

بررسی آثار تغییر اقلیم بر رواناب به کمک مدل درخت تصمیم (مطالعه موردی: حوضه زرین گل)

یاسمن لطفی^۱، مهدی مفتاح هلقی^{۲*}، خلیل قربانی^۲

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۴؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۸)

چکیده

برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب در حوضه آبریز زرین گل در استان گلستان پس از مدل‌سازی بارش رواناب به کمک مدل درخت تصمیم M5 از نتایج مدل گردش عمومی HADGEM2 تحت دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 برای پیش‌بینی رواناب برای دوره‌های اقلیمی آینده نزدیک، میانی و دور استفاده شد. نتایج آزمون من-کنندال برای تشخیص روند در دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۵ نشان داد فقط بارش در فصل تابستان و دما در فصل بهار و تابستان افزایش معنادار داشتند. با این وجود، تأثیر افزایش دما باعث کاهش معنادار دبی در بیشتر فصل‌ها و میانگین سالانه دبی شد. همچنین، مدل لارس از کارایی لازم برای تولید داده‌های بارش و دما برخوردار بود. بررسی تغییر اقلیم در حوضه آبریز زرین گل بیانگر آن بود که تغییرات بارش از الگوی افزایشی و یا کاهشی خاصی پیروی نمی‌کند، اما دمای هوا تحت هر دو سناریوی اقلیمی با افزایش همراه خواهد بود، به طوری که دمای سالانه به‌طور میانگین حدود ۰/۵ تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش دما برای سناریوی RCP 8.8 در آینده دور بود. نتایج خروجی دو مدل M5 و MLR نشان داد مدل M5 قادر است ضریب همبستگی را از m^3/s ۰/۷ به حدود m^3/s ۰/۸۷ افزایش دهد و مقدار خطای RMSE را از m^3/s ۰/۸۲ به m^3/s ۰/۵۹ کاهش دهد. بر اساس نتایج خروجی مدل M5، رواناب در منطقه مطالعاتی نیز طی دوره‌های آتی با کاهش همراه خواهد بود و بیشترین میزان کاهش میانگین دبی ماهانه در آینده دور حدود ۴۱ درصد در ماه مارس برای سناریوی RCP 8.5 برآورد شد.

کلیدواژه‌ها: سناریوهای تغییر اقلیم، دما، مدل بارش-رواناب، حوضه آبریز زرین گل.

مقدمه

طبق گزارش هیئت بین‌الدول انتظار می‌رود که اغلب مناطق دنیا اثرات منفی تغییر اقلیم بر منابع آب و اکوسیستم‌ها را تجربه کنند [۱] به گونه‌ای که طبق مطالعات قبلی، تغییرات ۱۰ درصدی میزان نزولات جوی بیشتر منجر به تغییرات ۱۵ تا ۲۵ درصدی جریان رودها می‌شود. این در حالی است که افزایش ۲ درجه سانتی‌گرادی دما معمولاً منجر به کاهش ۵ تا ۱۲ درصدی جریان‌ها می‌شود. با توجه به این شرایط آنالیز اثرات تغییر اقلیم بر فرایندهای هیدرولوژیک از جمله رواناب سطحی به منظور شناسایی تغییرات پتانسیل منابع آبی در آینده و ارائه راهکارهای مناسب برای مدیریت منابع آب حائز اهمیت است [۲] در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم ناشی از گرمایش زمین و پیامدهای منفی آن از مسائل مهم در مطالعات محققان است. در مقیاس جهانی برحسب مدل‌ها و سناریوهای مختلف افزایش دمای ناشی از تغییرات اقلیمی در اغلب نقاط جهان پیش‌بینی و ارائه شده است. طبق مدل‌های مختلف گردش عمومی جو، دمای زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی در دامنه‌ای بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت [۳]. با توجه به اینکه اساس بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فرایندهای هیدرولوژیکی و تصمیمات بهره‌برداری از منابع آب بر مبنای پیش‌بینی و تحلیل جریان رودخانه است، برآورد دقیق رواناب اهمیت بسیار زیادی از جنبه‌های گوناگون دارد.

مشخاتی و همکاران [۴] در تحقیقی توانایی مدل LARS_WG در شبیه‌سازی داده‌های استان گلستان را بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد این مدل عملکرد مناسبی در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی ایستگاه مورد بررسی دارد و می‌توان از آن برای ارزیابی اقلیم آینده استان در مقیاس محلی استفاده کرد. بابائیان و نجفی نیک [۵] از مدل LARS_WG به منظور مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان استفاده کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش نشان داد با توجه به مقادیر انحراف معیار مدل با دقت زیادی توانایی شبیه‌سازی دماهای حداکثر و دماهای حداقل را داشت. اشرف و همکاران [۶] تغییرات پارامترهای اقلیمی مشهد طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG انجام دادند. در این تحقیق داده‌های مدل گردش عمومی جفت‌شده جوی-

اقلیم‌سنجی، HadGEM3، با به‌کارگیری مدل ریزمقیاس LARS-WG، تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در دوره یادشده شهر مشهد با افزایش بارش در همه فصول مواجه خواهد شد. همچنین، دمای کمینه و بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. نتایج مطالعات صادقی و همکاران [۷] در بررسی وضعیت اقلیمی شهر زنجان تحت شرایط تغییر اقلیم بیانگر افزایش دما در تمامی سناریوها و دوره‌های آتی بود. همچنین، افزایش دما در سناریوی RCP 8.5 بیشتر شد، اما تغییرات بارش از الگوی خاصی پیروی نکرد. مطالعات قربانی و همکاران [۸] در پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر روند دبی ماهانه بیانگر آن بود که منطقه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی با افزایش دمای هوا در ماه‌های مختلف سال همراه خواهد بود، اما در خصوص بارش در برخی ماه‌های سال افزایش و در برخی ماه‌ها کاهش بارش پیش‌بینی شد. توکلی و همکاران [۹] به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه آبخیز سد ایلام با کمک مدل اقلیمی HadCM3 تحت دو سناریوی A2، B2 پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر کاهش دبی متوسط سالانه به مقدار ۶/۳، ۱۶/۹ و ۲۱/۴ درصد در سه دوره آینده ۲۰۲۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ در سناریوی A2 و به ترتیب ۱۰/۹، ۸/۸ و ۱۳/۲ درصد تحت سناریوی B2 بود. چن و همکاران [۱۰] به تحلیل عدم قطعیت روش‌های مختلف ریزمقیاس‌سازی در مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی در حوضه رودخانه کبک پرداختند. در این مطالعه مدل چرخش عمومی، سه سناریوی انتشار و شش روش ریزمقیاس‌نمایی مورد استفاده قرار گرفت. دوره آماری پایه ۱۹۷۰-۱۹۹۹ با دوره آماری ۲۰۷۰-۲۰۹۹ از نظر میانگین آورد حوضه و زمان و مقدار پیک جریان مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده افزایش جریان در فصل زمستان و کاهش جریان طی فصل تابستان بود. روش ریزمقیاس‌سازی آماری افزایش دمای بیشتری را در مقایسه با سایر روش‌ها پیش‌بینی کرد و روش‌های مختلف در ریزمقیاس‌سازی بارش تفاوت معناداری را با یکدیگر نشان ندادند. سمونوف و همکاران [۱۱] عملکرد دو مولد LARS-WG و WEGEN را در ۱۸ ایستگاه واقع در ایالات متحده آمریکا، اروپا و آسیا مورد مقایسه قرار دادند و عنوان کردند که مولد LARS-WG از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است. مطالعات هبتز و

همکاران [۱۲] در بررسی منابع آب آینده در دو حوضه فرانسه بیانگر آن بود که این حوضه‌ها، افزایش دما و ۳ درصد کاهش بارندگی را تجربه خواهند کرد که موجب کاهش ۱۴ درصد از رواناب می‌شود. در تحقیق دیگری که توسط پاسکال و همکاران [۱۳] در بررسی تأثیر آب‌وهوا بر منابع آب در شمال شرقی منطقه مدیریتانه‌ای تحت دو سناریوی A2 و B1 انجام شد، کاهش جریان به میزان ۳۴ درصد و در کمترین حالت به میزان ۲۵ درصد پیش‌بینی شد. نتایج تحقیقات چانگ و همکاران [۱۴] در بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه وی در چین نشان داد درصد کاهش رواناب ناشی از تغییر اقلیم در دهه‌های ۱۹۷۰، ۱۹۸۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ به ترتیب برابر ۳۶، ۲۸، ۵۳ و ۱۰ درصد بود. نتایج تحقیقات موسوی و معروفی [۱۵] در بررسی پاسخ هیدرولوژیکی جریان رودخانه به تغییر اقلیم در حوضه آبریز سد دز با استفاده از داده‌های ریزمقیاس‌شده مدل LARS-WG به‌عنوان ورودی مدل HBV برای شبیه‌سازی جریان آینده نشان‌دهنده کاهش جریان تحت سناریوهای مختلف بود.

یکی از اثرات مهم تغییر اقلیم تغییر در آینده رودخانه‌ها است که به‌منظور بررسی آن باید دبی رودخانه دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم به کمک مدل‌های بارش رواناب شبیه‌سازی شود. در سال‌های اخیر روش‌های داده‌کاوی به دلیل توانایی مدل‌سازی فرایندهای غیرخطی و غیر ایستای جریان رودخانه بدون نیاز به اطلاعات فیزیکی، در هیدرولوژی و منابع آب مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. هاتاچاریا و سولوماتین [۱۶] از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل درختی M5 برای الگوسازی رابطه بین سطح آب و دبی جریان بهره بردند که بر اساس نتایج حاصل، دقت روش‌های یادشده بیشتر از روش‌های معمول برآورد شد. قربانی و همکاران [۱۷] به ارزیابی روش‌های رگرسیون چندمتغیره و مدل درخت تصمیم M5 به‌منظور برآورد جریان ماهانه در حوضه‌های فاقد آمار استان گلستان پرداختند. به این‌منظور، پارامترهای اقلیمی دما و بارش را پس از درون‌یابی در محیط GIS برای هر یک از زیرحوضه‌ها و در هر یک از ماه‌های سال‌های برآورد کردند. سپس، پارامترهای اقلیمی و مشخصات فیزیوگرافی را به‌عنوان متغیر مستقل وارد مدل رگرسیون چندمتغیره و رگرسیون درختی کردند. ارزیابی نتایج نشان داد مدل درخت تصمیم

به دلیل بیشترین دقت و کمترین خطا دارای دقت بیشتر از مدل رگرسیون چندمتغیره برای تخمین دبی رودخانه بود. نتایج تحقیقات قربانی و همکاران [۱۸] در شبیه‌سازی و پیش‌بینی دبی جریان ماهانه در ایستگاه هیدرومتری آرازکوسه با استفاده از مدل IHACRESS و مدل‌های KNN و M5 به‌عنوان مدل‌های داده‌کاوی برای مدل‌سازی جریان ماهانه رودخانه، نشان داد مدل M5 به دلیل ارائه معادلات صریح برای پیش‌بینی، به‌عنوان مدل منتخب در این پژوهش انتخاب شد. نتایج تحقیق ستاری و همکاران [۱۹] در پیش‌بینی جریان رودخانه سوهو در ترکیه با استفاده از مدل درختی M5 و ماشین بردار پشتیبان نشان داد مدل درختی M5 به‌خوبی ماشین بردار پشتیبان قادر به مدل‌سازی رواناب است. همچنین، مدل درختی M5 به علت ارائه مدل‌های خطی ساده زمان محاسباتی کمتری نسبت به ماشین بردار پشتیبان لازم دارد و کاربرد آن توصیه می‌شود. ظهیری و قربانی [۲۰] به شبیه‌سازی دبی جریان در مقاطع مرکب به کمک مدل درخت تصمیم M5 پرداختند. نتایج نشان داد مدل درخت تصمیم M5 ضمن سادگی محاسبه‌ها و معادله‌های ارائه‌شده قابلیت خوبی در تخمین دبی جریان در مقاطع مرکب آزمایشگاهی و صحرایی دارد. در دهه‌های اخیر بررسی تغییرات اقلیمی نسبت به گذشته بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. با توجه به اینکه رواناب سطحی و دبی ورودی به مخازن سدها تحت تأثیر این پدیده هستند، پیش‌بینی رواناب با رویکرد تغییر اقلیم حائز اهمیت است. حوضه زرین‌گل یکی از زیرحوضه‌های گرگان‌رود واقع در استان گلستان است. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد به‌رغم تغییرات ناچیز بارش، میزان آینده کاهش داشته است. برای بررسی این موضوع در آینده و همچنین، بررسی اثر دما بر آینده در این منطقه تا کنون بررسی کاملی انجام نشده است. بنابراین، هدف این تحقیق بررسی وضعیت آینده و بارش و دما در آینده و اثر دما بر آینده است. همچنین، در این مطالعه ضمن استفاده از جدیدترین سناریوهای تغییر اقلیم، توانایی مدل درخت تصمیم M5 که به صورت گام‌به‌گام اجرا شده نیز مورد بررسی قرار گرفته است، در حالی که در بیشتر تحقیقات از مدل‌های جعبه‌سیاه استفاده می‌شود. از این‌رو، در این تحقیق پارامترهای بارش و دما به کمک مدل HADGEM2 و ریزمقیاس‌نمایی توسط مدل LARS-WG با جدیدترین

شهر علی‌آباد و در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۶۰ دقیقه شمالی قرار دارد. حوضه آبریز رودخانه زربین گل مساحتی معادل ۳۹۰ کیلومتر مربع دارد و طول شاخه اصلی آن حدود ۳۰ کیلومتر است. مشخصات جغرافیایی ایستگاه مطالعاتی شیرین‌آباد مطابق جدول ۱ است. همچنین، موقعیت منطقه مطالعه شده در مقیاس کشوری- استانی در شکل ۱ نشان داده شده است.

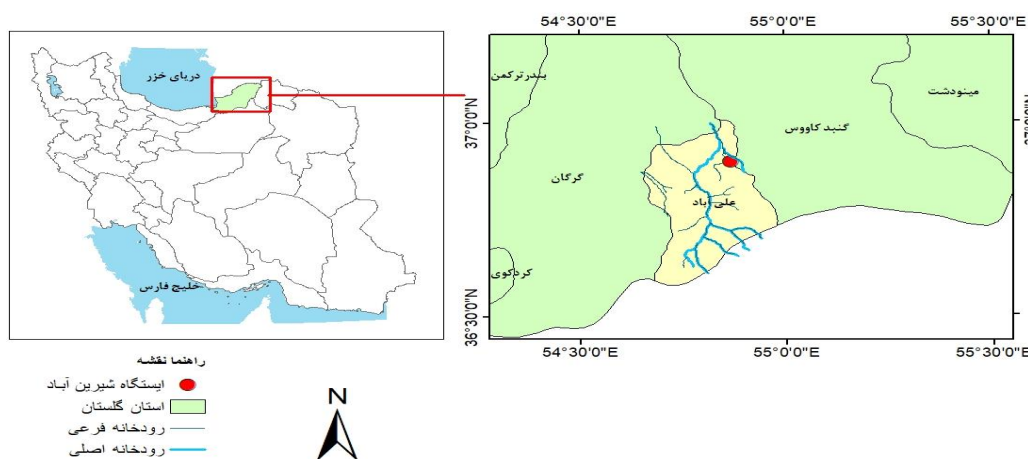
سناریوهای تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP 8.5 برآورد خواهد شد. سپس، از مدل درختی M5 برای مدل‌سازی بارش رواناب و پیش‌بینی رواناب برای دوره‌های اقلیمی آینده استفاده خواهد شد تا علاوه بر اثبات کارایی مدل درختی M5 در مدل‌سازی، تغییرات دبی در آینده نیز بر اساس مدل‌های گردش عمومی جو پیش‌بینی شود.

مواد و روش‌ها

محدوده زربین گل در استان گلستان در شمال شرق ایران

جدول ۱. مشخصات ایستگاه هواشناسی استفاده شده در تحقیق

| نام ایستگاه | نوع ایستگاه | سازمان مربوطه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع از دریا |
|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| شیرین‌آباد | هواشناسی | هواشناسی | ۵۵/۰۱ | ۳۶/۴۵ | ۹۴۰ |



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده

که در آن‌ها x_i و Z_c داده‌های مربوط به نقاط نام و زام هستند. آزمون آماری Z_c برابر رابطه ۲ است که مقادیر مثبت و یا منفی برای Z_c نشان‌دهنده یک روند افزایشی و یا کاهشی است. همچنین، α سطح معناداری بوده که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و اگر Z_c از Z_{α} بیشتر باشد، روند تغییرات معنادار است. در این پژوهش از معادل ۵ درصد و ۱ درصد در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد (رابطه ۲) به‌منظور تجزیه و تحلیل نتایج آزمون من-کندال استفاده شد.

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$|Z_c| > Z_{\alpha/2} \cdot Z_{\alpha/2} = 1.96 (\alpha = 0.05) \cdot Z_{\alpha/2} = 2.58 (\alpha = 0.01)$$

الف) آزمون من-کندال

در این تحقیق به‌منظور بررسی روند داده‌های پایه از آزمون من کندال استفاده شد. این آزمون به‌عنوان یک آزمون ناپارامتریک برای تشخیص روند توسط من [۲۱] و به‌عنوان یک آزمون توزیع آماری برای آزمون روند غیرخطی و نقطه عطف، توسط کندال [۲۲] فرموله شد که در این آزمون پارامتر S به‌صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (1)$$

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

معنای ورودی بیشتر انرژی تابشی خورشید نسبت به انرژی بازگشتی از زمین است که موجب افزایش دمای کره زمین می‌شود. سناریوی دوم RCP 8.5 است که توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE در مؤسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA تریس ارائه شده که مشخصه اصلی آن روند افزایشی غلظت گازهای گلخانه‌ای است. طبق این سناریوی بسیار بدبینانه، واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ به مقدار ۸/۵ وات بر مترمربع رسیده و همچنان روند افزایشی خواهد داشت. بدون اتخاذ سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی RCP 8.5 پیش خواهد رفت [۷].

فرایند تولید داده‌ها

در این تحقیق برای اجرای اولیه مدل LARS-WG ابتدا دو فایل ورودی آماده شد که یک فایل شامل مشخصات نام، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی مربوط به ایستگاه مطالعه شده است. فایل دیگر شامل داده‌های هواشناسی ورودی به مدل که از سال کم به زیاد مرتب شده و شامل سال، شماره روز ژولیوسی حداقل و حداکثر دما، بارش و ساعت آفتابی روزانه است. که در این تحقیق از داده‌های روزانه ایستگاه شیرین‌آباد (جدول ۱) به‌عنوان ورودی استفاده شد به کمک آنالیز مدل روی داده‌های ورودی دو فایل به دست می‌آید: فایل اول شامل خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی مانند میانگین و انحراف معیار بارش، دمای حداقل و حداکثر به‌صورت ماهانه است. فایل دیگر داده‌های پارامترهای استفاده شده توسط مدل LARS-WG برای بازتولید داده‌های مشاهداتی است. در مرحله آخر تولید داده‌های هوای ساختگی از طریق مولد (GENERATOR) انجام می‌شود. برای این کار از فایل‌های پارامتر به‌دست‌آمده از داده‌های هواشناسی مشاهداتی طی فرایند واسنجی مدل، برای ایجاد داده‌های هوای ساختگی استفاده می‌شود. داده‌های ساختگی را می‌توان بر اساس یک سناریوی تغییر اقلیم مشخص که از اعمال تغییرات دما، بارش و تابش خورشیدی مدل‌های جهانی اقلیم به فایل پارامترهای مدل LARS-WG به دست می‌آیند نیز تولید کرد. برای اینکه مدل قادر به بررسی پدیده‌های اقلیمی با فراوانی کمتر مانند خشک‌سالی باشد، باید

ب) مدل‌سازی تغییر اقلیم و ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها توسط مدل LARS-WG

برای شناخت پیامدهای گرمایش جهانی باید شرایط آبی و آب‌وهوا شبیه‌سازی شوند. یکی از ابزارهای معتبر برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو هستند، اما ضعف عمده این مدل‌ها قدرت تفکیک مکانی کم و ساده‌سازی‌هایی است که برای فرایندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند. برای فائق آمدن بر این ضعف قدرت تفکیک پایین باید خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در تحقیقات ریزمقیاس‌نمایی شوند [۲۳]. در تحقیق حاضر، از مدل گردش عمومی جو، HADGEM2 و مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG استفاده شده است. از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا LARS-WG است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، دماهای بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. این مولد با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی مشاهداتی در یک ایستگاه مفروض، پارامترهای توزیع‌های احتمالاتی متغیرهای آب‌وهوایی و نیز با دستیابی به رابطه بین آن‌ها، داده‌های مربوط به دوره آینده را تولید می‌کند. درواقع، هدف اصلی از کاربرد و ایجاد نرم‌افزار LARS-WG برای برطرف کردن محدودیت‌های زنجیره مارکف است. LARS-WG برای هر یک از متغیرهای بیشینه و کمینه دما، بارش، تابش خورشیدی (یا تعداد ساعت‌های آفتابی) توزیع نیمه‌تجربی جداگانه‌ای در نظر می‌گیرد. از ویژگی‌های مهم نسخه ششم LARS-WG این است که این ابزار از مدل‌های GCM موجود در گروه مدل‌های جفت‌شده CMIP5 و سناریوهای RCP که هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم سازمان ملل متحد (IPCC) در جدیدترین گزارش خود (گزارش پنجم) ارائه کرده است، پشتیبانی می‌کند.

سناریوهای مطالعه شده

در این مطالعه از دو سناریو استفاده شد. سناریوی اول RCP 4.5 است که توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای پس از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع فرض می‌شود. به تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی بازگشتی به جو از سطح زمین، واداشت تابشی می‌گویند. واداشت تابشی مثبت به

فرعی با توابع رگرسیون خطی است. این تکنیک مدل درختی، فضای پارامترهای ورودی را به نواحی یا فضاهای کوچکتر تقسیم می‌کند و در هر یک از آن‌ها، یک مدل رگرسیون خطی برازش می‌دهد. پس از به دست آمدن مدل خطی به منظور کمینه کردن خطای با حذف کردن پارامترها، ساده‌سازی مدل انجام می‌شود. در مدل M5 از یک جست‌وجوی حریم‌ساز برای حذف متغیرهایی که مشارکت کمی در مدل دارند، استفاده می‌شود. در بعضی مواقع همه متغیرها حذف می‌شود و فقط یک مقدار ثابت باقی می‌ماند [۲۸].

مزایا درخت تصمیم

- درخت تصمیم پیش‌بینی خود را در قالب یکسری قوانین توضیح می‌دهد، در حالی که در شبکه‌های عصبی تنها پیش‌بینی بیان می‌شود و چگونگی آن در خود شبکه پنهان باقی می‌ماند. همچنین، در درخت تصمیم به خلاف شبکه‌های عصبی لزومی ندارد که داده‌ها لزوماً به صورت عددی باشند.
- کار کردن با داده‌های بزرگ و پیچیده: درخت تصمیم در عین سادگی می‌تواند با داده‌های پیچیده به راحتی کار کند و از روی آن‌ها تصمیم بسازد.
- درخت تصمیم نیاز به محاسبات خیلی پیچیده برای دسته‌بندی داده‌ها ندارد.
- درخت تصمیم‌گیری برای انواع مختلف داده‌های پیوسته و رده‌ای قابل استفاده است [۲۸].

رگرسیون چندمتغیره خطی

هدف از تحلیل رگرسیونی، تغییر یک یا چند متغیر وابسته با توجه به تغییر متغیر مستقل است که یکی از روش‌های پرکاربرد در بین تکنیک‌های آماری است و به منظور بررسی و مدل‌سازی ارتباط بین متغیرها به کار می‌رود. در این نوع تحلیل، ورود متغیرهای مستقل معمولاً به سه روش هم‌زمان، گام‌به‌گام و سلسله‌مراتبی صورت می‌گیرد [۲۹].

شاخص‌های خطا

در این پژوهش از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۴) و میانگین قدر مطلق خطا (MAD) (رابطه ۵) و ضریب تبیین R^2 و ضریب همبستگی (رابطه ۶) به منظور تعیین کارایی دو مدل درخت تصمیم M5 و رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد.

مقیاس زمانی داده‌های هوای مشاهداتی تا حد ممکن طولانی باشند [۲۴].

ج) مدل‌سازی بارش رواناب درخت تصمیم

به طور کلی، مدل‌های ریاضی شناخته‌شده بارش رواناب را می‌توان به دو گروه مدل‌های دارای مبنای فیزیکی مانند مدل هیدرولوژیکی مفهومی و مدل‌های داده‌محور مانند مدل‌های درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی تقسیم کرد [۲۵]. مدل درخت M5 به منظور پیش‌بینی داده‌های پیوسته نخستین بار توسط کوینلان [۲۶] ارائه شد. این مدل، به خلاف مدل‌های درخت تصمیم معمول که کلاس یا رده‌های گسسته را به عنوان خروجی ارائه می‌کنند، یک مدل خطی چندمتغیره را برای داده‌ها در هر گره از مدل درختی می‌سازد. تشکیل ساختار مدل‌های درخت تصمیم‌گیری شامل مراحل ایجاد درخت و هرس کردن آن است [۲۷]. در مرحله ساختن درخت، از یک الگوریتم استنتاجی یا معیار تقسیم (انشعاب) برای تولید یک درخت تصمیم استفاده می‌شود. معیار تقسیم برای الگوریتم درخت M5 ارزیابی انحراف معیار مقادیر کلاسی است که به عنوان کمیتی از خطا به یک گره می‌رسد و کاهش مورد انتظار در این خطا را به عنوان نتیجه آزمون هر صفت در آن گره محاسبه می‌کند. کاهش انحراف معیار (SDR)، از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$SDR = sd(T) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i) \quad (3)$$

که در آن T ، بیانگر یکسری نمونه‌هایی است که به گره می‌رسد. T_i بیانگر نمونه‌هایی است که i امین خروجی سری پتانسیلی را دارند و sd انحراف معیار است. به علت انشعاب داده‌های قرارگرفته در گره‌های فرزند، انحراف معیار کمتری نسبت به گره مادر دارد و خالص‌تر است. پس از حداکثرسازی تمام انشعاب‌های ممکن، M5 صفتی را انتخاب می‌کند که کاهش مورد انتظار را بیشینه کند. این تقسیم بیشتر ساختار شبه‌درختی بزرگی را تشکیل می‌دهد که باعث بیش‌برازش می‌شود. برای غلبه بر مسئله بیش‌برازش، درخت تصمیم تشکیل شده باید هرس شود. این کار با جایگزینی یک درخت فرعی با یک برگ انجام می‌شود. بنابراین، مرحله دوم در طراحی مدل درختی شامل هرس کردن درخت رشد یافته و جایگزینی درختان

ارزیابی مدل LARS_WG

داده‌های مورد نیاز برای تغییر اقلیم این منطقه توسط مدل LARS-WG که شامل حداقل دما، حداکثر دما، بارش و ساعت آفتابی به صورت روزانه طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۵-۲۰۱۵) از ایستگاه شیرین آباد اخذ شد. برای بررسی توانایی مدل در تولید داده در دوره‌های آتی باید داده‌های محاسباتی توسط مدل و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه مورد مطالعه با هم مقایسه شوند. برای این کار ابتدا از فایل tst که حاوی نتایج مقایسه خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی شده است و مدل تولید کرده است شامل میانگین داده پایه و تولیدی، انحراف معیار داده پایه و تولیدی، آزمون مقایسه میانگین‌ها را بررسی کرد. جدول‌های ۲ تا ۴ نتایج روی پارامترهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به دست آمده توسط فایل tst مدل LARS-WG انحراف معیار داده‌های دمای حداقل و دمای حداکثر حول عدد یک است که نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل برای این پارامترها است. همچنین، نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها بر اساس مقدار P-VALUE حاصل از آزمون t برای داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده توسط مدل بیانگر این است که در سطح ۵ درصد، اختلاف معنادار میان داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود ندارد. با توجه به نتایج جدول‌های یاد شده می‌توان گفت که هیچ‌گونه تفاوت معناداری بین میانگین داده‌های بارش و دمای تولید شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی، وجود ندارد و مدل LARS_WG دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی میانگین‌های دما و بارش را دارد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_t - X_s)^2}{N}} \quad (4)$$

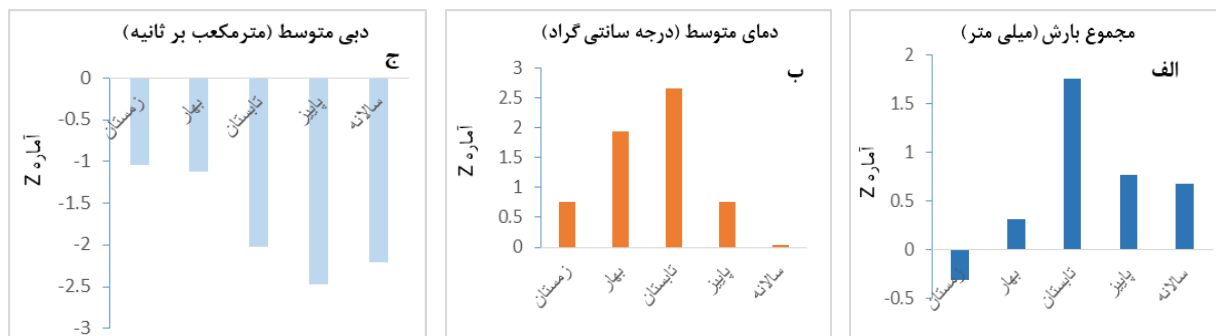
$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - x_s|}{n} \quad (5)$$

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (6)$$

بحث و نتایج

بررسی روند پارامترهای دوره پایه

در این مطالعه به منظور بررسی روند تغییرات پارامترهای بارش و دما، از آزمون من-کندال استفاده شد. شکل ۲ آماره Z که به منظور تشخیص روند به کار می‌رود را برای پارامترهای دما، بارش و دبی در دوره پایه را نشان می‌دهند. با توجه به نمودار الف شکل ۲، پارامتر بارش در فصل تابستان دارای روند معنادار افزایشی در سطح ۹۵ درصد بوده و در سایر فصول فاقد روند معنادار افزایشی و یا کاهش‌ی است با توجه به اینکه رژیم بارش در این منطقه از نوع شبه‌مدیترانه‌ای بوده و بیشتر حجم بارش در فصول سرد سال اتفاق می‌افتد، روند تغییرات بارش در فصل تابستان تأثیر زیادی بر بارش سالانه ندارد و روند معناداری در بارش سالانه وجود ندارد. پارامتر دمای متوسط دوره پایه (نمودار ب) نیز در فصل‌های بهار و تابستان دارای روند معنادار افزایشی در سطح ۹۵ درصد و ۹۹ درصد است. بررسی روند دبی پایه در نمودار ج بیانگر روند معنادار کاهش‌ی در فصول تابستان و پاییز همچنین، روند معنادار کاهش‌ی سالانه است که علت آن می‌تواند ناشی از کاهش رواناب به علت تبخیر و همچنین، کاهش ذخایر برفی ناشی از افزایش دما باشد.



شکل ۲. آماره Z برای تشخیص روند بارش (نمودار الف)، دما (نمودار ب) و دبی (نمودار ج) دوره پایه ۱۹۹۵-۲۰۱۵

جدول ٢. مقایسه دمای حداکثر مشاهداتی و تولیدشده توسط مدل دوره آماری (١٩٩٥-٢٠١٥) درجه سانتی گراد

| ماه | Mean observation | Sd observation | Mean generate | Sd generate | t | P value t | f | P value f |
|------|------------------|----------------|---------------|-------------|------|-----------|-----|-----------|
| Jan | ١٠/٣ | ٢/٥ | ٩/٨ | ١ | ١ | ٠/٣ | ٥/٨ | ٠ |
| Feb | ١٠/٧ | ٢/٢ | ١٠/٩ | ١/١ | -٠/٤ | ٠/٧ | ٤ | ٠ |
| Mar | ١٤/٨ | ٢/٩ | ١٤/٢ | ١/٢ | ١/١ | ٠/٢ | ٦ | ٠ |
| Apr | ١٨/٣ | ٢/١ | ١٨/٥ | ١/٢ | -٠/٤ | ٠/٧ | ٣/٢ | ٠ |
| May | ٢٣/٢ | ١/٦ | ٢٣/٣ | ١ | -٠/١ | ٠/٨ | ٢/٨ | ٠ |
| June | ٢٥/٢ | ١/٨ | ٢٦/٦ | ٠/٨ | ١/٦ | ٠/١ | ٥ | ٠ |
| July | ٢٨/٩ | ٢/٢ | ٢٩ | ٠/٨ | ٠/١ | ٠/٩ | ٦/٨ | ٠ |
| Aug | ٣٠ | ١/٩ | ٢٩/٥ | ٠/٧ | ١/٢ | ٠/٢ | ٦/٨ | ٠ |
| Sep | ٢٦/٧ | ١/٦ | ٢٦/٣ | ٠/٦ | ١/١ | ٠/٢ | ٥/٩ | ٠ |
| Oct | ٢٢/٥ | ١/٩ | ٢٢/١ | ٠/٧ | ٠/٩ | ٠/٣ | ٦/٢ | ٠ |
| Nov | ١٦/٢ | ٢/٤ | ١٦/١ | ١ | ٠/١ | ٠/٨ | ٥/٨ | ٠ |
| Dec | ١١/٣ | ٣/٢ | ١١/٢ | ١/١ | ٠/١ | ٠/٨ | ٧/٥ | ٠ |

جدول ٣. مقایسه دمای حداقل مشاهداتی و تولیدشده توسط مدل دوره آماری (١٩٩٥-٢٠١٥) درجه سانتی گراد

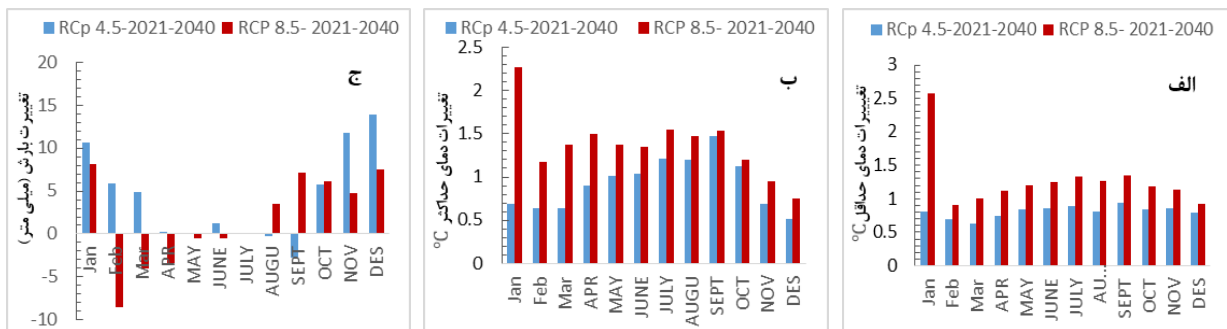
| ماه | Mean observation | Sd observation | Mean generate | Sd generate | t | P value t | f | P value f |
|------|------------------|----------------|---------------|-------------|------|-----------|------|-----------|
| Jan | ٠/٧ | ٢ | ٠/٥ | ٠/٦ | ٠/٥ | ٠/٥ | ٩ | ٠ |
| Feb | ١ | ٢ | ٠/٨ | ٠/٨ | -٠/٦ | ٠/٥ | ٦/٢ | ٠ |
| Mar | ٤/٢ | ١/٧ | ٣/٨ | ٠/٦ | ١/١ | ٠/٢ | ٨/٢ | ٠ |
| Apr | ٧/١ | ١/٥ | ٧/٥ | ٠/٦ | -١/٥ | ٠/١ | ٦ | ٠ |
| May | ١١/٨ | ١ | ١١/٩ | ٠/٤ | -٠/٣ | ٠/٧ | ٦ | ٠ |
| June | ١٥/٢ | ١/٥ | ١٥ | ٠/٤ | ٠/٨ | ٠/٣ | ١٤ | ٠ |
| July | ١٧/٦ | ٠/٩ | ١٧/٨ | ٠/٣ | -٠/٨ | ٠/٤ | ٨/٧ | ٠ |
| Aug | ١٨ | ١ | ١٨/٣ | ٠/٣ | -١/٣ | ٠/٢ | ٨/٨ | ٠ |
| Sep | ١٥/٢ | ٠/٨ | ١٥/٣ | ٠/٣ | -٠/٣ | ٠/٧ | ٥/٢ | ٠ |
| Oct | ١١ | ١/٥ | ١٠/٨ | ٠/٤ | ٠/٦ | ٠/٥ | ١١/١ | ٠ |
| Nov | ٥/٩ | ١/٢ | ٦ | ٠/٦ | ٠ | ١ | ٤ | ٠ |
| Dec | ٢ | ١/٩ | ١/٩ | ٠/٨ | ٠/١ | ٠/٨ | ٥/٢ | ٠ |

جدول ٤. مقایسه بارش مشاهداتی و تولیدشده توسط مدل دوره آماری (١٩٩٥-٢٠١٥) میلی متر

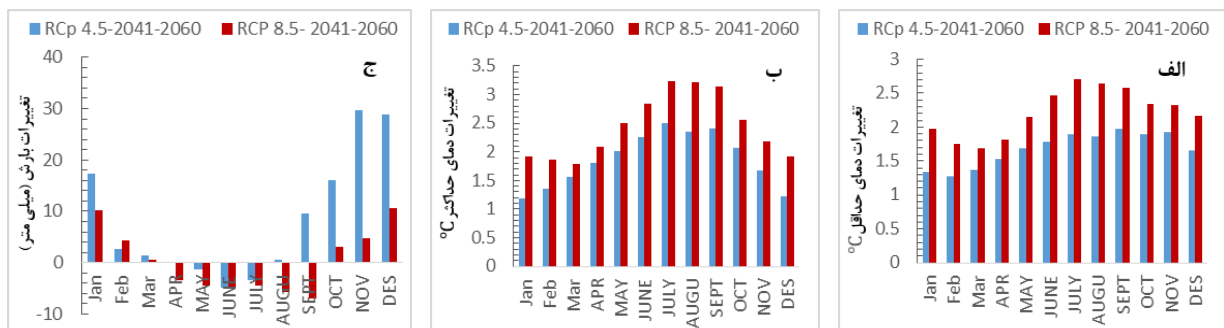
| ماه | Mean observation | Sd observation | Mean generate | Sd generate | t | P value t | f | P value f |
|------|------------------|----------------|---------------|-------------|------|-----------|-----|-----------|
| Jan | ٥٧/٦ | ٢٧/٢ | ٦٠/٦ | ٢٩/٨ | -٠/٣ | ٠/٧ | ١/٢ | ٠/٧ |
| Feb | ٧٧/٢ | ٤٠/٦ | ٦٧/٧ | ٣٣/٧ | ٠/٩ | ٠/٣ | ١/٤ | ٠/٣ |
| Mar | ٨٦/٥ | ٢٩/٤ | ٨٦ | ٣٥/٧ | ٠ | ٠/٩ | ١/٤ | ٠/٤ |
| Apr | ٦٠/١ | ٣٠/٣ | ٦٧ | ٣١/٢ | -٠/٧ | ٠/٤ | ١ | ٠/٩ |
| May | ٣٩ | ٢٢/٧ | ٤٤/٨ | ٢٦/٨ | -٠/٧ | ٠/٤ | ١/٤ | ٠/٤ |
| June | ٢٨/٦ | ٢٧/٧ | ٤١/٨ | ٣٧/٧ | -١/٣ | ٠/٢ | ١/٨ | ٠/١ |
| July | ٢٧/٢ | ٣٥/٣ | ٢٣ | ٢٤/٤ | ٠/٥ | ٠/٦ | ٢ | ٠ |
| Aug | ٣٥/٤ | ٣١ | ٤٠/٥ | ٣٨/٧ | -٠/٥ | ٠/٦ | ١/٥ | ٠/٣ |
| Sep | ٥٧/٢ | ٥٢/٤ | ٦٠ | ٥٠/٦ | -٠/٢ | ٠/٨ | ١ | ٠/٨ |
| Oct | ٥٤/٣ | ٤٨/٣ | ٦٠/٥ | ٤٣/٣ | -٠/٤ | ٠/٦ | ١/٢ | ٠/٥ |
| Nov | ٧٧/٧ | ٣٧/١ | ٧٦ | ٣٩/٢ | ٠/١ | ٠/٨ | ١/١ | ٠/٨ |
| Dec | ٦١/٧ | ٢٧ | ٥٨/١ | ٣٥/٨ | ٠/٣ | ٠/٧ | ١/٧ | ٠/٢ |

بین ۰/۵ تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد؛ این افزایش دما در ماه‌های مختلف متفاوت است. بیشترین افزایش دما مربوط به سناریوی RCP 8.5 در دمای حداکثر ماه آگوست و سپتامبر در دوره آینده دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰) است. همچنین، کمترین افزایش دما مربوط به سناریوی RCP 4.5 دسامبر در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ است. تغییرات متوسط بارش از یک الگوی افزایشی و یا کاهش‌ی ثابت پیروی نمی‌کند و میزان افزایش بارش در فصل پاییز مشهودتر است.

مقایسه تغییرات پارامترهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر طی دوره‌های آبی با دوره پایه به‌منظور مقایسه داده‌های بارش و دما در دوره‌های آینده، تغییرات داده‌های بارش و دمای ریزمقیاس‌شده توسط مدل LARS_WG طی دوره‌های آبی به‌صورت میانگین ماهانه بلندمدت (۲۰ سال) نسبت به داده‌های پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۵) در شکل‌های ۳ تا ۵ آورده شده است. با توجه به اشکال دمای حداکثر و دمای حداقل در سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 طی هر ۳ دوره آینده نزدیک، میانی و دور



شکل ۳. نمودارهای الف، ب و ج به ترتیب تفاوت میانگین پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه

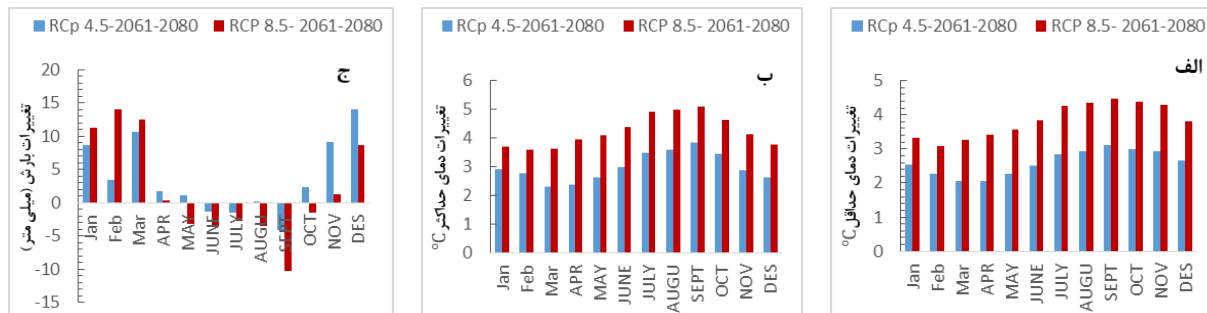


شکل ۴. نمودارهای الف، ب و ج به ترتیب تفاوت میانگین پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه

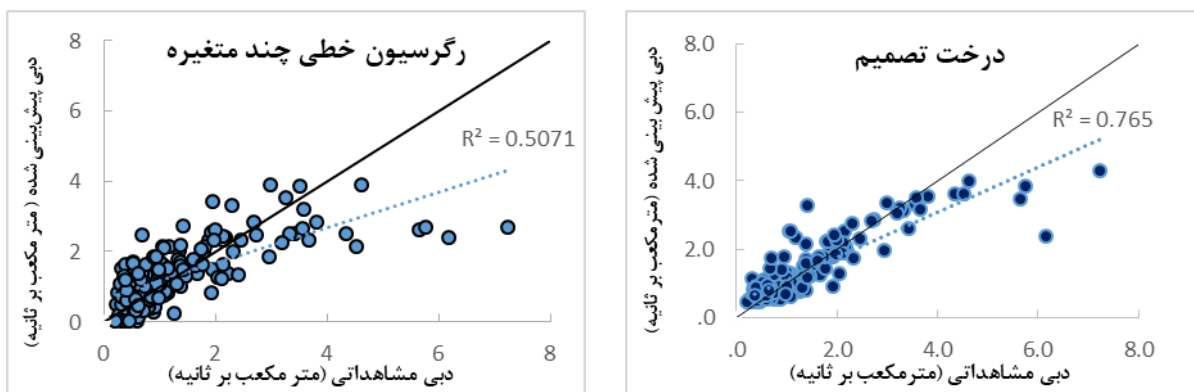
می‌کند و دارای ضریب تبیین بیشتری نسبت به رگرسیون خطی چندمتغیره با ضریب تبیین ۵۰ درصد (ضریب همبستگی ۷۰ درصد) است (شکل ۶). همچنین، با توجه به جدول ۵ شاخص‌های خطا در مدل درخت تصمیم کمتر از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره است. در نتیجه، به‌منظور مدل‌سازی بارش - رواناب مدل درخت تصمیم M5 انتخاب شد.

تحلیل نتایج مدل‌سازی بارش رواناب

در این مرحله مدل‌سازی بارش رواناب با استفاده از مدل درخت تصمیم M5 و رگرسیون خطی چندمتغیره انجام شد. به‌منظور بررسی کارایی ۲ مدل یادشده با توجه به خروجی مدل‌ها مشاهده می‌شود که مدل M5 رواناب ماهانه را بر اساس میانگین بارش و دمای ماهانه با ضریب تبیین ۷۶ درصد (ضریب همبستگی ۸۷ درصد) برآورد



شکل ۵. نمودارهای الف، ب و ج به ترتیب میانگین پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه



شکل ۶. نمودارهای همبستگی میان دبی مشاهداتی و دبی محاسباتی به روش درخت تصمیم و رگرسیون خطی چندمتغیره

جدول ۵. نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر واقعی و تولیدشده

| شاخص خطا | مدل درخت تصمیم | رگرسیون خطی چند متغیره |
|--------------|----------------|------------------------|
| RMSE m^3/s | ۰/۵۹ | ۰/۸۲ |
| MAE m^3/s | ۰/۳۴ | ۰/۵۵ |

درخت تصمیم به کمک نرم‌افزار Rapidminer به دست آمد. سپس، این رابطه بر داده‌های بارش و دمای کوچک‌مقیاس شده سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 طی سه دوره زمانی اعمال شد و دبی برای سال‌های آتی پیش‌بینی شد. رابطه ۷ بیانگر رابطه به‌دست‌آمده توسط مدل درخت تصمیم است که در آن R و T به ترتیب پارامترهای بارش و دما با تأخیر یک تا پنج گام زمانی هستند.

مدل‌سازی بارش رواناب در شرایط تغییر اقلیم در این مرحله با استفاده از مدل درخت تصمیم M5 خروجی‌های کوچک‌مقیاس شده سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 برای سه دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، (۲۰۴۰-۲۰۶۰) و (۲۰۴۱) دبی جریان در ایستگاه زرینگل پیش‌بینی شد. به این منظور، ابتدا رابطه میان بارش و دبی با کمک داده‌های مشاهداتی بارش و دما توسط روش

M5 model tree

$T3 \leq 9.272$: LM1

$T3 > 9.272$

$\left\{ \begin{array}{l} T3 \leq 14.33 : LM2 \\ T3 > 14.33 : LM3 \end{array} \right.$

LM1:

$Q = 0.1 * R + 0.001 * R1 - 0.16 * T1 - 0.024 * T3 - 0.001 * R4 + 0.004 * T5 + 4.71$

LM2:

$Q = -0.024 * T + 0.0008 * R1 - 0.01 * T3 - 0.0006 * R4 - 0.002 * T5 + 1.72$

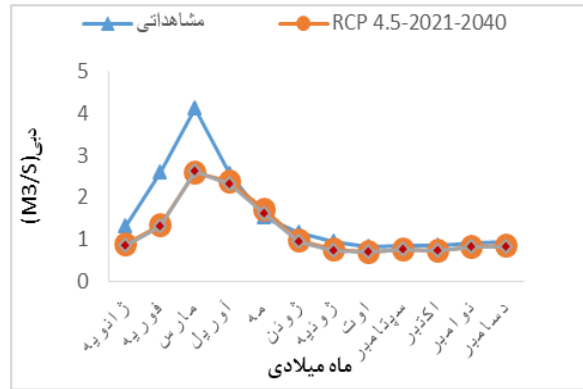
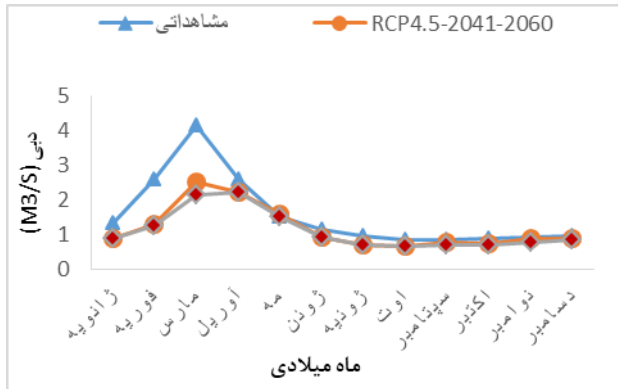
LM3:

$Q = 0.002 * R - 0.003 * T + 0.0008 * R1 - 0.01 * T3 - 0.0006 * R4 + 0.0001 * T5 + 0.97$

(۷)

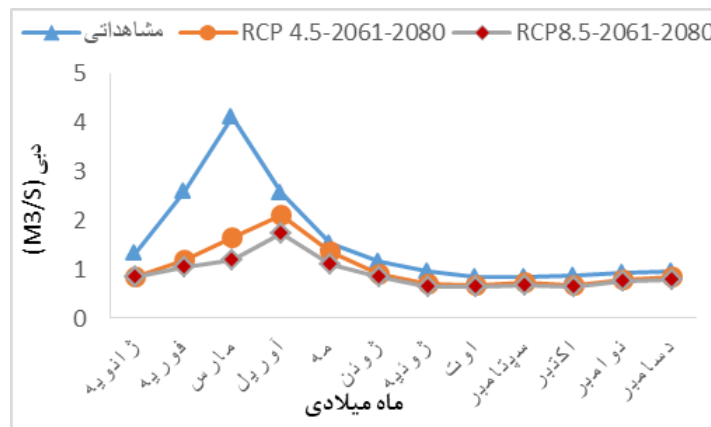
ایستگاه زرین گل به صورت میانگین ماهانه در شکل های ۷ تا ۹ آورده شده است.

برای مقایسه تغییرات جریان نسبت دوره پایه، دبی شبیه سازی شده برای هر سه دوره و هر دو سناریو برای



شکل ۸. دبی میانگین ایستگاه شیرین آباد سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰

شکل ۷. دبی میانگین ایستگاه شیرین آباد سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰



شکل ۹. دبی میانگین ایستگاه شیرین آباد سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰

دوره های اقلیمی نزدیک، میانی و دور تحت دو سناریو محاسبه شد. جدول های ۶ و ۷ بیانگر آزمون مقایسه میانگین ها میان دبی مشاهداتی و دبی مدل است. نتایج آزمون مقایسه میانگین ها بین سری داده های دبی مشاهداتی و پیش بینی شده توسط مدل M5 بر اساس خروجی مدل LARS_WG نشان می دهد در ماه های ژانویه، فوریه و مارس در هر ۲ سناریو قدر مطلق t محاسبه شده بزرگ تر از مقدار t بحرانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. بنابراین، فرض برابری میانگین ها به احتمال ۹۵ درصد مورد تأیید است، اما در سایر ماه ها این اختلاف معنادار بوده که بیانگر تغییر اقلیم در منطقه است.

با توجه به شکل های ۷-۹ می توان پی برد دبی در سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 و طی هر ۳ دوره کاهش می یابد. همچنین، در فصول سرد سال کاهش دبی بیشتر بوده و در ماه مارس بیشترین کاهش دبی در سناریوی RCP 8.5 در آینده دور اتفاق می افتد.

بررسی تغییرات دبی در دوره های اقلیمی آینده بر اساس

نتایج خروجی مدل گردش عمومی جو HADGEM2

پس از تهیه رابطه بین بارش و دما با رواناب به کمک مدل درخت تصمیم M5، نتایج خروجی مدل HADGEM2 شامل دما و بارش ماهانه تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 وارد مدل درخت تصمیم M5 شد و رواناب برای

جدول ۶. مقایسه میانگین پارامتر دبی در مقیاس ماهانه RCP 4.5 (مترمکعب بر ثانیه)

| RCP 4.5 2061-2080 | | RCP 4.5 2041-2060 | | RCP 4.5 2021-2040 | | ماه |
|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|------|
| P-Value | آماره t | P-Value | آماره t | P-Value | آماره t | |
| . | ۳/۹۵ | ۰/۰۰۱ | ۳/۵۳ | ۰/۰۰۱ | ۳/۵۷ | Jan |
| . | ۴/۳۷ | . | ۴ | . | ۴ | Feb |
| . | ۴ | ۰/۰۱ | ۲/۵۷ | ۰/۰۱ | ۲/۵ | Mar |
| ۰/۱۸ | ۱/۳۵ | ۰/۳۶ | ۰/۹ | ۰/۵۷ | ۰/۵۷ | Apr |
| ۰/۵۶ | ۰/۵۸ | ۰/۷۵ | -۰/۳۱ | ۰/۴۷ | -۰/۷۲ | May |
| ۰/۱۲ | ۱/۵۷ | ۰/۱۹ | ۱/۳۱ | ۰/۴۱ | ۰/۸۱ | June |
| ۰/۰۱ | ۲/۵۸ | ۰/۰۶ | ۱/۹۱ | ۰/۴۳ | -۰/۷۹ | July |
| ۰/۱ | ۱/۶۷ | ۰/۱۳ | ۱/۵۳ | ۰/۱۷ | ۱/۳۶ | Aug |
| ۰/۱۸ | ۱/۳۵ | ۰/۴۵ | ۰/۷۴ | ۰/۳۷ | ۰/۸۹ | Sep |
| ۰/۰۵ | ۲ | ۰/۲۳ | ۱/۲۲ | ۰/۱۵ | ۱/۴۴ | Oct |
| ۰/۲۲ | ۱/۲۲ | ۰/۸۴ | ۰/۲ | ۰/۵۴ | ۰/۶۱ | Nov |
| ۰/۷ | ۰/۳۸ | ۰/۶ | -۰/۵۱ | ۰/۸۹ | -۰/۱۳ | Dec |

جدول ۷. مقایسه میانگین پارامتر دبی در مقیاس ماهانه RCP 8.5 (مترمکعب بر ثانیه)

| RCP 8.5 2061-2080 | | RCP 8.5 2041-2060 | | RCP 8.5 2021-2040 | | ماه |
|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|------|
| P-Value | آماره t | P-Value | آماره t | P-Value | آماره t | |
| . | ۴ | . | ۳/۸ | . | ۳/۹ | Jan |
| . | ۴/۹ | . | ۴/۱۹ | . | ۳/۸ | Feb |
| . | ۵ | . | ۳/۲ | ۰/۰۱ | ۲/۴۸ | Mar |
| ۰/۰۱ | ۲/۵ | ۰/۳۶ | ۰/۹۲ | ۰/۵۳ | ۰/۶۲ | Apr |
| ۰/۰۶ | ۱/۸۸ | ۰/۹۶ | -۰/۰۴ | ۰/۷ | -۰/۳۷ | May |
| ۰/۰۳ | ۲/۱۵ | ۰/۱۳ | ۱/۵۱ | ۰/۳ | ۱/۰۶ | June |
| . | ۴ | ۰/۰۱ | ۲/۶۸ | ۰/۶۷ | ۰/۴۱ | July |
| ۰/۰۵ | ۱/۹ | ۰/۰۸ | ۱/۷۷ | ۰/۲ | ۱/۳۲ | Aug |
| ۰/۰۷ | ۱/۸۳ | ۰/۱۶ | ۱/۴ | ۰/۵۲ | ۰/۶۳ | Sep |
| ۰/۰۱ | ۲/۵ | ۰/۰۶ | ۱/۹ | ۰/۱۶ | ۱/۴ | Oct |
| ۰/۰۷ | ۱/۸ | ۰/۲۲ | ۱/۲ | ۰/۳۷ | ۰/۹ | Nov |
| ۰/۳۸ | ۰/۸۸ | ۰/۷۲ | ۰/۳۵ | ۰/۸۴ | ۰/۱۹ | Dec |

بحث و نتیجه‌گیری

و تابستان روند معنادار افزایشی داشتند که این موضوع با نتایج تحقیقات قاسمی و همکاران [۳۰] در بررسی روند تغییرات بارش و دما در شرایط تغییر اقلیم تطابق داشت. همچنین، دبی منطقه در فصول تابستان و پاییز و نیز در بازه سالانه روند کاهشی معنادار دارد.

نتایج خروجی مدل LARS_WG در پیش‌بینی بارش و دما تحت سناریوهای مختلف بر اساس نتایج مدل گردش عمومی جو HADGEM2 نشان داد

در این پژوهش جریان آینده حوضه زرین‌گل در سه افق زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ با به‌کارگیری مدل HADGEM2 و سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 توسط مدل درخت تصمیم به‌عنوان یکی از روش‌های نوین محاسباتی مدل‌سازی بارش-رواناب که کارایی بیشتری نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره داشت، شبیه‌سازی شد. مهم‌ترین یافته‌های این تحقیق به شرح زیر است.

تجزیه و تحلیل آزمون روند در دوره پایه نشان داد پارامتر بارش در فصل تابستان و دما در فصول بهار

اجتناب‌ناپذیر است. تغییر در الگوهای بارش به لحاظ زمانی و مکانی، میانگین رواناب درازمدت رودخانه‌ها را متأثر کرده است. همچنین، افزایش میانگین دمای ماهانه و سالانه، افزایش تبخیر را به دنبال خواهد داشت که اثرات آن در مدیریت منابع آب و بخش کشاورزی در آینده چشمگیر خواهد بود.

منابع

- [1]. IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report, Climate Change. 2007; 53 pp.
- [2]. Khazanedari L, & Zabol Abasi F, & Ghandharii S, & Kouhi M, & Malbousi S. Drought Conditions in the next thirty years in IRAN. Journal of geography and regional development. 2009; (12): 83-98. [Persian]
- [3]. IPCC. Climate Change: The Scientific Basic. Contribution of Working Group 1 to The Third Assessment report to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A. 2001; 881pp.
- [4]. Meshkati A, Kordjazi M. & Babaeian I. Investigation and Assessment of Lars-WG Model in Simulation of Meteorological Data of Golestan in 1993-2007. Journal of Applied Geographic Science. 2010; (16): 81-96 [Persian]
- [5]- Babaiyan I. Zabol Abbasi F., Najafynik Z., Adab H., Malbousi S. climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of echo- G model. Geography and development. 2010; 7(16):135-152.
- [6]. Ashraf B, Mousavi Beigi M, Kamali G. A and Davari K. Investigation of Variation Trend of Climatological Parameters in Mashhad over 2011-2030 Period Using Simulated Data by LARS-WG5 Model. First National Conference on Meteorology and Agricultural Water Management. 2011.[Persian]
- [7]. Sadeqi A. Abdollahi A and Azad Jelodarlu K. The Perusal of Climate in Zanjan City under Climate Change Conditions. 4 th International Congress of Developing Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran. 13-15 Feb. 2019. [Persian]
- [8]. Ghorbani kh. Sohrabian E. Salari Jazi M and Abdolhiseini M. Prediction of climate change impact on monthly river discharge trend using IHACRES hydrological model (case study: Galikesh watershed). J. of Water and Soil Conservation. 2016. [Persian]

نخست مدل لارس توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی بارش و دما دارد. همچنین، با توجه به مقادیر انحراف معیار، مدل LARS_WG دقت زیادی در شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداقل و دمای حداکثر داشت که این موضوع با یافته‌های بابائیان و نجفی نیک [۶] تطابق داشت. دوم، در دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف مقادیر بارش ماهانه تغییرات افزایشی و یا کاهش‌ی ثابتی ندارد، اما منطقه در تمامی سناریوهای دوره‌های آتی در تمامی ماه‌ها با افزایش دما نسبت به دوره پایه همراه خواهد شد، به طوری که دمای سالانه به طور میانگین حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. همچنین میزان افزایش دما در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ در سناریوی RCP 8.5 بیشتر از دوره‌های دیگر است، در نتیجه دوره‌های اقلیمی دور گرم‌تر خواهد بود [۷ و ۸].

- نتایج مدل‌سازی آماری بارش- رواناب نشان داد با استفاده از ۲ مدل درخت تصمیم و رگرسیون خطی چندمتغیره مدل رگرسیون درخت تصمیم می‌تواند رواناب ماهانه را بر اساس بارش ماهانه و میانگین ماهانه دما با گام‌های تأخیری با همبستگی بیش از ۸۷ درصد برآورد کند و در مقایسه با روش رگرسیون خطی چندمتغیره دقت بیشتری در شبیه‌سازی داشت که این موضوع با مطالعات قربانی و همکاران [۱۷] تطابق دارد.

- مطابق پیش‌بینی‌ها با فرض رخداد تغییر اقلیم در هر دو سناریو به دلیل افزایش دما در منطقه و افزایش تبخیر- تعرق از سطح حوضه با وجود تغییرات ناچیز بارش در دوره‌های اقلیمی آینده، دبی رودخانه زرین گل کاهش می‌یابد، به طوری که میانگین دبی سالانه در دوره اقلیم نزدیک ۲۱ درصد و در دوره میانی ۲۸ درصد و در دوره اقلیم دور ۴۱ درصد کاهش می‌یابد و میزان کاهش دبی در سناریوی RCP 8.5 بیشتر از سناریوی RCP 4.5 برآورد شد. همچنین، بیشترین کاهش دبی در ماه مارس رخ خواهد داد.

- بر اساس نتایج حاصل از تحقیق، موضوع رخداد تغییرات اقلیمی و تشدید آن در سال‌های آتی،

- [9] Tavakoli M, & Karimi H, & Norollahi H. Investigation the effects of climate change on water resources of Ilam dam watershed. watershed engineering and management. 2018;10(2):157-170. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=612212>. [Persian]
- [10]. Chen J, Brissette F.P and Leconte R. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. J. Hydrol. 2011; 401(3-4): 190-202.
- [11]. Semenov M.A, Donatelli M, Stratonovitch P, Chatzidaki E and Baruth B. ELPIS: A Dataset of Local-scale Saily Climate Scenarios for Europe, Clim Res. 2010; 44: 3-15.
- [12]. Habets F, Boé J, Déqué M, Ducharne A, Gascoin S, Hachour A, et al. Impact of climate change on the hydrogeology of two basins in northern France. Climatic Change. 2013; 121(4): 771-785.
- [13]. Pascual Sánchez D and Retana Alumbrosos, J. Impacts of climate change on water resources in the Mediterranean basin: a case study in Catalonia, Spain. CREAM, Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. 2014.
- [14]. Chang J Y, Wang E, Istanbuloglu T, Bai Q, Huang D Yang and S. Huang. Impact of Climate Change and Human Activities on Runoff in the Weihe River Basin, China. Quaternary International. 2014; pp: 169-179.
- [15]. Sadat Mousavi R, Marofi S. Investigation of the hydrologic response of river flow to climate change (Case study: Dez Dam Basin). J. of Water and Soil Conservation. 2017; 23(6). [Persian]
- [16]. Bhattacharya B. and Solomatine D.P. Neural networks and M5 model trees in water level discharge relationship. J. Neurocomputing. 2005; 63: 381-396.
- [17]. Ghorbani Kh, Naeimi Kalourazi Z, Salari Jazi M and Dehghani A.H. Estimation of monthly discharge using climatological and physiographic parameters of ungauged basin. J. of Water and Soil Conservation. 2016; 23(3). [Persian]
- [18]. Ghorbani KH, Sohrabian E and Salari Jazi M. Evaluation of Hydrological and Data Mining Models in Monthly River Discharge Simulation and Prediction (Case Study: Araz-Kouseh Watershed). J. of Water and Soil Conservation. 2016; 23(1). [Persian]
- [19]. Sattari M T, Apaydin H, Ozturk, F. Flow estimations for the Sohu Stream using artificial neural networks. Environmental earth science. 2012; 66: 2031-2045. [Persian]
- [20]. Zahiri A.R and Ghorbani Kh. Flow discharge prediction in compound channels by using decision model tree M5. J. of Water and Soil Conservation. 2013; 20(3). [Persian]
- [21]. Mann, H. B. Nonparametric tests against trend. Journal of Econometrica. 1945; 13(3):245-259
- [22]. Kendall, M. G. Rank Correlation Methods. Griffin, London. 1955; 196p.
- [23]. Haltiner G, & Williams R. Numerical prediction and dynamic meteorology New York: John Wiley & Sons. 1980.
- [24]. Fallah GHalhari GH. Statistical Downscaling of climatic data. First ed. Sokhan-Gostar. 2014. [Persian]
- [25]. Farmer W. H, and Vogel R. M. On the deterministic and stochastic use of hydrologic models. Water Resources Research. 2016; 52(7): 5619- 5633.
- [26]. Quinlan J. R. Learning with continuous classes. In 5th Australian joint conference on artificial intelligence. 1992; 92: 343-348.
- [27]. Ervine D.A., and Ellis J. Experimental and Computational Aspects of Overbank Flood-Plain Flow. Trans. Royl. Society Edinburgh, Series A. 1987; 78: 315-325.
- [28]. Kheradmand m. determining the stage-discharge relation of meanders composite rivers using modern data mining methods. Master Thesis University of Sistan and Baluchestan. 2013. [Persian]
- [29]. Emadi A.Kia I and Moha,adi GH. Rainfall-Runoff Modeling by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Multi-Variable Linear Regression (MLR). Waterjournal. 2019. [Persian]
- [30]. Ghasemi M, Naseri A, Soltani mohamadi A and Moazed h. Investigating the trend of future climate change under radiation induction scenarios using mann kendall non parametric test (case Study: South Ahvaz). nivar. 2019; 107(43). [Persian]