



ارزیابی کارایی مدل SDSM در بررسی پیامدهای تغییر اقلیم برای پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران

محسن حمیدیان پور^۱، غلامعباس فلاح قاله‌ری^۲، محمدرضا علیم‌رادی^۳

^۱استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

^۲دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

^۳دانشجوی دکتری تغییرات آب و هوایی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۱۰

چکیده

تغییرپذیری اقلیم و تغییر آن یکی از مهمترین چالش‌های پیش‌روی بشر در قرن بیست و یکم است. بهترین روش پیش‌نمای رفتار اقلیم استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو است. یکی از نقاط ضعف این مدل‌های شبیه‌ساز اقلیم زمین، عدم تطابق قدرت تفکیک مکانی آنها با مطالعات ریزمقیاس همچون ارزیابی‌های پیامد-محور است. در بسیاری از موارد اطلاعات حاصله می‌بایست در خدمت سیاستمداران و همچنین برنامه‌ریزان محلی و منطقه‌ای قرار گیرد تا بدین وسیله قادر به برنامه‌ریزی و اتخاذ استراتژی‌های آینده باشند. بدین منظور روش‌های ریزگردانی (Downscaling) پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های ریزگردانی که به کرات در پژوهش‌های اقلیمی ایران استفاده شده است روش ریزگردانی آماری با استفاده از نرم‌افزار SDSM می‌باشد. با هدف ارزیابی کارایی این مدل در مناطق مختلف اقلیمی ایران یک ایستگاه نماینده با دوره‌ی آماری ۴۱ ساله انتخاب گردید. برای مقایسه نتایج مدل با داده‌های مشاهده شده از معیارهای همچون میانگین خطاهای مطلق، میانگین مربعات خطا و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد برون‌داد مدل برای مناطق خشک و فراخشک (گرم و سرد) چندان نتایج مناسب نمی‌باشد و این نتایج از سمت مناطق مرطوب کشور (شمال‌غرب و شمالی) به سمت مناطق خشک و فراخشک (جنوب، جنوب‌شرق و جنوب‌غرب) از نتایج غیرمنطقی و نامناسبی برخوردار می‌باشد. بررسی این علت بیانگر تکرار و عدم روز بارشی در ایستگاه‌ها می‌باشد. در واقع ایستگاه‌های مناطق مذکور با سرریز عدم بارش (Over flow) یا عدد صفر روبرو هستند. در ریزگردانی با مدل مذکور یکنواختی و میزان بارش دو فاکتور بسیار مهم می‌باشند. به‌طوری‌که توزیع یکنواخت بارش در افزایش کارایی مدل نسبت به میزان بارش بسیار شایان اهمیت است. بنابراین هرگونه برنامه‌ریزی بلندمدت بر اساس پیش‌نمایی‌های مدل SDSM در مناطق خشک و نیمه خشک با خطا و عدم قطعیت بسیار بالایی همراه بوده و قابل اتکا و اصولی نخواهد بود.

واژه‌های کلیدی: مدل SDSM، تغییر اقلیم، پهنه‌های اقلیمی، ایران

مقدمه

تغییر اقلیم، کمبود آب و بیابان‌زایی سه چالش اساسی قرن بیست و یکم است (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۵). تغییر اقلیم امروزه به‌عنوان سر رشته و عامل بیشتر رویدادهای اخیر معرفی می‌شود. در واقع تغییر اقلیم منجر به تشدید تغییرپذیری‌های اقلیمی و افزایش بسامد رویدادهای فرین اقلیمی خواهد شد. که

این امر می‌تواند پیامدهای ناگواری در بر داشته باشد. شواهد کاملاً روشنی در خصوص تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسانی در قرن گذشته وجود دارد (سالمون، ۲۰۰۷) و تغییرات اساسی در اقلیم در طول دهه و قرن‌های پیش‌رو از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان آینده متاثر خواهد شد (موس و همکاران، ۲۰۱۰). حالات‌های اقلیم آینده منطبق با فرضیات

مرتبط با جهان آینده با استفاده از مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs) شبیه‌سازی شده‌اند. یکی از نقاط ضعف این مدل‌های شبیه‌ساز اقلیم زمین عدم تطابق قدرت تفکیک مکانی آنها با مطالعات ریز مقیاس همچون ارزیابی‌های پیامد-محور است. در بسیاری از موارد اطلاعات حاصله می‌بایست در خدمت سیاستمداران و همچنین برنامه‌ریزان محلی و منطقه‌ای قرار گیرد تا بدین وسیله قادر به برنامه‌ریزی و اتخاذ استراتژی‌های آینده باشند؛ که با قدرت تفکیک پایین GCMها در حدود ۱ درجه جغرافیایی (بهترین قدرت‌های تفکیک موجود در حل حاضر) چنین امری میسر نیست (حمیدیان‌پور، ۱۳۹۴). بنابراین یک عدم تطابق میان مقیاس مدل‌سازی و مقیاس مدل‌سازی‌های ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم وجود دارد (وانگ لو، ۲۰۱۳). به منظور استفاده از برون‌داد GCMها و بهره‌مندی از این مدل‌های در حوزه تصمیم‌گیری محلی و منطقه‌ای می‌توان از روش‌های ریزگردانی استفاده نمود. در واقع ریزگردانی پل ارتباطی میان مقیاس جهانی GCMها و مقیاس منطقه‌ای و محلی است. به طور کلی دو دسته مجزای ریزگردانی به منظور انتقال نتایج برون‌داد GCMها به سطح منطقه؛ معروف به ریزگردانی دینامیکی و آماری (تجربی) وجود دارد (حمیدیان‌پور، ۱۳۹۵؛ اسپوف، ۲۰۱۳). ریزگردانی دینامیکی به مدل‌های اقلیم منطقه‌ای (RCMها) نیز شناخته می‌شوند. این مدل‌ها در واقع می‌توان گفت همان GCMها با اجرا در یک محدوده‌ی کوچکتر و با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا می‌باشند. علی‌رغم این نقطه‌ی قوت، این مدل‌ها دارای نقاط ضعفی همچون نیاز به داشتن تخصص کافی، وجود یک مدل کالیبره شده در منطقه، گران بودن این گونه از مدل‌ها و حجم بالای داده‌های ورودی و طبیعتاً محاسبات بالا و به تبع افزایش دوره اجرا، دارد. این نقاط ضعف منجر می‌گردد بیشتر سمت و سو ارزیابی‌های پیامدهای تغییر اقلیم با استفاده از ریزگردانی آماری صورت پذیرد. در واقع

ریزگردانی آماری برعکس RCMها بسیار ارزان و از حجم محاسباتی کمتری برخوردار می‌باشد. ضمن اینکه می‌توان مدل‌های مختلفی را در اینگونه از مطالعات به کار بست و به مطالعه عدم قطعیت در مقیاس یک ایستگاه هواشناسی یا هیدرولوژیکی پرداخت. مطالعات متعددی در خصوص کارایی مدل SDSM^۱ در نقاط مختلف جهان و در مقام مقایسه آن با سایر مدل‌ها صورت گرفته است که به تعدادی از آنها اشاره می‌کنیم. پالن و همکاران ۲۰۰۵، با استفاده از شبکه عصبی و مدل SDSM داده‌های بارش و دما را در یک حوزه آبخیز در کانادا به منظور ریزمقیاس‌نمایی مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که هر دو روش از دقت بالایی برخوردار می‌باشند. هارفام^۲ و ویلیبی^۳، ۲۰۰۵، چندین مدل ریزمقیاس‌نمایی را در مناطق مرطوب انگلستان جهت شبیه‌سازی بارش مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که مدل SDSM نسبت به سایر روش‌های ریزمقیاس‌نمایی ارجحیت دارد. مالکولم^۴ و همکاران، ۲۰۰۹، شش مدل آماری و تابع انتقالی از جمله مدل SDSM و دو مدل دینامیکی را برای شبیه‌سازی بارش‌های سنگین در دو ایستگاه هواشناسی شمال غرب و جنوب شرق کشور انگلستان مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که مدل‌های آماری و تابع انتقالی از دقت بیشتری برخوردار هستند. از بین این مدل‌ها، مدل SDSM در بسیاری از موارد نتایج بهتر نسبت به بقیه ارائه مینماید. کوكیدیس^۵ و برگ^۶، (۲۰۰۹) حساسیت مدل SDSM را به داده‌های بازسازی شده (NCEP) و (ECMWF) در جنوب اونتاریو مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که نوع داده‌های بازسازی شده (Reanalyses) تأثیر بسزایی در خروجی مدل برای شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما دارد. زوافی^۷ و همکاران، ۲۰۱۱ دو مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و NHMM را برای شبیه‌سازی بارش در یک حوزه آبخیز منطقه خشک در چین مورد ارزیابی قرار دادند و

5. Koukidis

6. Berg

7. Zhaofa

1. Statistical Down Scaling Model

2. Harpham

3. Wilby

4. Malcolm

نتیجه‌گیری کردند که اختلاف معنی داری در نتایج آن‌ها مشاهده نمی‌شود. صمدی و همکاران (۱۳۸۸) به منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی، کارایی مدل SDSM را در حوزه آبخیز رودخانه کرخه مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که این مدل به منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش از توانایی مناسبی برخوردار است. دهقانی پور و همکاران ۱۳۹۰ اقدام به ارزیابی توانمندی مدل SDSM در زیر مقیاس نمایی بارش، دما و تبخیر در ایستگاه سینوپتیک تبریز نمودند. صمدی نقاب و همکاران ۱۳۹۰، با استفاده از مدل SDSM بارش و دمای پیش‌بینی‌های اقلیمی ایستگاهی در کل ایران را ریز مقیاس نمایی نمودند و نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد بین مقادیر ریز مقیاس شده بارش و دمای کمینه و بیشینه و مقادیر واقعی آن‌ها تفاوت معناداری با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. کوهی و ثنائی نژاد ۱۳۹۲، با استفاده از مدل SDSM میانگین افزایش مقدار تبخیر - تعرق در منطقه ارومیه را برای دو سناریو محاسبه نمودند نتایج نشان داد تبخیر و تعرق طی ۲۰۲۰s ، ۲۰۵۰s و ۲۰۸۰s نسبت به دوره پایه ۴/۲ ، ۷/۱ و ۱۲/۵ درصد افزایش خواهد یافت. آبکار و همکاران، ۱۳۹۲، اقدام به ارزیابی میزان کارایی مدل SDSM در ایستگاه شهر کرمان برای ریز مقیاس نمایی شاخص‌های دمایی نمودند و به منظور ارزیابی مدل از معیار میانگین خطای مطلق استفاده کردند و با استفاده از دو مدل گردش عمومی CGCM1 و Had CM3 تحت دو سناریو A2 و B2 شاخص‌های دمایی را تا سال ۲۱۰۰ شبیه‌سازی کردند. در این مدل افزایش میانگین درجه حرارت سالانه برای دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۸۹-۲۰۷۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰ - ۱۹۶۱) به ترتیب ۱/۵، ۲/۸ و ۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رضایی و همکاران، ۱۳۹۳، کارایی مدل SDSM را در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک در دو منطقه کرمان و بم بررسی نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد که برای پیش‌بینی دما، این مدل در منطقه خشک نسبت به فراخشک از کارایی بالاتری و دقت قابل قبولی برخوردار است.

محمدزاده، جباریان امیری (۱۳۹۴) کارایی مدل‌های ریز مقیاس نمایی SDSM و Lars WG را برای تهران با هم مقایسه نمودند. یعقوبی و مساح بوانی (۱۳۹۴) به مقایسه و ارزیابی منابع مختلف عدم قطعیت در مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های نیمه خشک حوضه رودخانه اعظم-هرات یزد پرداختند و با استفاده از مدل‌های SDSM و Lars WG نشان دادند که دمای منطقه در دوره آتی تا ۱/۵ درجه افزایش خواهد داشت و میزان بارش و توزیع زمانی آن تغییر می‌کند. سبجانی و همکاران (۱۳۹۴) اقدام به بررسی کارایی ریز مقیاس نمایی آماری SDSM و lars-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نمودند که شامل ایستگاههای تبریز و ارومیه می‌شد و نتایج نشان داد که الگوی SDSM در دو ایستگاه برای کمینه و بیشینه دمای روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد در حالیکه برای بارش روزانه نتایج در الگو تا حدودی برای دو ایستگاه مشابه بود. مالمیر و همکاران ۱۳۹۴ با استفاده از مدل SDSM اثرات تغییر اقلیم را بر دما و بارش و رواناب حوضه قره سو استان کرمانشاه بررسی نمودند و نتایج افزایش ۱/۶ درجه ای دما و کاهش ۱/۷۷ درصدی بارش را تحت سناریوی A2 و از طرفی کاهش ۱/۱ درصدی بارندگی و کاهش میزان رواناب را تحت سناریوی B2 نشان داد.

رضایی و همکاران ۱۳۹۵ اقدام به پیش‌بینی بلند مدت بارش با استفاده از مدل SDSM در ایستگاههای چترود و سعادت آباد سیرجان کردند و نتایج، عملکرد بالای مدل در دو ایستگاه را نشان داد و باران در هر دو ایستگاه برای سالهای آتی کاهش داشت. لکزائیان پور و همکاران، ۱۳۹۵، با استفاده از مدل SDSM اقدام به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه نالوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نمودند و میزان افزایش دما را در دوره آماری ۲۰۹۹-۲۰۰۰ به میزان ۰/۴۵ و ۰/۳۵ درجه سانتی‌گراد و افزایش بارندگی نیز به میزان ۱۰ و ۹ درصد برای دو سناریوی A2 و B2 بدست آوردند. همانطور که مورد ملاحظه قرار گرفت هیچ یک از

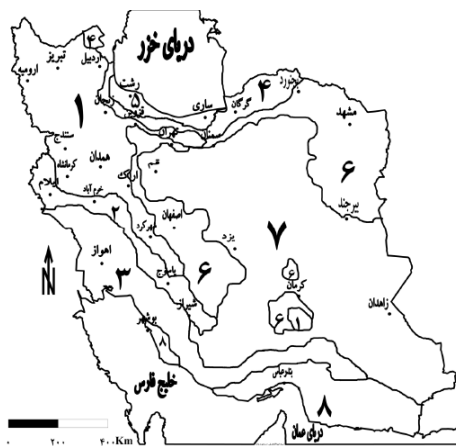
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: ایران کشوری پهناور در اثر استقرار آن در منطقه جنب حاره تحت تاثیر هم سامانه‌های برون حاره‌ای و هم سامانه‌های حاره‌ای می‌باشد. بنابراین این گونه مکانیت منجر به تعدد آب و هوای گوناگون خواهد شد به طوری که می‌توان در این سرزمین شاهد مناطق مرطوب (پهنه کوچک از شمال) و نیمه مرطوب (غرب و شمال غرب) تا بسیار خشک (جنوب شرق ایران) را باشیم (علیجانی، ۱۳۷۱). بر حسب بارش، رطوبت جوی و دما، اقلیم ایران به هشت پهنه (شکل ۱) ناحیه بندی می‌شود (مسعودیان، ۱۳۸۷). بنابراین در این مطالعه به منظور مقایسه کارایی مدل SDSM در مناطق مختلف از این پهنه بندی (ناحیه بندی) استفاده می‌گردد و منطبق بر آن از هر ناحیه ای اقلیمی یک ایستگاه که دارای طول دوره ای آماری بلند بوده و نماینده مناسب تری به لحاظ شرایط اقلیمی استفاده می‌گردد.

مطالعات به صورت ویژه بر روی این موضوع که آیا مدل SDSM مناسب برای اقلیم های متفاوت ایران است یا خیر نپرداخته است و در بیشتر مواقع به برابری میانگین های و یا در نهایت بررسی واریانس بین داده های اکتفا کرده اند. بنابراین در این نوشتار تلاش می شود ضمن بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه سازی شاخص بارش در مناطق مختلف ایران، به سوالاتی که به نظر می رسد در اقلیم شناسی بسیار ضروری است پاسخ داده شود.

اینکه کارایی مدل SDSM آیا در مناطق خشک با وجود مقادیر مثبتی صفر از کارایی مناسبی برخوردار است؟

میزان یکنواختی بارش در اجرایی مدلی همچون SDSM چقدر در کارایی مدل نقش دارد. در صورت پاسخ منفی به سوال اول و دوم چه راهکارهایی به منظور بهبود شرایط مدل سازی ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم در سطح منطقه و مهم تر در مطالعات هیدرولوژیکی در سطح یک ایستگاه یا محل خروجی یک سد می باشد؟



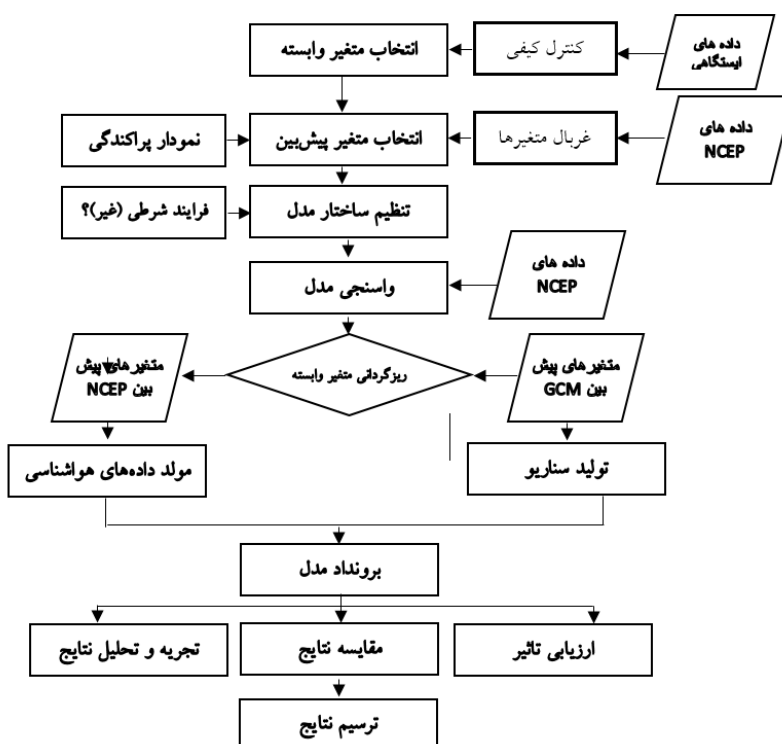
شکل ۱: نواحی اقلیمی ایران (مسعودیان، ۱۳۸۷، ۱۷۹)

رگرسیون)، مدل های مولد هوا شناسی (مانند زنجیره مارکف) و روش های همدیدی طبقه بندی می گردند. در این پژوهش از مدل ریزگردانی آماری از نوع توابع رگرسیونی مانند مدل SDSM استفاده شده است. این روش بی شترین کاربرد را در مطالعات هیدرولوژیکی در سطح جهان و ایران دارد (پالن و همکاران، ۲۰۰۵). در

روش پژوهش

همانطور که طرح مساله بیان شد یکی از روش های مورد استفاده در کاربرست مدل های گردش عمومی در ارزیابی های محلی و منطقه ای استفاده از روش های ریزگردانی آماری است. در کل این روش های ریزگردانی نیز به سه دسته اصلی توابع انتقالی (مانند توابع

نمودار ذیل مراحل کار مدل SDSM جهت تولید سناریوی اقلیمی بیان شده است.



شکل ۲: نمودار مراحل تولید سناریوی اقلیمی در مدل SDSM نسخه ۳.۱ (دایل^۱ و همکاران، ۲۰۱۳).

HADCM3 که شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می باشد، برای کالیبره کردن و ارزیابی مدل استفاده کردیم. به منظور کالیبره نمودن و واسنجی مدل SDSM، داده‌های مورد استفاده ایستگاههای مشاهده ای و داده‌های مرکز ملی پیش بینی متغیرهای محیطی کانادا NCEP به دو دوره ۲۰ و ۲۱ ساله (۱۹۶۱-۱۹۸۰ و ۱۹۸۱-۲۰۰۱) تقسیم شدند. از ۲۰ سال اول برای کالیبره کردن مدل با استفاده از روش بهینه سازی حداقل مربعات استفاده شد. بعد از کالیبره نمودن مدل به منظور حصول اطمینان از این که مدل توانایی شبیه سازی داده‌ها را خارج از محدوده زمانی کالیبراسیون دارد، نیاز است مدل ارزیابی شود. بدین منظور با استفاده از مدل SDSM کالیبره شده، شاخص بارش برای دوره ۲۰ ساله (۱۹۶۱-۱۹۸۰) شبیه سازی شدند. سپس با مقایسه داده‌های مشاهده ای و داده‌های شبیه سازی شده، کارایی مدل برای ایستگاه‌های تیبهای

اساس کار مدل‌های ریزمقیاس آماری تابع انتقالی نظیر مدل SDSM بر پایه ارتباط بین متغیرهای مستقل اتمسفری (فشار سطح دریا، نیروی جریان هوا در سطح زمین و...) و متغیرهای وابسته زمینی نظیر بارش، دما و... استوار است. در این مورد انتخاب متغیرهای مستقل که ارتباط منطقی و مناسبی با متغیرهای وابسته داشته باشند، از اهمیت خاصی برخوردار است (ویلی و همکاران، ۲۰۰۷). بدین منظور مدل SDSM از ضریب تعیین R^2 ، ضریب همبستگی جزئی R_{x1x2} و نمودار پراکنش متغیر وابسته و مستقل استفاده می نماید. ضمن اینکه آزمون عدم وابستگی متغیرهای مستقل صورت می گیرد.

در این تحقیق داده‌های ۴۱ ساله ایستگاه‌های پهنه‌های مختلف آب و هوایی ایران از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ را بکار بردیم و از داده‌های NCEP مدل

مختلف آب و هوایی ایران مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با استفاده از روش‌های آماری مانند میانگین خطای مطلق^۱ (MAE)، میانگین مربعات خطا^۲ (MSE) و مجذور میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE) نتایج این مدل در مکان‌های مختلف مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت (روابط ۱، ۲ و ۳). در واقع بدین وسیله می‌توان دریافت که آیا مدل قادر به شبیه‌سازی متغیر بارش در دوره مشاهداتی هست یا خیر؟

$$\text{MAE} = 1/n \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{MSE} = 1/n \sum (f_i - y_i)^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

f_i : معادل خروجی سیستم

y_i : معادل پاسخ صحیح (قطعی)

$$\text{RMSE}(\theta^{\wedge}) = \sqrt{\text{MSE}(\theta^{\wedge})} = \sqrt{E((\theta^{\wedge} - \theta)^2)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در خطای جذر میانگین مربعات یک برآوردگر آماری $\theta^{\wedge}$ با توجه به پارامتر پیش‌بینی شده θ به عنوان مجذور مربع ریشه خطای میانگین مربعات تعریف می‌شود (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۲).

نتایج و بحث

کشور ایران با متوسط بارندگی سالانه ۲۳۰ میلی‌متر طی دوره بلند مدت ۴۷ ساله گذشته و یک سوم متوسط بارندگی جهان، جزو مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. اولین مرحله در کاربری مدل SDSM مرحله کنترل کیفی داده‌ها می‌باشد با توجه به اینکه برای اجرا کردن مدل از داده‌های مشاهداتی ۴۱ ساله ۸ ایستگاه هواشناسی استفاده شده است، در جدول ذیل میانگین بارش ۴۱ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۱) هشت شهر آبادان، بندرعباس، شیراز، رشت، گرگان، زاهدان، ارومیه و مشهد را به عنوان نماینده منتخب ۸ اقلیم مختلف ایران را که از نتایج کنترل کیفی داده‌های مشاهداتی توسط مدل SDSM بدست آمده مشاهده می‌کنید.

با توجه به شرطی بودن و نرمال نبودن داده‌های بارش نسبت به داده‌های دما، قبل از غربال‌گری متغیرها اقدام به تبدیل داده‌ها از طریق گرفتن ریشه چهارم داده‌های بارش شد (فلاح قاله‌ری، ۱۳۹۵).

پس از غربالگری متغیرها و انتخاب بهترین پیش‌بینی‌کننده‌ها، اقدام به کالیبره کردن مدل برای داده‌های هر ایستگاه بر اساس پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب انتخابی گردید بدین صورت که نیمی از داده‌ها برای تولید فایل پارامتر و نیم دیگر داده‌ها برای مقایسه نتایج داده‌های تولیدی و مشاهده شده استفاده گردید. در بین ۸ ایستگاه انتخابی، ایستگاه آبادان از ادامه محاسبات حذف شد. این امر به دلیل وجود تکرار بسیار بالای صفر در داده‌های بارش این ایستگاه می‌باشد. در واقع این منطقه به دلیل اینکه بارش‌های آن تحت تاثیر سامانه‌های سودانی و مدیترانه‌ای و گاه‌ها ترکیبی بین این دو سامانه در اکثر مواقع از بارش‌های شدید برخوردار است. به بیانی دیگر میزان بارش کم می‌باشد و همین میزان از بارش حتی از پراکندگی روزانه مناسبی در طول دوره بارش (دوره سرد) برخوردار نیست حذف گردید. در واقع تکرار عدد صفر در این ایستگاه‌های و همچنین ایستگاه‌های منطقه خشک و فراخشک به وفور وجود دارد و از نظر آماری در سرریز داده صفر (Overflow) قرار گرفته است. این نتیجه برای اولین بار در این مطالعه بدست آمده است. در واقع برای کسب نتیجه‌ای مناسب با کاربری مدل SDSM بایسته است که داده‌های بارش به خوبی در طول دوره آماری توزیع داشته باشند. به بیانی دیگر بارش دریافتی آن در تمامی روزهای سال به صورت یکنواخت توزیع شده باشد. به منظور تایید این موضوع از روش شاخص یکنواختی شانون (یکی از ابزارهای کارآمد در اندازه‌گیری درجه یکنواختی توزیع زمانی بارش) استفاده شد. در شاخص شانون هر قدر مقدار بزرگتر باشد نشانه یکنواختی بارش است. همانطور که ملاحظه می‌گردد ایستگاه آبادان در چهار ماه پیاپی میزان ضریب شانون صفر است و ضریب سالانه برای

3. Root-mean-square error

1. Mean Absolute Error

2. Mean-square Error

این ایستگاه ۱/۸۸ است. در حالی که در مجموع سالانه از ایستگاه‌های شیراز و بندرعباس مقدار ناچیزی بیشتر است ولی به دلیل توزیع نایک‌نواخت بارش قابلیت غربال‌گیری در مرحله دوم مدل نمی‌باشد.

جدول ۱: میانگین بارش ۴۱ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۱) هشت شهر انتخابی منتج از نرم افزار SDSM

تیپ آب و هوایی	تیپ ۱	تیپ ۲	تیپ ۳	تیپ ۴	تیپ ۵	تیپ ۶	تیپ ۷	تیپ ۸
ایستگاه	ارومیه	شیراز	آبادان	گرگان	رشت	مشهد	زاهدان	بندرعباس
نوع اقلیم (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶)	خشک، سرد و بارش‌مند	خشک، معتدل و بارش‌مند	بسیار گرم، بارش‌مند و مرطوب	معتدل، بارش‌مند و مرطوب	معتدل، پربارش و مرطوب	معتدل، کم بارش و خشک	گرم، کم بارش و خشک	بسیار گرم، کم بارش و بسیار مرطوب

جدول ۲: متوسط مجموع بارش سالانه شهرهای منتخب بر اساس رتبه بندی سازمان هواشناسی

نام ایستگاه	رتبه بارندگی در بین سایر ایستگاه‌های ایران	متوسط مجموع بارش سالانه (میلی‌متر)
رشت	۱	۱۳۵۹
گرگان	۵	۶۰۱
شیراز	۱۰	۳۴۶
ارومیه	۱۲	۳۴۱
مشهد	۲۱	۲۵۵/۲
آبادان	۲۴	۲۱۳
بندرعباس	۲۵	۱۸۲/۵
زاهدان	۳۱	۹۰/۶

منبع: سازمان هواشناسی

جدول ۳: شاخص یکنواختی ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش

ماه	شیراز	بندرعباس	مشهد	ارومیه	آبادان	زاهدان	گرگان	رشت
ژانویه	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۲۳
فوریه	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۲۱
مارس	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۲۱
آوریل	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۱۴
می	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۳
ژوئن	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۱
ژولای	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۱
آگوست	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۱۵
سپتامبر	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۲۵
اکتبر	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۲۹
نوامبر	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۲۷
دسامبر	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۵
سالانه	۱/۸۴	۱/۸۱	۲/۰۸	۲/۲۳	۱/۸۸	۱/۹۹	۲/۴۳	۲/۳۶

ایستگاه‌ها از ۲۶ متغیر مورد بررسی فقط با یک یا دو متغیر قادر به ایجاد یک همبستگی مناسب می‌باشند

جدول ۴ نتایج بهترین پیش‌بینی کننده‌ها برای پیش‌بینی شونده‌ی بارش به تفکیک هر ایستگاه در آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد از اغلب

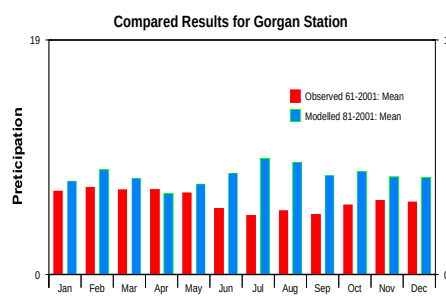
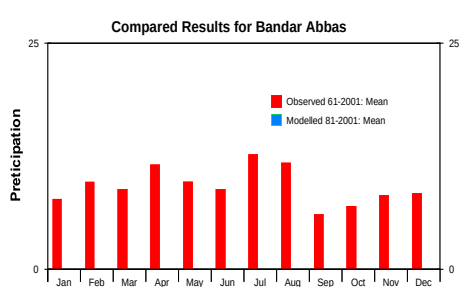
که خود این نیز امری بر عدم قطعیت مدل می‌گردد. NCEP گردید. با این وجود تفاوت چندانی در این امر در این امر با پیشنهاد توسعه دهنده نرم‌افزار، سعی در طولانی کردن داده‌های کالیبراسیون یعنی داده‌های

جدول ۴: بهترین پیش‌بینی کننده‌های منتخب برای هر ایستگاه

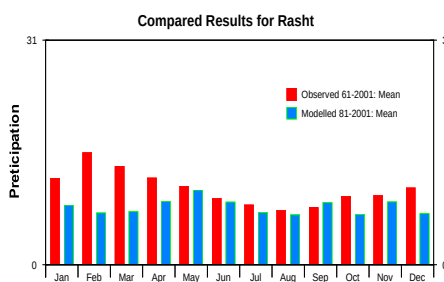
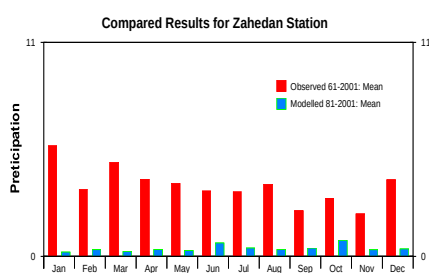
ردیف	نام ایستگاه	بهترین پیش‌بینی کننده
۱	بندر عباس	ncepshumaf.dat
۲	گرگان	ncepr850as.dat
۳	مشهد	ncepr850as.dat
۴	ارومیه	ncepp5_zeu.dat
۵	رشت	ncepp_feu.dat ncepr850eu.dat
۶	شیراز	ncepp5_vaf.dat ncepp5zhaf.dat
۷	زاهدان	ncepr850as.dat nceprhumas.dat

نتایج تولید داده از داده‌های مشاهداتی در نمودارهای شماره (۳) تا (۹) نشان داده شده است.

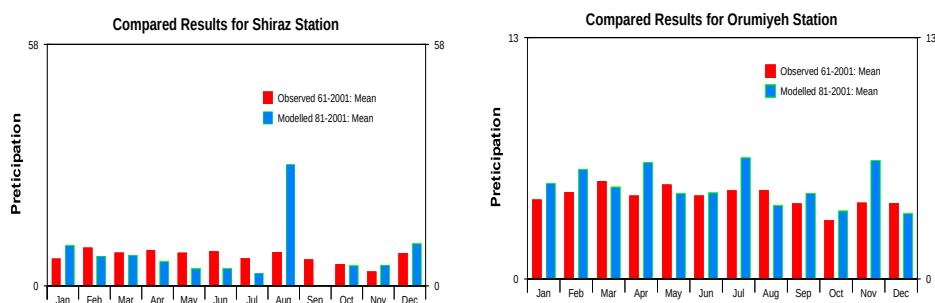
پس از بهترین پیش‌بینی کننده و تولید فایل پارامتر مربوطه، اقدام به تولید داده از داده‌های مشاهده شده برای نیمه دوم داده‌ها در هر ایستگاه نمودیم که



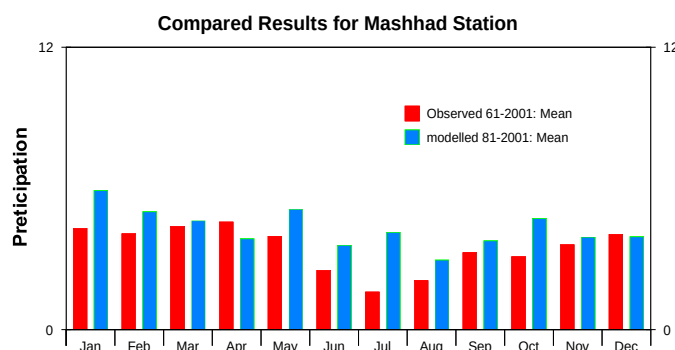
شکل ۳ و ۴: مقایسه میانگین داده‌های بارش مشاهداتی با داده‌های بارش شبیه سازی شده برای ایستگاه گرگان (تیپ ۴) در سمت راست و بندرعباس (تیپ ۸) در سمت چپ



شکل ۵ و ۶: مقایسه میانگین داده‌های بارش مشاهداتی با داده‌های بارش شبیه سازی شده برای ایستگاه رشت (تیپ ۵) در سمت راست و زاهدان (تیپ ۷) در سمت چپ



شکل ۷ و ۸: مقایسه میانگین داده‌های بارش مشاهداتی با داده‌های بارش شبیه سازی شده برای ایستگاه ارومیه (تیپ ۱) در سمت راست و شیراز (تیپ ۲) در سمت چپ



شکل ۹: مقایسه میانگین داده‌های بارش مشاهداتی با داده‌های بارش شبیه سازی شده ایستگاه مشهد به عنوان ایستگاه تیپ ۶ آب و هوایی

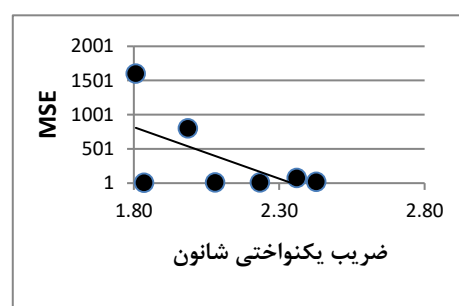
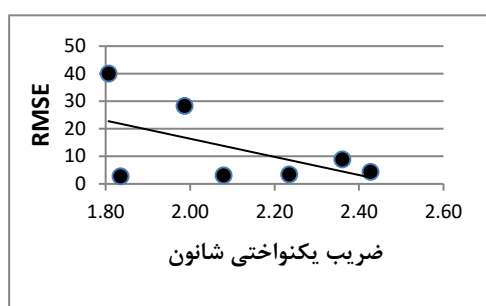
سازی شده)، میانگین مربعات خطا، مجذور مربعات خطا را با معادله رگرسیونی بین دو نوع داده مشاهداتی و شبیه سازی شده را در جدول ذیل مشاهده می‌کنید. همانطور که از جدول ۵ مشخص شد بهترین نتایج مدل SDSM برای ایستگاه گرگان مشخص گردید. این ایستگاه گرگان در مقایسه با ایستگاه رشت از میزان بارش کمتری برخوردار است ولیکن مدل SDSM برای این ایستگاه بسیار کارا تر نسبت به ایستگاه رشت است. زیرا بارش در ایستگاه گرگان نسبت به بارش کل از توزیع یکنواخت تری برخوردار است. میزان شاخص شانون در ایستگاه گرگان ۲/۴۳ که این میزان بالاترین میزان شاخص در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. هر قدر که میزان یکنواختی بارش در ایستگاه کاهش می‌یابد میزان خطا نیز افزایش می‌یابد. در واقع میزان یکنواختی بارش فاکتوری بسیار تاثیر گذار در ریزگردانی با استفاده از این مدل است.

در مرحله بعد برای آگاهی از میزان مطابقت و درستی شبیه‌سازی با داده‌های مشاهده شده از معیارهای میانگین خطاهای مطلق (MAE) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شد. بدین صورت که ابتدا نمودار پراکندگی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده را برای هر ایستگاه طی سالهای ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۱ ترسیم نموده سپس یک معادله رگرسیونی بدست می‌آوریم که از طریق این معادله دوباره برای سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۸۰ که قبلاً از آنها فایل پارامتر مدل را ساخته بودیم، داده تولید می‌نماییم اگر اختلاف بین این داده تولیدی ثانویه با داده مشاهداتی که مقادیر آن را داریم، کمتر بود لذا دقت و کارایی مدل برای ارزیابی پارامتر بارش رضایت بخش خواهد بود در غیر اینصورت باید تمهیدات دیگری را لحاظ نماییم. نتایج میانگین خطاهای مطلق (قدر مطلق داده‌های مشاهده شده منهای داده‌های شبیه

جدول ۵: نتایج خطاهای مطلق میانگین، میانگین مربعات خطا، مجذور مربعات خطا بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده

نام ایستگاه	میانگین خطای مطلق MAE	میانگین مربعات خطا MSE	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE	معادله رگرسیونی بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده
رشت	۳/۶۲	۷۷/۷۲	۸/۸۱	$1.1596 X + 0.4041$
گرگان	۲/۱۱	۱۸/۷۷	۴/۳۳	$0.7326 X + 0.0058$
شیراز	۱/۰۷	۷/۳۳	۲/۷۰	$0.6409 X + 0.0241$
ارومیه	۱/۲۲	۱۲/۰۲	۳/۴۶	$0.348 X + 0.8016$
مشهد	۱/۳۱	۹/۴۲	۳/۰۷	$0.3604 X + 0.2843$
بندر عباس	۱/۶۲	۱۶۰۲/۲	۴۰/۰۲	$-0.0002 X + 0.5596$
زاهدان	۱/۱۹	۸۰۲/۰۳	۲۸/۳۲	$5-E-06X + 0.2311$

X = متغیر مدل شده، Y = متغیر مشاهده شده



شکل ۱۰ و ۱۱: رابطه بین ضریب یکنواختی شانون و معیارهای خطا

جمع‌بندی

همانطور که در نمودارهای مقایسه میانگین‌های داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بارش مشاهده گردید هر چه ایستگاه‌های انتخابی میزان بارش بیشتری را در طول سال ثبت نموده‌اند، نمودار مقایسه‌ای بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی بسته به فصل بارش همخوانی بالنسبه بیشتری دارند به طوری که در ارومیه، رشت و گرگان بیشترین همخوانی و برای زاهدان و بندرعباس کمترین همخوانی را نشان دادند. نتایج کسب شده از میانگین خطاها، میانگین مربعات خطا و مجذور میانگین مربعات خطا نیز نشان می‌دهد که میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده برای بارش همخوانی مطلوبی با میانگین داده‌های مشاهده‌ای ندارند. چرا که هر چه مقادیر مذکور کمتر باشد، نشان دهنده این است که مدل، متغیر مورد نظر را با دقت بیشتری برآورد نموده است. اگر مقادیر میانگین خطای مطلق، میانگین مربعات خطا و مجذور میانگین مربعات خطا به عدد صفر نزدیکتر باشد، بدین معنا است که

مدل به طور کامل و دقیق متغیر مورد نظر را شبیه‌سازی نموده است. از طرفی بهترین نتایج مدل SDSM برای ایستگاه گرگان مشخص گردید. ایستگاه گرگان در مقایسه با ایستگاه رشت از میزان بارش کمتری برخوردار است و لیکن مدل SDSM برای این ایستگاه بسیار کاراتر نسبت به ایستگاه رشت است. زیرا بارش در ایستگاه گرگان نسبت به بارش کل از توزیع یکنواخت‌تری برخوردار است. میزان شاخص شانون در ایستگاه گرگان ۲/۴۳ محاسبه شد که این میزان بالاترین میزان شاخص در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. هر قدر که میزان یکنواختی بارش در ایستگاه کاهش می‌یابد میزان خطا نیز افزایش می‌یابد. در واقع میزان یکنواختی بارش فاکتوری بسیار تاثیر گذار در ریزگردانی با استفاده از این مدل است. لذا طبق نتایج کسب شده در این تحقیق، هرگونه برنامه ریزی بر اساس پیش‌بینی‌های مدل SDSM در مناطق خشک و نیمه خشک برای متغیر بارش قابل اتکا و اصولی نخواهد بود. طبق هماهنگی‌های بعمل آمده با طراح اصلی مدل؛ پروفسور ویلی؛ ایشان نیز طبق نتایج

بینی کننده ها که دائماً بروز می شوند و در داخل سایت اصلی طراحان مدل SDSM در اختیار کاربران قرار می گیرد استفاده گردد. این مجموعه مشتمل بر متغیرهای مازاد بارش هستند که می تواند محتوای رطوبت اتمسفری را منعکس میکنند و فرایندها را تا حدودی بهبود بخشند. هنگام اجرای مدل برای برخی از ایستگاهها پیشنهادات طراح مدل اعمال شد که متأسفانه در کارایی مدل برای متغیر بارش در مناطق خشک و نیمه خشک تأثیر چندانی نداشت و نتایج یکسان بود.

منابع

۱. آبکار، علی جان. حبیب نژاد، محمود. سلیمانی، کریم. نقوی، هرمز. ۱۳۹۲. بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه سازی شاخص های دمایی در مناطق خشک و نیمه خشک. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره چهاردهم، ۱۷-۱.
۲. حمیدیان پور، محسن. باعقیده، محمد. عباس نیا، محسن. ۱۳۹۵. ارزیابی تغییرات دما و بارش در جنوب شرق ایران بر اساس خروجی مدل گردش عمومی جو (GSM). پژوهش های جغرافیای تهران، دوره ۴۸، شماره ۱، ۱۲۴-۱۰۷.
۳. حمیدیان پور، محسن. سلیقه، محمد. فلاح، غلامعباس. ۱۳۹۲. کاربرد انواع روش های دورنمایی به منظور پایش و تحلیل فضایی خشک سالی مورد: استان خراسان رضوی. فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال ۱۱، شماره ۷۰، ۳۰-۵۷.
۴. رضایی، مریم. نهتانی، محمد. مقدم نیا، علیرضا. آبکار، علیجان. رضایی، معصومه. ۱۳۹۵. پیش بینی بلند مدت بارش با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی آماری. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۶ شماره ۲/۱، صفحات ۱۲۷-۱۱۵.
۵. رضایی، مریم. نهتانی، محمد. آبکار، علیجان. رضایی، معصومه. میرکازهی ریگی، مهری. ۱۳۹۳. بررسی

بدست آمده از این پژوهش تأیید نمودند که کارایی مدل SDSM برای مناطق خشک و نیمه خشک مطلوب نخواهد بود دو راهکار نیز در این خصوص توسط وی پیشنهاد گردید. اول اینکه زمان کالیبره نمودن مدل در تنظیمات نرم افزار می باید نوع مدل به جای ماهانه و فصلی بر روی مدل سالانه (ANNUAL MODEL) تنظیم شود. در این صورت داده ها به جای تقسیم شدن به زیرمدلهای فصلی و ماهانه که هیچ گونه بارندگی را ممکن است آن ماه یا فصل دارا نباشند، بطور سالانه و در مدل ساده ای کشیده می شوند. دوم اینکه از آخرین مجموعه ۳۱ تایی پیش

۶. دهقانی پور، امیرحسین. حسین زاده، محمدجواد. عطاری، جلال. عراقی نژاد، شهاب. ۱۳۹۰. ارزیابی توانمندی مدل SDSM در زیر مقیاس نمایی بارش، دما و بخیر (مطالعه موردی: کرمان و بم). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال پنجم، شماره ۱۳۱، ۱۰-۱۱۷.
۷. سبحانی، بهروز. اصلاحی، مهدی. بابائیان، ایمان. ۱۳۹۴. کارایی الگوهای ریز مقیاس نمایی آماری SDSM و larsWG در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه ی آبریز دریاچه ی ارومیه، فصلنامه پژوهش های جغرافیایی طبیعی، دوره ی ۴۷، شماره ۴، ۵۱۶-۴۹۹.
۸. صمدی نقاب، سینا. خورشید دوست، علیمحمد. حبیبی نوخندان، مجید. زابل عباسی، فاطمه. ۱۳۹۰. بکارگیری مدل، SDSM جهت ریز مقیاس نمایی داده های GCM بارش و دما مطالعه موردی، پیش بینی های اقلیمی ایستگاهی در ایران. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، سال دوم شماره پنج و ششم، ۶۸-۵۸.

۹. کوهی، منصوره. ثنایی نژاد، حسین. ۱۳۹۲. بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس نتایج حاصل از دو روش ریز مقیاس گردانی آماری برای متغیر تبخیر-تعرق مرجع در منطقه ارومیه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران شماره ۴، جلد ۷، ۵۷۴-۵۵۹
۱۰. لکزائیان پور، غلامحسین. محمدرضا پور، ام البنین. المامیر، مهسا. ۱۳۹۵. ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه فصلنامه. جغرافیا و توسعه شماره ۴۲، صفحه ۱۹۸ - ۱۸۳
۱۱. فلاح قالهری، غلامعباس. ۱۳۹۵. ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی. کتابراه، چاپ دوم
۱۲. المامیر، مهسا. محمدرضا پور، ام البنین. شریف آذری، سلمان. قندهاری، قاسم. ۱۳۹۴. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قره سو با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 و شبکه عصبی پویا. نشریه پژوهش‌های آب و خاک، جلد ۲۳ شماره ۳، ۳۲۶-۳۱۷.
۱۳. محمدزاده، ناصر. جباریان امیری، بهمن. ۱۳۹۴. بررسی مدل‌های ریز مقیاس نمایی LarsWG و SDSM در مطالعات انجام شده. کنفرانس ملی زیست‌شناسی و علوم زیست محیطی.
۱۴. مسعودیان، سید ابوالفضل. کاویانی، محمد رضا. ۱۳۸۷. اقلیم‌شناسی ایران. انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ اول.
۱۵. یعقوبی، مژگان. مساح بوانی، علیرضا. ۱۳۹۴. مقایسه و ارزیابی منابع مختلف عدم قطعیت در مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های نیمه خشک (مطالعه موردی: حوضه رودخانه اعظم-هرات یزد). فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، سال یازدهم، شماره ۳، ۱۳۰-۱۱۳
16. Coulibaly, P., and Yonas, B. 2005. Downscaling precipitation and temperature with temporal neural networks. American Meteorology society, (6): 483-496.
17. Dile Y.T., Berndtsson R., Setegn S.G. 2013. Hydrological Response to Climate Change for Gilgel Abay River, in the Lake Tana Basin - Upper Blue Nile Basin of Ethiopia. PLoS ONE 8(10): e79296. doi:10.1371/journal.pone.0079296
18. Fowler, H.J., and Wilby, R.L. 2007. Editorial: Beyond the downscaling comparison study. International Journal of climatology, (27): 1534-1545.
19. Fung, F., Lopez, A.L., and New, M. 2011. Modeling the impact of climate change on water resources. Wiley-Blackwell, N, (187):43-62.
20. Giorgi, F., and Mearns, L.O. 1991. Approaches to the simulation of regional climate change: a review. Reviews of Gheophysics, (29): 191-219.
21. Harphamc, H., and Wibly, R.L. 2005. Multi-site down scaling of heavy daily precipitation occurrence and amount. journal of hydrology, (312): 235-255
22. Hewiston, B.C., and Crane, R.G. 1996. Climate downscaling: techniques and application. Climate Research, (7): 85-95.
23. IPCC-TGICA. 2007: General guidelines on the use of scenario data for climate impact an adaptation assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66pp.
24. Kim, J.W., Chang, J.T., Baker, N.L., Wilks, D.S., and Gates, W.L. 1984. The statistical problem of climate inversion: determination of the relationship between local and large scale. Climate monthly weather review, (12): 2069-2077.
25. Koukidis, E.N., and Berg, A.A. 2009. Sensitivity of statistical downscaling model (SDSM) to reanalysis products. Atmosphere-ocean, 47(1):1-18.
26. Malcolm, R., Harpham, H., Wilby, R.L. and Goodees, C. 2006. Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. International Journal of Climatology. (9): 1397-1415
27. Prudhomme, C., Reynard, N., and Crooks, S. 2002. Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now? Hydrological Processes, (16): 1137-1150.
28. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M.

- and H.L. Miller (Eds.). 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
29. Schoof, J. 2013. Statistical Downscaling in Climatology. *Geography Compass* 7/4(2013): 249-265.
30. Semenov, M.A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*, (35): 203-212.
31. Van, T., and Van, N. 2005. Downscaling methods for evaluating the impact of climate change and variability on hydrological regime at basin scale. *Role of water sciences in Transboundary riverbasin management*. Thailand: 1-8.
32. Wilby, R.L., and Dawson, W.C. 2007. SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales: 94pp.
33. Wilby, R.L., Tomlinson, O.J., and Dawson, W.C. 2003. Multi-site simulation of precipitation by conditional resampling. *Journal of climate research*, (23): 183-194.
34. Wilby, R.L., Dawson, C.W., and Barrow, E.M. 2002. SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, (17): 147-159.
35. Wilby, R.L., and Wigley, T.M.L. 2000. Precipitation predictors for downscaling: observed and general circulation model relationships. *International Journal of Climatology*, (20): 641-661.
36. Xu, C.Y. 1999. From GCMs to river flow: a review of down scaling methods and hydrologic modeling approaches. *Progress in Physical Geography*, (23): 229-249.
37. Zhaofa, L., Xu, Z., Stephen, P., Chales, G.F., and Liu, L. 2011. Evaluation of two statistical down scaling models for daily precipitation over an arid basin in china. *Royal meteorological society*, (31): 2006-2020.
38. Zorita, E., and Storch, V.H. 1999. The analog method as a simple statistical downscaling technique: Comparison with more complicated methods. *Journal of climate*, (12): 2474-2489.
39. Christensen, J.K., Carter, T.R., Rummukainen, M., and Amanatidis, G. 2007a. Evaluating the performance and utility of regional climate models: The prudense project. *Climatic Change*, (81): 1-6.
40. <http://co-public.lboro.ac.uk/cocwd/SDSM/data.html>

