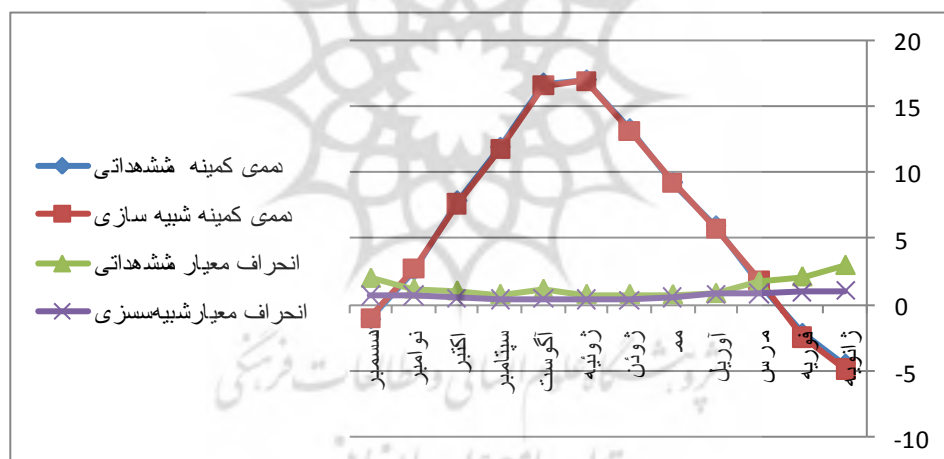
داده شده است. توانمندی بالای این مدل مولد هواشناسی برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده قابل مشاهده است که با نتایج پژوهش‌های



صورت گرفته توسط بابائیان و نجفی (۱۳۸۵) و (۲۰۱۳) همسویی دارد. (۱۳۸۸)، اشرف و همکاران (۱۳۹۰) و سیمینف



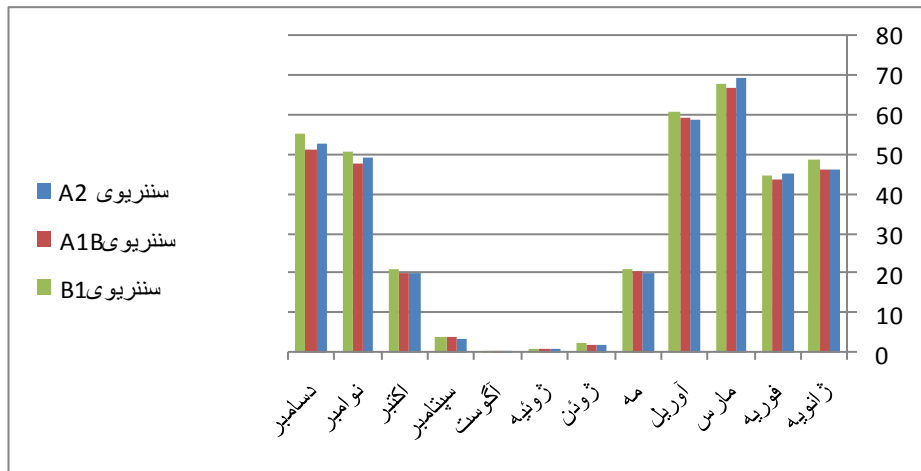
شکل (۲) میانگین ماهانه و انحراف معیار بارش در حالت پایه و شبیه‌سازی شده در منطقه لشکر در



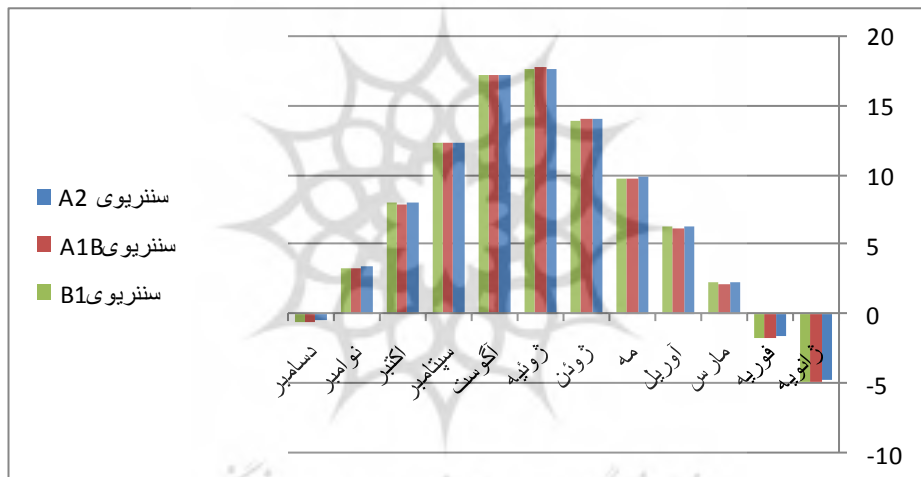
شکل (۳) میانگین ماهانه و انحراف معیار دمای کمینه در حالت پایه و شبیه‌سازی شده در منطقه لشکر در

دمای کمینه و دمای بیشینه در تمام ماه‌ها به جز ماه ژانویه روند افزایشی دارد. تغییرات ساعت آفتابی نیز در ماه‌های آوریل، اوت، سپتامبر و دسامبر کاهش و در بقیه ماه‌ها افزایشی است.

بررسی اشکال ۴ تا ۷ نشان می‌دهد که بارندگی در اکثر ماه‌های سال روند افزایشی دارد. بیشترین بارندگی مربوط به ماه‌های مارس، آوریل و دسامبر و کمترین بارندگی مربوط به ماه‌های می، ژانویه است. تغییرات



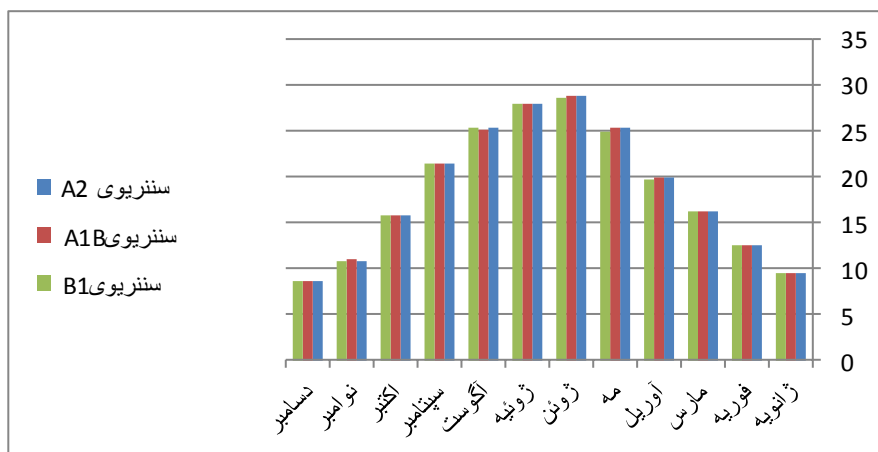
شکل (۴) نمودار تغییرات ماهانه بارش شبیه سازی سناریوهای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹



شکل (۵) نمودار تغییرات ماهانه دمای حداقل شبیه سازی سناریوهای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹



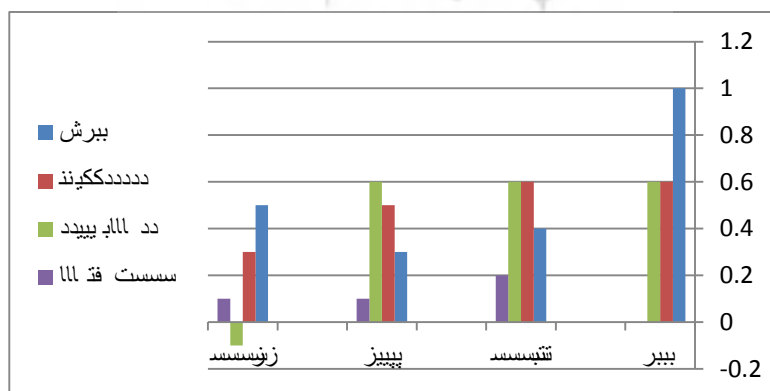
شکل (۶) نمودار تغییرات ماهانه دمای حداکثر شبیه سازی سناریوهای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹



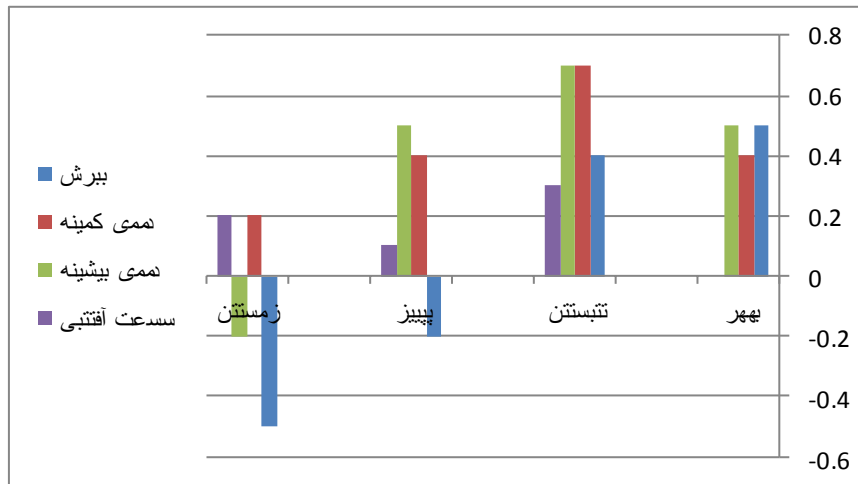
شکل (۷) نمودار تغییرات ماهانه ساعت آفتابی شبیه سازی سناریوهای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹

تفاوت زیادی ندارند ولی در فصل زمستان مقدار آن کاهش می‌یابد. ساعت آفتابی در فصل بهار بدون تغییر است و در بقیه فصل‌ها دارای تغییرات اندکی است. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود در سناریوی B1 فصل زمستان و بهار افزایش بارش خواهد داشت. بیشترین تغییرات دمای حداقل و حداکثر مربوط به فصول بهار، تابستان و پاییز و بیشترین کاهش دمای حداقل و حداکثر هم مربوط به فصل زمستان است. ساعت آفتابی دارای تغییرات جزئی در اکثر فصل‌هاست که فصل بهار دارای مینیمم این تغییرات است.

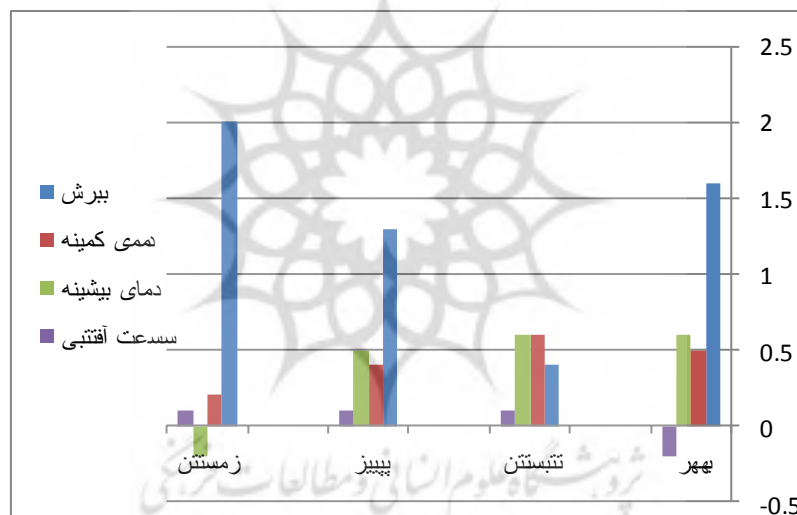
همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در سناریوی A2 بیشترین تغییرات بارندگی در فصل بهار و بیشترین کاهش بارش در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. بیشترین تغییرات دمای حداقل و حداکثر در فصل تابستان و بیشترین کاهش دمای حداکثر در فصل زمستان مشاهده می‌شود. بیشترین تغییرات ساعت آفتابی مربوط به فصل تابستان است و فصل بهار بدون تغییر است. این در حالی است که در شکل ۹ در سناریوی A1B مشاهده می‌شود که در فصل بهار بیشترین تغییرات بارش را داریم. کمترین تغییرات بارش مربوط به فصل پاییز است. دمای حداقل و دمای حداکثر در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز باهم



شکل (۸) تغییرات فصلی پارامترهای هواشناسی در دوره زمانی (۲۰۱۱-۲۰۳۹) در سناریوی A2



شکل (۹) تغییرات فصلی پارامترهای هواشناسی در دوره زمانی (۲۰۱۱-۲۰۳۹) در سناریو A1B



شکل (۱۰) تغییرات فصلی پارامترهای هواشناسی در دوره زمانی (۲۰۱۱-۲۰۳۹) در سناریو B1

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور ارزیابی و مدیریت پیامدهای تغییر اقلیم منطقه حفاظت شده لشکر در ملایر در استان همدان در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۹ میلادی، پیش‌بینی‌های بلند مدت گردش عمومی جو مدل HadCM3 با داده‌های سه سناریو A1B، A2 و B1 بر روی ایستگاه ملایر با استفاده از مدل LARS-

WG ریزمقیاس شدند. نمودارهای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه سینوپتیک ملایر نشان داد که همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG وجود دارد که با نتایج حاصل از مطالعات بابائیان و نجفی نیک در خراسان رضوی سال ۱۳۸۸، عباسی و همکاران در سال ۱۳۸۹

در زاگرس، اشرف و همکاران در سال ۱۳۹۰ در مشهد مطابقت دارد. نتایج حاصل، حاکی از توانمندی بالای این مدل مولد هواشناسی برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده و نیز تایید کننده نتایج پژوهش‌های صورت گرفته توسط سیمینف (2002)، الشمی (2005) و کمال و همکاران (۱۳۸۹) است. سپس با استفاده از ریز مقیاس نمائی آماری داده‌های مدل HadCM3 بر اساس سه سناریو A1B، A2 و B1 در دوره آماری ۲۰۳۹-۲۰۱۱ مشخص شد که منطقه حفاظت شده لشکر در دمای هوا در سناریوهای مختلف A1B، A2 و B1 به ترتیب ۱،۹۱، ۱،۳۶ و ۱،۴۵ درجه سانتی گراد افزایش می‌یابد. همچنین مقدار بارش در مقایسه با دوره پایه در سناریو حداکثر یا A1B، ۵،۵ درصد کاهش، در سناریو متوسط یا A2، ۳،۰ درصد افزایش و در سناریو حداقل یا B1، ۱،۰ درصد کاهش نشان داد. نتایج نشان می‌دهد که بارندگی در اکثر ماه‌های سال روند افزایشی دارد. بیشترین بارندگی مربوط به ماه‌های مارس، آوریل و دسامبر و کمترین بارندگی مربوط به ماه‌های می و ژانویه است. تغییرات دمای کمینه و دمای بیشینه در تمام ماه‌ها به جز ماه ژانویه روند افزایشی دارد. تغییرات ساعت آفتابی نیز در ماه‌های آوریل، اوت، سپتامبر و دسامبر کاهش و در بقیه ماه‌ها افزایشی است. به طور کلی در فصل بهار در هر سه سناریو حداکثر، متوسط و حداقل بارش افزایش خواهد داشت. این افزایش با در نظر گرفتن شرایط فنولوژی گونه‌های گیاهی موجود در منطقه حفاظت شده لشکر در می‌تواند باعث بهبود شرایط رشد و نمو بسیاری از آن‌ها شود. سایر فصول تحت تاثیر مدیریت

منابع آب و خاک، وضعیت صنایع، جمعیت و محیط زیست می‌تواند تغییر یابد. در سناریوی A2 بیشترین تغییرات بارندگی در فصل بهار و بیشترین کاهش بارش در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. در سناریوی A1B در فصل بهار بیشترین تغییرات بارش را داریم. کمترین تغییرات بارش مربوط به فصل پاییز است. در سناریوی B1 فصل زمستان و بهار افزایش بارش وجود خواهد داشت. در هر سه سناریو دماهای حداکثر و حداقل در فصول بهار و تابستان افزایش می‌یابد. در سناریوی A2 بیشترین تغییرات دمای حداقل و حداکثر در فصل تابستان و بیشترین کاهش دمای حداکثر در فصل زمستان مشاهده می‌شود. در سناریوی A1B دمای حداقل و دمای حداکثر در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز باهم تفاوت زیادی ندارند، ولی در فصل زمستان مقدار آن کاهش می‌یابد. در سناریوی B1 بیشترین تغییرات دمای حداقل و حداکثر مربوط به فصول بهار، تابستان و پاییز و بیشترین کاهش دمای حداقل و حداکثر هم مربوط به فصل زمستان است. در سناریوی A2 بیشترین تغییرات ساعت آفتابی مربوط به فصل تابستان است و فصل بهار بدون تغییر است. در سناریوی A1B ساعت آفتابی در فصل بهار بدون تغییر است و در بقیه فصل‌ها دارای تغییرات اندکی است. در سناریوی B1 ساعت آفتابی دارای تغییرات جزئی در اکثر فصل‌هاست که فصل بهار دارای مینیمم این تغییرات است. بابائیان و همکاران (۱۳۸۷) نیز پیش‌بینی کردند که در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میزان بارش کل کشور ۹ درصد و میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتیگراد و آستانه‌های بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد افزایش

می‌یابد. طبق این نتایج، شرایط اقلیمی منطقه حفاظت شده لشکر در ملایر در ۳۰ سال آتی تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت به طوری که با افزایش بارش، دمای کمینه و بیشینه و نیز ساعات تابشی در فصول گرم بهار و تابستان نسبت به دوره پایه در سه سناریو A1B، A2 و B1 میزان تبخیر و تعرق، میزان آب مورد نیاز گیاهان در مراحل مختلف فنولوژی در فصل رشد تغییر جدی می‌یابد این مسأله از یک سو همسو با نتایج پژوهش عباسی و همکاران (۱۳۸۹) است و از سوی دیگر این نتایج را نقض می‌کند. در این گزارش آنها به افزایش ۰/۳ درجه سلسیوس میانگین دمای هوا اشاره کردند که بیشترین روند افزایشی دمای کمینه و بیشینه در فصول سرد سال مشاهده شد.

به طور کلی نتایج نشان می‌دهد با تغییر سناریوهای اقلیمی که ریشه در مدیریت انسانی دارد پارامترهای هواشناسی در فصل زمستان روند کاهشی بیشتری نسبت به سایر فصول خواهند داشت. این درحالی است که فصل تابستان همواره دارای روند افزایشی در این پارامترهاست. در سناریوی متوسط، دمای کمینه زمستان کاهش یافته، دمای بیشینه، تابش و بارش در همه فصول زیاد می‌شود. بنابراین شرایط رشد و نمو و فنولوژی گیاهان، حاصلخیزی ماهیانه و سالیانه، متابولیسم میکروبی خاک و شرایط رطوبتی زیست بوم تغییر یافته بنابراین لزوم تغییر برنامه‌های مدیریتی در ۳۰ سال آینده این منطقه حفاظت شده ضرورت می‌یابد.

در سناریوی شدید روندهای مشاهده شده در میزان بارش و همچنین دمای منطقه می‌تواند به کاهش

بارش برف و افزایش بارش‌های سنگین منجر شود که پیامد آن کاهش ذخیره و تامین منابع آبی از طریق ذوب تدریجی برف در مناطق کوهستانی و نیز افزایش خسارات ناشی از وقوع بارش‌های سنگین و شسته شدن خاک‌های حاصلخیز و فرسایش را بدنبال داشته باشد. از طرف دیگر افزایش دمای مطلق کمینه و بیشینه در ایام گرم سال می‌تواند تاثیر بسزایی بر طول دوره رویشی گیاهان و در نتیجه میزان تولید اکوسیستم مرتعی و زمان در دسترس بودن علوفه برای دام و حیات وحش منطقه بگذارد. از این رو مطالعه و پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی می‌تواند در اتخاذ مدیریت‌های سازگاری مانند شناسایی گیاهان مقاوم به خشکی و مدیریت پوشش گیاهی و حفظ و توسعه شرایط زیستی حیات وحش، جمع‌آوری و مدیریت رواناب‌ها و نیز توسعه منابع آب و خاک برای کاهش اثرات نامطلوب تغییرات اقلیمی، مفید و کارساز باشد.

#### منابع

- اشرف، ب. موسوی بایگی، م. (۱۳۹۰). پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3. خراسان رضوی. نشریه آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۴، ص ۹۴۵-۹۵۷.
- بابائیان ا؛ نجفی‌نیک، ز (۱۳۸۵). ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۶۱. مجله نیوار، شماره ۶۲، ۶۵-۴۹.
- بابائیان ا، نجفی‌نیک ز، عباسی ف، حبیبی نوخندان م، ادب ح. و ملبوسی ش (۱۳۸۸) ارزیابی تغییر اقلیم

ذرت دانه‌ای در شمال شرق ایران. نشریه آب و

خاک. جلد ۵. شماره ۴. ۹۳۹-۹۲۶

Archer, S and Predick, K. 2008. Climate change and Ecosystems of the southwestern United States. *Journal of Range Management*. 61: 23-28.

Elshamy, M.E., Wheeler, H.S., Gedney, N., Huntingford, C. 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *Journal of hydrology*. 326: 1-24.

IPCC. 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, 881 PP.

Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H and Ghorbani, R. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in IRAN. *Climate Research*. 30: 247-253.

Lane M.E., Kirshen P.H., and Vogel R.M. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *ASCE, Journal of Water Resource Planning and Management*. 125(4): 194-204.

Mitchell T.D. 2003. Pattern Scaling: An examination of accuracy of the technique for describing future climates. *Climatic Change*, 60: 217-242.

Semenov, M.A., 2005. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling* 57: 27-41.

Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0. pp 16-43.

Semenov, M., A. Bennett, P.S. Calanca, P. 2013. Validation of ELPIS1980-2010 baseline scenarios the observed European climate Assessment data set. Vol. 57:1-9.

کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از

ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی

ECHO-G. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۵۲-

۱۳۵

خزانه‌داری، ل.، عباسی، ف. (۱۳۸۸). دورنمایی از

وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده.

مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۲. ۹۸-

۸۳

صمدی، ز و مساح وانی، ع. (۱۳۸۵). بررسی تاثیر

روش‌های کوچک مقیاس کردن رگرسیونی بر

رژیم سیلاب رودخانه، کارگاه فنی اثرات تغییر

اقلیم در مدیریت منابع آب، صفحه ۹۷-۸۲

ذهبیون، ب. (۱۳۸۱). اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع

آب. انتشارات وزارت نیرو- کمیته ملی سدهای

بزرگ ایران. چاپ اول. ص ۶۷.

۷- مساح بوانی، ع و مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر

اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی.

مجله تحقیقات منابع آب. ص ۴۰.

عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، بابائیان، ا.، اثعری م. و

برهانی، ر. (۱۳۸۹). پیش‌بینی تغییرات اقلیمی

خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با

استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل

ECHO-G. مجله آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۲،

۲۱۸-۲۳۳

لشکری، ا.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م. (۱۳۸۹). بررسی

امکان کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تولید



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی