



تأثیر تغییر اقلیم بر روند نوسانات دبی حوضه‌ی آبخیز گرگانرود - قره‌سو با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو

مهناز کرمی جوزانی^۱، علیرضا ایلدرمی^{۲*}، حمید نوری^۳، عبدالم... پیرنیا^۴

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۸ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۹

چکیده

پیش‌بینی‌های اقلیمی نشان می‌دهد که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای سبب تغییر در چرخه‌ی هیدرولوژیکی خواهد شد. هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دبی در حوضه‌ی آبخیز گرگانرود - قره‌سو در استان گلستان می‌باشد. در این مطالعه از آزمون‌های ناپارامتری جهت آنالیز روند و همبستگی در سری‌های زمانی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی در دوره‌ی پایه استفاده گردید. سپس داده‌های دو مدل گردش عمومی جو $HadCM_3$ و $ECHAM_4$ با به کارگیری مدل LARS-WG طبق سه سناریوی A_1 ، A_2 و B_1 برای منطقه‌ی مورد مطالعه طی دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ ریزمقیاس گردید و از مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه در مقیاس روزانه برای شبیه‌سازی دوره‌ی پایه‌ی ۲۰۰۸-۱۹۸۷ استفاده شد. دبی خروجی از حوضه برای سه سناریو در دو مدل $HadCM_3$ و $ECHAM_4$ در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تولیدگردید. نتایج نشان داد که دبی در دو ایستگاه تمر و آراز کوسه واقع در حوضه‌ی مورد مطالعه کاهش یافته است که در هیچ‌کدام از دو ایستگاه این کاهش معنی‌دار نیست. به‌علاوه تغییرات دمای حداقل و بارش تأثیر بیشتر و معنی‌داری را بر تغییرات جریان رودخانه‌ی حوضه داشته است. نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی کاهش دبی در تمام سناریوهای ذکر شده دو مدل گردش عمومی جو در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی پایه خواهد بود.

کلمات کلیدی: سناریوهای اقلیمی، نوسانات دبی، شبکه‌ی عصبی، حوضه‌ی گرگانرود.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران.

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران (نویسنده مسئول).

E-mail:ildoromi@gmail.com

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران.

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه مازندران، ایران.

مقدمه

بسیاری از معضلات محیطی عصر ما از جمله سیل، طوفان، خشکسالی و مسائل دیگر، همگی ریشه در تغییر اقلیم کره‌ی زمین خصوصاً افزایش دما دارند (خورشیددوست و قویدل رحیمی، ۱۳۸۳). مطالعه اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی ناشی از فعالیت‌های بشر بر هیدروولوژی و منابع آب، عرصه‌ی مهمی از تحقیقات در این زمینه می‌باشد (اسکلن^۱، ۲۰۰۷). از دیدگاه منابع آب، مهم‌ترین اثرات گرمای عمومی زمین اثراتی است که این پدیده در جریان رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی دارد. زو و همکاران^۲ (۲۰۰۹)، با استفاده از چهار مدل اقلیمی گردش عمومی جو^۳ و دو روش ریزمقیاس نمایی شامل روش دلتا^۴ و روش آماری به همراه مدل هیدروولوژیکی ارزیابی آب و خاک^۵ در سراب حوضه‌ی رودخانه‌ی زرد به این نتیجه رسیدند که به طور کلی روند میانگین جریان سالانه در زیرحوضه رو به کاهش است. زو و همکاران (۲۰۱۰)، در حوضه‌ی رودخانه‌ی تاریم در شمال غربی چین به این نتیجه رسیدند که میانگین دمای سالانه و بارش سالانه یک روند افزایشی داشته است. کلینگ و همکاران^۶ (۲۰۱۲)، به بررسی تغییرات رواناب در حوضه‌ی دانوب تحت اثر سناریوهای تغییر اقلیم پرداختند. نتایج نشان داد که اکثر مدل‌ها افزایش بارش و کاهش ۵ تا ۳۰ درصدی رواناب را برای سال‌های آتی پیش‌بینی کردند. لاله‌سیاه و همکاران (۱۳۹۱) در طی تحقیقی با استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده اتمسفر اقیانوس گردش عمومی جو تحت سناریوی گازهای گلخانه‌ای^۷ تغییرات دما، بارش و رواناب حوضه‌ی کارون در دوره‌ی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل، حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه است. ریبالایگوا و همکاران (۲۰۱۳) در منطقه‌ای

1- Scanlor

2- Xu et al.,

3- General Circulation Models(GCM)

4- Delta Method

5- SWAT

6- Kling

7- SRES

واقع در اسپانیا اقدام به شبیه‌سازی درجه حرارت ماکزیمم، مینیمم و بارش روزانه در آینده کردند. نتایج حاکی از افزایش درجه حرارت ماکزیمم و مینیمم کاهش متوسط بارش در طی قرن ۲۱ می‌باشد. اگونتوند و همکاران^۱ (۲۰۱۱) روند بارش ماهانه و سالانه‌ی کشور نیجریه را در دوره‌ی ۲۰۰۰-۱۹۰۱ با استفاده از آزمون من-کندال تعیین نمودند، نتایج نشان داد که در حدود ۹۰٪ منطقه دارای روند منفی در بارش است. زویدنگ و همکاران^۲ (۲۰۰۸) روند تغییرات دبی در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی لهاسا را در چین در طی سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۵۶ با استفاده از آزمون من-کندال بررسی کردند. نتایج نشان داد که دبی متوسط سالانه در این دوره دارای یک روند مثبت می‌باشد. ضرغامی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقات خود اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب در استان آذربایجان شرقی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که اقلیم استان در آینده از نیمه خشک به خشک و رودخانه‌های دائمی به رودخانه‌های فصلی تبدیل می‌شوند. رجبی (۱۳۹۲) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌ی قره‌سو در استان کرمانشاه در دهه‌های آتی پرداخت، نتایج نشان داد که در دوره‌های آتی، میانگین بارش حوضه‌ی آبخیز قره‌سو کاهش و متوسط افزایش می‌یابد. سینگ و همکاران^۳ (۲۰۱۳) عملکرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی را در یک حوضه‌ی آبخیز کوچک در هند بر اساس معیارهای RMSE و R مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی، عملکرد قابل قبولی داشته است.

در این مطالعه ابتدا روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و دبی در دوره‌ی پایه در محدوده‌ی حوضه‌ی آبخیز گرگانرود- قره‌سو در استان گلستان در ایران مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سپس داده‌های دو مدل گردش عمومی جو^۴ با به کارگیری مدل آماری لارس^۵ طبق سه

1- Oguntunde et al.,

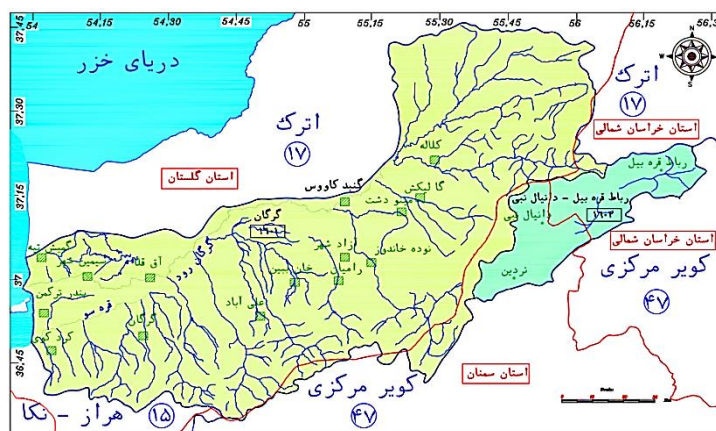
2- Xuedong et al.,

3- Singh et al.,

4- HadCM3, ECHAM4

5- LARS-WG

سناریوی A_1B و B_1 ، A_2 برای سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در منطقه‌ی مورد مطالعه ریزمقیاس گردیده و در نهایت تغییرات ناشی از تأثیر تغییر اقلیم ارزیابی می‌گردد.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی گرگانرود- قره‌سو (آب منطقه‌ای استان گلستان)

مواد و روش

- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز گرگانرود-قره‌سو در بخش جنوب شرقی دریای خزر و در محدوده‌ی طول جغرافیایی $54^{\circ} 00'$ تا $56^{\circ} 29'$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 36'$ تا $37^{\circ} 47'$ شمالی واقع شده است. مساحت این حوضه، 13061 کیلومتر مربع و میانگین سالانه بارش حدود 300 میلی‌متر تا 1000 میلی‌متر و میانگین سالانه دما از حدود $7/5$ تا 17 درجه‌ی سانتی‌گراد متغیر می‌باشد (شکل ۱).

- روش تحقیق

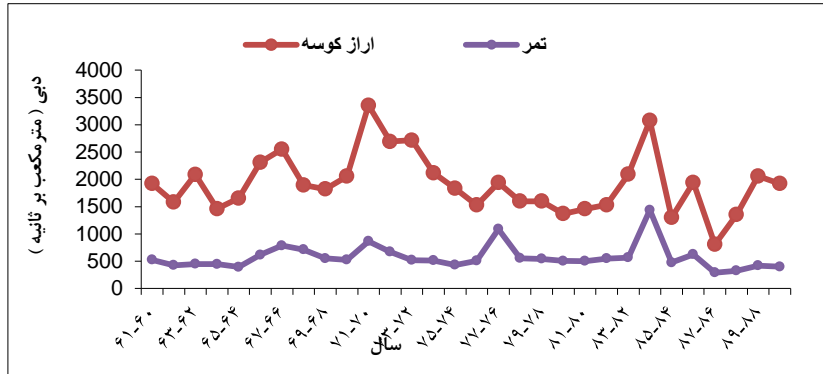
در این بررسی از سری داده‌های فصلی و سالانه پارامترهای حداقل و حداکثر دما، بارش و سری سالانه دبی در 14 ایستگاه در دوره‌ی مشترک آماری 30 ساله $61-60$ تا $90-89$ استفاده و از آزمون‌های ناپارامتری Mann-Kendall، Sen slope و Kendall's τ به

ترتیب برای تعیین جهت روند و همبستگی پارامترهای مورد مطالعه و از پارامترهای بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه گرگان به صورت روزانه طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۷ استفاده شده است. جهت بررسی تأثیر پدیده‌ی تغییر اقلیم بر دبی از داده‌های سه سناریو A_2 ، B_1 و A_1B مدل $HadCM_3$ و سناریوهای A_2 ، B_1 و A_1B مدل $ECHAM_4$ استفاده شد و جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های، مدل آماری لارس به کار گرفته شد، پس از واسنجی و اعتبارسنجی آن، جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب، خروجی مدل آماری لارس به مدل شبکه‌ی عصبی وارد شده و تغییرات دبی بر اثر تغییر اقلیم در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ (آینده‌ی نزدیک) مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور ارزیابی عملکرد از مدل شبکه‌ی عصبی و برای شبیه‌سازی رواناب حوضه‌ی آبخیز گرگانود-قره‌سو از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شده است.

بحث و نتایج

تغییرات سالانه‌ی دبی در دو ایستگاه تمر و آرازکوسه تغییر زیادی نداشته است اما کاهش دبی در طی دوره‌ی در ایستگاه آرازکوسه نسبت به ایستگاه تمر مشهودتر می‌باشد و در انتهای دوره در حال کاهش است (شکل ۲). آنالیز روند دبی نشان داد که دبی در هر دو ایستگاه کاهش یافته و هیچ‌کدام معنی‌دار نبودند (جدول ۱). نتایج نشان داد که بارش بر دبی هر دو ایستگاه آرازکوسه و تمر در سطح احتمال ۹۹٪ معنی‌دار است. اثرات دما نسبت به بارش بر جریان رودخانه کمتر است و تنها دمای حداقل بر دبی ایستگاه آرازکوسه تأثیر معنی‌داری داشته است (شکل ۳).

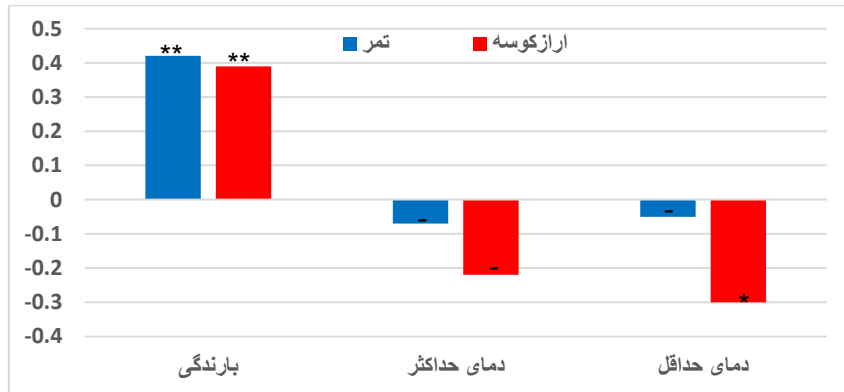
جهت ارزیابی و تشخیص کارایی مدل لارس از شاخص‌های ضریب همبستگی^۱، میانگین مربعات خطا^۲، میانگین خطای مطلق^۳ و ناش ساتکلیف^۴ بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های حاصل از مدل در دوره‌ی پایه (۲۰۰۸-۱۹۸۷) استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است.



شکل (۲) تغییرات سالانه‌ی دبی ایستگاه‌های تمر و آراز کوسه در طی دوره‌ی مورد مطالعه

جدول (۱) نتایج آزمون من-کندال بر سری زمانی سالانه دبی

ایستگاه	Z	Sen slope	sig
تمر	-۰/۵	-۱/۲	۰/۶
آراز کوسه	-۱/۴	-۱۷/۶	۰/۱



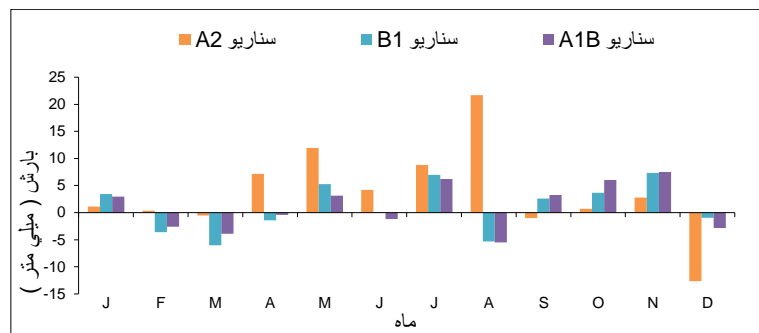
° معنی‌داری در سطح ۹۵٪ ** معنی‌داری در سطح ۹۹٪ - عدم معنی‌داری

شکل (۳) رابطه‌ی بین تغییرات سالانه دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش با دبی دو ایستگاه در طول دوره‌ی آماری

جدول (۲) نتایج ارزیابی و اعتبارسنجی مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG بر اساس شاخص‌های مورد نظر

پارامتر	شاخص	MAE	RMSE	NSE	R ²
بارش	۱/۳۱۴۱۶۷	۳/۷۴۹۲۷	۰/۹۰۹۴۱۷	۰/۹۴۵۳	
دمای حداقل	-۰/۰۳۶۶۷	۰/۱۵۵۹۹۱	۰/۹۹۹۵۷۵	۰/۹۹۹۶	
دمای حداکثر	۰/۰۳۲۵	۰/۳۳۷۴۷۸	۰/۹۹۸۳۱۲	۰/۹۹۹۱	
ساعت آفتابی	۰/۲۴۲۵	۰/۳۴۵۰۲۴	۰/۹۹۵۶۵۲	۰/۹۹۵۹	

در شکل (۴)، میزان تغییرات ماهانه بارش حوضه‌ی گرگانود-قره‌سو در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره‌ی پایه با توجه به سناریو A₂، B₁ و A₁B نشان داده شده است.



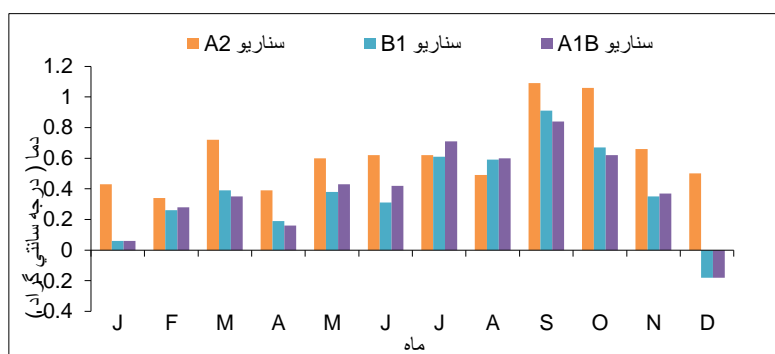
شکل (۴) تغییرات میانگین ماهانه بارش حوضه‌ی گرگانود-قره‌سو در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره‌ی پایه

با توجه به شکل (۴) و با در نظر گرفتن سناریو A₂، مشخص می‌شود. بیشترین افزایش در ماه آگوست به میزان ۲۱/۶۹ میلی‌متر و بیشترین کاهش در ماه دسامبر به

- 1- Coefficient of correlation
- 2- Root Mean Square Error
- 3- Mean Absolute Error
- 4- Mean Square Error

میزان $12/67$ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به سناریو B_1 بیشترین افزایش مربوط به ماه نوامبر به میزان $7/3$ میلی‌متر و بیشترین کاهش مربوط به ماه مارس به میزان $6/02$ میلی‌متر می‌باشد. همچنین در سناریو A_1B بیشترین افزایش مربوط به ماه نوامبر به میزان $7/53$ میلی‌متر و بیشترین کاهش مربوط به ماه آگوست به میزان $5/52$ میلی‌متر می‌باشد.

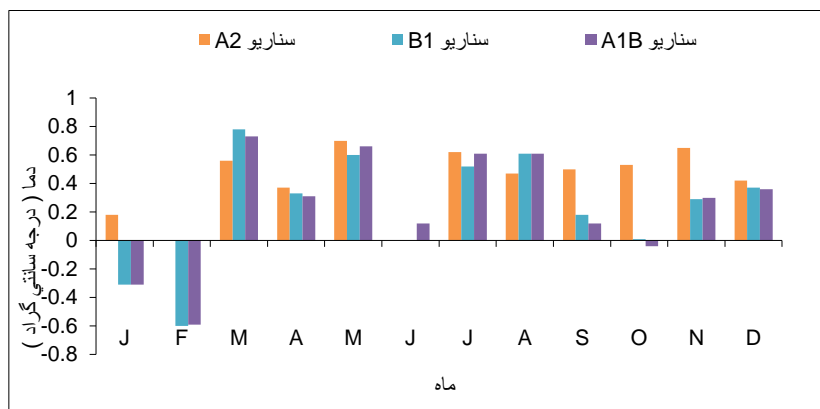
با توجه به شکل (۵) و سناریو A_2 بیشترین میزان افزایش مربوط به ماه سپتامبر با $1/09$ درجه سانتی‌گراد و کمترین افزایش مربوط به ماه فوریه با $0/34$ درجه سانتی‌گراد و در سناریو B_1 میانگین بیشترین میزان افزایش مربوط به ماه سپتامبر با $0/91$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در سناریو A_1B بیشترین میزان افزایش مربوط به ماه سپتامبر با $0/84$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل (۵) تغییرات میانگین ماهانه دمای حداقل حوضه‌ی گرگانرود-قره‌سو در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره‌ی پایه

با توجه به شکل (۶) و با در نظر گرفتن سناریو A_2 و با توجه به میانگین ماهانه دمای حداکثر بیشترین افزایش مربوط به ماه می با $0/7$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در سناریو B_1 بیشترین میزان افزایش مربوط به ماه مارس با $0/78$ درجه سانتی‌گراد و بیشترین کاهش مربوط به ماه فوریه با $0/6$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین در

سناریو A₁B بیشترین افزایش در ماه مارس با ۰/۷۳ درجه سانتی‌گراد و بیشترین کاهش در ماه فوریه با ۰/۵۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

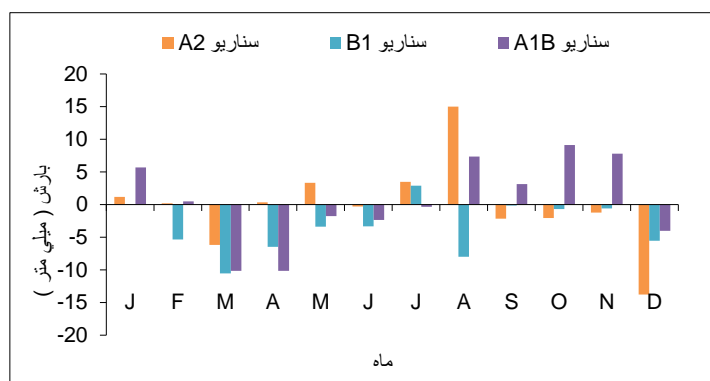


شکل (۶) تغییرات میانگین ماهانه‌ی دمای حداکثر حوضه‌ی گرگانود-قره‌سو در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره‌ی پایه

همچنین براساس نتایج جدول (۳) مشخص می‌شود میانگین بارش سالانه در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و با توجه به هر سه سناریو افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش مربوط به سناریو A₂ به میزان ۴۴/۵۴ میلی‌متر می‌باشد. میانگین دمای حداقل و حداکثر سالانه در هر سه سناریو افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش مربوط به سناریو A₂ و به میزان ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد برای دمای حداقل و ۰/۴۲ درجه سانتی‌گراد برای دمای حداکثر می‌باشد.

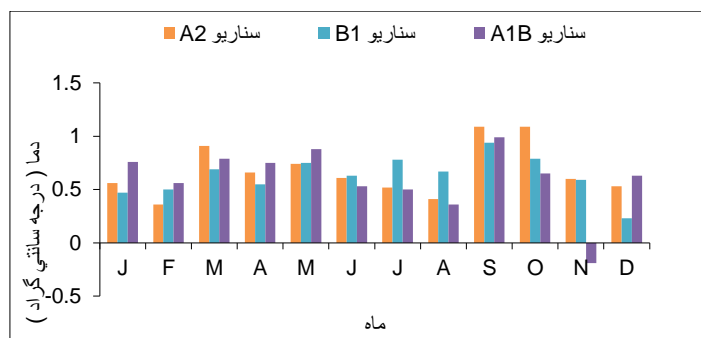
جدول (۳) تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی حوضه‌ی گرگانود-قره‌سو

سناریو	بارش (mm)	دمای حداقل (°C)	دمای حداکثر (°C)	میانگین دما (°C)
A ₂	۴۴/۵۴	۰/۶۳	۰/۴۲	۰/۵۲
B ₁	۱۱/۸۳	۰/۳۸	۰/۲۳	۰/۳۱
A ₁ B	۱۲/۵۷	۰/۳۹	۰/۲۴	۰/۳۱



شکل (۷) تغییرات میانگین بارش ماهانه حوضه‌ی گرگانرود-قره‌سو در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره‌ی پایه

بر اساس نتایج به دست آمده در شکل (۷) و با در نظر گرفتن سناریو A₂ بیشترین میزان افزایش مربوط به ماه آگوست و به میزان ۱۵/۰۱ میلی‌متر و بیشترین میزان کاهش در ماه دسامبر و به میزان ۱۳/۷۶ میلی‌متر می‌باشد. همچنین در سناریو B₁، بیشترین میزان افزایش مربوط به ماه جولای و به میزان ۲/۸۸ میلی‌متر و بیشترین میزان کاهش در ماه مارس و به میزان ۱۰/۵۲ میلی‌متر است. در سناریو A₁B بیشترین افزایش در ماه اکتبر و به میزان ۹/۱۱ میلی‌متر و بیشترین میزان کاهش مربوط به ماه آوریل و به میزان ۱۰/۱۳ میلی‌متر است.



شکل (۸) تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه حوضه‌ی گرگانرود-قره‌سو در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره‌ی پایه

بر اساس نتایج شکل (۸) و با در نظر گرفتن سناریوی A_2 ، بیشترین افزایش متعلق به دو ماه سپتامبر و اکتبر با $۱/۰۹$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همین‌طور کمترین میزان افزایش مربوط به ماه فوریه با $۰/۳۶$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در سناریو B_1 بیشترین میزان افزایش متعلق به ماه سپتامبر با $۰/۹۴$ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان افزایش مربوط به ماه دسامبر با $۰/۲۳$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین با توجه به سناریو A_1B بیشترین میزان افزایش در ماه سپتامبر با $۰/۹۹$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل (۹) نمودار تغییرات میانگین ماهانه دمای حداکثر حوضه‌ی گرگانرود-قره‌سو در دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره‌ی پایه

بر اساس نتایج شکل (۹) و با در نظر گرفتن سناریو A_2 بیشترین میزان افزایش در ماه می با $۰/۸۴$ درجه سانتی‌گراد است. همچنین در سناریو B_1 بیشترین میزان افزایش در ماه مارس با $۱/۰۹$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در سناریو A_1B بیشترین میزان افزایش در ماه آوریل با $۱/۱۹$ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان افزایش متعلق به ماه سپتامبر با $۰/۲$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

برای ارزیابی عملکرد شبکه از معیارهای ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا استفاده شد. برای شبیه‌سازی جریان در مقیاس روزانه با مدل شبکه‌ی عصبی، مدل MLP با تابع

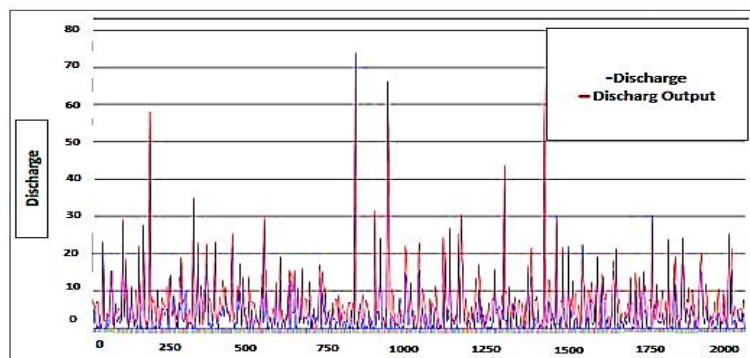
انتقال سیگموئید^۱، آموزش شبکه با روش لونیبرگ^۲ انتخاب شد. در نهایت با اجرای شبکه، نتایج ارزیابی در جدول (۵) و همچنین عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان در مرحله‌ی آزمون و ارزیابی در شکل (۱۰) آورده شده است.

جدول (۴) تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی حوضه‌ی گرگانود-قره‌سو

سناریو	بارش (mm)	دمای حداقل (c°)	دمای حداکثر (c°)	میانگین دما (c°)
A ₂	-۲/۱	۰/۶۷	۰/۴۷	۰/۵۷
B ₁	-۴۰/۹۸	۰/۶۳	۰/۴۹	۰/۵۶
A ₁ B	۴/۴۸	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۹

جدول (۵) نتایج ارزیابی مدل شبکه‌ی عصبی در شبیه‌سازی جریان حوضه‌ی آبخیز گرگانود-قره‌سو (طی سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۰۸).

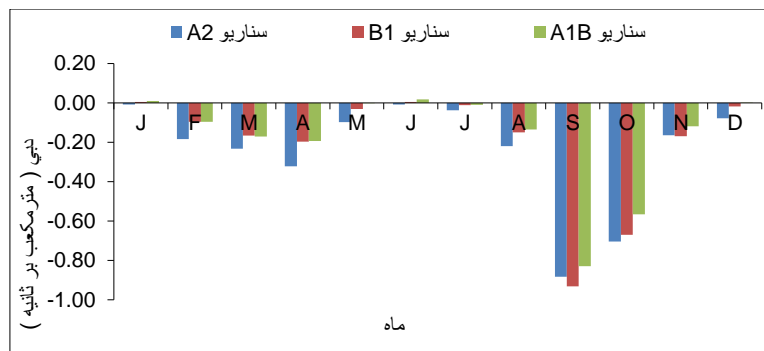
R ²	MSE	Max Abs Error	Min Abs Error
۰/۹۴۷۹	۰/۰۱۱۴۳	۰/۵۲۰۴۲	۰/۰۰۰۱۷۷۷



شکل (۱۰) عملکرد شبکه‌ی عصبی در شبیه‌سازی جریان حوضه‌ی گرگانود-قره‌سو در مرحله‌ی آزمون (طی سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۰۸)

- 1- Sigmoid
- 2- Levenberg-marquard

نتایج به‌دست آمده در مرحله‌ی ارزیابی شبکه‌ی عصبی نشان می‌دهد مدل شبکه‌ی عصبی با ضریب $0/9479$ توانسته به‌طور قابل ملاحظه‌ای جریان حوضه را شبیه‌سازی کند. همچنین وجود خطای کم در شبیه‌سازی این مدل در آزمون شبکه‌ی عصبی ($MSE=0/01143$) نیز نشانگر انحرافات کم مدل در شبیه‌سازی مقادیر روزانه دبی دوره‌ی پایه در حوضه‌ی گرگانرود-قره‌سو می‌باشد. شکل (۱۱) میزان تغییرات ماهانه دبی را در دوره‌ی $2011-2030$ با مقایسه‌ی سناریوهای A_2 ، B_1 و A_1B مدل $HadCM_3$ نشان می‌دهد.

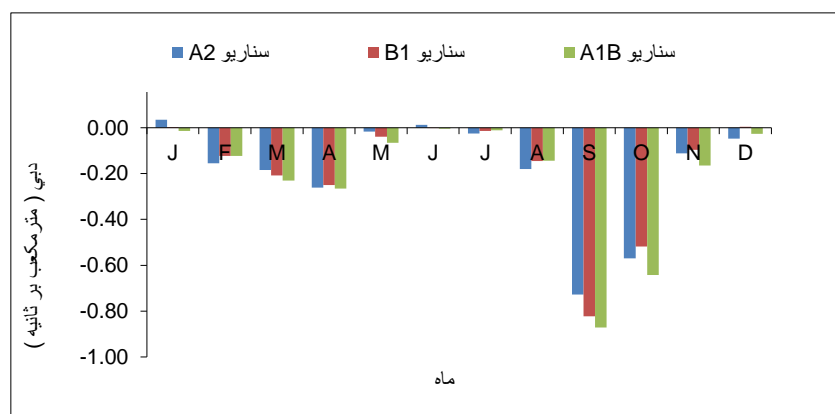


شکل (۱۱) نمودار تغییرات میانگین ماهانه دبی حوضه‌ی گرگانرود-قره‌سو در دوره‌ی $2011-2030$ نسبت به دوره‌ی پایه تحت مدل $HadCM_3$

بر اساس شکل (۱۱) و با در نظر گرفتن سناریو A_2 ، میانگین ماهانه دبی در همه ماه‌ها کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش مربوط به ماه سپتامبر می‌باشد. با توجه به سناریو B_1 بیشترین میزان کاهش مربوط به ماه سپتامبر می‌باشد. در سناریو A_1B بیشترین میزان افزایش مربوط به ماه ژوئن و بیشترین میزان کاهش مربوط به ماه سپتامبر می‌باشد. شکل (۱۲) میزان تغییرات ماهانه دبی را در دوره‌ی $2011-2030$ با مقایسه‌ی سناریوهای A_2 ، B_1 و A_1B مدل $ECHAM_4$ نشان می‌دهد.

بر اساس شکل (۱۲) و با در نظر گرفتن سناریوی A_2 ، میانگین ماهانه دبی در همه‌ی ماه‌ها به جز دو ماه ژانویه و ژوئن که افزایش یافته‌اند در سایر ماه‌ها کاهش خواهند یافت. بیشترین میزان کاهش مربوط به ماه سپتامبر و بیشترین میزان افزایش مربوط به

ماه ژانویه می‌باشد. با توجه به سناریو B₁، بیشترین میزان کاهش مربوط به ماه سپتامبر می‌باشد. همچنین در سناریو A₁B بیشترین میزان کاهش مربوط به ماه سپتامبر می‌باشد.



شکل (۱۲) نمودار تغییرات میانگین ماهانه دبی حوضه‌ی گرگانرود-قره‌سو در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره‌ی پایه مدل ECHAM₄

نتیجه‌گیری

نتایج حاصله نشان می‌دهد که در طی دوره ۳۰ ساله گذشته در این افزایش منطقه‌ی مورد مطالعه، دمای حداکثر و بارش هرچند که اکثراً افزایش را نشان داده‌اند اما قابل توجه نبوده‌اند. دمای حداقل نیز روند افزایشی معنی‌داری را در اکثر سری‌های زمانی مورد مطالعه داشته است. همچنین از بین پارامترهای اقلیمی، بارش تأثیر بارزتر و معنی‌دارتری نسبت به دما و دمای حداقل تأثیر بیشتری بر جریان رودخانه داشته است. نتایج شبیه‌سازی اقلیم نشان داد که میانگین دما در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مدل HadCM₃ با در نظر گرفتن سناریو A₂، به طور متوسط ۰/۵۲ درجه سانتی‌گراد و با در نظر گرفتن سناریو B₁ و A₁B، ۰/۳۱ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. همین‌طور نتایج نشان داد که میانگین دما در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مدل ECHAM₄ و با لحاظ

کردن سناریوی A_2 ، $0/57$ درجه سانتی‌گراد و با در نظر گرفتن سناریو B_1 ، $0/56$ درجه‌ی سانتی‌گراد و سناریو A_1B ، $0/59$ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. در مدل $HadCM_3$ بیشترین میانگین دما مربوط به سناریو A_2 با $0/52$ درجه سانتی‌گراد و در مدل $ECHAM_4$ بیشترین میانگین دما مربوط به سناریو A_1B با $0/59$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین در مدل $HadCM_3$ نتایج نشان از افزایش $12/68\%$ بارش در سناریو A_2 ، و افزایش $3/37\%$ بارش در سناریو B_1 و افزایش $3/58\%$ بارش در سناریو A_1B دارد. در مدل $ECHAM_4$ بارش در سناریو A_2 ، $0/6\%$ و سناریو B_1 ، $11/66\%$ کاهش و در سناریو A_1B ، $1/38\%$ افزایش خواهد یافت. در مدل $HadCM_3$ بیشترین میزان بارش مربوط به سناریو A_2 با $12/68\%$ و در مدل $ECHAM_4$ مربوط به سناریو A_1B با $1/38\%$ می‌باشد. به طور کلی از نظر اقلیمی نتایج در دو مدل $HadCM_3$ و $ECHAM_4$ حاکی از افزایش بارش (به جز سناریو A_2 و B_1 در مدل $ECHAM_4$) و افزایش دما در حوضه‌ی آبخیز گرگانود-قره‌سو است. ضمن آنکه تغییرات دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه بیشتر خواهد بود.

نتایج نشان داد که دبی در هر دو مدل اقلیمی کاهش خواهد یافت. این کاهش در مدل $HadCM_3$ و در سناریو A_2 به میزان $4/26\%$ ، سناریو B_1 به میزان $3/52\%$ و سناریو A_1B به میزان $3/03\%$ و در مدل $ECHAM_4$ میزان این کاهش با در نظر گرفتن سناریوی A_2 ، $3/23\%$ ، سناریو B_1 ، $3/2\%$ و با لحاظ کردن سناریو A_1B ، $3/71\%$ خواهد بود. همچنین بیشترین کاهش در مقدار دبی در هر دو مدل اقلیمی و در هر سه سناریو مربوط به ماه سپتامبر می‌باشد. نتایج مربوط به روند تغییرات دبی در دو ایستگاه هیدرومتری تمر و آرازکوسه نشان می‌دهد هرچند که روند در هیچ‌کدام معنی‌دار نبوده است اما کاهش دبی در طی دوره در ایستگاه آراز کوسه نسبت به ایستگاه تمر مشهودتر می‌باشد. نتایج حاصله حاکی از توانمندی بالای مدل مولد هواشناسی لارس برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده می‌باشد.

نتایج تحقیق جمالی و کدخدایی (۱۳۹۳) و تحقیقات صورت گرفته توسط سیمینو (۲۰۰۸)، لوپز (۲۰۰۸)، بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵)، مشکواتی (۱۳۸۹) لاله سیاه و همکاران (۱۳۹۱)، زو و همکاران (۲۰۱۰)، کلینگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز مؤید این نتیجه می باشد.

منابع

- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی‌نیک (۱۳۸۵)، معرفی وارزیابی مدل LARS-WG برای مدلسازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره‌ی آماری (۲۰۰۳-۱۹۶۱). فصلنامه‌ی نیوار، شماره‌ی ۶۲-۶۳، صص ۴۹-۶۵.
- خورشیددوست، علی و یوسف قویدل رحیمی (۱۳۸۳)، مقدمه‌ای بر اصول فلسفی، نظریه‌ها و مفاهیم نوین آب و هواشناسی، فضای جغرافیایی، شماره‌ی ۱۲، صص ۱-۲۴.
- شریفیان جمالی، سعید و مهدی کدخدایی (۱۳۹۳)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه خراسان. دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست). دانشگاه شهرکرد- شهرکرد.
- رجبی، سعید (۱۳۹۲)، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌ی آبخیز قره‌سو در استان کرمانشاه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- ضرغامی، مهدی و ایمان بابائیان (۱۳۹۱)، مطالعه‌ی تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکی. مجله‌ی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال ۶، شماره‌ی ۱۸.
- مشکواتی، امیرحسین؛ کردجزی، محمد و ایمان بابائیان (۱۳۸۹)، بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره‌ی ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی. نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره‌ی ۱۶-۱۹، صص ۹۶-۸۱.
- Kling, H., Fuchs., M and Paulin, M., (2012), **Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios**, Journal of Hydrology. No.424-425: PP. 264-277.
- Lopes, P., (2008), **Assessment of climate change statistical downscaling methods**, M.Sc thesis, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa. PP. 51.
- Oguntunde, P.G., Abiodun, B.J., Olukunle, O.J., Olufayo, A.A., (2011), **Trends and variability in pan evaporation and other climatic variables at Ibadan, Nigeria, 1973-2008**. Meteorol. Appl. Doi: 10. 1002/met.281.

- Ribalaygua, J., Pino M.R., Pórtoles J., Roldán, E., Gaitán, E., Chinarro, D., and Torres, L., (2013), **Climate change scenarios for temperature and precipitation in Aragón (Spain) Original Research Article**, Science of The Total Environment, Vol, 463–464, No.1, PP.1015-1030.
- Singh, P.V., Kumar, A., Rawat, J.S., and Kumar, D., (2013), **Artificial neural networks based daily rainfall-runoff model for an agricultural hilly watershed**, International Journal of Engineering and Management Sciences, Vol.4 ,No.1, PP.108-112.
- Scanlon, B.R., Jolly, I., Sophocleous, M., and Zhang, L., (2007), **Global impacts of conversion from natural to agricultural ecosystem on water resources: quantity versus quality**, Water Resources Research 34, W03437. doi:10.1029/2006WR005486.
- Semenov, M.A. (2008), **Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator**, Climate Research, No.35 , PP. 203-212.
- Xu, Z., Liu, Z., Fu, G., and Chen, Y., (2010), **Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years**, Journal of Arid Environments.No.74, PP.256-267.
- Xu, Z.X., Zhao, F., and Li, J.L., (2009), **Response of streamflow to climate change in the headwater catchment of the Yellow River basin**, Quaternary International No.208, PP. 62-75.
- Xuedong, L., Yili, Z., Zhijun, Y., Tongliang, G., Hong, W., Duo, C., Linshan, L., and Fei, Z., (2008), **The trend on runoff variations in the Lhasa river basin**, Journal Geography Sciences.No.18, PP.95-106.