

پیش بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریز مقیاس- سازی LARS-WG و خروجی های مدل HADCM3 تحت سناریوهای مختلف

سیاوش طائی سمیرمی^۱، حمیدرضا مرادی^{۲*} و مرتضی خداقلی^۳

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس و ^۲ استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان
^۳ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۲۶

چکیده

امروزه پیش بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای سازگاری و تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه هیدرولوژیست ها و پژوهشگران قرار گرفته است. در حال حاضر، مدل های گردش عمومی جو (GCM^۱) قوی ترین ابزار به منظور تولید سناریوهای اقلیمی می باشند. به دلیل دقت مکانی پایین مدل های گردش عمومی جو، این مدل ها نمی توانند تقریب درستی از شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه ارائه دهند. لذا بایستی خروجی آن ها تا حد ایستگاه هواشناسی ریزمقیاس شود. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال روند متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش برای دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت. سپس این متغیرها با استفاده از خروجی های مدل HADCM3^۲ تحت سه سناریوی A1، A2 و B1 تأیید شده IPCC^۳ ریز مقیاس شده و تغییرات ماهانه آن ها در حوزه آبخیز بار نیشابور برای سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۷۱ مورد بررسی قرار گرفت. هر سه سناریو نتایج تقریباً مشابهی مبنی بر کاهش بارش و افزایش تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره های آبی نشان دادند. به عنوان مثال، نتایج حاصل از سناریوی A2 حاکی از افزایش میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه تقریباً به صورت یکسان و به میزان ۱/۱، ۳/۲ و ۴/۶ درجه سانتی گراد، افزایش تابش به میزان ۰/۰۷، ۰/۳۰ و ۰/۳۳ میلی ژول در مترمربع در روز و کاهش بارش به میزان ۱۶/۴، ۱۷/۶ و ۳۱/۹ درصد به ترتیب در این دوره ها نسبت به دوره پایه می باشد.

واژه های کلیدی: آزمون من-کندال، تغییر اقلیم، حوزه آبخیز بار نیشابور، کاهش بارش، مدل های گردش عمومی جو

مقدمه

رطوبت، ابرناکی، رطوبت خاک، ارتفاع از سطح دریا، تمرکز و ضخامت یخ های دریا مشخص می شود (CSCC، ۲۰۰۱). تغییر اقلیم عبارتست از هر گونه تغییرات بلندمدت و غیر قابل بازگشت شرایط جوی

اقلیم وضعیت متوسطی از اتمسفر و زمین یا آب زیر آن در مقیاس فصلی یا طولانی تر می باشد که به وسیله متغیرهایی از قبیل درجه حرارت، بارندگی، باد،

^۱ Global Circulation Models

^۲ Hadley Center General Circulation Model

^۳ Intergovernmental Panel on Climate Change

* مسئول مکاتبات: hrmoradi@modares.ac.ir

Kilsby و همکاران، ۲۰۰۷؛ Kim و همکاران، ۲۰۰۷). مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید بارش روزانه، تابش، بیشینه و کمینه درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود (Racsco و همکاران، ۱۹۹۱؛ Semenov و Brooks، ۱۹۹۹؛ Semenov و Barrow، ۲۰۰۲). تا کنون مطالعات مختلفی در رابطه با ریز مقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل LARS-WG صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه، در خارج از کشور Semenov (۱۹۹۸)؛ Qian (۲۰۰۴)؛ Hashmi و همکاران (۲۰۱۱) و Chen و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل LARS-WG به ریز مقیاس‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی پرداختند. در داخل کشور نیز Ababai و همکاران (۲۰۱۱)؛ Ashraf و همکاران (۲۰۱۱)؛ Khalili Aghdam (۲۰۱۲)؛ Farzanmanesh و همکاران (۲۰۱۲) و Roshan و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعات تغییر اقلیم از مدل LARS-WG^۵ استفاده کردند.

نتایج تمامی مطالعات فوق حاکی از دقت بالای مدل LARS-WG در ریز مقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی می‌باشد. بیشتر مطالعات صورت گرفته در رابطه با ریز مقیاس‌سازی با استفاده از مدل LARS-WG محدود به یک یا دو دوره در طول قرن حاضر می‌باشد و یا این که متغیرهای مورد بررسی را تحت یک یا دو سناریو مورد پیش‌بینی قرار داده‌اند. ولی پژوهش حاضر در نظر دارد تا توانمندی مدل LARS-WG را در ریز مقیاس‌سازی دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش حوزه آبخیز بار نیشابور در طول دوره آماری بلندمدت ۴۰ ساله مورد ارزیابی قرار دهد و در نهایت این متغیرها را تحت سه سناریوی A1، A2 و B1 پیش‌بینی کند. سپس تغییرات آن‌ها را تحت سه سناریوی ذکر شده و در سه دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۱) بررسی نماید. با توجه به مطالعات فوق، مشاهده شد که قسمت‌های مختلف کره زمین تاثیرپذیری زمانی و مکانی متفاوتی از تغییر اقلیم

که در طول ده‌ها یا میلیون‌ها سال در آب و هوای یک منطقه اتفاق می‌افتد. تغییر اقلیم ممکن است که در یک منطقه خاص یا در سراسر جهان رخ دهد (Bipal و Mrinmoy، ۲۰۱۰). در ۲/۵ میلیون سال گذشته، ۲۲ دوره یخبندان در نتیجه کاهش دما و بین یخبندان در نتیجه افزایش دما وجود داشته است. در نتیجه طی این مدت، متوسط دمای زمین چندین درجه سانتی‌گراد بالا و پایین رفته است (Bytnerowicz و همکاران، ۲۰۰۷). تاکنون نظریات مختلفی برای توجیه روند تغییرات اقلیمی ارائه شده که از آن جمله می‌توان به تئوری چگالی انرژی خورشید، تئوری گلخانه‌ای و گرد و غبار آتشفشانی اشاره کرد. اما معتبرترین نظریه در این زمینه، تئوری گلخانه‌ای است (IPCC، ۲۰۰۷). دمای سطح زمین از اواسط قرن ۱۹ تا کنون روندی افزایشی داشته است، به طوری که در این دوره، سه دهه اخیر گرمترین سال‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. اطلاعات ثبت شده حاکی از آن است که از سال ۱۹۰۱ تا سال ۲۰۱۲ دمای سطح زمین و اقیانوس‌ها به‌طور متوسط در حدود ۰/۸۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (IPCC، ۲۰۱۳). امروزه مدل‌های گردش عمومی جو^۱ (GCM) قوی‌ترین ابزار به‌منظور تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشند. خروجی‌های این مدل‌ها دارای دقت مکانی پایینی هستند. لذا در صورتی که خروجی این مدل‌ها مستقیماً به‌عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی قرار گیرد، باعث افزایش عدم قطعیت می‌شود. امروزه برای افزایش دقت مکانی این داده از روش‌های ریز مقیاس‌سازی^۲ استفاده می‌شود. روش‌های ریز مقیاس‌سازی به دو دسته روش‌های دینامیکی^۳ و آماری^۴ تقسیم‌بندی می‌شوند (Beecham و همکاران، ۲۰۱۴؛ Bates و همکاران، ۲۰۰۸). هیدرولوژیست‌ها برای ریز مقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی بیشتر از روش‌های آماری استفاده می‌کنند (Wilks، ۱۹۹۲ و ۱۹۹۹). یکی از دلایل استفاده از این مدل‌ها، عملکرد سریع و آسان آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد (Dibike و Coulibaly، ۲۰۰۵)؛

¹ Global Circulation Models

² Downscaling

³ Dynamic Methods

⁴ Statistical Methods

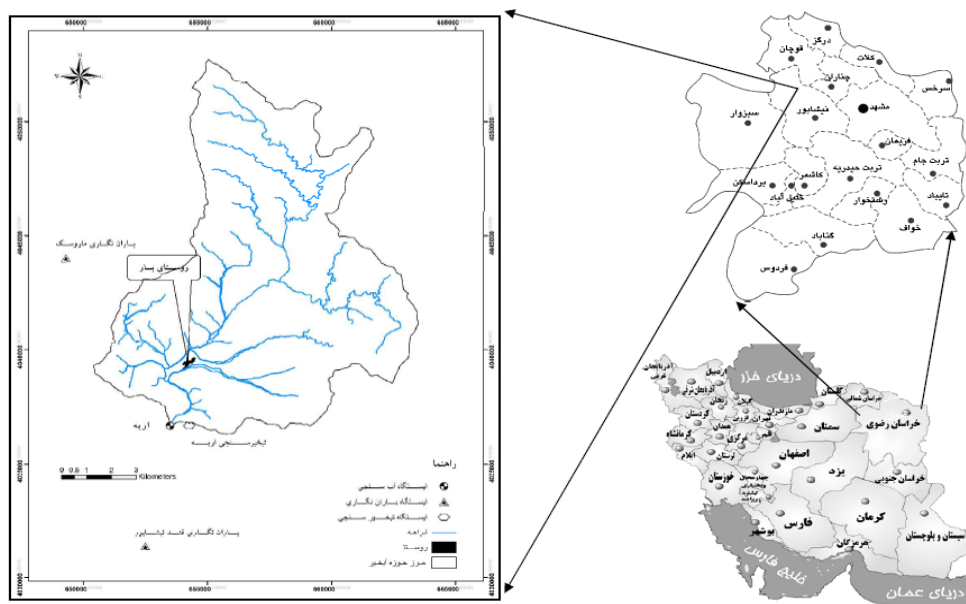
⁵ Long Ashton Research Station Weather Generator

دارند. لذا انجام مطالعات بیشتر در نقاط مختلف به- منظور روشن شدن اثرات تغییر اقلیم ضروری می‌باشد. از طرف دیگر، لزوم بهره‌گیری از آمار طولانی‌مدت در مطالعات تغییر اقلیم ضروری است. به همین سبب، حوزه آبخیز بار به‌واسطه داشتن دوره آماری بلندمدت درجه حرارت و بارش به‌منظور انجام این پژوهش انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد مطالعه، حوزه آبخیز بار-اریه نیشابور است. این حوضه به مساحت ۱۱۳۸۸ هکتار در جنوب غربی سلسله جبال بینالود

قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه در ۸۲ کیلومتری شمال غربی مشهد واقع شده است. حوزه آبخیز مذکور در موقعیت $36^{\circ} 38' 27''$ تا $36^{\circ} 32' 36''$ عرض شمالی و $58^{\circ} 46' 46''$ تا $58^{\circ} 49' 31''$ طول شرقی قرار دارد. میانگین ارتفاع حوزه آبخیز ۲۲۲۶ متر، بیشینه ارتفاع ۲۸۶۱ متر و کمینه ارتفاع در خروجی حوزه آبخیز و در محل ایستگاه هیدرومتری ۱۵۸۰ متر می‌باشد. محیط حوزه آبخیز ۵۴ کیلومتر و شیب متوسط آن ۱۱/۹ درصد محاسبه شده است. همچنین، میزان متوسط بارندگی سالانه آن $330/4$ میلی‌متر و بیشینه بارش ۲۴ ساعته آن $31/8$ میلی‌متر گزارش شده است (Tavasoli, 2010).



شکل ۱- موقعیت سیمای کلی حوزه آبخیز بار در استان خراسان رضوی و کشور

روش انجام پژوهش: این پژوهش در پنج مرحله اصلی انتخاب ایستگاه‌های مناسب، بررسی صحت و کیفیت داده‌های مورد استفاده، بررسی روند متغیرهای مورد مطالعه، ریز مقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی و بررسی تغییرات متغیرهای پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی انجام گرفت.

انتخاب ایستگاه‌های مناسب: برای انجام این پژوهش، داده‌های بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل عدم اندازه-گیری متغیر تابش در ایستگاه‌های موجود در شهرستان و حوضه، آمار این متغیر از ایستگاه

سینوپتیک مشهد تهیه شد. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. **بررسی صحت و کیفیت داده‌های مورد استفاده:** پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، اقدام به بررسی صحت و کیفیت داده‌ها شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از نرم‌افزار^۱ SPSS داده‌های پرت حذف شدند. در مرحله بعد با استفاده از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها^۲ نواقص آماری بر طرف شدند.

¹ Statistical Package for Social Science

² Correlation Between Stations Method

نظر گرفته می‌شوند، هر چند که مدارک زیادی در مورد وجود روندها و تغییرپذیری بلندمدت وجود دارد که ممکن است، به دلیل فعالیت‌های انسانی و عوارض طبیعی سامانه‌های اقلیمی باشد (Lall و Jain، ۲۰۰۰). لذا با استفاده از روش ناپارامتری Mann-Kendal به بررسی رفتار متغیرهای اقلیمی در حوزه آبخیز بار، پرداخته شد (Slack و Hirsch، ۱۹۸۴؛ Yue و همکاران، ۲۰۰۲).

بررسی روند داده‌های اقلیمی مورد استفاده در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۱): یکی از روش‌های متداول برای تحلیل سری‌های زمانی عناصر اقلیمی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. اصولاً وجود روند در سری‌های زمانی عناصر اقلیمی، ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد (Brooks و Carrthers، ۱۹۵۳). به‌طور متداول فرایندهای هیدرولوژیکی به‌صورت فرایندهای ایستا در

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

| ردیف | نام ایستگاه | نوع ایستگاه | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | سال تاسیس | ارتفاع از سطح دریا (متر) |
|------|-------------|-------------|---------------|---------------|-----------|--------------------------|
| ۱ | بار-اریه | کلیماتولوژی | ۳۶°۲۹' | ۵۸°۴۲' | ۱۳۲۹ | ۱۵۲۰ |
| ۲ | کارخانه قند | باران‌سنجی | ۳۶°۱۷' | ۵۸°۶۶' | ۱۳۶۵ | ۱۰۷۴ |
| ۳ | ماروسک | باران‌سنجی | ۳۶°۸' | ۵۸°۲۲' | ۱۳۶۹ | ۱۹۰۰ |
| ۴ | مشهد | سینوپتیک | ۳۶°۱۶' | ۵۹°۳۸' | ۱۳۲۸ | ۹۹۰ |

بدین منظور، از میانگین ماهانه متغیرهای مورد بررسی استفاده شد.

بررسی تغییرات متغیرهای مورد بررسی نسبت به دوره مشاهداتی: پس از این‌که توانمندی مدل LARS-WG در مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی مورد نظر مشخص شد، اقدام به پیش‌بینی این متغیرها تحت سه سناریوی A1، A2 و B1 برای دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ شد. سپس تغییرات این متغیرها نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت. هر یک از سناریوهای مورد مطالعه شرایط متفاوتی برای آینده کره زمین در نظر می‌گیرند. این سناریوها عبارتند از:

A1FI: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و کاربرد شدید سوخت فسیلی.

A1T: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و ایجاد تکنولوژی جدید موثرتر.

A1B: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و ایجاد تکنولوژی جدید به همراه کاربرد سوخت فسیلی.

A2: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی متوسط و نرخ آلودگی بیشتر از A1.

ریز مقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی: یکی از ضعف‌های مدل‌های GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد. لذا این متغیرها برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب در محدوده حوزه‌های آبخیز از دقت کافی برخوردار نیستند. بنابراین، می‌بایستی آن‌ها را به‌وسیله روش‌های مختلف کوچک مقیاس نمود (Taei Semiromi و همکاران، ۲۰۱۴). در این تحقیق، از مدل^۱ LARS-WG برای ریز مقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی استفاده شد (Racsko و همکاران، ۱۹۹۱). از جمله ورودی‌های این مدل می‌توان به دمای بیشینه، دمای کمینه، بارش و ساعت آفتابی یا تابش اشاره کرد. پس از اجرای مدل، اقدام به بررسی توانایی مدل شد. در این تحقیق، به‌منظور بررسی عملکرد مدل از سه روش آزمون‌های آماری، عوامل آماری (R^2 ، $RMSE$ ، MAE و NSE) و روش ترسیمی استفاده شد. روش ترسیمی، امکان مقایسه سریع دو جامعه آماری را فراهم می‌نماید و

¹ Long Ashton Reserch Station Weather Generator

² Root Mean Square Error

³ R Square

⁴ Nash-Sutcliffe Efficiency

⁵ Mean Absolute Error

به دو روش ترسیمی و عوامل آماری ارائه شد (شکل ۲).

با توجه به نتایج شکل ۲، مشاهده می‌شود که دمای میانگین و دمای بیشینه روندی افزایشی در دوره پایه دارد. از طرف دیگر، دمای کمینه و بارش روند منفی را نشان دادند. با توجه به خط برازش داده شده بر روی نمودار دمای کمینه، مشاهده می‌شود که دمای کمینه به صورت جزئی کاهش یافته است. ولی با توجه به نمودار بارش، مشاهده می‌شود که این تغییرات شدیدتر بوده است. به طوری که در سال‌های اخیر بارش با شیب بیشتری کاهش یافته است. به منظور آگاهی بیشتر از نحوه تغییر روند این متغیرها نتایج حاصل از آزمون آماری من-کندال نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

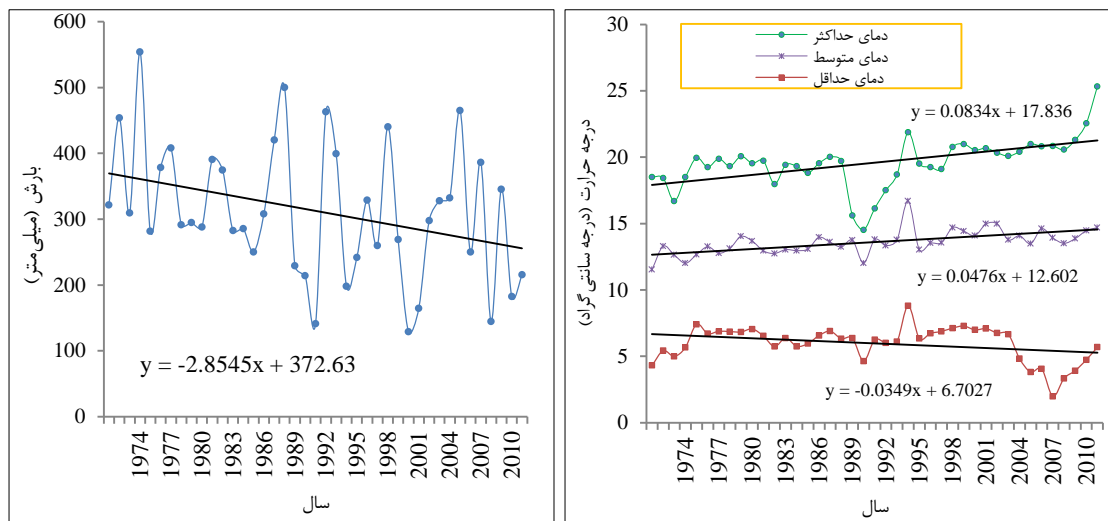
B1: تصور جهانی با تغییر سریع در ساختارهای اقتصادی، ایجاد تکنولوژی‌های تمیز و پایین‌ترین نرخ رشد آلودگی.

B2: تصور جهانی با تاکید بر راه‌حل‌های محلی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، رشد اقتصادی متوسط و نرخ رشد آلودگی کمتر از A2.

نتایج و بحث

بررسی روند داده‌های اقلیمی در دوره پایه

(۲۰۱۰-۱۹۷۱): در این پژوهش برای بررسی روند داده‌های اقلیمی اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز بار نیشابور از آزمون ناپارامتریک من-کندال و نرم‌افزار XLSTAT استفاده شد. نتایج حاصله از بررسی روند



شکل ۲- نتایج حاصل از بررسی روند متغیرهای مورد مطالعه

جدول ۲- مقادیر آماره‌های آزمون من-کندال در تحلیل روند سالانه متغیرهای اقلیمی، طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰

| دوره | متغیر | کمینه | بیشینه | متوسط | انحراف معیار | آماره τ | سطح معنی‌داری |
|-----------|-----------------------------------|-------|--------|-------|--------------|--------------|---------------|
| ۱۹۷۱-۲۰۱۰ | بارش (میلی‌متر) | ۱۲۹ | ۵۵۴ | ۳۱۹ | ۱۰۸ | -۰/۲۲ | ۰/۰۵ |
| | دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) | ۱۴/۵ | ۲۴/۱ | ۱۸/۵ | ۱/۳ | ۰/۰۳۹ | ۰/۲۹ |
| | دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) | ۱/۹ | ۷/۹ | ۵/۹ | ۳/۲ | -۰/۰۰۹ | ۰/۹۴ |
| | دمای متوسط (درجه سانتی‌گراد) | ۱۰/۵ | ۱۳/۵ | ۱۳/۵ | ۲/۱ | ۰/۰۱۳ | ۰/۵۴ |
| | تابش (میلی‌ژول در مترمربع در روز) | ۳/۴ | ۹/۱ | ۸/۲ | ۲/۲ | ۰/۲۷۴ | ۰/۰۶۱ |

حاکی از روند افزایشی و کاهش‌ی متغیر مورد مطالعه می‌باشد. لذا با بررسی این آماره در جدول ۲، می‌توان رفتار این متغیرها را بررسی نمود. نتایج، حاکی از این است که متغیرهای بارش و دمای کمینه در طول دوره

آزمون Mann-kendal به آماره τ نیز معروف می‌باشد. فرض صفر این آزمون حاکی از عدم روند و تصادفی بودن سری‌های زمانی است (Jahandide و Shirvini, ۲۰۱۲). مثبت و منفی بودن آن به ترتیب

چشمی را برای کاربران فراهم می‌نماید. نتایج حاصل از ارزیابی به روش ترسیمی در شکل ۳ ارائه شده است. در شکل ۳، مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده هر یک از متغیرهای مورد بررسی به همراه انحراف معیارشان ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل توانمندی مناسبی در مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره پایه دارد. در ادامه، برای بررسی توانمندی مدل، از آزمون‌های آماری نیز استفاده شد.

ارزیابی مدل LARS-WG با استفاده از آزمون‌های آماری: نتایج ارزیابی مدل بر اساس آزمون‌های آماری در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های آماری (جدول ۳) نیز مشخص شد که مدل با دقت قابل قبولی توانسته است بارش را برای دوره پایه مدل‌سازی کند. نکته جالب توجه در این پژوهش (شکل ۲ و جدول ۳) تغییرات مقادیر انحراف معیار با مقادیر بارش ماهانه در فصل تابستان می‌باشد که بعضاً از مقادیر بارش ماهانه نیز بزرگ‌تر هستند. این امر حاکی از عدم اطمینان بالا به بارش‌های فصل مذکور است. دلیل این امر را می‌توان به این نسبت داد که بارندگی از تغییرپذیرترین متغیرهای اقلیمی بوده و همچنین، بارش دارای عدم پیوستگی زمانی است. این نتایج با یافته‌های Babaian و Njafinik (۲۰۰۶) همخوانی دارد. با توجه به این نتایج احتمال می‌رود که مدل LARS-WG در ماه‌های با بارش کم، دقت خوبی در شبیه‌سازی بارش ندارد. در این پژوهش به دلیل این که سهم بارش ماه‌های تابستان در کل سال فقط دو درصد می‌باشد، لذا خطای آن تأثیر قابل توجهی بر روی مدل‌سازی بارش سالانه و فصول عمده بارش در این پژوهش ندارد.

با توجه به نتایج شکل ۳ و جدول ۳ مشاهده می‌شود که مدل به جز ماه‌های ژانویه و سپتامبر توانایی مناسبی در مدل‌سازی تابش دارد و در بین مقادیر مشاهداتی و برآورد شده اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد وجود ندارد. نتایج حاصل از مدل‌سازی دمای بیشینه و دمای کمینه نیز گویای توانایی بالای مدل LARS-WG در مدل‌سازی این متغیرها می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۲، مشخص شد که در ماه‌های سال بین مقادیر مشاهده‌ای و

آماري (۲۰۱۰-۱۹۷۱) دارای روند منفی غیر معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشند. ولی متغیرهای تابش و دمای بیشینه روند افزایشی غیرمعنی‌داری از خود نشان دادند. نتایج حاصل از این پژوهش و نتایج مشابهی که سایر محققان به آن دست یافته‌اند، نشان‌دهنده ناپایداری اقلیم و تغییرات آن می‌باشد (Mohammadi و Taghavi، ۲۰۰۵). طبق گزارش آکادمی علوم روسیه، افزایش دما در سیبری باعث ذوب شدن برف و یخ‌ها شده که این امر باعث افزایش آبدهی رودخانه‌ها در سیبری شده است. شرایط اقلیمی در ایران به‌طور اعم و اخص نمی‌تواند از این تحولات بی‌تأثیر باشد. چرا که یکی از توده‌های اصلی ورودی به ایران از منطقه سیبری نشأت می‌گیرد. بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات اخیر، روند گرمایی در سطح زمین افزایشی است که در این صورت با افزایش دما چون سامانه‌های کم‌فشار دینامیک به دلیل نیاز آن‌ها به وجود هوای سرد تضعیف می‌شوند، با ورود این سامانه‌ها به منطقه از طرفی، دارای شرایط ناپایداری و بارش کمتری داشته و از سوی دیگر، به علت تضعیف، به عرض‌های شمالی‌تر با هوای سردتر کشیده می‌شوند. در نتیجه، منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر تعداد چرخند کمتری قرار می‌گیرد. این نتایج، با یافته‌های Katirai و Hejam (۲۰۰۷) و Sabouhi و Soltani (۲۰۰۸) در مورد روند نزولی بارش برای سال‌های آتی مطابقت دارد. لذا به‌طور کلی می‌توان استنباط نمود که دما به‌صورت کلی روند گرمایشی دارد. تابش یکی از متغیرهایی است که اثر مهمی بر روی منابع آب دارد. در این پژوهش مشخص شد که در طول دوره مورد مطالعه (۲۰۱۰-۱۹۷۱) تابش دارای روند افزایشی است. لذا افزایش تابش نیز شاهدهی بر گرم‌تر شدن اقلیم منطقه است. متغیرهایی از جمله بارش، دما و تابش جزء عواملی هستند که می‌توانند اثرات زیادی بر روی سیکل هیدرولوژیکی داشته باشند و تغییر در این متغیرها می‌تواند منابع آب را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

ارزیابی مدل LARS-WG به روش ترسیمی: یکی از روش‌هایی که به‌وسیله آن مدل LARS-WG مورد ارزیابی قرار گرفت، روش ترسیمی می‌باشد. از مزیت‌های این روش این است که امکان ارزیابی سریع و

با توجه با نتایج جدول ۵، مشخص شد که هر سه سناریو در دوره‌های مختلف، نتایج تقریباً مشابهی مبنی بر تغییرات متغیرهای پیش‌بینی شده دارند و تفاوت فاحشی بین مقادیر پیش‌بینی شده تحت سناریوهای مختلف وجود ندارد. به همین دلیل، در ادامه فقط به تفسیر نتایج حاصل از سناریو A2 اکتفا می‌شود. با توجه به نتایج جدول ۲، ملاحظه شد که بارش در دوره پایه روندی منفی دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که این روند در طول قرن ۲۱ هم ادامه می‌یابد. دلیل کاهش بارندگی در طول قرن ۲۱ را می‌توان افزایش روند گرمایی در سطح زمین دانست. نتایج نشان می‌دهد که در طول قرن ۲۱ بارش در اکثر ماه‌ها و به‌جز ماه اکتبر و دسامبر کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش بارندگی مربوط به دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ می‌باشد، به‌طوری که در این دوره بارش به میزان ۹۸ میلی‌متر نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۱) کاهش می‌یابد.

شبیه‌سازی شده اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود ندارد.

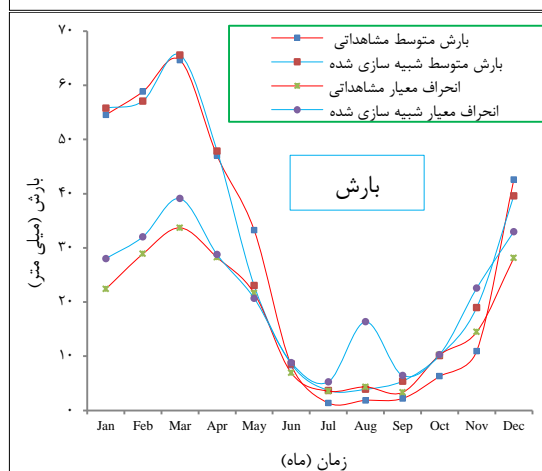
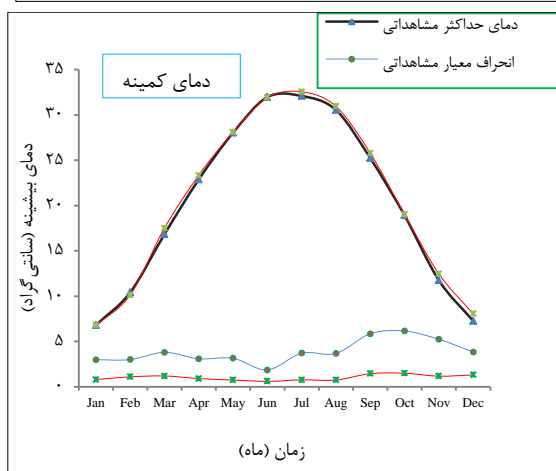
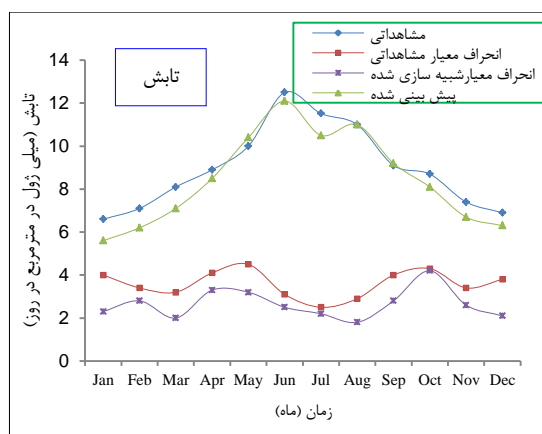
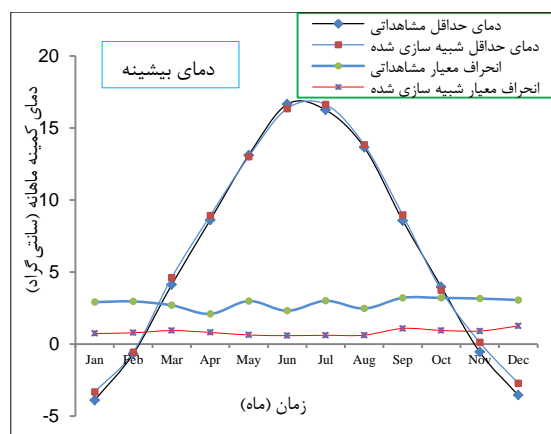
ارزیابی مدل LARS-WG از طریق عوامل آماری:

به‌منظور ارزیابی دقت مدل از روش‌های مختلفی از قبیل آزمون t و f ، رسم نمودار و معیار آماری استفاده شد. مهم‌ترین معیارهای آماری مرسوم مورد استفاده عوامل $RMSE$ ، NAE ، MAE و R^2 می‌باشند. لذا با استفاده از عوامل آماری اقدام به ارزیابی توانایی مدل در مدل‌سازی مقادیر میانگین ماهانه متغیرهای مورد مطالعه شد (جدول ۴).

نتایج حاصل از معیارهای آماری نیز حاکی از دقت بالای مدل در تولید داده‌های اقلیمی می‌باشد.

بررسی تغییرات متغیرهای تولید شده نسبت به دوره پایه:

به‌منظور مشخص شدن رفتار متغیرهای پیش‌بینی شده در شرایط تغییر اقلیم، اقدام به بررسی تغییرات این متغیرها در دوره‌های مختلف نسبت به دوره پایه شد (جدول ۴).



شکل ۳- ارزیابی مدل LARS-WG در مدل‌سازی متغیرهای مورد مطالعه در دوره پایه

جدول ۳- نتایج حاصل از ارزیابی مدل بر اساس آزمون‌های آماری

| دما | بارش | تابش | تاریکی | سرعت باد | رطوبت | رطوبت نسبی | سرعت باد | رطوبت | رطوبت نسبی | سرعت باد | رطوبت | رطوبت نسبی | سرعت باد | رطوبت | رطوبت نسبی | |
|-------|-------|------|--------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|--------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|
| ۴۲/۵ | ۱۰/۹ | ۶/۳ | ۲/۲ | ۱/۸ | ۱/۳ | ۸/۳ | ۳۳/۲ | ۴۷/۰ | ۶۴/۶ | ۶۵/۸ | ۵۴/۵ | بارش | مشاهداتی شبه‌سازی شده بارش آزمون t احتمال | میلی‌متر | | |
| ۲۸/۱ | ۱۴/۴ | ۱۰/۲ | ۳/۳ | ۴/۳ | ۳/۵ | ۶/۹ | ۲۱/۶ | ۲۸/۲ | ۳۳/۷ | ۲۸/۸ | ۲۲/۴ | انحراف معیار | | | | |
| ۳۹/۶ | ۱۹ | ۱۰/۱ | ۵/۴ | ۳/۹ | ۳/۷ | ۸/۶ | ۲۳/۰ | ۴۷/۸ | ۶۵/۶ | ۵۷/۱ | ۵۵/۸ | بارش | | | | |
| ۳۲/۹ | ۲۲/۵ | ۱۰/۳ | ۶/۴ | ۱۶/۳ | ۵/۳ | ۸/۸ | ۲۰/۷ | ۲۸/۷ | ۳۹/۰ | ۳۲/۰ | ۲۸/۰ | انحراف معیار | | | | |
| -۰/۶ | -۳/۵ | -۲/۶ | -۳/۰ | -۳/۶ | -۱/۸ | -۲/۲ | -۰/۵ | -۱/۷ | -۰/۹ | -۱/۱ | -۱/۹ | t | | | | |
| ۰/۵ | ۰/۰۴ | ۰/۰۹ | ۰/۰۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۶ | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۸ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ | آزمون t | | | | |
| ۱/۳ | ۲/۴ | ۱/۰ | ۳/۷ | ۱۴/۱ | ۲/۲ | ۱/۶ | ۱/۰ | ۱/۰ | ۱/۳ | ۱/۲ | ۱/۵ | f | | | | |
| ۰/۳ | ۰/۰۶ | ۰/۹ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۱ | ۰/۷ | ۰/۹ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۱ | احتمال | | | | |
| -۳/۵ | -۰/۵۶ | ۳/۹ | ۸/۵ | ۱۳/۶ | ۱۶/۲ | ۱۶/۶ | ۱۳/۱ | ۸/۶ | ۴/۱ | ۰/۷ | -۳/۹ | دمای کمینه | مشاهداتی شبه‌سازی آزمون t احتمال | دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) | | |
| ۳/۰ | ۳/۱ | ۳/۱ | ۳/۲ | ۲/۴ | ۲/۹ | ۲/۳ | ۲/۹ | ۲/۰ | ۲/۶ | ۲/۹ | ۲/۹ | انحراف معیار | | | | |
| -۲/۷ | ۰/۱۱ | ۳/۷۳ | ۸/۹ | ۱۳/۸ | ۱۶/۶ | ۱۶/۳ | ۱۳ | ۸/۹ | ۴/۶ | ۰/۵۷ | -۳/۳ | دمای کمینه | | | | |
| ۱/۲۵ | ۰/۹۰ | ۰/۹۴ | -۱/۰۱ | ۰/۶۱ | ۰/۶۰ | -۰/۵۸ | ۰/۶۲ | ۰/۸۰ | ۰/۹۳ | ۰/۷۷ | ۰/۷۲ | انحراف معیار | | | | |
| -۱/۶ | -۱/۳۱ | ۰/۴۶ | -۰/۷۳ | -۰/۴۴ | -۰/۸ | -۰/۸۱ | ۰/۲۲ | -۰/۸۸ | -۱/۱۱ | -۰/۳۵ | -۱/۲۲ | t | | | | |
| ۰/۱۱ | ۰/۱۹ | ۰/۶۴ | ۰/۴۶ | ۰/۶۶ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲ | ۰/۸۲ | ۰/۳۷ | ۰/۲۶ | ۰/۸۰ | ۰/۲۲ | احتمال | | | | |
| ۷/۲ | ۱۱/۷ | ۱۸/۹ | ۲۵/۲ | ۳۰/۵ | ۳۲/۱ | ۳۱/۹ | ۲۸/۰ | ۲۲/۸ | ۱۶/۸ | ۱۰/۴ | ۶/۸ | دمای بیشینه | | | مشاهداتی شبه‌سازی آزمون t احتمال | دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) |
| ۳/۸ | ۵/۲ | ۶/۱ | ۵/۸ | ۳/۶ | ۳/۷ | ۱/۸ | ۳/۱ | ۳/۰ | ۳/۸ | ۳/۰ | ۲/۹ | انحراف معیار | | | | |
| ۸/۰ | ۱۲/۴ | ۱۹/۰ | ۲۵/۷ | ۳۰/۹ | ۳۲/۵ | ۳۱/۹ | ۲۸/۱ | ۲۳/۳ | ۱۷/۵ | ۱۰/۱ | ۶/۷۶ | دمای بیشینه | | | | |
| ۱/۳ | ۱/۱ | ۱/۵ | ۱/۴ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۹ | ۱/۲ | ۱/۱ | ۰/۸ | انحراف معیار | | | | |
| -۱/۲۳ | -۰/۸۵ | -۰/۱ | -۰/۵۸ | -۰/۶۷ | -۰/۷۸ | -۰/۱۹ | -۰/۱ | -۰/۹۱ | -۱/۱۱ | ۰/۵۵ | ۰/۰۲ | t | | | | |
| ۰/۲۲ | ۰/۴۰ | ۰/۹۱ | ۰/۵۶ | ۰/۵۰ | ۰/۴۳ | ۰/۸۴ | ۰/۹۰ | ۰/۳۶ | ۰/۲۷ | ۰/۵۸ | ۰/۹۸ | احتمال | | | | |
| ۶/۹ | ۷/۴ | ۸/۷ | ۹/۱ | ۱۱ | ۱۱/۵۲ | ۱۲/۵ | ۱۰ | ۸/۹ | ۸/۱ | ۷/۱ | ۶/۶ | تابش | مشاهداتی شبه‌سازی آزمون t احتمال | میلی‌وات در مترمربع در روز | | |
| ۳/۸ | ۳/۴ | ۴/۳ | ۴ | ۲/۹ | ۲/۵ | ۳/۱ | ۴/۵ | ۴/۱ | ۳/۲ | ۳/۴ | ۴ | انحراف معیار | | | | |
| ۶/۳ | ۷/۲ | ۸/۶ | ۹/۲ | ۱۱ | ۱۱/۴ | ۱۲/۲ | ۱۰ | ۸/۵ | ۸ | ۶/۸ | ۶ | تابش | | | | |
| ۲/۱ | ۲/۶ | ۳/۲ | ۳/۱ | ۲ | ۱/۷ | ۲/۵ | ۳/۷ | ۳/۳ | ۲/۵ | ۳/۱ | ۳ | انحراف معیار | | | | |
| -۱/۸ | -۰/۴۳ | -۰/۷ | -۰/۱۵ | ۰/۶ | ۰/۰۵ | ۰/۱ | ۱/۱ | ۰/۰۱ | -۱/۲ | ۰/۷۱ | ۰/۰۵ | t | | | | |
| ۰/۰۴ | ۰/۶۵ | ۰/۴۵ | ۰/۳۱ | ۰/۷۱ | ۰/۵۱ | ۰/۷ | ۰/۹۲ | ۰/۰۷ | ۰/۲۳ | ۰/۴ | ۰/۰۳ | احتمال | | | | |

جدول ۴- نتایج حاصل از ارزیابی متغیرهای ورودی مدل LARS-WG با استفاده از معیارهای آماری

| R ² | MAE | NAE | RMSE | |
|----------------|------|-------|------|-------------|
| ۰/۵۸ | ۰/۳۴ | ۰/۵۵ | ۵/۶۴ | دمای کمینه |
| ۰/۶ | ۰/۳ | ۰/۵۷ | ۶/۹۹ | دمای بیشینه |
| ۰/۰۶ | ۰/۲ | -۱/۰۶ | ۴/۶ | بارش |
| ۰/۴۳ | ۰/۷ | ۰/۵۵ | ۳/۷ | تابش |

جدول ۵- تغییرات متغیرهای مورد مطالعه تحت سناریوها و دوره‌های مورد پیش‌بینی نسبت به دوره پایه

| دوره | سناریو | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | م | ژوئن | ژوئیه | اوت | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | متغیر |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|------------|
| بارش (میلی‌متر) | A1B | -۴/۱ | -۱۴/۳ | -۳/۲ | -۱۰/۵ | -۱۳ | -۸/۵ | -۵/۱ | -۲/۶ | -۱/۲ | -۲/۳ | -۰/۷۶ | ۱/۳ | |
| | A2 | -۴/۳ | -۱۴ | -۳/۱ | -۱۱/۲ | -۱۲ | -۸/۳ | -۵/۷ | -۲/۱ | -۳/۱ | -۲/۹ | ۱/۹ | ۱/۷ | ۲۰۱۱۰-۲۰۳۰ |
| | B1 | -۴/۷ | -۱۵/۴ | -۳/۴ | -۱۱/۸ | -۱۱ | -۸ | -۶/۷ | -۲/۴ | -۳/۹ | -۳/۱ | -۱/۷ | ۳/۲ | |
| | A1B | -۱/۵ | -۱۱/۵ | -۳/۱ | -۱۱/۴ | -۱۰/۲ | -۶/۶ | -۱/۲ | -۲/۵ | -۱/۵ | -۳/۶ | -۱/۵ | -۰/۵ | |
| | A2 | -۳/۲ | -۱۲/۱ | -۴/۸ | -۱۲/۱ | -۱۰/۸ | -۷/۱ | -۱/۹ | -۲/۱ | -۱/۹ | -۴/۸ | ۱/۹ | ۱ | ۲۰۴۶-۲۰۶۵ |
| | B1 | -۲/۵ | -۱۱ | -۲/۳ | -۱۲/۵ | -۱۰/۵ | -۷/۳ | ۰/۶۵ | -۱/۷ | -۱/۵ | ۴/۲ | ۲/۴ | ۰/۷ | |
| | A1B | -۲۴ | -۸/۹ | -۲۳ | -۱۳ | -۱۴/۴ | -۷/۸ | -۲/۳ | -۱/۸ | -۲/۶ | -۴/۳ | -۲/۸ | -۰/۲ | |
| | A2 | -۱۸ | -۲۲ | -۱۸/۵ | -۱۴ | -۱۲/۳ | -۷/۳ | -۲/۱ | -۱/۹ | -۲/۳ | -۴/۱ | -۰/۲۳ | ۰/۵ | ۲۰۸۰-۲۰۹۹ |
| B1 | -۱۹ | -۲۶/۲ | -۱۸/۲ | -۱۷ | -۲۱/۲ | -۱۲ | -۱/۱ | -۲/۲ | -۴ | -۵/۱ | -۶/۴ | ۰/۱ | | |
| دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) | A1B | ۱/۸ | ۳/۳ | ۰/۴ | -۰/۹ | -۴ | ۰/۳ | ۱/۱ | -۰/۱ | -۰/۳ | -۰/۹ | ۰/۵ | -۳/۱ | |
| | A2 | ۱/۲ | ۳/۱ | ۰/۲ | -۱/۲ | ۱/۶ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ | -۱/۶ | -۰/۷ | ۱/۱ | -۳/۳ | ۲۰۱۰-۲۰۳۰ |
| | B1 | ۱/۳ | ۲/۷ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۱/۳ | ۰/۲ | -۰/۱ | ۰/۲ | -۱/۲ | -۰/۳ | ۱ | -۹ | |
| | A1B | ۱/۱ | ۲/۵ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۹ | ۰/۱ | -۰/۲ | -۰/۱ | ۰/۵ | -۲/۸ | |
| | A2 | ۱/۲ | ۲/۴ | ۰/۲ | ۰/۴ | -۰/۵ | ۰/۳ | ۱/۱ | ۰/۴ | ۰/۱ | ۱/۵ | ۰/۳ | -۲/۵ | ۲۰۴۰-۲۰۶۹ |
| | B1 | ۰/۹ | ۱/۲ | ۰/۷ | ۰/۳ | ۰/۷ | ۰/۴ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۲ | ۱/۳ | ۰/۱ | -۲/۱ | |
| | A1B | ۳/۵ | ۵/۴ | ۹/۸ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۱/۴ | ۰/۵ | ۰/۲ | |
| | A2 | ۳/۷ | ۵/۶ | ۳/۷ | ۲/۷ | ۶ | ۵ | ۵/۳ | ۵/۵ | ۲/۴ | ۲/۹ | ۴/۲ | -۰/۶ | ۲۰۸۰-۲۰۹۹ |
| B1 | ۲/۱ | ۵/۳ | ۳/۱ | ۳/۲ | ۵/۹ | ۴ | ۵/۱ | ۵/۳ | ۱/۲ | ۲/۸ | ۴/۱ | -۰/۵ | | |
| دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) | A1B | ۴/۴ | ۲/۵ | ۱۰/۴ | ۲/۲ | -۰/۳ | -۰/۲ | ۲/۲ | -۲/۲ | ۰/۶ | -۳/۴ | ۱/۳ | ۱/۱ | |
| | A2 | ۴/۷ | ۲/۸ | ۱۱/۶ | ۳/۱ | ۰/۶ | ۰/۹ | ۱/۳ | -۳/۱ | ۰/۸ | -۳/۷ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۲۰۱۰-۲۰۳۰ |
| | B1 | ۵/۱ | ۲/۳ | ۱۰/۲ | ۲/۹ | -۰/۱ | ۰/۴ | ۱/۳ | -۲/۹ | ۰/۳ | -۳/۱ | ۰/۲ | ۰/۳ | |
| | A1B | ۶/۱ | ۲/۴ | ۳/۳ | ۴/۱ | ۲/۳ | ۱/۲ | ۲/۹ | -۰/۳ | ۲/۱ | -۲/۶ | -۰/۵ | -۰/۱ | |
| | A2 | ۵/۸ | ۲/۳ | ۲/۲ | ۴ | ۲/۴ | ۲/۵ | ۲/۶ | -۱/۴ | ۲/۳ | -۳/۹ | -۱/۱ | ۱/۴ | ۲۰۴۶-۲۰۶۵ |
| | B1 | ۵/۴ | ۲/۳ | ۱/۹ | ۴/۴ | ۲/۳ | ۲/۳ | ۲/۴ | -۱/۱ | ۲/۱ | ۰/۳ | -۰/۱ | ۲ | |
| | A1B | ۷/۳ | ۵/۱ | ۱ | ۴/۷ | ۴/۱ | ۴/۱ | ۵/۴ | ۰/۱ | ۴/۳ | ۰/۱ | ۱/۲ | ۱/۴ | |
| | A2 | ۷/۱ | ۵/۳ | -۰/۹ | ۶/۵ | ۴/۹ | ۵/۴ | ۵/۶ | ۱/۲ | ۴/۶ | -۰/۵ | ۲/۱ | ۳/۳ | ۲۰۸۰-۲۰۹۹ |
| B1 | ۶/۶ | ۴/۹ | ۰/۲ | ۶/۸ | ۴/۳ | ۵/۱ | ۴/۹ | ۰/۴ | ۴/۴ | ۱ | ۰/۷ | ۲/۳ | | |
| تابش (میلی‌ژول در مترمربع در روز) | A1B | ۰/۰۱ | -۰/۰۲ | ۰/۶ | ۰/۱ | -۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۰۱ | -۰/۰۳ | ۰/۰۹ | -۰/۰۱ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۲۰۱۰-۲۰۳۰ |
| | A2 | -۰/۲ | -۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۲ | -۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰۲ | -۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | |
| | B1 | -۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۰۱ | ۰/۳ | -۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۴ | -۰/۲ | -۰/۴ | ۰/۱ | |
| | A1B | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۱ | ۱/۱ | ۰/۳ | ۰/۶ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۳ | |
| | A2 | ۰/۵ | ۰/۳ | -۰/۲ | ۰/۳ | -۰/۲ | ۲/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | -۰/۳ | ۰/۱ | ۲۰۴۶-۲۰۶۵ |
| | B1 | ۰/۲ | ۰/۱ | -۰/۲ | -۰/۲ | -۰/۱ | ۱/۲ | ۰/۴ | ۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۳ | ۰/۹ | ۰/۳ | |
| | A1B | ۰/۱ | ۰/۳ | -۰/۸ | ۰/۳ | -۰/۱ | ۰/۹ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۱/۱ | ۰/۲ | ۰/۶ | ۰/۲ | |
| | A2 | ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۲ | ۱ | ۰/۹ | ۰/۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۲۰۸۰-۲۰۹۹ |
| B1 | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۲ | ۱/۲ | ۰/۸ | ۰/۲ | ۰/۲۳ | -۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۷ | | |

طبق گزارش IPCC (۲۰۰۷) افزایش گازهای گلخانه‌ای در طول قرن ۲۱ باعث افزایش دمای کره-زمین می‌شود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. یکی از اثرات تغییر اقلیم تأثیر بر روی آستانه‌ها می‌باشد. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با نتایج Elo و همکاران (۱۹۹۸)، مطابقت دارد ولی با نتایج تحقیقی که Etemadi (۲۰۱۲) در جنوب غرب کشور انجام دادند، تطابق ندارد. احتمالاً دلیل این امر تأثیرپذیری این مناطق از توده‌های آب و هوایی متفاوت می‌باشد. به‌طور مثال، حوزه آبخیز بار نیشابور بیشتر تحت تأثیر توده آب و هوایی است که از طرف سیبری و غرب وارد کشور شده و منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ولی جنوب غرب کشور بیشتر تحت تأثیر آب و هوایی است که از سمت جنوب غرب منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تابش روزانه نیز یکی از موثرترین عوامل تعیین‌کننده آب و هوای یک منطقه می‌باشد. با توجه به نتایج جدول ۲، مشاهده می‌شود که این متغیر در دوره پایه، دارای روند افزایشی غیر معنی‌داری است. با توجه به نتایج جدول ۴ نیز مشاهده می‌شود که این متغیر در هر سه دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش مقدار تابش مربوط به ماه ژوئن به اندازه ۱/۲ میلی‌ژول در مترمربع در روز می‌باشد. در برخی از ماه‌ها نیز کاهش در مقدار تابش مشاهده می‌شود. بیشترین کاهش در رابطه با متغیر تابش مربوط به ماه نوامبر (۰/۳- میلی‌ژول در مترمربع در روز) و در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به‌علت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتظار می‌رود، پدیده تغییر اقلیم در سال‌های آینده رخ داده و منطقه مورد مطالعه را تحت‌الشعاع قرار دهد. منظور کردن این تغییرات در بررسی و ارزیابی پروژه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از گام‌های پایه در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، بررسی تغییرات دما، بارش و تابش است. با استفاده از کوچک مقیاس کردن آماری نتایج مدل‌های اقلیمی، سری‌های زمانی جدیدی از متغیرهای اقلیمی تولید می‌شوند که در نتیجه امکان تحلیل تغییرات در شرایط جوی دوره‌های آتی فراهم

تغییر اقلیم به دو شکل تغییر در مقدار بارش و تغییر زمانی الگوی بارش بر روی بارش نقش دارد. همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است، بارش تا پایان قرن ۲۱ به‌طور کلی کاهش پیدا می‌کند. نکته جالب توجه در این تحقیق تغییرات زمانی الگوی بارش می‌باشد. مثلاً هر چه به پایان قرن حاضر نزدیک می‌شویم، ملاحظه می‌شود که بارش در ماه‌های اول سال کاهش پیدا کرده و در ماه‌های آخر، اندکی افزایش پیدا می‌کند. با توجه به شکل ۴، بارش در ماه‌های نوامبر و دسامبر نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که با نتایج تحقیقات Azaranfar و همکاران (۲۰۰۶)، مطابقت دارد. همچنین، افزایش بارندگی در ماه‌های نوامبر و دسامبر را می‌توان به عواملی چون خطا در اجرای مدل یا در نظر نگرفتن عواملی دانست که احتمالاً در پیش‌بینی بارش نقش داشته‌اند، ولی در این پژوهش مد نظر قرار نگرفته‌اند.

با توجه به نتایج جدول ۲، مشاهده شد که دمای کمینه در طول دوره پایه دارای روند منفی غیر معنی‌دار می‌باشد. ولی با توجه به نتایج جدول ۴ مشخص است که دمای کمینه در طول قرن ۲۱ عموماً افزایش پیدا می‌کند. به‌طوری که تعداد ماه‌های گرم نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. ولی در برخی از ماه‌ها (مارس، اکتبر، اوت و نوامبر) دمای کمینه نسبت به دوره پایه کاهش یافته و باعث می‌شود تا در قرن حاضر پاییزی سردتر نسبت به دوره پایه وجود داشته باشد. یکی از علائم تغییر در اقلیم یک منطقه، تغییر در آستانه‌ها و یا حد‌ها می‌باشد. در مورد متغیر دما، دمای کمینه و بیشینه آستانه‌هایی می‌باشند که تغییر در آن‌ها تغییرات شدیدی بر روی اکوسیستم می‌گذارد. با توجه به نتایج، مشخص می‌شود که هر چه به انتهای قرن ۲۱ نزدیک شویم، دمای بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. البته این موضوع درباره ماه دسامبر صدق نمی‌کند، چرا که در این ماه دمای بیشینه در هر سه دوره نسبت به دوره پایه کاهش پیدا می‌کند. در طول دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۰) در ماه‌های آوریل، سپتامبر و دسامبر نیز دمای بیشینه نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش در دمای بیشینه را در ماه دسامبر (سه درجه سانتی‌گراد) می‌توان مشاهده کرد.

نسبی دمای متوسط هوا، تابش و کاهش بارندگی مواجه خواهد شد. این نتایج نشان می‌دهند که شرایط اقلیمی این حوضه در هشت دهه آتی تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت که با نتایج Abbasi و همکاران (۲۰۰۶)، Kamal و Massah Bavani (۲۰۱۰) و Ashraf و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. بنابراین، با توجه به این امر و نیز آگاهی از اثرات منفی مستقیم و غیر مستقیم تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف اعم از کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد، برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استراتژیک برای مدیریت شرایط جدید حوضه، امری اجتناب‌ناپذیر بوده و ضروری به نظر می‌رسد.

می‌شود. در این پژوهش توانمندی مدل LARS-WG در باز تولید داده‌های روزانه تابش، بارش، دمای کمینه و بیشینه حوزه آبخیز بار نیشابور مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل، حاکی از توانمندی بالای این مولد هواشناسی برای تولید داده‌های روزانه عوامل مذکور می‌باشد و مؤید تحقیقات Elshamy و همکاران (۲۰۰۵)، Babaian و Njafinik (۲۰۰۶) و Ashraf و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد. همچنین، با استفاده از ریز مقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 بر اساس سه سناریوی تغییر اقلیم A1B، A2 و B1 در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ مشخص شد که حوزه آبخیز بار با افزایش

منابع مورد استفاده

1. Ababai, A., F. Mirzai and T. Sohrabi. 2011. Evaluate the performance of LARS-WG model in 12 coastal weather stations of Iran. *Journal of Iran Water*, 9(5): 222-217 (in Persian).
2. Abbasi, F., SH. Malbusi, I. Babaian and R. Borhani. 2006. Prediction climate variable in 2010-2030 using output of ECHO-G Model and Statistical downscale Model. *Journal of Soil and Water*, 24(2): 233-218 (in Persian).
3. Ashraf, B. M. Mosavi bayegani, K. Gholamali and K. Davari. 2011. Predict seasonal variation climate parameters in the next 20 years using downscale output of Hadcm3 model. 25(4): 957-945 (in Persian).
4. Azaranfar, A., A. Abrishamchi and M. Tajrishi. 2006. Evaluate the effects of climate change on temperature and precipitation using the model output of the global circulation models in zayanderood watershed. *Second National Conference of Water Resources, Esfahan* (in Persian).
5. Babaian, I. and Z. Njafinik. 2006. Evaluation LARS-WG Model for climate variable in 1961-2003 period of Khorasan Province. *Jornal of Soil and Water*, 62(1): 49-65 (in Persian).
6. Bates, B., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J. Palutikof. 2008. *Climate Change and Water*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 200 pages.
7. Beecham, S., M. Rashid and R.K. Chowdhury. 2014. Statistical downscaling of multi-site daily rainfall in a South Australian catchment using a Generalized Linear Model. *International Journal of Climatology*, 34(14): 3654-3670.
8. Bipal, K.J. and M. Mrinmoy. 2010. *Impact of climate change on natural resource management*. Springer Press, 495 pages.
9. Brooks, C.E.P. and N. Carrthers. 1953. Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 255(1): 107-122.
10. Bytnerowicz, A., K. Omasa and E. Paoletti. 2007. Integrated effects of air pollution and climate change on forests: a northern hemisphere perspective. *Environmental Pollution*, 147(3): 438-445.
11. Chen, H., J. Guo, Z. Zhang and C.Y. Xu. 2012. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in Future. *Theoretical and Applied Climatology*, 1: 1-13.
12. Committee on the Science of Climate Change (CSCC). 2001. *Climate Change Science an Analysis of Some ky Questions*. National Academy Press, 42 pages.
13. Dibike, Y.B. and P. Coulibaly. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay Watershed: Comparison of Ownscaling Methods and Hydrologic Models. *Journal of Hydrologic*, 307: 145-163.
14. Elo, A.R., T. Huttula, A. Peltonen and J. Virta. 1998. The effects of climate change on the temperature conditions of lakes. *Boreal environment Research*, 3: 137-150.
15. Elshamy, M.E., H.S. Wheater, N. Gedney and C. Huntingford. 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *Journal of Hydrology*, 326: 1-24.
16. Etemadi, H. 2012. Statistical downscaling of climatic variables in Shadegan Wetland, Iran.
17. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Summary for policy makers climate change: the physical science basis*. Cambridge University Press, 881 pages.

18. Farzanmanesh, R., A. Ahmad Makmom, A. Shakiba and J. Amanollahi. 2012. Impact assessment of climate change in Iran using LARS-WG model. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 20(2): 299-311.
19. Hashmi, M.Z., A.Y. Shamseldin and B.W. Melville. 2011. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(4): 475-484.
20. Hirsch, R.M. and J.R. Slack. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20(6): 727-732.
21. Jain, S. and U. Lall. 2000. Magnitude and timing of annual maximum floods trends and large-scale climatic associations for the Blacksmith Fork River, Utah. *Water Resources Research*, 36(12): 3641-3641.
22. Jahandide, M. and M. Shirvini. 2012. Analyses of precipitation time series in Fars Province. *Journal of Water Resource Engineering*, 2: 73-85 (in Persian).
23. Kamal, A. and A. Massah Bavani. 2010. Impacts of climate variable on runoff with involved two hydrologic model uncertainties. *Journal of Soil and Water*, 24(1): 920-931 (in Persian).
24. Katirai, P. and S. Hejam. 2007. Share of changes in precipitation frequency and intensity of precipitation in Iran for period 1960–2001. *Journal of Physical Earth and Spatial*, 33(1): 67-83 (in Persian).
25. Kilsby, C.G., P.D. Jones, A. Burton, A.C. Ford, H.J. Fowler, C. Harpham, P. James, A. Smith and R.L. Wilby. 2007. A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modelling and Software*, 22: 1705–1719.
26. Kim, B.S., H.S. Kim, B.H. Seoh and N.W. Kim. 2007. Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21: 355–373.
27. Khalili Aghdam, N. 2012. Evaluation of LARS-WG Model in prediction of some of Sanandaj climate variables. *Journal of Soil and Water Conservation*, 9(4): 19-85 (in Persian).
28. Mohammadi, H. and F. Taghavi. 2005. Trend of precipitation and temperature in Tehran. *Journal of Geographical Research*, 53(2): 1-12 (in Persian).
29. Qian, B., H. Hayhoe and S. Gameda. 2004. Evaluation of the stochastic weather generators LARS-WG and AAFC-WG for climate change impact studies. *Climate Research*, 29(1): 323-333.
30. Racsco, P., L. Szeidl and M. Semenov. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 57(1): 27-41.
31. Roshan, G., A. Ghanghermeh, T. Nasrabadi and J.B. Meimandi. 2013. Effect of global warming on intensity and frequency curves of precipitation, case study of North-western Iran. *Water Resources Management*, 2: 1-17.
32. Sabouhi, R. and S. Soltani. 2008. Trend analysis of climatic factors in great cities of Iran. *JWSS-Isfahan University of Technology* 12 (46), 303-321.
33. Semenov, M.A. and R.J. Brooks. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climate Research*, 11(2): 137-148.
34. Semenov, M.A. and E.M. Barrow. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. *User Manual, Rothamstead Research, Hertfordshire*, 34 pages.
35. Taei Semiromi, S., H.R. Moradi, M. Davoodi Moghadam and M. Khodaghali. 2014. Future climate conditions and trend analysis of precipitation and temperature in Bar Watershed, Iran. *Journal of Scientific Research and Reports*, 3(15): 2037-2054.
36. Tavasoli, A. 2010. Simulation of the changes in storm runoff coefficient using component rainfall in the Bar Watershed, Neyshabour, Iran, 10(4): 33-21 (in Persian).
37. Wilks, D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climate Change*, 22(1): 67–84.
38. Wilks, D.S. 1999. Multisite downscaling of daily precipitation with a stochastic weather generator. *Climate Research*, 11(2): 125–136.
39. Yue, S., P. Pilon and G. Cavadias. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259: 254-271.

Predicted changes in some of climate variables using downscale model LARS-WG and output of HADCM3 model under different scenarios

Siavash Taei Semiromi¹, Hamidreza Moradi^{*2} and Morteza Khodaghali³

¹ Msc, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran, ² Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran and ³ Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran

Received: 15 March 2014

Accepted: 16 June 2014

Abstract

Now a day, long-term prediction of climate variables is necessary for climate change impact studies. Currently Global Circulation Models (GCM) are powerful tools to generate climate scenarios. These models are limited to capture the local climate due to their low spatial resolution. So, they cannot be directly applied for hydrological modeling in a catchment scale. In this research, first the trend of variables such as rainfall, radiation, maximum and minimum temperature were assessed for the base period with nonparametric Man-Kendall test. Second, these variables were downscaled by using the outputs of HADCM model and under three scenarios of A1, A2 and B1 which are accepted by IPCC(1971-2010) under three scenarios and their monthly changes were investigated for three periods of 2011-2030, 2046-2065 and 2080-2099 compared to the base predicted period of (1971-2010). All these scenarios showed almost similar results on precipitation shortage and increasing of solar radiation, minimum and maximum temperature over the future periods. As an example, the results of A2 scenario showed increasing of the annual mean, minimum and maximum temperature by 1.1, 3.2, and 4.6 °C, increasing of solar radiation by 0.07, 0.30 and 0.33 mJ m⁻²d⁻¹ and decreasing precipitation by 16.4, 17.6 and 31.9 percent for these periods compared to the base period.

Key words: Climate change, Global circulation models, Man-Kendall test, Neyshabour Bar watershed, Precipitation shortage

* Corresponding author: hrmoradi@modares.ac.ir