نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۲، ص. ۱۲۳۴-۱۲۲۵

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 6, Jan.-Feb. 2014, p. 1225-1234

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی : حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی)

هادی ثانی خانی[1*]- یعقوب دین‌پژوه[2]- سعید پور یوسف [3]- سروین زمانزاد قویدل[4]- بهاره صولتی[5]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۲/۱۷
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۹/۱۸

چکیده

تغییر در دما و الگوی بارش اثرات زیادی بر کمیت و کیفیت منابع آب به خصوص مناطق خشک نظیر ایران دارد. در سال‌های اخیر وقوع خشکسالی‌های متعدد در ایران خطری جدی برای منابع آب محسوب می‌شود. به دلیل افزایش میزان آب مورد تقاضا، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب در حوضه آجی چای در استان آذربایجان شرقی پرداخته می‌شود. جهت پیش‌بینی تغییر اقلیم بر مبنای مدل‌های گردش عمومی (GCM) از مدل LARS-WG جهت ریز مقیاس نمایی استفاده گردید. با استفاده از LARS-WG تغییر اقلیم در حوضه آجی‌چای با بکارگیری مدل HADCM3 و سناریوهای A1B، A2 و B1 در افق ۲۰۵۵، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه بودند. در بخش دیگری از تحقیق، جهت شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه، از مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن با استفاده از الگوهای ورودی مختلف، استفاده گردید. نتایج به دست آمده حاکی از کاهش قابل توجه میزان رواناب در حوضه بودند. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده لازم است تا جهت سازگاری با تغییر اقلیم، راهکارهای مدیریتی مناسب در سطح حوضه مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریز مقیاس نمایی، LARS-WG، رواناب، برنامه‌ریزی بیان ژن

مقدمه

بر طبق گزارشات IPCC[6] با اطمینان بالا می‌توان گفت که تغییرات اقلیمی اخیر، تاثیرات زیادی بر روی سیستم‌های فیزیکی و بیولوژیکی دارد. پیش‌بینی‌های انجام شده توسط بسیاری از مدل‌های گردش عمومی (GCMs[7]) حاکی از افزایش تعداد و مقدار وقایع اقلیمی بزرگ و تغییرات بارش در مناطق مختلف دنیا می‌باشد که این مساله بر روی منابع آب در آینده اثرات زیادی دارد (۸).

مدل‌های هیدرولوژیکی زیادی برای تعیین کمی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم با استفاده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی استفاده شده‌اند. با این وجود شفافیت مکانی بین نتایج مدل‌های گردش عمومی و داده‌های مورد نیاز برای مدل‌های هیدرولوژیکی وجود نداشته و این مساله همواره به عنوان یک چالش مطرح بوده است. جهت رفع این مسائل، روش‌های ریز مقیاس نمایی دینامیک یا مدل‌های اقلیمی ناحیه‌ای (RCMs[8]) و روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری توسعه داده شدند. اصلی‌ترین مشکل مدل‌های اقلیمی ناحیه‌ای هزینه محاسباتی آن‌ها می‌باشد. بنابراین این مدل‌ها فقط در نواحی محدودی قابل استفاده می‌باشند. علاوه بر این، نتایج این مدل‌ها به لحاظ کاربردی در حوضه‌های آبریز کوچک و اراضی کشاورزی دارای مشکلاتی می‌باشد زیرا در این شرایط، لازم است تا سناریوهایی در مقیاس حوضه در نظر گرفته شود. روش‌های ریز مقیاس نمایی آماری جهت غلبه بر مشکلات ذکر شده ایجاد

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: hsanikhani12@gmail.com
۲ و۳- دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۵- دانش آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

6- International Panel on Climate Change
7- General Circulation Models
8- Regional Climate Models

Archive of SID
www.SID.ir

گردیدند. این مدل‌ها عامل ارتباطی بین متغیرها در مقیاس بزرگ یعنی مدل‌های چرخش عمومی یا مدل‌های اقلیمی ناحیه‌ای با دیگر متغیرها که نمایانگر مقیاس خیلی کوچک نظیر حوضه‌های آبریز هستند، می‌باشند. روش‌های آماری به لحاظ محاسباتی کم هزینه بوده و به لحاظ اجرایی نیز ساده می‌باشند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل LARS-WG اشاره کرد (۱۴).

درسال‌های اخیر مطالعات انجام شده توسط محققین در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب با استفاده از مدل‌های ناحیه‌ای و آماری در مقیاس‌های گوناگون، افزایش چشمگیری داشته است که این مساله حاکی از اهمیت این موضوع دارد. چیو و همکاران (۳) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب و رطوبت خاک در حوضه‌های استرالیا پرداختند. مطالعات انجام شده توسط یاتز و استرزپک (۱۶) در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم در رودخانه نیل حاکی از آن بود که میزان دبی در دوره آتی افزایش خواهد یافت. در مطالعات آن‌ها ۵ مدل گردش عمومی مورد بررسی قرار گرفت. لگسی و همکاران (۹) به بررسی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی منابع آب با استفاده از سیستم مدل سازی بارش- رواناب توزیعی (PRMS) در منطقه اتیوپی پرداختند.

فولر و همکاران (۶) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب در شمال غرب انگلستان پرداختند. نتایج به دست آمده حاکی از کاهش کلی ۱۸ درصدی میزان منابع آب در منطقه بود. عباسپور و همکارن (۱) به بررسی جامع اثرات تغییر اقلیم در کشور ایران پرداختند. آن‌ها در مطالعات خود از مدل CGCM[1] تحت سناریوهای مختلف و داده های ۳۷ ایستگاه هواشناسی استفاده کردند. یافته‌های آنها حاکی از آن بود که مناطق خشک کشور بارش‌های کمتر و مناطق مرطوب بارش‌های بیشتری را دریافت می‌کنند. ضرغامی و همکاران (۱۷) به بررسی اثرات تغییر اقلیم در استان آذربایجان شرقی پرداختند. آن‌ها در مطالعات خود از مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس نمایی متغیرهای اقلیمی و از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی رواناب در دوره‌های آتی استفاده کردند.

در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های هوشمند جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرآیندهای پیچیده نظیر رواناب همواره مورد توجه محققین بوده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی- عصبی، ماشین‌های بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی بیان ژن[2] اشاره کرد. در این میان مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به دلیل قابلیت ارائه رابطه ریاضی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل در پدیده مورد بررسی از ارجحیت بیشتری در مدل‌سازی برخوردار است که در ادامه به تعدادی از تحقیقات انجام شده در خصوص بکارگیری برنامه‌ریزی بیان ژن در زمینه‌های مرتبط با علوم مهندسی آب اشاره می‌شود.

آیتک و آلپ (۲) برای مدلسازی فرآیند بارش-رواناب از برنامه-ریزی بیان ژن استفاده کردند و نتایج را قابل قبول گزارش نمودند. هشمی و همکاران (۷) از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به منظور ریزمقیاس نمایی بارش در حوضه‌ای از کشور کانادا استفاده کردند و نتایج را با یک مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) مقایسه کردند. بر مبنای شاخص‌های خطا مدل برنامه‌ریزی بیان ژن عملکرد قابل قبول‌تری داشت. ترا اوره و گاون (۱۵) از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن جهت تخمین تبخیر و تعرق استفاده نمودند.

هدف از این تحقیق بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب حوضه آجی چای واقع در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. در این راستا از مدلLARS-WG جهت ریز مقیاس نمودن داده‌های مدل گردش عمومی تحت سناریوهای مختلف استفاده شد. سپس با توجه به قابلیت مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در پیش‌بینی فرآیندهای غیرخطی و پیچیده نظیر رواناب، از این مدل جهت پیش‌بینی رواناب در دوره های آتی استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آجی‌چای در شمال غرب ایران یکی از مهم‌ترین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است و به لحاظ موقعیت جغرافیایی بین عرض‌های ´۴۲ °۳۷ تا ´۳۰ °۳۸ شمالی و طول ´۴۰ °۴۵ تا ´۵۳ °۴۷ شرقی واقع شده است. این حوضه از ارتفاع ۳۴۰۰ متری دامنه‌های جنوب و جنوب غربی کوه سبلان و حدود ۳۳ کیلومتری شهرستان سراب شروع شده و با عبور از شمال شهر تبریز، در غرب آذرشهر در ارتفاع ۱۲۷۰ متری به دریاچه ارومیه ختم می‌شود. وسعت این حوضه در حدود ۱۲۷۹۰ کیلومتر مربع است. در شکل ۱ محدوده حوزه آبریز آجی‌چای نشان داده شده است.

در این تحقیق جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه، از داده‌های هواشناسی شامل بارش، دمای حداقل و حداکثر و تعداد ساعات آفتابی استفاده گردید. همچنین از داده‌های رواناب در ایستگاه ونیار واقع در این حوضه که به لحاظ کیفی و کمی قابل قبول بودند، استفاده شد. بازه آماری داده‌های مورد استفاده حد فاصل سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ را شامل می‌شد.

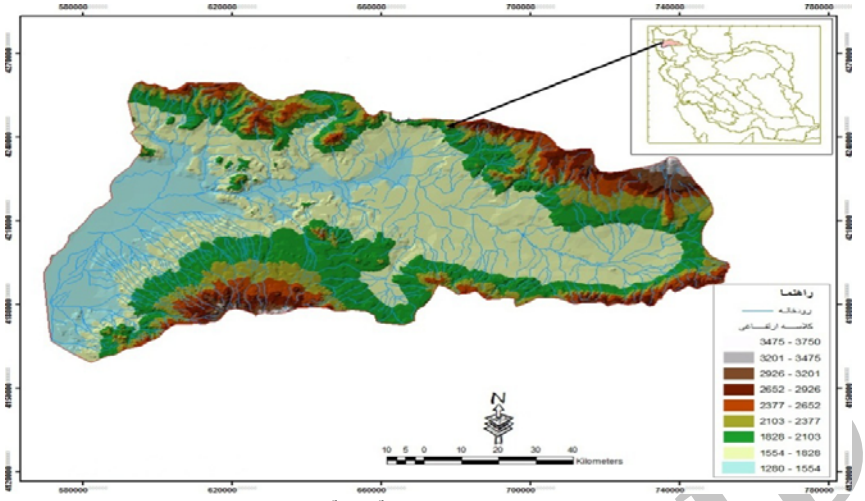
مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG

مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG توسط راسکو و همکاران (۱۰) و سیمونو و بارو (۱۲) ارائه گردید. در این مدل طول سری‌های زمانی خشک و تر، بارش روزانه و تشعشع خورشیدی روزانه به عنوان ورودی‌های مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند.

1- Canadian Global Coupled Model
2- Gene expression programming

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- نقشه DEM حوضه آبریز آجی‌چای

در این مدل متغیرهای هواشناسی بزرگ مقیاس به صورت مستقیم مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و متغیرهای اقلیمی ناحیه‌ای متناسب با منطقه مورد نظر جهت بررسی تغییرات اقلیمی تنظیم می‌گردند (۱۱).

در این مدل داده‌های بارش روزانه در ناحیه مورد نظر برای هر ماه با استفاده از زنجیره مارکوف مرتبه اول مورد بررسی قرار می‌گیرند و داده‌های تاریخی جهت تعیین مشخصات آماری نظیر تعداد روزهای خشک و تر، میانگین و توزیع بارش‌های روزانه در هر ماه از سال به‌کار گرفته می‌شوند. مدل LARS-WG برای هر یک از متغیرهای دمای حداکثر و حداقل، تشعشع خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی توزیع نیمه تجربی جداگانه‌ای در نظر می‌گیرد. در مدل فرض بر این است که دما دارای توزیع نرمال بوده و متوسط و انحراف معیار دمای روزانه مطابق با سری فوریه محدود تغییر می‌کند. برای دماهای حداکثر و حداقل، فرض می‌شود که خود همبستگی زمانی در طول سال برای یک ایستگاه معین به صورت ثابت باشد. در خصوص تشعشع خورشیدی نیز، توزیع های نیمه تجربی با بازه‌های مساوی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳).

در این تحقیق ویرایش ۵ مدل LARS-WG، استفاده گردید. این ویرایش شامل اطلاعات مدل‌های مختلف گردش عمومی می‌باشد. در این تحقیق از بین مدل‌های گردش عمومی از HADCM3 استفاده گردید. جهت بررسی عملکرد نتایج شبیه سازی در مدل LARS-WG از آزمون‌های آماری برای مقایسه داده‌های تولید شده در مدل و داده‌های دروه پایه (مشاهداتی) استفاده می‌گردد. این آزمون‌های مقایسه به منظور بررسی چگونگی روند ریز مقیاس نمایی در قالب تعیین مشخصات داده‌های مشاهداتی انجام می‌گیرد. میانگین، واریانس و توزیع سری‌های خشک و تر، دمای حداقل و حداکثر، بارش و تشعشع خورشیدی به صورت روزهای گرم و سرد مورد مقایسه قرار می‌گیرند. سطح معنی داری ۵ درصد معیار آزمون‌های آماری می‌باشد. میانگین ماهانه مقادیر بارش، دمای حداقل و حداکثر و تشعشع خورشیدی با استفاده از آزمون t- استیودنت مقایسه می‌گردند. برای هر ماه، آزمون F بر روی واریانس مقادیر روزانه انجام شده و واریانس مقادیر متوسط ماهانه در سال‌های مختلف بررسی می‌گردد. توزیع بازه‌های گرم و سرد و پریودهای خشک و تر با استفاده از آزمون کای-اسکور مورد مقایسه قرار می‌گیرد. این آزمون‌ها با فرض این که داده‌های هواشناسی مشاهداتی و تولید شده توسط مدل به صورت تصادفی از توزیع‌های موجود بر گرفته شده باشند، انجام می‌شود. همچنین در این آزمون‌ها فرض صفر بر این است که توزیع‌های آماری داده‌های مشاهداتی و تولید شده یکسان باشد. در هر تست احتمال یکسان بودن توزیع احتمالاتی دو سری داده های مشاهداتی و تولیدی به صورت کمی مشخص می‌گردد (۱۲).

در این تحقیق با توجه به عدم وجود داده‌های تشعشع خورشیدی و قابلیت مدل LARS-WG در تبدیل داده‌های ساعت آفتابی به تشعشع خورشیدی، از داده‌های ساعت آفتابی در بخش ورودی مدل استفاده گردید. همچنین در این تحقیق تغییرات متغیرهای دمای میانگین و بارش در افق ۲۰۵۵ (۲۰۶۵-۲۰۴۶) نسبت به دوره مبنا (۲۰۰۶-۱۹۸۲) مورد بررسی قرار گرفت. سناریوهای در نظر گرفته شده در این خصوص شامل سه سناریوی A2، B1 و A1B بودند.

برنامه‌ریزی بیان ژن

برنامه‌ریزی بیان ژن توسط فریرا در سال ۱۹۹۹ ارائه شد (۴). در این برنامه، کروموزوم‌های خطی و ساده با طول ثابت، مشابه با آنچه که در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود و ساختارهای شاخه‌ای با

Archive of SID

www.SID.ir

اندازه‌ها و اشکال متفاوت، مشابه با درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک، ترکیب می‌شوند. اولین مرحله در الگوریتم مدل، تولید جمعیت اولیه از راه حل‌ها است. این موضوع می‌تواند بوسیلهٔ فرآیند تصادفی و یا با استفاده از مقداری اطلاعات درباره مسأله انجام شود. سپس کروموزوم‌ها به صورت بیان درختی اظهار شده، که این هم مطابق با یک تابع برازش ارزیابی می‌گردد تا میزان مناسب بودن یک راه حل در حیطه مسأله تعیین گردد. معمولاً تابع برازش بوسیلهٔ پردازش تعدادی نمونه از مسأله هدف، که موارد برازش نیز نامیده می‌شوند، ارزیابی می‌گردد. اگر کیفیت رضایت‌بخش از یک راه‌حل پیدا شود و یا نسل‌ها به تعداد معینی برسد، تکامل متوقف شده و بهترین راه حل یافت شده تا به حال، گزارش داده می‌شود. از طرف دیگر اگر شرایط توقف یافت نشود، بهترین راه‌حل از نسل حاضر نگه داشته می‌شود (به معنای نخبه گزینی است) و بقیه راه حل‌ها به فرآیندی گزینشی واگذار می‌شوند. گزینش یا انتخاب، نقش بقاء شایستگی را انجام می‌دهد و بر اساس آن بهترین افراد شانس بهتری برای تولید فرزندان دارند. کل این روند برای چندین نسل تکرار می‌شود و با پیش رفتن نسل به جلو، انتظار می‌رود که کیفیت جمعیت نیز به‌طور متوسط بهبود یابد (۵).

در برنامه‌ریزی بیان ژن از عملگرهای مختلفی نظیر جهش و ترکیب استفاده می‌شود. هدف عملگر جهش، بهسازی تصادفی داخل کروموزوم‌های معینی است. خصوصیت این عملگر این است که برای جلوگیری از ایجاد افراد معیوب از نظر قواعد، برخی عملیات بدون نقص را اجرا می‌نماید. در این مدل از ترکیب تک نقطه‌ای و دو نقطه‌ای نیز استفاده می‌شود. نوع ترکیب دو نقطه‌ای تا حدی جالب‌تر است چون می‌تواند نواحی کدگذاری نشده داخل کروموزوم‌ها را به مراتب زیادی روشن و خاموش کند. به‌علاوه در این روش، نوع دیگری از ترکیب، به‌نام ترکیب ژنی نیز اجرا می‌شود که در آن ژن‌ها به‌طور کامل ترکیب می‌شوند. این عملگر، به طور تصادفی ژن‌ها را در موقعیت یکسانی در دو کروموزوم والد انتخاب می‌کند تا دو فرزند جدید را تشکیل دهد. از دیگر عملگرهای مورد استفاده می‌توان عملگر ترانهش را نام برد. در این روش پدیده‌های مختلف با استفاده از مجموعه‌ای از توابع و مجموعه‌ای از ترمینال‌ها، مدل‌سازی می‌شوند. مجموعه توابع، معمولاً شامل توابع اصلی حسابی {+, -, ×, /}، توابع مثلثاتی یا هر نوع تابع ریاضی دیگر {√, x^2, exp, log, sin, cos, ...} و یا توابع تعریف شده توسط کاربر است که معتقد است، می‌توانند برای تفسیر مدل مناسب باشند. مجموعه ترمینال‌ها، از مقادیر ثابت و متغیرهای مستقل مسأله تشکیل شده‌اند (۴). در این تحقیق جهت بکارگیری مدل برنامه‌ریزی بیان ژن از نرم افزار GeneXpro استفاده گردید. به طور خلاصه پارامترهای استفاده شده در هر بار اجرای مدل در جدول ۱ ارائه شده است.

به طور کلی در بکارگیری برنامه‌ریزی بیان ژن، جهت مدل‌سازی اولین مرحله، انتخاب تابع برازش مناسب است. هدف از انتخاب تابع برازش، یافتن راه‌حلی است که برای تمامی موارد برازش به اندازهٔ یک خطای معین به خوبی عمل کند. مرحله بعد انتخاب عملگرهای اصلی برای ساخت درخت تجزیه است که بدین منظور لازم است توابع ریاضی مختلف بکار گرفته شوند و عملکرد آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. گام بعدی شامل پیدا کردن تابع پیوند مناسب از بین انواع مختلف توابع پیوند می‌باشد.

در این تحقیق جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب با استفاده از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن از چهار الگوی ورودی متفاوت استفاده گردید. الگوهای در نظر گرفته شامل ترکیب‌های متفاوتی از متغیرهای بارش (P)، دمای حداقل (T_{min})، دمای حداکثر (T_{max})، دمای میانگین (T_{mean}) و تشعشع خورشیدی (SR) در گام زمانی t بودند. الگوهای در نظر گرفته شده در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

جهت پیش‌بینی رواناب حوضه در افق ۲۰۵۵، از داده‌های تاریخی به منظور آموزش (واسنجی) و صحت سنجی مدل استفاده گردید. از بین داده‌های موجود، ۷۰ درصد جهت واسنجی و ۳۰ درصد باقی مانده جهت صحت سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت پیش-بینی رواناب در افق آتی به ازای بهترین الگوی ورودی در مراحل واسنجی و صحت سنجی انجام شد. جهت بررسی خطای مدل به ازای الگوهای ورودی در نظر گرفته شده از شاخص‌های ضریب تعیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید.

نتایج و بحث

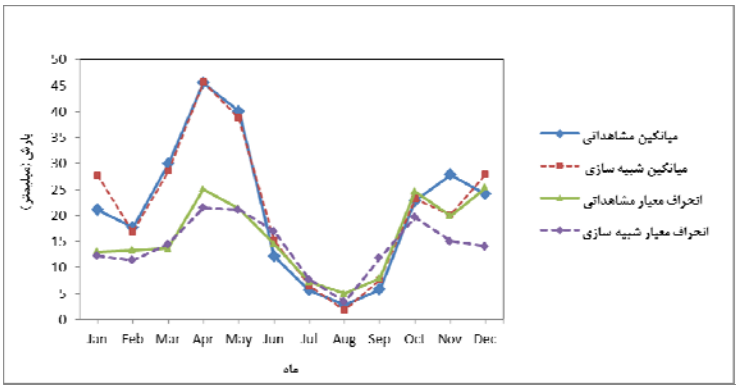
جهت تائید روند ریز مقیاس نمایی، نمودارهای میانگین و انحراف معیار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل در دوره آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار گرفت. نمودارهای میانگین و انحراف معیار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده متغیرهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در مقیاس ماهانه در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ ارائه شده‌اند. با توجه با این نمودارها ومقایسه مقادیر مشاهداتی و تخمینی توسط مدل می‌توان گفت که ریز مقیاس نمایی با دقت خوبی انجام شده و نتایج قابل قبول هستند.

جدول۱- مقادیر پارامترهای به‌کارگرفته شده در برنامه‌ریزی بیان ژن

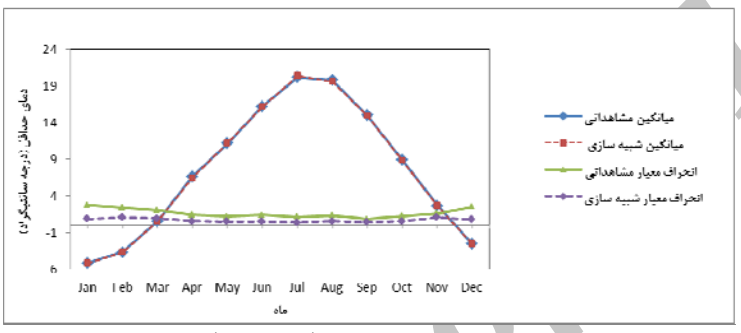
تعداد کروموزوم‌ها	**۳۰**	**نرخ برگشت**	**۰/۱**	**نرخ ترکیب تک نقطه‌ای**	**۰/۳**
طول هر راس	۸	نرخ ترانهش ژنی	۰/۱	نرخ ترکیب دو نقطه‌ای	۰/۳
تعداد ژن‌ها	۳	نرخ جهش	۰/۰۴	نرخ ترکیب ژنی	۰/۱

Archive of SID

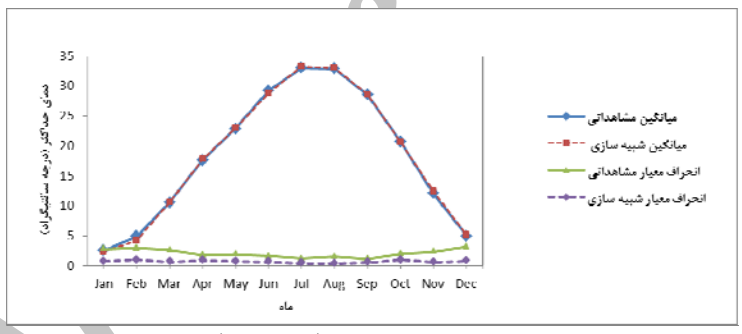
www.SID.ir



شکل ۲- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی وشبیه‌سازی شده بارش ماهانه



شکل ۳- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی وشبیه‌سازی شده دمای حداقل ماهانه



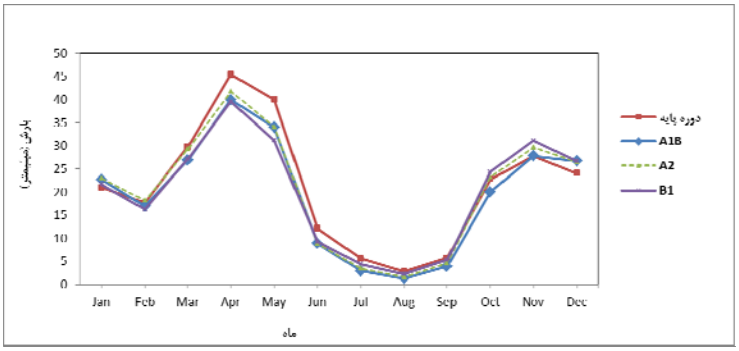
شکل ٤- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی وشبیه‌سازی شده دمای حداکثر ماهانه

جدول ۲- الگوهای ورودی در نظر گرفته شده در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن جهت پیش بینی رواناب

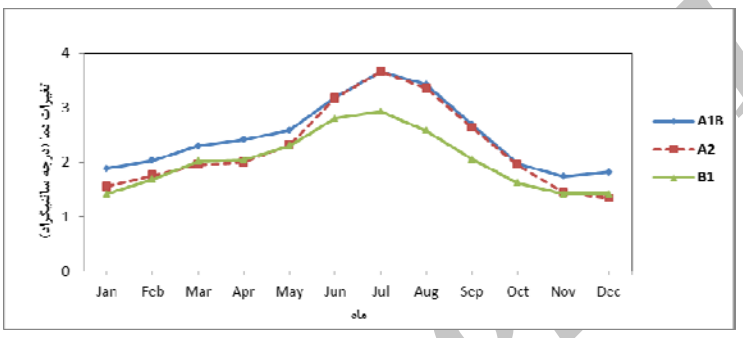
شماره الگو	متغیرهای الگوی ورودی
۱	$P(t)$
۲	$P(t), T_{mean}(t)$
۳	$P(t), T_{max}(t), T_{min}(t)$
۴	$P(t), T_{max}(t), T_{min}(t), SR(t)$

با توجه به شکل ۲، مقادیر میانگین بارش شبیه‌سازی شده تطابق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارند و بیشترین اختلاف مربوط به ماه‌های ژانویه و نوامبر می‌باشد. در خصوص مقادیر انحراف معیار بارش‌های ماهانه نیز بیشترین اختلاف به ماه‌های نوامبر و دسامبر تعلق دارد. همچنین با توجه به شکل ۳، میانگین دمای حداقل شبیه‌سازی شده تطابق خیلی خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد. مقادیر انحراف معیار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده درماه‌های مختلف با یکدیگر اختلاف دارند که بیشترین اختلاف مربوط به ماه ژانویه می‌باشد، هرچند این اختلاف با توجه به آزمون t- استیودنت در سطح ۵ رصد معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین برای دمای حداکثر نیز روندی مشابه دمای حداقل دیده می‌شود که در شکل۵ کاملا مشهود است.

www.SID.ir



شکل ۵- میانگین بارش ماهانه در سال‌های ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ به ازای سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه



شکل ٦- تغییرات مطلق دما در سال‌های ۲۰۴٦ تا ۲۰٦۵ به ازای سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه

در شکل ۵ تغییرات متوسط بارش ماهانه به ازای سناریوهای مختلف (A1B، A2 و B1) در بازه زمانی ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ درسطح حوضه مورد نظر نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، میزان بارش در ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر افزایش یافته که این افزایش نامحسوس می‌باشد و به طور کلی میانگین بارش در سطح حوضه در افق ۲۰۵۵ در مقایسه با دوره پایه کاهش می‌یابد. این کاهش در ماه‌های مختلف در حدود ۰/۵ تا ۱۰ میلیمتر متغیر بوده و بیشترین کاهش مربوط به فصل تابستان می‌باشد.

در شکل۶ نیز اختلاف دما در سال‌های ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ به ازای سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه نشان داده شده است. با توجه به این شکل، بیشترین اختلاف پیش بینی شده مربوط به سناریوی A1B می باشد و به طور کلی پیش‌بینی می‌شود که در افق ۲۰۵۵، دما به طور متوسط به میزان ۲/۲ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه افزایش یابد.

با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ و بررسی روند بارش و دما در حوضه، به نظر می‌رسد که وقوع خشکسالی در سال‌های آتی محتمل بوده و ضروری است تمهیدات لازم در این خصوص صورت گیرد. در گام بعدی با توجه به داده های اقلیمی دوره پایه و مقادیر اندازه گیری شده رواناب، به بررسی عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن با توجه به الگوهای تعریف شده پرداخته شد. در این مرحله با استفاده از داده‌های اقلیمی تولیدی توسط مدل LARS-WG و بکارگیری مدل گردش عمومی HADCM3 و سناریوی A2 که عملکردی مناسبتر و دقیق-تری دارد، تغییرات رواناب در افق ۲۰۵۵ بررسی شد.

در این تحقیق با بکارگیری برنامه‌ریزی بیان ژن جهت مدل-سازی، نتایج انتخاب اولیه تابع برازش در مدل حاکی از آن بود که استفاده از تابع برازش ریشه نسبی مربعات خطا[1](RRSE) در مقایسه با سایر توابع برازش عملکرد بهتری داشت. همچنین توابع ریاضی بکار گرفته شده در این تحقیق و عملکرد مدل به ازای مجموعه‌ای معین از توابع در جدول ۳ نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۳ با بکارگیری سری توابع F5 که همان توابع پیش فرض مدل GeneXpro هستند، کمترین مقدار RMSE بدست آمد. از بین توابع پیوند شامل جمع و ضرب، تابع پیوند جمع عملکرد بهتری در مقایسه با تابع پیوند ضرب داشت که نتایج ارائه شده در جدول ۳ موید این مطلب است. مقادیر ضریب تعیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) با اجرای مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به ازای الگوهای مختلف ورودی در جدول ۴ نمایش داده شده است.

1- Root relative squared error (RRSE)

Archive of SID

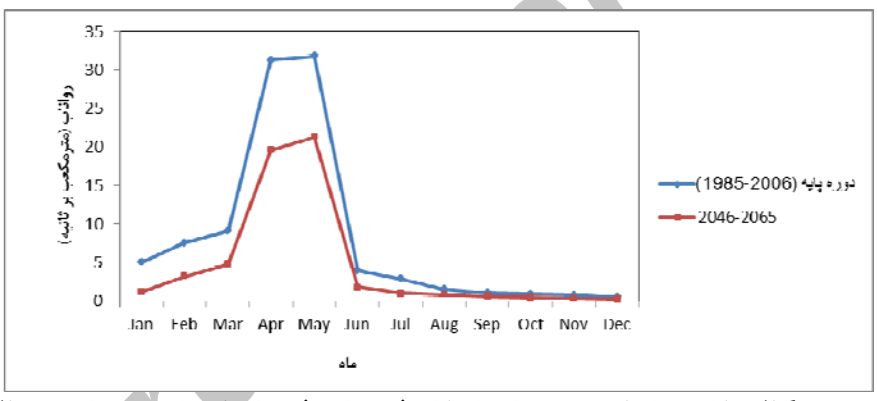
www.SID.ir

جدول ۳- نتایج بکارگیری توابع ریاضی مختلف بر روی مقدار شاخص RMSE

تابع	مدل ریاضی	RMSE
F1	+ - * /	۰/۲۳
F2	+ - * / lnx, e^x	۰/۲۰
F3	+ - * / $\sqrt[3]{}$, $\sqrt{}$, x^3, x^2	۰/۲۲
F4	+ - * / lnx, e^x, $\sqrt[3]{}$, $\sqrt{}$, x^3, x^2	۰/۱۹
F5	+ - * / lnx, e^x, $\sqrt[3]{}$, $\sqrt{}$, x^3, x^2, sinx, cosx, Arctg x	۰/۱۷
نوع تابع پیوند		
جمع		۰/۱۷
ضرب		۰/۲۱

جدول ٤- شاخص های عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به ازای الگوهای ووردی مختلف در شبیه‌سازی رواناب

شماره الگو	متغیرهای الگوی ورودی	واسنجی		صحت سنجی	
		R^2	RMSE	R^2	RMSE
۱	P(t)	۰/۵۰	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۵
۲	P(t), T_{mean}(t)	۰/۶۶	۰/۳۴	۰/۶۱	۰/۳۷
۳	P(t), T_{max}(t), T_{min}(t)	۰/۷۶	۰/۲۱	۰/۷۰	۰/۲۵
۴	P(t), T_{max}(t), T_{min}(t), SR (t)	۰/۸۵	۰/۱۴	۰/۸۲	۰/۱۷



شکل ۷- مقایسه هیدروگراف رواناب مشاهداتی در دروه پایه با رواناب شبیه‌سازی شده با مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در افق ۲۰۵۵

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول فوق، بهترین عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به ازای الگوی شماره ۴ بدست آمد، زیرا به ازای این الگو کمترین مقدار RMSE و بیشترین مقدار R^2 در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی حاصل شد. لذا پیش‌بینی رواناب در سطح حوضه در سال‌های ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ به ازای الگوی شماره ۴ انجام شد. در شکل ۷ نمودار تغییرات رواناب در افق ۲۰۵۵ در مقایسه با دوره پایه (۲۰۰۶-۱۹۸۲) با بکارگیری الگوی شماره ۴ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۷ می‌توان استنباط کرد که روند کلی هیدروگراف رواناب در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ مشابه روند رواناب در دروه پایه می‌باشد. در هر دو دوره، ماکزیمم مقدار رواناب در ماه می (اردیبهشت-خرداد) رخ داده است که در این ماه‌ها به علت وجود جریان ناشی از ذوب برف‌ها در سطح حوضه به علت افزایش دما، رواناب روند افزایشی دارد. به طور کلی مقدار پیک رواناب در افق ۲۰۵۵ در مقایسه با دوره پایه به میزان ۳۳ درصد کاهش یافته است. همچنین مقدار رواناب در افق ۲۰۵۵ در مقایسه با دوره پایه به طور متوسط به میزان ۴۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد که این نتایج حاکی از اثرات محسوس تغییر اقلیم درمنطقه و تاثیر آن بر روی منابع آب می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، لازم است تمهیدات لازم و استراتژی‌های مدیریتی مناسب جهت سازگاری با تغییر اقلیم در منطقه صورت پذیرد.

از مهمترین قابلیت‌های مدل برنامه‌ریزی بیان ژن نسبت به سایر

Archive of SID

www.SID.ir

مدل‌های هوشمند، ارائه معادله ریاضی بین متغیر وابسته و سایر متغیرهای مستقل می‌باشد که این مسأله جهت پیش‌بینی‌های آتی اهمیت بسزایی دارد. معادله ارائه شده توسط مدل برنامه‌ریزی بیان ژن برای تخمین میزان رواناب حوضه به ازای بهترین الگوی ورودی در مدل (الگوی شماره ۴) در روابط زیر ارائه شده است.

$$Q_t = A + 5.22\,(\tan^{-1}(SK))^{1/3} \quad (۱)$$

$$A = B + \cos(\sin 49) \quad (۲)$$

$$B = (T_{max} - T_{min}) * (0.07 P_t^{1/3}) \quad (۳)$$

که در روابط فوق Q_t معرف میزان رواناب و مقادیر پارامترهای A و B مطابق روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شوند و سایر پارامترها قبلا معرفی شده‌اند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثرات تغییر اقلیم بر رواناب در حوضه آجی‌چای در دوره ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ مورد بررسی قرار گرفت. جهت ریز مقیاس نمایی متغیرهای از مدل آماری LARS-WG همراه با مدل گردش عمومی HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، مقدار بارش در حوضه در مقایسه با دوره پایه کاهش یافت. به ازای کلیه سناریوها، بیشترین کاهش در مقدار بارش در ماه می رخ خواهد داد. همچنین مقدار دما در سطح حوضه در مقایسه با دوره پایه به طور متوسط به میزان ۲/۲ درجه سانتیگراد افزایش خواهد داشت. با بکارگیری الگوهای مختلف، از مدل برنامه-ریزی بیان ژن جهت شبیه‌سازی رواناب استفاده شد و نتایج بدست آمده حاکی از کاهش محسوس رواناب در افق ۲۰۵۵ در مقایسه با دوره پایه بود. نتایج نشان داد اگرچه روند کلی هیدروگراف در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ مشابه دوره پایه می‌باشد، اما مقدار پیک هیدروگراف به میزان ۳۳ درصد کاهش یافته است. استفاده از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به دلیل قابلیت این مدل در ارائه رابطه ریاضی بین متغیرهای موثر در مساله مورد بررسی جهت پیش‌بینی‌های آتی اهمیت بسزایی دارد. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، به نظر می‌رسد لازم است تا راهکارهای مناسب جهت مقابله احتمالی و یا سازگاری با تغییر اقلیم در سطح حوضه مورد بررسی قرار گیرند تا در صورت امکان اجرائی شوند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از نقطه نظرات سازنده داوران محترم که در ارتقای کیفیت مقاله نقش موثری ایفا کردند صمیمانه قدردانی می شود.

منابع

1-Abbaspour K.C., Faramarzi M., Ghasemi S.S. and Yang H. 2009. Assessing the impact ofclimate change on water resources in Iran.Water Resources Research, 45, W10434.
2- Aytek A., and Alp M. 2008. An application of artificial intelligence for rainfall runoff modeling. Journal of Earth Systems Science. 117 (2), 145–155.
3- Chiew F.H.S., Whetton P.H., McMahon T.A. and Pittock A.B. 1995. Simulation of the impacts of climate change on runoff and soil moisture in Australian catchments. Journal of Hydrology, 167:121-147.
4- Ferreira C. 2001. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. Complex Systems, 13 (2):87–129.
5- Ferreira C. 2006. Gene expression programming: mathematical modeling by an artificial intelligence 2nd ed. Springer-Verlag, Germany.
6- Fowler H.J., Kilsby C.G. and Stunell J. 2007. Modeling the impacts of projected future climate change on water resources in north-west England.Hydrology and Earth System Sciences, 11(3):1115-1126.
7- Hashmi M.Z., Shamseldin A.Y., and Melville B.W. 2011. Statistical downscaling of watershed precipitation using Gene Expression Programming (GEP), Environmental Modelling & Software, 26:1639-1646.
8- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Fourth Assessment Report,Climate Change.
9- Legesse D., Vallet-Coulomb C. and Gasse F. 2003. Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: case study South Central. Journal of Hydrology, 275: 67–85.
10- Racsko P., Szeidl L. and Semenov M. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. Ecological Modeling, 57:27–41.
11-Sajjad Khan M., Coulibaly P. and Dibike Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. Journal of Hydrology, 319:357–382.
12- Semenov M.A., and Barrow E.M. 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. Climate Change, 35:397–414.
13- Semenov M.A., and Brooks R.J. 1999.Spatial interpolation of the LARS-WG stochasticweather generator in Great Britain. Climate Research, 11:137–148.
14- Srikanthan R., and McMahon T.A. 2001. Stochastic generation of annual, monthly and daily climate data: a review. Hydrology and Earth Systems Sciences, 5(4):653-670.

Archive of SID

www.SID.ir

15- Traore S., and Guven A. 2012. Regional-specific numerical models of evapotranspiration using gene-expression programming interface in Sahel. Water Resources Management, 26(15):4367-4380.
16- Yates D.N., and Strzepek K.M. 1998. Modeling the Nile basin under climate change. Journal of Hydrologic Engineering, 3(2):98-108.
17- Zarghami M., Abdi A., Babaeian I., Hasanzadeh Y., and Kanani R. 2011. Impacts of climate change on runoffs in east Azerbaijan, Iran. Global and Planetary Change, 78: 137-146.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 6, Jan.-Feb. 2014, p. 1225-1234

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۹۲، ص. ۱۲۳۴-۱۲۲۵

The Impacts of Climate Change on Runoff in Watersheds (Case Study: Ajichay Watershed in East Azerbaijan Province, Iran)

H. Sanikhani[1*]- Y. Dinpajoh[2]- S. Pour Yusef[3]- S.Z. Ghavidel[4]- B. Solati[5]

Received:07-05-2013
Accepted:09-12-2013

Abstract

Changes in temperature and precipitation patterns have serious impacts on the quantity and quality of water resources, especially in arid regions such Iran. In recent years, frequent droughts have threatened the water resources in Iran. Because of the increasing demand for water, studying the impacts of climate change on water resources is necessary. In this study, the impacts of climate changes on run-off in Ajichay watershed, located in East Azerbaijn were considered. To predict the climate change based on the General Circulation Models (GCM), the LARS-WG tool for downscaling was used. By using LARS-WG, climate change in Ajichay watershed by applying HADCM3 model and three emission scenarios, A1B, A2 and B1 in 2055 horizon was investigated. The results show a rise in temperature and reduction in precipitation. In the other part of the research, for simulationofthe impacts of climate change on watershed run-off, Gene Expression Programming (GEP) was used. The results indicated that significant reduction in run-off. With regarding the results of this research, for adaptation with climate change, it is necessary to consider suitable management action in this watershed.

Keywords: Climate change, Downscaling, LARS-WG, Run-off, Gene Expression Programming

Archive of SID

1- PhD Student of Water Resources Engineering Department, Young Researchers and Elite Club, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran
(*- Corresponding Author Email: hsanikhani12@gmail.com)
2, 3- Associate Professor and MSc Graduate of Water Engineering Department, Agriculture Faculty, University of Tabriz, Iran
4- MSc Student of Water Resources Engineering Department, Agriculture Faculty, Urmia University, Iran
5- MSc Graduate of Soil Science Department, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

www.SID.ir