

تأثیر تغییر اقلیم بر بارش- رواناب حوضه آبریز صوفی چای

مسعود غریب دوست^۱، محمدعلی قربانی^{۲*} و عطیه حسینی زاده^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تبریز.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب. m_ali_ghorbani@ymail.com

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۷

چکیده

امروزه تأثیر پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به خاطر افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر بر بسیاری از سیستم‌های طبیعی به اثبات رسیده است. تمامی مدل‌های گردش عمومی اتمسفر (GCM) آینده گرم‌تری را برای کره‌ی زمین پیش‌بینی می‌کنند. وقوع چنین شرایطی می‌تواند فرآیندهای هیدرولوژیک نظیر بارش و جریان رودخانه‌ها را که یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین‌کننده آب حوضه‌ها می‌باشد تحت تأثیر قرار دهد. به دلیل تفکیک فضایی کم یا ساده سازی برخی پدیده‌های خرد مقیاس در مدل‌های گردش عمومی جو، این مدل‌ها نمی‌توانند تقریب درستی از شرایط آب و هوایی مناطق کوچک ارائه دهند، لذا بایستی خروجی آن‌ها تا حد ایستگاه هواشناسی ریزمقیاس گردد. در این تحقیق داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 با به کارگیری مدل LARS-WG طبق دو سناریوی A2 و A1B، ریزمقیاس شده و پارامترهای روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر حوضه آبریز صوفی چای برای سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ تولید گردید. برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه، از مدل‌های هوشمند شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شده است. نتایج حاکی از افزایش مقطعی بارش در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و کاهش آن در آینده‌های دورتر نسبت به اقلیم کنونی، افزایش تدریجی دمای حداقل و دمای حداکثر در هر سه دوره و کاهش میزان رواناب در آینده نسبت به حال حاضر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: بارش-رواناب، حوضه صوفی چای، ریزمقیاس نمایی، مدل LARS-WG، مدل‌های هوشمند

The Impact of climate change Effects on rainfall-runoff ifn the Sufi-Chai Basin

M. Gharibdoust¹, M. A. Ghorbani^{2*} and A. Hosseinizade³

1- M. Sc, Water Resource Engineering, Tabriz University, Iran

2* - Corresponding Author, Associate Professor, Tabriz, University of Tabriz, Faculty of Agriculture, Department of Water Engineering, Iran.

3- M. Sc, Water Resource Engineering, ShahidChamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 7 January 2015

Accepted: 24 January 2016

Abstract

Nowaday, the impact of global warming and climate change because of the increased effects of greenhouse gases in the atmosphere has been observed in many natural systems. All the general circulation models of the atmosphere predict warmer future for the earth. Hydrological processes such as rainfall and river flows as one of the main sources of water supply basins could be affected in such circumstances. Due to the low spatial resolution or simplification of some micro-scale phenomena in atmospheric general circulation models, these models cannot be employed for accurate approximation of the climate of the considered area, therefore, their output must be down scaled to the meteorological station range. In this study, the data of HadCM3 general circulation model down scaling with the use of LARS-WG model under two scenarios A2 and A1B and Parameters of daily rainfall, minimum temperature and maximum temperature of the Sufi-Chi basin generated for three periods (2011-203, 2046-2065-, 2080-2099). To assess

the effect of climate change on runoff is used from artificial neural networks and genetic programming of intelligent model. The results indicate that the rainfall will increase in 2011-2030 and will decrease in the further future. Also the maximum and minimum temperatures will gradual increase in three periods of future and the amount of runoff will decrease in future than current time.

Keywords: Rainfall-runoff, Sufi-Chi basin, Downscaling, LARS-WG, Intelligent models.

مقدمه

اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که عمدتاً به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است. مهمترین اثر تغییر اقلیم تأثیرگذاری آن بر پدیده‌های حدی جوی و اقلیمی نظیر طوفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرماهای ناپهنگام خواهد بود. معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی می‌باشد. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره بلند مدت با استفاده از سناریوهای تأییدشده هیئت بین دولتی تغییر اقلیم^۱ مدل‌سازی نمایند (میتچل^۲، ۲۰۰۳). اما ضعف عمده آنها قدرت تفکیک مکانی کم و نیز ساده‌سازی‌هایی است که برای فرایندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند (ویلی و همکاران^۳، ۱۹۹۸). برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک پایین، لازم است که خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس شوند (جانسون و همکاران^۴، ۱۹۹۶). ریزمقیاس نمایی را می‌توان به دو روش دینامیکی و آماری انجام داد. در ریزمقیاس نمایی آماری می‌توان از روش‌های متداول آماری مانند رگرسیون و همچنین مدل‌های مولد هواشناسی استفاده کرد. در روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی معادله‌های حاکم بر بسته هوا در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روش‌های تحلیل عددی از قبیل تفاضل محدود حل می‌شوند که در صورت استفاده از این روش می‌توان به نقیصه دوم مدل‌های گردش عمومی جو یعنی ساده‌سازی فرایندهای جوی نیز فائق آمد (ویلی و هریس^۵، ۲۰۰۶). در روش‌های آماری می‌توان در عرض چند ثانیه، ریزمقیاس نمایی را برای یک منطقه یا ایستگاه مشخص در چندین دهه انجام داد در حالی که روش‌های دینامیکی معمولاً با محدودیت زمانی مواجه می‌باشند. لذا استفاده از روش‌های آماری، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل موثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت و قابلیت بیشتری برخوردار است (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹). امروزه

استفاده از انواع مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری مانند MET & CLIMGEN، SDSM، LARS-WG و ROLL برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف جهان رایج می‌باشد. به جهت اینکه پارامتر رواناب جزء خروجی مدل‌های گردش عمومی نمی‌باشد لذا می‌بایست از مدل‌های هوشمند جهت برآورد آن استفاده نمود. در ارتباط با تغییر اقلیم و مدل‌سازی بارش - رواناب مطالعات زیادی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. عبدو و همکاران^۶ (۲۰۰۹) به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای دمای کمینه و بیشینه، و بارش با مدل گردش عمومی HadCM3 پرداختند و برای ریزمقیاس نمایی از روش‌های آماری تحت سناریوهای A2 و B2 استفاده کردند. سوویگنت و همکاران^۷ (۲۰۱۰) در تحقیقی به بررسی عملکرد مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM تحت سناریوهای A2 و B2 مدل گردش عمومی جو HadCM3 در حوضه الکیو شیلی پرداختند و عملکرد این مدل را قابل قبول گزارش کردند. هاشمی و همکاران^۸ (۲۰۱۰) توانایی هر دو مدل SDSM و LARS-WG برای شبیه‌سازی فرکانس بارش‌های حداکثر حاصل از شرایط فعلی حوضه کلوتا در جنوب نیوزیلند را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل از توانایی قابل قبولی برای شبیه‌سازی اقلیم برخوردار هستند. اشرف و همکاران (۱۳۹۰) با به کارگیری مدل LARS-WG داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 طبق سه سناریوی A2، B1 و A1B ریزمقیاس نمودند و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه و بیشینه استان خراسان رضوی را مورد بررسی قرار دادند. گون^۹ (۲۰۰۹) برای پیش‌بینی دبی جریان روزانه رودخانه شوپیل کیل در ایالات متحده از روش‌های برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد، وی نشان داد که هر دو روش نتایج قابل قبولی دارند ولی برنامه‌ریزی ژنتیک از دقت بالاتری برخوردار است. کیسی و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۲) فرآیند بارش - رواناب حوضه کوروکاواک واقع در شمال غرب ترکیه را به کمک سه روش شبکه عصبی مصنوعی، نروفازی و برنامه‌ریزی ژنتیک مدل‌سازی و با روش

6- Abdo *et al.*
7- Souvignet *et al.*
8 - Hashmi *et al.*
9- Guven
10- Kisi *et al.*

1- Intergovernmental Panel on Climate Change
2- Mitchell
3- Wilby *et al.*
4- Johnson *et al.*
5- Wilby and Harris

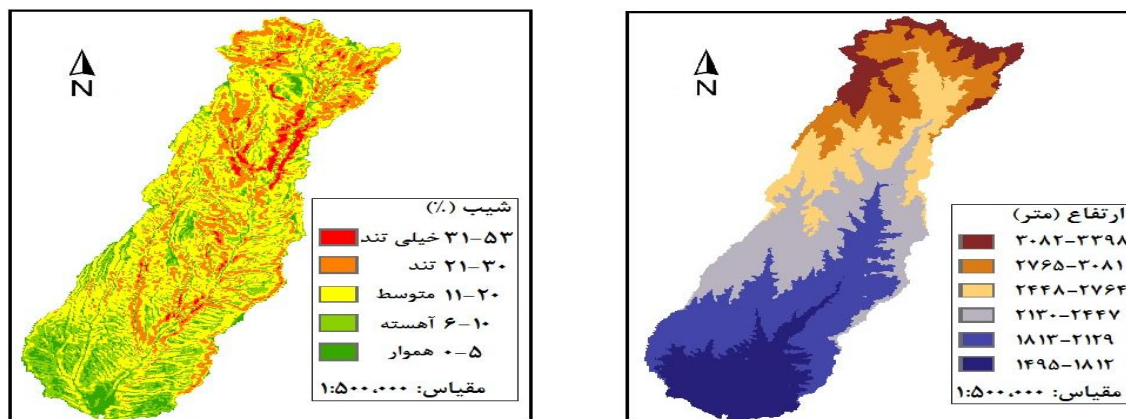
باشد. ارتفاع حوضه در بالا دست روستای علویان بین ۱۴۹۵ تا ۳۳۹۸ متر متغیر است بیش ترین شیب حوضه در قسمت شمالی آن قرار گرفته است و با حرکت به سوی جنوب از شدت آن کاسته می‌شود (شکل ۱). نزدیک ترین ایستگاه‌های هیدرومتری و سینوپتیک به حوضه صوفی چای به ترتیب ایستگاه‌های هیدرومتری تازه‌کند سدعلویان و سینوپتیک مراغه می‌باشد و پارامترهای هیدرولوژیکی مورد استفاده در این تحقیق شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر ایستگاه سینوپتیک مراغه در بازه زمانی (۱۹۸۳/۰۶/۰۱-۲۰۰۸/۱۲/۳۱) و نیز مقادیر دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری تازه‌کند در بازه زمانی (۱۹۸۳/۰۶/۰۱-۲۰۰۷/۰۳/۲۰) می‌باشد. مشخصات آماری پارامترهای مذکور در جدول (۱) ارائه شده است.

رگرسیون خطی مورد مقایسه قرار دادند که نتایج آنها حاکی از برتری مدل‌های هوشمند نسبت به رگرسیون خطی بود. در این تحقیق خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 با استفاده از مدل LARS-WG تحت سناریوهای A2 و A1B ریزمقیاس شده و به کمک مدل‌های هوشمند به ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر بارش- رواناب حوضه صوفی چای پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه و داده‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق حوضه آبریز صوفی چای به عنوان یکی از زیر حوضه های اصلی سد علویان واقع در شمال غرب ایران و حد فاصل عرض های شمالی ۳۷° ۱۴' ۴۳" تا ۳۷° ۱۲' ۴۴" و طول های شرقی ۴۵° ۵۶' ۲۹" تا ۴۶° ۲۶' ۵۶" می



شکل ۱- نقشه رقوم ارتفاعی و نقشه تقسیمات شیب

جدول ۱- مشخصات آماری مقادیر روزانه دبی، بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر حوضه آبریز صوفی چای

ضریب چولگی	انحراف معیار	واریانس	مینیمم	ماکزیمم	میانگین سالانه	
۳/۰۵	۵/۲۷	۲۷/۷۷	۰/۳۲	۵۵/۰۵	۳/۶۸	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
۵/۸۱	۳/۱۰	۹/۶۱	۰	۴۲	۳۴۰/۰۲	بارش (میلی‌متر)
-۰/۱۵	۸/۸۹	۷۹/۱۲	-۲۰/۶	۲۸/۲	۷/۸۲	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)
-۰/۱۵	۱۱/۱۹	۴۲ ۱۲۵	-۶/۴	۴۰/۴	۱۸/۵۳	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)

مدل ریزمقیاس نمای LARS-WG

مدل LARS-WG^۱ یکی از مشهورترین الگوهای مولد داده های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی پایه و آینده به کار می رود. نسخه اولیه این مدل در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ای ارزیابی ریسک کشاورزی در کشور مجارستان ارائه شد و کارایی این مدل توسط سیمونف در ۱۸ ایستگاه هواشناسی واقع در آمریکا، اروپا و آسیا ارزیابی گردید. هسته اصلی این مدل استفاده از زنجیره مارکف است که به کرات از آن برای مدل سازی رخداد بارش استفاده شده است. در واقع هدف اصلی از کاربرد و ایجاد مدل LARS-WG برای برطرف نمودن محدودیت های زنجیره مارکف است. هرچند که زنجیره مارکف یک روش مرسوم برای مدل سازی پدیده بارش می باشد ولی قادر نیست حداکثر طول دوره خشکسالی را مدل سازی نماید، در حالی که این پارامتر در ارزیابی محصولات کشاورزی بعضی مناطق دنیا از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در این مدل وقوع بارش به صورت سری های تر و خشک مدل می شود، به طوری که سری تر به روزهایی با بارش بیش از صفر میلی متر تعریف می شود و طول هر سری به صورت تصادفی از طریق توزیع نیمه تجربی تر و خشک اختصاص یافته به آغاز هر ماه تعیین می شود. برای روزهای تر، مقادیر بارش از طریق توزیع نیمه تجربی ای تعیین می شود که مربوط به بارشی می باشد که از طول سری های تر یا بارش روزهای قبلی مستقل می باشد. درجه حرارت های کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل سازی می شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می رود. مقادیر حاصل از تفاضل مقادیر میانگین از مقدار مشاهداتی در تحلیل خود همبستگی زمانی داده های حداقل و حداکثر مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به تغییر پذیری متغیر تابش خورشیدی در بازه های تر و خشک، از توزیع های نیمه تجربی مجزایی برای توصیف این پارامتر در طول بازه های تر و خشک استفاده شده و به صورت مستقل از دما مدل می شود (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲). فرآیند مدل سازی به کمک مدل LARS-WG از سه بخش اصلی تشکیل شده که عبارتند از: واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه سازی داده های هواشناسی دهه های آینده. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی کردن، فایلی است که مشخص کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می باشد، این فایل با استفاده از داده های روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر حوضه صوفی چای و با در نظر گرفتن یک دوره ۲۵ ساله به عنوان دوره پایه تهیه شده و مدل بر اساس

آن اجرا گردیده است. ارزیابی مدل LARS-WG با مقایسه بین داده های گذشته و داده های تولید شده توسط مدل انجام می شود که نتایج مربوط به ارزیابی در قسمت بحث و نتایج آورده شده است. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG در شبیه سازی داده های هواشناسی، تولید پارامترهای روزانه مذکور برای سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ انجام گرفته است. در این تحقیق از مدل گردش عمومی HadCM3 به کمک ریزمقیاس نمای مدل LARS-WG تحت دو سناریوی A2 و A1B استفاده شده است.

مدل های پیش بینی رواناب

مدل LARS-WG توانایی تولید رواناب برای آینده را ندارد و تنها به تولید پارامترهای روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تشعشع برای دوره های مد نظر آینده می پردازد. لذا از مدل های هوشمند برای تخمین رواناب با استفاده از پارامترهای تولیدی مدل LARS-WG برای آینده می توان بهره جست. بدین منظور در این تحقیق از مدل های هوشمند شبکه های عصبی مصنوعی و برنامه ریزی ژنتیک استفاده می شود.

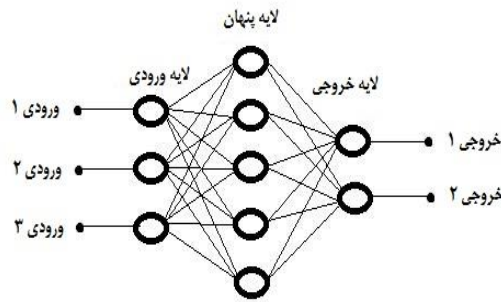
شبکه عصبی مصنوعی

شبکه های عصبی از عناصر عملیاتی ساده ای ساخته می شوند که به صورت موازی در کنار هم عمل می کنند و مدل ساده شده ای از عقل انسان هستند. این عناصر از سیستم های عصبی زیستی الهام گرفته شده اند. شبکه عصبی مصنوعی با داده های موجود طی فرآیند یادگیری آموزش دیده و برای پیش بینی در آینده مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از ساده ترین و در عین حال کارآمدترین چیدمان های پیشنهادی برای استفاده در مدل سازی عصب های واقعی، مدل پرسپترون چند لایه یا به اختصار MLP^۳ می باشد که از یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک یا چند لایه پنهان تشکیل شده است. در این ساختار تمام نرون های یک لایه به تمام نرون های لایه بعد متصل می باشند. در شکل (۲) نمونه ای از شبکه پرسپترون چند لایه (با یک لایه پنهان) مشاهده می گردد.

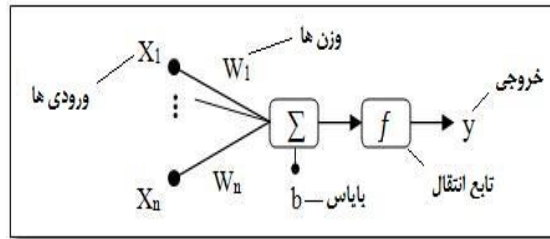
همان طور که در شکل (۲) مشاهده می شود روی هر کدام از لایه ها تعدادی نرون به عنوان واحدهای پردازنده وجود دارند که با اتصالاتی وزن دار به یکدیگر متصل می شوند. نحوه اتصال نرون ها و چگونگی تنظیم پارامترهای آنها که از آن به عنوان الگوریتم یادگیری یاد می شود، منجر به نتایج متفاوتی از شبکه می شود. طی فرآیند آموزش، این وزن ها و مقادیر ثابتی که با آنها جمع می شوند و اصطلاحاً با یاس^۴ نامیده می شوند، به طور پی درپی تغییر می کنند تا اینکه خطا به کمترین مقدار خود برسد.

3- Multi Layers Perceptron
4 - Bias

1- Long Ashton Research Station Weather Generator
2- Semenov and Barrow



شکل ۲- شبکه پرسپترون چند لایه با یک لایه پنهان



شکل ۳- مدل غیر خطی یک نرون مصنوعی

برنامه کامپیوتری ارائه می‌کند. در این روش در ابتدای فرآیند، هیچ‌گونه رابطه تابعی در نظر گرفته نشده و این روش قادر به بهینه‌سازی ساختار مدل و مؤلفه‌های آن می‌باشد. تفاوت اساسی موجود بین برنامه‌ریزی ژنتیک و الگوریتم ژنتیک به طبیعت هر یک از افراد بر می‌گردد، به نحوی که افراد در الگوریتم ژنتیک، ردیف‌های خطی با طول ثابت می‌باشند (کروموزوم‌ها) ولی در برنامه‌ریزی ژنتیک، همان شاخه‌های مجزا می‌باشند. همچنین در برنامه‌ریزی ژنتیک بر ساختار درختی مجموعه‌ها تأکید می‌شود ولی الگوریتم ژنتیک، بر اساس سیستم ارقام دودویی عمل می‌نماید. در تحقیق حاضر از برنامه GeneXproTools برای توسعه و اجرای مدل‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده به عمل آمده است. برنامه یاد شده بر اساس برنامه‌ریزی صریح ژنتیک^۵ استوار است. برنامه‌ریزی صریح ژنتیک ویرایش جدیدی از برنامه‌ریزی ژنتیک می‌باشد که به استنتاج برنامه‌های رایانه‌ای با اندازه‌ها و شکل‌های مختلف می‌پردازد. یکی از نقاط قوت این برنامه آن است که معیار تنوع ژنتیکی بسیار ساده بوده و لذا عملگرهای ژنتیک در سطح کروموزومی عمل می‌نمایند. همچنین یکی دیگر از نقاط قوت این روش، عبارت از طبیعت منحصر به فرد چند ژنه آن است که زمینه ارزیابی مدل‌های پیچیده‌ای را که شامل چندین زیر مدل می‌باشند فراهم می‌آورد (فریرا^۶، ۲۰۰۱). برای مدل‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک، ابتدا پارامترهای موارد ذیل باید تعیین شوند: ۱- مجموعه ترمینال‌ها (شامل متغیرهای مسئله و اعداد ثابت تصادفی)، ۲- مجموعه عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها، ۳-

مدل عمومی شبکه‌های پرسپترون، شبکه‌های جلو رونده^۱ با روال آموزش انتشار به عقب^۲ است. شبکه‌های جلو رونده شبکه‌هایی هستند که ورودی‌های لایه اول، نرون‌های آن به لایه بعدی متصل بوده و در هر سطح این مسئله صادق بوده تا به لایه خروجی برسد. روال انتشار به عقب بدین معنی است که پس از مشخص شدن خروجی شبکه، ابتدا وزن‌های لایه آخر تصحیح شده و بعد به ترتیب اوزان لایه‌های قبل تصحیح می‌شوند. شکل (۳) یک مدل غیرخطی از یک نرون مصنوعی را نشان می‌دهد.

فرآیند صورت گرفته توسط این نرون را می‌توان از نظر ریاضی به صورت رابطه (۱) بیان نمود:

$$y = f(\sum_{i=1}^n W_i X_i + b) \quad (1)$$

که در آن X_i : ورودی (خروجی لایه نرون قبل) و W_i : وزن متناظر با هر ورودی، b : بایاس، f : تابع انتقال و y : خروجی نرون است (یو و جنکیو^۴، ۲۰۰۲).

برنامه‌ریزی ژنتیک

برنامه‌ریزی ژنتیک تعمیم یافته روش الگوریتم ژنتیک می‌باشد که برای اولین بار توسط جان کزا^۴ (۱۹۹۲) بر اساس تئوری داروین ارائه شد. برنامه‌ریزی ژنتیک یک روش برنامه‌ریزی خودکار می‌باشد که راه حل مسئله را با استفاده از

- 1- Feed Forward
- 2- Back Propagation Training
- 3- Yu HH, Jenq
- 4- Koza

5- GEP

6- Ferreira

هستند یا نه مقادیر t و احتمال آن برای هر ماه محاسبه شده است. در جدول (۳) مقادیر بارش واقعی، مدل شده، انحراف معیار، مقادیر t و F دیده می‌شود با توجه به اینکه تعداد سال‌های مورد استفاده در تولید داده توسط LARS-WG برای حوضه صوفی چای ۲۵ سال بوده است، لذا مطابق جدول t -student و مقایسه t محاسباتی با t بحرانی، مدل‌سازی بارش در همه‌ی ماه‌ها در سطح معنی‌داری پنج درصد قابل قبول می‌باشد. آزمون F به منظور بررسی این موضوع که داده‌های دو گروه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارای توزیع نرمال یکسان با واریانس مشابه هستند یا نه، به کار می‌رود. در واقع آزمون F برای معنی‌دار بودن اختلاف بین واریانس‌های دو نمونه انجام می‌شود. اگر مقادیر F محاسبه شده از مقدار بحرانی در جدول بیشتر باشد، اختلاف‌ها معنی‌دار خواهد بود بر این اساس تمامی مقادیر F موجود در جدول حاکی از آن است که واریانس دو گروه مشاهداتی و مدل‌سازی از یک توزیع آماری تبعیت می‌کنند.

• دمای حداقل و حداکثر

بررسی مقادیر کای-دو توزیع دماهای حداقل و حداکثر روزانه نشان داد که تمامی مقادیر در سطح پنج درصد قابل قبول هستند و مدل LARS-WG از توانمندی مطلوبی در مدل‌سازی دمای حداقل و حداکثر روزانه همانند بارش برخوردار می‌باشد. همچنین با مقایسه مقادیر t محاسباتی و بحرانی دمای حداقل و حداکثر برای تمامی ماه‌ها آشکار گردید که میانگین مقادیر مدل شده و مشاهداتی از یک جامعه آماری هستند. علاوه بر آن در شکل (۵) توانمندی مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر ماهانه و انحراف معیار آنها نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقادیر مدل شده و مشاهداتی تطابق بسیار خوبی با همدیگر دارند.

نتایج مدل HadcM3 تحت سناریوهای A2 و A1B

با در نظر گرفتن بازه زمانی ۲۰۰۸-۱۹۸۳ به عنوان دوره‌ی پایه ورودی به مدل LARS-WG، پارامترهای روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر برای سه دوره در آینده بر اساس مدل HadcM3 تحت سناریوهای A2 و A1B تولید گردید. در جدول‌های (۴) و (۵) تغییرات میانگین سالانه پارامترهای مذکور نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو آورده شده است. در دوره پایه (۲۰۰۸-۱۹۸۳) متوسط بارش دوره حدود ۳۴۰ میلی‌متر، متوسط دمای حداقل روزانه ۷/۸۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای حداکثر روزانه ۱۸/۵۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

انتخاب معیار مناسب (از قبیل ضریب همبستگی، میانگین مربعات خطا و...)، برای سنجش برازش فرمول‌ها، ۴- تعیین پارامترهای کنترل‌کننده اجرای برنامه (اندازه جمعیت، احتمال مربوط به بکارگیری عملگرهای ژنتیکی و جزئیات دیگر مربوط به اجرای برنامه)، ۵- معیار پایان و ارائه نتایج اجرای برنامه (مثل تعداد تولید جمعیت جدید و یا تعیین یک مقدار مشخص برای برازش فرمول‌ها که اگر میزان برازش برابر یا بیشتر از آن مقدار شد، اجرا متوقف شود).

معیارهای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی رواناب

در این تحقیق به دلیل استفاده از ساختارهای مختلف ورودی به مدل‌های هوشمند، برای ارزیابی مدل بهینه در برآورد رواناب از دو معیار زیر استفاده شده است:

جزر میانگین مربعات خطا^۱:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{oi} - x_{pi})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

ضریب همبستگی^۲:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{oi} - \bar{x}_o)(x_{pi} - \bar{x}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{oi} - \bar{x}_o)^2 \sum_{i=1}^n (x_{pi} - \bar{x}_p)^2}} \quad (3)$$

نتایج و بحث

نتایج مدل LARS-WG

• بارش

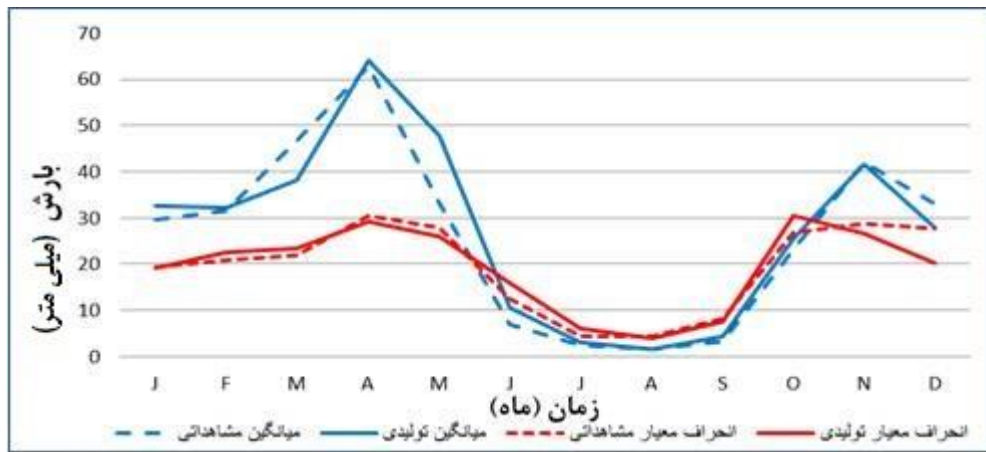
در مدل LARS-WG. برای سنجش اختلاف بین دو جامعه مدل شده و واقعی از آزمون "کای-دو"^۳ استفاده می‌شود. در این آزمون مربع اختلاف بین فراوانی طبقات دو جامعه با هم مقایسه شده و مقدار کای-دو محاسبه می‌شود، در صورتی که اختلاف بین آنها کوچک باشد، می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف معنی‌داری بین دو جامعه آماری (مدل شده و واقعی) وجود ندارد. در جدول (۲) مقادیر کای-دو توزیع بارش‌های روزانه ماه‌های سال محاسبه و آورده شده است. براساس این جدول نتایج حاصله در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند، بنابراین توانمندی مدل در ایجاد داده‌های بارش ماهانه بررسی شده و مورد تأیید قرار گرفته است.

در شکل (۴) میانگین بارش واقعی و شبیه‌سازی شده به همراه انحراف معیار آنها رسم شده است که نشان‌دهنده تطابق خوب میانگین و انحراف معیار بارش واقعی و مدل‌سازی شده می‌باشد. به منظور بررسی این موضوع که آیا داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش ماهانه از یک جامعه آماری

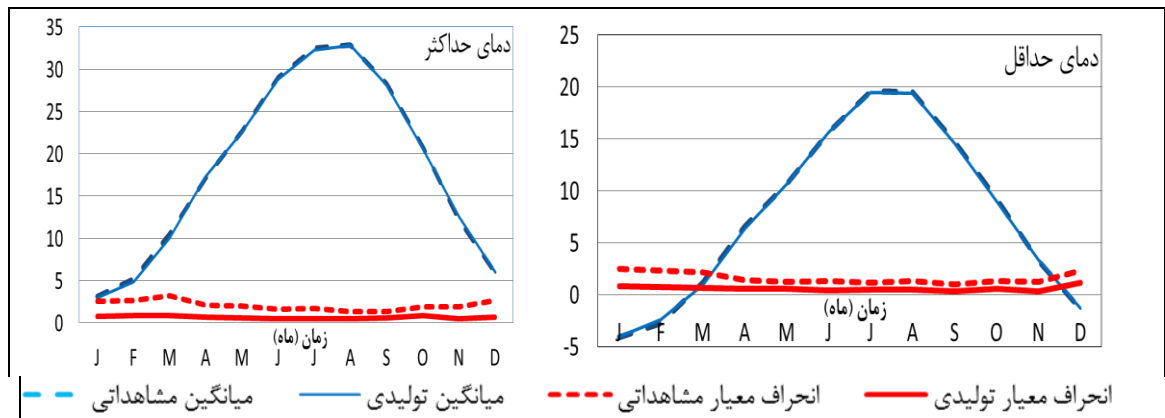
جدول ۲- مقادیر آزمون کای- دو برای توزیع بارش‌های روزانه ماه‌های مختلف

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	م	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۰/۰۹۶	۰/۰۵۰	۰/۱۳۲	۰/۰۵۹	۰/۰۳۸	۰/۱۷۵	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۲۶۱	۰/۱۲۴	۰/۰۴۷	۰/۱۰۴

مقدار کای- دو



شکل ۴- مدل سازی موفق بارش ماهانه ایستگاه مراغه توسط مدل LARS-WG



شکل ۵- مدل سازی موفق دمای حداقل و حداکثر ماهانه (سانتی گراد) در ایستگاه مراغه توسط LARS-WG

غریب دوست و همکاران: برآورد میزان تاثیر تغییر اقلیم بر بارش - رواناب...

جدول ۳- مقادیر بارش واقعی و مدل شده (میلی متر) ، انحراف معیار (میلی متر) ، مقادیر F و T

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
۲۹/۶۴	۳۱/۴۴	۴۶/۸	۶۲/۷۸	۳۳/۳	۶/۹	۲/۵	۱/۵۵	۳/۳	۲۳/۲	۴۲	۳۳/۱۲	بارش مشاهداتی
۱۹/۴۱	۲۰/۸۸	۲۱/۹۵	۳۰/۴۵	۲۷/۹۶	۱۲/۴۲	۴/۳۸	۴/۴۰	۸/۲۰	۲۶/۸۶	۲۸/۶۷	۲۷/۵۷	انحراف معیار
۳۲/۶	۳۲/۲۶	۳۸/۱۲	۶۴/۰۴	۴۷/۸۸	۱۰/۵۸	۳/۱۵	۱/۶۱	۴/۲۷	۲۵/۵	۴۱/۶۷	۲۷/۸۹	بارش مدل
۱۹/۱۳	۲۲/۴۵	۲۳/۴۹	۲۹/۱۶	۲۵/۸۶	۱۵/۸۳	۶/۱۲	۳/۹۰	۷/۴۹	۳۰/۵۳	۲۶/۵۸	۲۰/۱	انحراف معیار
-۰/۵۱	-۰/۱۲	۱/۳۷	-۰/۱۴	-۱/۷۹	-۰/۸۸	-۰/۴۲	-۰/۰۴	-۰/۴۱	-۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۷۱	T
-۰/۰۳	۱/۱۵	۱/۱۴	۱/۰۹	۱/۱۶	۱/۶۲	۱/۹۴	۱/۲۷	۱/۲	۱/۲۹	۱/۱۶	۱/۸۸	F

جدول ۴- تغییرات میانگین سالانه اقلیم در ایستگاه مراغه (مدل HadcM3 با سناریو A2)

تغییرات در بارش سالانه میلی متر (درصد)	تغییرات دمای حداقل (درجه سانتی گراد)	تغییرات دمای حداکثر (درجه سانتی گراد)	دوره مورد مطالعه (میلادی)
+ ۹/۱ (۲/۶۷)	+ ۰/۷	+ ۰/۶	۲۰۱۱ - ۲۰۳۰
- ۲۱/۸ (۶/۴۱)	+ ۲/۱	+ ۲/۰	۲۰۴۶ - ۲۰۶۵
- ۵۷/۹ (۱۷/۰۲)	+ ۴/۶	+ ۴/۵	۲۰۸۰ - ۲۰۹۹

جدول ۵- تغییرات میانگین سالانه اقلیم در ایستگاه مراغه (مدل HadcM3 با سناریو A1B)

تغییرات در بارش سالانه میلی متر (درصد)	تغییرات دمای حداقل (درجه سانتی گراد)	تغییرات دمای حداکثر (درجه سانتی گراد)	دوره مورد مطالعه (میلادی)
+ ۱۱/۷۹ (۳/۴۶)	+ ۰/۵۴	+ ۰/۴۳	۲۰۱۱ - ۲۰۳۰
- ۱۱/۱۹ (۳/۲۹)	+ ۲/۳۳	+ ۲/۲۲	۲۰۴۶ - ۲۰۶۵
- ۳۶/۹۵ (۱۰/۸۶)	+ ۳/۷۳	+ ۳/۶۸	۲۰۸۰ - ۲۰۹۹

نتایج مدل های پیش بینی رواناب

برای مدل سازی به کمک مدل های پیش بینی کننده بایستی پارامترهای ورودی و خروجی مدل به درستی مشخص شوند. در تحقیق حاضر داده های مربوط به میزان رواناب روزانه ایستگاه هیدرومتری تازه کند واقع در حوضه آبریز صوفی چای، به عنوان خروجی مدل های پیش بینی بوده و از داده های بارندگی، دمای حداقل و دمای حداکثر با زمان تاخیرهای مختلف به عنوان ورودی استفاده شده است. در هر دو مدل ۸۰ درصد داده ها جهت آموزش و ۲۰ درصد بقیه برای صحت سنجی می باشد. به دلیل مقیاس روزانه داده های مورد استفاده در این تحقیق، پارامترهای ورودی و خروجی از ضریب همبستگی پایینی برخوردار بودند، لذا برای افزایش دقت مدل های هوشمند در تخمین رواناب تغییرات آورده شده در جدول (۶) بر روی داده ها اعمال گردید.

نتایج شبکه عصبی مصنوعی

برای ایجاد شبکه ای مطلوب (دقت بالا و خطای کم) میان پارامترهای ورودی و خروجی دوره پایه، الگوهای مختلفی (جدول ۷) به عنوان ورودی به شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شده است. جهت انتخاب بهترین مدل، مقادیر معیارهای نیکویی برازش در دو مرحله آموزش و صحت سنجی، برای چهار مدل مورد استفاده، در جدول (۸) آورده شده است. به منظور برآورد رواناب دوره های آتی از مدل شماره چهار، به علت نتایج بهتر (ضریب همبستگی بالاتر و خطای کمتر) استفاده شده است. مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر که به وسیله مدل HadcM3 تحت دو سناریو A1B و A2 برای دوره های مذکور در آینده تولید شده اند با ۷ تاخیر به عنوان ورودی به شبکه داده شده و مقادیر روزانه رواناب به عنوان خروجی توسط شبکه تولید می شوند. در جدول های (۹) و (۱۰) نتایج مربوط به هر دو سناریو ارائه شده است.

جدول ۶- تغییرات اعمال شده روی داده ها برای مدل سازی رواناب

$$p(t') = Sum(p_t, \dots, p_{t-20}) \quad T_{max}(t') = Average(T_{max}_t + \dots + T_{max}_{t-20})$$

$$R(t') = R(t) \quad T_{min}(t') = Average(T_{min}_t + \dots + T_{min}_{t-20})$$

جدول ۷- مدل های مختلف شبکه عصبی مصنوعی بررسی شده در این تحقیق

الگوی ورودی	ساختار مدل
۱	$R = f[p(t'), p(t' - 1); T_{max}(t'), T_{max}(t' - 1); T_{min}(t'), T_{min}(t' - 1)]$
۲	$R = f[p(t'), \dots, p(t' - 3); T_{max}(t'), \dots, T_{max}(t' - 3); T_{min}(t'), \dots, T_{min}(t' - 3)]$
۳	$R = f[p(t'), \dots, p(t' - 5); T_{max}(t'), \dots, T_{max}(t' - 5); T_{min}(t'), \dots, T_{min}(t' - 5)]$
۴	$R = f[p(t'), \dots, p(t' - 7); T_{max}(t'), \dots, T_{max}(t' - 7); T_{min}(t'), \dots, T_{min}(t' - 7)]$

جدول ۸- تحلیل آماری دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی

مرحله	معیار نیکویی برازش	الگوی ورودی
صحت سنجی	آموزش	
۰/۶۹۱۷	۰/۷۱۱۶	۱ ضریب همبستگی
۰/۱۵۸۸	۰/۱۴۸۹	۱ جذر میانگین مربعات خطا
۰/۷۲۰۸	۰/۷۴۹۱	۲ ضریب همبستگی
۰/۱۵۳۱	۰/۱۴۲۳	۲ جذر میانگین مربعات خطا
۰/۷۸۱۲	۰/۸۰۹۶	۳ ضریب همبستگی
۰/۱۳۷۰	۰/۱۱۸۸	۳ جذر میانگین مربعات خطا
۰/۸۴۷۴	۰/۸۷۸۱	* ۴ ضریب همبستگی
۰/۰۹۸۵	۰/۰۹۳۱	* ۴ جذر میانگین مربعات خطا

غریب دوست و همکاران: برآورد میزان تاثیر تغییر اقلیم بر بارش - رواناب...

محاسبات کم و زمان رسیدن به یک برآزش مناسب طولانی می‌شود، به همین دلایل پارامترهای ورودی الگوهای ارائه شده در جدول (۱۱) نهایتاً دارای یک تاخیر هستند. نتیجه ارزیابی الگوهای متفاوت ورودی در جدول (۱۲) قابل ملاحظه می‌باشد.

نتایج برنامه ریزی ژنتیک
 نرم افزار GeneXprotools مورد استفاده برای برنامه‌ریزی ژنتیک از نظر تعداد پارامترهای ورودی با محدودیت روبه‌رو بوده و با افزایش تعداد پارامترهای ورودی سرعت

جدول ۹- تغییرات میانگین سالانه رواناب حوضه صوفی چای (بر اساس مدل HadcM3 با سناریو A2)

تغییرات در رواناب سالانه مترمکعب بر ثانیه (درصد)	دوره مورد مطالعه (میلادی)
-۰/۴۲ (۱۱/۴)	۲۰۱۱ - ۲۰۳۰
-۰/۷۳ (۱۹/۸)	۲۰۴۶ - ۲۰۶۵
-۱/۴۱ (۳۸/۳)	۲۰۸۰ - ۲۰۹۹

* میانگین سالانه رواناب دوره پایه ۳/۶۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

جدول ۱۰- تغییرات میانگین سالانه رواناب حوضه صوفی چای (بر اساس مدل HadcM3 با سناریو A1B)

تغییرات در رواناب سالانه مترمکعب بر ثانیه (درصد)	دوره مورد مطالعه (میلادی)
-۰/۳۹ (۱۰/۵)	۲۰۱۱ - ۲۰۳۰
-۰/۷۱ (۱۹/۲)	۲۰۴۶ - ۲۰۶۵
-۰/۸۹ (۲۴/۱)	۲۰۸۰ - ۲۰۹۹

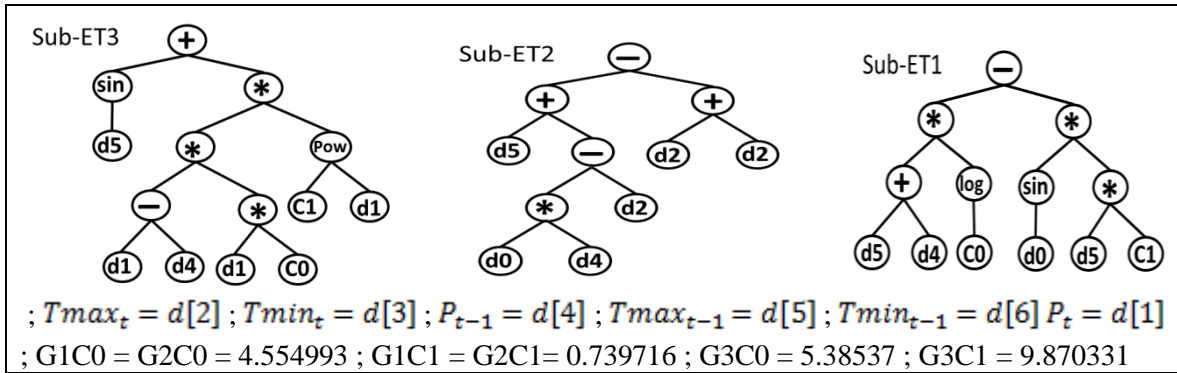
* میانگین سالانه رواناب دوره پایه ۳/۶۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

جدول ۱۱- الگوهای مختلف مورد استفاده در مدل برنامه‌ریزی ژنتیک

الگو ورودی	ساختار مدل
۱	$R = f[p(t); Tmax(t); Tmin(t)]$
۲	$R = f[p(t), p(t - 1); Tmax(t); Tmin(t)]$
۳	$R = f[p(t), p(t - 1); Tmax(t), Tmax(t - 1); Tmin(t), Tmin(t - 1)]$

جدول ۱۲- تحلیل آماری دقت مدل برنامه‌ریزی ژنتیک

الگو ورودی	معیار نیکویی برآزش	مرحله
۱	ضریب همبستگی	آموزش
	جذر میانگین مربعات خطا	صحت سنجی
۲	ضریب همبستگی	آموزش
	جذر میانگین مربعات خطا	صحت سنجی
۳	ضریب همبستگی	آموزش
	جذر میانگین مربعات خطا	صحت سنجی



شکل ۶- بیان درختی مدل پیش بینی رواناب روزانه در ایستگاه مورد مطالعه

جدول ۱۳- تغییرات میانگین سالانه رواناب حوضه صوفی چای (بر اساس مدل Hadcm3 با سناریو A2).

دوره مورد مطالعه (میلادی)	تغییرات در رواناب سالانه مترمکعب بر ثانیه (درصد)
۲۰۱۱ - ۲۰۳۰	-۰/۶۶ (۱۷/۹)
۲۰۴۶ - ۲۰۶۵	-۰/۷۲ (۱۹/۵)
۲۰۸۰ - ۲۰۹۹	-۰/۸۶ (۲۳/۳)

جدول ۱۴- تغییرات میانگین سالانه رواناب حوضه صوفی چای (بر اساس مدل Hadcm3 با سناریو A1B).

دوره مورد مطالعه (میلادی)	تغییرات در رواناب سالانه مترمکعب بر ثانیه (درصد)
۲۰۱۱ - ۲۰۳۰	-۰/۶۶ (۱۷/۹)
۲۰۴۶ - ۲۰۶۵	-۰/۷۱ (۱۹/۲)
۲۰۸۰ - ۲۰۹۹	-۰/۷۴ (۲۰/۱)

نتیجه گیری

امروزه پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به خاطر افزایش گازهای گلخانه ای امری اثبات شده است. با توجه به اهمیت تغییر اقلیم و تاثیر آن بر فرآیندهای هیدرولوژیکی نظیر بارش و جریان رودخانه‌ها به عنوان یکی از اصلی ترین منابع تأمین کننده آب حوضه‌ها هدف از تحقیق حاضر برآورد میزان تاثیر تغییر اقلیم بر بارش- رواناب حوضه صوفی چای می‌باشد. در این تحقیق مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر حوضه صوفی چای مابین سالهای ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۸ به عنوان دوره پایه مدل LARS-WG در نظر گرفته شد و با استفاده از مدل HadCM3 تحت دو سناریو A2 و A1B این پارامترها برای دوره‌های آینده تولید گردید که نتایج حاکی از افزایش مقطعی بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ (۲/۶ درصد در سناریو A2 و ۳/۴ درصد در سناریو A1B) و کاهش آن در آینده‌های دورتر (۱۷ درصد در سناریو A2 و ۱۰/۸ درصد در سناریو A1B) نسبت به اقلیم کنونی، و افزایش تدریجی دمای حداقل و دمای حداکثر در آینده بوده که با مطالعات قبلی صورت گرفته در این منطقه همچون تحقیق ضرغامی و همکاران (۲۰۰۹) منطبق می‌باشد. نتایج هر دو مدل هوشمند نشان دهندهی کاهش میزان رواناب در آینده نسبت به حال حاضر می‌باشد. شبکه عصبی براساس سناریو A2 کاهشی معادل با ۳۸ درصد و بر اساس سناریو

به منظور برآورد رواناب روزانه دوره‌های آتی از الگوی شماره سه، به دلیل نتایج بهتر (ضریب همبستگی بالاتر و خطای کمتر) استفاده می‌شود. شکل ریاضی مدل حاصل به منظور پیش بینی دبی جریان رودخانه صوفی چای در مقیاس زمانی روزانه به صورت زیر می‌باشد:

$$Q_t = 0.6584 * [Tmin_{t-1} + Tmax_{t-1}] - [0.7397 * \sin P_t * Tmin_{t-1}] + [(P_t * Tmax_{t-1}) + Tmin_{t-1} - Tmin_t] + [-2Tmin_t + \sin(Tmin_{t-1})] + [Tmax_t - Tmax_{t-1}] * [5.3853 * Tmax_t * (9.8703)^{Tmax_t}]$$

(۴)

همچنین مدل درختی حاصل از بهترین الگوی حاصل از برنامه‌ریزی ژنتیک برای پیش بینی دبی جریان روزانه ایستگاه تازه کند در شکل (۶) نشان داده شده است. تغییرات مقدار میانگین سالانه رواناب تولیدی برنامه‌ریزی ژنتیک نسبت به دوره پایه بر اساس رابطه (۸) و خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریو A2 و A1B برای دوره‌های آینده مطابق جدول‌های (۱۳) و (۱۴) می‌باشد.

غریب دوست و همکاران: برآورد میزان تاثیر تغییر اقلیم بر بارش - رواناب...

محاسبه‌ی بسیار کم شبکه عصبی می‌توان چنین نتیجه گرفت که شبکه عصبی مصنوعی روشی مناسب تر و بهتر از برنامه‌ریزی ژنتیک برای مدل سازی رواناب در آینده می‌باشد.

A1B کاهش می‌مابد با ۲۴ درصد را برای آینده دور برآورد نمود. برنامه‌ریزی ژنتیک نیز بر اساس سناریو A2 کاهش ۲۳ درصدی و بر اساس سناریو A1B کاهش برابر با ۲۰ درصد را پیش بینی نمود. که با توجه به دقت بالاتر، خطای پایین‌تر و زمان

منابع

- ۱- اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ. و ک. داوری. ۱۳۹۰. پیش بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریز مقیاس نمای آماری داده های مدل HadCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۴): ۹۵۲-۹۴۰.
- ۲- عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، بابائیان، ا.، اثمري، م. و ر. برهانی. ۱۳۸۹. پیش بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمای آماری خروجی مدل ECHO-G. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲ (۲۴): ۲۳۳-۲۱۸.
- 3- Abdo, K.S., Fiseha, B.M., Rientjes, T.H.M., Gieske, A.S.M. and A.T. Haile. 2009. Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in lake Tana Basin. Ethiopia. Hydrological Processes, 23(26): 3661-3669.
- 4- Ferreira, C. 2001. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. Complex Systems, 13(2): 87-129.
- 5- Guven, A. 2009. Linear genetic programming for time-series modeling of daily flow rate. Journal of Earth System Science, 118(2): 157-173.
- 6- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y. and B.W. Melville. 2010. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and down scaling of extreme precipitation events in a watershed. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 25: 475-484.
- 7- Johnson, G.L., Hanson, C.L., Hardegree, S.P. and E.B. Ballard. 1996. Stochastic weather simulation: over view and analysis of two Commonly used model. Journal of Applied meteorology, 35: 1878-1896.
- 8- Kisi, O., Shiri, J. and M. Tombul. 2012. Modeling rainfall – runoff process using soft computing techniques. Computers & Geosciences, 23:412-422.
- 9- Koza, J.R. 1992. Genetic programming on the programming of computers by means of natural selection. MIT Press, Cambridge.
- 10-Mitchell, T.D. 2003. Pattern scaling : An examination of accuracy of the technique for describing future climates. Climate Change, 60:217-242.
- 11-Semenov, M.A. and E.M. Barrow. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0.
- 12-Souvignet, M., Gaese, H., Ribbe, L., Kretschmer, N. and R. Oyarzun. 2010. Statistical downscaling of precipitation and temperature in north-central Chile: an assessment of possible climate change impacts in an arid Andean watershed. Hydrological Sciences Journal, 55(1): 41-57.
- 13-Wilby, L.R., Hay, L.E. and G.H. Leavesley. 1998. A comparison of downscaled and raw GCM output: Implications for climate change scenarios in the San Juan River Basin, Colorado. Journal of Hydrology, 225: 67-91.
- 14-Wilby, R.L. and I. Harris. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research, 42(2): 1-10.
- 15- Yu HH and N.H. Jenq. 2002. Handbook of Neural Network Signal Processing. CRC Press.

- 16- Zarghami, M., Hassanzadeh, Y., Babaeian, I. and R. Kanani. 2009. Climate change and water resources vulnerability; Case study of Tabriz City. In SENSE symposium on climate proofing cities (1).