

دورنمایی از تغییرات احتمالی ویژگی‌های یخبندان در استان کردستان

دکتر پیمان محمودی^۱، محمد دارائی^۲

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان. زاهدان. ایران

۲- محمد دارائی: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز. تبریز. ایران

ایمیل: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

چکیده:

در این پژوهش اثر گرمایش جهانی بر تغییرات احتمالی ویژگی‌های یخبندان استان کردستان طی بازه‌ی زمانی (۱۹۸۱-۲۰۱۰) و برون‌داد دو مدل ریزگردانی شده‌ی گردش عمومی جو HADCM3 و GFCM21 با استفاده از LARS-WG برای بازه‌های زمانی (۲۰۴۵-۲۰۶۵) و (۲۰۸۰-۲۰۹۹) ، تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که به دلیل جابجایی تاریخ رخداد اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره به سمت زمستان در هر دو ایستگاه سنج و سقز طول دوره‌ی یخبندان کاهش خواهد یافت و طول دوره‌ی رشد افزایش می‌یابد. همچنین میزان جابجایی تاریخ رخداد یخبندان‌های بهاره به سمت زمستان در هر دو دهه بیشتر از میزان جابجایی یخبندان‌های پاییزه به سمت زمستان است. فراوانی روزهای یخبندان در هر دو ایستگاه کاهش یافته است. در دهه‌ی ۵۰ در سنج بر اساس سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 به ترتیب ۳۱، ۲۷ و ۱۹ روز و در سقز ۳۰، ۲۵ و ۱۹ روز کم می‌شود. در دهه‌ی ۹۰ در سنج ۴۳، ۵۰ و ۲۹ روز و در سقز ۴۲، ۴۹ و ۲۸ روز شمار روزهای یخبندان کمتر خواهد شد.

کلمات کلیدی: گرمایش جهانی، یخبندان، استان کردستان، LARS-WG.

۱. مقدمه

یکی از بزرگترین چالش‌های کنونی که با گذشت زمان بر ابعاد آن نیز افزوده می‌شود مسأله‌ی "گرمایش جهانی" است. این مسأله بر حیات جانوران، کشاورزی، محیط زیست و از همه نگران کننده‌تر بر زندگی انسان تاثیرگذار است. روند خطی محاسبات نشان از گرم شدن ۰/۸۵ (۱/۶-۰/۶۵) درجه‌ی سلسیوس میانگین دمای هوای کره‌ی زمین دارد [۱]. در ایران بیشترین میزان افزایش میانگین دما در دمای کمینه رخ داده است [۲ و ۳]. از طرفی پوشش گیاهی و کارکرد اکوسیستم‌های مناطق معتدل به وسیله‌ی فرآیندهای زیست محیطی زمستان کنترل می‌شود، شرایط زمستان در معرض تغییرات سریع آب و هواست. وابستگی گیاهان و استراتژی‌های گذران زمستان آن‌ها به پارامترهای آب و هوایی همراه با احتمال از دست رفتن پوشش برف طولانی مدت، به ویژه منطقه‌ی معتدل را نسبت به تغییرات آب و هوایی زمستان آسیب پذیر ساخته است [۴]. بخش کشاورزی وابسته‌ترین بخش به اقلیم است و اقلیم تعیین کننده‌ی اصلی زمان، مکان، منابع تولید و بهره‌وری فعالیت‌های کشاورزی است [۵]. گرمایش جهانی سبب تغییراتی در شاخص‌های اقلیم کشاورزی از جمله یخبندان شده است. یخبندان یکی از پدیده‌های جوی است که در بسیاری از قسمت‌های این کره‌ی خاکی فعالیت‌های کشاورزی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل بررسی جنبه‌های گوناگون یخبندان از دیر باز مورد توجه پژوهشگران بوده است. تاریخ رخداد اولین دمای صفر درجه در پائیز و آخرین رخداد آن در بهار به لحاظ کشاورزی دارای اهمیت می‌باشد. لذا از دیرباز آگاهی از این تاریخ‌ها، مورد توجه محققین بخش هواشناسی و اقلیم شناسی در نقاط گوناگون جهان بوده است و نتایج پژوهش‌های حاکی از تأخیر در رخداد یخبندان‌های پاییزه و وقوع زودتر یخبندان‌های بهاره است [۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱]. در ایران نیز بررسی‌های [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶] نشان از جابه جایی تاریخ رخداد یخبندان‌های پاییزه و بهاره به سمت زمستان دارد. نتایج بررسی‌های صورت گرفته روی طول دوره‌ی رشد بیانگر آن است که در مقیاس جهانی در سه دهه‌ی آخر قرن بیستم ۲۰-۱۰ روز افزایش یافته است [۱۷ و ۱۸].

گرمایش جهانی و افزایش دمای شبانه منجر به کاهش شمار روزهای یخبندان در بسیاری از نقاط کره‌ی زمین شده است [۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳]. در ایران نیز پژوهش‌های [۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۲۷] موید کاهش شمار فراوانی روزهای یخبندان است. هدف این پژوهش تبیین اثر گرمایش جهانی بر شاخص‌های اقلیم کشاورزی مانند: تاریخ رخداد یخبندان‌های دیررس بهاره، زودرس پاییزه، طول دوره‌ی یخبندان و طول دوره‌ی رشد و فراوانی روزهای یخبندان در استان کردستان است. زیرا آگاهی از رخداد زمانی-مکانی این شاخص‌ها در تعیین گونه‌ها، زمان مناسب جهت کاشت و اتخاذ روش‌های حفاظتی گیاهان در برابر یخبندان در منطقه اهمیت فراوانی دارد.

۲. داده‌ها و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز پژوهش شامل دو گروه داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده است. داده‌های مشاهداتی شامل: مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه‌ی روزانه‌ی ایستگاه‌های همدید سقز و سنندج در استان کردستان که دارای داده‌ی کامل سی سال (۱۹۸۱-۲۰۱۰) هستند از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است (شکل ۱)، (جدول ۱). گروه دوم داده‌های شبیه‌سازی شده‌ی دوره‌ی آینده (دهه‌ی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) با استفاده از برونداد ریزگردانی شده‌ی مدل‌های گردش عمومی جو در نسخه‌ی ۵ مدل LARS-WG و بر اساس سناریوهای انتشار (B1, A2, A1B) تولید شدند.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	طول دوره‌ی آماری
۱	سقز	۳۶° ۱۵'	۴۶° ۱۶'	۱۵۲۲/۸	۱۹۸۱-۲۰۱۰
۲	سندج	۳۵° ۲۳'	۴۷° ۰۰'	۱۳۷۳	۱۹۸۱-۲۰۱۰



شکل ۱ - نقشه‌ی موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه

مدل LARS-WG برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای به کار می‌برد. سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های کمیته و بیشینه‌ی روزانه به صورت فرایندهای تصادفی و با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند، سری فوریه‌ی مرتبه‌ی سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌رود. رفتار حاکم بر مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیده بانی شده بدست می‌آیند، از طریق تحلیل خود همبستگی زمانی داده‌های کمیته و بیشینه به دست می‌آیند [۲۸]. مدل در سه مرحله‌ی واسنجی، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی انجام می‌شود. نیاز اساسی در مرحله‌ی واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده‌ی رفتار اقلیم در دوره‌ی گذشته می‌باشد. این فایل با استفاده از داده‌های مشاهداتی دوره‌ی پایه تهیه شده و مدل بر اساس آن اجرا می‌شود. برای مدل‌سازی آینده در ابتدا مدل بایستی آگاهی و شناخت کافی از رفتار آماری دوره دیدبانی را داشته باشد. این شناخت با خوراندن داده‌های روزانه‌ی دیدبانی به مدل در بخش ارزیابی مدل صورت می‌گیرد که نهایتاً منجر به تولید فایلی با پسوند wgx می‌شود. در بخش ارزیابی داده‌های آب و هوایی دیده‌بانی شده برای تعیین ویژگی‌های آماری‌شان تحلیل می‌شوند. در صورتی که نتایج به دست آمده از مقایسه‌ی داده‌های تولیدی مدل با داده‌های دیده بانی قابل قبول باشد؛ می‌توان آن‌ها را در سناریوهای آب و هوایی آینده مورد استفاده قرار داد. برای ارزیابی اینکه توزیع احتمال داده‌های تولید شده نزدیک به توزیع احتمال داده‌های دیده‌بانی ایستگاه‌های مورد بررسی است یا نه؛ توزیع احتمالاتی داده‌های دیده‌بانی و داده‌های شبیه‌سازی شده، در گزینه‌ی Q Test با استفاده از آزمون نکویی برازش کای اسکوئر و میانگین و انحراف معیار داده‌ها با آزمون T در سطح معناداری ۹۵٪ بررسی می‌شوند.

در این پژوهش برای بررسی عدم قطعیت از روش بوت استرپ استفاده شد. روش بوت استرپ افرون برای برآورد میزان دقت برآوردگرها، هنگام مشاهدات مستقل کاربرد دارد [۲۹]. برای محاسبه‌ی فاصله‌ی اطمینان روش بوت استرپ در نرم افزار spss، ابتدا سری زمانی ماهانه‌ی دمای کمیته‌ی ۳۰ ساله‌ی ایستگاه‌ها (۱۹۸۱-۲۰۱۰) با استفاده از خروجی (baseline) لارس تهیه شد و محدوده‌ی بالا و پایین معناداری

میانگین و انحراف معیار دمای کمینه ماهانه هر ایستگاه در سطح ۹۹٪ محاسبه و با میانگین و انحراف معیار دمای کمینه داده‌های دیده-بانی مقایسه شدند. هرگاه مقادیر برآوردی مدل‌ها در محدوده اطمینان داده‌های مشاهداتی قرار گیرد، بیانگر اطمینان در سطح اعتماد مورد نظر می‌باشد و در صورتی که خارج از محدوده باشد، بیانگر عدم اطمینان به مقدار برآوردی است.

به دلیل وجود عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های اقلیمی ناشی از تفاوت‌های ساختاری در مدل‌های اقلیمی جهانی و همچنین عدم قطعیت در تغییرات شرایط اولیه یا پارامتری کردن مدل، استفاده از چند مدل و سناریو در پیش‌بینی‌ها توصیه می‌شود [۳۰]. اجرای چند مدل و سناریو، گستره‌ی وسیعی را برای تحلیل ایجاد می‌کند. با انجام این کار می‌توان عدم قطعیت را در تولید داده‌های اقلیمی آینده به حداقل رساند. از مجموعه‌ی ۱۵ مدل لارس، مدل HadCM3، مدل مرکز آب و هوای هدلی انگلستان با حساسیت متوسط، و دیگری با حساسیت بالا نسبت به گازهای گلخانه‌ای، مدل سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا GFCM21، انتخاب شدند. داده‌های شبیه‌سازی شده با این دو مدل برای بازه‌های زمانی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) و (۲۰۹۹-۲۰۸۰)، تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 اجرا و تولید شدند. بعد از تشکیل بانک اطلاعاتی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، بازه‌ی زمانی ۳۰۳ روزه جهت مطالعه انتخاب شد. یعنی اول شهریور به عنوان روز مینا انتخاب و روزهای دیگر به ترتیب، نسبت به این مبدأ شمارش شدند و آخرین روز ۳۱ خرداد در نظر گرفته شد. پس از تنظیم داده‌ها بر اساس روز ژولوس، ۵ شاخص یخبندان: تاریخ رخداد اولین روز یخبندان پاییزه و واپسین روز یخبندان بهار، میانگین طول دوره‌ی رشد، میانگین دوره‌ی یخبندان و فراوانی روزهای یخبندان برای هر ایستگاه به صورت جداگانه استخراج گردیدند. سپس برای مقایسه‌ی تغییرات احتمالی شاخص‌های یخبندان در دهه-های آتی اختلاف داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی در اقلیم میانی و دور با دو مدل و تحت سه سناریو محاسبه و تحلیل شد.

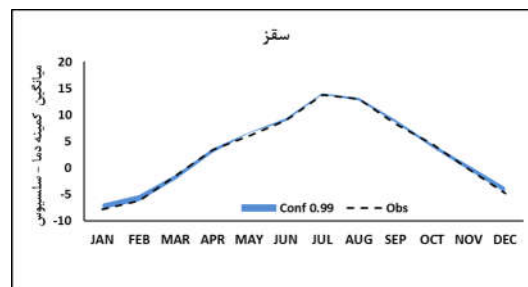
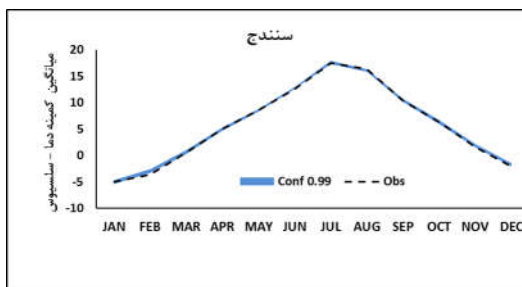
۳. بحث و نتایج

• روایی مدل لارس

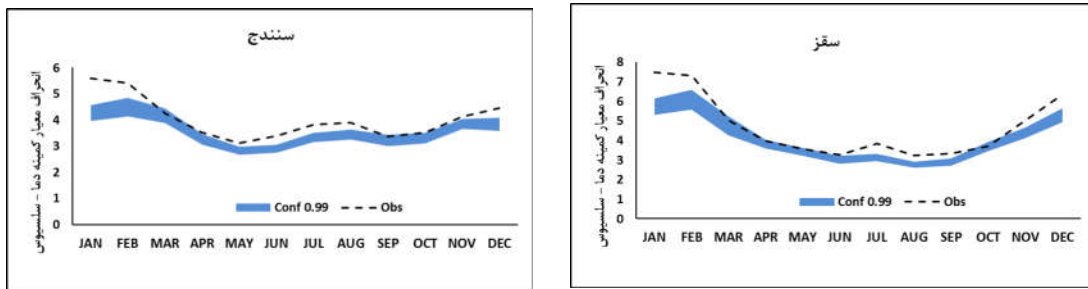
بررسی نتایج روایی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های کمینه دما حاکی است که نتایج آزمون t-test و k-s روی داده‌های ماهانه دیده-بانی و تولیدی هر دو ایستگاه در سطح ۹۵٪ معنی دار بود و می‌توان گفت که مدل LARS-WG از توانایی قابل قبولی جهت شبیه‌سازی داده‌های دمای کمینه ایستگاه‌های مورد مطالعه برخوردار است.

• تحلیل عدم قطعیت

نمودار بوت استراپ میانگین کمینه دما در (شکل ۲) بیانگر آن است که دمای کمینه ایستگاه سنندج در ۱۰ ماه و در سقز در ۱۱ ماه محدوده‌ی اطمینان ۹۹٪ قرار دارد. فاصله اطمینان انحراف معیار دمای کمینه حاکی است که در ایستگاه سنندج ۳ ماه، در ماه و در سقز ۲ ماه در محدوده قرار دارد. در هر دو ایستگاه بیشتر ماه‌ها انحراف معیار داده‌های دیده بانی فاصله‌ی زیادی با سطح اطمینان مورد نظر ندارد (شکل ۳). مدل لارس دارای عدم قطعیت زیادی در برآورد داده‌های شبیه‌سازی نیست. که برای کاهش آن چنانکه ذکر شد از دو مدل و سه سناریو بهره گرفته شده است.



شکل ۲. نمودار بوت استراپ میانگین کمینه دما در سطح معناداری ۹۹٪



شکل ۳. نمودار بوت‌استرپ انحراف معیار کمینه دما در سطح معناداری ۹۹٪

• میانگین شاخص‌های یخبندان دوره‌ی مشاهداتی (۱۹۸۱-۲۰۱۰)

میانگین تاریخ رخداد نخستین یخبندان پاییزه (آستانه‌ی دمایی صفر و زیر صفر درجه‌ی سانتیگراد) در سنندج در دوره‌ی مشاهداتی (۱۹۸۱-۲۰۱۰) دهم آبان و در ایستگاه سقز ۲۹ مهر است. میانگین تاریخ رخداد واپسین یخبندان بهار در سنندج ۲۰ فروردین و در سقز ۱۳ اردیبهشت است. فاصله‌ی زمانی بین آخرین روز غیر یخبندان در پاییز یا اوایل زمستان و اولین روز غیر یخبندان در اواخر زمستان یا اوایل بهار، طول دوره یخبندان نام دارد، در سنندج ۱۵۹ روز و در سقز ۱۹۵ روز است. فاصله‌ی زمانی بین پایان یخبندان در بهار و آغاز یخبندان در پاییز در آستانه‌ی صفر درجه سانتی‌گراد و کمتر که از آن به عنوان فصل رشد نام برده می‌شود در سنندج ۲۰۶ روز و در سقز ۱۷۰ روز است. یخبندان در سقز نسبت به سنندج ۱۱ روز زودتر رخ می‌دهد و ۲۴ روز دیرتر خاتمه می‌یابد. در نتیجه سقز دوره‌ی یخبندان طولانی‌تر و دوره‌ی رشد کوتاه‌تری دارد. میانگین فراوانی روزهای یخبندان؛ یعنی مجموع روزهایی که در آن‌ها دمای حداقل روزانه معادل صفر یا پایین‌تر از صفر درجه‌ی سانتیگراد است، در سنندج ۹۹ روز و در سقز ۱۲۳ روز است.

• شاخص‌های یخبندان داده‌های شبیه‌سازی شده‌ی اقلیم میانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و دور (۲۰۸۰-۲۰۹۹)

در دهه‌ی ۵۰ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) میانگین اولین یخبندان پاییزه در سنندج بر مبنای سناریوی A1B با ۹ روز تأخیر نسبت به دوره‌ی مشاهداتی ۱۹ آبان رخ خواهد داشت و در سقز نیز ۹ روز دیرتر در ۸ آبان به وقوع خواهد پیوست. تحت سناریوی A2 در سنندج ۱۷ آبان و در سقز ۳ آبان رخ می‌دهد یعنی به ترتیب ۷ و ۴ روز در مقایسه با دوره‌ی دیده‌بانی دیرتر آغاز می‌شوند. در سناریوی خوشبینانه‌ی B1 تغییرات کمتر است. در سنندج ۱۴ آبان و در سقز سی‌ام مهر رخ خواهد داد.

آخرین یخبندان بهار در سنندج بر مبنای سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 به ترتیب ۱۳، ۱۲ و ۹ روز زودتر، در تاریخ ۷، ۸ و ۱۱ فروردین و در سقز ۲۲، ۱۸ و ۱۶ روز زودتر، در تاریخ ۲۲، ۲۴ و ۲۶ فروردین به وقوع خواهد پیوست.

در دهه‌ی ۹۰ (۲۰۸۰-۲۰۹۹) نخستین یخبندان سنندج به ترتیب با ۱۰، ۱۸ و ۸ روز تأخیر؛ یعنی ۲۰، ۲۸ و ۱۸ آبان اتفاق خواهد افتاد. در سقز ۱۴، ۱۷ و ۷ روز دیرتر، در روزهای ۱۳، ۱۶ و ۷ آبان ماه رخ می‌دهد. واپسین یخبندان بهار در سنندج ۱۷، ۲۱ و ۱۴ روز زودتر در ۳ فروردین، ۲۸ اسفند و ۶ فروردین و در سقز ۲۹، ۳۲ و ۲۰ روز زودتر در روزهای ۱۵، ۱۲ و ۲۴ فروردین رخ خواهد داد. میزان جابجایی تاریخ رخداد یخبندان‌های بهار به سمت زمستان در هر دو دهه بیشتر از میزان جابجایی یخبندان‌های پاییزه به سمت زمستان است.

طول دوره‌ی یخبندان به دلیل جابجایی تاریخ رخداد اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهار به سمت زمستان در هر دو ایستگاه در اقلیم میانی و دور کوتاه‌تر شده است. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در ایران حاکی است که با جابجایی تاریخ کاشت گندم دیم به سمت زمستان، دوره‌ی رشد گندم زمستانه کاهش می‌یابد و این امر موجب کاهش تولید گندم خواهد شد [۳۱ و ۳۲]. در سنندج در اقلیم میانی بر اساس سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب ۲۱، ۱۹ و ۱۲ روز کوتاه‌تر و در اقلیم دور ۲۶، ۳۸ و ۲۱ روز کوتاه‌تر خواهد شد. در سقز در دهه‌ی ۵۰ میزان تغییر نسبت به دوره‌ی دیده‌بانی ۳۱، ۲۲ و ۱۷ روز و در اقلیم دور ۴۳، ۴۹ و ۲۴ روز کوتاه‌تر خواهد شد.

طول دوره‌ی رشد در هر دو ایستگاه با جابجایی تاریخی رخداد یخبندان‌های زودرس و دیررس به سمت زمستان افزایش یافته است. افزایش طول دوره‌ی رشد از طریق افزایش تبخیر و تعرق، تخلیه‌ی رطوبت خاک و کاهش جریان منجر به تغییر چرخه‌ی هیدرولوژیک می‌شود و به علاوه باعث نیاز آبی بیشتر گیاهان و در نهایت استفاده‌ی بیشتر از آب می‌شود [۳۳ و ۳۴]. بررسی‌های انجام گرفته در قسمت‌های مختلف ایران طی اقلیم دهه‌های آتی نشان از افزایش دما در تمام ماه‌های سال دارد. در نتیجه؛ نیاز آبی محصولات افزایش یافته و منطقه با یک روند فزاینده‌ی حجم تقاضای آب مواجه خواهد شد و این مسئله در کشور ایران که در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک قرار دارد و از کم آبی رنج می‌برد حائز اهمیت فراوان است [۳۵، ۳۶ و ۳۷]. طول دوره‌ی رشد در سنندج در اقلیم میانی ۲۱، ۱۹ و ۲۲ روز و در سقز ۳۱، ۲۲ و ۱۷ روز در اقلیم دور در سنندج ۲۶، ۳۸ و ۲۱ روز و در سقز ۴۳، ۴۹ و ۳۶ روز طولانی‌تر خواهد شد. فراوانی روزهای یخبندان در هر دو ایستگاه کاهش یافته است. در دهه‌ی ۵۰ در سنندج ۳۱، ۲۷ و ۱۹ روز و در سقز ۳۰، ۲۵ و ۱۹ روز کم شده است. در دهه‌ی ۹۰ در سنندج ۴۳، ۵۰ و ۲۹ روز و در سقز ۴۲، ۴۹ و ۲۸ روز کمتر خواهد شد.

جدول ۲. شاخص‌های یخبندان داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی اقلیم میانی و دور دهه‌های آتی ایستگاه سنندج

دوره	۲۰۱۰-۱۹۸۱	۲۰۶۵-۲۰۴۶			۲۰۹۹-۲۰۸۱		
		A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
شاخص							
اولین روز یخبندان، ژولایوسی	۷۱	۸۰	۷۸	۷۵	۸۱	۸۹	۷۹
آخرین روز یخبندان، ژولایوسی	۲۳۰	۲۱۷	۲۱۸	۲۲۱	۲۱۳	۲۰۹	۲۱۶
طول دوره یخبندان	۱۵۹	۱۳۸	۱۴۰	۱۴۷	۱۳۳	۱۲۱	۱۳۸
طول دوره‌ی رشد	۲۰۶	۲۲۷	۲۲۵	۲۱۸	۲۳۲	۲۴۴	۲۲۷
فراوانی روزهای یخبندان	۹۹	۶۸	۷۲	۸۰	۵۶	۴۹	۷۰

جدول ۳. شاخص‌های یخبندان داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی اقلیم میانی و دور دهه‌های آتی ایستگاه سقز

دوره	۲۰۱۰-۱۹۸۱	۲۰۶۵-۲۰۴۶			۲۰۹۹-۲۰۸۱		
		A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
شاخص							
اولین روز یخبندان، ژولایوسی	۶۰	۶۹	۶۴	۶۱	۷۴	۷۷	۶۷
آخرین روز یخبندان، ژولایوسی	۲۵۴	۲۳۲	۲۳۶	۲۳۸	۲۲۵	۲۲۲	۲۳۴
طول دوره یخبندان	۱۹۵	۱۶۴	۱۷۳	۱۷۸	۱۵۲	۱۴۶	۱۶۹
طول دوره‌ی رشد	۱۷۰	۲۰۱	۱۹۲	۱۸۷	۲۱۳	۲۱۹	۱۹۶
فراوانی روزهای یخبندان	۱۲۳	۹۳	۹۸	۱۰۴	۸۱	۷۴	۹۵

۴. نتیجه‌گیری

نتایج دست آمده از شبیه‌سازی‌های مدل‌های گردش عمومی جو در دیگر نقاط کشور و جهان؛ نشان از رخداد تغییرات در شاخص‌های یخبندان در دهه‌های آتی دارد و همچنین روند دهه‌های اخیر نیز موید آن است. با توجه به اتکای اقتصاد استان کردستان به کشاورزی و واقع شدن در منطقه‌ی کوهستانی ایران و برخورداری از اقلیم سرد، در غالب سال‌ها شاهد وقوع یخبندان‌های شدید و وارد آمدن خسارت‌های سنگین بر محصولات زراعی است. در این پژوهش اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های یخبندان دو ایستگاه سنندج و سقز در استان کردستان با استفاده از برون‌داد مدل‌های ریزگردانی شده‌ی گردش عمومی جو، تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با جابجایی تاریخ رخداد اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره به سمت زمستان در هر دو ایستگاه سنندج و سقز طول دوره‌ی یخبندان کاهش و طول دوره‌ی رشد افزایش می‌یابد. همچنین میزان جابجایی تاریخ رخداد یخبندان‌های بهاره به سمت زمستان در هر دو دهه بیشتر از میزان جابجایی یخبندان‌های پاییزه به سمت زمستان است. فراوانی روزهای یخبندان در هر دو ایستگاه کاهش یافته است به گونه‌ای که در دهه‌ی ۵۰ در سنندج بر اساس سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 به ترتیب ۳۱، ۲۷ و ۱۹ روز و در سقز ۳۰، ۲۵ و ۱۹ روز کم می‌شود. در دهه‌ی ۹۰ در سنندج ۴۳، ۵۰ و ۲۹ روز و در سقز ۴۲، ۴۹ و ۲۸ روز شمار روزهای یخبندان کمتر خواهد شد.

۵. مراجع

- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & Dubash, N. K. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- علیجانی، بهلول، پیمان محمودی، محمد سلیقه و اله بخش ریگی چاهی (۱۳۹۰). بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۳، شماره ۳، صص ۱۰۱-۱۲۲.
- Ghasemi, A. R. (2015). Changes and trends in maximum, minimum and mean temperature series in Iran. *Atmospheric Science Letters*, 16(3), 366-372.
- Kreyling, J. (2010). Winter climate change: a critical factor for temperate vegetation performance. *Ecology*, 91(7), 1939-1948.
- Reilly, J. (1999). What does climate change mean for agriculture in developing countries? A comment on Mendelsohn and Dinar. *The World Bank Research Observer*, 14(2), 295-305.
- Easterling, D. R. (2002). Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(9), 1327.
- Scheifinger, H., Menzel, A., Koch, E., & Peter, C. (2003). Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 74(1-2), 41-51.
- Auer, I., C. Matulla, R. Bohm, M. Ungersbock, M. Maugeri, T. Nanni, and R. Pastorelli (2005). Sensitivity of frost occurrence to temperature variability in the European Alps. *International journal of climatology*, 25, Pages 1749-1766.
- Anandhi, A., Perumal, S., Gowda, P. H., Knapp, M., Hutchinson, S., Harrington Jr, J., ... & Rice, C. W. (2013). Long-term spatial and temporal trends in frost indices in Kansas, USA. *Climatic Change*, 120(1-2), 169-181.
- Skaggs, K. E., & Irmak, S. (2012). Long-term trends in air temperature distribution and extremes, growing degree-days, and spring and fall frosts for climate impact assessments on agricultural practices in Nebraska. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(11), 2060-2073.
- Crimp, S. J., Gobbett, D., Kokic, P., Nidumolu, U., Howden, M., & Nicholls, N. (2016). Recent seasonal and long-term changes in southern Australian frost occurrence. *Climatic Change*, 139(1), 115-128.
- نصیری محلاتی، مهدی، علیرضا کوچکی، غلامعلی کمالی و حسن مرعشی (۱۳۸۵). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های اقلیم کشاورزی ایران. نشریه علوم و صنایع کشاورزی، جلد ۲۰، شماره ۷، صص ۷۱-۸۲.

۱۳. نوحی، کیوان، مژده پدرام، فاطمه صحرائیان و غلامعلی کمالی (۱۳۸۶). بررسی و تحلیل تاریخ آغاز و پایان یخبندان های تابشی-فرارفتی و فرارفتی در استان های آذربایجان غربی و شرقی. فصلنامه پژوهش و سازندگی، شماره ۷۵، صص ۸۵-۷۸.
۱۴. طاوسی، تقی و جعفر درخش (۱۳۸۹). تحلیل آماری احتمال رخداد و دوره های برگشت یخبندان های زودرس و دیررس زاهدان در دوره آماری (۱۳۶۰-۱۳۸۶). مجله علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دهم، شماره ۳۰، صص ۱۰۴-۸۹.
۱۵. اسماعیلی، رضا و منصوره کوهی (۱۳۹۱). پهنه بندی وقوع آخرین یخبندان های دیررس خراسان رضوی با استفاده از خروجی مدل اقلیمی. فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال پنجم، شماره ۱۷، صص ۹۳-۸۳.
۱۶. بهیار، محمد باقر، مرضیه خیراندیش و محمدتقی زمانیان (۱۳۹۳). بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر شماره روز اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهار در ایران با استفاده از ریز مقیاس نمایی SDSM. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، سال چهارم، شماره پانزدهم و شانزدهم، صص ۱۲۸-۱۱۷.
17. Chen, X., Hu, B., & Yu, R. (2005). Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China. *Global Change Biology*, 11(7), 1118-1130.
18. Linderholm, H. W. (2006). Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137(1), 1-14.
19. Salinger, M. J., & Griffiths, G. M. (2001). Trends in New Zealand daily temperature and rainfall extremes. *International Journal of Climatology*, 21(12), 1437-1452.
20. Loginov, V. F., V. S. Mikutskii, and G. P. Kuznetsov (2007). Statistical and probability analysis of frost in Belarus. *Russian Meteorology and Hydrology*, Volume 32, Number 10, Pages 651-657.
21. Sinha, T., & Cherkauer, K. A. (2010). Impacts of future climate change on soil frost in the midwestern United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D8).
22. Erlat, E., & Türkeş, M. (2012). Analysis of observed variability and trends in numbers of frost days in Turkey for the period 1950–2010. *International Journal of Climatology*, 32(12), 1889-1898.
23. Zheng, B., Chapman, S. C., Christopher, J. T., Frederiks, T. M., & Chenu, K. (2015). Predicting heading date and frost impact in wheat across Australia. In 17th Australian Agronomy Conference.
۲۴. صداقت کردار، عبا... و فاطمه رحیم زاده (۱۳۸۶). تغییرات طول دوره رشد گیاهی در نیمه دوم قرن بیستم در کشور. فصلنامه پژوهش و سازندگی، شماره ۷۵، تابستان، صص ۱۹۳-۱۸۲.
۲۵. لشکری، حسن و قاسم کیخسروی (۱۳۸۷). روند تغییرات دمایی و یخبندان در شهر تهران و میزان شباهت ایستگاههای مورد مطالعه با استفاده از ضرایب آماری و اقلیمی، طی دوره‌ی آماری (۱۳۸۴-۱۳۶۴). نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، سال ۱۴، شماره ۷۱-۲۸، صفحات ۲۳۱-۱۹۱.
۲۶. مسعودیان، سید ابوالفضل و محمد دارند (۱۳۹۲). بررسی روند تعداد روزهای یخبندان ایران. جغرافیا و توسعه شماره ۳۹، صص ۶۰-۴۹.
۲۷. محمدی، حسین، قاسم عزیزی، فرامرز خوش اخلاق و فیروز رنجبر (۱۳۹۴). روند روزهای یخبندان در ایران (۲۰۱۲-۱۹۸۲). جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران) (دوره جدید، سال سیزدهم، شماره ۴۶، صص ۱۳۶-۱۱۹).
28. Semenov, M. A., Brooks, R. J., Barrow, E. M., & Richardson, C. W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate research*, 10(2), 95-107.
29. Semenov, M. A., & Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate research (Open Access for articles 4 years old and older)*, 41(1), 1.
۳۰. ایرانپناه، نصراله و محسن محمدزاده (۱۳۸۴). روش بوت استرپ بلوک مجزا در آمار فضایی. نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم جلد ۵، شماره ۴، صص ۶۶۴-۶۵۳.
31. Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G. A., & Shahandeh, H. (2006). Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran: (Potentieller Einfluss des Klimawandels auf die Weizenproduktion unter Rainfed-Bedingungen im Iran). *Archives of agronomy and soil science*, 52(1), 113-124.
32. Roshan, G., Oji, R., & Al-Yahyai, S. (2014). Impact of climate change on the wheat-growing season over Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(8), 3217-3226.

33. Backlund, P., Janetos, A., Schimel, D., & Walsh, M. (2008). The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States. The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States.
34. Christiansen, D. E., Markstrom, S. L., & Hay, L. E. (2011). Impacts of climate change on the growing season in the United States. *Earth Interactions*, 15(33), 1-17.
35. Elmahdi, A., Shahkarami, N., Morid, S., & Massah Bavani, A. (2009, July). Assessing the impact of AOGCMs uncertainty on the risk of agricultural water demand caused by climate change. In 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia (pp. 13-17).
36. Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Bavani, A. M., Wang, D., & Madani, K. (2013). Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Science of the Total Environment*, 442, 405-419.
37. Zamani, R., Akhond-Ali, A. M., Roozbahani, A., & Fattahi, R. (2016). Risk assessment of agricultural water requirement based on a multi-model ensemble framework, southwest of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-13.