دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست ودوم، شماره‌ی ۸۰
زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۲۲۸-۳۱

DOI:10.52547/GeoSpa.22.4.31

مهیار احدی[۱]*
بهروز سبحانی[۲]
شهرام کوثری مهر[۳]

چشم انداز تاریخ های آغاز و خاتمه و تعداد روزهای یخبندان در استان اردبیل تحت شرایط تغییر اقلیم

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۷

چکیده

تاریخ‌های آغاز و خاتمه و تعداد روزهای یخبندان بر فعالیت‌های مختلف انسانی به‌خصوص فعالیت‌های کشاورزی تأثیر می‌گذارد. مسلم است که این عوامل در شرایط تغییر اقلیم دستخوش تغییر خواهد شد بنابراین بررسی زمان وقوع و پیش‌بینی روند تغییرات آن در آینده از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG و خروجی مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریو RCP8.5، آغاز و پایان یخبندان‌های استان اردبیل و همچنین تعداد روزهای یخبندان در سه سطح ملایم، متوسط و شدید در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی تاریخ‌های آغاز و پایان وقوع یخبندان و همچنین تعداد روزهای یخبندان ترسیم گردید. نتایج نشان داد که در طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱ روند شروع و پایان یخبندان دستخوش تغییرات شده و به‌طور متوسط در سطح استان، یخبندان‌های پاییزه ۵ روز دیرتر شروع شده و یخبندان بهاره نیز ۵ روز زودتر به اتمام خواهد رسید. تعداد کل روزهای یخبندان در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ در کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل کاهش خواهد یافت و میانگین استانی آن از ۸۵ روز به ۸۰ روز خواهد رسید، ولی بیش‌ترین کاهش

*۱- دانشجوی دوره دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. (نویسنده مسئول). E-Mail: m.ahadi@uma.ac.ir
۲- گروه آموزشی جغرافیای طبیعی ، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
۳- اداره کل هواشناسی استان اردبیل.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

متوجه ایستگاه‌های واقع در شمال استان خواهد بود. همچنین متوسط استانی تعداد روزهای یخبندان شدید نیز از ٤٦ روز به ٤٢ روز خواهد رسید و باز این کاهش در ایستگاه‌های واقع در شمال استان مشهودتر خواهد بود.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، یخبندان،LARS-WG، HadGEM2-ES.

مقدمه

مخاطرات اقلیمی یکی از پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی در جهان محسوب می‌شود (Guan et al., 2015). یکی از عامل‌های بلایای طبیعی که هرساله به محصولات کشاورزی ایران زیان وارد می‌کند، پارامترهای دمایی است. در این بین سرما و یخبندان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Fallah-Ghalhari et al., 2015)؛ لذا با توجه به اهمیت پدیده یخبندان و سرماهای زیان‌بخش در بحث تولید و همچنین شواهد پدیده تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه (Babaeian and Najafi., 2015) علاوه بر ضرورت انجام مطالعات پایه‌ای به منظور شناخت راه‌های مقابله با آن، می‌بایست توجه ویژه‌ای به چگونگی تغییر این پدیده در آینده در مناطق مختلف کشور گردد که این مهم توسط مدل گردش عمومی جو، سناریوهای اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس گردانی امکان‌پذیر شده است (Khalili, 2014). Bonsal et al., (2001) از طریق روند یابی دماهای کمینه و کرانه‌ای نتیجه گرفتند که تعداد روزهای یخبندان در کشور کانادا کاهش یافته است.

Easterling (2002) تغییرات تعداد روزهای یخبندان و بدون یخبندان را برای ۹ ناحیه کشور آمریکا به روش آماری مورد مطالعه قرار داد، او نتیجه گرفت که طول فصل بدون یخبندان برای دوره ۱۹٤۸-۱۹۹۹ در ایالات‌متحده افزایش یافته است. Martinez et al (2010) با بررسی روند دماهای کمینه و بیشینه کاتالونیا طی دوره زمانی ۱۹۷۵-۲۰۰٤ نتیجه گرفتند که دمای بیشینه و کمینه سالانه در فصل بهار و تابستان ۰/۵ درجه و برای فصل زمستان ۰/۷ درجه سلسیوس در هر دهه رو به افزایش است در حالی که در فصل پاییز روند دمای کمینه و بیشینه کاهشی است و میزان آن برابر ۰/۵- درجه سلسیوس در هر دهه است.

Graczyk and Kundzewicz (2015) در لهستان مشخص کردند که تاریخ رخداد یخبندان دیرس بهاره، در اثر گرمایش جهانی در آینده، تغییر یافته و زمان وقوع آن جلوتر می‌افتد. Modala et al (2016) پیش‌بینی تغییرات اقلیم برای دشت‌های منطقه تگزاس را بررسی کردند و با بررسی مدل‌های مختلف GCM مشخص کردند که تا ۲۰۷۰روزهای یخبندان ۱۷/۹ تا ۳۰ درصد، در کل منطقه کاهش می‌یابد.

Hidalgo et al (2017) با پیش‌بینی تغییر اقلیم در اسپانیا، اثر یخبندان‌های دیررس بهاره را بر روی فنولوژی گلدهی درختان بررسی کردند. نتایج حاصل، افزایش دمای کمینه در تمام ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه را نشان داد.

Esmaili et al (2010)پهنه‌بندی وقوع آخرین یخبندان‌های دیررس خراسان رضوی با استفاده از خروجی مدل

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ECHO-G تحت سناریو A1 برای شناسایی یخبندان‌های سبک و سنگین در دوره آینده تا سال ۱٤۱۸ را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که خطر یخبندان دیررس بهاره در نواحی جنوبی و پست استان خراسان رضوی در نیمه اول اسفندماه و در مناطق مرتفع تا اواخر فصل بهار طول می‌کشد. Khalili (2014) با ارزیابی کمی و مدل‌سازی ریسک سرمازدگی بهاره محصولات زراعی و باغی در ایران را بررسی نمود و با ارزیابی دماهای کمینه در آستانه‌های دمایی مختلف، احتمال وقوع یخبندان‌های بهاره را پهنه‌بندی و مدل‌سازی نمود. Hosseini and Ahmadi (2016) به چشم‌انداز تغییرات دمای کمینه و بیشینه با استفاده از مدل HadCM3 تحت سه سناریوی تغییر انتشار و مدل LARS-WG در سقز پرداختند، نتایج نشان داد که دما در تمامی ماه‌های سال در این منطقه افزایش خواهد یافت.

Aghashariatmadari et al (2016) به چشم‌انداز زمان وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره با استفاده از مدل HadCM3 تحت دو سناریو A2 و B2 در غرب ایران پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که تاریخ یخبندان پاییزه دیرتر و تاریخ یخبندان بهاره زودتر از گذشته رخ می‌دهد. Sobhani et al (2017) به بررسی تاریخ آغاز و پایان یخبندان‌های زودرس و دیررس در استان اردبیل در دوره آماری ۱۹۹٦ تا ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج آن نشان داد که در مناطق شمال استان مانند پارس‌آباد تاریخ خاتمه یخبندان دیررس در آوریل و در مرکز و جنوب مانند خلخال در ماه می پایان می‌یابد.Alijani et al (2017) اقلیم شناسی روزهای ذوب یخبندان در ایران را مورد بررسی قرار دادند، که نتایج نشان داد در مقیاس سالانه حداکثر فراوانی روزهای ذوب-انجماد، با بیش از ۷۰ روز، در غرب، شمال-غرب و ایستگاه‌های مرتفع زاگرس میانی مشاهده می‌شود. ماه ژانویه نیز اوج میانگین فراوانی وقوع روزهای ذوب-انجماد در ایران است.

Khalili et al (2016) پیش‌نگری کمی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر تاریخ و ریسک خسارت رخداد یخبندان دیررس بهاره طی قرن بیست و یکم در ایران را بررسی نمودند. آن‌ها با استفاده از مدل CGCM3 با سناریوهای انتشار A2 و A1B دوره آینده مشخص نمودند که در دوره آینده ریسک یخبندان دیررس بهاره کم‌تر خواهد شد. در ایران به دلیل تنوع اقلیمی و اتلاف هزینه‌های ناشی از خسارت‌های قهری و طبیعی باعث می‌گردد که شناخت تاریخ یخبندان و سرما جهت پیشگیری از جایگاه خاصی برخوردار شود و از آنجایی که این پدیده سالانه خسارت زیادی به باغداران وارد می‌کند، می‌توان با مطالعه تاریخ‌های شروع و خاتمه یخبندان و سرما مناسب‌ترین ارقام را برای مقابله مشخص نمود (Gharibi, 2016).

Jafar Baghlu (2018) به بررسی تغییرات شروع و خاتمه یخبندان‌ها و سرماهای موثر در کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم در شمال‌غرب ایران با استفاده از مدل HadCM3 پرداختند نتایج نشان داد که بر اساس سناریو A2 و B1 زمان رخداد اولین یخبندان زودرس پاییزه بین ۲ تا ۹ روز دیرتر اتفاق می‌افتد. بر اساس همین سناریو آخرین یخبندان دیررس بهاره نیز بین ۳ تا ۱۰ روز زودتر در سطح منطقه به پایان می‌رسد که با این وصف طول دوره یخبندان‌ها در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه کاهش خواهد یافت. در مطالعه دیگری Ramazanipour (2020) به بررسی احتمال تداوم و تواتر یخبندان در شهرستان کرج پرداخت. نتایج نشان داد که ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و

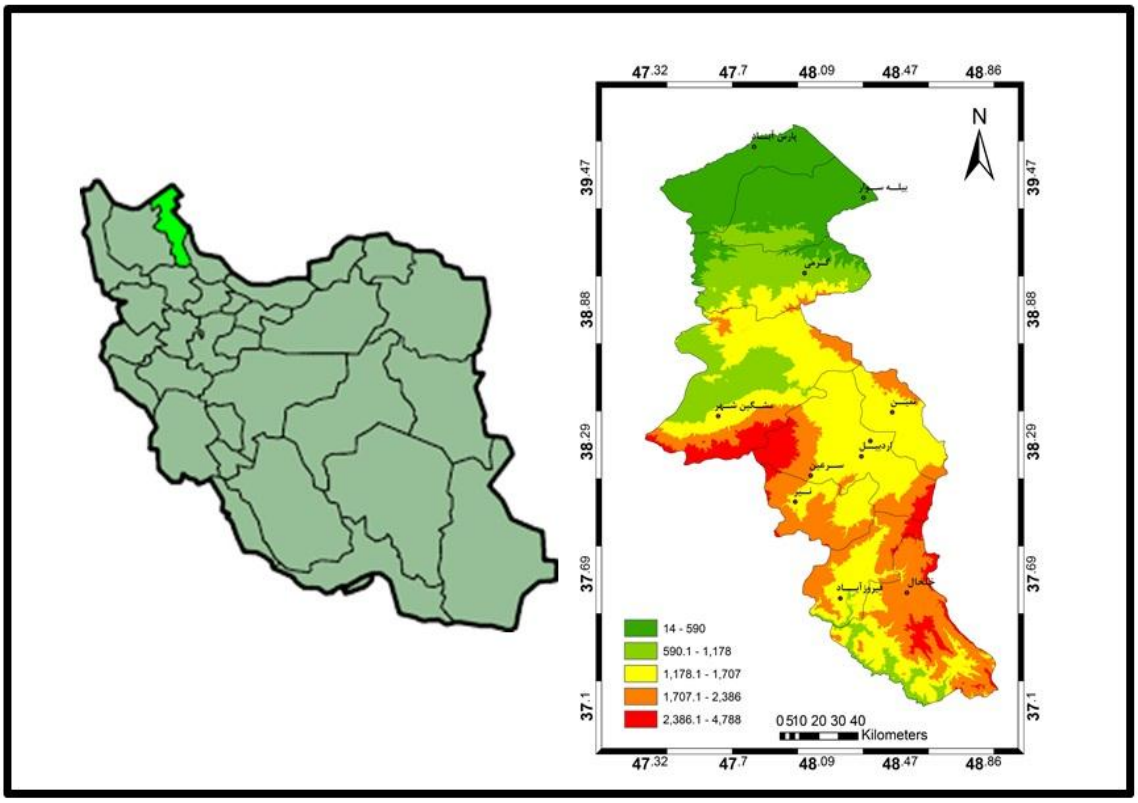
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مارس دارای حداکثر احتمال رخداد یخبندان می‌باشند؛ به عبارت دیگر، احتمال سه بار یخبندان در ماه‌های مورد نظر بیشتر از رخداد یخبندان با تکرارهای دیگر است.

با توجه به این‌که منطقه شمال‌غرب ایران هر ساله خسارت مالی زیادی را در اثر رخداد مخاطرات جوی بخصوص سرما و یخبندان متحمل می‌شود، پهنه‌بندی استان اردبیل از نظر تاریخ‌های آغاز، خاتمه و تعداد روزهای یخبندان در آینده، می‌تواند اطلاعات مناسب و با ارزشی را در جهت پیشگیری و کاهش خسارت فراهم آورد که در این پژوهش با استفاده مدل جهانی HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP8.5 و مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG به این امر پرداخته می‌شود.

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه ما در این پژوهش، استان اردبیل واقع در شمال غرب ایران است شکل (۱). وسعت این استان ۱۷۸۰۰ کیلومتر می‌باشد. متوسط دراز مدت بارش استان اردبیل ۳۵۹ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۱/۵ درجه سلسیوس می‌باشد.



شکل ۱: نقشه طبقات ارتفاعی استان اردبیل و موقعیت در نقشه ایران

Figure 1: Topology map of the studied area (Ardabil province)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی یخبندان‌های استان اردبیل از آمار هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک این استان (جدول ۱) در دوره آماری (۲۰۱۹-۱۹۹۰) استفاده گردید. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های روزانه کمینه و بیشینه دما، بارش و ساعت آفتابی بودند که از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. بر روی داده‌ها کنترل کیفی صورت گرفته و کلیه آزمون‌های همگنی، استقلال و کفایت داده‌ها انجام شد و خلأ داده‌ها با استفاده از ایستگاه‌های مجاور به روش تفاضل‌ها برطرف شد.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1- Geographical location and altitude of the studied stations

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
اردبیل	۴۸° ۱۹' ۴۳"	۳۸° ۱۳' ۰۵"	۱۳۳۵	گرمی	۴۸° ۰۳' ۲۶"	۳۹° ۰۳' ۰۳"	۷۴۶
پارس‌آباد	۴۷° ۵۲' ۳۸"	۳۹° ۳۶' ۲۷"	۸۲	کوثر	۴۸° ۱۴' ۰۸"	۳۷° ۳۵' ۲۰"	۱۱۷۵
خلخال	۴۸° ۳۲' ۱۸"	۳۷° ۳۶' ۳۲"	۱۷۹۷	سرعین	۴۸° ۰۴' ۵۰"	۳۸° ۰۸' ۴۹"	۱۶۵۸
مشگین	۴۷° ۴۰' ۴۰"	۳۸° ۲۲' ۳۰"	۱۵۶۰	نمین	۴۸° ۲۹' ۲۸"	۳۸° ۲۵' ۱۳"	۱۴۸۰
فرودگاه	۴۸° ۲۴' ۵۷"	۳۸° ۱۹' ۵۰"	۱۳۱۷	نیر	۴۸° ۰۱' ۳۲"	۳۸° ۰۲' ۱۵"	۱۵۹۳
بیله سوار	۴۸° ۱۹' ۰۹"	۳۹° ۲۱' ۵۴"	۱۰۱				

در این پژوهش برای اجرای مدل LARS-WG از خروجی مدل HadGEM2-ES استفاده شد. مدل HadGEM2-ES از نوع مدل گردش عمومی جفت شده جوی–اقیانوسی است که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی‌های اقلیمی هادلی در اداره هواشناسی انگلستان طراحی و توسعه یافته است. مدل‌های خانواده HadGEM2-ES شامل طیف وسیعی از پیکربندی مدل‌های خاص با درجات مختلف پیچیدگی ولی با چهارچوبی مشترک می‌باشند، این مدل‌ها دربردارنده وضعیت جفت شده هواسپهری–اقیانوسی هستند که با گسترش قائم یا بدون آن در هواسپهر، شامل ارزیابی خوب از پوشن سپهر[4] و موقعیت سامانه زمین است که شامل پوشش گیاهی، زیست اقیانوسی و شیمی هواسپهر نیز می‌شود. اجزای مختلف خانواده HadGEM2-ES در پنجمین گزارش IPCC مورد استفاده قرار گرفتند. مولفه هواسپهری مدل HadGEM2-ES دارای ۳۸ لایه که تا ارتفاع ۴۰ کیلومتری امتداد می‌یابد و تفکیک افقی آن از ۱/۲۵ درجه عرض

4- Stratosphere

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جغرافیایی و ۱/۸۷۵ درجه طول جغرافیایی است. تفکیک مکانی مدل با حدود ۲۰۸ کیلومتر در ۱۳۹ کیلومتر در استوا است که در عرض‌های بالاتر این مقدار کاهش یافته و در عرض جغرافیایی ۵۵ به ۱۲۰ کیلومتر در ۱۳۹ کیلومتر می‌رسد (Collins et al., 2008). ساختار این مدل پایدار بوده که حال و وضعیتی واقعی را از شرایط زیستی آب‌وهوا، پوشش گیاهی و اقیانوس بدون نیاز به اصلاحات فرضی و ساختگی را ارائه می‌دهد. این مدل تعامل چرخه کربن را بین اقیانوس، زمین و پوشش گیاهی پویا نشان می‌دهد (Johns et al., 2006).

مدل LARS-WG یک مدل تصادفی با استفاده از توزیع نیمه تجربی برای تولید داده‌های آب و هوایی به‌وسیله تکنیک‌های ریز مقیاس گردانی آماری است (Semenovet al., 2002) که توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دارد (Semenov et al., 1998). مدل‌های اقلیمی برآوردهای متفاوتی از متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی برای یک مکان مشخص دارند؛ بنابراین لازم است تعیین شود که کدام یک از مدل‌ها برای شبیه‌سازی متغیر اقلیمی مورد نظر در محدوده مورد بررسی مناسب بوده و از دقت و توانایی کافی برخوردار است. جهت اجرای مدل LARS-WG در این پژوهش از داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی در دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۹۱) استفاده شد. به منظور صحت سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه مدل را اجرا کرده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجددا ایجاد شود. در این پژوهش جهت بررسی عملکرد مدل ریز مقیاس گردانی و ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها و مقایسه آن‌ها با داده‌های مشاهداتی از معیارهای ضریب تعیین (R2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده شده است. ضریب تعیین معیاری بدون بعد است و بهترین مقدار آن برابر با یک می‌باشد. RMSE و MAE نشان دهنده میزان خطای مدل می‌باشد که بهترین مقدار آن برابر صفر می‌باشد.

معادله (۱)
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}$$

معادله (۲)
$$MAE = \frac{\sum_{i}^{n}|P_i - O_i|}{n}$$

معادله (۳)
$$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O}))^2}{\sum (P_i - \overline{P})^2 \sum (O_i - \overline{O})^2}$$

در معادله‌های فوق، P_i مقادیر استخراج شده کمینه دما در آینده و O_i مقادیر دیده‌بانی شده کمینه دما، $\overline{P}$ میانگین مقادیر استخراج شده کمینه دما، $\overline{O}$ میانگین مقادیر دیده‌بانی شده کمینه دما و n برابر تعداد مقایسه‌ها می‌باشد (Shrestha et al., 2016).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

پس از تایید اعتبار مدل ریزمقیاس گردانی (LARS WG) و مدل HadGEM2-ES در شبیه‌سازی با خطای کم‌تر، به منظور بررسی روند تغییرات یخبندان در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) در استان اردبیل، داده‌های برونداد مدل منتخب تحت سناریو RCP8.5 بررسی و تنظیم گردید. مشخصات سناریو مورد استفاده در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- سناریوهای اصلی مورد استفاده در گزارش پنجم IPCC (Van et al., 2011)

Table 2- Overview of representative concentration pathways (RCPs) (Van et al., 2011)

سناریو	وضعیت	توضیح
RCP2.6	خوش بینانه	واداشت تابشی تا قبل از سال ۲۱۰۰ به حدود ۳/۱ رسیده سپس کاهش یافته و به ۲/٦ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می رسد.
RCP4.5	میانه متمایل به خوش بینانه	واداشت تابشی، قبل از سال ۲۱۰۰ کم‌تر از ٤/٥ وات بر مترمربع و بعد از آن در مقدار ٤/٥ وات برمترمربع ثابت می ماند.
RCP6.0	میانه متمایل به خوش بینانه	واداشت تابشی، قبل از سال ۲۱۰۰ کم‌تر از ٦ وات بر مترمربع و بعد از ۲۱۰۰ به مقدار ٦ وات برمترمربع می رسد و ثابت می ماند.
RCP8.5	بد بینانه	واداشت تابشی به میزان ۸/٥ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می رسد.

به منظور تعیین تاریخ شروع، پایان و تعداد روزهای یخبندان در منطقه مورد نظر داده‌های مورد بررسی به دو دوره آماری پایه (۲۰۱۹-۱۹۹۱) و دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱) تقسیم شدند و سری زمانی دماهای کمینه برای هر یک از روزهای سال طی هر دوره برای ایستگاه مورد مطالعه تشکیل شد. تاریخ‌های وقوع اولین و آخرین یخبندان برای هر سال از روی آمار کمینه درجه حرارت روزانه توسط نرم‌افزار Excel استخراج شد و تاریخ‌های مربوط به اولین و آخرین یخبندان تعیین و در هر سال شماره اولین و آخرین روزهای یخبندان استخراج شدند. روش استخراج تاریخ‌ها به این ترتیب بود که از اول ژانویه شروع به کنترل دماهای کمینه گردید و اولین روز فصل پاییز که دمای کمینه صفر و یا زیر صفر بود به‌عنوان شروع یخبندان در ایستگاه تعیین شد. برای استخراج آخرین روز یخبندان نیز آخرین دمای صفر و یا زیر صفر فصل بهار در نظر گرفته شد. برای اینکه روزها قابلیت تجزیه‌وتحلیل آماری داشته باشند طبق روش مرسوم تاریخ‌ها به روز شمار ژولیوسی تبدیل شده و تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان در هر سال مشخص گردید و با میانگین‌گیری از شماره روزها میانگین شروع و خاتمه یخبندان مشخص شد و با توجه به همبستگی روزهای یخبندان با ارتفاع (omidvar, 2014) در داده‌های مشاهداتی، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

استان اردبیل (DEM)[5] اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی آغاز و پایان یخبندان و تعداد روزهای یخبندان با توجه به شدت در سال‌های (۲۰۴۰-۲۰۲۱) گردید. به این ترتیب که داده‌های دمای استخراج شده از مدل به سه بخش یخبندان خفیف (۰ تا ۱-)، یخبندان متوسط (۱/۱- تا ۳/۳-) و یخبندان شدید (کم‌تر از ۳/۳-) تقسیم شدند (Mojarrad Gharabagh., 2017) و نقشه پهنه‌بندی تعداد روزهای وقوع در سه سطح و نقشه آغاز و پایان یخبندان تهیه گردید. در مرحله نهایی پژوهش نیز تعداد روزهای یخبندان (تعداد روزهایی با دمای صفر و زیر صفر) برای سال‌های (۲۰۴۰-۲۰۲۱) استخراج گردید و نقشه‌های آن تهیه شد.

یافته‌ها و بحث

با توجه به نتایج حاصل شده و مقادیر R^2, RMSE, MAE (جدول ۳)، شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در ایستگاه‌های مورد نظر از دقت بالایی برخوردار می‌باشد، در ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش، مقادیر R^2 برآورد شده برای ایستگاه‌های مورد نظر هم بالای ۰/۹۹ بوده و مقادیر خطای RMSE و MAE نیز دارای حداقل خطای ممکن می‌باشد. از طرفی، بررسی نمودارهای برآورد شده و مشاهده‌ای پارامترها بیانگر دقت بسیار بالای مدل در برآورد مقادیر مشاهده‌ای ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۳- نتایج بررسی عملکرد مدل HadGEM2-ES در شبیه‌سازی تغییرات دما دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه

Table 3- The results of examining the performance of the HadGEM2-ES model in simulating the temperature changes of the period (2021-2040) compared to the base period

ایستگاه	R^2	RMSE	MAE
اردبیل	۰/۹۹	۰/٤۱	۰/۳۲
پارس‌آباد	۰/۹۹	۰/۷۷	۰/٦۸
خلخال	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۷٤
مشگین شهر	۰/۹۹	۰/٦	۰/٤۹
فرودگاه اردبیل	۰/۹۹	۲/٥	۱/۲
سرعین	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۷٤
گرمی	۰/۹۹	۱/۳۰	۱/۲۲
بیله سوار	۰/۹۹	۰/٦٤	۰/٥٥
کوثر	۰/۹۹	۰/٥٤	۰/٦۱
نمین	۰/۹۹	۲/۳۱	۲/۰۲
نیر	۰/۹۹	۱/۷۷	۱/٦۸

تعیین اولین و آخرین یخبندان دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱)

نتایج حاصل از بررسی وقوع اولین روز یخبندان در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که به‌طور میانگین در سطح استان اولین روز یخبندان ۵ روز با تاخیر نسبت به دوره پایه اتفاق خواهد افتاد. بر

5- Digital Elevation Model

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

این اساس اولین روز یخبندان در سطح استان در شهرستان خلخال رخ خواهد داد. بر اساس برآورد مدل تاریخ ظهور اولین روز یخبندان در شهرستان خلخال از ۱۱ اکتبر (۲۰ مهر) در دوره پایه به ۱۷ اکتبر در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) منتقل خواهد شد. پیش‌بینی‌های مدل نشان داد که دیرترین یخبندان در سطح استان در شهرستان بیله سوار خواهد بود به طوری که تاریخ وقوع اولین روز یخبندان در این شهرستان از ٦ دسامبر (١٦ آذر) به ۱۰ دسامبر در دوره آینده منتقل خواهد شد (جدول ۳).

محاسبه آخرین روز یخبندان تحت سناریو RCP8.5 نشان داد که به‌طور میانگین در سطح استان اردبیل آخرین یخبندان ۵ روز زودتر از حالت پایه به وقوع خواهد پیوست. بر اساس بر آورد مدل در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) آخرین یخبندان در بین ایستگاه‌های استان اردبیل در فرودگاه اردبیل خواهد بود. در ایستگاه فوق آخرین یخبندان بهاره مصادف با یک می (۱۲ اردیبهشت) خواهد بود که ٤ روز زودتر از حالت پایه می‌باشد.

در ایستگاه بیله سوار آخرین یخبندان در دوره آینده مصادف با ۷ مارس (۱۷ اسفند) خواهد بود که در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها طول دوره یخبندان زودتر به اتمام خواهد رسید (جدول ۳).

جدول ۳- تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان در دوره پایه و دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) تحت سناریو RCP8.5

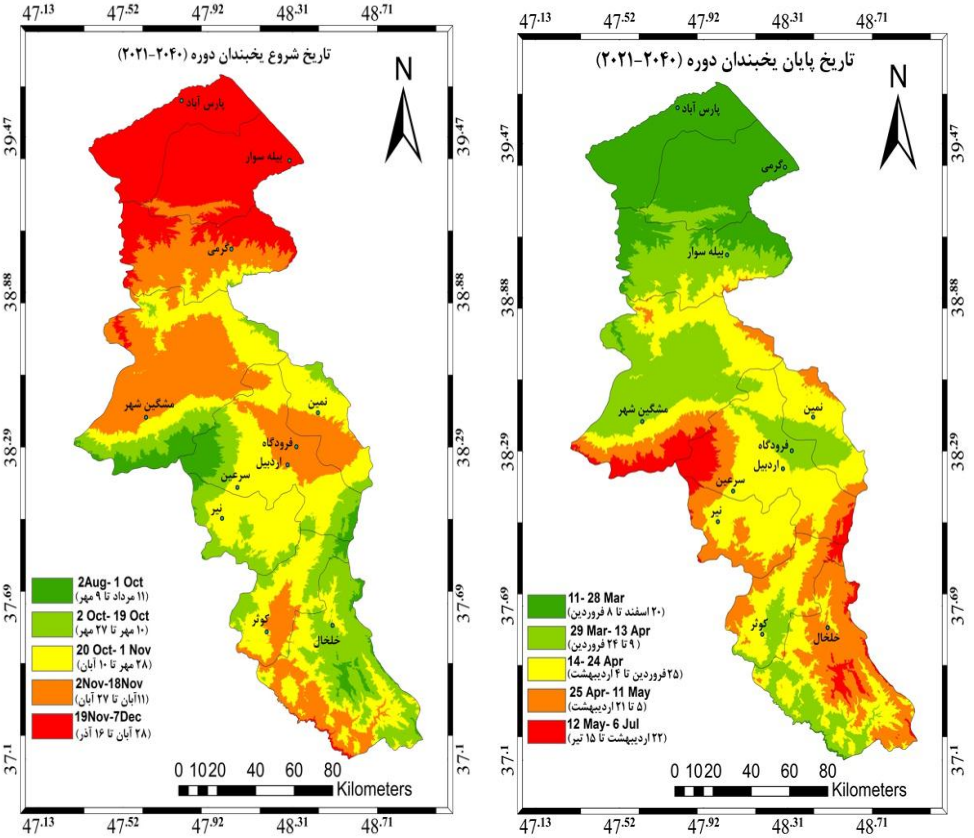
Table-3- The date of the first and last frost in the base period and the period (2021-2040) under the RCP8.5 scenario

	تاریخ وقوع اولین یخبندان		تاریخ وقوع آخرین یخبندان	
شهر	**دوره پایه**	**دوره (۲۰۴۱-۲۰۲۰)**	**دوره پایه**	**دوره (۲۰۴۱-۲۰۲۰)**
اردبیل	۱۵ اکتبر (۲٤ مهر)	۲۲ اکتبر (۱ آبان)	۳ می (۱۳ اردیبهشت)	۱۹ آوریل (۲۸ فروردین)
خلخال	۱۱ اکتبر (۲۰ مهر)	۱۷ اکتبر (۲٦ مهر)	۳۰ آوریل (۱۱ اردیبهشت)	۲۵ آوریل (٦ اردیبهشت)
مشگین	۷ نوامبر (۱۷ آبان)	۱۱ نوامبر (۲۱ آبان)	۷ آوریل (۱۹ فروردین)	۵ آوریل (۱۷ فروردین)
پارس آباد	۲۹ نوامبر (۹ آذر)	۳ دسامبر (۱۳ آذر)	۱۷ مارس (۲۷ اسفند)	۱۲ مارس (۲۲ اسفند)
بیله سوار	٦ دسامبر (١٦ آذر)	۱۰ دسامبر (۲۰ آذر)	۹ مارس (۱۹ اسفند)	۷ مارس (۱۷ اسفند)
گرمی	۲۵ نوامبر (۵ آذر)	۲۹ نوامبر (۹ آذر)	۲۳ مارس (٤ فروردین)	۲۱ مارس (۲ فروردین)
نمین	۵ نوامبر (۱۵ آبان)	۹ نوامبر (۱۹ آبان)	۲۰ آوریل (۱ اردیبهشت)	۱۳ آوریل (۲۵ فروردین)
نیر	۲۰ اکتبر (۲۹ مهر)	۲۸ اکتبر (۷ آبان)	۲۳ آوریل (٤ اردیبهشت)	۱۵ آوریل (۲۷ فروردین)
سرعین	۳۱ اکتبر (۱۰ آبان)	٤ نوامبر (١٤ آبان)	۱۸ آوریل (۳۰ فروردین)	۱۵ آوریل (۲۷ فروردین)
فرودگاه	۱۲ اکتبر (۲۱ مهر)	۲۱ اکتبر (۳۰ مهر)	۵ می (١٦ اردیبهشت)	۱ می (۱۲ اردیبهشت)
کوثر	۲۸ اکتبر (۷ آبان)	۳۱ اکتبر (۱۰ آبان)	۱۷ آوریل (۲۹ فروردین)	۱۲ آوریل (۲٤ فروردین)

در مرحله بعدی پژوهش همبستگی بین تاریخ آغاز و پایان یخبندان با ارتفاع ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از وجود رابطه خطی معنی‌دار بین ارتفاع ایستگاه‌ها و آغاز و پایان روزهای یخبندان می‌باشد. با توجه به

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

وجود رابطه معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و ارتفاع ایستگاه‌ها، در این قسمت پژوهش ارتباط بین داده‌های کمینه استخراج شده برای دوره آینده و ارتفاع ایستگاه‌ها بررسی گردید. نتایج حاکی از وجود رابطه رگرسیونی y = - 0.0268x + 341.84 با ضریب همبستگی ۷۷ درصد می‌باشد. بررسی تاریخ آخرین یخبندان در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) و ارتفاع منطقه حاکی از وجود رابطه رگرسیونی y = 0.0245x + 69.648 با ضریب همبستگی ۷۵ درصد می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه پهنه بندی آغاز و پایان یخبندان در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱)

Figure 2: Spatial distribution map of average dates of frost: last spring frost and first autumn frost . (2021-2040)

بر اساس نقشه پهنه‌بندی آغاز و پایان یخبندان (شکل ۲) در مناطق کوهستانی و مرتفع ازجمله سبلان و نواحی شرقی شهرستان خلخال تاریخ شروع یخبندان نسبت به سایر نقاط استان که از ارتفاع کم‌تری برخوردار می‌باشند زودتر خواهد بود. با توجه به شکل فوق وقوع اولین یخبندان در نواحی شمال استان که ارتفاع کم‌تری دارند دیرتر از سایر نقاط استان خواهد بود و بین ۱۹ نوامبر تا ۷ دسامبر (۲۸ آبان تا ۱۶ آذر) خواهد بود. با بررسی نقشه تاریخ پایان یخبندان در دوره آینده ملاحظه می‌گردد که نواحی پست شمال استان زودتر از سایر نقاط شاهد اتمام یخبندان خواهند بود و این تاریخ مصادف با ۱۱ تا ۲۸ مارس (۲۰ اسفند تا ۸ فروردین) می‌باشد. یخبندان در نواحی مرتفع سبلان و خلخال بین ۱۲ می تا ۶ جولای (۲۲ اردیبهشت تا ۱۵ تیر) ادامه خواهد یافت.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تعیین تعداد روزهای یخبندان دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱)

در این مرحله برای تعیین تعداد روزهای یخبندان (روزهایی با دمای صفر و زیر صفر)، کل روزهای یخبندان در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) به سه دسته تقسیم گردید. دسته اول شامل یخبندان خفیف بودند که بین ۰ تا ۱- در نظر گرفته شد. دسته دوم یخبندان متوسط در محدوده دمایی ۱/۱- تا ۳/۳- و دسته سوم یخبندان شدید که دماهای کم‌تر از ۳/۳- بودند. جدول (٤) تعداد روزهای یخبندان در دوره پایه و دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) را نشان می‌دهد.

جدول ٤- تعداد روزهای یخبندان بر اساس شدت در دوره پایه و دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱)

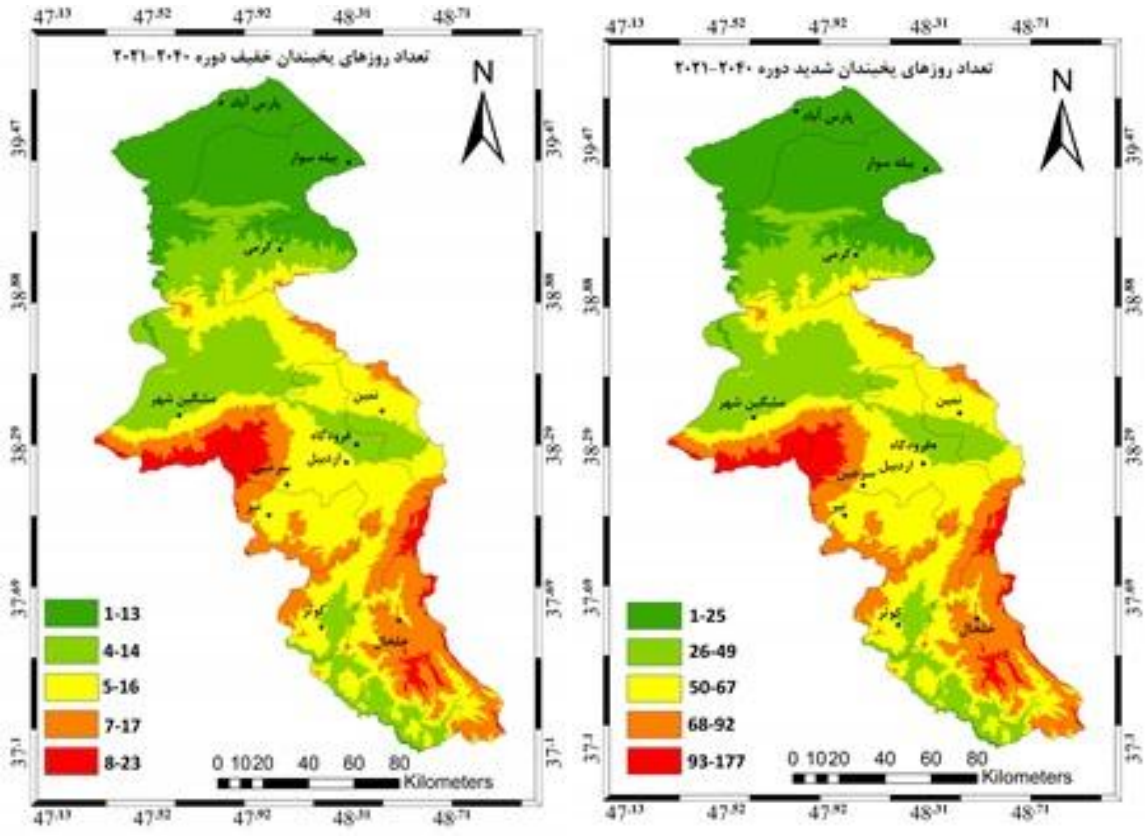
Table 4- The number of frost days based on intensity in the base period and (2021-2040) period

	۲۰۴۰-۲۰۲۱				دوره پایه			
شهر	خفیف	متوسط	شدید	جمع	خفیف	متوسط	شدید	جمع
اردبیل	١٤	٢٩	٦١	١٠٤	١٥	٢٨	٦٤	١٠٧
خلخال	١٦	٣٠	٧٨	١٢٤	١٨	٢٩	٨١	١٢٨
مشکین‌شهر	١٤	٢٥	٣٤	٧٣	١٤	٢١	٤١	٧٦
پارس آباد	١٣	١٤	٣	٣٠	١٥	١٩	١٢	٤٦
بیله سوار	١٠	٧	٣	٢٠	١٣	١٢	٦	٣١
گرمی	١٤	١٦	٧	٣٧	١٣	١٦	١٤	٤٣
نمین	١٣	٢٧	٤٥	٨٥	١٦	٢٦	٤٦	٨٨
نیر	٢٠	٣١	٤٥	٩٦	٢٤	٢٦	٥١	١٠١
سرعین	١٤	٢٩	٥٤	٩٧	١٩	٢٤	٦١	١٠٤
فرودگاه اردبیل	١٤	٢٨	٨٠	١٢٢	١٦	٢٦	٨٣	١٢٥
کوثر	١٣	٢٦	٥٣	٩٢	١٤	٢٣	٥٧	٩٤

بر اساس جدول (٤) تعداد کل روزهای یخبندان در دوره آینده نسبت به دوره پایه به‌طور میانگین ۵ روز در کل استان کاهش خواهد یافت. بیش‌ترین کاهش تعداد روزهای یخبندان مربوط به ایستگاه‌های شمالی استان (پارس‌آباد، بیله سوار و گرمی) خواهد بود به نحوی که تعداد روز یخبندان در پارس‌آباد ١٦ روز نسبت به حال پایه کاهش خواهد داشت. کاهش روزهای یخبندان در نواحی مرکزی و شمالی استان بین ۳ تا ۷ روز متغیر خواهد بود. از نظر شدت یخبندان نیز بیش‌ترین کاهش مربوط به یخبندان‌های شدید خواهد بود به‌طوری که میانگین استان از ٤٦ روز در دوره پایه به ٤٢ روز در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) خواهد رسید؛ و این کاهش در ایستگاه‌های شمالی استان مشهودتر خواهد بود. میانگین روزهای یخبندان استان در حالت متوسط تغییرات زیادی نسبت به دوره پایه نخواهد داشت ولی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در حالت خفیف میانگین استان ۲ روز با کاهش مواجه خواهد شد. پس از تقسیم‌بندی، ارتباط بین دماهای هر دسته با ارتفاع مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد بیش‌ترین همبستگی بین ارتفاع و دما در یخبندان متوسط به وجود آمد بر این اساس بین تعداد روزهای یخبندان متوسط با ارتفاع رابطه رگرسیونی $y = 0.0123x + 9.487$ با ضریب همبستگی ۸۸ درصد به‌وجود آمد. ضریب همبستگی در یخبندان‌های متوسط کاهش یافته و به ٦٥ درصد رسید رابطه رگرسیونی به‌دست آمده نیز $y = 0.0374x - 1.621$ بود. کم‌ترین همبستگی بین دما و ارتفاع مربوط به یخبندان‌های خفیف بود که رابطه رگرسیونی به دست آمده $y = 0.0024x + 11.234$ با ضریب همبستگی ٣٦ درصد می‌باشد. پس از تعیین روابط رگرسیونی با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع منطقه اقدام به پهنه‌بندی روزهای یخبندان بر اساس شدت گردید.



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی تعداد روزهای یخبندان خفیف (چپ) و متوسط (راست) در دوره ۲۰٤۰-۲۰۲۱

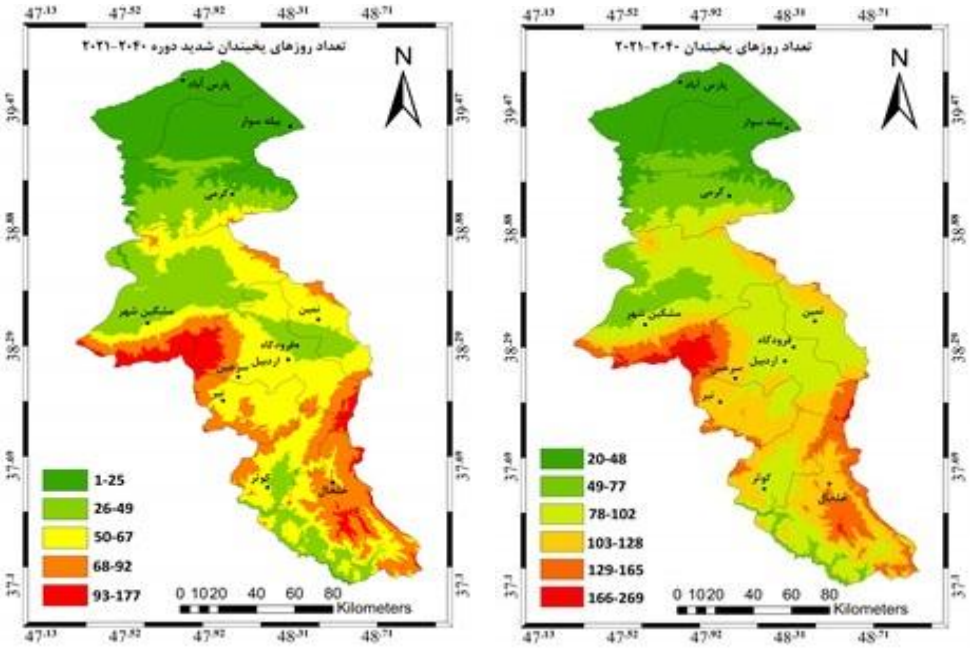
Figure 3: Spatial distribution map of mean number of frost days: mild frost (left) and moderate frost (right) (2021-2040)

مطابق به نقشه پهنه‌بندی تهیه شده (شکل ۳) در دوره ۲۰٤۰-۲۰۲۱ تعداد روزهای یخبندان خفیف سالانه در استان اردبیل بین یک تا ۲۳ روز متغیر می‌باشد که کم‌ترین تعداد مربوط به نواحی پست و کم ارتفاع شمال استان می‌باشد. بیش ترین تعداد هم در ارتفاعات سبلان قابل مشاهده می‌باشد. بررسی تعداد روزهای یخبندان متوسط نشان می‌دهد که تعداد کل این نوع یخبندان سالانه بین ۱۰ تا ٦٨ مورد برای دوره آینده پیش‌بینی می‌گردد که با توجه به همبستگی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

روزهای یخبندان با ارتفاع تعداد این توع یخبندان نیز در نواحی مرتفع بیش‌تر می‌باشد. بیش‌ترین تعداد یخبندان سالانه در استان اردبیل مربوط به یخبندان‌های شدید می‌باشد بر اساس نقشه پهنه‌بندی تهیه شده (شکل ٤) تعداد این نوع یخبندان‌ها در استان اردبیل در دوره (۲۰٤۰-۲۰۲۱) بین ۱ تا ۱۷۷ روز متغیر می‌باشد.

بررسی نقشه تعداد کل روزهای یخبندان نشان می‌دهد که در دوره (۲۰٤۰-۲۰۲۱) حداکثر تعداد روزهای یخبندان مربوط به شهرستان مشگین شهر و نواحی مرتفع سبلان می‌باشد. بعد از این مناطق ارتفاعات خلخال بیش‌ترین تعداد روزهای یخبندان را به‌خود اختصاص داده‌اند. کم‌ترین تعداد روزهای یخبندان هم مربوط به شهرستان پارس‌آباد و بیله سوار و سپس شهرستان گرمی می‌باشد.



شکل ٤: نقشه پهنه‌بندی متوسط تعداد روزهای یخبندان: تعداد کل روزهای یخبندان (راست) تعداد روزهای یخبندان شدید (چپ) (۲۰٤۰-۲۰۲۱)

Figure 4: Spatial distribution map of mean number of frost days: toatal frost day (right) severe frost day (left) (2021-2040)

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر توجه به تغییرات اقلیمی به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارت مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده است. در این میان وقوع یخبندان به‌خصوص یخبندان‌های دیرهنگام 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 به‌عنوان یکی از شاخص‌های اقلیمی موثر در بخش کشاورزی با استفاده از خروجی مدل اقلیمی و داده‌های تولید شده برای دوره اقلیمی آینده (۲۰٤۰-۲۰۲۱)، بررسی شده است و هدف آن نشان دادن میزان تغییرات این شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه (استان اردبیل) می‌باشد. به این منظور دمای کمینه روزانه توسط

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مدل LARS-WG با خروجی‌های HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP8.5 ریزمقیاس شد. نتایج نشان داد طول دوره یخبندان در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) تحت سناریو RCP8.5 در استان اردبیل کاهش یافته و میانگین تعداد روزهای یخبندان از تعداد ۸۵ روز در دوره پایه به ۸۰ روز خواهد رسید و بیش‌ترین تعداد کاهش نیز در نواحی شمالی استان روی خواهد داد. بررسی روزهای یخبندان در سه دسته یخبندان خفیف، متوسط و شدید نیز نشان داد که در دوره آینده هر سه نوع یخبندان کاهش یافته ولی بیش‌ترین کاهش مربوط به یخبندان‌های شدید (کم‌تر از ۳/۳-) خواهد بود.

نتایج خروجی مدل تحت سناریو RCP8.5 نیز نشان داد وقوع اولین یخبندان پاییزه در کل استان به‌طور میانگین ۵ روز زودتر از حالت پایه خواهد بود. بر این اساس اولین یخبندان پاییزه در شهرستان خلخال و دیرترین یخبندان هم در شهرستان بیله سوار رخ حواهد داد.

نتایج نشان داد که تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره نیز در کل استان به‌طور میانگین ۵ روز زودتر از حالت پایه خواهد بود به‌طوری که بر اساس سناریو RCP8.5 آخرین یخبندان بهاره در فرودگاه اردبیل رخ خواهد داد. کم‌ترین روز دوره یخبندان هم مربوط به شهرستان بیله سوار خواهد بود و در این شهرستان طول دوره یخبندان زودتر از ایستگاه‌های دیگر به اتمام خواهد رسید.

نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از مطالعه انجام شده توسط Jafar Baghlu (2018) مطابقت دارد. نتایج پژوهش فوق نشان داد که اولین یخبندان و سرمای پاییزه دیرتر و آخرین یخبندان و سرمای بهاره نیز زودتر رخ خواهد داد و طول دوره یخبندان نیز در منطقه کاهش خواهد یافت. به طوری که در پژوهش فوق زمان رخداد اولین یخبندان زودرس پاییزه بین ۲ تا ۹ روز دیرتر اتفاق می‌افتد. آخرین یخبندان نیز ۳ تا ۱۰ روز زودتر رخ خواهد داد. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش Salahi (2016) بیش‌ترین کاهش زمان رخداد متوجه یخبندان‌های سنگین خواهد بود که بیانگر شرایط اقلیمی گرم‌تر در دهه‌های اخیر و آینده می باشد که این نتایج با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

در مطالعات انجام شده دیگر که دارای نتایج مشابه بودند می‌توان به مطالعات Graczyk and Kundzewicz (2016) در لهستان، Modala et al (2017) در تگزاس، Hosseini and Ahmadi (2016) در سقز، Aghashariatmadari et al (2016) در غرب ایران، Sobhani et al (2017) در اردبیل و Khalili et al (2016) در ایران اشاره نمود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Aghashariatmadari, Z., Bazrafshan, J., Safaei, E., (2016), "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", ***Journal of Agricultural Meteorology***, 4 (1): 22-31. [In Persian].
- Alijani, B., Mahmudi, P., Kalimdust, M., (2017), "Climatology of thaw-glaciation days of Iran", ***Journal of geographical space***, 16 (56):19-32. [In Persian].
- Babaeian, E., Najafi, Z., (2010), "Analysis of climate change in Razavi Khorasan province in the period of 2010-2039 using micro-rotation of GCM model output", ***Journal of Geography and Regional Development***, 8 (15):1-19. [In Persian].
- Bonsal, B. R., Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W. D., (2001), "Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada", ***Journal of Climate***, 14 (9): 1959-1976.
- Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Hinton, T., Jones, C. D., Halloran, P., (2008), "***Evaluation of the HadgEM2 model*** ", Exeter, UK: Met Office pub.
- 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): 1327-1332..
- Esmaili, R., Adab, H., Gandomkar, A., (2010), "The changes assessment of spring frost in Khorasan Razavi of to future climate period", 4th International Congress of The Islamic World Geographers, 4 march 2010, University of Sistan and Baluchestan. [In Persian].
- Fallah-Ghalhari, G.A., Ahmadi, H., (2015), "Time-spatial prediction of fruit tree flowering date in West Azarbaijan province with the aim of reducing and preventing damage from climatic hazards", ***Insurance and Agriculture Research Quarterly***, 46: 81-104. [In Persian].
- Gharibi, Kh., Salehi, I., (2016), "***Horticulture risk management and insurance (examples, olives, bananas and mangoes)***", Tehran: Publications of the Insurance Research Institute. [In Persian].
- Graczyk, D., Kundzewicz, Z. W., (2016), "Changes of temperature-related agroclimatic indices in Poland", ***Theoretical and Applied Climatology***, 124 (1): 401-410.
- Guan, Y., Zheng, F., Zhang, P., Qin, C., (2015), "Spatial and temporal changes of meteorological disasters in China during 1950-2013", ***Natural Hazards***, 75 (3): 2607-2623.
- Hidalgo-Galvez, M. D., García-Mozo, H., Oteros, J., Mestre, A., Botey, R., Galán, C., (2018), "Phenological behaviour of early spring flowering trees in Spain in response to recent climate changes", ***Theoretical and Applied Alimatology***, 132 (1): 263-273.
- Hosseini, S. A., Ahmadi, H., (2016), "Technical NoteStatistical downscaling of HadCM3 model for projection of temperature (Case study: Saghez station)", ***Journal of Agricultural Meteorology***, 4 (1): 68-73. [In Persian].
- Jafar baghlu, N., (2018), "Evaluation of the effects of late spring cold and frost on fruit trees in northwest Iran, under the conditions of past climate change and future climate change (case study: kernel trees)", PhD thesis, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University.
- Johns, T. C., Durman, C. F., Banks, H. T., Roberts, M. J., McLaren, A. J., Ridley, J. K., Searl, Y., (2006), "The new hadley centre climate model (HadGEM1): Evaluation of coupled simulations", ***Journal of Climate***, 19 (7): 1327-1353.
- Khalili, A., (2014), "Quantitative evaluation of spring frost risk to agricultural and horticultural crops in iranand modeling", ***Journal of Agricultural Meteorology***, 1 (2): 17-31. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Khalili, A., Rahimi, J., Bazrafshan, J., (2016), "Quantitative projection of the probable impacts of climate change on date and damage risk of late spring frost during 21st century over Iran", ***Journal of Agricultural Meteorology***, 8 (4): 38-49. [In Persian].
- Martinez, M. D., Serra, C., Burgueño, A., Lana, X., (2010), "Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (ne Spain) for the period 1975-2004", ***International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society***, 30 (2): 267-290.
- Modala, N. R., Ale, S., Goldberg, D. W., Olivares, M., Munster, C. L., Rajan, N., Feagin, R. A., (2017)., "Climate change projections for the Texas high plains and rolling plains", ***Theoretical and Applied Climatology***, 129 (1): 263-280.
- Mojarrad gharabagh, F., (1997), "Analysis and prediction of frost in Azerbaijan", PhD thesis, Faculty of Letters and Humanities, Tarbiat Modares University.
- Omidvar, K., Aslani, A., (2014), "Studying Temporal-Spatial Changes of Frost in Zayanderoud" , ***Journal of Geographical Researches***, 29 (3):147-163. [In Persian].
- Ramazanipour, M., (2020), "The probability of continuity and frequency of frost in the Karaj township on the basis of possible rules", ***Journal of geographical space,*** 19(68):133-147. [In Persian].
- Semenov, M. A., Barrow, E. M., Lars-Wg, A., (2002), "***A stochastic weather generator for use in climate impact studies***", London: User Man Herts UK pub.
- Salahi, B., (2016), "Forecasts and analysis of light and heavy frosts occurrence in Ardabil province using outputs of LARS-WG downscaling in the coming decades ", ***Journal of Researches in Earth Scince,*** 7 (3): 1-27. [In Persian].
- 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.
- Shrestha, S., Bach, T. V., Pandey, V. P., (2016), "Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios", ***Environmental science & policy***, 61: 1-13.
- Sobhani, B., Ganji, M., Goldoust, A., (2017), "Determination and investigation about beginning and end dates of early and late freezes and possibility of its continuity, intensity and succession in ardabil province", ***Physical Geography Research Quarterly***, 49 (1): 39-53. [In Persian].
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Rose, S. K., (2011), "The representative concentration pathways: an overview", ***Climatic change***, 109 (1): 5-31.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]