

ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه

حسین عساکره^۱

حدیث کیانی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۱/۰۲

چکیده

افزایش گرمایش جهانی به عنوان یکی از مسائل عمده جهانی در قرن حاضر مطرح است. به همین دلیل بررسی و ارزیابی روند آن برای انسان اهمیت دارد، از این رو شبیه‌سازی این متغیر اقلیمی برای درک آینده بشر می‌تواند راهگشا باشد. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM می‌باشد. از جمله پرکاربردترین مدل‌ها جهت ریزمقیاس کردن داده‌های GCM، مدل آماری SDSM می‌باشد در تحقیق حاضر، میزان کارایی این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی میانگین دمای در ایستگاه شهر کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از داده‌های دمای روزانه ایستگاه همدید شهر کرمانشاه و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی، انتخاب متغیرهای مستقل و کالیبره کردن مدل برای میانگین دما صورت گرفت. به منظور کالیبره کردن مدل داده‌های دیدبانی شده ایستگاه هواشناسی کرمانشاه و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی NCEP به دو دوره ۱۵ ساله (۱۹۷۵-۱۹۶۱) و (۱۹۹۰-۱۹۷۶) تقسیم شدند. از ۱۵ سال اول برای کالیبره کردن مدل با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل مربعات خطا استفاده شد. این کار برای دوره ۴۰ ساله از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ نیز انجام گرفت. سپس داده‌های دمای میانگین برای دوره ده ساله ۲۰۱۰-۲۰۰۱ بر اساس ۲ دوره پایه ۱۵ ساله (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و ۴۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۶۱) تحت دو سناریوی A2 و B2، پیش‌بینی و با داده‌های مشاهداتی این دوره مقایسه شد تا میزان کارایی مدل برای پیش‌بینی ارزیابی گردد. نتایج نشان داد که با افزایش طول دوره پایه پیش‌بینی مدل بهتر خواهد شد و هرچه طول دوره کمتر باشد برآورد مدل چندان مناسب نخواهد بود.

واژه‌های کلیدی: SDSM، ایستگاه کرمانشاه، مدل‌سازی، دما.

۱- استاد گروه جغرافیای دانشگاه زنجان asakereh1@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری دانشگاه زنجان (نویسنده مسئول) h_kiani38@yahoo.com

۱- مقدمه

تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن خصوصاً گرم شدن کره زمین، به عنوان بزرگ‌ترین معضل قرن بیست و یکم شناخته شده است. به طوری که طی چند سال اخیر همواره یکی از محورهای اصلی مباحث سران کشورهای صنعتی جهان، مسئله تغییر اقلیم بوده است (صمدی و همکاران، ۱۳۸۸).

تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین پیامدهای زیانباری بر منابع مختلف از جمله آب، پوشش گیاهی و سرانجام زندگی انسان دارد. اولین اثر تغییر اقلیم روی عناصر اتمسفری خصوصاً دما و بارش می‌باشد (آبکار و همکاران، ۱: ۱۳۹۲). بررسی روند دراز مدت دما می‌تواند دیدگاه بهتری را جهت برنامه‌ریزی‌های آینده فراهم نماید.

روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM می‌باشد. مدل‌های GCM تنها قادر به شبیه‌سازی داده‌های گردش عمومی جو در سطوح بزرگ هستند. از آنجایی که اجرای این مدل‌ها برای دوره زمانی طولانی مدت نیازمند وقت زیاد و سرعت‌های بالای پردازش است، برای چیره شدن بر این مشکل ساده‌سازی‌هایی از جمله کاهش تفکیک فضایی و حذف برخی از فرآیندهای فیزیکی و ترمودینامیکی در مقیاس خرد باید صورت گیرد. این ساده‌سازی‌ها باعث افزایش خطای مدل‌های گردش عمومی جو و همچنین موجب بروز خطا در پیش‌بینی‌ها و ارزشیابی اقلیم آتی کره زمین می‌شود. برای رفع این نقیصه، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریز مقیاس می‌شوند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۵). روش ریز مقیاس نمایی دینامیکی معادلات حاکم بر بسته هوا در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روش‌های آنالیز عددی از قبیل تفاضل محدود، حل می‌شوند که در صورت به کار بردن این روش می‌توان به نقیصه دوم مدل‌های گردش عمومی جو، یعنی ساده‌سازی فرآیندهای جوی نیز فائق آمد (معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱).

۲۱). با استفاده از روش‌های ریز مقیاس نمایی، خروجی‌های GCM به متغیرهای سطحی در حوزه مورد مطالعه تبدیل می‌شود. ریز مقیاس نمایی به عنوان یک عامل ایجاد کننده ارتباط میان چرخه‌های بزرگ مقیاس (پیش‌بینی کننده) و متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی (پیش‌بینی شونده) تعریف شده است. در سال‌های اخیر از بین روش‌های ریز مقیاس نمایی (ریز مقیاس نمایی دینامیکی، دسته‌بندی سینوپتیکی، ایجاد آب و هوا به روش تصادفی و روش‌های آماری) روش‌های ریز مقیاس نمایی آماری، بیشتر از سایر روش‌ها مورد توجه محققین قرار گرفته است. در ریز مقیاس نمایی آماری می‌توان از روش‌های متداول آماری مانند رگرسیون و همچنین مدل‌های مولد هوا استفاده کرد.

این گروه از روش‌های ریز مقیاس نمایی که مدل SDSM را نیز شامل می‌شود، کاهش مقیاس را مبتنی بر سابقه آماری پیشگوه‌های بزرگ مقیاس و پیش‌بینی شونده‌ها پایه ریزی می‌نماید. مدل SDSM یکی از مدل‌های ریزمقیاس نمایی تابع انتقالی آماری به حساب می‌آید که امروزه به عنوان پرکاربردترین مدل ریزمقیاس نمایی در سطح جهان شناخته شده است. برتری اصلی این روش و دلیل انتخاب این مدل در این پژوهش، اقتصادی بودن، سادگی و سرعت بالا در فرآیند ریزمقیاس نمایی می‌باشد (ویلی و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴۷). مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM توسط ویلی و همکاران به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس نمودن به روش آماری توسعه یافته است. این مدل بر اساس رگرسیون چند متغیره طراحی شده است و پارامترهایی چون بارش و دما را در درازمدت پیش‌بینی می‌کند.

در سطح جهان و ایران مطالعاتی در زمینه ریزمقیاس نمایی و شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی صورت گرفته است، از جمله: ویلی و همکاران (۲۰۰۲: ۱۴۷) مدل SDSM، را برای ریزمقیاس نمایی اطلاعات بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری ابداع کردند. صمدی و همکاران (۲۰۱۱): ۷۴۱ در مطالعه‌ای به بررسی توانایی SDSM در شبیه‌سازی و پیش‌بینی آب و هوای استان خراسان پرداخته‌اند. نتایج

پیش‌بینی اقلیمی ایستگاه‌های ایران بکار گرفته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که بین مقادیر ریزمقیاس شده بارش و دما و مقادیر واقعی آن‌ها تفاوت معناداری وجود ندارد. همچنین آزادی و همکاران (۱۳۹۱: ۱۱۵) راستی‌آزمایی پیش‌بینی بارش مدل تحقیقات آب و هوایی و پیش‌بینی وضع هوا (WRF) را روی ایران طی یک دوره ۸ ماهه مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج راستی‌آزمایی مهارت قابل قبولی را از پیش‌بینی‌های این مدل نشان می‌دهند.

معافی مدنی و همکاران (۱۳۹۱: ۲۱) به پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دور ۲۰۳۰ تا ۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش افزایش ترسالی را در بیش از ۹۰ درصد ایستگاه‌های این استان نشان می‌دهد. خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱: ۱۵) نیز توانایی مدل LARS-WG را در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی سنندج ارزیابی نموده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که این مدل کارایی بالایی در شبیه‌سازی پارامترهای دمایی دارد اما در شبیه‌سازی داده‌های بارش خطای بیشتری را نسبت به سایر پارامترها نشان می‌دهد. آبکار و همکاران (۱۳۹۲: ۱) در مطالعه‌ای میزان کارایی مدل SDSM را در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه خشک بررسی نموده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل مذکور توانایی لازم جهت شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی را دارد. اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل LARS توسط نفیسه حق طلب و همکاران (۱۳۹۲: ۳۷) مدل‌سازی شده است. بررسی‌ها نشان از افزایش دما و کاهش بارش در هر دو استان دارند. خیراندیش و همکاران (۱۳۹۲: ۱۴۳) تأثیرات تغییر اقلیم را بر طول فصل رشد در چشم‌انداز ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ در چند نمونه اقلیمی در ایران مورد بررسی قرار داده‌اند. رضایی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۱۷) به بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فرا خشک پرداخته‌اند. نتایج این بررسی نشان داد که این مدل در مناطق خشک کارایی بالاتر و دقت بیشتری را برای

حاصل از این مطالعه گویای توانایی بالای SDSM در شبیه‌سازی دما و بارش بود. اهرت و همکاران (۲۰۱۲): (۳۳۹۱) به بازبینی مختصری از ضریب بایاس، بحث در مورد مفروضات و مفاهیم مرتبط با آن و نتیجه‌گیری در مورد اعتبار آن و پیشنهاد راه‌هایی برای کنار آمدن با خروجی مغرضانه مدل‌های گردش عمومی و کاهش بایاس در درازمدت پرداخته‌اند. پرویز و جعفری (۲۰۱۴: ۱۲۰) به ریزمقیاس‌نمایی بوسیله داده‌های GCM در حوضه گنگ- برهماپوترا و پیش‌بینی بارش پرداخته‌اند. ارزیابی عملکرد SDSM نشان داد که دقت این مدل برای باز تولید بارش در مقیاس ماهانه قابل قبول است اما در مقیاس روزانه مدل دقت کافی برای شبیه‌سازی وقایع ندارد. محمود و بابل (۲۰۱۴: ۵۶) تغییرات آینده در دماهای شدید را با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) در ترانس منطقه مرزی در حوضه رودخانه چلوم مورد مطالعه قرار داده‌اند. عساکره (۱۳۸۳: ۲۱۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان مدل‌سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی مطالعه موردی: بارش سالانه استان اصفهان، تغییرات مکانی بارش سالانه استان اصفهان را براساس سه عامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع مورد بررسی قرار داده است. از آنجا که بین طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع رابطه خطی وجود داشته است، لذا بخشی از واریانس بارش به طور مشترک به وسیله سه عامل توجیه می‌گردد. بنابراین برای دستیابی به واریانس همپوش و از بین بردن همخطی، از روش رگرسیون ریج برای توجیه تغییرپذیری مکانی بهره گرفته شده است. بابائیان و همکاران، (۱۳۸۱: ۱۵) با استفاده از مدل LARS-WG اقلیم کشور ایران را در دهه ۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که مقدار بارش کشور ۹٪ کاهش و میانگین دمای کشور به میزان ۰/۵ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. تورینی و حسامی‌کرمانی (۱۳۹۰: ۱۵) دمای کمینه، بیشینه و میانگین را با استفاده از الگوریتم نرو فازی در ایستگاه کرمان پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین صمدی نقاب و همکاران (۱۳۹۰: ۵۷) مدل SDSM را جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های GCM بارش و دما در

اقلیمی روی پیشرفت اقتصادی جهان و مدل‌سازی فعالیت می‌کند (تورینی و همکاران، ۱۳۹۰). در تحقیق حاضر چند سری داده شامل: داده‌های میانگین دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه، داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی و داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریو A2 و B2 مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های ایستگاه شهر کرمانشاه شامل: میانگین روزانه از ابتدای سال ۱۹۶۱ تا پایان سال ۲۰۱۰ است که جهت کالیبره کردن و واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

IPCC دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ را به عنوان دوره پایه برای مقایسه سناریوهای تغییر اقلیم پیشنهاد نموده است. به طور کلی ۴۰ سناریوی مختلف وجود دارند که هر کدام فرضیات متفاوتی از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، پوشش سطح زمین و دیگر واداشت‌های اقلیم در آینده را مد نظر قرار داده‌اند. علاوه بر آن فرضیاتی برای نحوه توسعه فنی و رشد اقتصادی آینده کشورها را در نظر گرفته‌اند. این سناریوها بیشتر افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی را در نظر می‌گیرند. بر اساس سناریوی A2 دنیایی متصور می‌شود که در آن کشورها به طور مستقل عمل کرده و به خود متکی هستند، جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش می‌یابد و توسعه اقتصادی منطقه محور است. طبق سناریوی B2 جمعیت به طور پیوسته افزایش می‌یابد، اما سرعت رشد آن نسبت به A2 کمتر است، تأکید بر راه‌حل‌های محلی به جای در نظر داشتن راه‌حل‌های جهانی برای ثبات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، توسعه اقتصادی در حد متوسط، تغییرات تکنولوژیکی سریع خواهد بود (مادی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱). ایستگاه کرمانشاه در داده‌های شبکه‌ای بزرگ مقیاس مدل در یاخته $X=14$ و $Y=22$ و مختصات جغرافیایی $32/5$ درجه عرض شمالی و $48/75$ درجه طول شرقی واقع شده است. در این مطالعه از داده‌های ۳۰ ساله NCEP از سال ۱۹۶۱-۱۹۹۰ که شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد، برای کالیبره کردن و ارزیابی و شبیه‌سازی میانگین دما طی دو دوره زمانی ۱۵ ساله (۱۹۹۰-۱۹۷۵) و ۴۰ ساله

پیش‌بینی دما نسبت به مناطق فراخشک ارائه می‌دهد. عینی و همکاران نیز (۱۳۹۵: ۴۷) کمینه دمایی شرق استان کرمانشاه را مدل‌سازی کرده‌اند. نتایج حاصل از تحلیل و مدل‌سازی دمای ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از مدل آریمای و پیش‌بینی کمینه دمای ماهانه تا سال ۲۰۱۶ نشان داد که کمینه دمایی دو ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و کنگاور از یک مدل نهایی (1.0.1) (ARIMA (1.0.0) و در واقع از یک روند متشابه در تغییرات کمینه دمایی برخوردار می‌باشند که با روندی نسبتاً ملایم در حال افزایش است.

به طور کلی می‌توان گفت تاکنون در نقاط مختلف جهان تحقیقات متعددی در خصوص مقایسه و کارایی مدل‌ها صورت گرفته است که در هیچ‌کدام از این تحقیقات مزیت هیچ مدلی نسبت به دیگری بصورت قطعی به اثبات نرسیده است. به نظر می‌رسد انتخاب مدل مناسب جهت ریزمقیاس نمایی به شرایط اقلیمی، توپوگرافی و ... در مناطق مورد مطالعه بستگی زیادی دارد. بنابراین نیاز است که کارایی مدل‌های ریزمقیاس نمایی در هریک از مناطق مورد ارزیابی قرار گیرد و در صورت ارائه نتایج قابل قبول، از آن مدل استفاده شود. به همین دلیل تحقیق حاضر به بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دما با استفاده از خروجی مدل‌های جهانی در ایستگاه کرمانشاه می‌پردازد.

۲- داده‌ها و روش‌ها

در این مطالعه از آمار میانگین دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی استفاده شده است. این ایستگاه در شهر کرمانشاه واقع شده و در ارتفاع ۱۳۱۸ متری از سطح دریا قرار دارد. این ایستگاه یکی از ایستگاه‌های سیستم مشاهده‌ای اقلیم جهانی GCOS می‌باشد. این سیستم در سال ۱۹۹۲ با همکاری سازمان هواشناسی جهانی و چندین سازمان وابسته به سازمان ملل تأسیس و زیر نظر سازمان هواشناسی جهانی به منظور بررسی تغییرات اقلیمی، ارزیابی میزان تأثیرگذاری تغییرات

جریان هوا در سطح زمین و ... و متغیرهای وابسته زمینی مانند بارش، دما و... بنا نهاده شده‌اند. با وجود این مسئله انتخاب متغیرهای مستقل مناسب که ارتباط منطقی و مناسبی با متغیرهای وابسته داشته باشند از اهمیت خاصی برخوردار است (ویلیبی و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴۷). مدل SDSM از ضریب تعیین (R^2)، ضریب همبستگی جزئی ($R_{X_1X_2}$) و نمودار پراکنش متغیر وابسته و مستقل استفاده می‌نماید. روابط (۱) و (۲) نشان می‌دهند که چند درصد از تغییرات متغیر پاسخ به وسیله متغیرهای پیشگو توجیه می‌شود. هرچه اندازه این ضریب که بین صفر و ۱ است به ۱ نزدیکتر باشد مدل رگرسیونی توان بیشتری در توجیه تغییرات دارد (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۲۶).

$$R^2 = \frac{[\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (۱)$$

$$R^2_{X_1X_2|X_3} = \frac{(r_{X_1X_2} - r_{X_1X_3} * r_{X_2X_3})^2}{(1 - r^2_{X_1X_3})(1 - r^2_{X_2X_3})} \quad (۲)$$

که در آن: R^2 : ضریب تعیین، X_1 مقدار i ام متغیر مستقل، X متوسط مقدار متغیر مستقل، Y_i مقدار متغیر وابسته، Y : میانگین متغیر وابسته، $R^2_{X_1X_2}$ ضریب همبستگی جزئی بین دو متغیر وابسته و مستقل، X_1 و X_2 : متغیرهای مستقل، X^3 مقدار متغیر مستقلی که مقدار آن ثابت فرض می‌شود (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲: ۱).

به منظور ارزیابی و مقایسه دقت روش‌ها و سناریوهای مدل استفاده شده و شناسایی بهترین روش جهت پیش‌بینی دما و انتخاب اینسِمبل با ساینز مناسب، از معیارهای مجذور میانگین مربعات خطا RMSE (رابطه ۳) و شاخص توافق ویلموت (رابطه ۴) استفاده شد. (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۷)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۳)$$

$$d = 1 - \frac{N(RMSE)}{E} \quad (۴)$$

(۲۰۰۰-۱۹۶۱) و از داده‌های مدل HadCM3 تحت سناریو A2 و B2 برای پیش‌بینی یک دوره ده ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۱) (براساس دوره‌های پایه متفاوت استفاده شده‌است. بعد از کالیبره نمودن مدل به منظور راستی‌آزمایی و حصول اطمینان از این که مدل توانایی شبیه‌سازی داده‌ها را خارج از محدوده زمانی کالیبراسیون دارد، نیاز بود مدل ارزیابی شود. بدین منظور با استفاده از مدل SDSM کالیبره شده، میانگین دمای روزانه برای دوره ۱۵ ساله (۱۹۹۰-۱۹۷۶) شبیه‌سازی شد. همچنین با توجه به در دسترس بودن داده‌های روزانه دما و داده‌های ncep طی دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۶۱) برای این دوره زمانی نیز داده‌ها کالیبره شده و مجدداً شبیه‌سازی شدند تا مدل به صورت دقیق‌تری ارزیابی گردد و کارایی مدل طی دوره‌های زمانی متفاوت برای پیش‌بینی بررسی شود. سپس با مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده، کارایی مدل برای ایستگاه کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. میزان تورم واریانس نیز برای متغیرهای ncep محاسبه شد که مقدار آن ۲ بدست آمد. تورم واریانس در واقع نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل چه میزان با هم هم‌پوشانی (هم خطی) دارند. هرگاه متغیرهای مستقل در مقداری از واریانس اشتراک داشته باشند واریانس را بیشتر می‌کنند و در نتیجه ممکن است بوسیله عوامل مشترک چند بار تکرار شود و باعث تورم واریانس گردد (عساکره، ۱۳۸۳: ۲۱۳).

بایاس یا اریبی میزان اختلاف بین برآوردها و مقدار حقیقی یک پارامتر را بیان می‌کند که در اینجا ۰/۵ در نظر گرفته شده است (اهرت و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۳۹۱). در صورتی که رابطه بین متغیرها معنی‌دار باشد می‌توان آن را با الگوهای ریاضی بیان کرد، معمولاً چنین الگویی ممکن است خطی یا غیر خطی باشد، به معادله‌ای که رابطه بین دو متغیر مستقل و وابسته را با الگوی خطی بیان کند معادله رگرسیون خطی می‌گویند (کاربرد آمار در جغرافیا، مهدوی و طاهرخانی، ۱۳۸۳: ۱۷۷). مدل‌های ریز مقیاس‌نمایی آماری تابع انتقال، مثل مدل SDSM که از رگرسیون خطی تبعیت می‌کنند، بر پایه ارتباط بین متغیرهای مستقل جوی مانند فشار سطح دریا، نیروی

دما صورت گرفت. جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده در کالیبره نمودن مدل را نشان می‌دهد. بعد از تعیین متغیرهای مناسب، نسبت به کالیبره کردن مدل اقدام شد. در مدل SDSM نتایج حاصل از مرحله کالیبراسیون در یک فایل با فرمت استاندارد و پسوند PRA* (جداول ۲ و ۳) ذخیره می‌شود که در مواقع لزوم می‌توان از آن جهت شبیه سازی استفاده نمود.

جدول (۱) متغیرهای مستقل مورد استفاده جهت کالیبره نمودن مدل

متغیر وابسته	متغیر مستقل
میانگین دما	میانگین فشار سطح دریا
	تاوایی سطحی
	تاوایی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
	ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
	سرعت مداری در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال
	دما در ارتفاع ۲ متری سطح زمین

به منظور انتخاب مناسب ترین متغیر مستقل، از ضریب تعیین و نمودار پراکنش نگار نقاط استفاده شد. جدول ۲ ضریب تعیین بین متغیرهای مستقل و میانگین دما، خطای استاندارد، آماره چو و آزمون دوربین واتسون در ایستگاه کرمانشاه را نشان می‌دهد. ضریب تعیین نیز بیانگر همبستگی بالا بین متغیرهای مستقل و میانگین دما می‌باشد. بنابراین می‌توان از آن‌ها به عنوان متغیر مستقل در تعیین متغیر وابسته (دما) استفاده نمود.

۳-۲ - ارزیابی و واسنجی مدل

به منظور کالیبره کردن مدل SDSM داده‌های مشاهداتی ایستگاه کرمانشاه و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی NCEP به دو دوره ۱۵ ساله (۱۹۷۵-۱۹۶۱) و (۱۹۹۰-۱۹۷۶) تقسیم شدند. از ۱۵ سال اول برای کالیبره کردن مدل با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل مربعات

$$PE = \sum (|P_i| + |O_i|)^2 \quad (5)$$

(پارنال، ۱۳۸۵: ۱۷۲)

که در آن: d شاخص توافق ویلموت، n: تعداد مشاهدات، PE: واریانس خطای بالقوه، P_i : پیش‌بینی‌ها و O_i : مشاهدات می‌باشند. هرچه میزان RMSE کمتر باشد، نشان دهنده کارایی بیشتر مدل در برآورد پارامترهای دمایی می‌باشد و هرچه میزان d به یک نزدیکتر باشد مدل مناسب تر خواهد بود.

آزمون دوربین واتسون (durbin-watson) یکی از مشهورترین آزمون‌ها برای تشخیص خودهمبستگی است. یکی از مفروضاتی که در رگرسیون مدنظر قرار می‌گیرد، استقلال خطاها (تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله رگرسیون) از یکدیگر است. در صورتی که فرضیه استقلال خطاها رد شود و خطاها با یکدیگر همبستگی داشته باشند امکان استفاده از رگرسیون وجود ندارد. به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمون دوربین-واتسون استفاده می‌شود (عساکره، ۱۳۹۰: ۴۶۲). آزمون چو روشی برای سنجش پایایی ضریب‌های مدل است. برپایه این آزمون مدلی پذیرش می‌شود که ضریب‌های متغیرهای پیشگو در راستای زمان نوسان زیادی نداشته باشند. بنابراین برای انجام این آزمون بازه زمانی به دو دوره بخش می‌شود؛ سپس ضرایب مدل برای هر یک از این دوره برآورد و مقایسه می‌شوند (هاوارد، ۱۹۱۹: ۱۴۶). خطای استاندارد ضریب رگرسیون بیانگر میانگین انحرافات استاندارد داده‌ها پیرامون سطح رگرسیون است. هرچه اندازه خطای استاندارد کمتر باشد؛ مدل از شایستگی بیشتری برخوردار است (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۷: ۱۴۳).

۳-۳ - یافته‌ها

۳-۱- انتخاب متغیر مستقل مناسب به منظور

پیش‌بینی متغیر وابسته

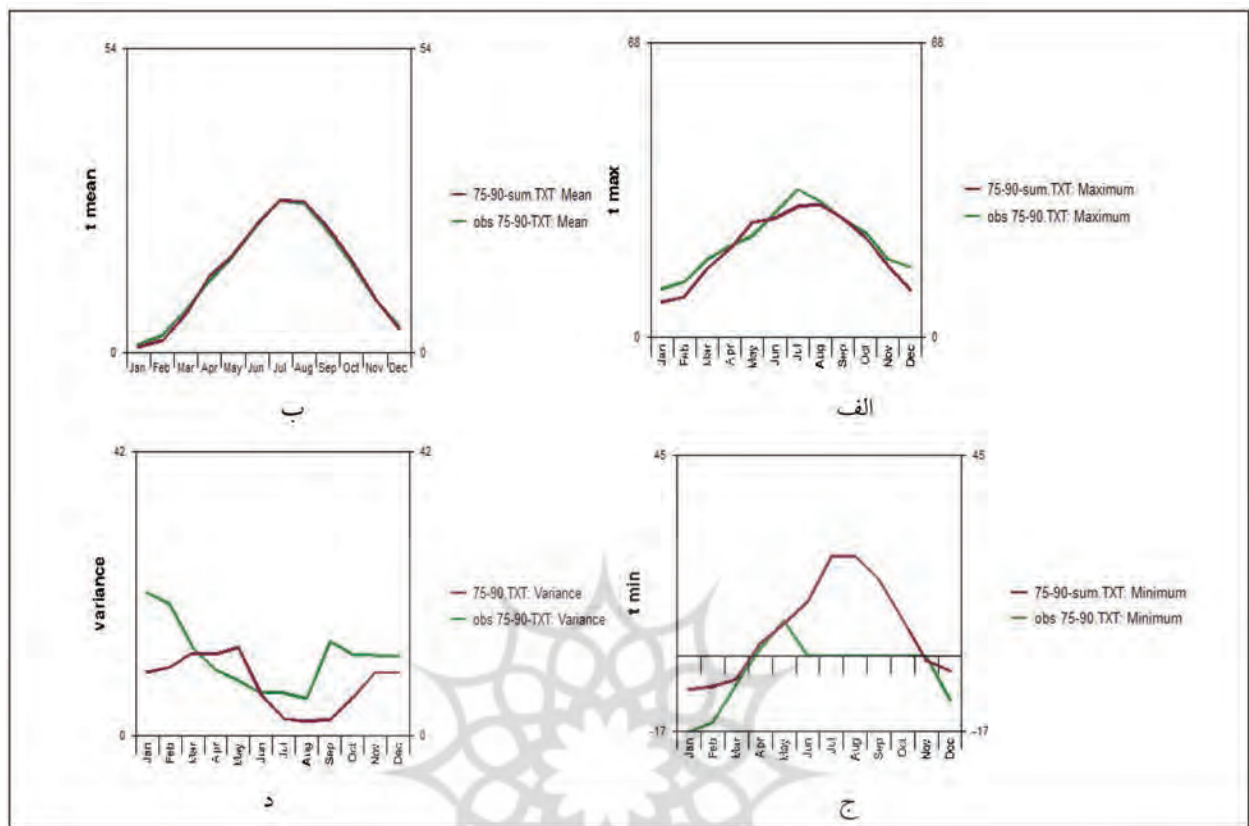
در این تحقیق برای بررسی رابطه متغیر وابسته میانگین دمای روزانه با متغیرهای مستقل اتمسفری (NCEP) مراحل انتخاب متغیرهای مستقل و کالیبره کردن مدل برای میانگین

جدول (۲): نتایج حاصل از مرحله کالیبراسیون جهت شبیه‌سازی داده‌های دما

ماه	ضریب تعیین R^2	خطای SE استاندارد	آماره چو	دوربین واتسون
ژانویه	۰/۷۷۱	۲/۲۱۰	۳/۳۵۸۵	۱/۸۷۴
فوریه	۰/۷۵۴	۲/۰۸۳	۳/۱۳۱۴	۱/۹۳۲
مارس	۰/۷۲۸	۱/۸۳۰	۱۴/۰۴۸۱	۱/۹۲۱
آوریل	۰/۷۶۳	۱/۸۱۸	۱۷/۰۰۶۰	۱/۹۱۰
می	۰/۷۸۲	۱/۸۸۰	۳۶/۶۴۵۰	۱/۹۱۲
ژوئن	۰/۷۵۷	۱/۲۲۳	۰/۹۸۶۵	۱/۸۲۳
جولای	۰/۵۷۵	۱/۵۳۴	۰/۵۱۱۴	۲/۱۴۷
اگوست	۰/۵۸۴	۱/۴۷۸	۲/۷۸۹۶	۲/۱۰۸
سپتامبر	۰/۶۸۸	۱/۶۷۵	۱۲/۰۷۸۵	۲/۲۰۰
اکتبر	۰/۵۵۴	۱/۹۹۳	۲/۵۷۹۸	۲/۰۵۸
نوامبر	۰/۷۱۱	۱/۷۶۴	۱/۱۱۴۳	۱/۹۷۷
دسامبر	۰/۷۵۵	۱/۷۵۰	۳/۲۴۵۲	۲/۰۰۰
میانگین	۰/۷۰۲	۱/۷۷۰	۸/۱۲۴۵	۱/۹۸۹

جدول (۳): ضریب پارامترهای مدل جهت شبیه‌سازی میانگین دما

ماه	عرض از مبدا	ضریب دما در ارتفاع ۲ متری	ضریب سرعت مداری باد در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال	ضریب ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	ضریب تاوایی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	ضریب تاوایی سطحی	ضریب فشار	اتو رگرسیون
ژانویه	۵/۴۴۶	-۰/۰۲۰	-۰/۰۳۵	۲/۴۶۶	۰/۳۰۹	-۰/۳۴۰	-۲/۳۷۴	۰/۶۲۹
فوریه	۴/۷۷۶	۰/۱۸۱	-۰/۰۵۷	۲/۱۷۴	۰/۱۳۹	-۰/۲۴۱	-۱/۷۴۵	۰/۶۴۶
مارس	۴/۶۸۴	۰/۲۱۲	-۰/۱۰۱	۲/۴۱۸	-۰/۱۰۸	-۰/۰۹۶	-۱/۵۳۸	۰/۵۴۳
آوریل	۴/۲۶۰	۰/۰۶۹	۰/۰۰۶	۲/۵۴۰	-۰/۱۵۸	-۰/۱۹۶	-۰/۹۵۱	۰/۵۵۰
می	۱/۴۷۳	۰/۳۳۳	-۰/۱۰۷	۱/۳۹۰	-۰/۱۴۲	-۰/۰۷۳	-۰/۶۱۶	۰/۷۸۰
ژوئن	۵/۳۴۵	۰/۶۰۲	-۰/۴۵۷	۲/۹۹۰	۰/۳۴۸	-۰/۴۳۱	-۱/۸۹۴	۰/۵۶۷
جولای	۴/۹۹۹	-۰/۵۴۹	-۰/۷۶۶	۲/۶۴۰	۰/۱۵۲	-۰/۱۷۵	-۱/۴۲۲	۰/۵۸۸
اگوست	۴/۰۳۳	۰/۳۰۵	-۰/۸۱۰	۲/۲۴۶	۰/۰۵۷	-۰/۲۸۸	-۱/۳۶۷	۰/۶۱۶
سپتامبر	۶/۳۶۰	۰/۷۹۸	-۰/۶۲۴	۱/۳۹۲	۰/۰۸۹	-۰/۳۹۵	-۰/۹۸۰	۰/۷۴۶
اکتبر	۶/۱۸۶	۰/۶۰۷	-۰/۴۲۴	۲/۶۱۹	۰/۱۱۵	-۰/۶۴۳	-۱/۶۹۲	۰/۴۷۷
نوامبر	۷/۳۵۰	۰/۳۱۲	-۰/۳۴۱	۲/۷۷۷	۰/۱۴۳	-۰/۵۲۳	-۲/۵۹۴	۰/۴۵۵
دسامبر	۵/۷۴۱	-۰/۲۵۰	-۰/۰۴۹	۲/۳۴۷	۰/۱۱۳	-۰/۲۷۹	-۲/۳۰۰	۰/۵۱۷



نگاره ۱: نمودار مربوط به میانگین (الف) بیشینه (ب) و کمینه (ج) و واریانس (د) دما، برای دوره ۱۵ ساله دوم

مربوط به دما داشته است. بطوریکه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کمترین اختلاف را نسبت به هم دارند. نتایج مقایسه در جدول ۴ آمده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود میانگین دمای برآورد شده توسط مدل با میزان مشاهداتی طی دو دوره از اختلاف اندکی برخوردار است. این اختلاف طی دوره ۴۰ ساله و در واقع با طولانی شدن دوره آماری پایه به صفر رسیده است و میانگین دمای کل دوره برای داده‌های مشاهداتی و برآورد شده برابر با ۱۴/۱ درجه سانتیگراد می‌باشد. نگاره (۳) معیارهای سنجش را در دوره ارزیابی مدل نشان

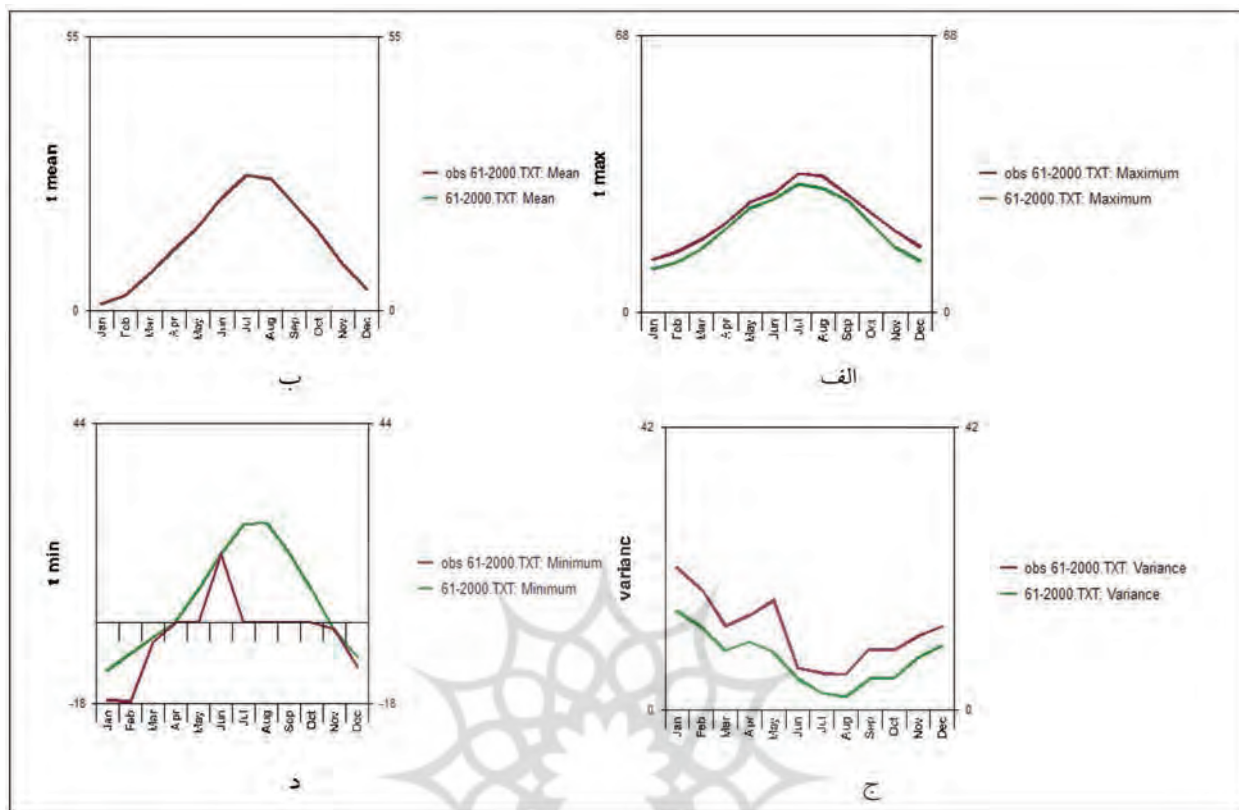
خطا استفاده شد. اینکار برای دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۶۱) نیز انجام گرفت و داده‌ها بر اساس این دو دوره زمانی شبیه‌سازی شدند. بر اساس محاسبه مجذور میانگین مربعات خطا و شاخص توافق ویلموت، مناسب‌ترین اینسِمبل (تعداد دفعات شبیه‌سازی) برای پیش‌بینی میانگین دما، اینسِمبل با سایز ۱ می‌باشد.

نگاره ۱ و ۲ نمودارهای مربوط به میانگین، بیشینه، کمینه و واریانس دما، برای دوره ۱۵ ساله دوم و دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۶۱) را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار می‌توان گفت که مدل کارایی بالایی در شبیه‌سازی داده‌های

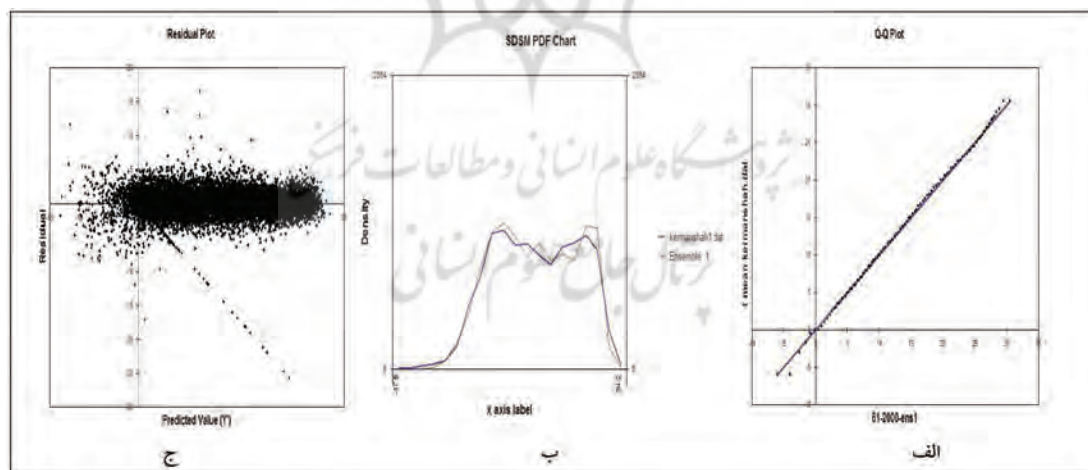
جدول (۴): مقایسه میانگین دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (به سانتیگراد) طی دوره ۱۵ ساله و ۴۰ ساله

میانگین دما در دوره مشاهداتی ۱۵ ساله	میانگین دما در دوره ۱۵ ساله	میانگین دمای شبیه‌سازی شده در دوره ۱۵ ساله	میانگین دما در دوره ۱۵ ساله
۱۴/۱	۱۴/۱	۱۴/۲	۱۴/۱

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین ... / ۵۷

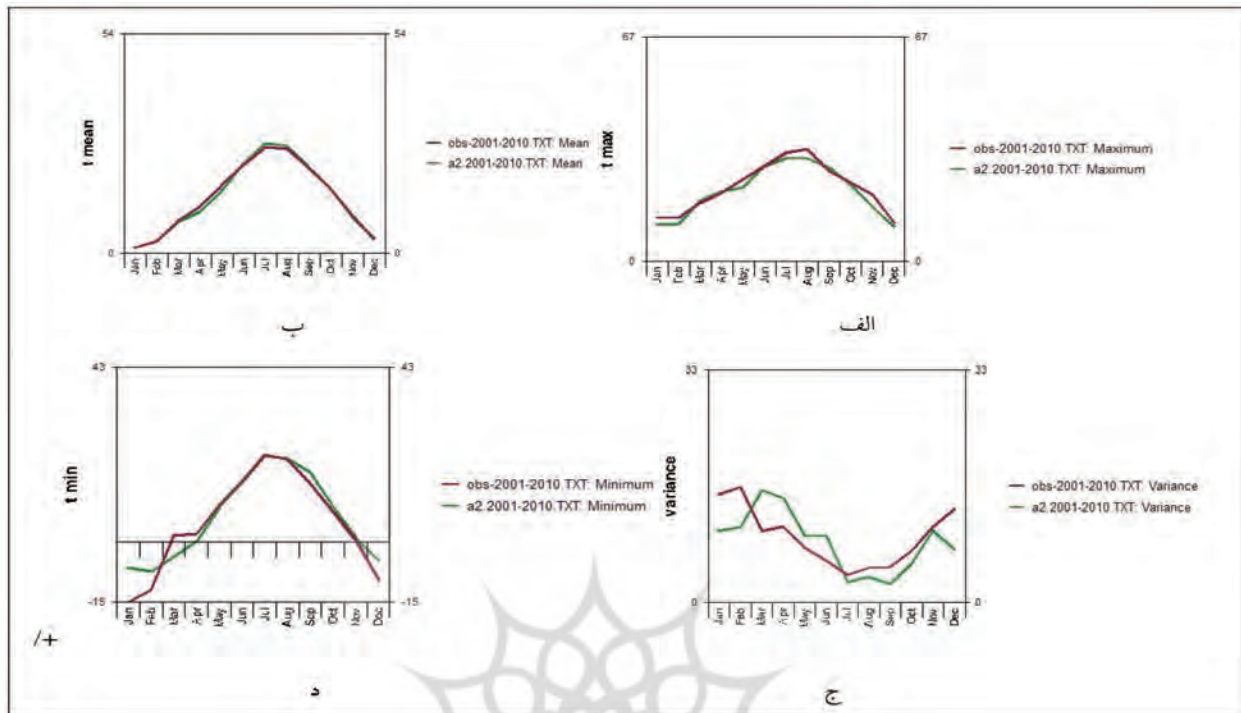


نگاره ۲: نمودار مربوط به میانگین (الف)، بیشینه (ب)، کمینه (ج) و واریانس (د) دما به ساتیگراد، برای دوره ۴۰ ساله

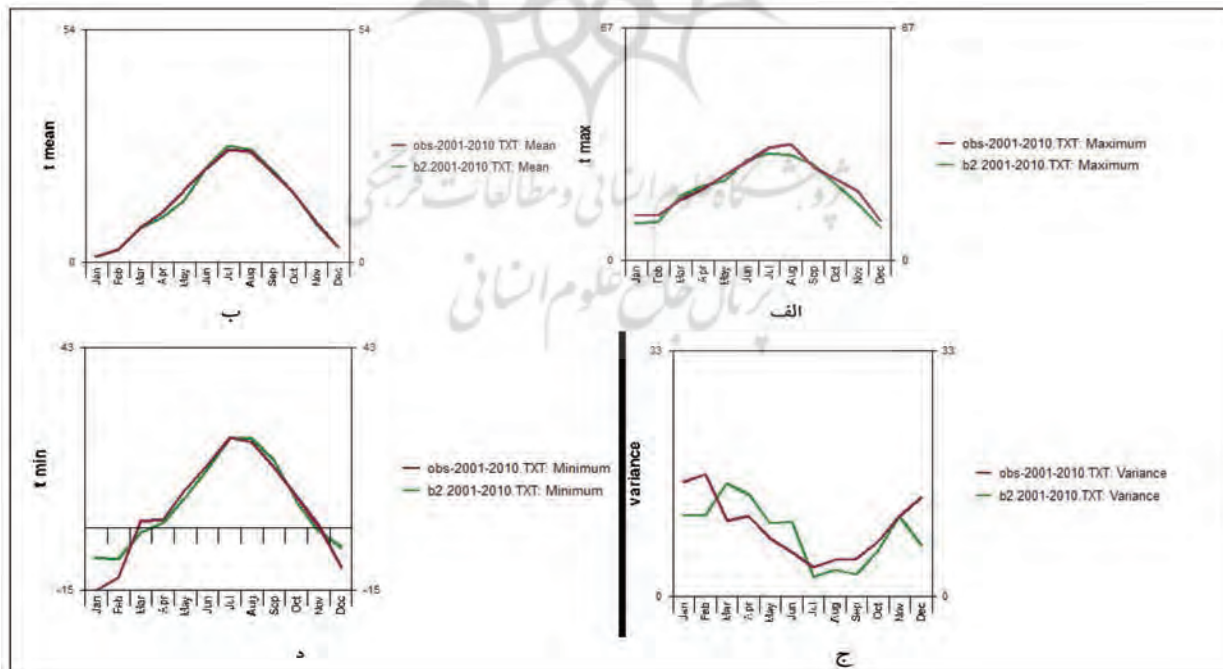


نگاره ۳: نمودار پراکنش داده‌های مشاهداتی در مقابل داده‌های شبیه‌سازی شده (الف) نمودار پراکنش نگار باقی مانده در مقابل میانگین درجه حرارت (ب) فراوانی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی (ج)، در دوره ارزیابی (۱۹۶۱-۲۰۰۰)

می‌دهد. چنانچه مشخص است کلیه شاخص‌های ارزیابی نظیر فراوانی داده‌ها (نگاره ۳ الف)، نمودار پراکنش داده‌ها (نگاره ۳ ب)، نمودار پراکنش باقیمانده‌ها (نگاره ۳ ج) NCEP برخوردار است. حکایت از آن دارد که مدل SDSM از کارایی مناسبی جهت ریز مقیاس‌نمایی شاخص‌های دمایی با استفاده از داده‌های



نگاره ۴: نمودار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره (۲۰۱۰-۲۰۰۱) براساس دوره پایه ۱۵ ساله (۱۹۹۰-۱۹۷۶) میانگین (الف)، بیشینه (ب) و کمینه (ج) واریانس (د) دما بر اساس مدل Hadcm3 تحت سناریو A2



نگاره ۵: نمودار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره (۲۰۱۰-۲۰۰۱) بر اساس دوره پایه ۱۵ ساله (۱۹۹۰-۱۹۷۶) میانگین (الف)، بیشینه (ب) و کمینه (ج) واریانس (د) دما بر اساس مدل Hadcm3 تحت سناریو B2

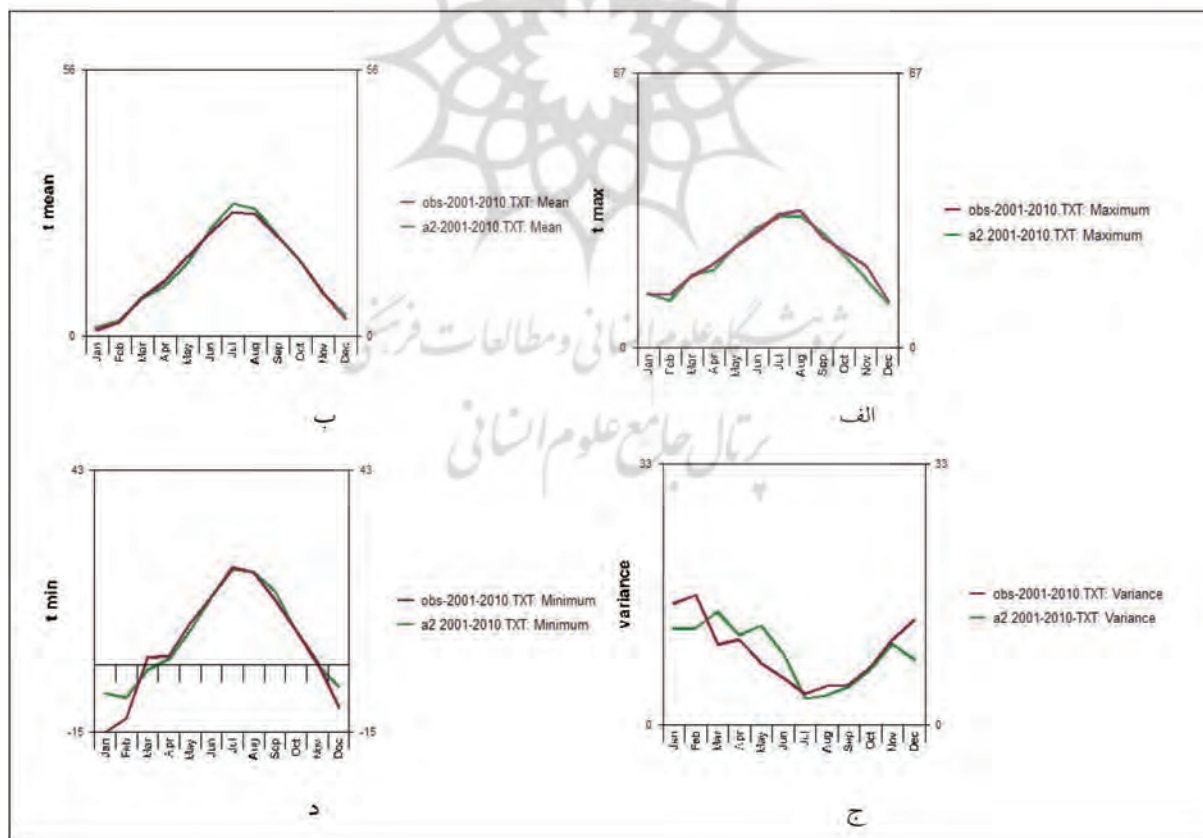
اختلافی اندک، یعنی ۱۳/۶ و ۱۳/۵ درجه سانتیگراد برای سناریوهای A2 و B2 در مقابل دوره مشاهداتی با دمای ۱۳/۷ درجه سانتیگراد قرار دارد. در حالیکه پیش‌بینی‌ها بر اساس دوره ۴۰ ساله مقداری افزایش را برای میانگین دما نشان می‌دهد، بطوریکه میزان دمای بدست آمده برای سناریوی A2، ۱۴ و برای سناریوی B2، ۱۳/۹ درجه سانتیگراد می‌باشد.

مقایسه بیشینه، کمینه و واریانس دما براساس دوره‌های پایه مختلف و سناریوهای متفاوت، برآورد ضعیف مدل را نشان می‌دهد، بطوریکه مقایسه دوره‌های پیش‌بینی با دوره مشاهداتی اختلاف زیادی را نمایان می‌کند. لازم به ذکر است که این اختلاف در پیش‌بینی بر اساس دوره پایه ۱۵ ساله بیشتر می‌باشد و با افزایش طول دوره پایه کمتر می‌گردد.

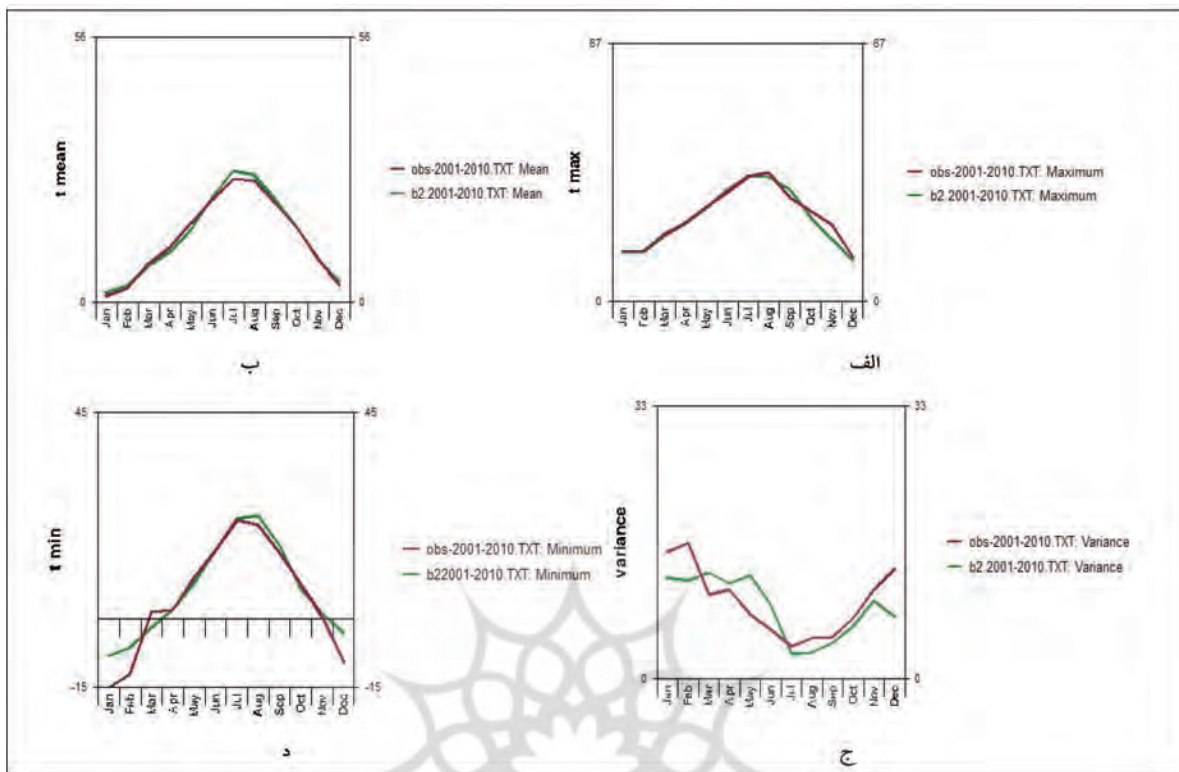
۳-۳ پیش‌بینی میانگین دما طی دوره ده ساله ۲۰۱۰-۲۰۰۱ تحت سناریوی A2 و B2 بر اساس دوره پایه ۱۵ ساله (۱۹۷۶-۱۹۹۰) و ۴۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۶۱)

در این مطالعه پیش‌بینی داده‌های دما توسط مدل Hadcm3 تحت سناریوهای A2 و B2 طی دوری ۱۰ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۱) برای میانگین دما بر اساس دو دوره پایه ۱۵ ساله و ۴۰ ساله انجام گرفت. نگاره‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ مقایسه داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده را برای میانگین دما تحت سناریوهای مختلف و بر اساس دوره‌های پایه متفاوت نشان می‌دهد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود مدل قادر است میانگین دمای روزانه را با اختلاف اندکی نسبت به میانگین مشاهداتی پیش‌بینی نماید، پیش‌بینی‌ها بر اساس دوره پایه ۱۵ ساله با



نگاره ۶: نمودار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره (۲۰۱۰-۲۰۰۱) بر اساس دوره پایه ۴۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۶۱) میانگین (الف)، بیشینه (ب) و کمینه (ج) واریانس (د) دما بر اساس مدل Hadcm3 تحت سناریو A2



نگاره ۷: نمودار مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده برای دوره (۲۰۱۰-۲۰۰۱) بر اساس دوره پایه ۴۰ ساله (۲۰۰۰-

۱۹۶۱) میانگین (الف)، بیشینه (ب) و کمینه (ج) واریانس (د) دما بر اساس مدل Hadcm3 تحت سناریو B2

این امر با نتایج کار صمدی و همکارانش (۲۰۱۱ و ۱۳۹۰) و آبکار و همکارانش (۱۳۹۲) که میزان کارایی مدل SDSM را در شبیه سازی عناصر اقلیمی در مناطق مختلف بررسی نموده اند، همسو است. لازم به ذکر است که با افزایش طول دوره پایه پیش بینی به ۴۰ سال، اختلاف برآورد مدل بر اساس داده های NCEP و داده های مشاهداتی به صفر رسید که این امر را می توان به عنوان یکی از نقاط ضعف مدل بدلیل استفاده از رگرسیون خطی به حساب آورد چرا که با کاهش دوره پایه برای شبیه سازی میانگین دما، نتایج آن از میانگین دوره مشاهداتی فاصله می گیرد اما با افزایش طول دوره نتایج برآورد بر واقعیت منطبق می شود. در پیش بینی داده های دما که بر اساس دو دوره پایه ۱۵ و ۴۰ ساله برای پیش بینی دوره ده ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۱) تحت دو سناریو مختلف انجام گرفت مشخص شد که پیش بینی میانگین دما بر اساس دوره پایه ۱۵ ساله مقداری کمتر از میانگین دوره

جدول ۵: مقایسه میانگین دما در دوره های مشاهداتی و پیش بینی بر اساس دوره پایه ۱۵ ساله و ۴۰ ساله تحت سناریوهای A2 و B2 دوره (۲۰۱۰-۲۰۰۱)

سناریو	میانگین دما بر اساس دوره پایه ۱۵ ساله	میانگین دما بر اساس دوره پایه ۴۰ ساله
A2	۱۳/۶	۱۴
B2	۱۳/۵	۱۳/۹
میانگین دما در دوره مشاهداتی ده ساله	۱۳/۸	۱۳/۸

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از دوره ارزیابی (۲۰۰۰-۱۹۶۱ و ۱۹۹۰-۱۹۷۶) با استفاده از داده های NCEP نشان داد که مدل SDSM در شبیه سازی متغیرهایی همچون میانگین دما در دوره ارزیابی و پایه از توانایی قابل قبولی برخوردار است.

۱۳۹۱؛ راستی‌آزمایی پیش‌بینی بارش با مدل تحقیقات آب و هوایی و پیش‌بینی وضع هوا (WRF) روی کشور ایران در دوره ۸ ماهه نوامبر ۲۰۰۸ تا ژوئن ۲۰۰۹، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۳، ۱۲۹-۱۱۵.

۳. بابائیان، نجفی نیک، زابل عباسی، حبیبی نوخندان، ادب، ملبوسی؛ ایمان، زهرا، فاطمه، مجید، حامد، شراره؛ ۱۳۸۸؛ ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردشگری عمومی جو ECHO - G، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ۱۳۵-۱۵۲.

۴. توری، حسامی کرمانی؛ نازلی، مسعودرضا؛ ۱۳۹۱؛ پیش‌بینی دمای ماکزیمم، مینیمم و میانگین با استفاده از الگوریتم نرو فازی در ایستگاه کرمان، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، ۲ الی ۱۲ اسفند، کرمان.

۵. حق‌طلب، گودرزی، حبیبی نوخندان، یآوری، جعفری؛ نفیسه، محسن، مجید، احمدرضا، حمیدرضا؛ ۱۳۹۲؛ مدلسازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۵۶، ۴۹-۳۷.

۶. خیراندیش، قهرمان، بذرافشان؛ مرضیه، نوذر، جواد؛ بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر طول فصل رشد در چشم انداز ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ در چند نمونه اقلیمی ایران؛ ۱۳۹۲؛ مجله تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۲، ۱۵۰-۱۴۳.

۷. رضائی، سلطانی؛ عبدالمجید، افشین؛ ۱۳۸۷، مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی، چاپ سوم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۲۷.

۸. رضائی، نهنانی، آبکار، رضائی، میرکازهی ریگی؛ مریم، محمد، علیجان، معصومه، مهری؛ ۱۳۹۳؛ بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی دو اقلیم خشک و فراخشک، مطالعه موردی: (کرمان و بم)، پژوهش‌نامه مدیریت حوضه آبخیز، شماره ۱۰، ۱۱۷.

مشاهداتی آن برآورد شده است (۱۳/۶ و ۱۳/۵ برای سناریوی A2 و B2 و ۱۳/۸ برای دوره مشاهداتی). این در حالی است که پیش‌بینی بر اساس دوره پایه ۴۰ ساله مقداری افزایش را نسبت به میانگین دوره پایه نشان می‌دهد (۱۴ و ۱۳/۹ برای سناریوی A2 و B2 و ۱۳/۸ برای دوره مشاهداتی) که این مساله با توجه به روند مثبت و افزایشی دمای کرمانشاه (۰/۰۵) قابل توجیه می‌باشد. در نتیجه می‌توان با توجه به این نکته ضعف مدل را در پیش‌بینی بر اساس دوره پایه کوتاه‌تر با قطعیت بیشتری پذیرفت. همچنین به نظر می‌رسد که پیش‌بینی مدل تحت سناریو A2 نتایج قابل‌قبول‌تری را ارائه می‌دهد. روند افزایشی دما در کرمانشاه در مطالعات عینی و همکارانش (۱۳۹۵) و قیاسی شمایی و همکارانش (۱۳۹۰) نیز ملاحظه شده است.

مقدار واریانس، بیشینه و کمینه که توسط مدل برای میانگین دما محاسبه می‌شود چندان مناسب و کارا نبوده و با خطا همراه است که این امر را می‌توان ناشی از توانایی کم مدل در برآورد و نشان دادن نوسانات دما دانست، این مسئله می‌تواند پیامد تبعیت مدل از رگرسیون خطی باشد، هرچند که شرایط محلی ایستگاه و خطاهای مدل Hadcm3 هم می‌تواند این عدم توانایی را شدت بخشد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود مدل تنها در برآورد میانگین متغیرهای دما توانایی مناسبی دارد و این در حالی است که برآورد مدل از واریانس، بیشینه و کمینه با خطا همراه است که این امر نشان‌دهنده توانایی کم مدل در برآورد و شبیه‌سازی نوسانات مربوط به دما می‌باشد.

منابع و مأخذ

۱. آبکار، حبیب‌نژاد، سلیمانی، نقوی؛ علیجان، محمود، کریم، هرمز؛ ۱۳۹۲؛ بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه خشک، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۱۴.
۲. آزادی، تقی‌زاده، معماریان؛ مجید، احسان، محمدحسین؛

۹. صمدی، مساح بوانی، مهدوی؛ سیده زهرا، علیرضا، محمد؛ ۱۳۸۸؛ انتخاب متغیر پیش‌بینی کننده به منظور کوچک مقیاس کردن داده‌های دما و بارندگی در حوضه آبخیز کرخه، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۱۰. صمدی نقاب، خورشید دوست، حبیبی نوخندان، زابل عباسی؛ سینا، علی محمد، مجید، فاطمه؛ ۱۳۹۰؛ بکارگیری مدل SDSM جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های ۵۷ GCM بارش و دما، مطالعه موردی: پیش‌بینی‌های اقلیمی ایستگاهی در ایران، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۶، ۵۷.
۱۱. عساکره، حسین، ۱۳۸۳، مدل‌سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی مطالعه موردی: بارش سالانه استان اصفهان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۴، ۲۱۳ - ۲۳۱.
۱۲. عساکره، حسین، ۱۳۹۰، مبانی اقلیم‌شناسی آماری، انتشارات دانشگاه زنجان، چاپ اول، زنجان.
۱۳. عینی، طاووسی، امیرجهانشاهی؛ سعیده، تقی، مهدی؛ ۱۳۹۵؛ مدل‌سازی کمینه دمایی شرق استان کرمانشاه، فصلنامه فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال شانزدهم، شماره ۵۴، ۶۷-۴۷.
۱۴. قیاسی شمami، معروفی، سبزی‌پرور، زارع ایبانه، حیدری؛ فرشته، صفر، صفر، حمید، مجید؛ ۱۳۹۰؛ آشکارسازی تغییر اقلیم در غرب ایران با توجه به تغییرات دما، فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، سال دوم، شماره ۶، ۲۵-۱۰.
۱۵. کامکار، سلطانی، مساعدی، خلیلی اقدم؛ بهنام، افشین، ابوالفضل، نبی؛ ۱۳۹۱؛ ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سندج، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۴، ۱۰۲-۸۵.
۱۶. معافی مدنی، موسوی بایگی، انصاری؛ سیده فاطمه، محمد، حسین؛ ۱۳۹۱؛ پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۰۱ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳، ۳۷-۲۱.
۱۷. مهدوی، طاهرخانی؛ مسعود، مهدی؛ ۱۳۸۳؛ کاربرد آمار در جغرافیا، نشر قومس، ۱۷۷.
۱۸. هادی‌نیا، پیرمردیان، اشرف‌زاده؛ حسین، نادر، افشین؛ ۱۳۹۱؛ ارزیابی مدل‌های GCM و سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی (مطالعه موردی ایستگاه سینوپتیک رشت)، اولین همایش بین‌المللی بحران‌های زیست‌محیطی و راهکارهای بهبود آن.
۱۹. یارنال، برنت؛ ۱۳۸۵؛ اقلیم‌شناسی همید و کاربرد آن در مطالعات محیطی؛ ترجمه ابوالفضل مسعودیان، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۱۷۲.
20. D, Haward E. (1989). Applied Regression Analysis in Econometrics. CRC Press. P. 146. ISBN 0- 8247- 8094-3.
21. Md. Shahriar Pervez , Geoffrey M. Henebry.2014. Projections of the Ganges Brahmaputra precipitation—Downscaled from GCM predictors. Journal of Hydrology 517 : 120–134.
22. Rashid Mahmood, Mukand S. Babel .2014.Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin , Weather and Climat eExtremes 5-6: 56–66.
23. Samadi, S, K. Ehteramian and B. Sari Sarraf. 2011. SDSM ability in simulate predictors for climate detecting over Khorasan province. Procedia Social and Behavioral Sciences, 19: 741-749.
24. U, Ehret, E. Zehe, V. Wulfmeyer, K. Warrach-Sagi, and J. Liebert,2012, Should we apply bias correction to global and regional climate model data? Hydrology and Earth System Sciences, 16: 3391–3404.
25. Wilby, R.L, C.W. Dawson and E.M. Barrow. 2002. SDSM- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Journal of Environmental Modeling and Software, 17: 147-159.
26. Wilby, R.L. and C.W. Dawson. 2008. Using SDSM version 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. user manual, 94 pp.