نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 28، شماره 4، مهر – آبان 1393، ص. 845-836

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 4, Sept.-Oct. 2014, p. 836-845

بررسی کارایی مدل ریز مقیاس نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک

مریم رضائی[1*]- محمد نهتانی[2]- علیرضا مقدم نیا[3]- علیجان آبکار[4]- معصومه رضائی [5]

تاریخ دریافت: 1392/4/12
تاریخ پذیرش:1393/4/31

چکیده

پیش‌بینی میزان بلند مدت بارش در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا در این پژوهش به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان بارندگی در مقیاس ایستگاهی از مدل آماری SDSM استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل میزان بارندگی روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان و بم، داده‌های بازتحلیل NCEP و خروجی‌های مدل HadCM3 (داده‌های نسل سوم مدل جهانی اقلیم تحت سناریوی A2 وB2) برای دوره پایه (2001-1971 میلادی) می‌باشد. میزان بارش برای سه دوره (2039-2010)، (2069-2040) و (2099-2070) پیش‌بینی و با دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفته است. از 15 سال اول داده‌ها (1985-1971) برای واسنجی و از 15 سال دوم (2001-1986) برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. بررسی معیارهای ارزیابی کارایی مدل از جمله میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا، نشان داد که این مدل در منطقه خشک، از توانایی و دقت بالاتری برای پیش‌بینی میزان بارندگی نسبت به منطقه فراخشک برخوردار می‌باشد. نتایج نشان داد میزان بارش سالانه تا سال 2099، در ایستگاه کرمان در سناریوهای A2 وB2 به ترتیب (1/3) و (0/3) میلی‌متر کاهش و در ایستگاه بم حدود (4/56)، (5/46) میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، بم، تغییر اقلیم، کرمان، مدل SDSM

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای و متعاقب آن افزایش دما در چند دهه اخیر، باعث برهم خوردن توازن اقلیمی در اغلب نواحی کره زمین شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این پدیده می‌تواند بر بخش‌های مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. کمترین تغییر در میانگین بارش و درجه حرارت اثرات مخربی را بر بخش‌های کشاورزی و اقتصادی به همراه دارد. در سال‌های اخیر خشکسالی خسارات زیادی در کشورمان موجب شده است. از این‌رو، پیش‌بینی تغییرات مقدار و روند متغیرهای اقلیمی جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور خصوصاً در رابطه با مدیریت ریسک بلایای طبیعی ضروری به نظر می‌رسد (8). مدل‌های اقلیمی ابزارهای نوینی هستند که بیشتر از 30 سال از ارائه آن‌ها نمی‌گذرد. در هر مدل اقلیمی تلاش شده تا فرآیندهایی که بر اقلیم مؤثرند شبیه‌سازی گردد و بر اساس آن وضعیت اقلیم برای سال‌های آینده پیش‌بینی شود. چون پیش‌بینی در شرایط اقلیم آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به طور قطعی ممکن نیست، راه حل جایگزین، مشخص کردن امکان رخدادهای گوناگون برای آن است که سناریوی اقلیمی نامیده می‌شود. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید این سناریوها مدل‌های گردش عمومی جو یا GCM[6] می‌باشد (15). در این تحقیق برای شبیه‌سازی بارش دوره آتی از خروجی مدل HadCM3[7]، (داده‌های نسل سوم مدل جهانی اقلیم) تحت سناریوی انتشار A2 و B2 استفاده شده است. مدل HadCM3 یک مدل GCM (جفت شده جوی-اقیانوسی) است که توسط گردون و همکاران (20)، ارائه شده است. داده‌های GCM معمولاً در شبکه‌هایی به اضلاع 150 تا 300 کیلومتر اندازه‌گیری می‌شوند، برای تبدیل این اطلاعات به مقیاس‌های کاربردی در سطح منطقه، از

1 و 2- دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل
(* - نویسنده مسئول: Email: maryamm_rezaei@yahoo.com)
3- دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
4- دکتری آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان
5- مربی گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان

6- General Circulation Model
7- Hadley Centre Coupled Model, version 3

روش‌های موسوم به ریزمقیاس سازی استفاده می‌شود (21). در مقیاس کلی روش‌های ریزمقیاس سازی به روش‌های دینامیکی و روش‌های آماری تفکیک می‌شوند. روش ریز مقیاس نمایی آماری در مقایسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریعتر عوامل مؤثر بر تغییرات آب وهوایی مدنظر باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. مدل آماری ریز مقیاس نمایی تابع انتقالی، SDSM[1] توسط ویلبی و همکاران به عنوان ابزاری برای ریز مقیاس نمودن به روش آماری توسعه یافته است. مبنای این مدل رگرسیون چند متغیره است و برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی مانند بارش و دما در درازمدت با توجه به سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی استفاده می‌شود. از آن‌جا که در مدل ریز مقیاس آماری ساخت داده‌های هواشناسی با استفاده از ترکیب دو روش احتمالاتی و رگرسیونی صورت می‌گیرد، لذا در طبقه‌بندی مدل‌های مختلف ریز مقیاس نمودن، از جمله بهترین مدل‌ها می‌باشد (5). در ارتباط با اثرات تغییر اقلیم تحقیقات زیادی توسط محققین داخلی و خارجی انجام شده که در ادامه به اختصار آورده شده است. چن و همکاران (18) از دو مدل SDSM و ماشین بردار پشتیبان[2] برای ریز مقیاس نمودن بارندگی در حوزه رودخانه‌ای هانجیانگ استفاده نمودند. نتایج عملکرد بهتر مدل SDSM را در مقایسه با ماشین بردار پشتیبان نشان داد. لیو و همکاران (24) از مدل SDSM، جهت ریز مقیاس نمودن خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3 برای مطالعه اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در چین استفاده نمودند. در کانادا دیبیک و کولیبالی (19) با استفاده از دو نوع روش ریز مقیاس آماری (رگرسیونی و اعداد تصادفی) بارش در کانادا را پیش‌بینی نمودند سری‌های زمانی که به وسیله هر دو روش تولید شدند بیانگر افزایش در میانگین بارندگی بودند. در آفریقا، ژائو و همکاران (27) با استفاده از خروجی سه مدل گردش عمومی و سناریو B2 به کمک مدل ریز مقیاس گردانی SDSM به این نتیجه رسیدند که میزان بارندگی آفریقا تا پایان قرن 21، به میزان 8/2 درصد کاهش خواهد یافت. اندرسون و همکاران (17) با استفاده از سناریو A2 یک مدل چرخش عمومی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم در حوزه رودخانه دنیش در دانمارک پرداختند نتایج نشان داد بارش سالانه 47 میلی‌متر و میانگین دمای سالانه هم 3/2 درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت. برای ریز مقیاس نمودن متغیرهایی مانند بارندگی و دما، خان و همکاران (23)، سه مدل LARS-WG، SDSM و شبکه عصبی مصنوعی[3] را مورد آزمون قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که مدل SDSM، خصوصیات مختلف آماری را در سطح اطمینان 95 درصد داده‌های مشاهداتی را بهتر از سایر مدل‌ها توانسته است در مقادیر ریز مقیاس شده حفظ نماید. در انگلستان هارفام و ویلبی (22) با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل SDSM، میزان بارندگی را پیش‌بینی نمودند، نتایج حاکی از عملکرد بهتر مدل شبکه عصبی مصنوعی بودند. از مدل SDSM دهقانی پور و همکاران (4) برای ریز مقیاس نمایی داده‌های بارش، دما و تبخیر تبریز استفاده نمودند، نتایج نشان داد که این مدل عملکرد مناسبی در ریز مقیاس نمودن داده‌ها دارد. مهسافر و همکاران (16) از مدل HadCM3، با استفاده از شبکه نروفازی ANFIS، برای پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه استفاده نمودند. در حوزه آبریز قره‌سو، مدرسی و همکاران (12) به بررسی منطقه‌ای تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری پرداختند. نتایج نشان داد که بارش در نواحی شمال‌شرقی حوزه در تمامی فصول دارای روند صعودی و در نواحی جنوب و جنوب‌غربی حوزه، در فصول زمستان و تابستان دارای روند نزولی می‌باشد. اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی سواحل شمالی و جنوبی کشور را پور محمدی و رحیمیان (1) مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق توسط مدل گردش عمومی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 میانگین بارش در دوره (2039-2010میلادی) برای دو منطقه سواحل شمالی و جنوبی به دست آمد. نتایج نشان داد که اثرات تغییر اقلیم در سواحل جنوبی نسبت به سواحل شمالی شدیدتر است. از این مدل همچنین سادات آشفته و مساح بوانی (6) برای پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم آینده بر دبی حداکثر استفاده نموده‌اند. با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره عزیزی و همکاران (10) به بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور پرداختند و دریافتند که داده‌های رطوبت و بارش غالباً از روند تغییرات معنی‌داری برخوردار نبودند. در پژوهش حاضر سعی بر این است تا علاوه بر درک صحیح مفهوم تغییر اقلیم، نتایج حاصل از آن بر روی میزان بارندگی در دو ایستگاه کرمان و بم تحت سناریوهای تغییر اقلیم بررسی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر بر روی 2 ایستگاه سینوپتیک کرمان و بم که طولانی‌ترین دوره آماری بارش در استان کرمان را دارا می‌باشند، انجام گرفته است.

ایستگاه‌های مذکور به عنوان نماینده دو منطقه اقلیمی خشک و فرا خشک می‌باشند (2). روش دومارتن ساده‌ترین و مرسوم‌ترین روش طبقه‌بندی اقلیمی است که در اغلب پروژه‌های اقلیم شناسی به ویژه در سد سازی، کشاورزی و غیره استفاده می‌شود. این روش بر اساس رابطه 1 بیان می‌گردد (2).

1- Statistical Downscaling model
2- Support Vector machine
3- Artificial Neural Networks

جدول 1- طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن

نوع اقلیم	فراخشک	خشک	نیمه خشک	حد واسط (مدیترانه‌ای)	نیمه مرطوب	مرطوب	خیلی مرطوب تیپ الف	خیلی مرطوب تیپ ب
مقدار I	0-5	5-10	10-20	20-24	24-28	28-35	35-55	>55

جدول2- خصوصیات جغرافیایی، محاسبه ضریب خشکی و ناحیه‌بندی ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان و بم با استفاده از روش طبقه بندی اقلیمی دومارتن

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	بارش (میلی متر)	دما (درجه سانتیگراد)	شاخص خشکی	نوع اقلیم
1	کرمان	56˚58'	30˚15'	1753/8	149/7	15/6	5/84	خشک
2	بم	58˚21'	26˚9'	1066/9	60/80	23/1	1/83	فراخشک

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (1)$$

که در آن P، متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)، T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) و I ضریب خشکی دومارتن می‌باشد. با توجه به اینکه برای محاسبه ضریب پارامتر خشکی در این فرمول، تنها به دو عامل متوسط بارش سالانه و دمای سالانه نیاز است و همچنین توانایی این روش در نشان دادن اقلیم‌های متنوع‌تر روش دومارتن کاربرد بیشتری در ایران دارد (11)، در روش دومارتن هشت نوع اقلیم مشخص گردیده که با توجه به مقدار I از جدول شماره 1 تعیین می‌شود (2). مشخصات جغرافیایی و نتایج حاصل از طبقه بندی اقلیمی صورت گرفته برای ایستگاه‌های کرمان و بم در جدول شماره 2 آورده شده است، که با نتایج خام چین مقدم و رضائی پژند (2)، همخوانی دارد. دوره آماری برای هر دو ایستگاه از سال 1971 تا 2001 میلادی بوده است.

روش تحقیق

مدل ریز مقیاس نمایی تابع انتقالی (SDSM)، برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حال حاضر و آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم بکار می‌رود. داده‌های آن به صورت سری‌های زمانی روزانه برای یک سری از متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی، حداقل و حداکثر دما و سایر پارامترهای جوی می‌باشد. در این پژوهش، از داده‌های مشاهداتی NCEP، جهت تدوین مدل‌های ماهانه و از خروجی‌های مدل HadCM3 جهت پیش‌بینی مقدار متغیر با استفاده از نرم‌افزار SDSM، استفاده شده است. در این مدل جهت فرآیند ریز مقیاس نمودن برای هر ماه از سال، یک رگرسیون خطی چند متغیره میان تعداد محدودی از متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس (متغیرهای مستقل) و پیش‌بینی شونده در مقیاس محلی، همچون بارش و دما توسعه می‌یابد (5). پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس مناسب با استفاده از تحلیل‌های همبستگی، همبستگی جزئی و همچنین به توجه با حساسیت فیزیکی میان پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده‌ها، در محدوده حوزه مطالعاتی انتخاب می‌شوند. در این مدل برای هر ماه از سال یک مدل ماهانه برای داده‌های بارش روزانه ساخته می‌شود که در آن بارش به صورت یک فرآیند شرطی مدل می‌شود. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، میزان بارندگی روزانه ایستگاه‌های کرمان و بم، داده‌های NCEP[1] و خروجی‌های مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 می‌باشد. داده‌های NCEP، شامل 26 متغیر جوی است (جدول 3) و در روش ریز مقیاس نمایی رگرسیونی به عنوان متغیر مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مرحله بعد از میان متغیرهای ذکر شده، متغیرهایی که در تدوین مدل‌های ماهانه بکار می‌روند، انتخاب می‌شوند. این متغیرها باید از نظر آماری همبستگی بالایی با متغیر وابسته داشته باشند. مدل واسنجی و صحت‌سنجی می‌شود، سپس با استفاده از داده‌های مدل HadCM3 میزان بارندگی برای سه دوره‌ی سی ساله (2039-2010)، (2069-2040) و (2099-2070) میلادی پیش‌بینی و با دوره‌ی پایه مقایسه می‌گردد. مدل به طور خلاصه شامل 7 مرحله می‌باشد. 1- کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها 2- انتخاب متغیرهای مستقل مناسب 3- واسنجی مدل 4- تولید داده‌های هواشناسی زمان حاضر با استفاده از متغیرهای مستقل مشاهده‌ای 5- آنالیز آماری داده‌های مشاهده شده 6- نمایش هندسی خروجی مدل 7- تولید سناریوهای آینده با استفاده از متغیرهای مستقل (20).

به منظور ارزیابی کارایی و دقت روش از معیارهای ارزیابی مجذور میانگین مربعات خطا[2] (معادله 2)، میانگین خطای مطلق[3] (معادله 3)، ضریب تبیین (معادله 4) و ضریب ناش-ساتکلیف (NS)[4] (معادله 5) استفاده شد.

1- National Centers for Environmental Prediction
2- RMSE
3- MAE
4- Nash-Sutcliffe

جدول 3- فهرست متغیرهای NCEP

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
1	فشار سطح صفر	14	سرعت مداری سطحی
2	قدرت جریان هوای سطحی	15	حالت گردابی سطحی
3	سرعت نصف النهاری سطحی	16	واگرایی سطحی
4	جهت باد سطحی در ارتفاع 500 هکتوپاسکال	17	سرعت مداری در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
5	قدرت جریان هوا در ارتفاع 500 هکتوپاسکال	18	حالت گردابی در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
6	سرعت نصف النهاری در ارتفاع 500 هکتوپاسکال	19	جهت باد در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
7	ژئوپتانسیل در ارتفاع 500 هکتوپاسکال	20	واگرایی در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
8	قدرت جریان هوا در ارتفاع 850 هکتوپاسکال	21	سرعت مداری در ارتفاع 850 هکتوپاسکال
9	سرعت نصف النهاری در ارتفاع850 هکتوپاسکال	22	حالت گردابی در ارتفاع 850 هکتوپاسکال
10	ژئوپتانسیل در ارتفاع 850 هکتوپاسکال	23	جهت باد در ارتفاع 850 هکتوپاسکال
11	واگرایی در ارتفاع 850 هکتوپاسکال	24	رطوبت نسبی در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
12	رطوبت نسبی در ارتفاع 850 هکتوپاسکال	25	رطوبت نسبی سطحی
13	رطوبت ویژه سطحی	26	میانگین دما در ارتفاع 2 متری

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{k}\left(X_k - Y_k\right)^2}}{n} \quad (2)$$

$$MAE = \sum_{k=1}^{k}\left|\frac{X_k - Y_k}{k}\right| \quad (3)$$

مقدار ضریب تبیین از صفر تا یک تغییر می‌کند و به صورت رابطه 4 ارائه می‌شود:

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^{k}\left(X_k Y_k\right)}{\sum_{k=1}^{k}\left((X_k)^2 \sum (Y_k)^2\right)} \quad (4)$$

در روابط فوق X_k ، مقادیر مشاهده شده، Y_k، مقادیر پیش بینی شده و K، تعداد داده‌ها می‌باشد.

$$NS = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(p_i - o_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(o_i - \bar{o}_i\right)^2}\right) \quad (5)$$

در رابطه فوق o و p به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده، $\bar{o}$، میانگین مقادیر مشاهده شده و n، تعداد داده‌ها می‌باشد. مقادیر NS بین صفر تا یک متغیر است چنانچه مقدار NS معادل یک گردد برازش کاملی را نشان می‌دهد که بیانگر تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده است. اگر NS بزرگتر از 0/75 باشد نتایج شبیه سازی عالی توصیف می‌شوند، اما زمانی که مقادیر بین 0/36 تا 0/75 است نتایج مدل رضایت‌بخش به شمار می‌رود.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر بعد از انجام واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های NCEP، متغیر بارش ماهانه در دو دوره واسنجی و صحت سنجی برای دو شهر کرمان و بم از طریق مدل SDSM و داده‌های شبیه‌سازی شده محاسبه شده و با داده‌های مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفته شده است (شکل‌های 1و2). از میان متغیرهای NCEP، رطوبت نسبی در ارتفاع 850 هکتوپاسکال و رطوبت نسبی سطحی بالاترین همبستگی را با متغیرهای وابسته دارا بودند.

میزان بارندگی دوره پایه برای ایستگاه‌های کرمان و بم پیش‌بینی شد. نتایج در شکل شماره 3و4، ارائه شده است.

با بررسی مقادیر جدول 4، می‌توان دریافت که MAE و RMSE ایستگاه سینوپتیک کرمان نسبت به ایستگاه سینوپتیک شهرستان بم مقادیر کمتری را به خود اختصاص می‌دهد.

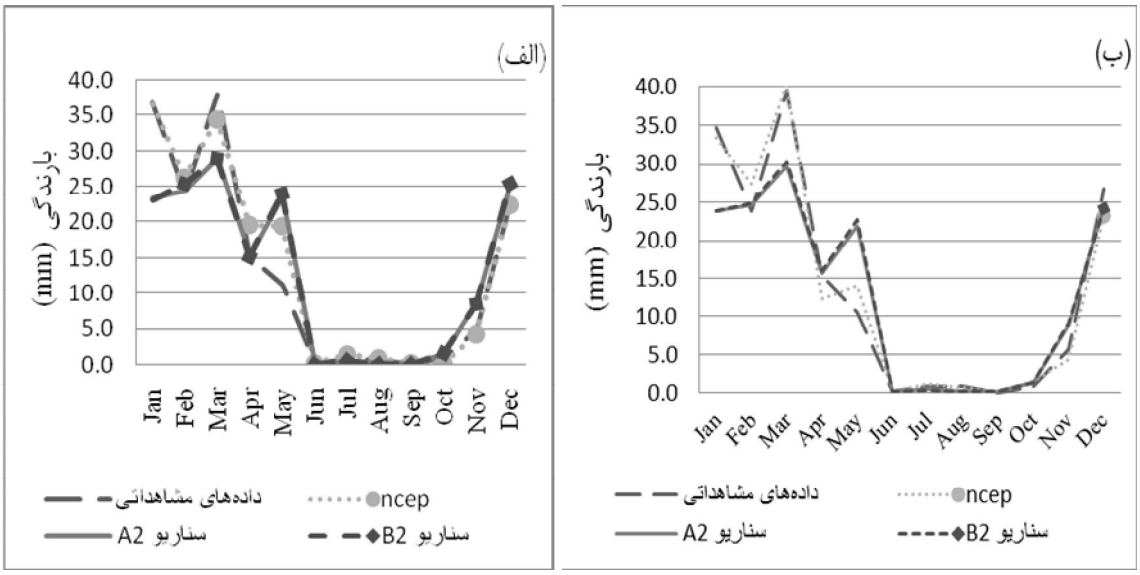
لذا می‌توان دریافت که مدل‌های تدوین شده با استفاده از دو متغیر بزرگ مقیاس دربرآورد میزان بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک کرمان کارایی بیشتری نسبت به ایستگاه سینوپتیک بم دارند و این موضوع بیانگر کارایی بیشتر مدل در منطقه خشک نسبت به منطقه فراخشک می‌باشد.

جدول4- محاسبه معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل (دوره آماری 2001-1971 میلادی)

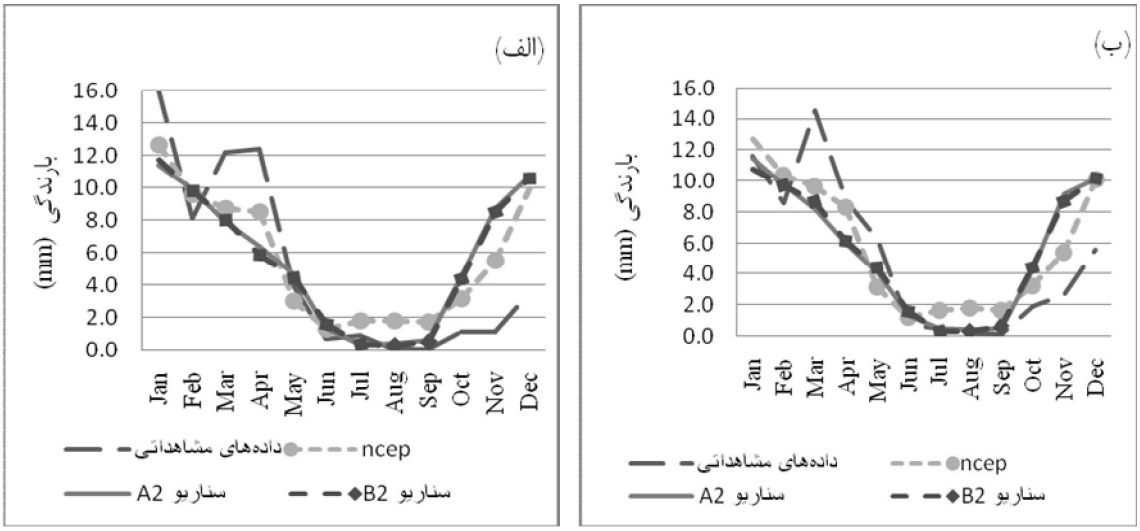
ایستگاه	SDSM			
	MAE	RMSE	R^2	NS
کرمان	1/75	2/56	0/994	0/95
بم	2/43	2/80	0/91	0/68

بارش ماهانه برآوردی شهر کرمان در دوره پایه و آینده در شکل شماره 5 نشان داده شده است. به طور متوسط در سناریو A2، در دوره‌های زمانی 2039-2010، 2069-2040 و 2099-2070 میلادی

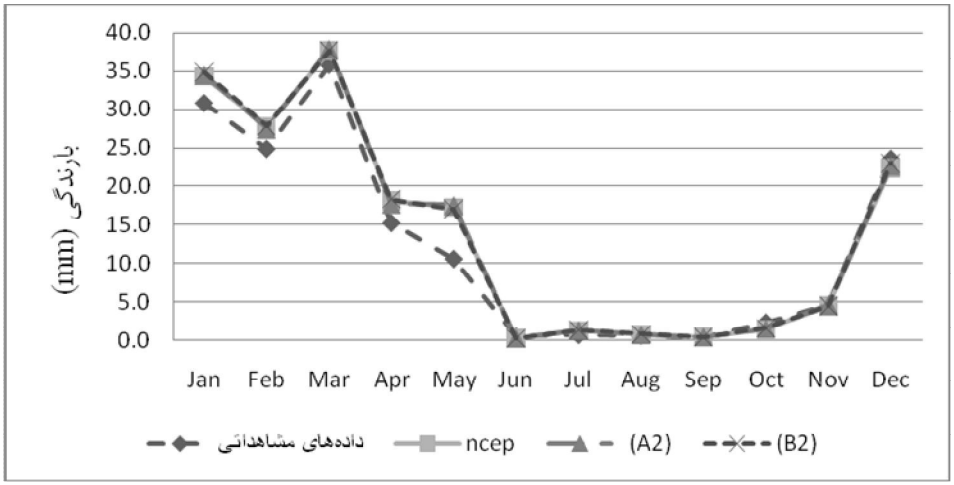
بـه ترتیـب حـدود 1/5، 0/1 و 1/3 میلـی‌متـر و در سـناریو B2 در دوره‌های زمانی مذکور به ترتیـب حـدود 0/6، 1/1 و 0/3 میلـی‌متـر نسبت به دوره پایه کاهش در میزان بارش خواهیم داشـت. تغییـرات بارندگی شهر کرمان در جدول شماره 5 ارائه شده است. آنالیز تغییرات بارش نشان می‌دهد میزان بارش در ماههای آوریـل، مـی، نـوامبر و دسامبر دارای سیر افزایشی، در سپتامبر بدون تغییر و بقیـه ماههـای سال سیر نزولی خواهد داشت.



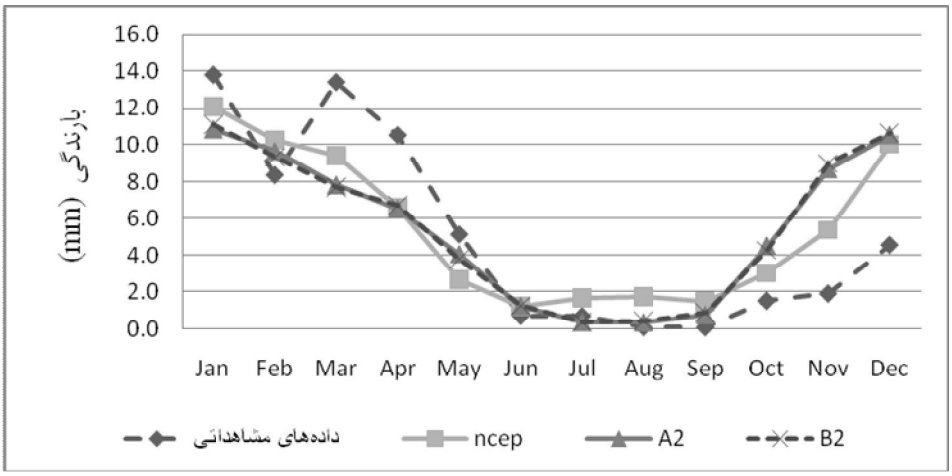
شکل1- مقایسه بارش ماهانه مشاهده‌ای و شبیه سازی شده توسط مدل در دو دوره واسنجی (الف) و صحت سنجی (ب) ایستگاه کرمان



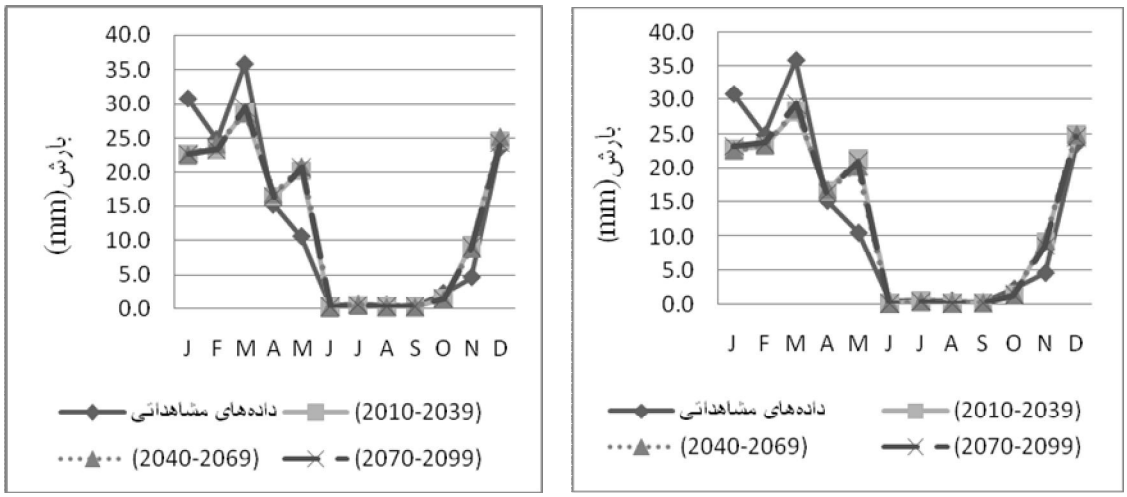
شکل 2- مقایسه بارش ماهانه مشاهده‌ای و شبیه سازی شده توسط مدل در دو دوره واسنجی (الف) و صحت سنجی (ب) ایستگاه بم



شکل3- مقایسه بارش ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل دوره پایه ایستگاه کرمان



شکل4- مقایسه بارش ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل دوره پایه ایستگاه بم



شکل 5- مقایسه میزان بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده دوره‌های آتی شهرکرمان توسط سناریو A2 (الف) و B2 (ب)

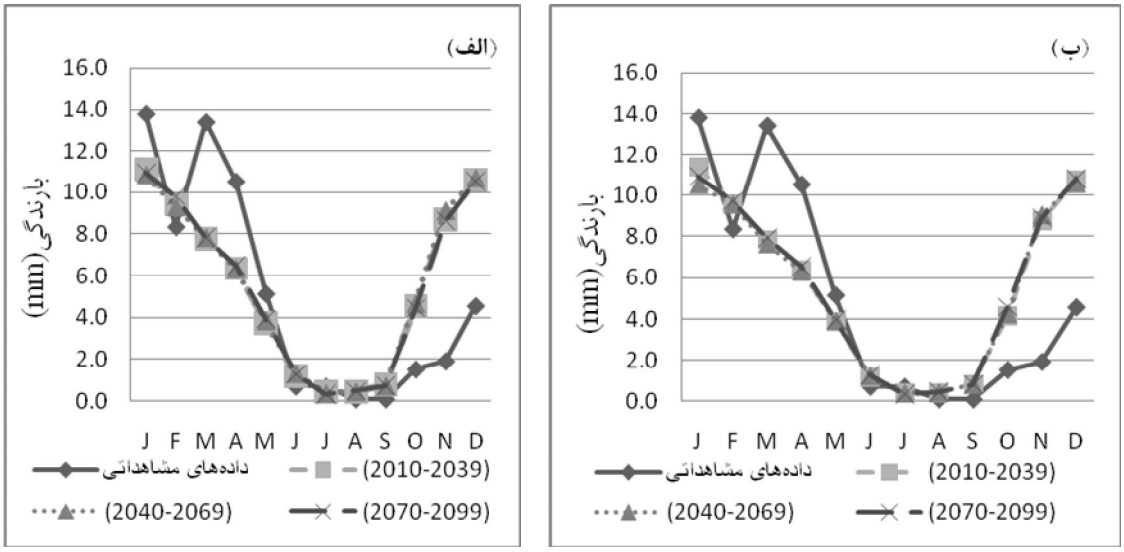
جدول 5- تغییرات بارندگی شهر کرمان در دوره آینده (پیش‌بینی شده توسط سناریو A2 و B2)

دوره پایه(1971-2001)		2010-2039		2040-2069		2070-2099	
ماه	بارندگی(mm)	A2	B2	A2	B2	A2	B2
ژانویه	30/8	22/7	22/8	22/5	22/6	22/7	23/2
فوریه	24/8	23/4	23/2	24/1	23/4	23/3	23/7
مارس	35/8	28/9	28/3	28/6	28/6	29/5	29/4
آوریل	15/2	16/4	16/6	16/8	16/8	16/4	16/3
می	10/6	20/3	21/5	20/9	20/2	20/7	21/0
ژوئن	0/5	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2
ژوئیه	0/7	0/5	0/5	0/5	0/4	0/5	0/5
اوت	0/6	0/3	0/3	0/2	0/3	0/2	0/2
سپتامبر	0/3	0/2	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
اکتبر	2/3	1/5	1/4	1/4	1/5	1/5	1/5
نوامبر	4/3	9/2	9/3	8/9	9/4	9	8/6
دسامبر	23/6	24/7	24/9	25/2	24/9	24/2	24/6
سالانه	149/7	148/2	149/2	149/6	148/6	148/4	149/4

میزان بارش ماهانه برآورد شده شهر بم در دوره پایه و آینده در شکل شماره 6 نشان داده شده است. در مقیاس سالانه، میزان بارش سالانه در دوره‌های زمانی 2039-2010، 2069-2040 و 2099-2070 میلادی به ترتیب حدود 4/15، 4/57 و 4/56 میلی‌متر در سناریو A2 و در سناریو B2 حدود 4/81، 3/79 و 5/46 میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهیم داشت. آنالیز روند تغییرات بارش نشان می‌دهد میزان بارندگی در ماههای فوریه، ژوئن، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر سیر افزایشی و بقیه ماههای سال سیر نزولی خواهد داشت، نتایج در جدول شماره 6، ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

روش‌های مختلفی جهت ریز مقیاس نمودن خروجی مدل‌های گردش عمومی جو وجود دارد، که هرکدام از منطق خاصی پیروی می‌کند. از این رو می‌توان انتظار داشت که استفاده از روش‌های مختلف، نتایج متفاوتی را به دنبال داشته باشد.



شکل 6- مقایسه میزان بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده دوره‌های آتی شهر بم توسط سناریو A2 (الف) و B2 (ب)

جدول 6- تغییرات بارندگی شهر بم در دوره آینده (پیش‌بینی شده توسط A2 و B2)

دوره پایه(1971-2001)		2010-2039		2040-2069		2070-2099	
ماه	بارندگی(mm)	A2	B2	A2	B2	A2	B2
ژانویه	13/8	11/1	11/4	10/8	10/5	10/9	11/0
فوریه	8/4	9/4	9/6	9/3	9/5	9/8	9/7
مارس	13/4	7/8	7/9	7/8	7/6	7/8	7/9
آوریل	10/5	6/3	6/3	6/3	6/3	6/5	6/6
می	5/1	3/7	3/9	3/8	3/9	3/9	4/0
ژوئن	0/7	1/2	1/2	1/3	1/2	1/3	1/3
ژوئیه	0/7	0/4	0/4	0/4	0/4	0/3	0/3
اوت	0/1	0/4	0/4	0/4	0/4	0/5	0/4
سپتامبر	0/1	0/8	0/9	0/7	0/8	0/8	0/8
اکتبر	1/5	4/5	4/1	4/7	4/3	4/4	4/6
نوامبر	1/9	8/7	8/8	9/1	9	8/6	8/9
دسامبر	4/6	10/6	10/7	10/7	10/6	10/5	10/8
سالانه	60/8	65	65/6	65/4	64/6	65/4	66/3

که یکی از مهمترین دلایل آن عدم قطعیت روش‌های مدنظر است زیرا در مطالعات تغییر اقلیم، منابع عدم قطعیت مختلفی، بر نتایج نهائی تأثیرگذار است که این منابع عدم قطعیت عبارتند از: عدم قطعیت مربوط به سناریوهای تغییر اقلیم، عدم قطعیت مربوط به مدل‌های GCM، عدم قطعیت روش‌های ریز مقیاس نمودن و عدم قطعیت مدل‌های شبیه‌سازی. نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل رگرسیون خطی چند متغیره نشان داد که توانایی این مدل در شبیه‌سازی بارش ایستگاه‌های کرمان و بم نسبتاً قابل قبول می‌باشد و با داده‌های مشاهداتی نسبتاً مطابقت دارد، تخمین‌های مدل رگرسیونی خطی SDSM، در ایستگاه کرمان در مقایسه با تخمین‌های ایستگاه بم از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی پژوهش حاضر بیانگر کاهش در میزان بارش کرمان و افزایش در میزان بارش بم تا سال 2099 می‌باشد. میزان بارندگی دوره‌های آتی کرمان، در مقایسه با شرایط فعلی از سیر کاهشی برخوردار است که در توافق با نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط سرافروزه و همکاران در تبریز (7)، مساح بوانی و مرید در اصفهان (13)، ژانگ و همکاران (26) در آمریکا و میزان بارش بم از روند افزایشی برخوردار بوده که در توافق با نتایج مهدی‌زاده و همکاران (15)، در گلستان مساح و هراتیان (14)، در همدان دیبیک و کولیبالی (19) در کانادا می‌باشد. تغییرات در میزان بارش، موجود ایجاد تغییراتی مهمی در کیفیت و کمیت منابع آب خواهد شد، که دقت در برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از منابع آب می‌طلبد. با توجه به روند نزولی میانگین بارش در کرمان پیشنهاد می‌شود تدابیری در جهت اصلاح نظام آبیاری، کاهش تبخیر و استفاده مجدد از فاضلاب اتخاذ گردد. برنامه‌های آینده باید به گونه‌ای باشند که تغییرات پیش‌رو اثرات زیان‌بار کمتری را بر منابع آبی این بخش از کشور وارد سازد.

منابع

1- پورمحمدی س.، و رحیمیان م.ح. 1389. مقایسه اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی سواحل شمالی و جنوبی کشور. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، 18-17 آذرماه 1389، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری. 9 ص.

2- خام چین مقدم ف.، و رضائی پژند ح. 1388. نقد روش اقلیم بندی دومارتن برای بارش حداکثر روزانه در ایران به کمک روش گشتاورهای خطی. مجله فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد. 2 (2):103-93.

3- خسروی م.، و شکیبا ه. 1389. پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور مدیریت سیل: مورد منطقه ایرانشهر. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین المللی جغرافیادانان جهان اسلام، 27-25 فروردین ماه، دانشگاه سیستان و بلوچستان. 21 ص.

4- دهقانی پور ا.ح.، حسن زاده م.ج.، عطاری ج.، و عراقی نژاد ش. 1390. ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریز مقیاس نمایی بارش، دما و تبخیر، مطالعه موردی: تبریز. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، 20-18بهمن ماه، دانشگاه شهید باهنر کرمان. 9 ص.

5- رجبی ا. 1390. آنالیز عدم قطعیت تغییر اقلیم توسط مدل SDSM در کرمانشاه. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، 13 و 14 اردیبهشت 1390، دانشگاه صنعتی امیر کبیر. 12 ص.

6- سادات آشفته پ. و مساح بوانی ع.ر. 1389. تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر، مطالعه موردی: حوضه آیدوغموش، استان آذربایجان‌شرقی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع‌طبیعی، علوم آب و خاک. 14 (53):39-25.
7- سرافروزه ف.، جلالی م.، جلالی ط. و جمالی ا. 1391. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر مصرف آب محصول گندم در تبریز. فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. 12(37): 96-81.
8- عباسی ف.، ملبوسیان ش.، بابائیان ا. و اثمری م. 1389. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره 2039-2010 میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO_G. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 24 (2):233-218.
9- عباسی ف. و اثمری م. 1390. پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با الگوی MAGICC-SCENGEN ، نشریه آب و خاک. 25 (1):83-70.
10- عزیزی ق.، شمسی پور ع.ا. و یار احمدی د. 1387. بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چندمتغیره. مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. 66: 35-19.
11- علیزاده ا. 1381. اصول هیدرولوژی کاربردی. ویرایش چهارم. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد.
12- مدرسی ف.، عراقی نژاد ش.، ابراهیمی ک. و خلقی م. 1389. بررسی منطقه‌ای تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری، مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود، قره‌سو. نشریه آب و خاک. 24 (3):489-476.
13- مساح بوانی ع. و مرید س. 1384. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 9(4): 17-27.
14- مساح بوانی ع. و هراتیان عرب. 1390. بررسی روند تغییر اقلیم در دوره زمانی 2069-2040 میلادی با استفاده از ریزگردانی اماری داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 در شهر همدان. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. 13 و 14 اردیبهشت ماه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر. 12 ص.
15- مهدی زاده ص.، مفتاح هلقی م.، سیدقاسمی س. و مساعدی ا. 1390. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه سد گلستان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 18 (3):132-117.
16- مهسافر ح.، مکنون ر. و ثقفیان ب. 1390. اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه، مجله تحقیقات منابع آب ایران. 7 (1):58-47.
17- Anderson H.E., Kronvang B., Larsen S.E., Hoffmann C., Jensen T.S. and Rasmussen E.K. 2006. Climate impacts on hydrology and nutrients in a Danish Lowland river basin, Science of the Total Environment, 365: 223-237.
18- Chen H., Xuo Y. and Guo S. 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff, Journal of Hydrology,434: 36-45.
19- Dibike Y.B. and Coulibaly P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models, Journal of Hydrology, 307: 145-163.
20- Gordon C., Cooper C., Senior C.A., Banks H., Gregory J.M., Johns T.C., Mitchell J.F.B. and Wood R.A. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, Climate Dynamics, 16: 147-168.
21- Graham P., Hagemann S., Juan S. and Beniston M. 2007. On interpreting hydrological change from regional climate models. Journal of climate change, 81: 97-122.
22- Harpham C. and Wilby R.l. 2005. Multi-site downscaling of heavy daily precipitation occurrence and amounts. Journal of Hydrology, 312: 235-255.
23- Khan M.S., Coulibaly P. and Dibike Y.B. 2006. Uncertainty Analysis of Statistical Downscaling Methods, Journal of Hydrology, 319: 357-382.
24- Lio L., Lio Z.H. Ren X., Fischer T. and Xu Y. 2011. Hydrological impacts of climate change in the Yellow River Basin for the 21st century using hydrological model and statistical downscaling model, Quaternary International, 244: 211-220.
25- Wilby R.L. and Dawson C.W. 2007. Using SDSM Version 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. user manual, 94p.
26- Zhang X., Liu W. Li Z., and Chen J. 2005. Trend and uncertainty analysis of simulated climate change impacts with multiple GCMs and emission scenarios with multiple GCMs and emission scenarios method, Climate research, 28: 109-122.
27- Zhao Y., Camberlin P. and Richard Y. 2005. Validation of a coupled GCM and projection of change South Africa South Africa using a statistical downscaling method, Climate research, 28: 109-122.

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 4, Sept.-Oct. 2014, p. 836-845

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 28، شماره 4، مهر – آبان 1393، ص. 845-836

Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Precipitation in two Arid and Hyper arid Regions

M. Rezaei[1]*- M. Nohtani[2]- A. Moghaddamnia[3]- A. Abkar[4]- M. Rezaei[5]

Received: 03-07-2013
Accepted: 22-07-2014

Abstract

One of the most important problems in the management and planning of water resources is to forecast long-term precipitation in arid region and hyper arid regions. In this study, statistical downscaling model (SDSM) is used for study of climate change effects on precipitation. The data used as input to the Model are daily precipitation of Kerman and Bam synoptic stations, NCEP (National Centers for Environmental Prediction) data and the A2 and B2 emission scenarios HadCM3 for the reference period (1971-2001). Using HadCM3 A2, B2 data the precipitation for three period (2010-2039), (2040-2069) and (2070-2099) are predicted and compared with the reference period. We used the first 15 years data (1971-1985) for the calibration and the second 15 years data (1986-2001) for model validation. After the examination function Indexes results from SDSM model shown that this model has better accuracy and a high ability to predict precipitation in arid region than hyper arid region. Results indicated that until 2099, amount of annual precipitation under A2 and B2 emission scenario will be decreased by 1.3 and 0.3 mm in Kerman synoptic station and will be increased by 4.56 and 5.46 mm in bam synoptic station, relative to reference period i.e.1971-2001, respectively.

Keyword: Precipitation, Bam, Climate Change, Kerman, SDSM model

1,2- M.Sc. Graduated and Assistant Professor, Department of Range and Watershed, University of Zabol
(*- Corresponding Author Email: maryamm_rezaei@yahoo.com)
3- Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4- Ph.D of Watershed Management Engineering, Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center
5- Lecture of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan