

پیش‌بینی نوسانات اقلیمی برای سه دهه مطالعه‌ی موردی: استان مازندران

مهرداد رضانی‌پور^۱

استادیار گروه جغرافیا (اقلیم‌شناسی)، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۷

چکیده

در دهه‌های اخیر، نوسانات اقلیمی، تهدید به شمار می‌رود. در این راستا نوسانات پارامترهای بارندگی، دما و تابش، بر پایه‌ی دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۵ برای سه دهه (۲۰۳۹-۲۰۱۰) برای بخش‌های شرقی، مرکزی و غربی استان مازندران از طریق مدل Lars-WG، مدل‌سازی و تحلیل گردید. ابتدا با انطباق منطقی داده‌های تولیدشده و داده‌های دیدبانی‌شده، مدل Lars-WG صحت‌سنجی شد و نهایتاً بر اساس مدل مذکور، روند تغییرات اقلیمی مناطق پژوهش برای دوره‌ی آماری ۲۰۳۹-۲۰۱۰ پیش‌بینی شد. نتایج پژوهش نشان داد که دمای حداقل در منطقه‌ی غرب، مرکز و شرق استان مازندران روند افزایشی و دمای حداکثر در مناطق غرب و شرق، روند کاهشی و در منطقه‌ی مرکزی، روند افزایشی خواهد داشت. مجموع بارندگی سالانه در منطقه‌ی غرب با روند افزایشی و در مناطق مرکزی و شرقی با روند کاهشی مواجه خواهد بود. همچنین ساعات آفتابی در مناطق غرب و شرق استان مازندران، روند کاهشی و در منطقه‌ی مرکزی، روند افزایشی خواهد داشت.

واژگان کلیدی: نوسانات اقلیمی، مدل Lars-WG، پیش‌بینی، مازندران.

مقدمه

نوسان اقلیم^۲ یک نوسان سینوسی پارامترهای اقلیمی در سطح جهانی یا منطقه‌ای محسوب شده و نوعی الگوی اقلیمی به شمار می‌رود. این نوسان‌ها در دمای اتمسفری، دمای سطح دریا، بارندگی یا دیگر پارامترهای اقلیمی دیده می‌شود و اغلب به صورت درون سالانه، چندساله، دهساله، چند دهه‌ای، چند صدای، هزاران ساله یا مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر روی می‌دهد. به‌طور کلی عوامل زمینی همچون رخداد‌های درونی یا بیرونی زمین، تغییرات مقدار نمک آب اقیانوس‌ها و تغییرات اتمسفری، عوامل کیهانی نظیر تغییر مدار زمین و انرژی تابشی خورشید و فعالیت‌های انسانی نیز در این تغییرات دخیل هستند. تغییرات آب و هوایی در کره‌ی زمین حتی برای افراد غیر متخصص نیز ملموس است اما آنچه مهم است

^۱ نویسنده‌ی مسئول: ۰۹۱۱۳۷۰۰۶۵

E Mail: Mehr5490@iauc.ac.ir

^۲ Climate Oscillation

که چنین مسائلی می‌توانند مشکلات جدی برای انسان و محیط‌زیست و نیز ذخایر غذایی به وجود آورد. از طرفی دیگر، تغییر اقلیم باعث تغییراتی در الگوهای بارش و دما و مقدار آن‌ها می‌شود و این تغییرات می‌تواند عملکرد گیاهان به‌ویژه محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۷۵-۵۶۰). به‌طوری‌که وقوع نوسان در هر یک از این موارد، باعث کاهش عملکرد محصولات کشاورزی به‌خصوص کشت دیم خواهد شد (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۵۶۷ - ۱۵۵۴). به همین دلیل این مقوله در دو دهه‌ی اخیر توجه بسیاری از محافل علمی و سیاسی جهان را به خود جلب کرده است. در این راستا، حجار پور و همکاران (۱۳۹۰) جهت پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی حداکثر دما، حداقل دما، بارندگی و تابش خورشیدی برای دوره‌ی آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۹ در مناطق گرگان، گنبد و مشهد، کارایی سه مدل Lars-WG، ClimGen و WeatherMan را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که متغیر دما بهتر از سایر پارامترها به‌وسیله هر سه مدل پیش‌بینی شده و در بین مدل‌ها، مدل Lars-W بیشترین توانایی را برای شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما در مناطق گرگان و مشهد داشته درحالی‌که مدل ClimGen در گنبد قابلیت تخمین بهتری داشته است. آبابایی و همکاران (۱۳۹۰) با ارزیابی عملکرد مدل Lars-WG در ایستگاه‌های هواشناسی ساحلی ایران نشان دادند که مدل Lars-WG در شبیه‌سازی توزیع روزانه و میانگین ماهانه و فصلی اکثر سری‌ها عملکرد مناسبی داشته اما عملکرد آن در مورد برآورد مقادیر انحراف استاندارد مجموع بارندگی ماهانه، انحراف استاندارد متوسط ماهانه دما و متوسط ماهانه تابش خورشیدی چندان مناسب نبوده اما در مجموع، مدل Lars-WG در ایستگاه‌های شمالی عملکرد بهتری داشته است. خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱) توانایی مدل Lars-WG را برای پیش‌بینی پارامترهای جوی سندج مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل Lars-WG با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش است اما در شبیه‌سازی پارامتر بارندگی نسبت به دیگر پارامترها خطای بیشتری را نشان داد و در ایستگاه سندج برای دوره‌ی آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی در مقایسه با دوره‌ی آماری ۲۰۰۹-۱۹۶۱ میانگین ماهانه دمای حداقل، حداکثر و بارندگی به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۳ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۶ میلی‌متر افزایش یافت. همچنین پیش‌بینی شد بیشترین تعداد روزهای یخبندان در ماه ژانویه و با میانگین ۲۶ روز رخ خواهد داد. رسولی و همکاران (۱۳۹۳) اثبات نمودند که دقت مدل Lars-WG در شبیه‌سازی دما دقیق‌تر از پارامتر بارندگی در ایستگاه‌های منتخب است. علی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۶) اثر تغییر اقلیم بر رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه‌ی شهر چای را با توجه به عدم قطعیت مدل‌های GCM بررسی کردند. در ابتدا خروجی شش مدل گردش عمومی جو با به‌کارگیری مدل Lars-WG به ریزمقیاس تبدیل شده و در مرحله بعد عدم قطعیت از طریق مقایسه‌ی خروجی شش مدل در دوره‌ی زمانی آینده با دوره‌ی زمانی پایه در مقیاس زمانی ماهانه ارزیابی شد. نتایج نشان داد مقدار رواناب حاصل از ذوب برف در اواخر بهار کاهش خواهد یافت. همچنین جریان اوج در مقایسه با دوره‌ی پایه و مقدار اوج دبی نسبت به دوره‌ی پایه افزایش خواهد یافت. هاشمی و همکاران (۲۰۰۹) مدل Lars-WG را برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر ویژگی‌های حد بارندگی روزانه با توجه به دوره زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ برای ایستگاه اویراکا در منطقه‌ی اوکلند واقع در کشور نیوزلند به کار بردند. نتایج

نشان می‌دهد که مدل Lars-WG قادر به شبیه‌سازی رخداد‌های حد بارندگی بوده و ابزار مؤثری برای بررسی اثرات تغییر اقلیم در توسعه‌ی پایدار است. اعتمادی و همکاران (۲۰۱۲) با تحلیل آماری متغیرهای اقلیمی از طریق مدل Lars-WG در تالاب شادگان واقع در استان خوزستان نشان دادند که افزایش دما منجر به افزایش فرایند تبخیر و کاهش سطح آب تالاب مذکور خواهد شد. بنابراین تغییر متغیرهای اقلیمی در آینده باعث تغییر در دسترسی به آب در این ناحیه می‌شود. گودرزی و همکاران (۲۰۱۵) رواناب سطحی حوضه‌ی هرات در یزد را با دو روش CF^۳ و Lars-WG بر مبنای خروجی سناریوی A2 برای دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که روش CF برای شبیه‌سازی و تخمین رواناب واقعی حوضه‌ی هرات قابل اطمینان نبوده اما مدل Lars-WG برخلاف مدل CF، نوسانات آینده را به‌خوبی مدل‌سازی می‌کند. به‌عبارت‌دیگر اگر رواناب برآورد شده بر اساس مدل Lars-WG بیش از ظرفیت رودخانه‌ی هرات باشد، خطر سیلاب و آسیب‌پذیری وجود دارد. عثمان و همکاران (۲۰۱۴) مدل Lars-WG را بر اساس سناریوی هفتم مدل گردش عمومی جو جهت پیش‌بینی بارندگی در عراق مرکزی برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۵ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ به کار گرفتند. نتایج، نشان‌دهنده‌ی روند افزایشی بارندگی در دوره‌های سپتامبر-نوامبر بوده و در ماه‌های مارس، آوریل و می، روند کاهشی حاکم خواهد بود. لی و همکاران (۲۰۱۵) جهت مدل‌سازی تغییرات جریان رودخانه‌ی هوانگ در ویتنام مرکزی با سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نشان دادند که دبی تابستانه و پاییزه با توجه به سناریوی A2 و B1 افزایش می‌یابد. سناریوی A1B، و مدل‌های HadCM3 و GFDL-CM2.1 کاهش کنونی دبی رودخانه هوانگ را تا دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۵۱ و افزایش آن را تا دوره‌ی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ پیش‌بینی می‌کند. اما مدل ECHAM5-OM تصویر متفاوتی از آن نشان می‌دهد بطوریکه دبی تا دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۵۱ افزایش یافته و در ادامه‌ی قرن کاهش خواهد یافت. طیبیان و همکاران (۲۰۱۶) اثرات بالقوه‌ی تغییر اقلیم بر بارندگی و دمای دریاچه‌ی سد جور واقع در کشور مالزی را بررسی کردند. نتایج نشان داد دمای حداقل و حداکثر در حدود ۰/۳-۰/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و همچنین انتظار می‌رود بارندگی در اکثر ماه‌ها کاهش یابد. همچنین سیواکومار^۴ و برونینی^۵ (۲۰۰۵) معتقدند که تغییر اقلیم در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر به‌ویژه مناطق گرم و خشک منجر به افزایش دما و کاهش بارندگی خواهد شد. اما اورت و همکاران (۲۰۰۵) معتقدند در عرض‌های جغرافیایی بالاتر از ۵۵° تغییر اقلیم تأثیر معکوس خواهد داشت.

پیش‌بینی آینده کمک بسزایی به تغییر استراتژی‌های عملی و کاهش اثرات آن می‌کند. بنابراین اهدافی که در پژوهش حاضر دنبال می‌شود پیش‌بینی و شناخت نوسانات هر یک از عناصر هواشناسی در راستای تغییر اقلیم در استان مازندران است.

^۳ عامل تغییر^۴ Sivakumar^۵ Brunini

روش‌شناسی

مدل Lars-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارندگی، تابش، درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر روزانه یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. این مدل برای اولین بار توسط راسکو^۶ و همکاران (۱۹۹۱) مطرح و سپس توسط سمونوف^۷ (۱۹۹۸) بازنگری شد. برای اجرای مدل Lars-WG و برآورد روند تغییر اقلیم در یک ایستگاه، حداقل به ۱۵ سال داده‌ی مشاهداتی آن ایستگاه نیاز است. با توجه به طول دوره آماری ایستگاه‌های استان که اکثر آن‌ها خیلی کمتر از این مقدار می‌باشند از بین آن‌ها سه ایستگاه بابلسر، نوشهر و قراخیل که دارای آمار قابل‌قبولی بودند انتخاب گردید. در منطقه‌ی غربی استان مازندران از داده‌های هواشناسی ایستگاه نوشهر و در بخش شرقی از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های بابلسر و قراخیل استفاده شد. ایستگاه‌های سینوپتیک نوشهر و بابلسر به ترتیب ۳۰ و ۵۵ سال و ایستگاه هواشناسی کشاورزی قراخیل آمار ۲۵ ساله داشت. توانمندی مدل Lars-WG به‌عنوان مولد داده‌های آب‌وهوایی، اثرات مستقیمی بر برآورد و ارزیابی تغییر اقلیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. بنابراین توانمندی این مدل با استفاده از ۲۵ سال داده‌های دیدبانی شده‌ی ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و قراخیل انجام شد. در این مدل از ۴ پارامتر روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تابش استفاده گردید.

مبنای Lars-WG برای مدل‌سازی، طول دوره‌های تر و خشک، بارندگی روزانه و سری‌های تابش و توزیع نیمه تجربی است. در توزیع نیمه تجربی، فاصله‌ها به‌طور مساوی بین مقادیر حداکثر و حداقل سری زمانی ماهانه تقسیم می‌شوند رابطه (۱).

$$EPM = \{a_0, a_i, h_i, \quad , i = 0, 1, 2, \dots, 10\} \quad (1)$$

EMP یک هیستوگرام با ده بازه با شدت‌های مختلف بارندگی است رابطه (۲).

$$[a_{i-1}, a_i] \quad a_{i-1} < a_i \quad (2)$$

در اینجا h_i تعداد رخداد بارندگی در همین فاصله را نشان می‌دهد. فاصله‌ها برای طول روزهای تر و خشک و بارندگی افزایشی هستند. در این مدل، تابش به‌طور مستقل از درجه‌ی حرارت، مدل‌سازی شده است و به‌جای آن می‌توان از ساعت آفتابی نیز استفاده کرد. مقدار بارندگی یک روز تر، از توزیع نیمه تجربی بارندگی ماه مورد نظر و مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارندگی در روز قبل، به دست می‌آید. در این مدل، بر اساس سری‌های فوریه^۸، درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر روزانه به‌صورت فرایندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه‌ی سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌رود. رفتار حاکم بر مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیدبانی شده به دست می‌آیند، از طریق تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های حداقل و حداکثر به دست می‌آید.

⁶ Racsko

⁷ Semenov

⁸ Fourier series

تولید داده‌ها توسط مدل Lars-WG در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. در این مدل ابتدا داده‌های مدل گردش عمومی جو^۹ شامل بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش به صورت روزانه استخراج شده و برای هر شبکه‌ی مدل گردش عمومی جو، یک سناریوی خاص تولید داده تدوین می‌شود. برای تدوین این سناریو، داده‌های شبکه‌ای مدل گردش عمومی جو برای دوره‌ی آینده بایستی با داده‌های دوره‌ی پایه مقایسه شوند. در اینجا دوره‌ی پایه، دوره‌ی آماری ۱۹۹۵-۲۰۰۹ و دوره‌ی آینده، دوره‌ی آماری ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در نظر گرفته شده است. علاوه بر سناریوی تدوین شده برای هر شبکه‌ی محاسباتی، برای اجرای مدل Lars-WG نیاز به فایل مشخصه‌ی رفتار اقلیم گذشته‌ی ایستگاه‌های واقع در داخل آن شبکه نیز وجود دارد. سپس این مدل با دریافت فایل محتوی رفتار اقلیم گذشته‌ی ایستگاه و فایل سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تابش روزانه را برای آینده محاسبه می‌کند. مکانیسم عمل مدل بدین صورت است؛ در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده‌ی ماهانه که دربرگیرنده‌ی رفتار اقلیم پایه می‌باشد، تمامی داده‌های ماهانه مطابق رابطه (۱) مورد پیش‌بینی قرار می‌گیرد (حق طلب و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۹)؛

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (۳)$$

در رابطه‌ی مذکور اجزای فرمول به شرح زیر است؛

F_{fut} → نشان دهنده‌ی پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده بر روی ایستگاه هواشناسی

F_{obs} → پارامتر هواشناسی دیدبانی شده در همان ایستگاه

F_{GCM}^{fut} → پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده در شبکه‌ی مدل برای دوره‌ی آینده

F_{GCM}^{base} → پارامتر هواشناسی مدل شده در شبکه‌ی مدل برای دوره گذشته

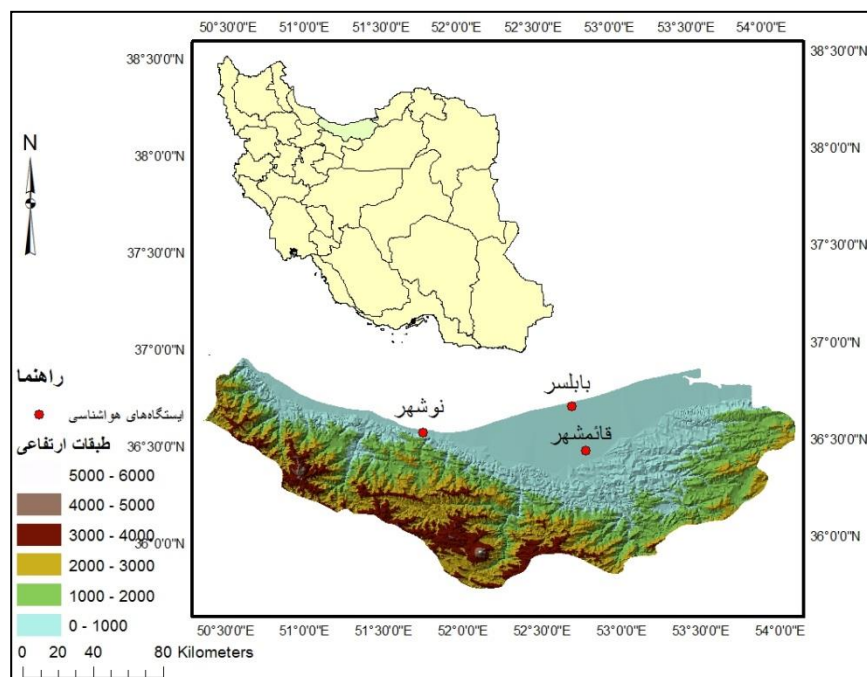
سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار مطابق فرمول (۴) محاسبه می‌شود.

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{obs}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (۴)$$

محدوده‌ی مورد مطالعه

استان مازندران در شمال ایران قرار دارد که از شمال به دریاچه‌ی خزر، از شرق به استان گلستان، از جنوب به استان‌های سمنان، تهران و قزوین و از غرب به استان گیلان محدود است. از لحاظ مختصات جغرافیایی، استان مازندران بین ۳۵° و ۳۶° - ۴۷° و ۳۵° عرض شمالی و ۵۰° و ۳۴° - ۵۴° و ۱۰' طول شرقی قرار دارد شکل (۱). این استان از نظر ویژگی‌های آب و هوایی در طول فصول مختلف تحت تأثیر توده هوای متعددی از سرزمین پهناور سیبری، دریای مدیترانه و دریاچه‌ی خزر و فلات مرکزی ایران می‌باشد. ورود این توده هواها و ویژگی‌های طبیعی و توپوگرافی استان مازندران دو نوع آب‌وهوای معتدل خزری و آب‌وهوای کوهستانی به آن بخشیده است.

^۹ ECHO-G



مأخذ: نگارنده

شکل ۱: نقشه‌ی محدوده و توپوگرافی استان مازندران

یافته‌ها

صحت‌سنجی مدل Lars-WG

با توجه به اینکه نتایج حاصل از مولدهای وضع هوا صرفاً در نواحی آزمون از اعتبار لازم برخوردار است، بنابراین کاربرد آن‌ها در دیگر نواحی، مستلزم آزمون و اعتبارسنجی مجدد، متناسب با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه است (بذرافشان و همکاران، ۱۳۸۸: ۷-۱). ارزیابی صحت مدل Lars-WG از طریق مقایسه‌ی داده‌های دوره‌ی آماری و داده‌های تولیدشده توسط مدل انجام می‌شود. برای این فرایند، داده‌های دیدبانی‌شده شامل دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه، بارندگی روزانه و تابش روزانه از سال ۱۹۸۵-۱۹۹۹ بر اساس مدل Lars-WG تحلیل گردید. داده‌های مورد نیاز برای ۱۰ سال آینده تولید شده و داده‌هایی که با استفاده از مدل Lars-WG تولید شدند با داده‌های موجود در دوره‌ی ۲۰۰۹-۲۰۰۰ مورد ارزیابی و انطباق قرار گرفت و ضریب همبستگی آن به دست آمد. ضریب همبستگی بین داده‌های تولیدشده برای دوره‌ی ۱۹۹۵-۲۰۰۹ و داده‌های واقعی همان دوره میزان صحت مدل را برای دمای حداقل، حداکثر، بارندگی و ساعات آفتابی نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر جدول (۱) میزان همبستگی متغیرهای مورد مطالعه در تمامی ایستگاه‌ها به غیر از بارندگی و ساعات آفتابی ایستگاه قراخیل (۰/۸۰ و ۰/۸۴) بیش از ۰/۹ است. بنابراین می‌توان از مدل Lars-WG برای پیش‌بینی سه دهه‌ی آینده یعنی دهه‌ی اول (۲۰۱۰-۲۰۱۹)، دهه‌ی دوم (۲۰۲۰-۲۰۲۹) و دهه‌ی سوم (۲۰۳۰-۲۰۳۹) استفاده کرد. نتایج آزمون تی استودنت نیز در آزمون پیش‌بینی متغیرها برای ۱۲ ماه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده با سطح احتمال ۵٪ است (به غیر از دمای حداقل

بابلسر). با توجه به این که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در طی بازه‌ی زمانی ۱۹۹۵-۲۰۰۹ وجود ندارد می‌توان توانایی مدل در شبیه‌سازی و تولید داده‌های اقلیمی آینده را مورد تأیید قرار داد.

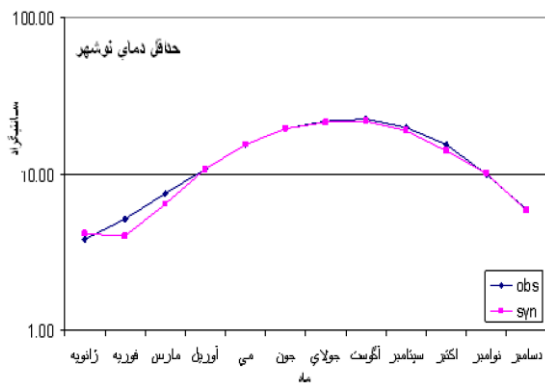
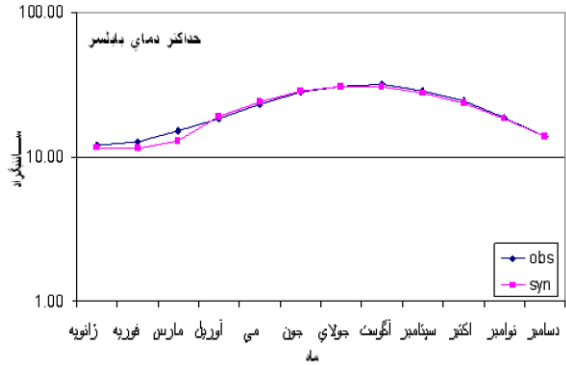
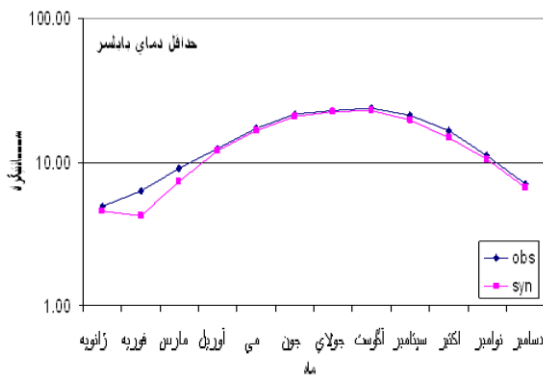
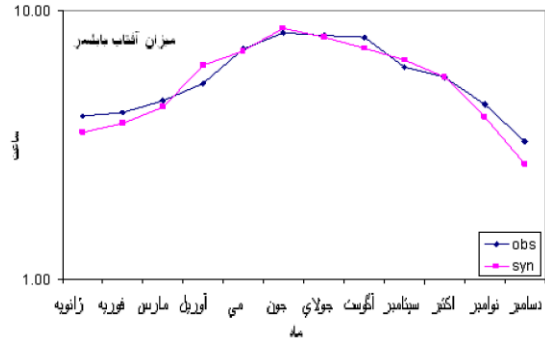
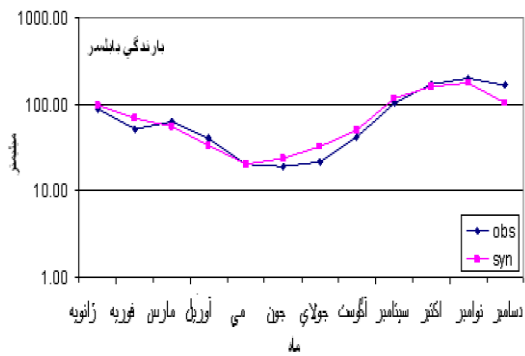
جدول ۱: همبستگی، معادله‌ی رگرسیونی و آماره‌ی t برای صحت‌سنجی در سطح احتمال ۵٪

ایستگاه	شاخص	متغیر جوی		
		دمای حداقل	دمای حداکثر	بارندگی
بابلسر	همبستگی	۰.۹۹۶	۰.۹۹۴	۰.۹۴۸
	آماره t	-۲.۳۲۵	-۱.۰۰۷	۱.۶۸۱
	معادله رگرسیونی	$Y = 1.005X - 1.061$	$Y = 1.016X - 0.800$	$Y = 0.777X + 14.004$
نوشهر	همبستگی	۰.۹۹۷	۰.۹۹۳	۰.۹۳۲
	آماره t	-۰.۷۷۶	-۰.۸۸۵	۰.۲۱۴
	معادله رگرسیونی	$Y = 0.99X + 0.30$	$Y = 1.007X + 0.678$	$Y = 0.94X + 3.123$
قراخیل	همبستگی	۰.۹۹۵	۰.۹۹۱	۰.۸۰۱
	آماره t	-۰.۶۵۸	-۰.۹۲۹	۱.۱۸۵
	معادله رگرسیونی	$Y = 0.985X - 0.289$	$Y = 1.003X - 0.89$	$Y = 0.784X + 15.591$

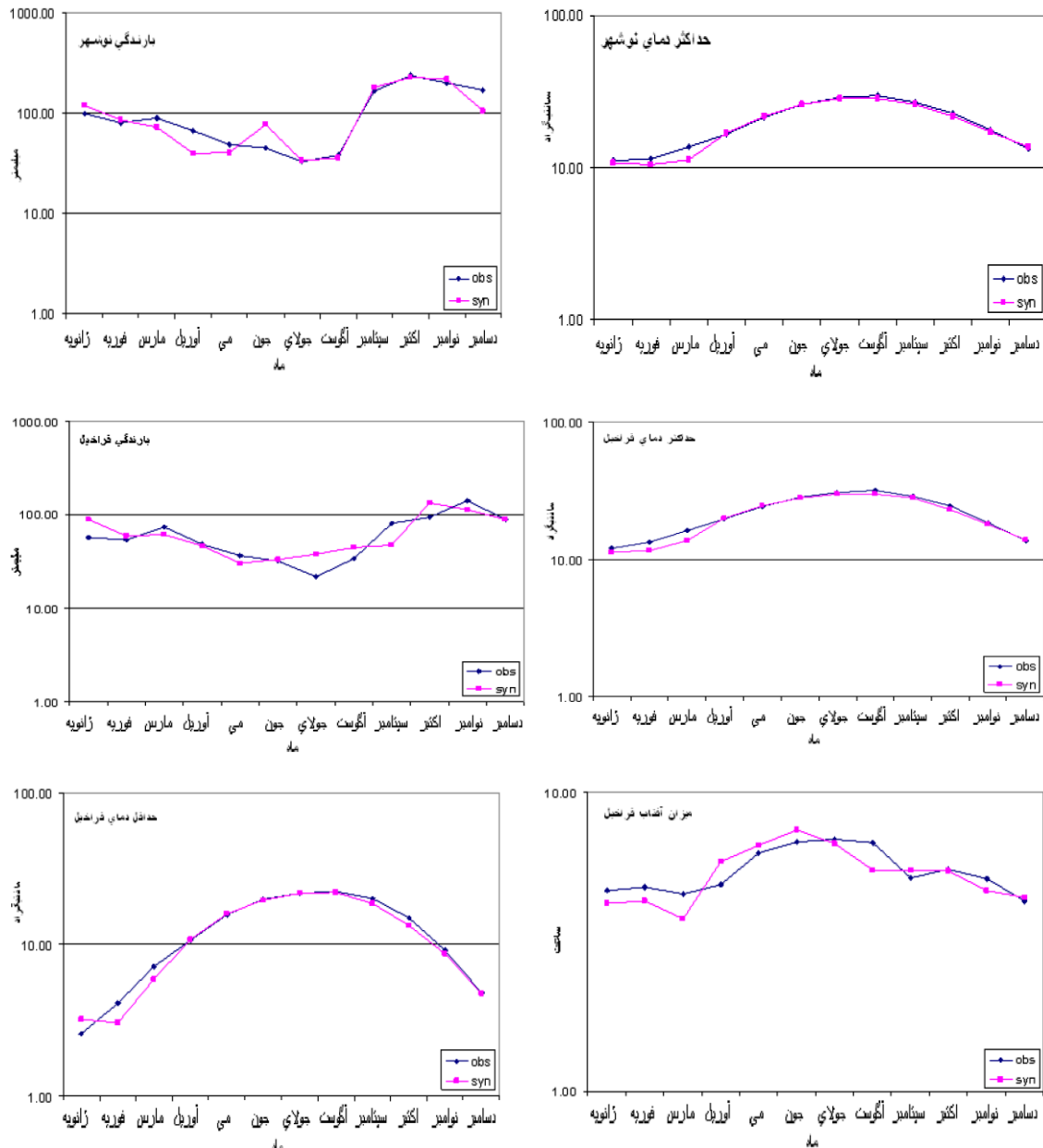
مأخذ: نگارنده

بر اساس نمودارهای شکل (۲)، توانمندی مدل Lars-WG در مدل‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی ایستگاه بابلسر کاملاً مناسب بوده و با داده‌های واقعی مطابقت دارد. همچنین توانمندی مدل در مدل‌سازی تابش ماه‌های مارس، می، جون، جولای، سپتامبر، اکتبر و نوامبر قابل قبول است، اما در مدل‌سازی تابش سایر ماه‌ها، ضعف‌هایی مشاهده می‌شود، که بیشترین خطای مدل‌سازی مربوط به ماه‌های ژانویه، آوریل و دسامبر است. توانمندی مدل Lars-WG در مدل‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر ایستگاه نوشهر بسیار خوب بوده و با داده‌های واقعی مطابقت دارد. همچنین توانمندی مدل در مدل‌سازی بارندگی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می، جولای، آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر قابل قبول است، ولی در مدل‌سازی بارندگی سایر ماه‌ها ضعیف عمل کرده و بیشترین خطای مدل‌سازی، مربوط به ماه‌های آوریل، جون و دسامبر می‌باشد. البته توانمندی مدل برای تابش ماه‌های ژانویه، فوریه، می، جون، جولای، سپتامبر، اکتبر و دسامبر قابل قبول و در مدل‌سازی تابش سایر ماه‌ها ناکارآمد است زیرا بیشترین میزان خطا مربوط به ماه‌های مارس، آگوست و نوامبر می‌باشد. در همین راستا توانمندی مدل Lars-WG در مدل‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر ایستگاه قراخیل بسیار خوب بوده و با داده‌های واقعی (غیر از ماه فوریه) کاملاً مطابقت دارد. همچنین توانمندی مدل در مدل‌سازی بارندگی سایر ماه‌ها ضعیف‌هایی مشاهده می‌شود که بیشترین خطای مدل‌سازی مربوط به ماه‌های ژانویه، جولای، سپتامبر و اکتبر است. البته توانمندی مدل در مدل‌سازی تابش ماه‌های ژانویه، فوریه، می، جون، جولای، سپتامبر، اکتبر و دسامبر خوب و قابل قبول بوده و در مدل‌سازی تابش سایر ماه‌ها ضعیف‌هایی مشاهده می‌شود که بیشترین خطای مدل‌سازی، مربوط به ماه‌های مارس، آوریل و آگوست است. به‌طور کلی توانمندی مدل Lars-WG برای مدل‌سازی اقلیم دوره‌ی گذشته‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر، نوشهر و قراخیل بر اساس یک سناریوی تغییر اقلیم پایه که میانگین‌های این سناریو دقیقاً مشابه میانگین‌های دوره‌ی آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۹ است، کاملاً مشهود است.

بنابراین در ادامه، یک سناریوی تغییر اقلیم برای دوره‌ی ۲۰۱۰ - ۲۰۳۹ بر مبنای مقایسه‌ی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو برای دوره‌های ۱۹۹۵-۲۰۰۹ و ۲۰۱۰-۲۰۳۹ (طی سه دهه) تدوین خواهد شد و داده‌های دوره‌ی ۱۹۹۵-۲۰۰۹ ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر، نوشهر و قراخیل با این سناریوی تغییر اقلیم پریشیده^{۱۰} می‌شود.



¹⁰ Perturb



مأخذ: نگارنده

شکل ۲: مقایسه‌ی داده‌های مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده‌ی متغیرها از طریق مدل Lars-WG

ارزیابی تغییر اقلیم برای سه دهه‌ی منطقه پژوهش

جدول (۲) ارزیابی تغییر اقلیم ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر، نوشهر و قراقری را برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی نشان می‌دهد. پیش‌تر، توانمندی مدل Lars-WG در مدل‌سازی اقلیم دوره‌ی گذشته‌ی ایستگاه‌های مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پاسخ‌های مدل در تمامی موارد با داده‌های مشاهداتی در تطابق قابل‌قبولی بودند. حال با تدوین یک سناریوی تغییر اقلیم برای ایستگاه‌های مورد نظر، دوره‌ی گذشته این ایستگاه‌ها بر اساس این سناریوها پوشیده می‌شود. سناریوی تغییر اقلیم از مقایسه‌ی میانگین خروجی مدل^{۱۱} GCM برای گذشته با آینده و همچنین داده‌های واقعی ایستگاه‌ها به

¹¹ General Circulation Model

دست می‌آید که داده‌های تولیدشده در این سناریوها قرار گرفتند و میانگین دمای حداقل، دمای حداکثر، تابش و بارندگی به تفکیک هر ماه طی سه دهه به دست آمد.

جدول ۲: مقادیر پیش‌بینی‌شده‌ی متغیرها در ماه‌های سال بر اساس مدل Lars -WG

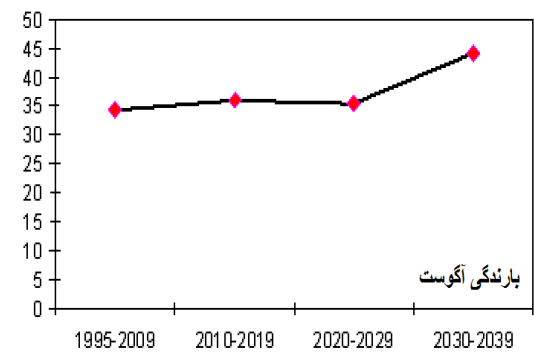
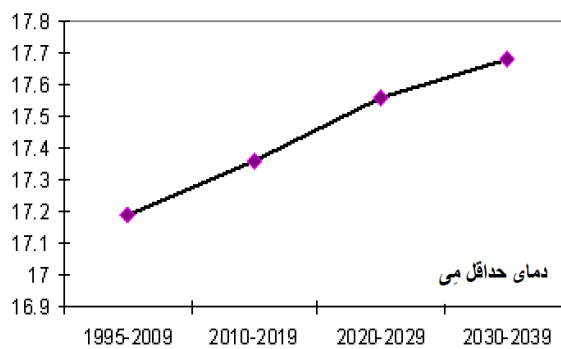
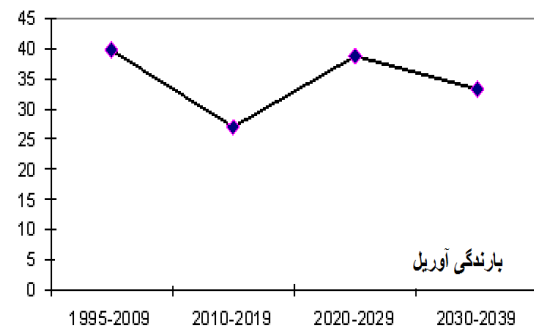
ایستگاه	ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	میانگین
دمای حداقل بابلسر	دهه سوم	۴,۸	۶,۱۵	۹,۱۲	۱۲,۷	۱۷,۶۸	۲۰,۸	۲۲,۸	۲۳,۵	۲۱	۱۶,۴	۱۰,۷	۷,۱۴	۱۴,۴
	دهه دوم	۴,۹	۵,۹۸	۹,۰۲	۱۲,۶	۱۷,۵۶	۲۰,۹	۲۳	۲۳,۶	۲۱,۱	۱۶,۶	۱۰,۹	۷,۱۱	۱۴,۴
	دهه اول	۵,۱	۵,۸۴	۸,۶۹	۱۲,۷	۱۷,۳۶	۲۱,۳	۲۳,۹	۲۳,۶	۲۱,۱	۱۶,۱	۱۱,۱	۷,۱	۱۴,۴
	دهه پایه	۵,۱	۶,۰۸	۸,۵۱	۱۲,۳	۱۷,۱۹	۲۱,۳	۲۳	۲۳,۷	۲۱	۱۶,۲	۱۰,۸	۷,۰۶	۱۴,۳
دمای حداکثر بابلسر	دهه سوم	۱۱,۵	۱۲,۲	۱۴,۴	۱۸,۱	۲۴,۰۶	۲۷,۶	۳۰,۸	۳۱,۷	۲۸,۵	۲۴	۱۸,۷	۱۴,۳	۲۱,۳
	دهه دوم	۱۱,۷	۱۲,۴	۱۴,۳	۱۷,۹	۲۳,۹۲	۲۷,۸	۳۰,۸	۳۱,۶	۲۸,۴	۲۴,۳	۱۸,۶	۱۴,۳	۲۱,۳
	دهه اول	۱۱,۶	۱۲,۴	۱۴,۳	۱۸,۴	۲۳,۷۹	۲۷,۹	۳۰,۶	۳۱,۶	۲۸,۶	۲۴,۱	۱۸,۶	۱۴,۴	۲۱,۳
	دهه پایه	۱۲,۰	۱۲,۵	۱۴,۵	۱۸,۴	۲۳,۵۳	۲۸,۳	۳۰,۵	۳۱,۶	۲۸,۳	۲۴,۱	۱۸,۷	۱۴,۱	۲۱,۴
بارندگی بابلسر	دهه سوم	۱۰,۹	۴۷,۶	۷۰,۳	۳۳,۲	۵۶,۲	۱۷,۳	۱۳,۹	۴۴,۱	۱۳,۲	۸۷,۸	۱۸۵	۱۶۲,۷	۹۰,۹
	دهه دوم	۱۲,۳	۵۲,۶	۶۳,۲	۳۸,۸	۱۰۰,۴	۱۳,۱	۲۳	۳۵,۳	۱۲,۹	۸۲,۱	۱۸۶	۱۷۷,۲	۹۳,۴
	دهه اول	۱۱,۸	۵۳,۷	۵۶,۶	۲۶,۹	۱۰۰,۲۹	۱۵	۲۸,۳	۳۵,۸	۱۵,۹	۸۲,۸	۲۰,۹	۱۲۶,۱	۹۴,۹
	دهه پایه	۹,۲,۷	۵۳,۸	۵۸,۰	۳۹,۶	۱۸,۰۸	۱۷,۱	۲۸,۹	۳۴,۲	۱۱۹,۷	۱۵۶,۵	۱۷۷	۱۴۲,۶	۹۳,۹
ساعات آفتابی بابلسر	دهه سوم	۳,۷	۴,۲۸	۴,۲۷	۴,۳	۷,۶۱	۸,۶۸	۸,۳۶	۷,۶	۶,۴۵	۵,۷	۴,۹۱	۳,۳۹	۵,۷۷
	دهه دوم	۳,۶	۴,۳۲	۴,۴	۴,۶۶	۷,۵۱	۸,۴۱	۸,۵۱	۷,۶۶	۶,۲۷	۵,۷۶	۴,۵۹	۳,۱۲	۵,۷۴
	دهه اول	۳,۳	۴,۴۴	۴,۰۸	۵,۹۸	۷,۴۶	۸,۱۳	۸,۳۴	۷,۷۹	۶,۴۵	۵,۸۹	۴,۵۱	۳,۱۹	۵,۸
	دهه پایه	۳,۸	۴,۱۳	۴,۵۵	۵,۵	۷,۳۷	۸,۳۲	۸,۰۱	۷,۸۷	۶,۰۹	۵,۶۳	۴,۰۶	۳,۱۶	۵,۷۱
دمای حداقل نوشهر	دهه سوم	۴,۲	۴,۸۸	۷,۸۶	۱۰,۹	۱۵,۵	۱۹,۵	۲۱,۸	۲۲,۵	۱۹,۷	۱۵,۶	۹,۸۸	۶,۳۳	۱۳,۲
	دهه دوم	۴,۱	۴,۸۵	۷,۶۱	۱۰,۹	۱۵,۶	۱۹,۴	۲۱,۹	۲۲,۵	۱۹,۸	۱۵,۷	۹,۸۷	۶,۰۱	۱۳,۲
	دهه اول	۴,۱	۴,۹۲	۷,۷۳	۱۰,۸	۱۵,۶	۱۹,۵	۲۱,۸	۲۲,۵	۱۹,۷	۱۵,۳	۹,۶۶	۶,۲۱	۱۳,۱
	دهه پایه	۴,۱	۴,۹	۷,۲۱	۱۰,۷	۱۵,۶	۱۹,۷	۲۱,۸	۲۲,۵	۱۹,۸	۱۵,۱	۹,۸۹	۶,۱	۱۳,۱
دمای حداکثر نوشهر	دهه سوم	۱۰,۴	۱۰,۸	۱۳,۸	۱۷,۳	۲۱,۵	۲۵,۸	۲۸,۳	۲۹,۵	۲۶,۴	۲۲,۳	۱۸,۳	۱۳,۸	۱۹,۹
	دهه دوم	۱۰,۹	۱۰,۷	۱۳,۴	۱۷,۱	۲۱,۷	۲۶,۱	۲۸,۳	۲۹,۶	۲۶,۲	۲۲,۶	۱۸,۱	۱۳,۶	۱۹,۹
	دهه اول	۱۰,۹	۱۰,۶	۱۳,۵	۱۷,۱	۲۱,۹	۲۶	۲۸,۶	۲۹,۴	۲۶,۱	۲۲,۷	۱۷,۹	۱۳,۶	۱۹,۹
	دهه پایه	۱۱,۲	۱۱,۴	۱۳,۱	۱۶,۸	۲۱,۷	۲۶,۲	۲۸,۷	۲۹,۶	۲۶,۴	۲۲,۷	۱۷,۷	۱۳,۷	۱۹,۹
بارندگی نوشهر	دهه سوم	۱۲۰	۱۲۱	۸۸,۹	۶۳	۵۳,۵	۴۴,۵	۴۴,۵	۶۲,۷	۱۳۰,۳	۳۹۰	۱۳۳	۱۴۹,۵	۱۴۰,۲
	دهه دوم	۱۰,۶	۱۰,۵	۱۱۱,۳	۵۷,۵	۴۰,۴	۳۸,۷	۴۰,۴	۵۳,۶	۳۵,۱	۲۹۰	۱۶۴	۱۴۲,۴	۱۲۸,۴
	دهه اول	۱۳,۸	۱۰,۸	۱۰۰,۶	۶۱,۱	۴۱,۹	۳۷	۳۱,۹	۳۵,۴	۱۳۱,۴	۱۹۰	۱۹۸	۱۷۴,۴	۱۲۴,۹
	دهه پایه	۱۰,۴	۷۸,۶	۸۰,۶	۶۱,۶	۴۳	۳۹,۹	۳۹,۵	۳۸,۲	۱۹۳,۹	۲۲۸	۲۱۱	۱۵۵	۱۲۷,۵
ساعات آفتابی نوشهر	دهه سوم	۴,۱	۴,۲	۴,۴۹	۴,۹۹	۶,۴۵	۶,۹	۶,۹	۶,۹۲	۶,۰۲	۴,۸۵	۴,۷۲	۳,۴۹	۵,۱۷
	دهه دوم	۳,۷	۴,۲	۳,۸۵	۵,۳۶	۶,۷۷	۷,۱۴	۶,۸۴	۵,۸۹	۵,۱۱	۵,۳۷	۴,۸۵	۳,۵۹	۵,۲۲
	دهه اول	۳,۹	۳,۷۶	۴,۰۳	۴,۶۱	۶,۵۹	۶,۵	۶,۸	۵,۹۷	۴,۹۹	۵,۲	۴,۳۲	۳,۷۶	۵,۰۸
	دهه پایه	۴,۱	۴,۳۷	۴,۱۹	۴,۶۵	۶,۴۹	۷,۰۲	۶,۸	۶,۵۸	۴,۷۹	۵,۰۳	۴,۶۴	۳,۹۱	۵,۲۱
دمای حداقل قراخیل	دهه سوم	۳,۲	۴,۱۴	۷,۱۹	۱۱,۲	۱۵,۶	۱۹,۱	۲۱,۶	۲۲,۲	۲۰,۱	۱۴,۵	۸,۹۵	۵,۶۱	۱۲,۸
	دهه دوم	۳,۲	۴,۳۴	۷,۰۳	۱۱,۱	۱۵,۵	۱۹	۲۱,۶	۲۲,۳	۲۰,۲	۱۴,۵	۸,۸۹	۵,۵۲	۱۲,۸

۱۲,۸	۵,۲۸	۸,۷۱	۱۴,۸	۳۰,۲	۳۲,۴	۳۱,۹	۱۹,۳	۱۵,۶	۱۱,۰	۶,۸۷	۴,۳۶	۳,۰۳	دهه اول	
۱۲,۷	۴,۹۲	۸,۹۹	۱۴,۶	۱۹,۸	۲۲,۵	۲۱,۸	۱۹,۸	۱۵,۷	۱۰,۷	۶,۶۶	۳,۹۶	۲,۹۱	دهه پایه	
۲۱,۸	۱۳,۶	۱۹,۳	۲۴,۴	۲۸,۲	۳۲	۳۰,۶	۲۸,۱	۲۵,۳	۱۹,۹	۱۶,۱	۱۲,۸	۱۱,۵	دهه سوم	
۲۱,۸	۱۳,۹	۱۹,۳	۲۴,۱	۲۸,۱	۳۱,۹	۳۰,۵	۲۸,۰	۲۵,۰	۲۰,۱	۱۶,۲	۱۳,۱	۱۱,۲	دهه دوم	دمای حداکثر
۲۱,۸	۱۴,۲	۱۹,۱	۲۴,۴	۲۸,۳	۳۱,۹	۳۰,۴	۲۸,۴	۲۴,۹	۱۹,۹	۱۵,۸	۱۲,۸	۱۱,۱	دهه اول	قراخیل
۲۱,۹	۱۴,۱	۱۸,۷	۲۴,۵	۲۸,۶	۳۱,۹	۳۰,۵	۲۸,۵	۲۴,۶	۱۹,۸	۱۵,۶	۱۳,۲	۱۲,۱	دهه پایه	
۷۲۸,۲	۱۱۳,۶	۱۱۲	۴۹,۵	۸۵,۵	۴۳,۱	۵۶,۵	۲۰,۶	۱۸,۵	۳۷,۹	۴۰,۱	۴۸,۵	۱۰,۱	دهه سوم	
۷۰۹,۱	۹۹,۲	۱۱۲	۷۹,۱	۷۹,۸	۳۱,۵	۴۱,۴	۲۴,۴	۲۰,۷	۴۰,۲	۴۲,۸	۵۸,۲	۷۸,۹	دهه دوم	بارندگی قراخیل
۷۱۲,۳	۸۹,۷	۱۰۹	۸۸	۸۵,۱	۳۴,۴	۴۶,۱	۱۹	۲۲,۸	۵۴,۵	۴۶,۱	۵۲,۷	۶۴,۳	دهه اول	
۷۴۴,۳	۸۱,۶	۱۲۷	۹۰,۴	۹۲,۷	۳۱,۶	۳۴,۴	۲۶,۵	۳۱,۴	۵۰,۰	۶۵,۷	۵۲,۰	۶۰,۶	دهه پایه	
۵,۴	۴۰,۳	۵,۷۶	۵,۴۴	۵,۴۶	۶,۱۴	۶,۶۹	۶,۹۳	۶,۳	۵,۶	۴,۲	۴,۲۸	۳,۹۸	دهه سوم	
۵,۳۸	۴,۵	۵,۷۳	۵,۵۱	۵,۳۵	۵,۵۸	۶,۷۲	۶,۹۷	۶,۰۶	۵,۱۷	۴,۲۳	۴,۶۴	۴,۰۶	دهه دوم	ساعات آفتابی
۵,۳۷	۴,۳۹	۵,۵۶	۵,۱۳	۵,۰۱	۶,۰۶	۶,۶۸	۶,۹۹	۶,۱	۵,۱۹	۴,۴۳	۴,۶۲	۴,۲۶	دهه اول	قراخیل
۵,۵۶	۴,۳۹	۵,۲۶	۵,۶۶	۵,۲	۶,۶۴	۶,۹۷	۷,۰۷	۶,۶	۵,۰۷	۴,۴۴	۴,۷۴	۴,۵۵	دهه پایه	

مأخذ: نگارنده

تحلیل روند تغییرات اقلیمی بر اساس مدل Lars-WG

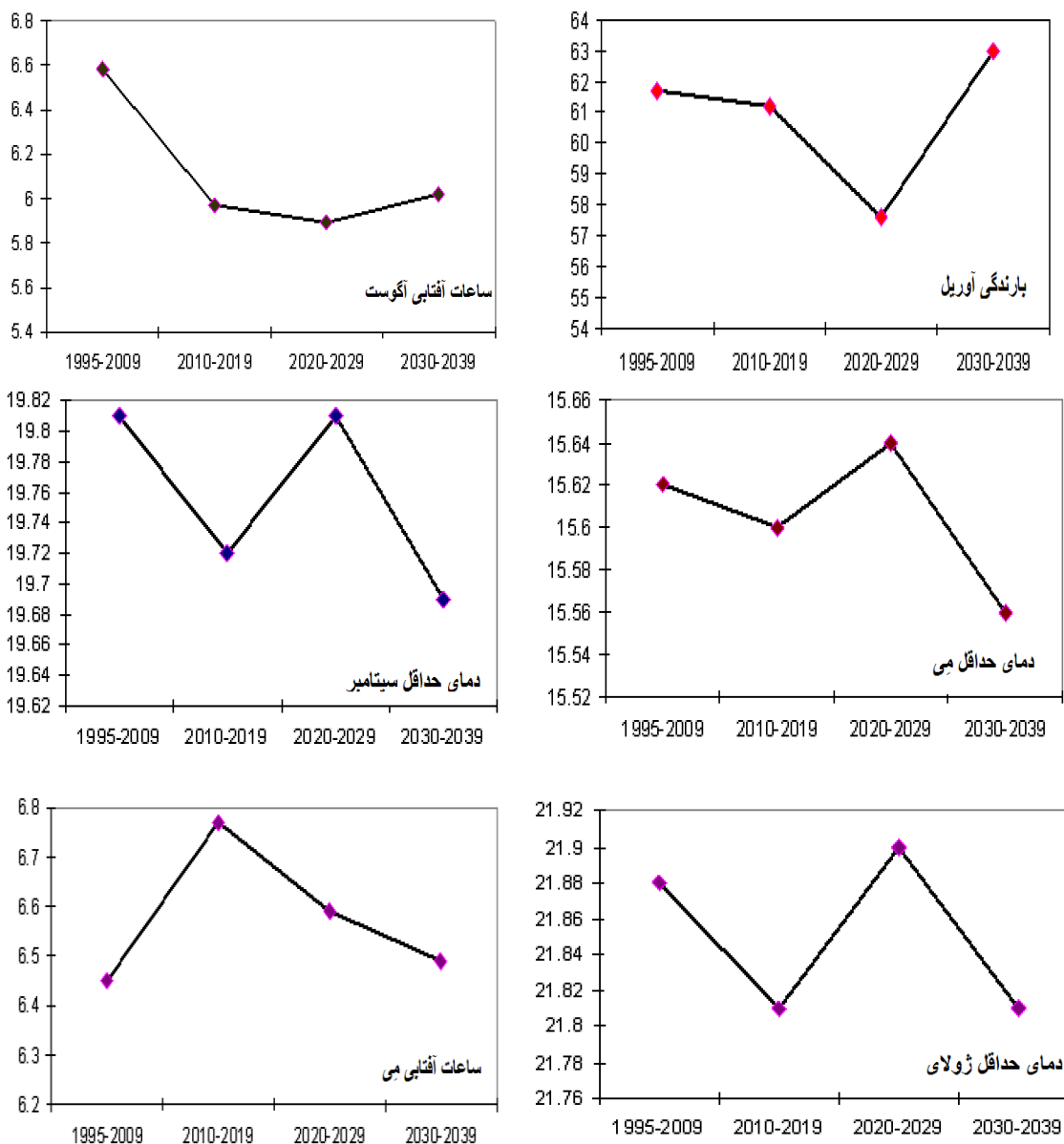
نتایج به دست آمده حاکی از افزایش حداکثر دمای بابلسر در دهه‌ی اول، کاهش در دهه‌ی دوم و افزایش در دهه‌ی سوم خواهد بود و متغیر بارندگی دارای روند کلی کاهشی و دمای حداقل و بارندگی آگوست با روند مثبت در طول سه دهه خواهد بود (شکل ۳).



مأخذ: نگارنده

شکل ۳ - نمودارهای روند پیش‌بینی متغیرها در ایستگاه بابلسر

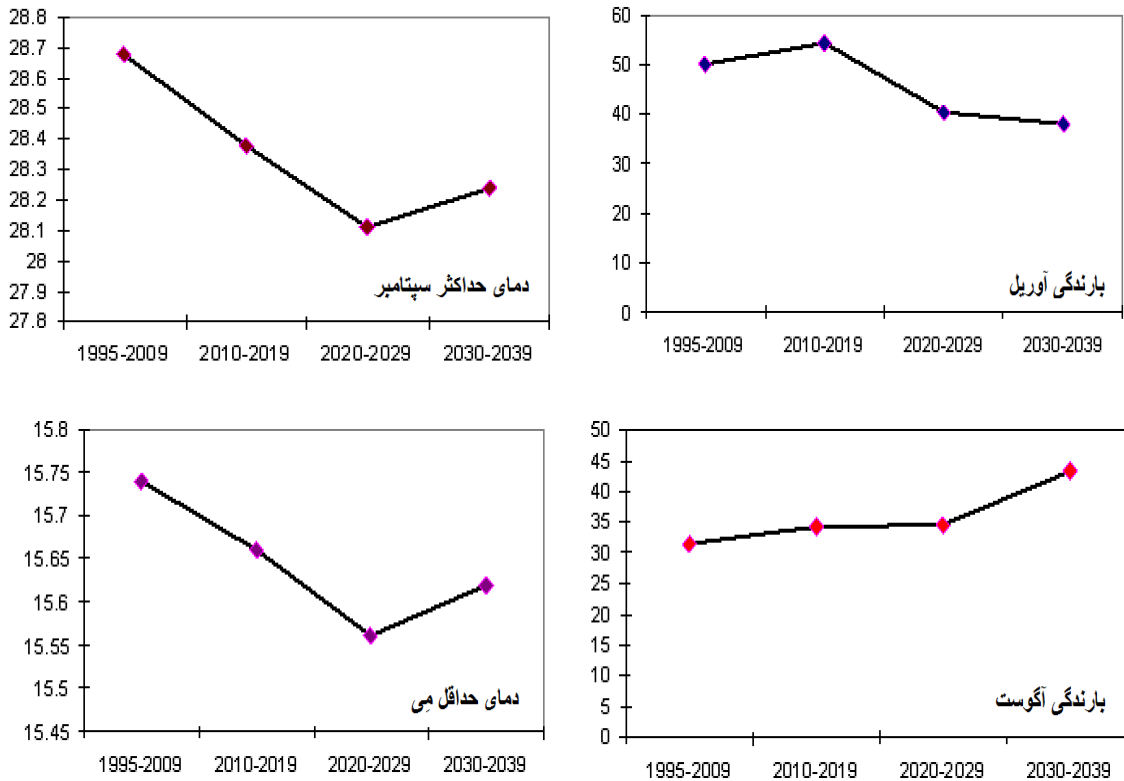
در همین راستا، ساعات آفتابی ماه آگوست در ایستگاه نوشهر در طی سه دهه روند کاهشی و پارامتر بارندگی برای دهه‌ی سوم (۲۰۳۰ - ۲۰۳۹) روند افزایشی خواهد داشت. در طی دوره‌ی ۲۰۱۰ - ۲۰۳۹ متغیر دمای حداقل ماه‌های سپتامبر و می به ترتیب نوسانات کاهشی، افزایشی و مجدداً کاهشی خواهد داشت اما در طی سه دهه، ساعات آفتابی ماه می روند کاهشی و رفتار دمای حداقل ژولای، مشابه دمای حداقل ماه می و سپتامبر خواهد بود (شکل ۴).



مأخذ: نگارنده

شکل ۴ - نمودارهای روند پیش‌بینی متغیرها در ایستگاه نوشهر

نمودارهای (شکل ۵) نشان می‌دهند که در ایستگاه قراخیل، دمای حداقل ماه‌های سپتامبر و می رفتار مشابه خواهند داشت به طوری که در دهه‌ی اول و دوم روندهای کاهشی شدید و در دهه‌ی سوم روندهای افزایشی ملایم خواهند داشت. متغیر بارندگی آگوست در طی سه دهه روند افزایشی و بارندگی آوریل روند کاهشی خواهد داشت.



مأخذ: نگارنده

شکل ۵: نمودارهای روند پیش‌بینی متغیرها در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات نشان می‌دهد اقلیم جهان با سرعتی بی‌سابقه در حال تغییر است. بدیهی است تغییر اقلیم، اثرات مهمی در ایجاد خشک‌سالی، فقر، افزایش مخاطرات طبیعی، کاهش امنیت تولید غذا و محصولات زراعی، افزایش تنش‌های اقتصادی-اجتماعی خواهد داشت. عزیزی و روشنی (۱۳۸۳) اثرات تغییر اقلیم روی دما و تقویم زراعی برنج در استان گیلان را بررسی نمودند و اثبات نمودند که تغییر اقلیم منجر به جابجایی فصلی و تقویم زراعی همراه با افزایش دما شده است. حتی پری^{۱۲} و رزنویگ^{۱۳} (۱۹۹۴) معتقدند که تغییر اقلیم منجر به عملکرد رشد منفی محصول غلات در ایران خواهد داشت. بنابراین پیش‌بینی‌های اقلیمی در مدیریت بحران‌های اقلیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر و ملاحظه جدول (۲) و شکل‌های ۳، ۴ و ۵ مشخص می‌شود که استان مازندران در طول سه دهه شاهد تغییرات و نوسانات محسوس در پارامترهای دما، بارندگی و ساعات آفتابی خواهد بود و روند نوسانات پارامترهای

¹² Parry

¹³ Rosenzweig

موردنظر نسبت به هم و از غرب به شرق متفاوت خواهد بود. از آنجایی که استان مازندران یکی از مناطق زراعی کشور محسوب می‌شود نوسان پارامتر بارندگی اهمیت خاصی پیدا می‌کند. با توجه به نمودارهای حاصله، روند کلی پارامتر بارندگی در ایستگاه نوشهر واقع در غرب استان، از دهه‌ی پایه به طرف دهه‌ی سوم افزایشی خواهد بود.

اما همین پارامتر به طرف شرق استان در هردو ایستگاه بابلسر و قراخیل، روند کاهشی خواهد داشت. بنابراین کاهش بارندگی در مناطق شرقی استان در غالب سناریوها و ایستگاه‌ها، کاهش احتمالی منابع آب تجدید پذیر را نشان می‌دهد که احتمالاً اثرات مخربی بر بخش کشاورزی، به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین برجای خواهد گذاشت. نوسان دماهای کاردینال حداقل و حداکثر می‌تواند به جابجایی فصل کشت، تغییر در نیاز آبی گیاه منجر شود. با تمرکز بر مقادیر پیش‌بینی شده دماهای حداقل و حداکثر تفاوت محسوسی بین مقادیر دهه‌ی پایه و دهه‌های اول، دوم و سوم مشاهده نمی‌شود. بنابراین انتظار بر این است جابجایی فصل کشت در سه دهه رخ نخواهد داد. با این حال تغییر اقلیم و سازگاری با آن در هر منطقه یا کشوری در درجه اول به میزان درک و نحوه‌ی تصمیم‌گیری افراد ذی‌ربط آن جامعه باز می‌گردد. متأسفانه موضوع تغییر اقلیم و بحران‌های آن در اکثر کشورهای جهان و بعضاً ایران برای اغلب مسئولان یک بحث تفنی بوده و غالباً جدی تلقی نشده و در راستای آن برنامه‌ریزی خاصی صورت نمی‌پذیرد. ولی بدون تردید، موفقیت در ایفای چنین نقش بزرگی، در گرو همفکری و مشارکت گروه‌های مختلف نظیر سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیران، برنامه‌ریزان، نهادهای حاکمیتی و جوامع محلی خواهد بود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از زحمات مهندس رضاعلی تبار میری و دکتر محمود روشنی، که با همکاری‌های فنی و پشتیبانی روحی در فرایند پژوهش حاضر نقش ایفا نموده‌اند قدردانی می‌شود.

منابع

- ۱- آبابایی، بهنام، میرزایی، فرهاد و سهرابی، تیمور، (۱۳۹۰): ارزیابی عملکرد مدل Lars-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران، مجله پژوهش آب ایران، شماره نهم، صص ۲۱۷-۲۲۲.
- ۲- بذرافشان، جواد، خلیلی، علی، هورفر، عبدالحسین، ترابی، صدیقه و حجام، سهراب، (۱۳۸۸): بررسی و مقایسه‌ی عملکرد دو مدل (Lars-WG و ClimGen) در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران، تحقیقات منابع آب ایران، جلد چهل و چهارم، صص ۷-۱.
- ۳- حجار پور، امیر، یوسفی، مرضیه، کامکار، مرضیه، (۱۳۹۳): آزمون دقت شبیه‌سازهای Lars-WG، WeatherMan و ClimGen در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد)، جغرافیا و توسعه، شماره سی و پنجم، صص ۲۰۱-۲۱۶.
- ۴- حسینی سیده طیبه، مجتبی خوش‌روش و ضیا تبار احمدی، میر خالق، (۱۳۹۴): بررسی اثر تغییر اقلیم و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت بر عملکرد سویا، نشریه‌ی پژوهش آب در کشاورزی، جلد بیست و نهم، شماره چهارم، صص ۵۷۵-۵۶۰.

- ۵- حق طلب، نفیسه، گودرزی، محسن، حبیبی نوخندان، مجید، یآوری، احمدرضا و جعفری، حمیدرضا، (۱۳۹۲): مدل سازی اقلیم استان های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی Lars-WG و مقایسه تغییرات آن در جبهه شمالی و جنوبی البرز مرکزی، فصل نامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، جلد پانزدهم، شماره یک، ص ۳۹.
- ۶- خلیلی اقدم، نبی، مساعدی، ابوالفضل، سلطانی. افشین و کامکار. بهنام، (۱۳۹۱): ارزیابی توانایی مدل Lars-WG در پیش بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد نوزدهم، شماره چهارم، صص ۸۵-۱۰۳.
- ۷- سبزی پرور، علی اکبر، ترکمان مجتبی و مریانجی، زهره، (۱۳۹۱): بررسی تأثیر شاخص ها و متغیرهای هواشناسی کشاورزی در عملکرد بهینه گیاه گندم (مطالعه موردی: استان همدان، نشریه ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی، جلد بیست و ششم، صص ۱۵۶۷-۱۵۵۴).
- ۸- رسولی، علی اکبر، رضائی بنفشه، مجید، مسّاح بوانی، علیرضا، خورشید دوست، علی محمد و قرمز چشمه، باقر، (۱۳۹۳): بررسی اثر عوامل مرفو- اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل Lars-WG، نشریه علوم و مهندسی آب خیزداری ایران، سال هشتم، شماره بیست و چهارم، صص ۹-۱۸.
- ۹- عزیزی، قاسم و روشنی، محمود، (۱۳۸۸): تحلیلی بر مفاهیم و اثرات تغییر اقلیم روی دما و تقویم زراعی برنج در استان گیلان، فصل نامه فضای جغرافیایی، جلد چهارم، شماره هشتم، صص ۱۴۳-۱۵۵.

- 10- Aalinejad. M. H, Dinpashoh. Y, Jahanbakhsh Asl. S, (2016): Impact of Climate Change on Runoff from Snowmelt by Taking into Account The Uncertainty of GCM Models (Case Study: Shahrchay Basin in Urmia), European Online Journal of Natural and Social Sciences, Vol 5, No 1, pp 200-211, ISSN 1805-3602. <http://www.european-science.com>.
- 11- Etemadi. H, Samadi. S. Z, and Sharifikia. M, (2012): Statistical Downscaling of Climatic Variables in Shadegan Wetland, Iran, Open Access Scientific Reports Vol 1, No1 1, pp 1-9, <http://dx.doi.org/10.4172/scientificreports.508>.
- 12- Ewert, F., M.D.A., Rounsevell, I., Reginster, M.G., & Leemans, R., (2005): Future Scenarios of European Agricultural Land Use. I. Estimating Changes in Crop Productivity, Agric. Ecosyst. Environ, Vol 107, pp 101-116.
- 13- Goodarzi. E, Dastorani. M, Massah Bavani. A, and Talebi. A, (2015): Evaluation of The Change Factor and LARS-WG Methods of Downscaling for Simulation of Climatic Variables in the Future (Case study: Herat Azam Watershed, Yazd - Iran), Ecopersia, Vol 3, No 1, Pp 833-846.
- 14- Hashmi. M. Z, Shamseldin. A.Y, and Melville B.W, (2009): Downscaling of Future Rainfall Extreme Events: A Weather Generator Based Approach, 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July, Pp 3928-3934.
- 15- Le. T. B, Sharif. H. O, (2015): Modeling The Projected Changes of River Flow in Central Vietnam under Different Climate Change Scenarios, Journal of Water, No 7, pp 3579-3598; doi:10.3390/w7073579.
- 16- Osman. Y, Al-Ansari. N, Abdellatif. M, and Aljawad. S. B, and Knutsson. S, (2014): Expected Future Precipitation in Central Iraq Using LARS-WG Stochastic Weather Generator, Engineering 6, pp 948-959. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2014.613086>.
- 17- Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., & Fischer, G, (2004): Effects of Climate Change on Global Food Production Under SRES Emissions and Socio-Economic Scenarios, Global Environmental Change, Vol 14, pp 53-67.
- 18- Racsko, P., Szeidl, L., & Semenov, M.A., (1991): A Serial Approach to Local Stochastic Weather Models, Ecological Modeling, Vol 1, No 57, Pp 27-41.
- 19- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., & Richardson, C.W., (1998): Comparison of The WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates, Climate Res, Vol 10, Pp 95-107.
- 20- Sivakumar, M.V.K., H.P., & Brunini, O., (2005): Impacts of Present and Future Climate Variability and Change on Agriculture and Forestry in The Arid and Semi-Arid Tropics, Climatic Change, Vol 70, Pp 31-72.

- 21- Tayebiyani. A, Mohammad. T. A, Ghazali. A. H, Malek. M. A, and Mashohor. S, (2016): Potential Impacts of Climate Change on Precipitation and Temperature at Jor Dam Lake, *Pertanika J. Sci. & Technol.*, Vol 24, No 1, Pp 213–224.