

شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بار نیشابور)

سیاوش طائی سمیرمی^۱

حمید رضا مرادی^{۲*}

hmradi@modares.ac.ir

مرتضی خداقلی^۳

چکیده

یکی از ضعف‌های مدل‌های GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد که در این صورت برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب در محدوده حوزه‌های آبخیز از دقت کافی برخوردار نیستند. بنابراین می‌بایستی آن‌ها را توسط روش‌های مختلف کوچک مقیاس نمود. سپس با استفاده از خروجی‌های ریزمقیاس‌سازی شده این مدل‌ها اثرات تغییر اقلیم در مطالعات هیدرولوژیکی مورد ارزیابی قرار گیرد. از بین روش‌های ریزمقیاس‌سازی، روش‌های آماری به واسطه عملکرد سریع و آسان بیشتر مورد توجه هیدرولوژیست‌ها قرار می‌گیرند. در تحقیق حاضر مدل آماری (SDSM) در شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای بیشینه، کمینه و بارش در حوزه آبخیز بار نیشابور با استفاده از دو روش آماری و ترسیمی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اجرای مدل SDSM از خروجی‌های مدل Hadcm3 و CGCM1 استفاده شد. داده‌های روزانه دمای بیشینه، کمینه و بارش برای دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۰) تحت سه سناریو A1، A2 و B1 شبیه‌سازی گردید. نتایج هر سه سناریو عموماً حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به عنوان مثال با توجه به نتایج پارامترهای آماری، سناریو A2 $RMSE = ۴/۰۴$ ، $R^2 = ۰/۸۴$ ، $Nash = ۰/۹۹$ ، $MAE = ۰/۳۳$ و $MAE = -۰/۲۴ =$ (PBIS) مشاهده شد که خروجی‌های مدل Hadcm3 تحت سناریو A2 دارای تطابق بیشتری با دوره پایه بوده است. نتایج نشان داد که در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹، دمای میانگین به ترتیب ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۶؛ دمای متوسط کمینه ۰/۳، ۰/۵ و ۱/۴ و دمای متوسط بیشینه ۰/۷، ۱/۴ و ۲/۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه در حوضه مورد مطالعه افزایش می‌یابد همچنین نتایج نشان داد که در سه دوره مورد مطالعه بارش متوسط به اندازه ۶، ۱۰ و ۱۷ میلی‌متر نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: مدل‌های گردش عمومی جو، ریزمقیاس‌سازی آماری، تولید کننده آب و هوا، حوزه آبخیز بار نیشابور.

۱- دانشجوی مهندسی آبخیزداری، گروه آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس* (مسئول مکاتبات).

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.

مقدمه

دمای سطح زمین از اواسط قرن ۱۹ تا کنون روندی افزایشی داشته است. 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 به طور متوسط در حدود ۰/۸۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (۱). این روند افزایشی در دمای کره زمین و همچنین تغییر در خصوصیات فیزیکی جو اشاره به تغییرات آب و هوایی دارد. در صورتی که اقدامات مناسبی در جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم و سازگاری با آن صورت نگیرد این پدیده می‌تواند بخش عمده‌ای از جهان، از جمله کشاورزی، منابع آب و صنعت گردش‌گری را تحت تأثیر قرار دهد. امروزه مدل‌های گردش عمومی جو قوی‌ترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشند. خروجی‌های این مدل‌ها دارای دقت مکانی پایینی هستند. لذا در صورتی که خروجی این مدل‌ها مستقیماً به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی قرار گیرد باعث افزایش عدم قطعیت می‌شود. هیدرولوژیست‌ها برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی از بین روش‌های ریزمقیاس‌سازی، بیشتر از مدل‌های آماری استفاده می‌کنند (۱-۴). یکی از دلایل استفاده از این مدل‌ها عملکرد سریع و آسان آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد (۵-۸). از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌سازی آماری که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل می‌باشد SDSM می‌باشد (۹-۱۲).

Coulibaly و Dibike در سال (۲۰۰۵) با استفاده از سه مدل^۱ ANN،^۲ SDSM و^۳ LARS-WG به ریزمقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی در کانادا پرداختند. نتایج نشان داد که مدل SDSM دارای دقت بالاتری در ریزمقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی دارد (۸). Rajabi در سال ۲۰۱۰ به ارزیابی

مدل SDSM در کرمانشاه پرداخت. نتایج حاکی از دقت بالای این مدل در ریزمقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی می‌باشد (۱۳). Hashm و همکاران در سال ۲۰۱۰، Koch و Cherie در سال ۲۰۱۳ به مقایسه دو مدل آماری SDSM و LARS-WG پرداختند. نتایج نشان داد که هر دو مدل با دقت بالایی متغیرهای اقلیمی را شبیه‌سازی می‌کند (۱۴ و ۱۵). Tatsumi و همکاران در سال ۲۰۱۳، با استفاده از مدل SDSM به ریزمقیاس‌سازی دما در منطقه Shikoku پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ دما تحت بیشتر سناریوها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (۱۶). Etemadi و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی عدم قطعیت دو مدل ریزمقیاس‌سازی LARS-WG و SDSM در تالاب چادگان ایران پرداختند. نتایج حاکی از آن بود است که مدل LARS-WG عملکرد بالاتری در مدل‌سازی داده‌های اقلیمی دارند (۱۷). فرزانه در سال ۱۳۸۹ به بررسی عدم قطعیت مدل چندگانه خطی SDSM در حوزه آبخیز کارون شمالی پرداخت. نتایج حاکی از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره پایه است (۱۸). آقاشاهی و همکاران در سال ۱۳۹۱ به معرفی و مقایسه دو مدل SDSM و LARS-WG پرداختند. نتایج نشان داده که مدل SDSM دارای عدم قطعیت کمتری می‌باشد (۱۹). با توجه به مطالعات فوق مشاهده می‌شود که مدل SDSM دارای دقت قابل قبولی در ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی می‌باشد و از طرف دیگر بیشتر مطالعات صورت گرفته در رابطه با ریزمقیاس‌سازی با استفاده از مدل SDSM محدود به یک یا دو دوره در طول قرن حاضر می‌باشد ولی تحقیق حاضر در نظر دارد که با استفاده از مدل SDSM برخی از متغیرهای اقلیمی حوضه آبخیز بار نیشابور را در طول دوره آماری بلند مدت ۱۹۷۱ تا ۲۰۹۹ مورد شبیه‌سازی و پیش‌بینی قرار دهد. با توجه به مطالعات صورت گرفته مشخص شد که مدل‌های ریزمقیاس‌سازی در نقاط مختلف نتایج مختلفی ارائه داده اند لذا انجام مطالعات بیشتر در نقاط مختلف

1-Artificial Neural Network

2- Statistical Downscail Model

3 -Long Ashton Reserch Station Wether Generator

روش انجام تحقیق

انتخاب ایستگاه‌های مناسب
اطلاعاتی که برای انجام این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت
می‌توان به داده‌های بارش و درجه حرارت میانگین، بیشینه و
کمینه اشاره کرد. این اطلاعات از ایستگاه‌های موجود در حوضه
و نزدیک حوضه تهیه شدند که مشخصات آنها در جدول ۱
آورده شده است.

انتخاب ایستگاه‌های مناسب
اطلاعاتی که برای انجام این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت
می‌توان به داده‌های بارش و درجه حرارت میانگین، بیشینه و
کمینه اشاره کرد. این اطلاعات از ایستگاه‌های موجود در حوضه
و نزدیک حوضه تهیه شدند که مشخصات آنها در جدول ۱
آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

ردیف	نام ایستگاه	نوع	عرض	طول	سال تاسیس	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	بار- اریه	کلیماتولوژی	۳۶°۲۹'	۵۸° ۴۲'	۱۳۲۹	۱۵۲۰
۲	کارخانه قند	باران سنجی	۳۶° ۱۷'	۵۸° ۶۶'	۱۳۶۵	۱۰۷۴
۳	ماروسک	باران سنجی	۳۶° ۸'	۵۸° ۲۲'	۱۳۶۹	۱۹۰۰

دقت مدل‌های CGCM1 و Hadcm3 در ارزیابی اثرات
تغییر اقلیم بر روی منابع آب در بسیاری از مطالعات به اثبات
رسیده است (۱۸، ۲۰ و ۲۲). بدین ترتیب ابتدا هر دو مدل تحت
سناریوهای مختلف، بر اساس پارامترهای آماری مورد ارزیابی
قرار گرفت. سپس مدل و سناریویی که از دقت آماری بالاتری
در منطقه مورد مطالعه برخوردار بود، به عنوان مدل و سناریو
یی که با شرایط حوضه مورد مطالعه شباهت بیشتری دارد
(دقت آماری بالاتر) انتخاب گردید.

کوچک مقیاس کردن داده‌های اقلیمی

دقت مدل‌های CGCM1 و Hadcm3 در ارزیابی اثرات
تغییر اقلیم بر روی منابع آب در بسیاری از مطالعات به اثبات
رسیده است (۱۸، ۲۰ و ۲۲). بدین ترتیب ابتدا هر دو مدل تحت
سناریوهای مختلف، بر اساس پارامترهای آماری مورد ارزیابی
قرار گرفت. سپس مدل و سناریویی که از دقت آماری بالاتری
در منطقه مورد مطالعه برخوردار بود، به عنوان مدل و سناریو
یی که با شرایط حوضه مورد مطالعه شباهت بیشتری دارد
(دقت آماری بالاتر) انتخاب گردید.

کوچک مقیاس کردن داده‌های اقلیمی

در نهایت به منظور انتخاب مدل گردش عمومی جو و سناریو
مناسب داده‌های ریز مقیاس سازی شده توسط مدل با داده‌های
مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت بررسی عملکرد
مدل‌ها و مقایسه آن‌ها از دو روش ترسیمی و معیارهای آماری
مرسوم R^{2A} ، MAE^B ، NSE^C ، $PBISE^D$ و $RMSE^E$ استفاده گردید. این معیارها بر اساس روابط ۱ تا ۵ محاسبه
می‌شوند (۲۳).

سپس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، صحت داده‌ها در
محیط نرم افزار SPSS بررسی شد. در این تحقیق جهت رفع
نواقص آماری از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها استفاده شد.
در این تحقیق به منظور تعیین مدل GCM^1 و سناریو مناسب
که شرایطی مشابه با شرایط حوضه داشته باشد، مدل‌های
 $Hadcm3^2$ و $CGCM1^3$ تحت سناریوهای $A1$ ، $A2$ و $B2$
برای حوزه آبخیز بار مورد بررسی قرار گرفت. هر یک از
سناریوهای فوق شرایطی از اقلیم آینده را در اختیار کاربر قرار
می‌دهد. به عنوان مثال سناریو $A1$ بر اساس نوع تکنولوژی
مورد استفاده در قرن ۲۱ در نظر گرفته شده است. سناریو
 $A2$: جهان به صورت ناهمگون با رشد مداوم جمعیت و رشد
اقتصادی منطقه‌ای که بسیار پراکنده و کندتر از بقیه سناریوها
می‌باشد توصیف شده است. سناریو $B1$: وضعیت جمعیت در
این سناریو مانند سناریو $A1$ می‌باشد با این تفاوت که تأکید در
این سناریو بیشتر در استفاده از انرژی‌های پاک و محیط زیست
می‌باشد. در این خانواده بر پایداری اقتصادی محیط زیست و
اقتصاد در سطح جهانی تأکید دارد (۲۱).

4- Root mean square error
5- Mean absolutely error
6- Nash-Sutcliffe efficiency
7- Percent bias
8- Returns the square

1- Long Ashton Reserch Station Wether Generator
2- Or Climate Prediction and Research/Met Office,
UK
3- Canadian Centre for Climate Modeling and
Analysis, Canada

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i) * 100}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \right] \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n (S_i - O_i) \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n (S_i - \bar{S}) (O_i - \bar{O})}{\sigma_S \times \sigma_O} \right]^2 \quad (5)$$

مدل SDSM

مدل SDSM، متغیرهای پیش‌بینی شونده^۱ NCEP و GCM را کالیبره و آنالیز می‌نماید. SDSM یک روش نمونه برداری مجدد شرطی و دو مرحله‌ای است (۲۴). این روش ابتدا متغیر پیش‌بینی کننده (مانند دما و بارش) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی^۲ کوچک مقیاس کرده و در مرحله بعد بارش در محل ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد. در واقع SDSM ترکیبی از روش مولد هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است. نرم افزار SDSM کوچک مقیاس کردن آماری متغیرهای اقلیمی روزانه را تحت مراحل زیر انجام می‌دهد:

۱- کنترل کیفیت داده‌ها و تغییر شکل داده‌ها؛ ۲- انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده؛ ۳- کالیبره کردن مدل؛ ۴- تولید مدل هواشناسی (با استفاده از پیش‌بینی کننده مشاهده-ای)؛ ۵- آنالیز آماری؛ ۶- خروجی گرافیکی مدل؛ ۷- تولید سناریو اقلیمی (با استفاده از پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی

که در آن: O_i داده‌های مشاهداتی، S_i داده‌های برآورد شده، \bar{O} و \bar{S} میانگین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده، σ واریانس می‌باشد. مقادیر RMSE و MAE معرف دقت در بسیاری از روش‌های آماری می‌باشد. هر چه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است. R^2 بیانگر ارتباط داده‌های مشاهداتی و برآورد شده می‌باشد. دامنه این پارامتر بین ۰ تا ۱ است هرچه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان دهنده ارتباط قوی بین دو گروه می‌باشد. دامنه ضریب NSE بین $-\infty$ تا ۱ می‌باشد دامنه بین ۰ تا ۱ قابل قبول و بهترین حالت زمانی است که ضریب NSE برابر ۱ باشد. PBIAS هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل در برآورد متغیر مورد نظر می‌باشد. در صورتی که مقدار این پارامتر به سمت مثبت میل کند نشان دهنده این است که متغیر مورد بررسی بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. اگر این پارامتر به سمت منفی میل کند نشان می‌دهد که پارامتر مورد نظر مقدار متغیر را بسیار بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. قابل ذکر است که برای این پارامتر آستانه خاصی در نظر گرفته نشده است (۲۳).

1- National Center Environment Prediction
2- stochastic weather generator

مدل)؛ تمامی مراحل بالا توسط گزینه‌های تعبیه شده در محیط نرم افزار SDSM انجام می‌گیرد.

انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها^۱ نرم افزار SDSM در واقع بین سری مشاهداتی روزانه منطقه و متغیرهای بزرگ مقیاس مشاهداتی منطقه (NCEP) رابطه‌ای با حداکثر ضریب همبستگی برقرار نموده (۲۵) و سپس با استفاده از پارامترهای به‌دست آمده از این رابطه، با به‌کارگیری متغیرهای بزرگ مقیاس حاصل از مدل CGCM1, HadCM3 و سناریوهای مختلف در دوره آتی سری زمانی بارندگی و دمای روزانه منطقه را تولید می‌کند. در این روش داده‌های بزرگ مقیاس از داده‌های شبیه‌سازی توسط مدل CGCM1 و HadCM3 برای دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ استخراج شدند. سپس با معرفی این داده‌ها به مدل SDSM، بارش و دمای متوسط، بیشینه و کمینه تحت سه سناریو A2, A1 و B2 برای منطقه مورد مطالعه کوچک مقیاس گردید. ابتدا به کمک پیش‌بینی کننده‌های منتخب متغیرهای مورد بررسی برای دوره پایه شبیه‌سازی شدند. سپس این متغیرها تحت سه سناریو A2, A1 و B2 برای دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ پیش‌بینی گردید و تغییرات هر متغیر در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

در این قسمت با استفاده از پارامترهای بزرگ مقیاس مشاهداتی NCEP^۲ و نرم افزار SDSM به انتخاب پیش‌بینی کننده‌های منتخب پارامترهای اقلیمی مورد نیاز پرداخته شد. بدین منظور، از بین ۲۶ پارامتر بزرگ مقیاس NCEP و توابع مختلف آن‌ها، ۱۲ پارامتر نهایی بزرگ مقیاس، برای متغیرهای اقلیمی مورد نظر انتخاب گردید. نتایج پیش‌بینی کننده‌های منتخب نهایی در جدول ۲ ارائه شده است.

1- predictors
2- National Center Enviroment Prediction

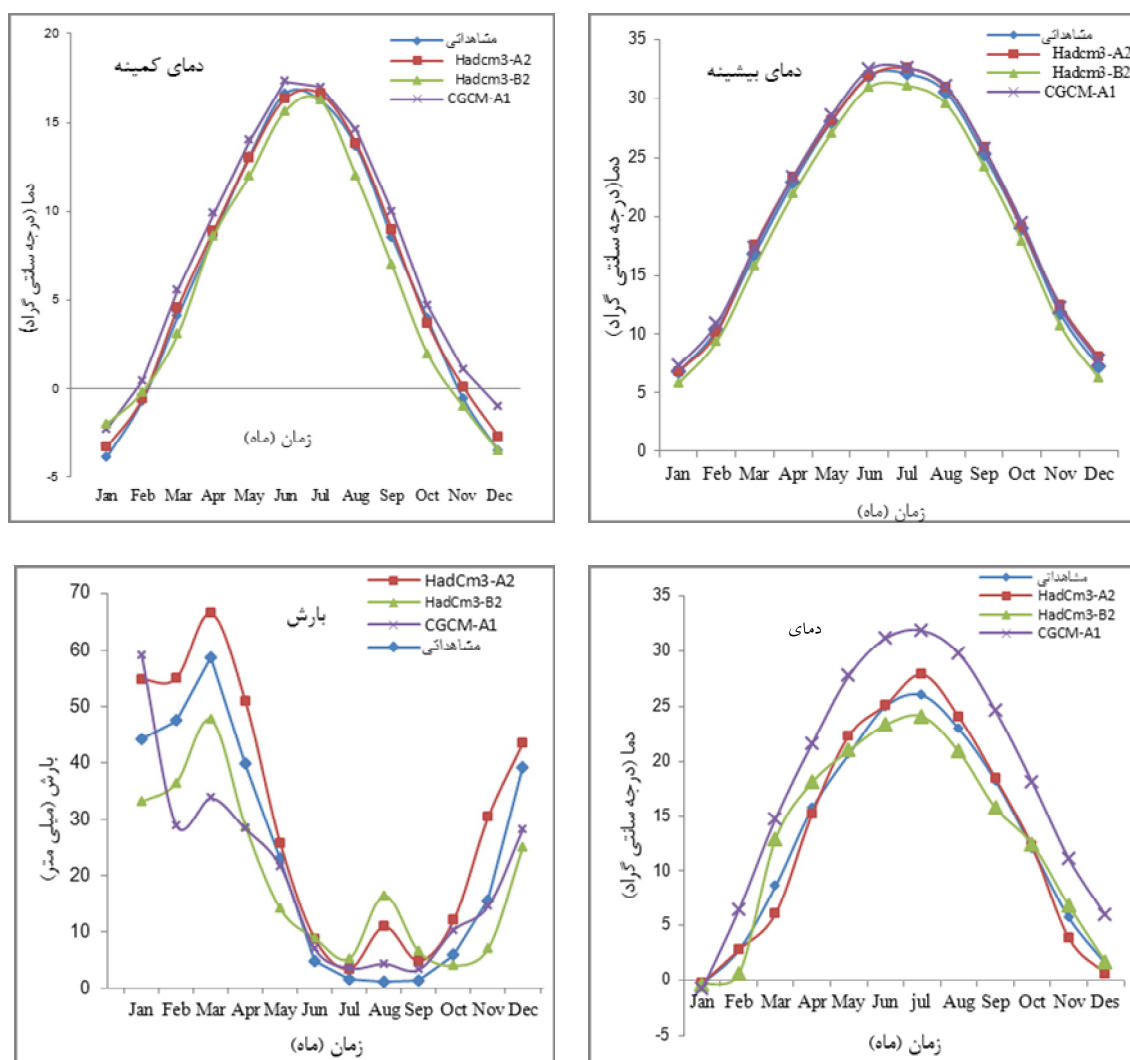
جدول ۲- پیش‌بینی کننده‌های منتخب جهت کوچک مقیاس کردن آماری دما و بارش روزانه ایستگاه بار

متغیر	پیش‌بینی کننده‌های منتخب	پیش‌بینی کننده‌های منتخب	Pvalue	همبستگی جزئی
بارش	500hPa Wind Direction	جهت باد در ۵۰۰ hpa	۰/۰۱	۰/۰۷
	850hPa Wind Direction	جهت باد در ۸۵۰ hpa	۰/۰۴	۰/۰۶
	Mean Temperature at 2m	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	۰/۰۲	۰/۰۶
دما متوسط	Mean Sea Level Pressure	فشار متوسط سطح دریا	۰/۰۰	۰/۷۵
	850hPa Zonal Velocity	سرعت مداری در ۸۵۰ hpa	۰/۰۰	۰/۵۰
	850hPa Geopotential	ژئوپتانسیل ۸۵۰ hpa	۰/۰۰	۰/۴۶
دمای پیشینه	Mean Sea Level Pressure	فشار متوسط سطح دریا	۰/۰۰	۰/۶۳
	850hPa Meridional Velocity	سرعت نصف النهاری در ۸۵۰ hpa	۰/۰۱	۰/۴۹
	Near surface relative humidity	رطوبت نسبی سطحی	۰/۰۰	۰/۵۱
دمای کمینه	Mean Sea Level Pressure	فشار متوسط سطح دریا	۰/۰۰	۰/۷۳
	Mean Temperature at 2m	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	۰/۰۰	۰/۵۴
	Surface Wind Direction	جهت باد سطحی	۰/۰۳	۰/۷

نتایج حاصل از ریز مقیاس سازی توسط نرم افزار SDSM

در این بخش با بررسی و مقایسه داده‌های مشاهداتی متوسط ۳۰ ساله دما و بارندگی در دوره پایه ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ با داده‌های شبه سازی شده دما و بارندگی GCM ها، مدل و سناریویی که از دقت آماری بالاتری برخوردار بود، معرفی گردید. همان‌طور که توضیح داده شد در این تحقیق برای ارزیابی مدل از دو روش ترسیمی و پارامترهای آماری استفاده شد. در شکل ۲ نتایج حاصل از ارزیابی مدل به روش ترسیمی ارائه شده است.

با توجه به نتایج جدول (۲) مشخص شد که داده‌های درجه حرارت همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی (در قیاس با داده‌های بارندگی) داشته‌اند که با نتایج تحقیقات (۱۸ و ۲۶) مطابقت دارد. این بدان علت است که تغییر پذیری دما نسبت به بارندگی کمتر است و دما یک متغیر پیوسته می‌باشد که کمتر تحت تاثیر بی‌هنجاری‌های زمانی قرار می‌گیرد. در حالی که بارش تحت تاثیر عوامل مختلفی در حوضه قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، بارندگی یک پارامتر گسسته است.



شکل ۲- نتایج حاصل از مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده‌ای (۱۹۷۱-۲۰۰۰)

شدن توانمندی مدل، علاوه بر روش ترسیمی از معیارهای آماری (RMSE, MAE, NAE, PBISE و R^2) نیز استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از معیارهای آماری در جدول ۳ ارائه شده است.

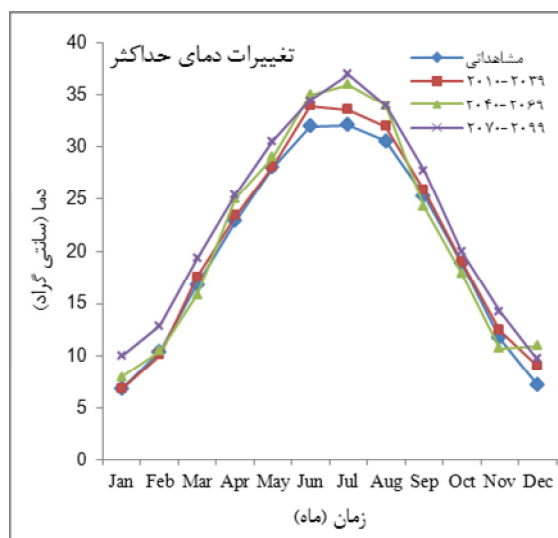
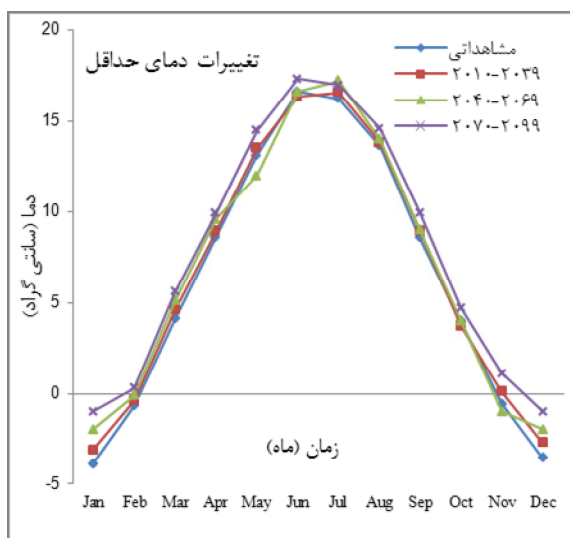
با توجه به نتایج شکل ۲ مشخص شد که سناریو A2 تطابق بیشتری با شرایط اقلیمی دوره پایه دارد. تحقیقات متعدد نشان می‌دهند که این سناریو به واقعیت تولید گازهای گلخانه‌ای نزدیک‌تر بوده و سناریوی واقعی‌تر و نرمال‌تری ارائه می‌دهد و سناریوهای دیگر مقداری خوشبینانه هستند (۲۴). برای روشن

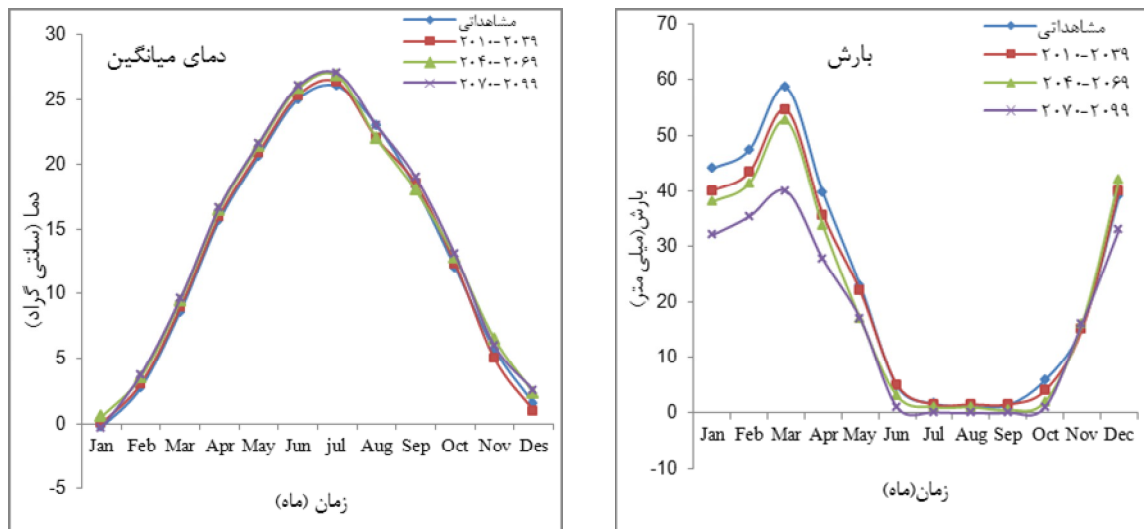
جدول ۳- معیارهای عملکرد GCM های مختلف در مقایسه با مقادیر مشاهداتی

بارندگی					دما					GCM	
PBIS	MAE	Nash	R ²	RMSE	PBIS	MAE	Nash	R ²	RMSE		
-۰/۲۳	۰/۲۳	-۰/۳۲	۰/۰۱	۴/۱۱	-۰/۷۸	۰/۱	۰/۹۴	۰/۸۲	۴/۲۰	سناریو B2	Hadcm3
۹/۴۴	۰/۸۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۳/۵۶	-۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۹۹	۰/۸۴	۴/۰۴	سناریو A2	
-۰/۴۴	۰/۳۵	-۰/۴۵	۰/۰۹	۴/۱۳	-۰/۵۱	۰/۰۶	۰/۷۹	۰/۷۳	۴/۵۲	سناریو A1	CGCM1

ادامه با استناد به خروجی‌های سناریو A2 متغیرهای مورد نظر برای سه دوره ۳۰ ساله آتی پیش‌بینی گردیدند. نتایج حاصل از مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی در شکل ۳ ارائه شده است.

نتایج حاصل از ریز مقیاس سازی مدل SDSM نشان داد که در بین مدل‌های CGCM1 و Hadcm3 و سناریوهای A1, A2 و B2 مدل Hadcm3 تحت سناریوی A2 دقت آماری بالاتری (جدول ۳) در تولید داده‌های اقلیمی دارد.



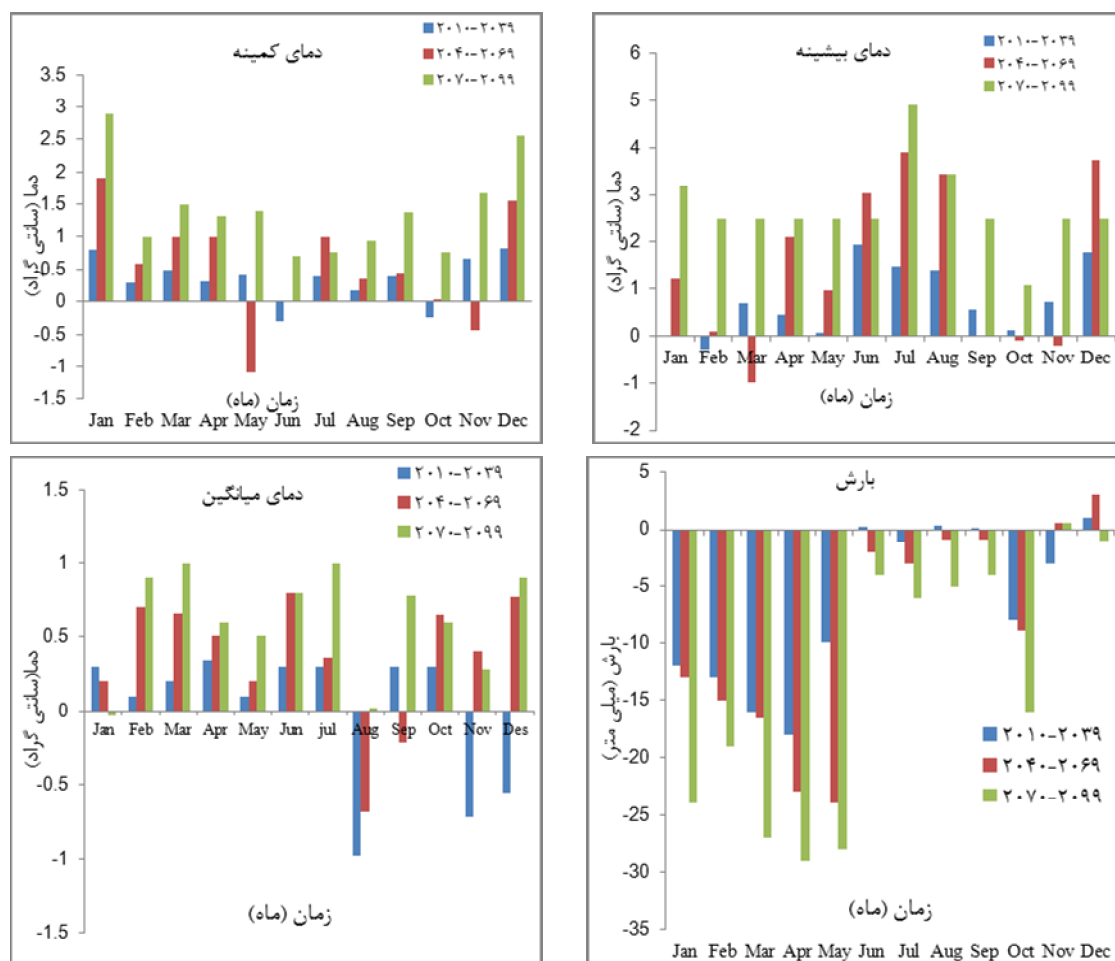


شکل ۳- نتایج حاصل از مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده تحت سناریو A2 و مدل Hadcm3 برای دوره‌های آتی

چرا که یکی از توده‌های اصلی ورودی به ایران از منطقه سیبری نشأت می‌گیرد. بر اساس نتایج حاصله 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 می‌گردند لذا این سامانه‌ها وقتی به منطقه ما وارد می‌شوند از طرفی دارای شرایط ناپایداری کمتری بوده و لذا بارش کمتری در منطقه ریزش می‌کند و از سوی دیگر به علت تضعیف شدن، به عرض‌های شمالی‌تر کشیده می‌شوند (که دارای هوای سردتر هستند) در نتیجه منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر تعداد چرخند کمتری قرار می‌گیرد. این نتایج با یافته‌های (۲۷ و ۲۸) در مورد روند نزولی بارش مطابقت دارد.

پس از پیش‌بینی دمای متوسط، کمینه، بیشینه و بارش برای دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹، ۲۰۷۰-۲۰۹۹، اقدام به مقایسه مقایر پیش‌بینی شده با مقادیر مشاهداتی شد. شکل ۴ نتایج حاصل از تغییرات متغیرهای مورد بررسی را نسبت به مبنا (دوره پایه) نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود بارش ماهانه منطقه عموماً در طول قرن ۲۱ کاهش پیدا می‌کند. دلیل کاهش بارندگی در طول قرن ۲۱ را می‌توان افزایش روند گرمایی در سطح زمین دانست. 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 گردیده است. شرایط اقلیمی در ایران عموماً نمی‌تواند از این تحولات بی‌تأثیر باشد؛



شکل ۴- تغییرات متغیرهای مورد بررسی در طول قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه

با بررسی شکل‌های ۴ مشاهده می‌شود دمای حداقل و حداکثر در اکثر ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. به نظر می‌رسد یکی از مهمترین عوامل موثر در افزایش دما، افزایش گازهای گلخانه‌جو زمین باشد IPCC (۲۰۰۷). یکی از اثرات تغییر اقلیم تأثیر بر روی آستانه‌ها می‌باشد. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد که آستانه‌ها (دمای حداکثر و حداقل) به شدت تحت تأثیر قرار گرفته‌اند که با نتایج تحقیقات (۳۱ و ۳۲) مطابقت دارد ولی با نتایج تحقیقی که (۳۳) در جنوب غرب کشور انجام دادند تطابق ندارد. احتمالاً دلیل این امر تأثیر پذیری این مناطق از توده‌های آب و هوایی متفاوت می‌باشد به-طور مثال حوزه آبخیز بار نیشابور بیشتر تحت تأثیر توده آب و هوایی است که از طرف سیبری و غرب وارد کشور شده و

تغییر اقلیم به دو شکل می‌تواند بر روی بارش نقش داشته باشد. یکی به شکل تغییر در مقدار بارش و دیگری تغییرات زمانی الگوی بارش می‌باشد. نکته جالب توجه در این تحقیق تغییرات زمانی الگوی بارش می‌باشد. مثلاً هر چه به پایان قرن حاضر نزدیک می‌شویم ملاحظه می‌گردد که بارش در ماه‌های اول سال کاهش پیدا کرده و در ماه‌های آخر سال، اندکی افزایش پیدا می‌کند. با توجه به شکل ۳ و ۴ بارش در ماه‌های دسامبر و نوامبر نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که با نتایج تحقیقات (۲۹ و ۳۰) مطابقت دارد. همچنین افزایش بارندگی در ماه‌های دسامبر و نوامبر را می‌توان به عواملی همچون خطا در اجرای مدل یا در نظر نگرفتن عواملی دانست که احتمالاً در پیش‌بینی بارش نقش داشته‌اند ولی در این تحقیق مد نظر قرار نگرفته‌اند.

بروز تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه نیاز به مطالعات بیشتر می‌باشد.

منابع

1. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... & Vasconcellos de Menezes, V. (2013). *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change-Abstract for decision-makers*. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat/Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, C/O World Meteorological Organization, 7bis Avenue de la Paix, CP 2300 CH-1211 Geneva 2 (Switzerland).
2. Xu CY (1999) From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches. *Prog Phys Geogr* 23:229–249.
3. Hewitson BC, Crane RG (1996) Climate downscaling: techniques and application. *Clim Res* 7:85–95.
4. Fowler HJ, Blenkinsop S, Tebaldi C (2007) Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *Int J Climatol* 27:1547–1578.
5. Wilby RL, Charles SP, Zorita E, Timbal B, Whetton P, Mearns LO (2004) Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Supporting material of the Intergovernmental

منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ولی جنوب غرب کشور بیشتر تحت تأثیر آب و هوایی است که از سمت سودان و دریای سرخ منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به شکل ۳ و ۴ هرچه به سمت اواخر قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم مشاهده می‌شود که دمای میانگین نیز افزایش پیدا می‌کند ولی این افزایش نسبت به دمای کمینه و بیشینه کمتر است از این نکته چنین می‌توان برداشت نمود که تغییر اقلیم می‌تواند تأثیر بیشتری بر روی آستانه‌ها (دمای کمینه و بیشینه) داشته باشد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اقدام به شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو در حوزه آبخیز بار نیشابور شد. در این تحقیق از بین مدل‌های CGCM1 و HADCM3 تحت سناریوهای A1، A2 و B1 براساس پارامترهای آماری مشخص شد مدل HADCM3 تحت سناریو A2 تطابق بیشتری با شرایط اقلیمی منطقه در دوره پایه دارد.

داده‌های درجه حرارت همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی (در قیاس یا داده‌های بارندگی) داشته‌اند، این بدان علت است که تغییر پذیری دما نسبت به بارندگی کمتر است (۲۱)، و دما یک پارامتر با توزیع احتمالی نرمال می‌باشد. از جمله عوامل کاهش همبستگی در بارندگی این است که عوامل مختلفی بر روی بارندگی موثر می‌باشد و از طرف دیگر بارندگی یک متغیر گسسته است بنابراین حل مشکل همبستگی در توسعه مدل‌های تغییر اقلیم در آینده می‌بایست مد نظر قرار گیرد. تغییر اقلیم می‌تواند باعث تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای اقلیمی شود. در خصوصیات این متغیرها می‌تواند اثرات زیان باری بر روی اجزای اکوسیستم داشته باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید که در طول قرن ۲۱ دما رو به افزایش؛ و بارش رو به کاهش است. همچنین پیش‌بینی شد هرچه به اواخر قرن ۲۱ نزدیک تر می‌شویم این شرایط تشدید می‌شود که این امر نشان می‌دهد که وضعیت تغییر اقلیم در منطقه مورد نظر جدی است هر چند برای اطمینان بیشتر از

- the 21st century." *Biosystems Engineering* 81(1): 3-34.
14. Hashmi, M. Z., Shamseldin, A. Y., & Melville, B. W. (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.
 15. Koch, M., & Cherie, N. (2013). Mono- and multi-modal statistical downscaling of GCM-climate predictors for the Upper Blue Nile River basin, Ethiopia. In *Proceedings of the 6 th International Conference on Water Resources and Environment Research, ICWRER* (pp. 3-7).
 16. Tatsumi, K., Oizumi, T., & Yamashiki, Y. (2013). Introduction of daily minimum and maximum temperature change signals in the Shikoku region using the statistical downscaling method by GCMs. *Hydrological Research Letters*, 7(3), 48-53.
 17. Etemadi, H., Samadi, S., & Sharifikia, M. (2013). Uncertainty analysis of statistical downscaling models using general circulation model over an international wetland. *Climate Dynamics*, 1-22.
 18. فرزانه، محمدرضا، و همکاران. ۱۳۸۹. معرفی پیش بینی کننده های منتخب جهت کوچک مقیاس کردن آماری-رگرسیونی در زیر حوضه بهشت آباد کارون شمالی، نخستین کنفرانس پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه. http://www.civilica.com/Paper-INCWR01-INCWR01_081.html
 6. Kilsby CG, Jones PD, Burton A, Ford AC, Fowler HJ, Harpham C, James P, Smith A, Wilby RL (2007) A daily weather generator for use in climate change studies. *Environ Model Softw* 22:1705–1719
 7. Kim BS, Kim HS, Seoh BH, Kim NW (2007) Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea. *Stoch Environ Res Risk Assess* 21:355–373
 8. Dibike YB, Coulibaly P (2005) Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *J Hydrol* 307:145–163.
 9. Semenov MA (2008) Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Clim Res* 35(3):203–212.
 10. Zhang, X.B. Harvery, K.D. Hogg, W.D., and Yuzyk T.R. (2001). Trends in Canadian streamflow. *Water Resour. Res.* 37:4. 987-998
 11. Wilby RL, Wigley TML (2000) Precipitation predictors for downscaling: observed and general circulation model relationships. *IntJ Climatol* 20:641–661.
 12. Beersma JJ, Buishand TA (2003) Multi-site simulation of daily precipitation and temperature conditional on the atmospheric circulation. *Clim Res* 25:121–133.
 13. Ragab, R. and C. Prudhomme (2002). "Sw—soil and Water: climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for

۱۹. آقاشاهی، محسن. ۱۳۹۱. معرفی و مقایسه مدل های LARS-WG و SDSM به منظور ریز مقیاس سازی پارامترهای زیست محیطی در مطالعات تغییر اقلیم. مجموعه مقالات ششمین همایش ملی مهندسی محیط زیست. تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، http://www.civilica.com/Paper-CEE06-CEE06_569.html.
۲۰. توسلی، احد. ۱۳۸۹: شبیه سازی تغییرات درون رگباری ضریب روان آب با استفاده از مولفه های بارشی در حوزه آبخیز بار نیشابور، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، جلد ۱۰، شماره ۴، ص ۲۱-۳۳.
۲۱. طائی سمیرمی، س. مرادی، ح.ر. خدافل، م. ۱۳۹۲. انتخاب مدل گردش عمومی جو و سناریو مناسب به منظور مطالعه اثرات تغییر اقلیم در حوزه آبخیز بار نیشابور. دومین همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست. ارومیه. مجموعه مقالات ۲۸-۳۴.
22. Zarghami, M., Abdi., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., Kanani, R., (2011). Impacts of Climate Change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Plantary Change*. 78 (2011) 137-146.
23. Moriasi D N., Arnold JG., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*. 2007; 50(3), 885-900.
24. Wilby, R.L., Tomlinson, O, J., Dawson, C.W., (2007). Multi-site simulation of precipitation by condition resampling. *Journal of climate Research*, 23: 183-194.
۲۵. گل محمدی، محمد، مساح بوانی، علیرضا، ۱۳۸۹. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک. (۲): ۲۵-۳۲۶: ۳۱۵-۳۲۶.
۲۶. صمدی، س.ز، مساح بوانی، ع، مهدوی، م، ۱۳۸۸. انتخاب متغیر پیش بینی کننده بمنظور کوچک مقیاس کردن آماری داده های دما و بارندگی درحوزه آبخیز کرخه. مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری (مدیریت پایدار بلایای طبیعی). ۲ و ۳ اردیبهشت ماه ۱۳۸۸. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲۷. کتیرایی، پرویز، ۱۳۸۶. سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱، مجله فیزیک زمین و فضا. جلد ۱. شماره ۳۳، ص ۶۷ - ۸۳.
۲۸. صبحی، راضیه، و سلطانی، سعید، ۱۳۸۷. تحلیل روند عوامل اقلیمی در شهرهای بزرگ ایران، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۲ شماره ۴۶ ص ۳۰۳ - ۳۲۱.
۲۹. آذرانفر، آرش، و همکاران. ۱۳۸۵. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما در حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از خروجی مدل های چرخش عمومی. دومین همایش ملی منابع آب ایران. اصفهان.
۳۰. الهی گل، علی، و سهراب حجام، ۱۳۸۵، بررسی اثر تغییرات دما و بارش بر رواناب در حوضه آبریز امامه (استان تهران)، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، http://www.civilica.com/Paper-WRM02-WRM02_004.html
۳۱. خلیلی اقدم، نبی. ۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش بینی برخی از پارامترهای جوی سنج. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. جلد ۱۹. شماره ۴. ص ۸۵-۱۹.
32. Elo, A. R., Huttula, T., Peltonen, A., & Virta, J. (1998). The effects of climate

33. Etemadi, H. (2012). Statistical Downscaling of Climatic Variables in Shadegan Wetland, Iran.

change on the temperature conditions of lakes. Boreal environment research, 3, 137-150.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.