نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی
فصلنامه علمی دانشگاه گلستان
سال دوم/ شماره مسلسل پنجم/ بهار ۱۴۰۰ / صفحات: ۱۴-۱
DOI: 10.30488/CCR.2020.248188.1023

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]

[۱]استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی ، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
[۲]دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
[۳]دانشجوی 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 می دهد 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 (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). تغییر اقلیم امروزه به‌عنوان سررشته 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 فعالیت های 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

*نویسنده مسئول: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir

مرتبط با جهان آینده با اســـتفاده از مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs) شبیه‌سازی شده‌اند. یکی از نقاط ضعف این مدل‌های شـــبیه‌ســـاز اقلیم زمین عدم تطابق قدرت تفکیک مکانی آنها با مطالعات ریز مقیاس همچون ارزیابی‌های پیامد-محور اســـت. در بســـیاری 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 باشـــند؛ که با قدرت تفکیک پایین GCMها در حدود ۱ درجه جغرافیایی (بهترین قدرت‌های تفکیک موجود در حل حاضـــر) چنین امری میســـر نیســـت (حمیدیان‌پور، ۱۳۹۴). بنابراین یک عدم تطابق میان مقیاس مدل‌ســـازی و مقیاس مدل‌ســـازی‌های ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم وجود دارد (وانگ لو، ۲۰۱۳). به منظور اســـتفاده از برونداد GCMها و بهره‌مندی از این مدل‌های در حوزه تصـــمیم‌گیری 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 بـه منظور انتقـال نتـایج برونـداد GCM ها به ســـطح منطقه؛ معروف به ریزگردانی دینامیکی و آماری (تجربی) وجود دارد (حمیدیان پور، ۱۳۹۵؛ اســـچوف، ۲۰۱۳). ریزگردانی دینامیکی به مدل‌های اقلیم منطقه‌ای (RCM ها) نیز شـــناخته می‌شـــوند. این مدل‌ها در واقع می‌توان گفت همان GCMها با اجرا در یک محدوده‌ی کوچکتر و با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا می‌باشـــند. علی رغم این نقطه‌ی قوت، این مدل‌ها دارای نقاط ضـــعفی همچون نیاز به داشـــتن تخصـــص 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 اســـتفاده از ریزگردانی آماری صـــورت پذیرد. در واقع ریزگردانی آماری برعکس RCMها بســـیار ارزان و از حجم محاسباتی کمتری برخودار می‌باشد. ضمن اینکه می‌توان مدل‌های مختلفی را در اینگونه از مطالعات به کار بســـت و به مطالعه عدم قطعیت در مقیاس یک ایستگاه هواشناسی یا هیدرولوژیکی پرداخت. مطالعات متعددی در خصـــوص کارایی مدل SDSM[1] در نقاط مختلف جهان و در مقام مقایســـهٔ آن با ســـایر مدل‌ها صـــورت گرفته اســـت که به تعدادی از آنها اشـــاره می‌کنیم. پالن و همکاران ۲۰۰۵، با اســـتفاده از شـــبکهٔ عصـــبی و مدل SDSM داده‌های بارش و دما را در یک حوزهٔ آبخیز در کانادا به منظور ریزمقیاس نمایی مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که هر دو روش از دقت بالایی برخوردار می‌باشـــند.هارفام[2] و ویلبی[3]، ۲۰۰۵، چندین مدل ریزمقیاس نمایی را در مناطق مرطوب انگلســـتان جهت شـــبیه ســـازی بارش مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که مدل SDSM نســـبت به ســـایر روش‌های ریزمقیاس نمایی ارجحیت دارد. مالکولم[4] و همکاران، ۲۰۰۹، شش مدل آماری و تابع انتقالی از جمله مدل SDSM و دو مدل دینامیکی را برای شبیه سازی بارش‌های سنگین در دو ایستگاه هواشناسی شمال غرب و جنوب شرق کشور انگلستان مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گیری کردند که مدلهای آماری و تابع انتقالی از دقت بیشـــتری برخوردار هســـتند. از بین این مدل‌ها، مدل SDSM در بســـیاری از موارد نتایج بهتر نســـبت به بقیه ارائه مینماید. کوکیدیس[5] و برگ[6]، (۲۰۰۹) حساسیت مدل SDSM را به داده‌های بازســـازی شـــده (NCEP) و (ECMWF) در جنوب اونتاریو مورد برر سی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که نوع داده‌های بازســـازی شـــده (Reanalyses) تأثیر بســـزایی در خروجی مدل برای شـــبیه‌ســـازی داده‌های بارش و دما دارد. زوافی[7] و همکاران، ۲۰۱۱ دو مدل ریزمقیاس نمایی SDSM و NHMM را برای شبیه‌سازی بارش در یک حوزهٔ آبخیز منطقهٔ خشـــک در چین مورد ارز یابی قرار دادند و

1. Statistical Down Scaling Model
2. Harpham
3. Wilby
4. Malcolm
5. Koukidis
6. Berg
7. Zhaofa

نتیجه‌گیری کردند که اختلاف معنی داری در نتایج آن‌ها مشاهده نمی‌شود. صمدی و همکاران (۱۳۸۸) به منظور شبیه سازی متغیرهای اقلیمی، کارایی مدل SDSM را در حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ کرخه مورد برر سی قرار دادند و نتیجه گیری کردند که این مدل به منظور شبیه سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش از توانایی منا سبی برخوردار ا ست. 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 ا ستفاده از مدل SDSM بارش و د مای پیش بینی های 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 ثنایی 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 ارز یابی مدل از معیار میانگین خطای مطلق استفاده کردند و با استفاده از دو مدل گردش عمومی CGCMI و $Had\ CM_3$ تحت دو سناریو A2 و B2 شاخص‌های دمایی را تا سال ۲۱۰۰ شبیه سازی کردند. در این مدل افزایش میانگین درجه حرارت سالانه برای دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۸۹-۲۰۷۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰ – ۱۹۶۱) به‌ترتیب ۱/۵، ۲/۸ و ۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌با شد. ر ضایی و همکاران، ۱۳۹۳، کارایی مدل SDSM را در پیش بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک در دو منطقه کرمان و بم بررسی نمودند و نتایج آنها نشان داد که برای پیش بینی دما، این مدل در منطقه خشک نسبت به فراخشک از کارایی بالاتری و دقت قابل قبولی برخوردار است.

محمدزاده، جباریان امیری (۱۳۹۴) کارایی مدل های ریز مقیاس نمایی SDSM و Lars WG را برای تهران با هم مقایسه نمودند. یعقوبی و مساح بوانی (۱۳۹۴) به مقایسه و ارز یابی 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 داد ند که د مای منط قه در دوره آتی تا ۱/۵ در جه افزایش خواهد دا شت و میزان بارش و توزیع زمانی آن تغییر می کند. سبحانی و همکاران (۱۳۹۴) اقدام به بررسی کارایی ریز مقیاس نمایی آماری SDSM و lars-WG در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه ی آبریز دریاچه ارومیه نمودند که شامل ایستگاههای تبریز و ارومیه می شد 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 پیش بینی 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 شبیه سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نمودند ومیزان 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 A_2 و B_2 بدست آوردند. همانطور که مورد ملاحظه قرار گرفت هیچ یک از

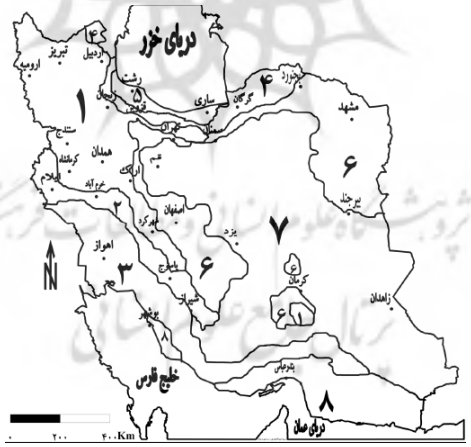
مطالعات به صورت ویژه بر روی این موضوع که آیا مدل SDSM مناسب برای اقلیم‌های متفاوت ایران است یا خیر نپرداخته است و در بیشتر مواقع به برابری میانگین‌های و یا در نهایت بررسی واریانس بین داده‌های اکتفا کرده اند. بنابراین در این نوشتار تلاش می شود ضمن بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه سازی شاخص بارش در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

اینکه کارایی مدل SDSM آیا در مناطق خشک با وجود مقادیر ثبتی صفر از کارایی مناسبی برخودار 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 مدل‌سازی ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم در سطح منطقه و مهم‌تر در مطالعات هیدورلوژیکی در سطح یک ایستگاه یا محل خروجی یک سد می‌باشد؟

مواد و روش‌ها

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

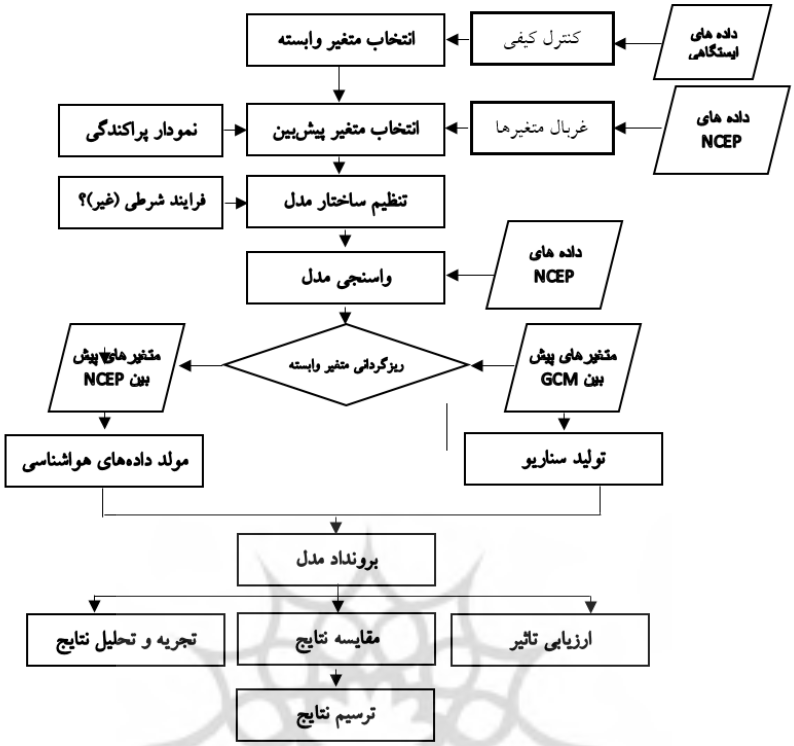


شکل ۱: نواحی اقلیمی ایران (مسعودیان،۱۳۸۷، ۱۷۹)

روش پژوهش

همانطور که طرح مساله بیان شد یکی از روش‌های مورد استفاده در کاربست مدل‌های گردش عمومی در ارزیابی‌های محلی و منطقه‌ای استفاده از روش‌های ریزگردانی آماری است. در کل این روش‌های ریزگردانی نیز به سه دسته اصلی توابع انتقالی (مانند توابع رگرسیونی)، مدل‌های مولد هوا شناسی (مانند زنجیره مارکف) و روش‌های همدیدی طبقه‌بندی می‌گردند. در این پژوهش از مدل ریزگردانی آماری از نوع توابع رگرسیونی مانند مدل SDSM استفاده شده است. این روش بیشترین کاربرد را در مطالعات هیدرولوژیکی در سطح جهان و ایران دارد (پالن و همکاران، ۲۰۰۵). در

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[1] و همکاران، ۲۰۱۳).

اساس کار مدلهای ریزمقیاس آماری تابع انتقالی نظیر مدل SDSM بر پایهٔ ارتباط بین متغیر های 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 (ویلبی 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 سالهٔ ایستگاه‌های پهنه‌های مختلف آب و هوایی ایران از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ را بکار بردیم و از داده‌های NCEP مدل HADCM3که 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 دورهٔ 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 محدودهٔ زمانی کالیبراسیون دارد، نیاز است مدل ارزیابی شود. بدین منظور با استفاده از مدل SDSM کالیبره شده، شاخص بارش برای دورهٔ ۲۰ ساله (۱۹۶۱-۱۹۸۰) شبیه سازی شدند. سپس با مقایسهٔ داده‌های مشاهده ای و داده‌های شبیه سازی شده، کارایی مدل برای ایستگاه‌های تیپهای

1 - Dile

مختلف آب و هوایی ایران مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با استفاده از روش‌های آماری مانند میانگین خطای مطلق[1] (MAE)، میانگین مربعات خطا[2] (MSE) و مجذور میانگین مربعات خطا[3] (RMSE) نتایج این مدل در مکان های 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؟

رابطه (۱) $$\mathrm{MAE} = 1/n \sum_{i=1}^{n} |fi - yi|$$

رابطه (۲) $$MSE = 1/n \sum (fi - yi)^2$$

fi: معادل خروجی سیستم

yi: معادل پاسخ صحیح (قطعی)

رابطه(۳) $$\mathrm{RMSE}(\theta\hat{}) = \sqrt{MSE(\theta\hat{})} = \sqrt{E((\theta\hat{} - \theta)^2)}$$

در خطای جذر میانگین مربعات یک برآوردگر آماری $\theta\hat{}$ با توجه به پارامتر پیش‌بینی‌شده θ به عنوان مجذور مربع ریشه خطای میانگین مربعات تعریف می‌شود (حمیدیان‌پور 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 می باشد 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 داده های دما، قبل از غربال گری متغیرها اقدام به تبدیل داده‌ها از طریق گرفتن ریشه چهارم داده‌های بارش شد (فلاح قالهری، ۱۳۹۵).

پس از غربالگری متغیر ها و انتخاب بهترین پیش بینی کننده ها، اقدام به کالیبره کردن مدل برای داده‌های هر ایستگاه بر اساس پیش بینی کننده‌های مناسب انتخابی گردید بدین صورت که نیمی از داده‌ها برای تولید فایل پارامتر و نیم دیگر داده ها 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 گاهاً ترکیبی بین این دو سامانه در اکثر مواقع از بارش‌های شدید برخوردار است. به بیانی دیگر میزان بارش کم می باشد 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 کاربست 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 هرقدر 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

1. Mean Absolute Error
2. Mean-square Error
3. Root-mean-square error

این ایستگاه ۱/۸۸ است. در حالی که در مجموع سالانه از ایستگاه‌های شیراز و بندرعباس مقدار ناچیزی بیشتر اســـت 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	نماینده تیپ۱	نماینده تیپ۲	نماینده تیپ۳	نماینده تیپ۴	نماینده تیپ۵	نماینده تیپ۶	نماینده تیپ۷	نماینده تیپ۸
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، بسیار کم بارش و خشک	بسیار گرم، کم بارش و بسیار مرطوب

جدول۲: 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
بندر عباس	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

جدول ۴ نتایج بهترین پیش بینی کننده ها برای پیش بینی شـــونده ی بارش به تفکیک هر ایســـتگاه در آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد از اغلب ایســـتگاه‌ها از ۲۶ متغیر مورد بررســـی فقط با یک یا دو متغیر قادر به ایجاد یک همبستگی مناسب می‌باشند

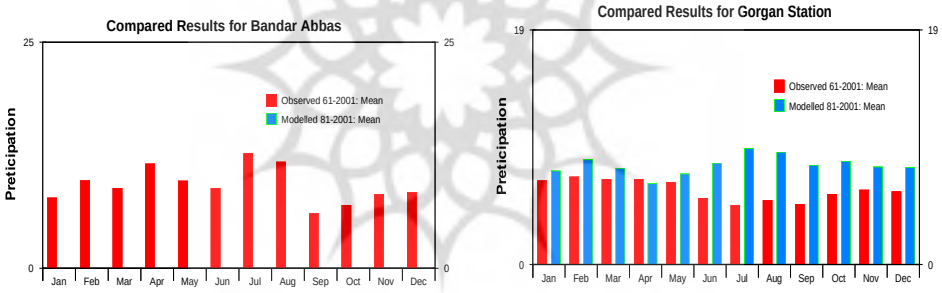
که خود این نیز امری بر عدم قطعیت مدل می‌گردد.

در این امر با پیشنهاد توسعه دهنده نرم‌افزار، سعی در طولانی کردن داده‌های کالیبراسیون یعنی داده‌های NCEP گردید. با این وجود تفاوت چندانی در این امر نیز رخ نداد.

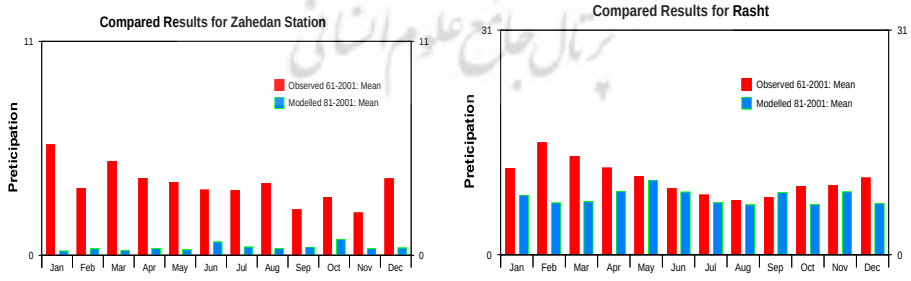
جدول ۴: بهترین پیش‌بینی کننده‌های منتخب برای هر ایستگاه

ردیف	نام ایستگاه	بهترین پیش بینی 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

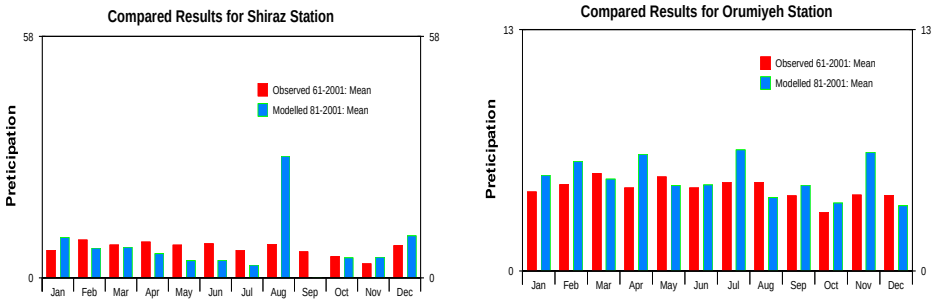
پس از بهترین پیش‌بینی کننده و تولید فایل پارامتر مربوطه، اقدام به تولید داده از داده‌های مشاهده شده برای نیمه دوم داده‌ها در هر ایستگاه نمودیم که نتایج تولید داده از داده‌های مشاهداتی در نمودارهای شماره (۳) تا (۹) نشان داده شده است.



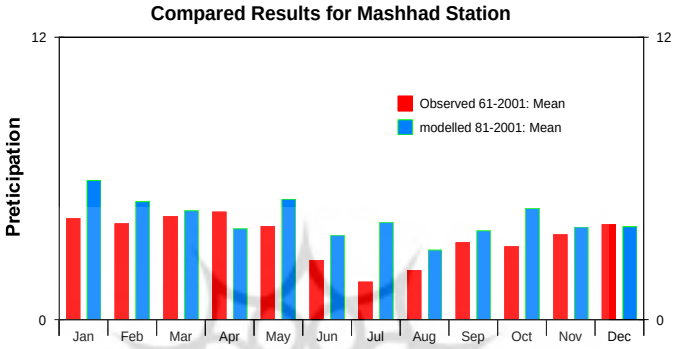
شکل ۳ و ۴: مقایسه میانگین داده‌های بارش مشاهداتی با داده‌های بارش شبیه سازی شده برای ایستگاه گرگان(تیپ ۴) در سمت راست و بندرعباس(تیپ۸) در سمت چپ



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(تیپ۷) 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 (تیپ۲) در سمت چپ



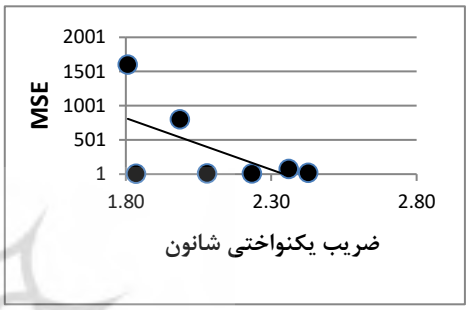
شکل ۹: مقایسه میانگین داده‌های بارش مشاهداتی با داده‌های بارش شبیه سازی شده ایستگاه مشهد به عنوان ایستگاه تیپ ۶ آب و هوایی

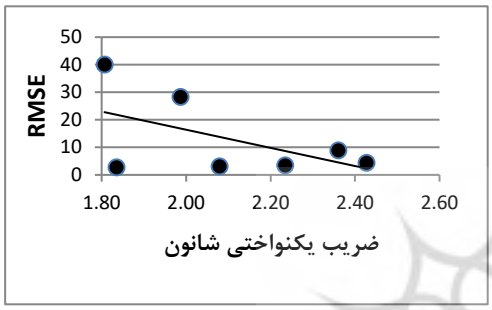
در مرحله بعد برای آگاهی از میزان مطابقت و درستی شبیه‌سازی با داده‌های مشاهده شده از معیارهای میانگین خطاهای مطلق (MAE) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شد. بدین صورت که ابتدا نمودار پراکندگی بین داده های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده را برای هر ایستگاه طی سالهای ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۱ ترسیم نموده سپس یک معادله رگرسیونی بدست می آوریم که از طریق این معادله دوباره برای سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۸۰ که قبلاً از آنها فایل پارامتر مدل را ساخته بودیم، داده تولید می نماییم 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 سازی شده)، میانگین مربعات خطا، مجذور مربعات خطا را با معادله رگرسیونی بین دو نوع داده مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را در جدول ذیل مشاهده می‌کنید. همانطور که از جدول ۵ مشخص شد بهترین نتایج مدل SDSM برای ایستگاه گرگان مشخص گردید. ایستگاه گرگان در مقایسه با ایستگاه رشت از میزان بارش کمتری برخوردار است ولیکن 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 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.

جدول۵: نتایج خطاهای مطلق میانگین، میانگین مربعات خطا، مجذور مربعات خطا بین داده مشاهداتی و شبیه سازی شده

نام ایستگاه	میانگین خطای مطلق MAE	میانگین مربعات خطا MSE	مجذور میانگین مربعات خطا RMSE	معادله رگرسیونی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی 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	۱/۲۱	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 مشاهداتی و شبیه سازی شده بارش مشاهده گردید هر چه ایستگاه‌های انتخابی میزان بارش بیشتری را در طول سال ثبت نموده اند، نمودار مقایسه ای بین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی 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 می دهد که میانگین داده‌های شبیه سازی شده برای بارش همخوانی مطلوبی با میانگین داده‌های مشاهداتی ندارند. چرا که هر چه مقادیر مذکور کمتر باشد، نشان دهندهٔ 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 شبیه سازی 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 برخودار 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 پیش بینی‌های مدل SDSM در مناطق خشک و نیمه خشک برای متغیر بارش قابل اتکا و اصولی نخواهد بود. طبق هماهنگی های بعمل آمده با طراح اصلی مدل؛ پروفسور ویلبی؛ ایشان نیز طبق نتایج

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 داده‌ها به جای تقسیم شدن به زیرمدلهای فصلی و ماهانه که هیچ گونه بارندگی را ممکن است آن ماه یا فصل دارا نبا شند، بطور سالانه و در مدل ساده ای کشیده می شوند. دوم اینکه از آخرین مجموعه ۳۱ تایی پیش بینی کننده‌ها 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.

کارایی مدل ریز مقیاس نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال پنجم، شماره ۱۰،۱۳۱-۱۱۷.

منابع

۱. آبکار، علی جان. حبیب نژاد، محمود. سلیمانی، کریم. نقوی، هرمز. ۱۳۹۲. بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه خشک. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم ، شماره چهاردهم،۱۷-۱.

۲. حمیدیان‌پور، محسن. باعقیده، محمد. عباس‌نیا، محسن. ۱۳۹۵. ارزیابی تغییرات دما و بارش در جنوب شرق ایران بر اساس خروجی مدل گردش عمومی جو (GSM). پژوهش‌های جغرافیای تهران، دوره ۴۸، شماره ۱، ۱۲۴-۱۰۷.

۳. حمیدیان‌پور، محسن. سلیقه، محمد. فلاح، غلامعباس. ۱۳۹۲. کاربرد انواع روش‌های دورن‌یابی به منظور پایش و تحلیل فضایی خشکسالی 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

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: ایستگاه سینوپتیک تبریز)، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

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 پژوهش‌های 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 داده‌های GCM بارش و دما مطالعه موردی، پیش بینی‌های اقلیمی ایستگاهی در ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی، سال دوم شماره پنج و ششم،۶۸-۵۸.

۹. کوهی ، منصوره. ثنایی نژاد، حسین. ۱۳۹۲. بررسی سناریوهای تغییر اقلیم برا ساس نتایج حا صل از دو روش ریز مقیاس گردانی آماری برای متغیر تبخیر-تعرق مرجع در منطقه ارومیه. نشـــریه آبیاری و زهکشی ایران شماره ۴، جلد ۷، ۵۷۴-۵۵۹

۱۰.لکزائیان پور، غلامحسین. محمدر ضا پور، ام البنین. مالمیر، مهســـا، ۱۳۹۵. ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه نازلوچای در حوضـــه 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.مالمیر، مهســـا. محمدرضـــا پور، ام البنین. شـــریف 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، ناصـــر. جباریان امیری، بهمن. ۱۳۹۴. بررســـی مدل‌های ریز مقیاس نمایی LarsWG و SDSM در مطالعات انجام شـــده. کنفرانس ملی زیست شناسی و علوم زیست محیطی.

۱۴.مســعودیان، ســید ابوالفضــل. کاویانی، محمد رضــا. ۱۳۸۷. اقلیم‌شـــناســـی ایران. انتشـــارات دانشـــگاه اصفهان، چاپ اول.

۱۵.یعقوبی، مژگان. مساح بوانی، علیرضا. ۱۳۹۴. مقایسه و ارزیابی منابع مختلف عدم قطعیت در مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضـــه‌های نیمه خشـــک (مطالعه موردی: حوضـــه رودخانه اعظم-هرات یزد. فصـــلنامه تحقیقات منابع آب ایران، ســـال 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. Editional: 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 simolation 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 scenarious. 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 scalling models for daily precipitation over an arid basin in chine. Royal meteorogical society, (31): 2006-2020.
38. Zorita, E., and Storch, V.H. 1999. The analog method as a simple statistical downscaling techniqe: 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی