

چشم‌انداز زمان وقوع یخبندان های زودرس پاییزه و دیررس بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل SDSM در چند ایستگاه منتخب در نیمه غربی ایران

زهرا آقاشریعتمداری^{۱*}، جواد بذرافشان^۲، سیده الهه صفایی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۴

چکیده

در سال‌های اخیر، تغییر رفتار رویدادهای حدی اقلیمی (نظیر یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره) به علت تغییر اقلیم مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، ارزیابی تغییرات تاریخ شروع و خاتمه یخبندان با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 است که با به‌کارگیری مدل SDSM تحت دو سناریوی A2 و B2 ریزمقیاس شده‌اند. برای این منظور، داده‌های روزانه ۴۰ ساله (۲۰۰۱-۱۹۶۱) دمای کمینه چهار ایستگاه منتخب نیمه غربی کشور شامل ایستگاه‌های اراک، زنجان، قزوین و سقز به عنوان اقلیم گذشته وارد مدل شدند و داده‌های دمای حداقل روزانه برای دوره ۴۰ ساله آینده (۲۰۵۱-۲۰۱۱) پیش‌بینی گردید. تاریخ‌های مربوط به اولین و آخرین یخبندان در سه آستانه دمایی خفیف، متوسط و شدید استخراج شدند. نتایج نشان داد که تاریخ یخبندان پاییزه در ایستگاه قزوین دیرتر و در ایستگاه سقز زودتر و تاریخ آخرین یخبندان بهاره در ایستگاه سقز دیرتر و در ایستگاه قزوین زودتر از گذشته نسبت به سایر ایستگاه‌ها پیش‌بینی شده است. در کل نتایج حاصل از مدل SDSM تحت هر دو سناریو در برآورد تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس و دیررس آینده اختلاف چندانی با یکدیگر نداشتند.

واژه‌های کلیدی: ایران، ریزمقیاس‌نمایی، یخبندان، SDSM، HadCM3

مقدمه

رویدادهای حدی نسبت به تغییر در شرایط متوسط جوی اغلب می‌تواند آثار زیادی بر اکوسیستم‌ها و جوامع بشری داشته‌باشد (وان‌استورچ و همکاران^۴، ۱۹۹۳). مشخصاً بروز و تشدید پدیده‌های حدی مثل طوفان‌های سهمگین، خشکسالی‌های شدید، یخبندان‌های نابهنگام و غیره، نتیجه تغییرات اقلیمی است که موجب برهم خوردن تعادل سیستماتیک سامانه اقلیم و بروز آشفتگی‌ها و ناهنجاری‌های رفتاری آن می‌شوند و بیش‌ترین تأثیر آن بر محیط‌های طبیعی و به‌خصوص گیاهان که قدرت و سرعت سازگاری اندکی دارند، می‌باشد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰). از مهم‌ترین این رویدادها که تغییر اقلیم در ایجاد و تشدید و تغییرات آن نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند، شاخص‌های خاص هواشناسی کشاورزی هستند که در ارتباط مستقیم با تولید و بازده محصولات کشاورزی می‌باشند. در این میان وقوع یخبندان به خصوص یخبندان‌های دیرهنگام و زودهنگام که به دلیل داشتن

بررسی روند تغییرات داده‌های آب و هوایی ثبت شده در دهه‌های گذشته و همچنین نتایج خروجی از مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی کننده اقلیم، حاکی از بروز تغییرات غیرقابل اغماض در اقلیم جهانی است. در سال‌های اخیر توجه به تغییرات اقلیمی به‌علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده‌است. رویدادهای اقلیمی حدی، پدیده‌هایی هستند که از نظر شدت و فراوانی کمیاب هستند و از آنجایی که اکوسیستم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی با شرایط اقلیمی بهنجار تنظیم شده‌اند، در زمان رخداد این پدیده‌ها، به ندرت می‌توانند خود را تجهیز و آماده کنند، در نتیجه تغییر در زمان وقوع

^۱ استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
(*نویسنده مسئول: zaghera@ut.ac.ir)

^۲ دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

همکاران (۱۳۸۹) تغییرات یخبندان‌های دیرهنگام خراسان رضوی در دوره اقلیمی آینده را مورد ارزیابی قرار دادند. پژوهنده (۱۳۹۰) شدت و مدت یخبندان‌های دیررس بهاره را در نیمه غربی کشور از دیدگاه اقلیمی و همدیدی مورد بررسی قرار داد. امروزه شبیه‌سازی چشم‌انداز بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه اقلیم‌شناسان و پژوهشگران قرار گرفته است. بر همین اساس مدل‌های شبیه‌سازی چرخه عمومی جو^۵، توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف محسوب می‌شوند و قادرند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده^۶ IPCC مدل‌سازی نمایند (دیباک^۷ و کولیالی، ۲۰۰۶). یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از خروجی‌های اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آن‌ها با دقت مورد نیاز مدل‌های منطقه‌ای و هیدرولوژیک مطابقت ندارد (ویلی^۸ و دتینگر، ۲۰۰۰). جهت فائق آمدن بر قابلیت تفکیک مکانی کم این مدل‌ها که به عنوان نقطه ضعف آن‌ها در مطالعات منطقه‌ای مطرح می‌باشد، از روش ریزمقیاس‌نمایی^۹ استفاده می‌شود. مدل‌های SDSM و LARS-WG از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری می‌باشند که اخیراً کاربرد بسیاری در فعالیت‌های تحقیقاتی داشته‌اند. ویلیای و همکاران (۲۰۰۲) نخستین بار مدل SDSM را برای ریزمقیاس‌نمایی اطلاعات بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری ارائه نمودند. خان^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۶) سه روش ریزمقیاس‌نمایی، شامل مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM، مدل تولید داده LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی را برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای بارش روزانه و دماهای حداقل و حداکثر روزانه به کار بردند. مدل SDSM بهترین نتایج را در بازسازی خصوصیات داده‌های مشاهده شده نشان داد. چو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۰) مدل SDSM را به منظور ریزمقیاس

ماهیت غیر مترقبه (ناگهانی) خسارت‌های زیادی را بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی وارد می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. مطالعه آغاز و خاتمه یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره از این نظر حائز اهمیت است که بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی از جمله کشت گندم و جو پاییزه مصادف با یخبندان‌های زودرس پاییزه و گلدهی درختان میوه مصادف با یخبندان‌های دیررس بهاره است. با توجه به اهمیت زمان آغاز و خاتمه یخبندان مطالعات بسیاری در این خصوص در سراسر جهان صورت گرفته است. تام^۱ و شاو (۱۹۵۸) به بررسی اقلیمی یخبندان در آیوا پرداخته و زمان وقوع آن را با احتمالات مختلف برآورد نمودند. وایلن^۲ (۱۹۸۸) ویژگی‌های یخبندان‌ها را در فلوریدای مرکزی، بر اساس تحلیل‌های احتمالی بررسی کرد و توزیع احتمالی آن را پیش‌بینی نمود. واتکینز^۳ (۱۹۹۱) زمان شروع و خاتمه یخبندان‌ها را در انگلستان مرکزی مورد مطالعه قرار داد. با استفاده از مدل رگرسیون خطی پی برد که طول مدت فصل یخبندان در حدود دو روز برای هر دهه کاهش یافته است. استرلینگ^۴ (۲۰۰۲) به بررسی تغییرات تعداد روزهای یخبندان و طول دوره یخبندان برای نه منطقه مختلف کشور آمریکا پرداخت. با توجه به وضعیت جغرافیایی ایران و ارتفاع نسبتاً بالای نیمه غربی آن از سطح دریا و ورود جبهه‌های متفاوت به آن، وقوع سرما و یخبندان هر ساله بیشتر نقاط کشور و در برخی از سال‌ها حتی قسمت‌های جنوبی آن را در بر می‌گیرد و خسارت زیادی را به بار می‌آورد. این مسأله موجب توجه بیشتر پژوهشگران اقلیم‌شناسی و هواشناسی به آن شده است و در این زمینه تحقیقات متعددی انجام یافته است که به طور خلاصه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. علیزاده (۱۳۷۳) بر اساس مطالعه داده‌های دمای حداقل روزانه ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان خراسان و با بهره‌گیری از احتمال وقوع تجربی به تجزیه و تحلیل احتمال وقوع یخبندان‌های ملایم، متوسط و شدید پرداخت. توکلی و حسینی (۱۳۸۵) با به دست آوردن یک مدل، تاریخ اولین یخبندان پاییزه ایستگاه همدان را با توجه به تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره همان سال، پیش‌بینی کردند. اسماعیلی و

⁵ General Circulation Model

⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁷ Dibike

⁸ Wilby

⁹ Downscaling

¹⁰ Khan

¹¹ Chu

¹ Thom

² Waylen

³ Watkins

⁴ Esterling

به‌منظور یاری دادن مدیران و محققان بخش‌های مختلف مطالعاتی اجرایی در جهت تحقق اهداف برنامه‌ریزی ایجاد می‌نماید (پژوهنده، ۱۳۹۰).

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:

الف- داده‌های روزانه دمای حداقل ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب نیمه غربی کشور که از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. دوره پایه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۱، به عنوان نماینده اقلیم گذشته، در نظر گرفته‌شد. بر روی داده‌ها کنترل کیفی صورت گرفته و کلیه آزمون‌های همگنی، استقلال و کفایت داده‌ها انجام شد و خلاء داده‌ها با استفاده از ایستگاه‌های مجاور به روش نسبت‌ها برطرف شد.

ب- خروجی داده‌های شبکه‌بندی شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP¹). این داده‌ها از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ موجود بوده و همه آن‌ها نسبت به میانگین و انحراف معیار، نرمال شده‌اند.

ج- داده‌های شبیه‌سازی شده خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ به مختصات ایستگاه‌های مورد نظر. داده‌های (NCEP) و (HadCM3)، از سایت شبکه‌بندی تغییر اقلیم کانادا^۲ (www.cccsn.ec.gc.ca)، دریافت شد. این داده‌ها به عنوان ورودی نرم‌افزار SDSM، مورد استفاده قرار گرفتند. آبکار و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی حساسیت مدل SDSM به نوع داده‌های بازتحلیل نشان دادند که استفاده از داده‌های بازتحلیل شده HadCM3 به منظور شبیه‌سازی سه شاخص دمایی دمای حداکثر، دمای حداقل و دمای متوسط روزانه بهتر از داده‌های بازتحلیل شده CGCM می‌باشد به‌صورتی که میانگین خطای مطلق حاصل از داده‌های بازتحلیل شده متغیرهای دمایی فوق در مدل CGCM به ترتیب ۱۱، ۴/۵ و ۴/۷ برابر زمانی است که از داده‌های بازتحلیل شده HadCM3 استفاده می‌شود. مدل‌های گردش عمومی جو معتبرترین ابزار برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده هستند. در این تحقیق مدل HadCM3 که یکی از پرکاربردترین این مدل‌ها است و توسط مرکز هادلی در انگلستان تولید شده‌است، به کار گرفته شده‌است. همان‌طور که پیش از این بیان شد در تمامی مطالعات برای رسیدن به داده‌های با مقیاس

نمودن داده‌های دما، تبخیر و بارش در حوضه رودخانه هاپیه در چین مورد استفاده قرار دادند. دهقانی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) توانمندی مدل SDSM را در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر برای ایستگاه سینوپتیک تبریز مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM توانایی مناسبی را در کوچک‌مقیاس نمودن داده‌های بارش، دما و تبخیر دارد. همچنین اسپنانی و همکاران (۱۳۹۱) به کمک مدل SDSM به بررسی وضعیت دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش در دوره‌های آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در حوضه بهشت‌آباد کارون شمالی پرداختند. در تحقیق حاضر تغییرات تاریخ اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره با استفاده از خروجی مدل اقلیمی HadCM3 و داده‌های تولید شده برای دوره اقلیمی آینده، بررسی شده‌است و هدف از آن پیش‌بینی تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم می‌باشد. این گونه مطالعات امکان اتخاذ تصمیمات مدیریتی و تکنولوژی جدید جهت تطبیق با شرایط اقلیمی متفاوت و نیز تعدیل اثرات سوء احتمالی را فراهم می‌سازد و می‌تواند به کشاورزان و محققان در بهینه‌سازی زمان کاشت و مدیریت زراعی و تصمیم‌گیری در شرایط اقلیمی آینده کمک شایانی نماید.

مواد و روش‌ها

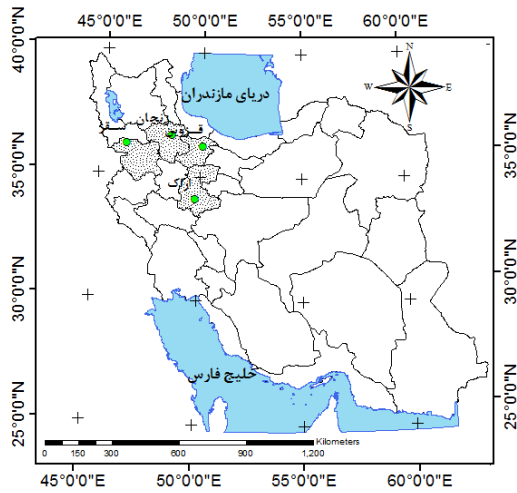
منطقه و داده‌های مورد مطالعه

در این مطالعه چهار ایستگاه هم‌دید اراک، زنجان، سقز و قزوین واقع در نیمه غربی کشور به‌عنوان ایستگاه‌های مطالعاتی انتخاب شدند. موقعیت جغرافیایی منطقه و همچنین مشخصات جغرافیایی و ویژگی‌های اقلیمی ایستگاه‌های مذکور بر اساس سیستم طبقه‌بندی دومارتن در شکل (۱) و جدول (۱) آورده شده است. ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌دلیل واقع شدن در مناطق کوهستانی و برخوردار از اقلیم سرد در اغلب سال‌ها شاهد وقوع یخبندان‌های شدید و وارد آمدن خسارات سنگین به محصولات زراعی و باغی می‌باشند. اتکای اقتصادی این مناطق به کشاورزی و ضرورت خودکفایی کشور در بخش کشاورزی که از مهم‌ترین اهداف برنامه مهم پنج ساله توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ایران است، لزوم مطالعه دقیق ویژگی‌های این پدیده و پیش‌بینی آن را

¹ National Center for Environmental Prediction

² Canadian Climate Change Senarios Network

تاریخی و صحت‌سنجی، تحلیل آماری و تولید سناریوهای اقلیمی آینده می‌باشد.



شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات اقلیمی و جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم
اراک	۳۴/۱ N	۴۹/۷۷ E	۱۷۰۸	نیمه‌خشک
زنجان	۳۶/۶۸ N	۴۸/۴۸ E	۱۶۶۳	نیمه خشک
سفر	۳۶/۲۵ N	۴۶/۲۷ E	۱۵۲۲/۸	مدیترانه‌ای
قزوین	۳۶/۲۵ N	۵۰/۰۵ E	۱۲۷۹/۲	نیمه خشک

استفاده از اطلاعات موجود دمای حداقل، پیش‌بینی انجام شده برای سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بخش تنظیم مدل با استفاده از داده‌های مستقل و سری‌های زمانی مصنوعی که به نمایندگی از اقلیم حاضر می‌باشند مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد (ویلیبی و داوسون، ۲۰۰۴). یافتن بهترین پارامترهای بزرگ‌مقیاس از بین ۲۴ پارامتر که قادر به پیش‌بینی پارامتر ریزمقیاس شونده مورد نظر باشد، کاری دشوار است. این کار با روش سعی و خطای مکرر انجام شد به صورتی که که بهترین همبستگی‌ها بین پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده به دست آید. با توجه به بررسی‌های آماری، متغیرهای بزرگ‌مقیاس انتخاب شده در جدول (۲)، به عنوان بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده برای انجام این تحقیق شناخته شدند.

جدول ۲- متغیرهای بزرگ‌مقیاس انتخاب شده در مدل SDSM

ردیف	متغیر پیش‌بینی کننده
۱	فشار متوسط سطح دریا
۲	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۳	رطوبت ویژه در سطح زمین
۴	دمای متوسط در ارتفاع ۲ متری

مناسب، استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی اجتناب‌ناپذیر است. در طبقه‌بندی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، SDSM به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های ترکیبی که شامل روش‌های مولد تصادفی داده‌های هواشناسی و روش‌های تابع تبدیل و رگرسیون می‌باشد، شناخته شده است. اساس کار این مدل برقراری رابطه رگرسیون بین داده‌های مشاهداتی ایستگاه و داده‌های NCEP و تعمیم این رابطه برای داده‌های GCM در کل بازه شبیه‌سازی ۲۰۹۹-۱۹۶۱ و تولید داده بر اساس GCM در مقیاس زمانی روزانه و مقیاس مکانی ایستگاهی می‌باشد (ابراهیم‌پور، ۱۳۹۰). در این پژوهش از نسخه 4.2 SDSM، استفاده شده است. مراحل کار با این مدل به ترتیب شامل کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده صحیح، واسنجی مدل، تولید مجدد داده‌های

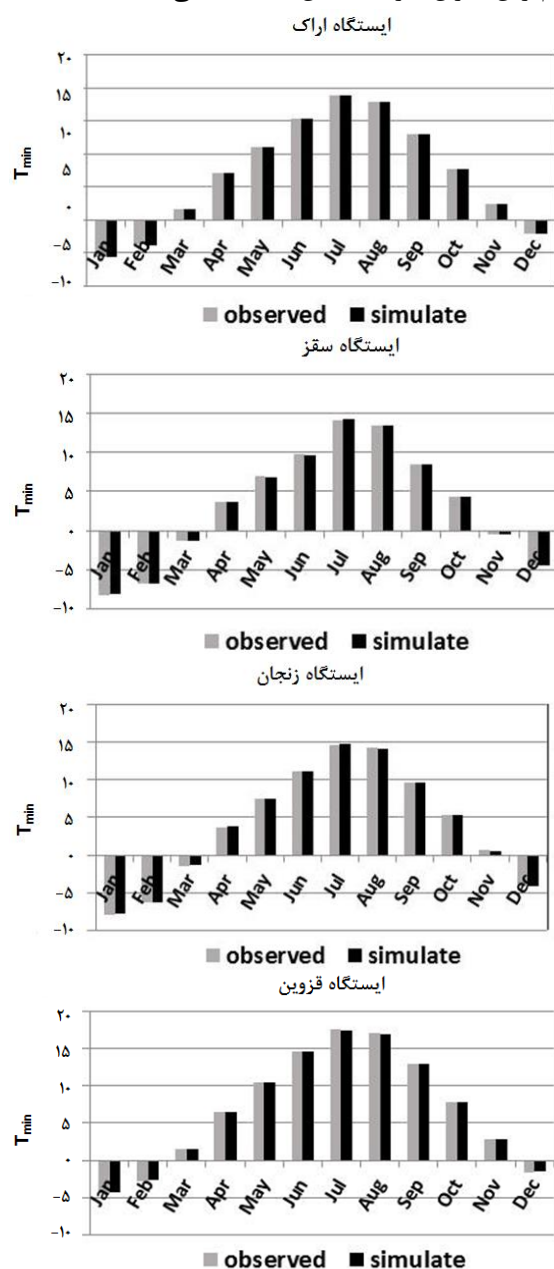
نتایج و بحث

ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3

پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل ورودی، روابط موجود بین پیش‌بینی کننده‌های بزرگ‌مقیاس (مانند فشار سطح دریا، فشار در ترازهای گوناگون، رطوبت جوی و غیره) و پیش‌بینی شونده‌های محلی (دمای حداقل روزانه) تشخیص داده شد. هدف اصلی غربال متغیرهای پیش‌بینی کننده، کمک به کاربر در انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده مناسب برای واسنجی مدل است. این مرحله یکی از پرچالش‌ترین مراحل هر مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری است چرا که انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده تا حد زیادی شخصیت سناریوی اقلیمی تغییرمقیاس یافته را تعیین می‌کند (وینکلر^۱ و همکاران، ۱۹۹۷). در گام بعدی بین داده‌های موجود NCEP و دمای حداقل در طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۱ با استفاده از مدل‌های رگرسیونی رابطه ایجاد کرده و سپس مدل به دست آمده واسنجی شد. بعد از آن با

¹ Winkler

MAE به ترتیب ۲/۰۳۱۲ و ۱/۶۲۷۱ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین میزان ضریب تبیین ۰/۹۴۱۲ می‌باشد.



شکل ۲- نتایج صحت‌سنجی مدل SDSM برای شبیه‌سازی دمای حداقل روزانه (°C) ایستگاه‌های مورد مطالعه

به طور کلی نتایج حاصل از جدول (۳) و نمودارهای شکل (۲) نشان از عملکرد موفق و توان بالای مدل SDSM در شبیه‌سازی داده‌های دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. بنابراین با توجه به اینکه اختلاف معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده دیده نمی‌شود، توانایی مدل در شبیه‌سازی و تولید داده‌های اقلیمی مورد تأیید می‌باشد.

در این مطالعه، داده‌های دمای حداقل ثبت شده در هر یک از ایستگاه‌ها با داده‌های ریزمقیاس شده روزانه توسط مدل SDSM و با به‌کارگیری خروجی مدل HadCM3، تحت دو سناریوی A2 (سناریوی انتشار با شرایط بدبینانه نسبت به افزایش گلخانه‌ای) و B2 (سناریوی انتشار با شرایط خوش‌بینانه نسبت به افزایش گلخانه‌ای)، مورد مقایسه قرار گرفتند و توان مدل SDSM، با آماره‌های مناسب مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول (۳)، عملکرد مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل بر اساس شاخص‌های R^2 (ضریب تبیین)، RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و MAE (میانگین خطای مطلق) نشان داده شده‌است.

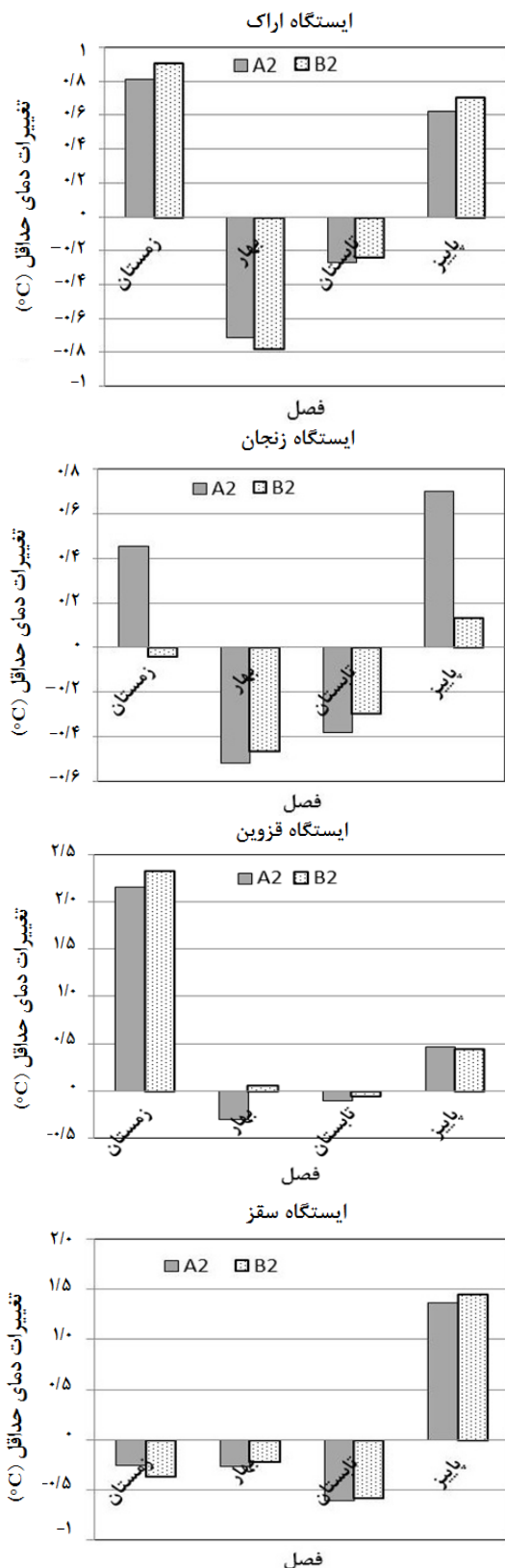
جدول ۳- شاخص‌های آماری مربوط به ارزیابی مدل SDSM در دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۶۱)

ایستگاه	R^2	RMSE (°C)	MAE (°C)
اراک	۰/۹۹	۰/۹	۱/۰
زنجان	۰/۹۴	۲/۰	۱/۶
سقز	۰/۹۷	۱/۰	۱/۶
قزوین	۰/۹۹	۱/۶	۱/۴

دو آماره مربوط به خطای یعنی RMSE و MAE نشان‌دهنده میزان تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی هستند. هر چه اعداد محاسبه شده برای این دو آماره بزرگ‌تر باشد بیان‌گر اختلاف بیشتر بین دو سری مشاهده شده و شبیه‌سازی شده است. ضریب تبیین (R^2) نیز بیان‌گر میزان نزدیکی و عدم اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده می‌باشد که هر چه مقدار آن به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نتایج حاصل مطلوب‌تر است. همچنین نمودارهای مربوط به مقایسه‌ها نیز به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه، در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که از اعداد مربوط به آماره‌های محاسبه شده در جدول (۳) مشاهده می‌شود، مدل SDSM توانسته است با دقت خوبی داده‌های دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های منتخب نیمه غربی کشور را شبیه‌سازی کند. بهترین نتایج مربوط به ایستگاه اراک با ضریب تبیین برابر ۰/۹۹۱ و مقادیر خطاهای RMSE و MAE به ترتیب ۰/۹۲۵۹ و ۱/۰۱۴۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین ایستگاه زنجان دارای بیش‌ترین میزان خطا، RMSE و

بررسی تغییرات دمای حداقل روزانه تحت سناریوهای A2 و B2 در آینده

ایستگاه سقز در ۴۰ سال آینده طبق خروجی مدل SDSM تحت سناریوهای A2 و B2 افزایش می‌یابد.



شکل ۳- چشم‌انداز تغییرات فصلی دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در ۴۰ سال آتی طبق سناریوهای A2 و B2

پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل SDSM در شبیه‌سازی داده‌های دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه با توجه به مقادیر بالای ضریب تبیین و مقادیر پایین شاخص‌های خطاسنجی محاسبه شده، این مدل برای ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده مصنوعی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۵۱ با استفاده از دو سناریوی A2 و B2 تأیید شده توسط IPCC اجرا شده و به این ترتیب مقادیر روزانه دمای حداقل برای ایستگاه‌های مورد مطالعه تولید شد. سپس خروجی مدل (داده‌های روزانه دمای حداقل در ۴۰ سال آتی)، میانگین‌گیری شده و نرمال ماهانه آن در دوره ۴۰ ساله مورد مطالعه بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم ذکر شده به دست آمد. در گام بعدی از تفاضل مقادیر نرمال ماهانه دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۵۱) از دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۶۱)، تغییرات ماهانه دمای حداقل بررسی شد و در نهایت با میانگین‌گیری از تغییرات ماهانه، تغییرات فصلی نیز به دست آمد و نمودارهای مربوطه رسم شد. در جدول (۴) نرمال‌های ماهانه حالت پایه و ۲۰ سال آینده و در جدول (۵) تغییرات ماهانه دمای حداقل روزانه در آینده نشان داده شده است. همچنین نمودارهای تغییرات فصلی پیش‌بینی شده دمای حداقل، با استفاده از مدل SDSM در دوره ۲۰۱۱-۲۰۵۱ در شکل (۳) آمده است. با نگاهی اجمالی به تغییرات ماهانه دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود که بر اساس برآورد مدل، میزان دمای حداقل در تعدادی از ماه‌های سال روند افزایشی داشته و در تعدادی دیگر مقدار آن کاهش می‌یابد. لذا این افزایش و کاهش از قاعده خاصی پیروی نکرده است. نکته قابل توجه در این جداول پیش‌بینی افزایش دمای حداقل برای ماه ژانویه در کلیه ایستگاه‌ها تحت هر دو سناریو می‌باشد. همچنین بیش‌ترین کاهش حدود ۱/۹ درجه سانتی‌گراد در ۴۰ سال آینده مربوط به ایستگاه سقز تحت سناریوی B2، در ماه فوریه و بیش‌ترین افزایش به مقدار ۴/۳ درجه سانتی‌گراد مربوط به ایستگاه قزوین تحت سناریوی A2 در ماه فوریه می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود، دمای حداقل در فصل زمستان در تمامی ایستگاه‌ها به‌غیر از

نسبت به گذشته تغییر قابل توجهی نداشته است. همچنین میزان دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز افزایش می‌یابد که بیش‌ترین مقدار این تغییرات در ایستگاه‌های زنجان و سقز و کم‌ترین مقدار آن در ایستگاه قزوین مشاهده می‌شود.

همچنین مقدار دمای حداقل روزانه فصل بهار در تمامی ایستگاه‌ها در ۴۰ سال آینده نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. تغییرات دمای حداقل فصل تابستان در ایستگاه‌های اراک، زنجان و سقز نسبت به گذشته کاهش یافته است و مقدر آن در فصل تابستان در ایستگاه قزوین

جدول ۴- نرمال‌های ماهانه دمای حداقل در دوره‌های پایه و ۴۰ سال آتی طبق سناریوهای A2 و B2

ایستگاه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
۱۹۶۱-۲۰۰۱	-۵/۷	-۳/۸	۱/۷	۷/۰	۱۱/۰	۱۵/۴	۱۸/۹	۱۸/۰	۱۳/۰	۷/۷	۲/۴	-۲/۲
A2	-۴/۱	-۲/۶	۱/۳	۵/۵	۱۰/۲	۱۵/۶	۱۹/۰	۱۷/۳	۱۲/۶	۷/۹	۳/۰	-۱/۰
B2	-۴/۳	-۲/۸	۱/۵	۵/۷	۱۰/۰	۱۵/۵	۸/۹	۱۷/۵	۱۲/۷	۷/۹	۳/۲	-۱/۰
۱۹۶۱-۲۰۰۱	-۷/۹	-۶/۲	-۱/۴	۳/۷	۷/۵	۱۱/۱	۱۴/۷	۱۴/۲	۹/۷	۵/۳	۰/۶	-۴/۲
A2	-۶/۶	-۶/۶	-۱/۰	۲/۴	۶/۹	۱۱/۴	۱۴/۸	۱۳/۶	۹/۰	۵/۲	۱/۴	-۲/۸
B2	-۶/۶	-۶/۸	-۰/۹	۲/۶	۶/۸	۱۱/۵	۱۴/۸	۱۳/۹	۹/۰	۵/۲	۱/۵	-۲/۷
۱۹۶۱-۲۰۰۱	-۸/۳	-۶/۸	-۱/۳	۳/۶	۶/۸	۹/۷	۱۴/۲	۱۳/۵	۸/۴	۴/۴	-۰/۳	-۴/۵
A2	-۷/۹	-۸/۲	-۱/۰	۲/۶	۶/۳	۱۰/۵	۱۴/۷	۱۲/۳	۷/۲	۴/۷	۱/۷	-۲/۷
B2	-۷/۸	-۸/۷	-۰/۹	۲/۶	۶/۵	۱۰/۴	۱۴/۷	۱۲/۴	۷/۲	۴/۷	۱/۹	-۲/۷
۱۹۶۱-۲۰۰۱	-۴/۵	-۲/۹	۱/۵	۶/۴	۱۰/۵	۱۴/۶	۱۷/۶	۱۷/۱	۱۲/۸	۷/۹	۲/۹	-۱/۶
A2	-۳/۸	۱/۴	۲/۹	۵/۹	۹/۸	۱۵/۰	۱۷/۸	۱۶/۶	۱۲/۹	۷/۷	۴/۲	-۱/۳
B2	-۳/۲	۱/۱	۳/۲	۵/۹	۹/۷	۱۵/۰	۱۷/۸	۱۶/۸	۱۲/۹	۷/۴	۴/۴	-۱/۳

جدول ۵- تغییرات ماهانه دمای حداقل در ۴۰ سال آتی طبق سناریوهای A2 و B2

ایستگاه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
A2	۱/۷	۱/۲	-۰/۴	-۱/۵	-۰/۸	۰/۱	۰/۱	-۰/۵	-۰/۴	۰/۱	۰/۶	۱/۲
B2	۱/۹	۱/۰	-۰/۲	-۱/۳	-۱/۰	-۰/۱	-۰/۱	-۰/۳	-۰/۳	۰/۲	۰/۸	۱/۲
A2	۱/۳	-۰/۳	۰/۴	-۱/۳	-۰/۶	۰/۴	۰/۱	-۰/۶	-۰/۷	-۰/۱	۰/۸	۱/۴
B2	۱/۳	-۰/۹	-۰/۶	-۱/۲	-۰/۶	۰/۴	۰/۱	-۰/۳	-۰/۷	-۰/۱	-۱/۰	۱/۴
A2	۰/۴	-۱/۴	۰/۳	-۱/۱	-۰/۵	۰/۷	۰/۶	-۱/۲	-۱/۲	۰/۳	۲/۰	۱/۷
B2	۰/۵	-۱/۹	۰/۳	-۱/۰	-۰/۳	۰/۷	۰/۵	-۱/۱	-۱/۲	۰/۳	۲/۲	۱/۸
A2	۰/۷	۴/۳	۱/۵	-۰/۷	-۰/۷	۰/۵	۰/۲	-۰/۵	۰/۰	-۰/۲	۱/۳	۰/۳
B2	۱/۳	۳/۹	۱/۷	۰/۵	-۰/۸	۰/۴	۰/۱	-۰/۳	۰/۰	-۰/۴	۱/۵	۰/۳

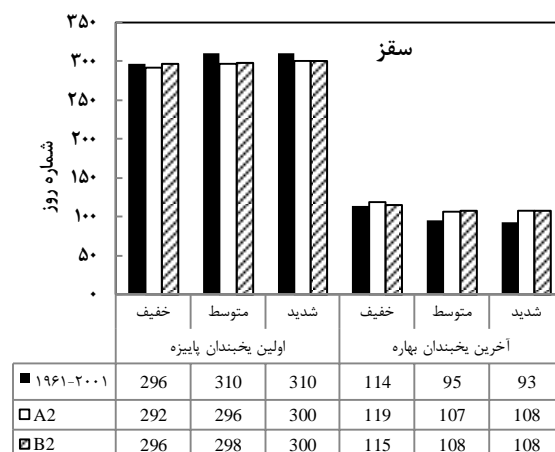
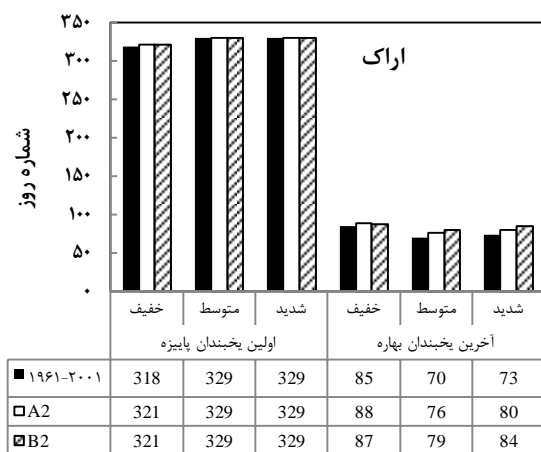
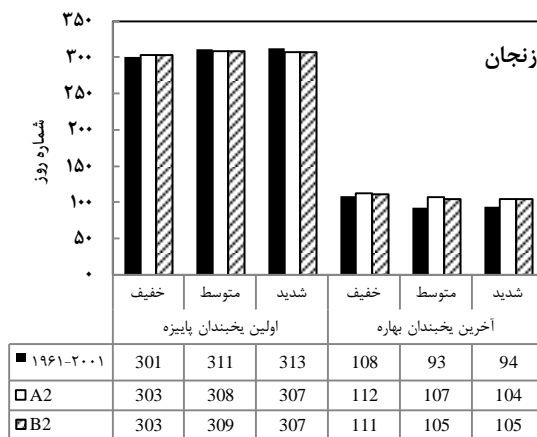
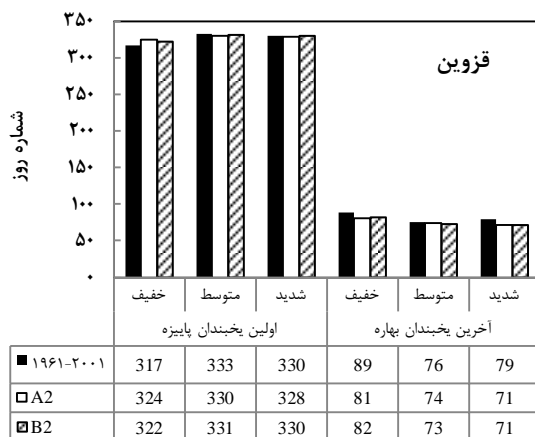
گرفته‌شد تا تاریخ‌های شروع و خاتمه یخبندان در یک سال میلادی قرار گیرند. سپس میانگین سری‌های تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان برای دوره‌های پایه (اقلیم گذشته) و ۴۰ سال آتی (اقلیم آینده) طبق سناریوهای A2 و B2 در هر سه کلاس خفیف، متوسط و شدید محاسبه و مقایسه گردید. در این مقایسه برای پی بردن به معنی‌دار بودن تفاوت میانگین متغیرهای مشاهده‌شده و متغیرهای پیش‌بینی شده از آزمون تفاضل میانگین استفاده شد که مثبت و منفی بودن این اختلاف نیز به ترتیب بیان‌گر افزایش و کاهش میانگین این متغیرها در اقلیم آینده نسبت به گذشته است. مقایسه میانگین تاریخ‌های برآورد شده و مشاهده شده در شکل (۴) به تفکیک ایستگاه

محاسبه میانگین تاریخ‌های وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره آینده نسبت به گذشته

تاریخ‌های مربوط به اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره، در سه آستانه دمایی خفیف (دمای حداقل بین صفر تا -۱ درجه سانتی‌گراد)، متوسط (دمای حداقل بین -۱/۱ تا -۲/۲ درجه سانتی‌گراد) و شدید (دمای حداقل کمتر از -۲/۲ درجه سانتی‌گراد)، برای دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۰۱ و دوره آینده ۲۰۱۱-۲۰۵۱، استخراج شد. تاریخ‌های به‌دست آمده جهت تجزیه و تحلیل به اعداد روزشمار تبدیل شدند. در روزشمار ژولیوسی اولین روز ماه ژانویه به عنوان مبدأ شمارش روزهای ژولیوسی در نظر

در ایستگاه زنجان مقایسه میانگین شماره روز اولین یخبندان برآورد شده توسط مدل SDSM و میانگین شماره روز اولین یخبندان دوره پایه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌دار و مثبت در کلاس خفیف و اختلاف معنی‌دار و منفی در کلاس‌های متوسط و شدید طبق هر دو سناریو وجود دارد. همچنین مقایسه میانگین شماره روز آخرین یخبندان برآورد شده و مشاهده شده حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار و مثبت تحت هر دو سناریو در هر سه آستانه دمایی می‌باشد.

آورده شده است. در ایستگاه اراک با مقایسه میانگین شماره روز اولین یخبندان برآورد شده توسط مدل SDSM و میانگین شماره روز اولین یخبندان دوره پایه، اختلاف معنی‌دار و منفی، طبق هر دو سناریو مشاهده می‌شود. همچنین در کلاس متوسط تفاوت معنی‌داری بین میانگین تاریخ‌ها وجود نداشت. از مقایسه میانگین شماره روز آخرین یخبندان بهار برآورد شده و مشاهده شده در هر سه کلاس، اختلاف معنی‌دار و مثبت تحت هر دو سناریو مشاهده گردید. بنابراین طول دوره یخبندان در این ایستگاه نسبت به گذشته افزایش خواهد داشت. همچنین



شکل ۴- مقایسه میانگین شماره روز آغاز و خاتمه یخبندان اقلیم گذشته و آینده طبق سناریوهای A2 و B2 در ایستگاه‌های مطالعاتی

خفیف تحت سناریو B2 که اختلافی با گذشته ندارد. همچنین مقایسه میانگین شماره روز آخرین یخبندان برآورد شده و میانگین شماره روز آخرین یخبندان مشاهده شده حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار و مثبت تحت هر دو سناریو و در هر سه آستانه دمایی می‌باشد. به‌طور کلی طول دوره یخبندان در ایستگاه سقز در آینده افزایش می‌یابد. در ایستگاه قزوین نیز مقایسه میانگین شماره روز

بنابراین طول دوره یخبندان‌های متوسط و شدید ایستگاه زنجان در آینده نسبت به گذشته افزایش خواهد داشت. در ایستگاه سقز مقایسه میانگین شماره روز اولین یخبندان برآورد شده توسط مدل SDSM و میانگین شماره روز اولین یخبندان دوره پایه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌دار و منفی در هر سه کلاس طبق هر دو سناریو وجود دارد. البته به استثناء اولین یخبندان پاییزه

طبق خروجی مدل SDSM تحت سناریوهای A2 و B2، افزایش می‌یابد. همچنین مقدار دمای حداقل روزانه فصل بهار در تمامی ایستگاه‌ها در ۴۰ سال آینده نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. تغییرات دمای حداقل فصل تابستان در ایستگاه‌های اراک، زنجان و سقز نسبت به گذشته کاهش یافته است و مقدار آن در فصل تابستان در ایستگاه قزوین نسبت به گذشته تغییر قابل توجهی نداشته است. همچنین میزان دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز افزایش می‌یابد که بیش‌ترین مقدار این تغییرات در ایستگاه‌های زنجان و سقز و کم‌ترین مقدار آن در ایستگاه قزوین مشاهده می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت ناحیه مرکزی و غربی منطقه مورد مطالعه همواره دیرتر از سایر نواحی در ۴۰ سال آینده از استیلای یخبندان خفیف بهاره خارج می‌شوند. نتایج حاصل از مدل SDSM تحت هر دو سناریو در تخمین تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس و دیررس در آینده، بسیار نزدیک به هم می‌باشد و اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند. با توجه به اهمیت بسیار زیاد این پدیده زیان‌بخش پیشنهاد می‌شود مطالعات یخبندان و پیش‌بینی‌های مورد نظر در هر منطقه از کشور با توجه به گیاهان غالب مورد کشت و براساس آستانه‌های دمایی خاص محصولات کشاورزی آن ناحیه با استفاده از مدل‌های مختلف چرخه عمومی جو انجام شود.

منابع

- آبکار، ا.، حبیب‌نژاد، م.، سلیمانی، ک.، نقوی، ه. ۱۳۹۳. حساسیت مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM به داده‌های بازتحلیل شده در مناطق خشک. خشک بوم، ۴(۲): ۱۱-۲۷.
- ابراهیم‌پور، م. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد مدل‌های SIMETAW و AquaCrop در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در شرایط موجود و سناریوهای محتمل تغییر اقلیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.
- اسپنانی، ک.، شهیدی، ع.، رستمیان، ر.، فرزانه، م. ۱۳۹۱. بررسی تغییر اقلیم در دوره‌های آتی به کمک مدل SDSM (مطالعه موردی: حوضه بهشت‌آباد کارون شمالی). اولین همایش ملی بیابان، دانشگاه تهران.
- اسماعیلی، ر.، ادب، ج.، گندمکار، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات یخبندان‌های دیر هنگام خراسان رضوی در دوره

اولین یخبندان برآورد شده توسط مدل SDSM و میانگین شماره روز اولین یخبندان دوره پایه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار و مثبت در کلاس خفیف، و معنی‌دار و منفی در کلاس متوسط است. البته به استثناء اولین یخبندان پاییزه شدید تحت سناریوی B2 که این اختلاف مشاهده نگردید. از مقایسه میانگین شماره روز آخرین یخبندان بهاره برآورد شده در هر سه آستانه دمایی اختلاف معنی‌دار و منفی تحت هر سه سناریو مشاهده شد. به‌طور کلی هر دو سناریوی A2 و B2 کاهش طول دوره یخبندان متوسط و شدید را برای ۴۰ سال آینده در ایستگاه قزوین برآورد می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر توجه به تغییرات اقلیمی به‌علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده است. در این میان وقوع یخبندان به‌خصوص یخبندان‌های دیر هنگام و زود هنگام که به دلیل داشتن ماهیت ناگهانی، خسارت‌های زیادی را بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی وارد می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. در این مطالعه تغییرات تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره به عنوان یکی از شاخص‌های اقلیمی موثر در بخش کشاورزی با استفاده از خروجی مدل اقلیمی و داده‌های تولید شده برای دوره اقلیمی آینده، بررسی شده است و هدف از آن نشان‌دادن میزان تغییرات این شاخص‌ها و مشخص شدن مناطقی از نیمه غربی کشور است که کم‌ترین و بیش‌ترین تأثیرات را از تغییرات اقلیمی تجربه خواهند کرد. به این منظور دمای حداقل روزانه توسط مدل SDSM با خروجی‌های HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 ریزمقیاس شدند و نتایج ریزمقیاس‌نمایی در دوره پایه قابل قبول بودند. با توجه به تغییرات ماهانه دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس برآورد مدل SDSM، میزان دمای حداقل در تعدادی از ماه‌های سال روند افزایشی داشته و در تعدادی دیگر مقدار آن کاهش می‌یابد. لذا این افزایش و کاهش از قاعده خاصی پیروی نمی‌کند. نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات فصلی دمای حداقل ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که دمای حداقل در فصل زمستان در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه سقز در ۴۰ سال آینده

- Esterling, D. R. 2002. Recent changes in frost days and the frost in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83(9): 1327-1332.
- Khan, M. S., Coulibaly, P., Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *J. Hydrol.*, 319(1): 357-382.
- Thom, H. C. S., Shaw, R. H. 1958. Climatological Analysis of Freeze Data for Iowa. *Mon. weather rev.*, 86(7): 251-257.
- Von Storch, H., Zorita, E., Cubasch, U. 1993. Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime. *J. Clim.*, 6(6): 1161-1171.
- Watkins, C. 1991. The annual period of freezing temperatures in Central England: 1850-1989. *Inter. J. Climatol.*, 11 (8): 889-896.
- Waylen, P. R. 1988. Statistical analysis of freezing temperatures in central and southern Florida. *J. Climatol.*, 8(6): 607-628.
- Wilby, R. L., Conway, D., Jones, P. D. 2002. Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters. *J. Hydrol. process*, 16(6): 1215-1234.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W. 2004. Statistical downscaling model: SDSM version 3.1 (software and user guide).
- Wilby, R. L., Dettinger, M. D. 2000. Streamflow changes in the Sierra Nevada, California, simulated using statistically downscaled general circulation model output. In: linking climate change to land surface change, in linking climate change to land surface change. Springer Netherlands: 99-121.
- Winkler, J. A., Palutikof, J. P., Andresen, J. A., Goodess, C. M. 1997. The simulation of daily temperature series from GCM output. Part II: Sensitivity analysis of an empirical transfer function methodology. *J. Clim.*, 10(10): 2514-2532.
- اقليمی آينده. مجموعه مقالات چهارمين كنگره بين‌المللی جغرافيدانان جهان اسلام (ICIWG 2012) دانشگاه سيستان و بلوچستان.
- اسماعيلي، ر.، گندمكار، ا.، غيور، ح. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی ميزان تغييرات اقليمی از دیدگاه کشاورزی در دوره اقليمی آينده (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). جغرافيا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴۱(۱): ۳۵-۵۲.
- پژوهنده، م. ۱۳۹۰. بررسی اقليمی و سينوپتيکی مدت و شدت يخبندان ديررس بهاره در نيمه غربی کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.
- توکلی، م.، حسینی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی شاخص‌های يخبندان و شروع پاییزه آن در ایران و مطالعه موردی ایستگاه اکباتان همدان. نشریه نیوار، ۶۰-۶۱: ۴۲-۳۱.
- دهقانی‌پور، ا.، حسن‌زاده، م.، عطاری، ج.، عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۰. ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سينوپتيک تبریز). یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر کرمان.
- علیزاده، ا. ۱۳۷۳. تاریخ وقوع اولین يخبندان‌های پاییزه و آخرین يخبندان‌های بهاره در استان خراسان. نشریه نیوار، ۲۴: ۳۶-۲۴.
- Chu, J. T., Xia, J., Xu, C. Y., Singh, V. P. 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihee River. *Theor. Appl. Climatol.*, 99(1-2): 149-161.
- Dibike, B. Y., Coulibaly, P. 2006. Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes. *J. Neural Netw.*, 19(2): 135-144.

Projection of the early fall and late spring frosts under climate change condition with SDSM model in several selected stations in the mid-western Iran

Z. Agha Shariatmadari^{*1}, J. Baszrafshan², S. E. Safaei³

Received: 12/10/2015

Accepted: 14/07/2016

Abstract

In recent years, many researchers have studied change in extreme climatic events (such as the early fall and late spring frosts) due to climate change. This research is aimed to evaluate the future changes in the beginning and ending dates of frost events on the basis of the HadCM3 data under two scenarios A2 and B2, which were downscaled through the SDSM software at four selected stations in western half of Iran including Arak, Zanzan, Qazvin and Saghez. To this end, the downscaling model was calibrated based on the 40-year (1961-2001) minimum daily temperature data of four selected stations in the western half of Iran. The calibrated model, then, was employed to downscale the projected minimum daily temperature data at the stations of interest for the period 2011-2051. The first and late frost dates were extracted in three temperature thresholds of slight, moderate and severe. Results showed that the future fall frost date of Qazvin station will be later and Saghez station will be sooner in comparison to the other stations. The future spring frost date of Qazvin station will be sooner and Saghez station will be later in comparison to the other stations. In general, the findings revealed that SDSM outputs under both scenarios had no significant difference in projection of the first and late frost dates.

Keywords: Downscaling, Frost, SDSM, HadCM3, Iran



¹ Assistant Professor, University of Tehran, Iran

(*Corresponding author email address: zagha@ut.ac.ir)

² Associate Professor, University of Tehran, Iran

³ M. Sc. Student of Agricultural Meteorology, University of Tehran, Iran