

## مقایسه دو شبیه HadCM3 و ECHO-G در ارزیابی تغییر اقلیم حوضه آبخیز بابلرود در دوره

۲۰۴۶-۲۰۶۵

هادی رزاقیان<sup>۱</sup>، بهروز محسنی<sup>۲\*</sup>، قربان شهریاری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۲۳

### چکیده

حوادث اقلیمی متفاوتی اعم از سیل و خشکسالی را در سالیان اخیر در سطح حوضه آبخیز بابلرود شاهد بوده‌ایم که لزوم مطالعه هر چه بیشتر مؤلفه‌های نرم‌افزارهای اقلیمی مؤثر را در فرایندهای هواشناسی و آب‌شناسی حوضه آبخیز مورد تأکید قرار می‌دهند. این کار از طریق نرم‌افزارهای گردش عمومی جو انجام می‌پذیرد. به دلیل بزرگ مقیاس بودن شبکه محاسباتی نرم‌افزارهای گردش عمومی جو، این نرم‌افزارها قادر به پیش‌بینی فراسنج‌های آب و هواشناسی در مقیاس نقطه‌ای نیستند. ابزار واسطی به نام مولد هواشناسی ابداع گردیده است که به وسیله آن می‌توان تغییر اقلیم را در مقیاس نقطه‌ای، و ایستگاه موردنظر، ارزیابی کرد. در این پژوهش، داده‌های نرم‌افزارهای گردش عمومی جو HadCM3 و ECHO-G، با به‌کارگیری نرم‌افزار LARS-WG تحت نمایشنامه‌ی مشابه A1B برای دوره‌ی زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ ریزمقیاس شده و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. نرم‌افزار لارس با معرفی چهار متغیر اقلیمی مربوط به دوره پایه آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۲، مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. سپس، خودهمبستگی میانگین بین داده‌های دیده‌بانی شده برای شبیه‌سازی بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش به‌وسیله نرم‌افزار لارس برای شبیه‌سازی دوره‌های آتی به‌کار گرفته شد. بر پایه یافته‌های این پژوهش، نرم‌افزار ECHO-G نسبت به نرم‌افزار HadCM3 تحت نمایشنامه‌ی مشابه، بارش کمتر و دمای بیشتر را پیش‌بینی کرد. بارش در حوضه آبخیز بابلرود در دوره مربوطه، ۵۲- تا ۱۷+ درصد متغیر خواهد بود. همچنین، این حدود تغییرات با افزایش بارش در ماه‌های پر بارش و کاهش شدید بارندگی در ماه‌های کم بارش تابستان همراه خواهند بود. بیشترین کاهش مربوط به ماه کم بارش آگوست (۴۳ میلیمتر) در نرم‌افزار ECHO-G است. بیشترین افزایش بارش نیز مربوط به ماه اکتبر (۲۷ میلی‌متر) در نرم‌افزار HadCM3 می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** خشکسالی، گردش عمومی، مولد هواشناسی، نمایشنامه، نرم‌افزار لارس.

<sup>۱</sup> استادیار دانشگاه پیام‌نور، دانشکده‌ی علوم کشاورزی، گروه علمی منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵، ج.ا.

<sup>۲</sup> مربی دانشگاه پیام‌نور، دانشکده‌ی علوم کشاورزی، گروه علمی منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵، ج.ا.

Email:mohseni\_m@pnu.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار دانشگاه پیام‌نور، دانشکده‌ی علوم کشاورزی، گروه علمی منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵، ج.ا.

## مقدمه

فرایند تغییر اقلیم، به‌ویژه تغییرات دما و بارش، مهم‌ترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. این پدیده، به دلیل ابعاد علمی و کاربردی آن (اثرات محیطی و اقتصادی - اجتماعی) از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است؛ چرا که نظام‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم، طراحی شده و عمل می‌کنند (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۹۱). تغییر اقلیم با ایجاد پدیده خشکسالی و تأثیر بر میزان شدت و تداوم آن، موجب کاهش پوشش گیاهی، و به تبع آن تأثیر بر پاسخ‌های آب‌شناسی در سطح حوضه آبخیز می‌گردد (گوردیولا و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین، افزایش دمای هوا بر اثر دگرگونی اقلیم، موجب تغییر وضعیت بارشی از برف به سمت باران، تغییر مقدار و شدت رواناب، نسبت برف به باران و میزان آب ذخیره شده در توده برف خواهد شد (بویر و همکاران، ۲۰۱۰) و میزان بارش روی برف، در ارتفاعات میانی و پست کوهستان کاهش یافته و در مناطق مرتفع افزایش می‌یابد، که در نهایت، بر بده اوج جریان روزانه تأثیرگذار خواهد بود (سورفلیت و تولوز، ۲۰۱۳).

گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) نشان می‌دهند که تغییر اقلیم موجب تغییر در ویژگی‌های آب‌شناسی در چند دهه اخیر در سطح جهان شده است، به طوری که بارندگی و جریان‌های سطحی در عرض‌های جغرافیایی بالا و میانی بیشتر، و در عرض‌های پایینی کمتر، و احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر اقلیمی مانند سیلاب و خشکسالی افزایش خواهند یافت (IPCC، ۲۰۰۷).

برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سامانه‌های مختلف در دوره‌های آتی، می‌بایست در ابتدا مقدار متغیرهای اقلیمی در آینده شبیه‌سازی گردند. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی وجود دارند که معتبرترین آنها استفاده از خروجی‌های نرم‌افزارهای (اقلیمی) نیوار- اقیانوس گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشد. نرم‌افزار-های اقلیمی ابزارهای نوینی هستند که بیشتر از ۳۰ سال از ارائه آن‌ها نمی‌گذرد. در هر نرم‌افزار اقلیمی تلاش شده است تا فرایندهایی که بر اقلیم مؤثرند شبیه‌سازی گردند، و بر اساس آنها وضعیت اقلیم برای سال‌های آینده پیش‌بینی

شود. از آنجا که پیش‌بینی در شرایط اقلیم آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به‌طور قطعی ممکن نیست، راه حل جایگزین، مشخص کردن امکان رخداد‌های گوناگون برای آن است، که نمایشنامه‌ی اقلیمی نامیده می‌شود (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳). این نمایشنامه‌ها در دو دسته کلی بدبینانه (با لحاظ مسائل توسعه و رشد جمعیت) مانند نمایشنامه‌های گروه A، و خوش‌بینانه (با لحاظ مسائل زیست محیطی) مانند نمایشنامه‌های گروه B، طبقه‌بندی گردیده‌اند که هر نرم‌افزار اقلیمی مورد نظر می‌تواند در قالب یکی از نمایشنامه‌های مذکور بیان شود. تفاوت زیادی در نتایج به‌دست آمده از به-کارگیری نمایشنامه‌های متفاوت اقلیمی ایجاد می‌شود، از جمله آنها، اختلاف در پاسخ آب شناختی به نمایشنامه‌های اقلیمی در زمان استفاده از نرم‌افزارهای متفاوت آب‌شناسی می‌باشد. شناخت اثرات تغییر اقلیم و توسعه سیاست‌های درازمدت سازگار با اقلیم، نیاز به بازاری جهت تولید نمایشنامه‌های اقلیمی در آینده دارد. امروزه نرم‌افزارهای گردش عمومی (GCM) مناسب‌ترین ابزار برای توسعه نمایشنامه‌های اقلیمی آینده می‌باشند، اما خروجی این نرم‌افزارها اغلب دارای مقیاس زمانی ماهانه و مکانی در حدود ۳۰۰ کیلومتر است. عدم تطابق مقیاس مکانی و زمانی مورد نیاز در نرم‌افزارهای بررسی‌کننده تأثیر تغییر اقلیم با خروجی نرم‌افزارهای GCMs، و نیاز به بررسی روند تغییر در فراسنج‌های حدی هواشناسی در مقیاس منطقه‌ای، باعث شده است تا روش‌های ریزمقیاس‌نمایی مختلفی توسعه یابند (سید-کابلی و همکاران، ۱۳۹۱). به عبارتی، این نرم‌افزارها با استفاده از خروجی نرم‌افزارهای GCM و به‌کارگیری نمایشنامه‌ی خاص نرم‌افزار تولیدکننده داده‌های آب و هوایی، داده‌های گردش عمومی در مقیاس درشت را به مقیاس‌های ریزتر تبدیل می‌کنند. مهم‌ترین نقطه قوت این نرم‌افزارها ارزان بودن، سرعت بالا و امکان استفاده از آنها بدون نیاز به ابر رایانه‌ها، یا رایانه‌های بسیار سریع، است. (مشکواتی و همکاران، ۱۳۸۹)؛ بنابراین، در این گونه مطالعات نیاز به ریزمقیاس‌نمایی خروجی این نرم‌افزارها می‌باشد (آرنل و همکاران، ۲۰۱۴). ریزمقیاس‌نمایی را می‌توان با دو کاربرد پویایی و آماری انجام داد. استفاده از نرم‌افزارهای پویا برای

گذشته حاکی از افزایش بارش در ایستگاه‌ها، و همچنین افزایش فراوانی تعداد بارش‌های سنگین در محدوده‌ی ایستگاه-ها بود. در دوره‌ی اقلیمی آینده، مؤلفه‌ی کمینه‌ی دما بیش از پیشینه افزایش یافت، که منجر به کاهش دامنه‌ی شبانه‌روزی دما، و کاهش آسایش دمایی در سال‌های آتی برای استان گردید. بوزکورت و لطفی‌سن (۲۰۱۳) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر حوضه‌ی آبخیز فرات در عراق، با توجه به نرم‌افزارها و نمایشنامه‌های اقلیمی متفاوت، که تأثیر قابل توجه افزایش دما، کاهش معنی‌دار آب معادل برف به میزان ۵۵ درصد (نمایشنامه‌های خوش‌بینانه) تا ۸۷ درصد (نمایشنامه‌های بدبینانه) را به‌همراه داشت، در نهایت به کاهش ۲۵ تا ۵۵ درصدی در میزان رواناب سالانه منجر شد. عباسی و همکاران (۱۳۹۱)، به ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های شبیه‌گردش عمومی جو پرداختند. نتایج اجرای نرم-افزار با داده‌های HadCM2 کاهش ۲/۵ درصدی بارش تا دهه‌ی ۲۱۰۰ است، در حالی‌که برای دوره‌ی مشابه در نرم‌افزار ECHAM، بارش‌های کشورمان ۱۹/۸ درصد افزایش می‌یابد. تحلیل مکانی نتایج نرم‌افزار HadCM2 نشان می‌دهد که در دهه‌های آینده، استان‌های مازندران، گلستان، خراسان شمالی، شمال خراسان رضوی، سمنان، تهران و بخش‌هایی از قزوین و گیلان با افزایش بارش مواجه خواهند شد، در حالی‌که نرم‌افزار ECHAM4، برای مناطق مذکور کاهش بارش را پیش‌بینی کرده است. در هر حال، در هر دو نرم‌افزار، تمامی استان‌های کشور با افزایش دما مواجهند. ارزیابی اثرات آب‌شناسی تغییر اقلیم در حوضه‌ی آبخیز گرگانرود با استفاده از نرم‌افزارهای اقلیمی HadCM3، CGCM1 و SCIRO نشان داد که بارندگی سالانه حوضه‌ی آبخیز به میزان ۳/۲ تا ۶/۷ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، دمای کمینه ۲/۳ تا ۹/۳ درجه‌سنتی‌گراد، و دمای بیشینه از ۳/۶ تا ۹/۸ در نمایشنامه‌های مختلف تغییر داشته است (آذری و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج بررسی رفتار منابع آب حوضه‌ی قره‌قوم تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از نرم‌افزارهای گردش عمومی جو در سه دوره‌ی آبی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب کاهش بارش حوضه‌ی را به میزان ۲۰/۲ درصد، ۲۳/۷ درصد و ۲۵/۹ درصد و افزایش دما را به مقدار ۰/۹۵، ۲/۰۱

ریزمقیاس نمایی خروجی نرم‌افزارهای گردش عمومی جو با محدودیت زمانی اجرای نرم‌افزار مواجه است، اما در روش آماری و در عرض چند ثانیه می‌توان ریزمقیاس نمایی آماری را برای یک پایگاه یا ایستگاه مشخص برای چندین ده سال انجام داد.

تحقیقات مختلف نشان می‌دهند که تغییرات اقلیم، اثرات متفاوتی را بر هر یک از مؤلفه‌های هواشناسی و آب-شناسی حوضه‌ی آبخیز مانند دما، بارندگی، رواناب و به تبع آن سایر اجزای چرخه‌ی آب در مناطق مختلف جهان خواهند داشت، که در نهایت احتمال رخداد و شدت وقایع حدی اعم از سیل و خشکسالی را تا حد زیادی افزایش خواهند داد (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۲). کما اینکه در سالیان اخیر شاهد حوادث غیرمترقبه مذکور در سطح حوضه‌ی آبخیز بابلرود و استان‌های شمالی کشور بوده‌ایم که لزوم بررسی هرچه بیشتر تأثیرات تغییر اقلیم را بر مؤلفه‌ها و متغیرهای هواشناسی حوضه‌ی آبخیز مورد تأکید قرار می‌دهد. از آنجا که تغییرات حاصل‌شده در ابعاد زمانی و مکانی کاملاً متفاوت بوده‌اند، از این‌رو، بررسی جامع و نظام‌مند این تغییرات اقلیمی در سال-های آینده با هدف مطالعه رفتارهای منطقه‌ای، و پیش‌بینی تأثیرات آنها به‌منظور ارائه‌ی راهکارهای مناسب و متناسب برای تصمیم‌سازان جهت انجام برنامه‌ریزی مطمئن و منسجم در مقیاس کلان و درازمدت، و اتخاذ روش‌های سازگاری و کاهش آثار تغییرات اقلیمی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بر همین اساس پژوهش‌های متعددی در این زمینه صورت گرفته است. زهرایی (۱۳۹۱)، در پژوهش خود به شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از ریزگردانی داده‌های نرم‌افزار گردش عمومی (GCMs) برای دوره‌ی اقلیمی آینده (۲۰۴۵-۲۰۰۹) پرداخت. در این پژوهش، داده‌ها را با استفاده از خروجی‌های نرم‌افزار گردش عمومی جو - ECHO-G با نمایشنامه‌ی A1 جهت ریزگردانی در مورد چهار ایستگاه منتخب استان (زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار) مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. برای تجزیه و تحلیل رفتار و تغییرات دمای کمینه و بیشینه روزانه، از داده‌های بارش روزانه و میزان تابش دریافتی ایستگاه‌ها جهت شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی استفاده شد. تحلیل داده‌های تولید شده در دوره‌ی اقلیمی آینده و مقایسه‌ی آن با دوره‌ی

### معرفی نرم افزار

یکی از انواع نرم افزارهای گردش عمومی جفت شده جوی- اقیانوسی، که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است، نرم افزار HadCM3 می- باشد. توصیف این شبیه به وسیله پوپ و همکاران (۲۰۰۰) انجام شده است. نرم افزار مذکور به ترتیب از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام های HadAM3 و HadOM3 تشکیل گردیده است. این نرم افزار نیازی به تنظیمات شارسطحی (شار مصنوعی اضافی برای سطح اقیانوس) برای بهبود شبیه سازی ندارد. شبیه سازی ها بر مبنای تقویم (سال ۳۶۰ روزه و ماه های ۳۰ روزه) انجام می شود. قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی، مهمترین مزیت این نرم افزار می باشد. از جمله دیگر مزیت این نرم افزار هماهنگی خوب بین مؤلفه های جوی و اقیانوسی آن می باشد. اما نرم افزار دیگری که در این تحقیق به کار گرفته شد، نرم افزار گردش عمومی جوی- اقیانوسی ECHO-G می باشد. این نرم افزار از دو مؤلفه جوی (ECHO-G) و اقیانوسی (HOPE) تشکیل شده است که در حین اجرا و در دوره های زمانی معینی با همدیگر جفت می- شوند. این زمان می تواند حدود یک ساعت باشد، که در این صورت نتایج انتگرال گیری حاصل از معادلات حاکم بر جو و اقیانوس، بعد از گذشتن یک ساعت، نتایج خود را با یکدیگر مبادله می کنند. به طور معمول، قدرت تفکیک مکانی مؤلفه اقیانوسی، بیشتر از مؤلفه جوی است، به این دلیل که برخی فرایندهای تأثیرگذار بر رفتار اقیانوس دارای مقیاس کوچکتری در مقایسه با جو هستند؛ از آن جمله، می توان به شعاع تغییر شکل راسبی اشاره کرد که در جو حدود ۱۰۰۰ کیلومتر ولی در اقیانوس حدود ۲۰۰ کیلومتر می باشد. داده های ECHO-G خروجی نرم افزار جهانی ECHO-G می باشد و همان طور که ذکر شد از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی تشکیل شده است. این نرم افزار ابتدا در دانشگاه هامبورگ آلمان توسعه داده شد، اما هم اکنون در برخی مراکز اقلیمی، از جمله مرکز تحقیقات هواشناسی کره جنوبی هم اجرا می شود. پژوهشکده اقلیم شناسی ایران با توجه به تفاهم نامه منعقد بین این دو مرکز، داده های بارش روزانه، دمای کمینه روزانه، دمای بیشینه روزانه و تابش ماهانه را از مرکز تحقیقات هواشناسی کره جنوبی دریافت کرده است، که این داده ها

و ۳/۸ درجه سانتی گراد نشان دادند (باباییان و همکاران، ۱۳۹۲). در بررسی اثر تغییر اقلیم بر منحنی های شدت- مدت- فراوانی بارندگی تحت نرم افزار HadCM3 مشخص گردید که مقدار بارش شبیه سازی شده در ایستگاه بابلرود برای پایه زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نشان دهنده کاهش بارش ماهانه در ماه های گرم سال، و افزایش آن در ماه های سرد سال می باشد (بختیاری و همکاران، ۱۳۹۳). رسولی و همکاران (۱۳۹۳)، به بررسی اثر عوامل محیط ریخت اقلیمی (مورفوکلیماتیک) بر دقت ریزمقیاس نمایی نرم افزار LARS-WG پرداختند و نتایج نشان دادند که دقت نرم افزار در ایستگاه ها متفاوت بوده، ولی شبیه سازی دما با دقت مناسب تری انجام گرفت، و نرم افزار در برآورد بارش از دقت کمتری برخوردار بود. سرکار و چیچولیکار (۲۰۱۶)، در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی منطقه احمدآباد هند، در دوره های ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نشان دادند که در دوره اول شاهد برابری و در دوره دوم شاهد کاهش بارش نسبت به دوره پایه خواهند بود. همچنین، نتایج بیانگر افزایش به وسیله دمای کمینه به میزان ۲/۵ تا ۵/۰ درجه، و ۲ تا ۴ درجه دمای بیشینه در دوره پیش بینی بود. همان طور که مشاهده می شود با آنکه توجه به پدیده تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار می باشد، در کشور ما کمتر به آن پرداخته شده، و در اکثر آنها تأثیر تغییر اقلیم بر وقایع حدی آب شناسی تنها از یک نرم افزار اقلیمی خاص بهره وری گردیده است، تفاوت نرم افزارهای اقلیمی در میزان خطرپذیری مورد بررسی قرار نگرفته است. پژوهش حاضر به واسطه در دسترس بودن داده های بسیار بلندمدت و روزانه، فرایند تغییر اقلیم را در حوضه آبخیز بابلرود در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵، با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های نرم افزارهای گردش عمومی HadCM3 و ECHO-G ارزیابی کرده، و به مقایسه نتایج حاصل از دو نرم افزار و میزان خطرپذیری هریک از نرم افزارها با توجه به مقایسه اثر تغییر اقلیم بر مقادیر حدی کمینه و بیشینه دما و بارش در قالب نمایشنامه ی اقلیمی A1B با استفاده از نرم افزار LARS-WG پرداخته است.

### مواد و روش ها

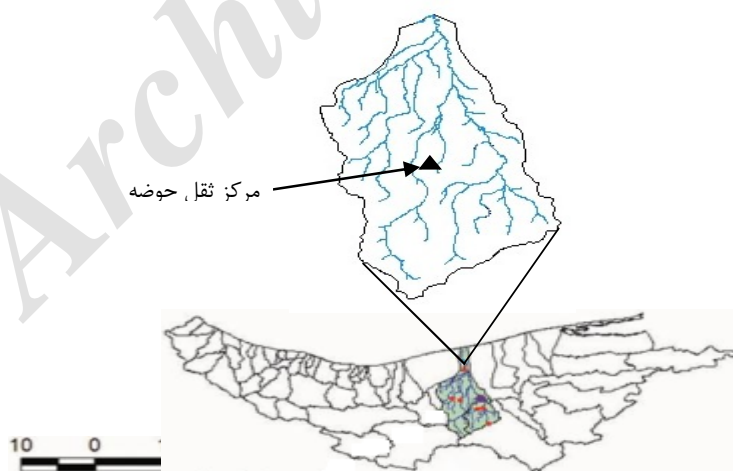
استان مازندران در بخش جنوبی دریای خزر، با وسعت ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع شامل حدود ۳۰ حوضه آبخیز کوچک و بزرگ می‌باشد. جلگه‌های ساحلی مازندران حدود ۳۰ درصد از مساحت آن را در بر می‌گیرند. استقرار استان مازندران در فاصله‌ی بین دریای خزر و سلسله جبال البرز از یک سو، و تأثیر متقابل آب‌های دریای خزر و کوهستان‌های مرتفع البرز و بازتاب فرآیندهای حاصل بر شرایط آب و هوایی از سویی دیگر، یکی از نادرترین شرایط جوی و اقلیمی ایران را در منطقه مازندران پدید آورده است که مشخصه اصلی آن را می‌توان بارندگی‌های زیاد در اوایل بهار و اواسط پاییز، دمای معتدل، پوشش گیاهی انبوه، کشاورزی و دامداری پُرونق و اقتصاد شکوفا دانست. حوضه آبخیز بابلرود یکی از ده حوضه بزرگ استان در بخش مرکزی این استان، با مساحتی بالغ بر ۵۱۷۲۵ هکتار، بین ۵۲ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی، و ۳۶ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی، قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه آبخیز دارای ۵ زیر حوضه اصلی به نام‌های بابلک، اسکلیمرود، کارسنگ‌رود، آذررود و اراضی پست می‌باشد (کاویان و صفری، ۱۳۹۱).

ریزمتقیاس (downscaling) نشده‌اند، و بایستی صرفاً با به-کارگیری روش‌های آماری ریزمتقیاس شوند. یکی از ابزارهای مناسب برای این کار نرم‌افزار LARS-WG است.

### خانواده نمایشنامه‌ها

خانواده نمایشنامه‌های انتشار به نمایشنامه‌هایی اطلاق می‌شود که دارای موضوع و زمینه مشترکی هستند. در گزارش‌های سوم و چهارم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در مورد شش خانواده از نمایشنامه‌های انتشار بحث گردیده است؛ مطابق آنچه در گزارش‌های مذکور آمده است، شامل A1B، A1FI، A1T، A2، B1 و B2 می‌باشند. نمایشنامه‌ی انتشار A1B که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، زیرمجموعه خانواده A1 است که در آن، جهان یکپارچه در نظر گرفته می‌شود. افزایش تعاملات اجتماعی و فرهنگی در دنیا، رشد اقتصادی سریع، گسترش سریع فناوری‌های جدید و کارآمد و افزایش جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر و سپس کاهش تدریجی آن، از خصوصیات این نمایشنامه می‌باشد (نیگل و لوید، ۲۰۱۴).

### منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت حوضه و ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان مازندران

توجه به داده‌های مورد نیاز نرم‌افزار، از آمار بلندمدت و در دسترس ایستگاه‌های هواشناسی بابلسر (۶۳ سال) و قراخیل (۴۳ سال) برای میزان تشعشع و ساعات آفتابی، و ایستگاه

### داده‌ها و روش مورد مطالعه

در این تحقیق به منظور شناسایی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز مورد مطالعه و انتخاب نرم‌افزار اقلیمی مورد نظر با

بیشینه، دارای آمار بدون نقص در دوره آماری ۳۰ ساله پایه (۲۰۱۱-۱۹۸۲) می‌باشد استفاده شده است (جدول ۱).

اقلیم‌شناسی و آب‌سنجی گلوگاه بندپی (۴۰ سال) واقع در مرکز ثقل حوضه، که برای مقادیر بارش، دمای کمینه، دمای

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه (متر)
بابلرس	هواشناسی سینوپتیک	۵۳°۳۹'	۳۶°۴۳'	۲۱-
قراخیل	اقلیم‌شناسی	۵۳°۴۶'	۳۶°۲۷'	۱۵
گلوگاه بندپی	اقلیم‌شناسی و آب‌سنجی	۵۳°۳۷'	۳۶°۱۸'	۲۰۰

\*منبع: شرکت آب منطقه‌ای و اداره کل هواشناسی استان مازندران

بیشینه و کمینه و تابش به کار می‌برد (زمنف و همکاران، ۲۰۰۲). توانمندی نرم‌افزار LARS-WG در شبیه‌سازی اقلیم دوره‌ی پایه ایستگاه‌های مورد مطالعه، بر اساس نمایشنامه‌ی حالت پایه، و مطابق داده‌های ۳۰ سال دیده‌بانی (۲۰۱۱-۱۹۸۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. این کار از طریق مقایسه داده‌های متغیرهای بارش، ساعات آفتابی، دمای کمینه و دمای بیشینه دوره آماری، و داده‌های تولید شده به وسیله نرم‌افزار و با استفاده از روش آماری، نقشه و نمودار انجام شد. در مرحله بعد، خروجی‌های نرم‌افزارهای HadCM3 و ECHO-G تحت نمایشنامه‌ی اقلیمی A1B برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در مقیاس جهانی به دست آمده و به مقیاس ایستگاهی تبدیل شدند. در این بخش، از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی نرم‌افزار LARS-WG جهت تبدیل نتایج نرم‌افزار جهانی به منطقه‌ای استفاده شد. در نهایت، با استفاده از نتایج به دست آمده، فرآیند تغییر اقلیم حوضه آبخیز بابلرود، تحت نمایشنامه‌ی اقلیمی مذکور مورد بررسی قرار گرفت.

## نتایج و بحث

### نرم‌افزارها و نمایشنامه‌ی انتخابی

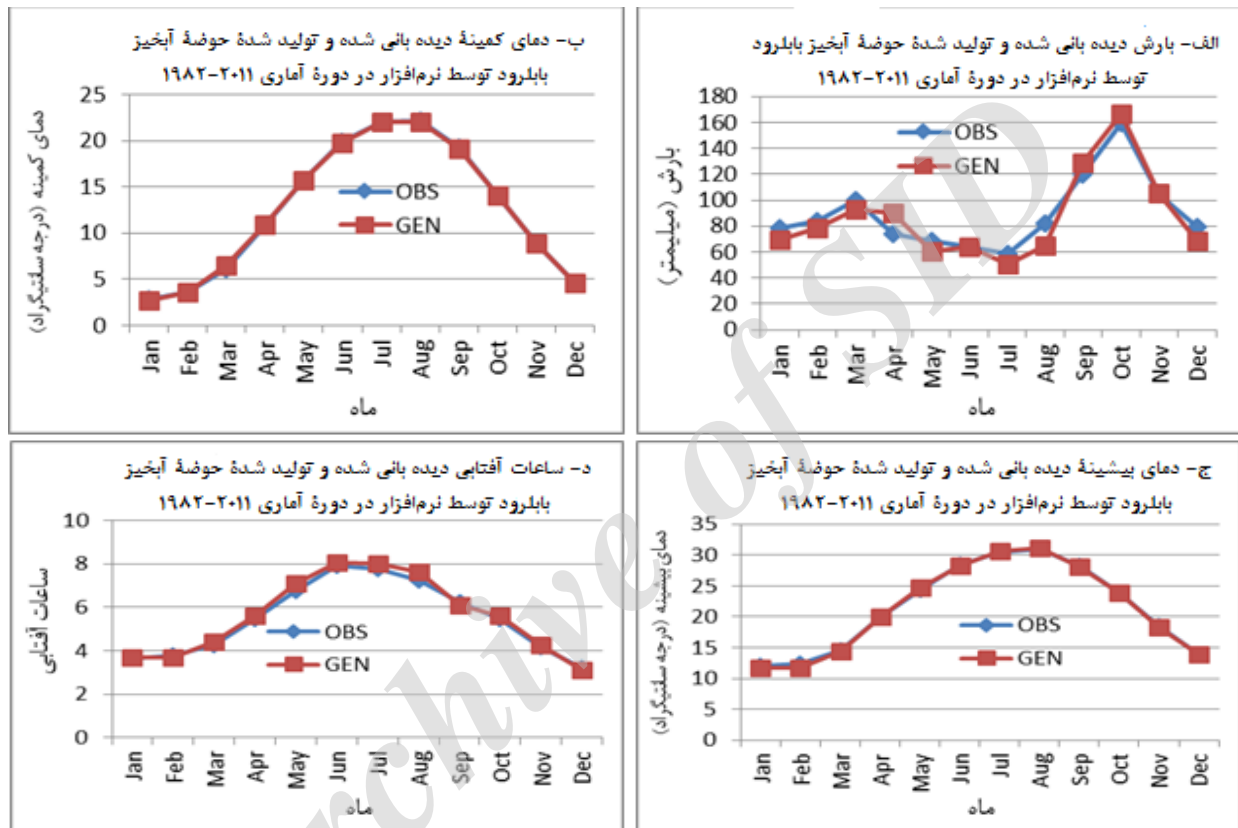
انتخاب نرم‌افزارها و نمایشنامه‌ی مورد استفاده بر اساس معیارهای هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، در دسترس بودن، و استفاده از آنها در مطالعات گذشته صورت پذیرفت. در این مقاله از نرم‌افزارهای اقلیمی HadCM3 و ECHO-G، نمایشنامه‌ی A1B استفاده شد.

### بررسی توانمندی نرم‌افزار LARS-WG

پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات برای محدوده مطالعاتی، نسبت به آزمون همگنی داده‌ها در صورت نیاز و اصلاح داده‌ها اقدام شد. در مرحله بعد، به دلیل توانمندی بالای شبیه‌سازی چندین متغیر هواشناسی، و همچنین دسترسی به آخرین نسخه به‌روزرسانی شده آن (WG ۵/۵)، نرم‌افزار LARS\_WG در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. تولید داده‌های LARS\_WG در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از: واسنجی کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. برای اجرای نرم‌افزار LARS\_WG و ریزمقیاس‌نمایی داده‌های GCM، نیاز به ایجاد دو پرونده‌ی اساسی مشخص‌کننده رفتار اقلیم در گذشته (WG) و نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم (به نام Sce) می‌باشد. پرونده‌ی اول از داده‌های روزانه ایستگاه‌ها و پرونده‌ی دوم از خروجی GCM در گذشته و آینده به دست می‌آید (باباییان، ۱۳۹۲). برای واسنجی کردن نرم‌افزار لازم است دو پرونده با پسوند‌های .dat و .st. جهت تحلیل داده‌های دیده‌بانی شده دوره اقلیمی ایستگاه ایجاد شوند. در پرونده‌ی اول نام ایستگاه یا منطقه، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، ارتفاع و مسیر داده‌های دیده‌بانی شده و شکل آنها توصیف می‌شود و در پرونده‌ی دوم سال، دمای کمینه، دمای بیشینه، میزان بارش روزانه و تابش (ساعت آفتابی) آمده است. سپس نرم‌افزار اجرا شده و خروجی‌ها در سه پرونده، که دربرگیرنده خصوصیات آماری داده‌های مشاهده‌ای هستند، ارائه می‌شوند. پرونده‌ی با پسوند .stx دربرگیرنده توزیع تجربی گروه‌های تر و خشک بوده و پرونده‌ی با پسوند .tst شامل رفتار آماری ایستگاه در دوره دیده‌بانی است. پرونده با پسوند .wg برای تولید داده‌های مصنوعی روزانه در نرم‌افزار به کار می‌رود. LARS\_WG خود همبستگی میانگین بین داده‌های دیده‌بانی شده را برای شبیه‌سازی بارش، دمای

(شکل ۲؛ الف) تفاوت بسیار کمی وجود دارد که با نتایج بابایان و همکاران (۱۳۸۸) هماهنگ است. به‌طور کلی، نتایج حاکی از توانمندی نرم‌افزار LARS-WG در شبیه‌سازی اقلیم دوره پایه حوضه آبخیز بابلرود بر اساس نمایشنامه‌ی حالت پایه می‌باشد.

مقایسه داده‌های دیده‌بانی شده و تولید شده نرم‌افزار به‌منظور ارزیابی خروجی‌های نرم‌افزار، در قالب نمودار در شکل ۲ ارائه گردیده است. با تحلیل آماری نتایج شبیه‌سازی ملاحظه گردید که بین دماهای بیشینه و کمینه و ساعت آفتابی دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده تطابق بسیار خوبی موجود است (شکل ۲؛ موارد ب، ج و د)، و تنها در مورد بارش



شکل ۲- مقایسه مقادیر نتایج حاصل از نرم‌افزار و دیده‌بانی شده حوضه آبخیز بابلرود جهت بررسی توانمندی نرم‌افزار LARS-WG

خواهد یافت. در نرم‌افزار HadCM3، میانگین بارش در اکثر ماه‌های سال، به جز ماه‌های پر بارش (مارس، آوریل، اکتبر و نوامبر) با کاهش مواجه گردید، که این موضوع در نرم‌افزار ECHO-G، به‌جز برای ماه مارس نیز دیده می‌شود. بیشترین کاهش مربوط به ماه کم بارش آگوست (۴۳ میلیمتر) در نرم‌افزار ECHO-G می‌باشد. بیشترین افزایش بارش نیز مربوط به ماه اکتبر (۲۷ میلی‌متر) می‌باشد که در نرم‌افزار HadCM3 اتفاق می‌افتد. همچنین، در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵، شاهد تغییرات میزان بارش از ۵۲- تا ۱۷+ درصد در حوضه آبخیز

## ارزیابی تغییر اقلیم در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ پیش‌بینی تغییرات بارش

در جدول ۲ مقادیر میانگین و انحراف معیار بارش ماهانه در دوره پایه (۱۹۸۲-۲۰۱۱)، و دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت نمایشنامه‌ی اقلیمی A1B حاصل از خروجی نرم‌افزارهای HadCM3 و ECHO-G بیان شده‌اند. با ملاحظه‌ی نتایج مشخص گردید که میانگین بارش ۳۰ ساله، ۱۰۷۲ میلیمتر بوده که براساس پیش‌بینی نرم‌افزارهای HadCM3 و ECHO-G به ترتیب به مقادیر ۱۰۳۱ و ۸۷۶ میلیمتر کاهش

بابلرود خواهیم بود که با نتایج استیل و همکاران (۲۰۰۸)،  
 ذهبیون و همکاران (۱۳۸۹)، و بختیاری و همکاران (۱۳۹۳)  
 مبنی بر پیش‌بینی افزایش بارش در ماه‌های پر بارش و کاهش  
 بارش در سایر ماه‌ها، هماهنگی دارند.

### جدول ۲- مقایسه میانگین بارش (میلی‌متر) در دوره پایه و مورد پیش‌بینی به وسیله دو نرم‌افزار مورد بحث تحت نمایشنامه ی

A1B												
ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین	۷۸/۹	۸۳/۶	۱۰۰	۷۴/۱	۶۸/۹	۶۳/۷	۵۸/۹	۸۱/۷	۱۱۹/۵	۱۵۹	۱۰۴/۳	۷۹/۷
دوره پایه												
انحراف معیار	۲۹/۸	۳۸/۲	۳۷/۹	۴۲/۵	۳۵/۶	۴۲/۶	۴۱/۳	۵۳/۰	۴۷/۲	۷۰/۶	۴۶/۷	۳۴/۶
نرم‌افزار												
میانگین	۶۶/۶	۷۹/۳	۹۷/۱	۹۲/۵	۶۴/۴	۵۹/۶	۳۹/۹	۴۷/۶	۱۱۱/۸	۱۸۶/۸	۱۲۰/۲	۶۵/۲
انحراف معیار	۶۴/۶	۶۴/۶	۶۴/۶	۶۴/۵	۶۴/۵	۶۴/۳	۶۴/۰	۶۴/۲	۶۴/۲	۶۵/۱	۶۵/۲	۶۵/۲
نرم‌افزار												
میانگین	۶۳/۴۴	۶۱/۴۶	۶۸/۲۴	۶۵/۲۲	۴۷/۸	۵۰/۶۲	۳۲/۵۸	۳۸/۲۴	۹۴/۱۴	۱۵۹/۹	۱۱۸/۵	۷۶/۴۵
انحراف معیار	۵۶/۷	۵۶/۷	۵۶/۷	۵۶/۶	۵۶/۶	۵۶/۵	۵۶/۴	۵۶/۵	۵۶/۵	۵۷/۳	۵۷/۳	۵۷/۳

\* منبع: نویسندگان

### پیش‌بینی تغییرات دمای کمینه

(۴/۲ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. مقایسه نتایج دو نرم‌افزار،  
 بیانگر پیش‌بینی افزایش میانگین دمای کمینه سالانه به  
 میزان ۱/۷ و ۲/۱ درجه سانتی‌گراد، به ترتیب برای نرم‌افزار-  
 های HadCM3 و ECHO-G می‌باشد. نتایج بر این موضوع  
 دلالت دارند که دمای کمینه حوضه آبخیز بابلرود در دوره  
 ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی، به‌طور متوسط به‌وسیله با افزایش  
 همراه خواهد بود، که باعث کاهش معنی‌دار آب معادل برف  
 شده و با تحقیقات بوزکورت و لطفی‌سن (۲۰۱۳)، چن و  
 همکاران (۲۰۱۴) و حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) مبنی بر  
 افزایش دما در طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ میلادی  
 سازگاری دارند.

مقادیر میانگین و انحراف معیار دمای کمینه ماهانه در  
 دوره پایه و مورد پیش‌بینی، تحت نمایشنامه ی A1B در  
 جدول ۳ ارائه گردیده‌اند. نتایج حاصل از نمایشنامه ی A1B  
 نشان می‌دهند که میزان دمای کمینه در هر دو نرم‌افزار، در  
 تمامی ماه‌های سال با افزایش مواجه گردیده است. در  
 نرم‌افزار HadCM3، بیشترین و کمترین میزان افزایش دمای  
 کمینه به ترتیب مربوط به ماه‌های جولای (۲/۱) درجه  
 سانتی‌گراد، و ژانویه (۱/۲) درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. در شبیه  
 ECHO-G، کمترین افزایش دمای کمینه مربوط به نوامبر  
 (۰/۹) درجه سانتی‌گراد، و بیشترین آن مربوط به جولای

### جدول ۳- مقایسه میانگین دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) در دوره پایه و مورد پیش‌بینی شده به وسیله دو نرم‌افزار مورد بحث

تحت نمایشنامه ی A1B												
ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین	۲/۹	۳/۶	۶/۱	۱۰/۸	۱۵/۷	۱۹/۹	۲۲/۰	۲۲/۲	۱۹/۳	۱۴/۱	۸/۹	۴/۶
دوره پایه												
انحراف معیار	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۰	۰/۹	۰/۹	۰/۸	۰/۹	۱/۱	۱/۶	۱/۱	۱/۳
نرم‌افزار												
میانگین	۴/۱	۵/۰	۷/۹	۱۲/۶	۱۷/۵	۲۱/۵	۲۴/۱	۲۴/۴	۲۰/۹	۱۵/۶	۱۰/۲	۶/۴
انحراف معیار	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲
نرم‌افزار												
میانگین	۴/۷	۵/۷	۸/۵	۱۳/۱	۱۷/۸	۲۱/۸	۲۴/۴	۲۴/۵	۲۱/۱	۱۶/۱	۱۰/۸	۶/۹
انحراف معیار	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰	۷/۰

\* منبع: نویسندگان



## پیش‌بینی تغییرات دمای بیشینه

جدول ۴ مقادیر میانگین و انحراف معیار دمای بیشینه ماهانه را براساس نتایج دو نرم‌افزار مورد بحث تحت نمایشنامه ی A1B در دوره‌ی پایه، و مورد پیش‌بینی‌شده، نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان از افزایش دمای بیشینه در تمامی ماه‌های سال در دوره‌های پیش‌بینی‌شده نسبت به دوره‌ی پایه دارند. بیشترین میزان افزایش دمای بیشینه برحسب سانتیگراد مربوط به جولای در نرم‌افزار HadCM3 (۲/۵) درجه) و آگوست در نرم‌افزار ECHO-G (۲/۷) درجه) می‌باشد، و کمترین میزان افزایش دمای بیشینه را هر دو نرم‌افزار، در فوریه HadCM3 (۱) درجه)، ECHO-G (۱/۷) درجه) خواهند داشت. این افزایش، علاوه بر کاهش میزان بارش جامد (برف) و تغییر وضعیت بارش، در ماه‌های گرم سال نمود بیشتری

خواهد داشت، که در مطالعات سورفیلت و تولز (۲۰۱۳) مورد تأیید قرار گرفته است. از مقایسه‌ی نتایج دو نرم‌افزار مشخص می‌گردد که میزان افزایش متوسط بیشینه‌ی دمای سالانه در نرم‌افزار HadCM3، ۱/۷ درجه سانتیگراد، و در نرم‌افزار ECHO-G، ۲/۱ درجه سانتیگراد خواهد بود. این نتایج بیان می‌کنند که متوسط دمای بیشینه حوضه‌ی آبخیز بابلرود در سال‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی افزایش خواهد داشت، که در نهایت به کاهش میزان بارش، کاهش رواناب و منابع آبی موجود به‌واسطه‌ی فرایند تبخیر و خشکی بیشتر حوضه‌ی آبخیز منجر خواهد شد، که با دستاوردهای کمال و بوانی (۱۳۸۹)، دوستی (۱۳۹۱) و آذری و همکاران (۱۳۹۲) مبنی بر افزایش دما در طی سال‌های آتی، مطابقت دارد.

جدول ۴- مقایسه‌ی میانگین دمای بیشینه (درجه سانتیگراد) در دوره‌ی پایه و مورد پیش‌بینی‌شده به‌وسیله‌ی دو نرم‌افزار مورد بحث تحت نمایشنامه ی A1B.

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین	۱۲/۱	۱۲/۳	۱۴/۶	۲۰/۰	۲۴/۳	۲۸/۴	۳۰/۵	۳۱/۰	۲۸/۳	۲۳/۹	۱۸/۴	۱۳/۹
انحراف معیار	۱/۶	۱/۹	۲/۵	۱/۸	۱/۴	۱/۳	۱/۸	۱/۸	۱/۳	۱/۷	۱/۹	۱/۸
میانگین	۱۳/۴	۱۳/۳	۱۶/۰	۲۱/۵	۲۶/۳	۳۰/۰	۳۲/۹	۳۳/۵	۳۰/۰	۲۵/۴	۱۹/۸	۱۵/۶
انحراف معیار	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳
میانگین	۱۴/۰	۱۴/۰	۱۶/۷	۲۲/۰	۲۶/۷	۳۰/۳	۳۳/۱	۳۳/۷	۳۰/۲	۲۵/۸	۲۰/۴	۱۶/۱
انحراف معیار	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱

\* منبع: نویسندگان

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت ارزیابی تغییر اقلیم در دوره‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی، خروجی نرم‌افزارهای گردش عمومی جو HadCM3 و ECHO-G با نمایشنامه ی پیش‌فرض A1B از طریق نرم‌افزار LARS-WG ریزمقیاس نمایی شدند. این فرایند با استفاده از بررسی توانمندی نرم‌افزار مذکور و صحت‌سنجی آن به‌کمک نمایشنامه ی لحاظ شده در مورد ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام شد که دارای نتایجی به‌شرح زیر می‌باشند:

میزان بارش در حوضه‌ی آبخیز بابلرود در دوره‌ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی ۵۲- تا ۱۷+ درصد متغیر خواهد بود، که این

حدود تغییرات با افزایش بارش در ماه‌های پر بارش (مارس، آوریل، اکتبر و نوامبر) و کاهش شدید بارندگی در ماه‌های کم بارش تابستان همراه خواهد بود. بیشترین کاهش مربوط به آگوست (۴۳ میلی‌متر) در نرم‌افزار ECHO-G می‌باشد. بیشترین افزایش بارش مربوط به اکتبر (۲۷ میلی‌متر) می‌باشد، که در نرم‌افزار HadCM3 اتفاق می‌افتد. دستاوردهای این تحقیق در زمینه‌ی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر متغیرهای هواشناسی، اعم از بارش و دماهای کمینه و بیشینه در سال‌های آتی، مطابقت بسیار خوبی با نتایج سایر پژوهشگران دارند، به‌طوری‌که اکثر آنها بر کاهش بارش و افزایش دماهای کمینه و بیشینه در دوره‌های مورد پیش‌بینی تأکید دارند. بر

۵) حجازی‌زاده، ز.، فتاحی، ا.، مساح‌بوانی، ع.، و ناصرزاده، م. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدروگراف سیلاب در دوره‌های آتی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بختیاری). فصل - نامه جغرافیا و توسعه ۳۴: ۲۴-۵.

۶) خزانه‌داری، ل.، کوهی، م.، قندهاری، ش.، و آسیایی. ۱۳۹۱. تغییر اقلیم، علل، اثرات و راه حل‌ها. جان تی هاردی. انتشارات پاپلی، مشهد ۳۶۲ص.

۷) دوستی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بده جریان با کاربرد شبیه بارش - رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز تهر، استان گلستان). پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۹۲ ص.

۸) ذهبیون، ب.، گودرزی، م.، و مساح‌بوانی، ع.، ۱۳۸۹. کاربرد شبیه SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۳ و ۴: ۴۳-۵۸.

۹) رسولی، ع.ا.، رضایی‌بنفشه، م.، و مساح‌بوانی، ع. ۱۳۹۳. بررسی اثر عوامل مورفواقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی شبیه LARS-WG. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۲۴: ۹-۱۸.

۱۰) رضایی، م.، نهتانی، م.، مقدم‌نیا، ع.، آبکار، ع.، و رضایی، م. ۱۳۹۳. بررسی کارایی شبیه ریزمقیاس نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فرا خشک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع غذایی) ۴: ۸۴۵-۸۳۶.

۱۱) زهرایی، ا. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با کمک ریزگردانی داده‌های گردش عمومی جو (GCMs) برای دوره اقلیمی (۲۰۴۰-۲۰۰۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی.

۱۲) سیدکابلی، ح.، آخوندعلی، س.م.، مساح‌بوانی، ع.، و رادمنش، ف. ۱۳۹۱. ارائه شبیه ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی بر اساس روش ناپارامتریک نزدیکترین همسایگی (K-NN). نشریه آب و خاک ۴: ۷۷۹-۸۰۸.

۱۳) عباسی، ف.، بابائیان، ا.، اثمیری، م.، و برهانی، ر. ۱۳۹۱. ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵-۲۱۰۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های شبیه گردش عمومی جو. تحقیقات جغرافیایی ۱: ۲۲۹-۲۰۵.

پایه یافته‌های این پژوهش، نرم‌افزار ECHO-G نسبت به نرم‌افزار HadCM3 تحت نمایشنامه ی مشابه (A1B)، میزان بارش کمتر و دمای بیشتر را مورد پیش‌بینی قرار داده است. بر این اساس، و با توجه به مبحث خطرپذیری در برنامه‌ریزی - های مبتنی بر تغییر اقلیم حوضه آبخیز بابلرود، می‌توان در طرح‌های حساس، بیشتر به نتایج نرم‌افزار ECHO-G نسبت به نرم‌افزار HadCM3 استناد کرد، که این موضوع با تأثیر بر برنامه‌ریزی‌های کلان وابسته به اقلیم منطقه در آینده‌ای نه چندان دور، در تعیین تعداد و شدت وقایع حدی سیل و خشکسالی، و آگاهی بخشی به‌هنگام، مناسب و متناسب بسیار مؤثر خواهد بود، کما اینکه در سالیان اخیر، به دلیل عدم پیش‌بینی مناسب، و یا تخفیف در شدت وقایع طبیعی، شاهد افزایش حوادث غیر مترقبه مذکور در سطح حوضه آبخیز بابلرود و استان‌های شمالی کشور بوده‌ایم، که لزوم بررسی هر چه بیشتر ویژگی‌ها و مؤلفه‌های نرم‌افزارهای اقلیمی مؤثر را در فرایندهای آب‌شناسی حوضه آبخیز مورد تأکید قرار می‌دهد.

## منابع

۱) آذری، م.، مرادی، ح.ر.، ثقفیان، ب.، و فرامرزی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات آب‌شناسی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگانرود. نشریه آب و خاک ۲۷: ۵۴۷-۵۳۷.

۲) بابائیان، ا.، نجفی‌نیک، ز.، زابل‌عباسی، ف.، حبیبی - نوخندان، م.، ادب، ح.، و ملبوسی. ش. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های شبیه گردش عمومی جو ECHO-G. فصل - نامه جغرافیا و توسعه ۱۶: ۱۵۲-۱۳۵.

۳) بابائیان، ا.، ضرغامی، م.، کوهی، م.، بابائیان، ا.، کریمیان، م.، و مدیریان. ر. ۱۳۹۲. بررسی رفتار منابع آب حوضه قره - قوم تحت شرایط اقلیم (مطالعه موردی: زیر حوضه درگز). نشریه آب و خاک ۵: ۹۱۸-۹۰۷.

۴) بختیاری، ب.، پورموسوی، ش.، و سیاری، ن. ۱۳۹۳. بررسی اثر تغییر اقلیم بر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی ایستگاه بابلسر طی دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱. نشریه آبیاری و زهکشی ۴: ۶۹۴-۷۰۴.

- 25) Sarkar, J., and Chicholikar, J.R. 2016. Future climate change scenario at hot semi-arid climate of Ahmedabad (23.04°N, 72.38°E), India based on statistical downscaling by LARS-WG Model. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution* 13: 35-42.
- 26) Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2002. LARS-WG: a stochastic weather generator for use in climate impact studies: User's manual. Rothamsted Research, Harpenden. Version 3.0.
- 27) Steele-Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, SH., Hanafin, J., and P. Nolan. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *Journal of Hydrology* 356: 28-45.
- 28) Surfleet, C.G., and Tullios, D., 2013. Variability in effect of climate change on rain-on-snow peak flow events in a temperate climate, *Journal of Hydrology* 479: 24-34.
- ۱۴) کاویان، ع.، و صفری، ع. ۱۳۹۱. تعیین شبیه مناسب برای برآورد رسوبدهی با استفاده از روش‌های آماری (مطالعه موردی؛ حوضه آبخیز بابلرود). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۱۳: ۱۱۱-۱۳۰.
- ۱۵) کمال، ع.، و مساح‌بوانی، ع. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو شبیه هیدرولوژی. نشریه آب و خاک ۵: ۹۳۱-۹۲۰.
- ۱۶) مشکواتی، ا.ح.، م. کردجزی، و ا. بابائیان. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی شبیه لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره (۲۰۰۷-۱۹۹۳) میلادی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۱۹: ۸۱-۹۶.
- 17) Arnell, N.W., M.B. Charlton, and J.A. Lowe. 2014. The effect of climate policy on the impacts of climate change on river flows in the UK. *Journal of Hydrology* 510:424-435.
- 18) Boyer, C., D. Chaumon, I. Chartier, and A.G. Roy. 2010. Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries *Journal of Hydrology* 384:65-83.
- 19) Bozkurt, D., and Sen, O. Lutfi. 2013. Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations *Journal of Hydrology* 480:149-161.
- 20) Chen, J., Xia, J., Zhao, C., Zhang, Sh., Fu, G., and Ning. L. 2014. The mechanism and scenarios of how mean annual runoff varies with climate change in Asian monsoon areas, *Journal of Hydrology* 517:595-606.
- 21) Guardiola, M., Troch, P.A., Breshears, D.D., Huxman, T.E., Switanek, M.B., Durcik, M., and Cobb., N.S. 2011. Decreased streamflow in semi-arid basins following drought-induced tree die-off: A counter-intuitive and indirect climate impact on hydrology. *Journal of Hydrology* 406:225-233.
- 22) IPCC. 2007. Climate change 2007. PP.1-8. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (Eds.) The physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK.
- 23) Nigel, W.A., and Lloyd, B. 2014. The global-scale impacts of climate change on water resources and flooding under new climate and socio-economic scenarios. *Journal of Climatic Change* 122:127-140.
- 24) Pope, V.D., Gallani, M.L., Rowntree, P.R., and Stratton, R.A. 2000. The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model HadAM3. *Climate Dynamics* 16, 123-146.