نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

صفحات ۱۷ – ۳۵

واکاوی تغییرات زمانی – مکانی و پیش‌بینی آینده یخبندان‌های استان همدان

سحر عافیتی؛ کارشناس ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

بهلول علیجانی؛ استاد تمام آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

سید محمد حسینی؛ دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۵ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰

چکیده

سرما و یخبندان، یکی از مخاطرات اقلیمی است که همه ساله باعث ایجاد خسارت در فعالیت‌های مختلف می‌گردد. از سوی دیگر تغییر اقلیم سبب تغییرات مکانی و زمانی یخبندان می‌شود. هدف این پژوهش تحلیل تغییرات زمانی – مکانی و پیش‌بینی آینده یخبندان‌های استان همدان است. جهت پیش‌نگری دمای حداقل روزانه استان از مدل CanESM2 استفاده شد و ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل‌های گردش کلی با استفاده از مدل LARS-WG صورت گرفت. شبیه‌سازی پارامترهای فوق برای دورهٔ ۳۰ ساله (۲۰۵۰-۲۰۲۱) و تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه‌های منتخب انجام شد. نتایج حاصل از بررسی ماهانه دمای کمینه در ایستگاه‌های مطالعاتی استان نشان داد که دمای کمینه در دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) در همه ایستگاه‌های مورد بررسی بر طبق هر سه سناریو و در همه ماه‌های سال نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. متوسط دمای کمینه استان برابر با ۵/۲ درجه سلسیوس است که این مقدار در دهه‌های آتی بر اساس سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب به ۶، ۶/۲ و ۶/۳ درجه سلسیوس خواهد رسید که بیش‌ترین تغییرات مربوط به ایستگاه نوژه و کم‌ترین آن مربوط به همدان است. توزیع فضایی آغاز و پایان یخبندان در دوره آینده بیانگر آن است که یخبندان در نواحی شمال شرقی و شمالی استان زودتر از سایر مناطق استان شروع و دیرتر خاتمه می‌یابد در حالی‌که در نواحی جنوبی استان، دیرتر شروع و زودتر به پایان می‌رسد. نتایج حاصل از بررسی تغییرات آغاز یخبندان در دهه آینده نسبت به دوره پایه نشان داد که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، آغاز یخبندان بین ۳ تا ۱۱ روز کاهش خواهد یافت.

واژههای کلیدی: مدل‌سازی، ریزمقیاس‌نمایی، سناریوهای اقلیمی، تغییر اقلیم.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم یکی از چالش‌های اساسی جهان به حساب می‌آید و بنابر اهمیتی که در ساختار محیطی کره زمین و ساکنان آن دارد، تلاش به منظور شناخت هر چه بیشتر آن امری مسلم و ضروری است (مریانجی و براتیان، ۱۳۹۵). مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم افزایش میانگین دما، افزایش رویدادهای حدی اعم از سیل، خشکسالی، امواج گرمایی، سرماهای نابهنگام و ... خواهد بود (مظفری و همکاران، ۱۳۹۳). از آنجا که دما از پارامترهای اساسی شکل‌گیری اقلیم یک منطقه است، تغییرات آن می‌تواند ساختار آب‌وهوایی آن را دگرگون کند (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از مشخصه‌های اقلیمی که از پدیده گرمایش جهانی تاثیر می‌پذیرد تعداد روزهای همراه با یخبندان است (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲ و جهانبخش‌اصل و همکاران، ۱۳۹۵). پدیده یخبندان که بر اثر کاهش درجه حرارت هوا تا نقطه انجماد و کمتر از آن به وقوع می‌پیوندد، یکی از رویدادهای آب‌وهوایی است که هر ساله خسارات جبران‌ناپذیری را به بخش‌های مختلف کشاورزی، حمل و نقل، صنعت، توریسم، عمران و... وارد می‌سازد (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). یخبندان با تأثیراتی که در سطح زمین می‌گذارد زندگی انسان‌ها و همچنین فعالیت‌های عمرانی و بازدهی زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (امیدوار و اصلانی، ۱۳۹۳؛ صلاحی، ۱۳۹۵). تغییرات شدید دمایی پدیدهای نامطلوب برای گیاهان و جانوران بوده و آثار نامطلوبی نیز بر عناصر طبیعی، سازه‌ها و تأسیسات دارد. وقتی دمای هوا از حد معینی پایین‌تر رود، به سبب نیاز به حد معینی از دما در هر مرحله زیستی، شرایط برای زندگی و فعالیت جانداران دچار مشکل شده است (کاویانی، ۱۳۸۶).

تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهان و ایران روی پدیده یخبندان انجام شده است. به عنوان نمونه؛ طبق خروجی حاصل از ۱۵ مدل گردش کلی جو تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر یخبندان‌های بهاری بر محصولات کشاورزی در حوضه آبریز آرا در سویس، شدت وقوع یخبندان در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در سناریو RCP8.5 در مقایسه با دوره پایه ۱/۲ درصد افزایش می‌یابد (Lhotka; Bronnimann, 2002). بررسی تغییرات آب و هوایی بر تعداد روزهای یخبندان و فصل بدون یخبندان در ایالات متحده آمریکا نشان داد که تغییرات اقلیمی منجر به کاهش تعداد روزهای یخبندان و فصل بدون یخبندان شده است (Easterling, 2002). مطابق نتایج ارزیابی ریسک یخبندان دیررس بهاره بر روی تولید سیب درختی تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل HadCM3 تحت دو سناریو A2 و B2 در ایتالیا، در اثر افزایش دما، گلدهی زود هنگام در درختان میوه رخ می‌دهد که این شرایط سبب آسیب بیشتر درختان از سرما و یخبندان‌های دیررس بهاره می‌گردد (Eccel, et al., 2009). تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر یخبندان و فصل رشد در حوضه البه در جمهوری چک تحت سناریوهای اقلیمی تا سال ۲۱۰۰ نشان داد آخرین یخبندان بهاره در هر دهه ۲ روز زودتر و اولین یخبندان پاییزه ۱/۸ روز در هر دهه دیرتر اتفاق می‌افتد. بنابراین دوره‌ی بدون یخبندان ۳/۸ روز در هر دهه افزایش می‌یابد (Potop, et al., 2013). در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های اقلیم کشاورزی در لهستان این نتایج حاصل گردید که تاریخ وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره در آینده در اثر گرمایش جهانی تغییر یافته و زمان وقوع آن‌ها زودتر اتفاق می‌افتد (Graczyk; Kundzewicz, 2015). ارزیابی مدل‌های مختلف گردش کلی جو در دشت‌های مرتفع و هموار تگزاس مشخص نمود که تا سال ۲۰۷۰ طول فصل بدون یخبندان مابین ۲/۶ تا ۳/۴ هفته طولانی‌تر می‌گردد و همچنین روزهای یخبندان مابین ۱۷/۹ تا ۳۰ درصد، در کل منطقه کاهش می‌یابد (Modala, et al., 2016). مطابق ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و خسارات ناشی از

یخبندان‌های بهاره بر شکوفه‌دهی گیلاس در آلمان، افزایش درجه حرارت در دهه‌های آتی فرایند شکوفه‌دهی را تا ۱۷ روز تسریع می‌دهد که این امر یک عامل محدود کننده در تولید گیلاس خواهد بود (Chmielewski, et al., 2018). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر فراوانی روزهای یخبندان‌ها در کوه‌های مون بلان به دلیل اهمیت آن در فعالیت‌های ورزشی (اسکی) حاکی از این بود که فراوانی وقوع یخبندان در فصل زمستان و تحت سناریوی بدبینانه RCP8.5 مابین ۳۰تا ۳۵ درصد و در تابستان مابین ۴۵ تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد که این مهم می‌تواند اثرات گسترده بر محیط زیست (کوچک‌شدن یخچال، سیل، تغییر در توزیع گونه‌ها و اکوسیستم‌ها) و جوامع (گردشگری تابستانی برای کوهنوردی و پیاده‌روی و گردشگری زمستانی برای اسکی) داشته باشد (Pohl, et al., 2019).

هم‌چنین در ایران؛ ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر یخبندان‌های زاهدان با استفاده از مدل‌های گردش کلی جو نشان داد تعداد یخبندان‌های سالانه در دهه‌های آتی ۱۸ روز نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. هم‌چنین بازه زمانی یخبندان‌های شدید و خیلی شدید در دوره آینده از ۷ ماه دوره مشاهده به ۵ ماه تقلیل خواهد یافت (احمدی و زهرایی،۱۳۹۳). براساس چشم‌انداز زمان وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره با استفاده از مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 در غرب ایران، تاریخ یخبندان پاییزه دیرتر و تاریخ یخبندان بهاره زودتر از گذشته روی می‌دهد (آقاشریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۵). براساس پهنه‌بندی مجموع روزهای یخبندان کشور با استفاده از داده‌های حداقل دمای مدل EH5OM در دو بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۱۵ و ۲۰۵۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی A1B بیشترین روزهای یخبندان کشور در ماه فوریه و در نوار کوهستانی زاگرس، آذربایجان و بلندی‌های البرز و خراسان با ۳۰۰ روز خواهد بود (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۵). پیش‌نگری اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر تاریخ و ریسک خسارت رخداد یخبندان‌های دیررس بهاره طی قرن بیست و یکم در ایران با استفاده از مدل CGCM3تحت سناریوهای انتشار A2 و A1B مشخص نمود که در دهه‌های آتی ریسک یخبندان دیررس بهاره کمتر خواهد بود (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۶). آغاز یخبندان‌های پاییزۀ استان خراسان جنوبی در ماه نوامبر بوده که به نخستین یخبندان‌های پاییزه معروف است. شروع یخبندان‌های زمستانۀ استان نیز در ماه ژانویه بوده است (رستمیان و حلبیان، ۱۳۹۷). واکاوی تعداد روزهای یخبندان ایستگاه همدید گرگان با رویکرد تغییر اقلیم در بازه‌ی زمانی ۵۴ ساله (۲۰۱۵-۲۰۶۸) حکایت از این داشت که دمای کمینه برای ایستگاه گرگان افزایش یافته و تعداد روزهای یخبندان کاهش معناداری داشته است؛ به طوری که میانگین تعداد روزهای یخبندان از ۱۶ روز دوره‌ی پایه به ۸ روز در سناریوی ۲/۶، حدود ۷ روز در سناریوی ۴/۵ و ۶ روز در سناریوی ۸/۵ خواهد رسید (کاشکی و همکاران، ۱۳۹۷). در ارزیابی تغییرات شروع و خاتمه یخبندان‌ها و سرماهای مؤثر در کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم در شمال‌غرب ایران میانگین ماهانه حداقل و حداکثر دمای روزانه در دوره آتی تا حدود ۰/۸ درجه سلسیوس در ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش خواهد داشت. بر این اساس وضعیت یخبندان‌ها و سرماها نیز در آینده نسبت به دوره پایه تغییر کرده به طوری که اولین سرما و یخبندان‌های پاییزه در دوره آتی دیرتر از قبل آغاز شده و سرما و یخبندان‌های بهاره نیز زودتر به پایان می‌رسند. همچنین طول دوره سرما و یخبندان نیز کاهش می‌یابد، که این می‌تواند بیانگر پیامد تغییر اقلیم در ایستگاه‌های مطالعاتی باشد (جعفربیگلو و همکاران، ۱۳۹۷). مدل‌های رگرسیونی چند متغیره، برای بررسی ارتباط بین پنج شاخص آماری یخبندان (متوسط تاریخ آغاز یخبندان، متوسط تاریخ خاتمه یخبندان، متوسط تعداد سالانه روزهای یخبندان، متوسط طول فصل یخبندان و متوسط طول فصل رشد) با سه عامل ارتفاع، طول و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

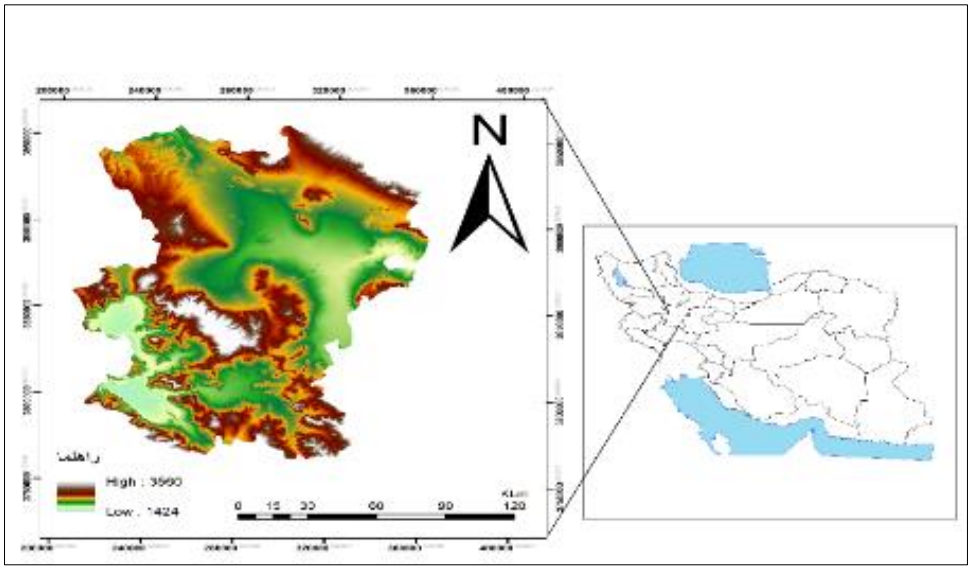
عرض جغرافیایی در استان کردستان مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت بر اساس مدل‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده برای هر شاخص، نقشه‌های پهنه‌بندی آن‌ها برای استان تهیه گردید (مسگری و همکاران، ۱۳۹۹).

به طورکلی یخبندان‌ها تأثیرات زیادی بر فعالیت‌های عمرانی و کشاورزی به ویژه محصولات باغی دارند؛ از سوی دیگر تغییر اقلیم نیز سبب تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی شده و اثر خود را به صورت تغییر طول دوره یخبندان، تغییر در تاریخ آغاز و خاتمه آن، تغییر شدت یخبندان‌های به وقوع پیوسته و تغییر در تداوم آن‌ها نشان می‌دهد (باغی مقدم، ۱۳۹۶). قرارگیری استان همدان در همجواری رشته کوه‌های زاگرس سبب شده است که آب و هوایی غالبا سرد داشته باشد و هر ساله در اثر وقوع یخبندان‌های مداوم و ناگهانی خسارت‌های فراوانی در بخش کشاورزی متحمل شود. از اینرو هدف این پژوهش، ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی یخبندان‌های استان همدان در افق آینده با استفاده از کارایی مدل LARS-WG است تا از این طریق بتوان میزان خسارت و صدمات ناشی از یخبندان‌های طولانی‌مدت در این منطقه را به حداقل رساند.

داده‌ها و روش‌کار

موقعیت جغرافیایی منطقه

استان همدان با مساحت ۲۰۱۷۲ کیلومتر مربع، بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۸ دقیقه و ۴۴ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۳۷ ثانیه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ، در غرب ایران قرار گرفته است (شکل ۱). این استان به دلیل دوری از دریا و نفوذ جریان‌های پرفشار سرد شمالی و غربی، دارای آب‌وهوای سرد کوهستانی در بخش‌های شمالی و مرتفع و اقلیم معتدل کوهستانی در مناطق جنوبی می‌باشد. میانگین بیشینه دما در این استان ۳۶/۸ درجه سانتی‌گراد و کمینه دما، برابر با ۶- است. میزان بارش سالانه استان، بیش از ۳۰۰ میلی‌متر و با داشتن ۱۴۳روز یخبندان، یکی از استان‌های سرد کشور است (اداره کل هواشناسی استان همدان، ۱۴۰۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان همدان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

داده‌ها و روش‌شناسی

این پژوهش به منظور آشکارسازی تغییرات زمانی- مکانی وقوع یخبندان در شرایط فعلی و آینده استان از آمار روزانه پارامترهای اقلیمی در چهار ایستگاه‌های هواشناسی استان همدان که دارای دوره مشترک آماری از سال ۲۰۲۰-۱۹۹۰ بودند، استفاده شد. این ایستگاه‌ها شامل همدان، نوژه، ملایر و نهاوند هستند. لازم به ذکر است که با توجه به تعداد کم ایستگاه با بازه زمانی مناسب جهت پهنه‌بندی یخبندان در این استان از ایستگاه‌های مجاور (قروه، کنگاور و آوج) نیز استفاده شد. براساس تقویم میلادی تاریخ وقوع آغاز و خاتمه یخبندان، طول دوره یخبندان، فراوانی وقوع و طول دوره رشد یا عاری از یخبندان در دوره آماری مورد بررسی (۲۰۲۰-۱۹۹۶) برای هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی استخراج شد. سپس با استفاده از مدل LARS-WG به بررسی تغییرات رخداد یخبندان در دوره آینده نسبت به دوره پایه پرداخته شد. در این راستا مراحل زیر صورت گرفت:

- **صحت داده‌ها و کنترل کیفیت آن‌ها:** ابتدا به منظور صحت و همگنی داده‌ها آزمون ران تست انجام شد. این آزمون روی داده‌های موجود انجام و همگنی داده‌ها در کلیه نقاط در سطح اعتماد ۵ درصد مشخص شد.
- **آزمون روند:** یرای بررسی تغییرات تاریخ‌های آغاز و پایان وقوع یخبندان، فراوانی و طول دوره آن از آزمون روند من‌کندال و شیب سنس استیمتور استفاده شد (مصطفی‌زاده و مهری، ۱۳۹۷).
- **پیش‌نگری تغییرات یخبندان:** جهت ارزیابی تغییرات رخداد یخبندان در دهه‌های آتی ابتدا دمای حداقل روزانه منطقه برای بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۲۱ پیش‌نگری شد. برای این کار از خروجی مدل سه بعدی جفت شده گردش کلی جو یعنی CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6،RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. با توجه به بزرگ بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های گردش کلی جو خروجی آن‌ها باید با یکی از روش‌های آماری یا دینامیکی ریزمقیاس گردند که در این پژوهش از مدل LARS-WG برای این امر استفاده شد. برای ارزیابی داده‌های مشاهداتی و تولید شده از معیارهای خطاسنجی (RMSE، MSE و MAE) استفاده گردید. معیارهای فوق از روابط زیر بدست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(o_i - e_i)2}{n}}$$ رابطه (1)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(o_i - e_i)}{n}$$ رابطه (2)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(o_i - e_i)2}{n}$$ رابطه (3)

در روابط فوق oi و ei به ترتیب مقادیر مشاهده شده در ایستگاه و مقادیر برآورد شده توسط مدل در زمان i می‌باشد و oو e میانگین کل داده‌های oi و ei در جامعه‌ی آماری و n تعداد مشاهدات است.

تحلیل مکانی: برای بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های یخبندان استان در شرایط فعلی و افق آینده از روش IDW در محیط نرم‌افزار ARC GIS استفاده شد (حسینی و کاشکی، ۱۴۰۰).

بحث و نتایج

توزیع مکانی یخبندان در استان همدان

جدول ۱ تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان استان را برای دوره ۲۰۲۰- ۱۹۹۰ نشان می‌دهد. زودترین تاریخ یخبندان مربوط به ایستگاه‌های نوژه و همدان است که به ترتیب در روزهای ۵ و ۶ آبان ماه رخ می‌دهد. دیرترین زمان خاتمه یخبندان نیز مربوط به ایستگاه آوج (۲۹ فروردین) است. بر این اساس، یخبندان در استان همدان معمولاً از ۵ آبان شروع و تا ۲۹ فروردین ادامه دارد.

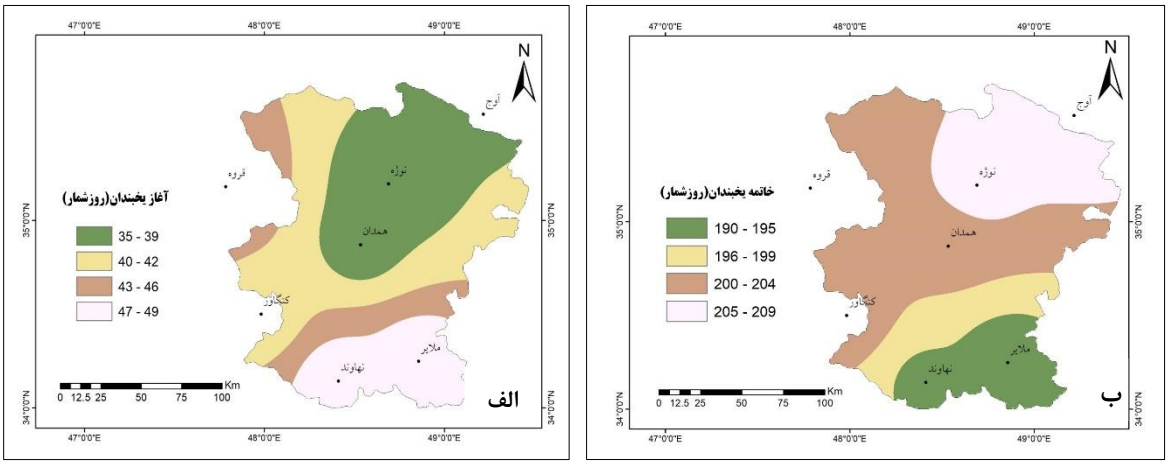
جدول ۱. تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰

ردیف	نام ایستگاه	اولین یخبندان	روزشمار	آخرین یخبندان	روزشمار
۱	آوج	۸ آبان	۳۸	۲۹ فروردین	۲۰۹
۲	همدان	۶ آبان	۳۶	۲۱ فروردین	۲۰۱
۳	نوژه	۵ آبان	۳۵	۲۷ فروردین	۲۰۷
۴	کنگاور	۹ آبان	۳۹	۲۳ فروردین	۲۰۴
۵	ملایر	۱۹ آبان	۴۹	۱۰ فروردین	۲۱۰
۶	نهاوند	۱۹ آبان	۴۹	۱۳ فروردین	۲۱۳
۷	قروه	۱۸ آبان	۴۸	۱۹ فروردین	۲۱۹

بررسی توزیع مکانی آغاز یخبندان نشان می‌دهد که توزیع مکان آن کم و بیش از وضعیت توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند، به‌طوری که یخبندان در نواحی شمال‌شرقی منطقه زودتر آغاز می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ (الف) ملاحظه می‌شود، تاریخ آغاز یخبندان در این نواحی بین ۵ آبان تا ۱۲ آبان می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده در بخش‌های زیادی از نواحی مرکزی نیز یخبندان در این تاریخ‌ها شروع می‌شود که دلیل آن ارتفاع زیاد این مناطق و قرار گرفتن آن‌ها در نواحی کوهستانی می‌باشد. هم‌چنین نواحی جنوبی استان مانند نهاوند و ملایر آخرین مناطقی هستند که یخبندان را در فصل پاییز تجربه می‌کنند. در مجموع در پهنه استان یخبندان‌های زودرس پاییزه از ۵ آبان تا ۱۹ آبان شروع می‌شود.

شکل ۲ (ب) توزیع تغییرات مکانی زمان خاتمه یخبندان را در استان نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، یخبندان به جز نواحی شمال‌شرقی استان در سایر نواحی اوایل بهار خاتمه می‌یابد (تا ۱۳ فروردین). آخرین منطقه‌ای که در آن یخبندان خاتمه می‌یابد ایستگاه‌های واقع در نواحی شمالی و شمال شرقی منطقه می‌باشد که تا ۲۹ فروردین ادامه می‌یابد. در مجاورت نواحی مرتفع و کوهستانی شمال و شمال‌شرقی استان دشت‌های وسیع نیز قرار دارد که در مسیر بادهای شدید است و توده‌های هوای سرد به راحتی این نواحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

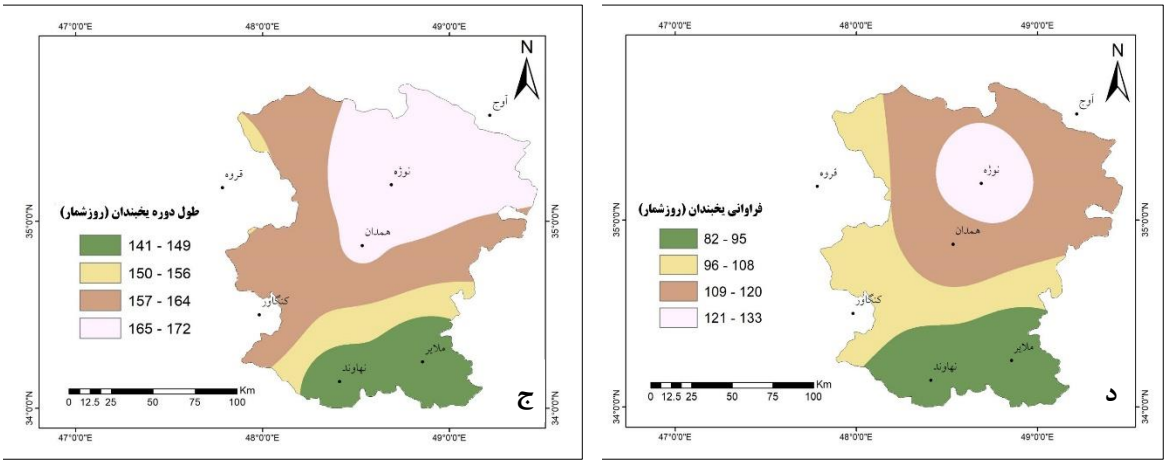
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]



شکل ۲. میانگین توزیع مکانی آغاز و خاتمه یخبندان در منطقه مورد مطالعه بر حسب روزشمار (از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰)

تغییرات مکانی طول دوره یخبندان نیز نشان می‌دهد که نواحی شمال‌شرقی و شمالی استان از بیشترین طول دوره یخبندان برخوردارند که بین ۱۵۷ تا ۱۷۲ روز است به عبارتی؛ یخبندان در این نواحی زودتر آغاز می‌شود و دیرتر نیز خاتمه می‌یابد. در نتیجه، طول دوره یخبندان بیشتر خواهد. کمترین طول دوره یخبندان نیز مربوط به نواحی جنوبی و جنوب‌شرقی استان است که بین ۱۴۱ تا ۱۵۰ روز است (شکل ۳ ج).

شکل ۳ (د) تغییرات مکانی فراوانی یخبندان را در دوره مشاهده نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود فراوانی رخداد یخبندان نیز تا حدودی از وضعیت ارتفاعی منطقه تبعیت می‌کند. به‌طوری که، نواحی شمال شرقی و شمالی استان از بیشترین فراوانی یخبندان برخوردارند که به میزان ۱۲۰ تا ۱۳۳ روز در سال می‌رسد. کمترین فراوانی نیز مربوط به نواحی جنوب شرقی استان است که بین ۸۲ تا ۹۵ روز در سال است که از وضعیت توپوگرافی و اقلیمی استان پیروی می‌کند. در واقع این منطقه نسبت به مناطق شمالی‌تر از نظر دمایی زمستان‌های ملایم‌تر دارند. به طورکلی، مناطق شمال و مرتفع استان آب و هوای سرد کوهستانی دارد و مناطق جنوبی آن (ملایر و نهاوند) دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است.

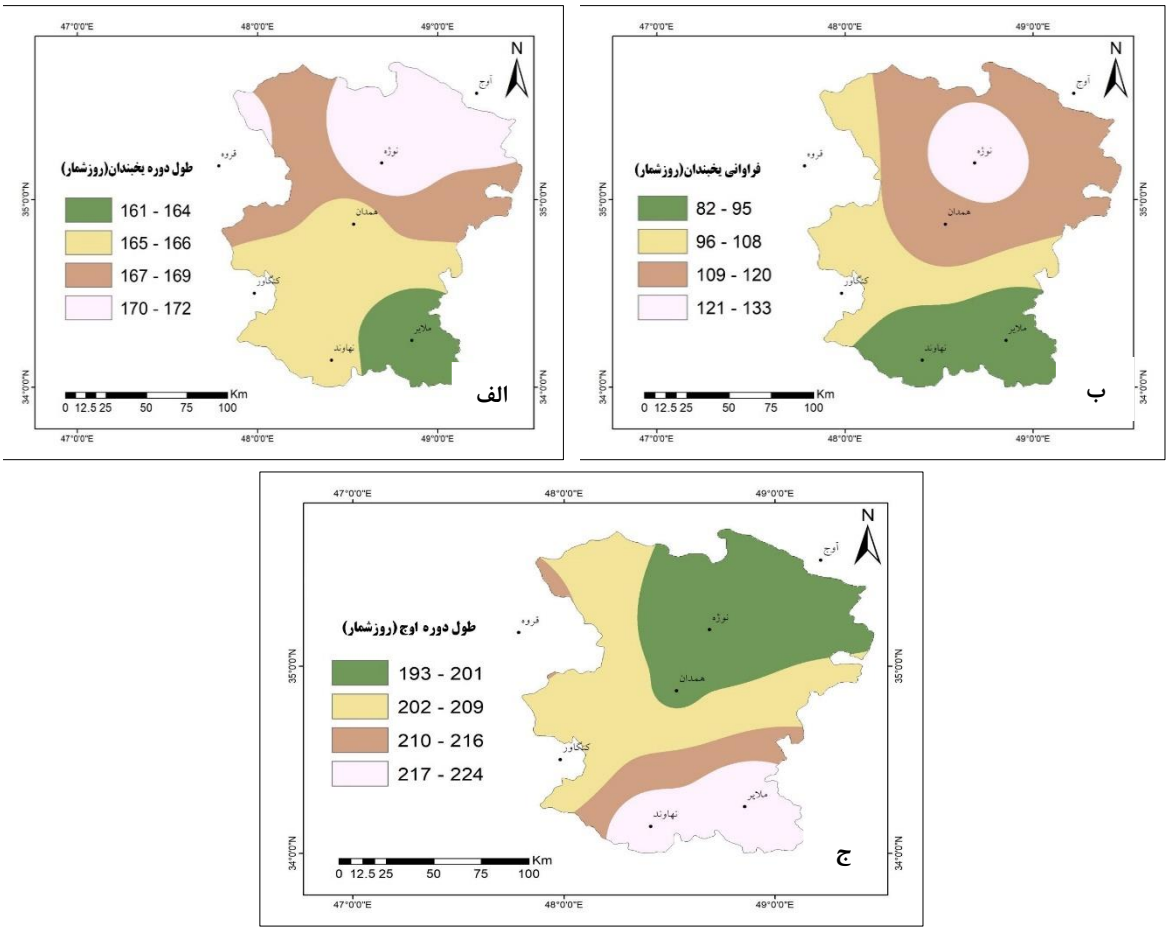


شکل۳. میانگین تغییرات مکانی فراوانی وقوع و طول دوره یخبندان در منطقه مورد مطالعه بر حسب روز در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

توزیع زمانی یخبندان در استان همدان در دوره پایه (از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰)

بر اساس نتایج بدست آمده، طول دوره یخبندان در استان همدان بین ۱۶۱ تا ۱۷۲ روز در سال متغیر است که طولانی‌ترین آن مربوط به نواحی شمال شرقی استان (ایستگاه نوژه با ۱۷۲ روز) و کوتاه‌ترین دوره یخبندان مربوط به نواحی جنوب شرقی و ایستگاه ملایر (با ۱۶۱ روز در سال) می‌باشد. بیشترین و کمترین فراوانی وقوع یخبندان نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های نوژه با ۱۳۳ روز و ملایر با ۸۲ روز در سال است. به این ترتیب با توجه به طول دوره یخبندان، کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین دوره اوج یخبندان نیز به ایستگاه‌های مذکور اختصاص می‌یابد (شکل ۴ الف، ب و ج).



شکل ۴. میانگین طول دوره، فروانی وقوع و دوره اوج یخبندان در ایستگاه‌های استان در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

روند تغییرات زمانی آغاز، خاتمه، فراوانی و طول دوره یخبندان بر اساس آزمون من کندال شیب سن

نتایج به دست آمده از اعمال آزمون من-کندال و شیب سن بر روی داده‌های زمان آغاز یخبندان در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری مورد بررسی نشان می‌دهدکه زمان شروع یخبندان به غیر از ایستگاه‌های آوج، همدان و نهاوند دارای روند افزایشی است که این روند افزایشی فقط در ایستگاه قروه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۲). اما روند کاهشی در هیچکدام از ایستگاه‌ها مورد مطالعه معنی‌دار نیست و از نوع نوسانات کوتاه‌مدت آب و هوایی است. نتایج

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

حاصل از شیب سن نیز حاکی از روند کاهشی آغاز یخبندان در ایستگاه‌های آوج و همدان است. بیشترین افزایش و کاهش شیب تغییرات نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های نوژه با شیب سن برابر با ۰/۶۸ و آوج با شیب سن برابر با ۰/۰۷- می‌باشد. در مجموع بر اساس نتایج حاصل از بررسی زمان شروع یخبندان در طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه، زمان شروع یخبندان در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش یافته است و بیانگر آن است که زمان شروع یخبندان دیرتر اتفاق خواهد افتاد.

جدول ۲. روند تغییرات زمانی آغاز یخبندان در طول دوره آماری مورد بررسی

ردیف	نام ایستگاه	آماره من کندال	شیب سن	نوع روند
۱	آوج	-۰/۱۷	-۰/۰۷	کاهشی
۲	همدان	-۰/۳۸	-۰/۰۲	کاهشی
۳	نوژه	۱/۸۹	۰/۶۸	افزایشی
۴	کنگاور	۰/۳	۰/۱۲	افزایشی
۵	ملایر	۰/۵۶	۰/۱	افزایشی
۶	نهاوند	-۰/۰۵	۰/۰۰	کاهشی
۷	قروه	**۱/۹۹***	۰/۵۷	افزایشی

*** همبستگی معنادار در سطح ۵ درصد**

نتایج حاصل از آزمون من-کندال و شیب سن بر روی داده‌های زمان خاتمه یخبندان نیز نشان می‌دهدکه زمان خاتمه یخبندان در سطح منطقه در ایستگاه‌های آوج، همدان، ملایر و نهاوند دارای روند افزایشی است و در سایر ایستگاه‌ها روند کاهشی است (جدول ۳). در بین ایستگاه‌های دارای روند افزایشی نیز فقط ایستگاه همدان با آماره من کندال ۲/۲ در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شده است و در سایر ایستگاه‌ها از نوع نوسانات کوتاه‌مدت آب و هوایی است. روند کاهشی زمان خاتمه یخبندان نیز در هیچکدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه معنی‌دار نشده است. نتایج حاصل از شیب سن نیز روند کاهشی و افزایشی ایستگاه‌های مذکور را به خوبی نشان می‌دهد. بیشترین افزایش و کاهش شیب تغییرات زمان خاتمه یخبندان نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های همدان با شیب سن برابر با ۰/۶ و نوژه با شیب سن برابر با ۰/۸۳- می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل و با توجه به اینکه روند کاهشی زمان خاتمه یخبندان در ایستگاه‌های دارای روند کاهشی از نوع نوسانات کوتاه‌مدت آب و هوایی است می‌وان اظهار داشت که زمان خاتمه یخبندان در سطح منطقه کاهش‌یافته است و بیانگر آن است که زمان خاتمه یخبندان در سطح منطقه زودتر رخ خواهد داد و به سمت اواخر زمستان کشیده شده است که ناشی نوسانات دمایی به ویژه افزایش دما در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۳. روند تغییرات زمانی خاتمه یخبندان در طول دوره آماری مورد بررسی

ردیف	نام ایستگاه	آماره من کندال	شیب سن	نوع روند
۱	آوج	۰/۷۲	۰/۲۵	افزایشی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

۲	همدان	**۲/۲۲***	۰/۶	افزایشی
۳	نوژه	-۱/۱۶	-۰/۸۳	کاهشی
۴	کنگاور	-۰/۲۶	-۰/۱۳	کاهشی
۵	ملایر	۰/۴	۰/۱	افزایشی
۶	نهاوند	۱/۶۲	۰/۵	افزایشی
۷	قروه	-۰/۱۹	-۰/۰۵	کاهشی

روند تغییرات زمانی فراوانی و طول دوره یخبندان بر اساس آزمون من کندال و شیب سن

نتایج حاصل از آزمون من-کندال و شیب سن بر روی داده‌های فراوانی و طول دوره یخبندان نشان داد که فراوانی یخبندان در اکثر ایستگاه‌های دارای روند کاهشی است که این روند در ایستگاه همدان با آماره من کندال ۲/۲- در سطح اطمینان ۹۵ درصد و در ایستگاه قروه با آماره من کندال برابر با ۳/۴- در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار شده است و در سایر ایستگاه‌ها از نوع نوسانات کوتاه‌مدت آب و هوایی است (جدول ۴). روند افزایشی فراوانی یخبندان نیز در هیچکدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه معنی‌دار نشده است. نتایج حاصل از طول دوره یخبندان نیز روند کاهشی در ایستگاه‌های نوژه، کنگاور و قروه و روند افزایشی در سایر ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. روند کاهشی مذکور فقط در ایستگاه نوژه با آماره من کندال ۲/۲- و شیب سن برابر با ۱/۷- در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شده است و روندهای کاهشی و افزایشی در سایر ایستگاه از نوع نوسانات کوتاه‌مدت آب و هوایی است. بر این اساس در بیشتر مناطق استان طول دوره یخبندان و همچنین فراوانی یخبندان کاهش یافته است که ناشی از افزایش دما در سال‌های اخیر و اثرات تغییرات اقلیمی در استان مورد مطالعه است.

جدول ۴.روند تغییرات زمانی فراوانی و طول دوره یخبندان در طول دوره آماری مورد بررسی

ردیف	نام ایستگاه	آماره من کندال		شیب سن	
		فراوانی	طول دوره	فراوانی	طول دوره
۱	آوج	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۰۰	۰/۱
۲	همدان	**-۲/۲۳***	**۱/۷۵**	۰/۵	۰/۷۲
۳	نوژه	**۱/۱۸***	**-۲/۲۴**	۰/۴	-۱/۷
۴	کنگاور	-۱/۶۱	-۰/۵۱	-۰/۵	-۰/۲۱
۵	ملایر	-۱/۱۵	۰/۴۲	-۰/۴	۰/۲۱
۶	نهاوند	۰/۳۵	۱/۳۱	۰/۱۲	۰/۶
۷	قروه	**-۳/۴***	**-۱/۷۱**	-۱/۳۶	-۰/۸۸

*** همبستگی معنادار در سطح ۵ درصد**

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

پیش‌نگری تغییرات اقلیمی یخبندان در دوره آینده (از ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰)

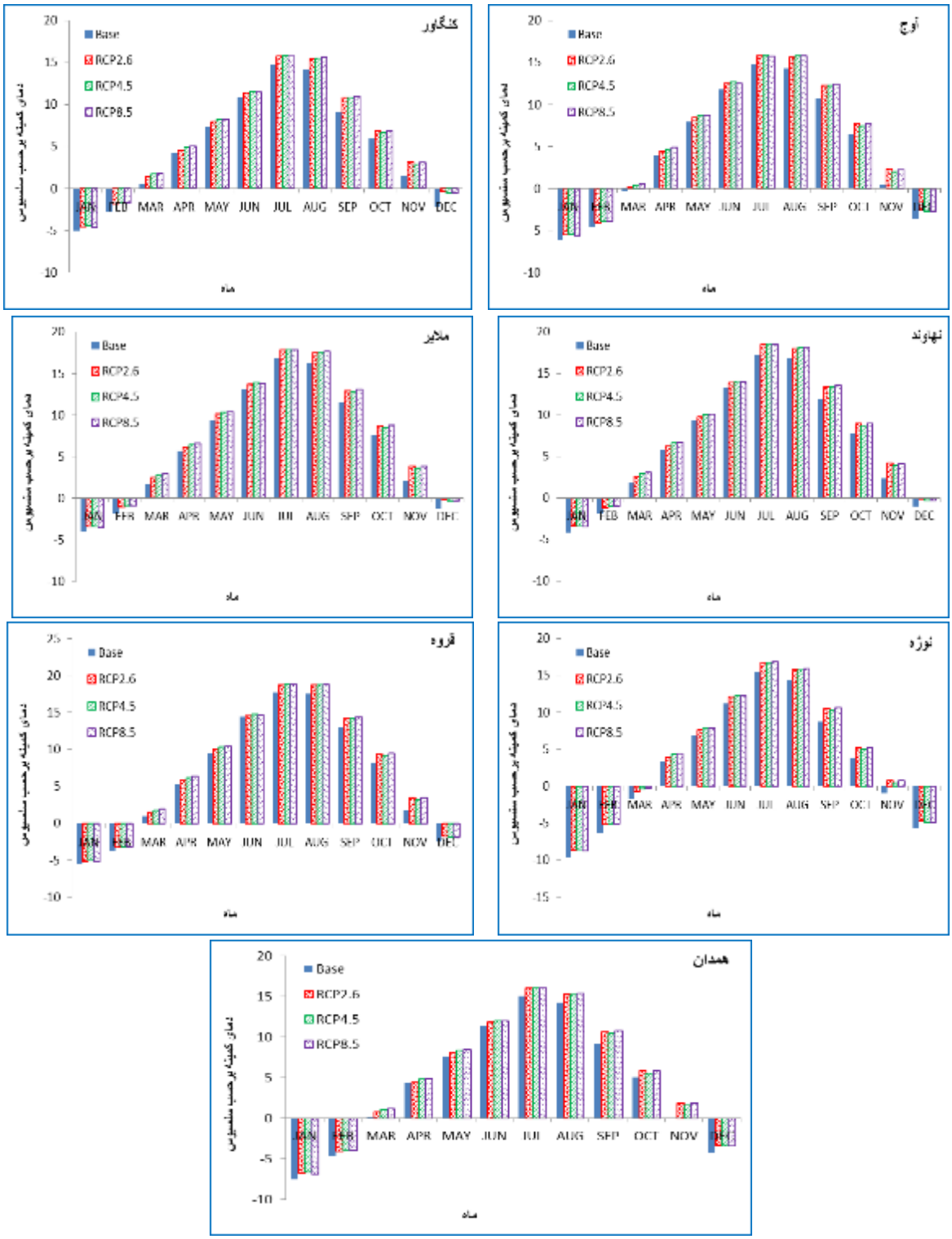
به منظور بررسی و تحلیل وضعیت یخبندان در دهه‌های آتی، پس از ارزیابی دقت مدل CanESM2، متغیر دمای کمینه برای بازه زمانی (۲۰۵۰-۲۰۲۱) تحت سه سناریو RCP2.6،RCP4.5 و RCP8.5 پیش‌بینی شد. دقت مدل مذکور با استفاده از سه شاخص خطاسنجی (RMSE، MSE و MAE) انجام گرفت؛ بررسی شاخص‌های فوق بیانگر آن است که مدل ریزمقیاس‌گردانی LARS-WG از کار آیی مناسبی جهت ریزمقیاس گردانی پارامتر دمای کمینه در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. بر اساس نتایج حاصل دقت مدل در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است. به طوری که بیشترین خطای مدل در شبیه‌سازی دمای کمینه مربوط به ایستگاه قروه با RMSE برابر با ۰/۴۲ و کمترین خطا نیز مربوط به ایستگاه نهاوند با RMSE برابر با ۰/۲۵ می‌باشد (جدول ۵). در مجموع نتایج نشان می‌دهد مدل در ایستگاه‌های با دامنه تغییرات دمایی کم از دقت مناسب‌تری نسبت به ایستگاه‌های با دامنه تغییرات زیاد دمایی برخوردار است.

جدول ۵. ارزیابی عملکرد مدل ریزمقیاس‌گردانی LARS-WG در شبیه‌سازی دمای کمینه

ردیف	ایستگاه	MSE	RMSE	MAE	R^2
۱	آوج	۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۹۹
۲	همدان	۰/۱۴	۰/۳۸	۰/۲۶	۰/۹۹
۳	کنگاور	۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۹۹
۴	ملایر	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۹۹
۵	نهاوند	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۹۹
۶	نوژه	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۹۹
۷	قروه	۰/۱۷	۰/۴۲	۰/۳	۰/۹۹

پس از ارزیابی توانایی مدل، پارامتر حداقل دما برای دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) تولید شد. نتایج حاصل از بررسی ماهانه دمای کمینه در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد که دمای کمینه در دوره مذکور در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی در همه ماه‌های سال نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. بیشترین تغییرات دمای کمینه بر اساس سناریوی RCP 8.5 در ماه‌های گرم سال برآورد شده است (شکل ۵). دلیل برآورد بیشترین تغییرات بر اساس سناریوی RCP 8.5 ناشی از ویژگی‌هایی است که این سناریو به نمایش می‌گذارد و نسبت به سایر سناریوها حالت بدبینانه‌تری دارد.

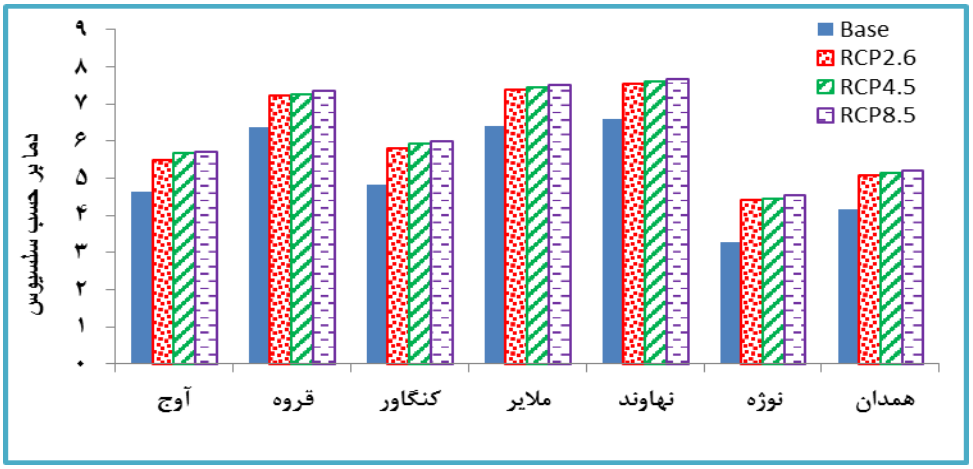
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]



شکل ۵. وضعیت ماهانه دمای کمینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مختلف

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

بر طبق نتایج حاصل از پیش‌نگری دمای کمینه به صورت متوسط بلندمدت و بر اساس هر سه سناریوی مورد بررسی میزان دمای کمینه در استان همدان نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. متوسط دمای کمینه استان بر اساس ایستگاه‌های مطالعاتی برابر با ۵/۲ درجه سلسیوس است که این مقدار در دوره آینده بر اساس سناریوهای مورد بررسی یعنی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به ۶، ۶/۲ و ۶/۳ درجه سلسیوس خواهد رسید. در بین ایستگاه‌های مطالعاتی نیز بیشترین تغییرات مربوط به ایستگاه نوژه با افزایش ۱/۳ درجه سلسیوس و بر اساس سناریوی RCP8.5 است. کمترین تغییرات نیز مربوط به ایستگاه قروه و همدان با ۰/۹ درجه سلسیوس و بر اساس سناریوی RCP2.6 است (شکل ۶). بر اساس نتایج دمای کمینه در دوره آینده به طور متوسط بین ۰/۹ تا ۱/۳ درجه سلسیوس در استان همدان افزایش خواهد یافت.



شکل ۶. متوسط بلندمدت دمای کمینه در دوره آینده نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مختلف

توزیع فضایی آغاز و خاتمه یخبندان در دوره آینده (از ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰)

نتایج حاصل از بررسی آغاز یخبندان در دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) نشان داد که اولین یخبندان در استان همدان در دوره آینده از ۲۸ مهر (ایستگاه همدان) شروع می‌شود و تا ۱۸ آبان ماه (ایستگاه ملایر) ادامه دارد. البته بر اساس سناریوی RCP4.5 یخبندان‌ها در استان همدان زودتر از این تاریخ‌ها هم شروع خواهد شد (جدول ۶). در مجموع بر اساس توزیع فضایی آغاز یخبندان در دوره آینده، یخبندان در نواحی شمال شرقی و شمالی استان زودتر از سایر مناطق استان شروع می‌شود و در نواحی جنوبی استان یخبندان دیرتر شروع خواهد شد (شکل ۷الف).

جدول ۷ تاریخ رخداد آخرین یخبندان در دوره آینده را نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود در سطح استان یخبندان‌های دیررس بهاره تا ۲۴ فروردین نیز ادامه خواهد داشت و توزیع آن به طور کلی در استان از ۸ تا ۲۴ فروردین خواهد بود و بر اساس سناریوی RCP 2.6 تاریخ رخداد یخبندان‌های دیررس تا ۲۶ فروردین نیز ادامه خواهد داشت. زودترین و دیرترین زمان خاتمه یخبندان به طور متوسط سناریوهای مورد بررسی مربوط به ایستگاه ملایر و نهاوند (۸ فروردین) و ایستگاه آوج (۲۴ فروردین) است. بر این اساس یخبندان در نواحی شمال استان دیرتر و در نواحی جنوبی زودتر خاتمه می‌یابد (شکل ۷ ب). به این ترتیب یخبندان به پیروی از تغییرات داده‌های دمای کمینه پیش‌نگری شده در نواحی شمالی استان زودتر شروع و دیرتر خاتمه می‌یابد.

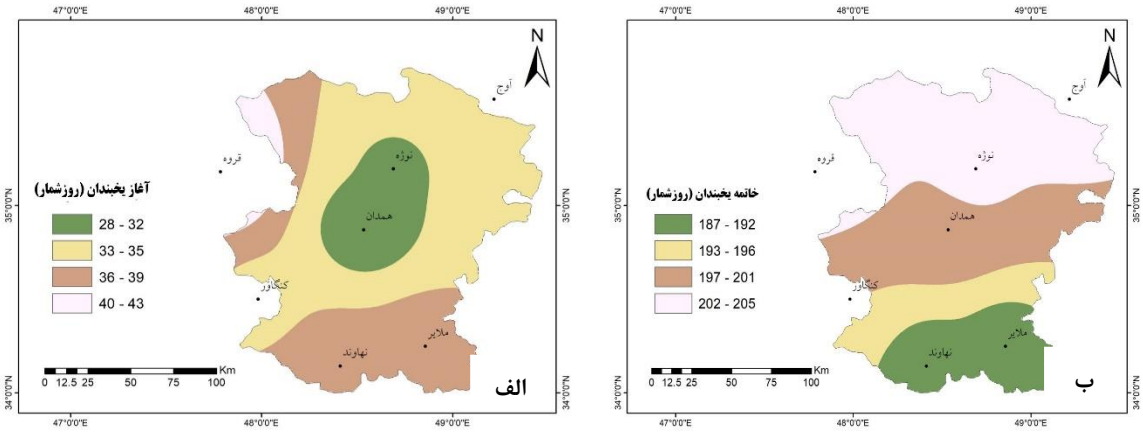
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

جدول ۶. تاریخ رخداد اولین یخبندان در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آینده بر اساس سناریوهای مختلف

ردیف	نام ایستگاه	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	متوسط
۱	آوج	۴ آبان	۳ آبان	۴ آبان	۴ آبان
۲	همدان	۲۹ مهر	۲۸ مهر	۳۰ مهر	۲۸ مهر
۳	نوژه	۱ آبان	۳۰ مهر	۱ آبان	۱ آبان
۴	کنگاور	۵ آبان	۳ آبان	۶ آبان	۴ آبان
۵	ملایر	۱۹ آبان	۱۷ آبان	۱۸ آبان	۱۸ آبان
۶	نهاوند	۱۹ آبان	۱۵ آبان	۱۸ آبان	۱۷ آبان
۷	قروه	۱۵ آبان	۱۳ آبان	۱۳ آبان	۱۳ آبان

جدول ۷. تاریخ رخداد آخرین یخبندان در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آینده بر اساس سناریوهای مختلف

ردیف	نام ایستگاه	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	متوسط
۱	آوج	۲۶ فروردین	۲۴ فروردین	۲۳ فروردین	۲۴ فروردین
۲	همدان	۲۱ فروردین	۲۰ فروردین	۲۰ فروردین	۲۰ فروردین
۳	نوژه	۲۴ فروردین	۲۲ فروردین	۲۳ فروردین	۲۲ فروردین
۴	کنگاور	۱۹ فروردین	۱۵ فروردین	۱۳ فروردین	۱۶ فروردین
۵	ملایر	۹ فروردین	۷ فروردین	۸ فروردین	۸ فروردین
۶	نهاوند	۱۰ فروردین	۸ فروردین	۷ فروردین	۸ فروردین
۷	قروه	۱۶ فروردین	۱۴ فروردین	۱۳ فروردین	۱۴ فروردین



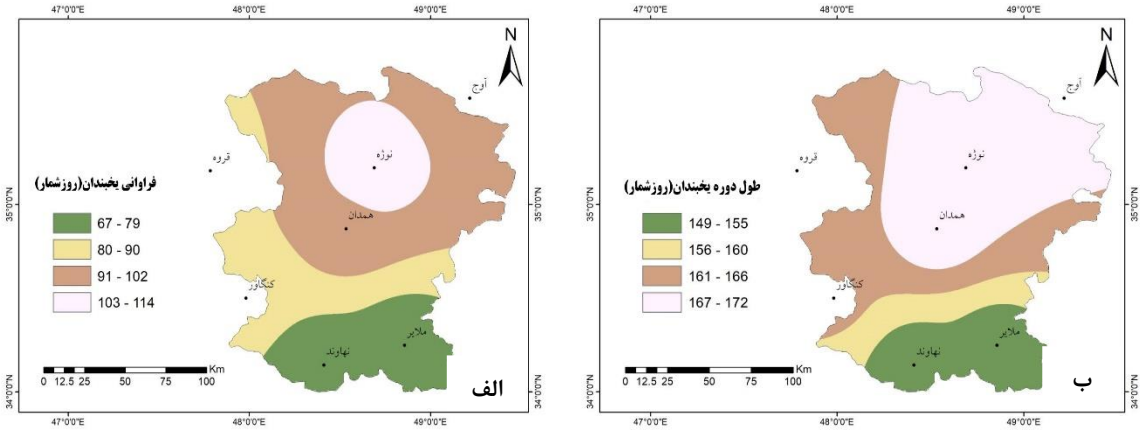
شکل۷. میانگین توزیع فضایی آغاز و خاتمه یخبندان در استان همدان در دوره آینده (از ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰) بر اساس سناریوها

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

توزیع فضایی فراوانی و طول دوره یخبندان در دوره آینده

توزیع فراوانی در دوره آینده نشان می‌دهد که فراوانی یخبندان در استان همدان به طور متوسط بین ۶۷ تا ۱۱۴ روز در سال خواهد بود که بیشترین و کمترین میزان آن به ترتیب مربوط به نواحی شمالی و جنوبی استان است به این ترتیب با حرکت از شمال به جنوب استان از فراوانی یخبندان کاسته می‌شود (شکل ۸ الف).

طول دوره یخبندان نیز در استان همدان بین ۱۴۹ تا ۱۷۲ روز در سال در تغییر است که کمترین و بیشترین میزان آن به تبعیت از آغاز و خاتمه یخبندان به ترتیب مربوط به نواحی جنوبی و شمالی استان است و بیشترین میزان آن مربوط به ایستگاه شهید نوژه با ۱۷۲ روز در سال است (شکل ۸ ب).



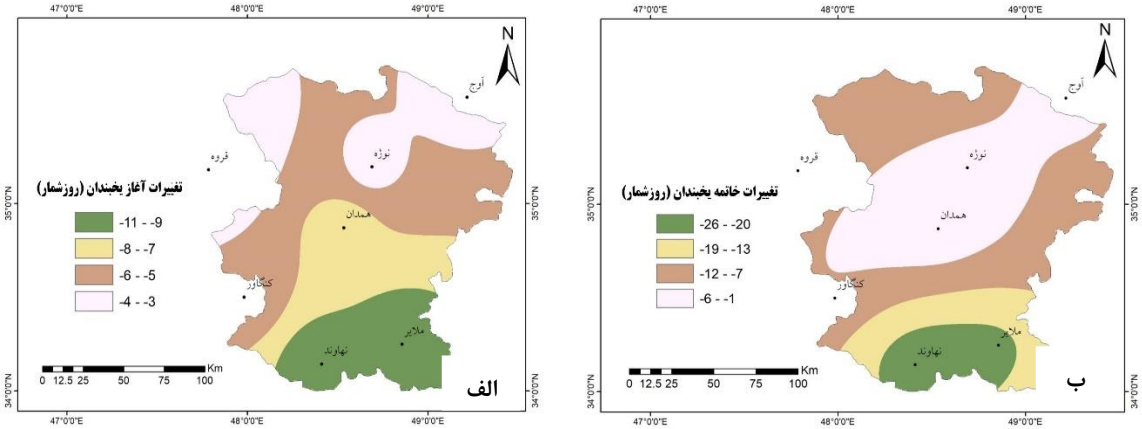
شکل ۸. میانگین توزیع فضایی طول دوره و فراوانی یخبندان در استان همدان در دوره آینده (از ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰) بر اساس سناریوها

توزیع تغییرات یخبندان در دوره آینده نسبت به دوره پایه

تغییرات آغاز و خاتمه یخبندان

نتایج حاصل از بررسی تغییرات آغاز یخبندان در دهه آینده نسبت به دوره پایه و درونیابی آن بر اساس روش IDW در استان همدان نشان داد که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه آغاز یخبندان کاهش خواهد یافت که این کاهش در سطح استان بین ۳ تا ۱۱ روز خواهد بود که بیانگر آن است یخبندان در دوره آینده زودتر اتفاق خواهد افتاد. بر اساس نتایج بیشترین و کمترین میزان تغییرات آغاز یخبندان به ترتیب مربوط نواحی جنوبی و شمالی استان است یعنی تغییرات در نواحی جنوبی استان که در دوره پایه یخبندان دیرتر آغاز شده شدیدتر از نواحی شمالی استان که یخبندان زودتر شروع می‌شود، است (شکل ۹ الف). بررسی تغییرات خاتمه یخبندان نیز نشان می‌دهد که در دوره آینده یخبندان در سطح استان بین ۱ تا ۲۶ روز زودتر نسبت به دوره پایه به پایان می‌رسد. بیشترین تغییرات مربوط به نواحی جنوبی استان و ایستگاه‌های ملایر و نهاوند و کمترین تغییرات طول دوره مربوط به نواحی شمالی استان و ایستگاه‌های نوژه و همدان است (شکل ۹ ب).

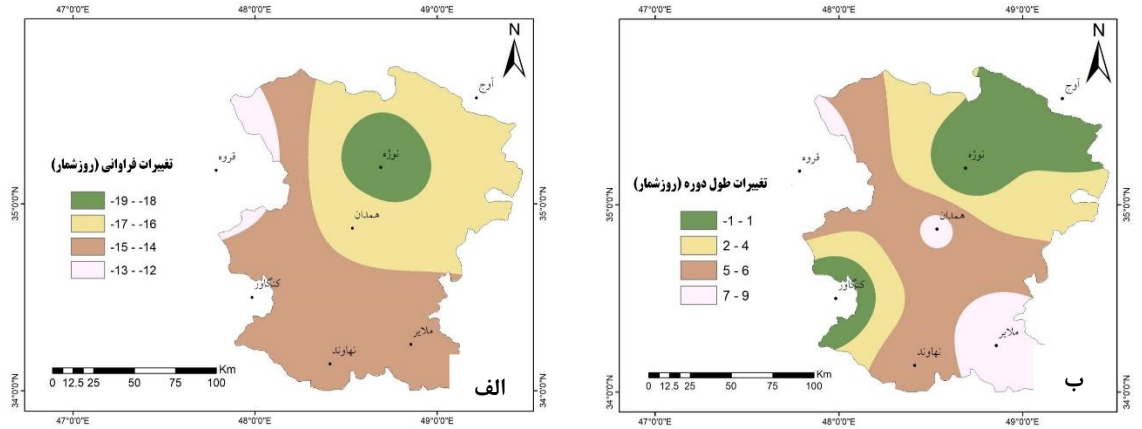
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]



شکل ۹. میانگین توزیع تغییرات آغاز و خاتمه یخبندان در دوره آینده (از ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰)

تغییرات فراوانی و طول دوره یخبندان

خروجی حاصل از توزیع تغییرات فراوانی یخبندان در استان همدان در دوره آینده نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد که کمترین تغییرات مربوط به جنوب و شمال‌غرب استان و بیشترین تغییرات مربوط به شمال‌شرق استان به ویژه در محدوده استان زنجان می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده بطور متوسط در دوره آینده بین ۱۲ تا ۱۹ روز کاهش فراوانی یخبندان نسبت به دوره پایه در این استان مشاهده می‌شود (شکل ۱۰ الف). نتایج حاصل از پهنه‌بندی و توزیع تغییرات طول دوره یخبندان نشان می‌دهد که کل منطقه با ۱- تا ۹ روز تغییر در طول دوره یخبندان مواجه خواهد شد که کمترین تغییرات مربوط به شمال شرق و جنوب غرب استان و بیشترین تغییرات مربوط به محدوده شهرستان‌های ملایر و همدان و بطور کلی نواحی جنوب شرقی و مرکزی استان همدان می‌باشد(شکل ۱۰ ب). در مجموع بر اساس نتایج حاصل می‌توان اذعان داشت که طول دوره یخبندان در بیشتر مناطق استان همدان افزایش خواهد یافت. با این وجود از میزان فراوانی یخبندان در استان کاسته خواهد شد.



شکل ۱۰. میانگین توزیع تغییرات فراوانی و طول دوره یخبندان در دوره آینده (از ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه(از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

نتیجه‌گیری

این پژوهش تلاشی برای تحلیل تغییرات زمانی- مکانی و پیش‌بینی آینده یخبندان‌های استان همدان بود. در این راستا، از مدل CanESM2 برای پیش‌نگری دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های استان استفاده شد. شبیه‌سازی این پارامتر برای دورهٔ ۳۰ ساله (۲۰۵۰-۲۰۲۱) و تحت سه سناریوی اقلیمی شامل RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه‌های منتخب انجام شد. نتایج حاصل از بررسی ماهانه دمای کمینه استان نشان داد که دمای کمینه در دوره آینده در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه بر طبق هر سه سناریوی مورد بررسی و در همه ماه‌های سال نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. متوسط دمای کمینه استان برابر با ۵/۲ درجه سلسیوس است که این مقدار در دهه‌های آتی بر اساس سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به ۶، ۶/۲ و ۶/۳ درجه سلسیوس خواهد رسید که بیشترین تغییرات مربوط به ایستگاه نوژه و کمترین آن به همدان اختصاص دارد که با خروجی پژوهش کاشکی و همکاران (۱۳۹۷) و باعقیده و همکاران (۱۳۹۶) منطبق است. همچنین توزیع فضایی آغاز و پایان یخبندان در دوره آینده بیانگر آن است که یخبندان در نواحی شمال‌شرقی و شمالی استان زودتر از سایر مناطق استان شروع و دیرتر خاتمه می‌یابد. در حالی‌که در نواحی جنوبی استان دیرتر شروع و زودتر به پایان می‌رسد که این نتایج با پژوهش جعفربیگلو و همکاران (۱۳۹۷) و رضائی و عابد (۱۳۸۹) مطابقت دارد. همچنین نتایج حاصل از بررسی فراوانی و طول دوره یخبندان در استان همدان حاکی از این است که بیشترین و کمترین فراوانی و طول دوره یخبندان به ترتیب مربوط به نواحی شمالی و جنوبی استان است. ارزیابی تغییرات آغاز یخبندان در دهه آینده نسبت به دوره پایه نشان داد یخبندان در دوره آینده زودتر اتفاق خواهد افتاد که بیشترین و کمترین میزان تغییرات به ترتیب مربوط نواحی جنوبی و شمالی استان است ولی خاتمه یخبندان در دوره آینده یخبندان در سطح استان بین ۱ تا ۲۶ روز زودتر نسبت به دوره پایه به پایان می‌رسد و با یافته‌های مسگری و همکاران (۱۳۹۹) برای استان کردستان همسو می‌باشد. خروجی حاصل از توزیع تغییرات فراوانی یخبندان در استان همدان در دوره آینده نشان داد که منطقه مورد مطالعه در آینده بین ۱۲ تا ۱۹ روز با کاهش فراوانی یخنبدان مواجه خواهد بود که نتیجه حاصل با نتایج کار احمدی و زهرایی (۱۳۹۵) در زاهدان مطابقت دارد. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای، کشاورزی و آمایش سرزمین به کار برده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود جهت مدیریت کلان اقلیمی در سطح کشور و اتخاذ سیاست‌های عملیاتی در بهره‌گیری بهینه از منابع کشاورزی، تقویم کشت، نوع کشت و استفاده از انرژی گرمایشی، تغییرات زمانی-مکانی یخبندان و جابجایی فصلی آن برای دیگر استان‌های سردسیر کشور نیز انجام شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

منابع

احمدی، محمود و اکبر زهرایی. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر یخبندان‌های زاهدان با استفاده از مدل‌های سه بعدی گردش عمومی جو. *پژوهش‌های دانش زمین*، **۴**: ۲۹-۴۴.

آذرخشی، مریم؛ جلیل فرزادمهر، مهدی اصلاح و حسین صحابی. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. *مرتع و آبخیزداری*، **۱۶**:۶۱-۱.

آقاشریعتمداری، زهرا؛ جواد بذرافشان و سیده الهه صفایی. ۱۳۹۵. چشم‌انداز زمان وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل SDSM در چند ایستگاه منتخب در نیمه غربی ایران. *نشریه هواشناسی کشاورزی*، **۴**: ۳۱-۲۲.

امیدوار، کمال و اقدس اصلانی. ۱۳۹۳. بررسی و تحلیل تغییرات زمانی- مکانی یخبندان در حوضه زاینده رود. *تحقیقات جغرافیایی*، **۳**:۱۶۳-۱۴۷.

امیدوار، کمال؛ رضا ابراهیمی، عباسعلی داداشی رودباری و مریم ملک میرزایی. ۱۳۹۴. واکاوی زمانی- مکانی فرین‌های سرد ایران تحت تأثیر گرمایش جهانی به‌منظور کاهش مخاطرات، *دانش مخاطره*، **۴**: ۴۳۷-۴۲۳.

امیدوار، کمال؛ رضا ابراهیمی، مرضیه جمشیدی مطلق و قاسم لکزاشکور. ۱۳۹۵. دورنمای اثر گرمایش جهانی بر تغییرات مکانی _ زمانی یخبندان‌های کشور. *مخاطرات محیط طبیعی*، **۸**:. ۱۲۲-۹۷.

باعقیده، محمد؛ الهه عسگری و عبدالرضا کاشکی. ۱۳۹۶. ارزیابی پیامدهای تغییراقلیم بر روند و ساختار پارامترهای آب و هوایی موثر بر تولید پسته مطالعه موردی: سبزوار. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. **۲۹**: ۳۲-۱۷.

باغی مقدم، فرزانه. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات، پیش بینی و پهنه‌بندی دوره‌های یخبندان در غرب کشور با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر صفر معروفی، دکتر امیرحسین سیاح زاده. دانشگاه ملایر، دانشکده کشاورزی.

جعفربگلو، ناصر؛ علی‌محمد خورشید دوست، مجید رضایی بنفشه و داشم رستم‌زاده. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات شروع و خاتمه یخبندان‌ها و سرماهای مؤثر در کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم در شمال غرب ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*،**۴**: ۶۴-۴۹.

جهانبخش اصل، سعید؛ شهناز راشدی و مهدی اصلاحی. ۱۳۹۵. تجزیه و تحلیل دوره‌های بازگشت یخبندان و توزیع زمانی آن در مراغه. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*. **۵۸**: ۸۳-۱۰۰.

حسینی، سید محمد و علیرضا کاشکی. ۱۴۰۰. پایش آب و هواشناسی روزهای برفی در زاهدان، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، **۵۴**: ۷۱-۵۷.

خلیلی، علی؛ جابر رحیمی و جواد بذرافشان.۱۳۹۶. پیش‌نگری کمی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر تاریخ و ریسک رخداد یخبندان دیررس بهاره طی قرن بیست و یکم در ایران. *نشریه هواشناسی کشاورزی*. **۲** :۴۸ – ۳۸.

رستمیان، مهناز و امیرحسین حلبیان. ۱۳۹۷. واکاوی آماری تواتر و تداوم روزهای یخبندان در استان خراسان جنوبی با بهره‌گیری از مدل زنجیرهٔ مارکوف، *برنامه‌ریزی فضایی*، **۲**: ۶۰-۳۹.

رضائی، پرویز و حسین عابد. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات دمای حداقل در ایستگاه همدیدی شهر رشت با تاکید بر دوره یخبندان. *فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی*، **۴**: ۴۸-۳۹.

صلاحی، برومند. ۱۳۹۵. پیش‌بینی و تحلیل رخداد یخبندان های سبک و سنگین استان اردبیل با استفاده از خروجی ریزگردان لارس دبلیو جی در دهه‌های آینده. *پژوهش‌های دانش زمین*. **۳**: ۲۷-۱.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]

کاشکی، عبدالرضا؛ حسین ایمانی‌پور و مینا فیروز یزدی.۱۳۹۷. واکاوی تعداد روزهای یخبندان ایستگاه همدید گرگان با رویکرد تغییر اقلیم. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)*،**۶**: ۲۷۹-۲۶۹.

کاویانی، محمدرضا. ۱۳۸۶. *میکروکلیماتولوژی*. چاپ دوم. تهران: انتشارات سمت.

مریانجی، زهره و علی براتیان. ۱۳۹۵. تغییرپذیری فصل یخبندان در استان همدان، مجله *آب و هواشناسی کاربردی*، **۳**: ۵۶-۴۱.

مسگری، ابراهیم؛ تقی طاوسی و پیمان محمودی. ۱۳۹۹. مدلسازی توپو-اقلیم شناسی و پهنه‌بندی شاخص‌های آماری یخبندان‌های استان کردستان. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، **۲۴**: ۳۸۳-۳۵۷.

مصطفی‌زاده، رئوف و سونیا مهری. ۱۳۹۷. تعیین وضعیت و تغییرات شاخص فصلی بارش در بخش مرکزی استان اردبیل، *پژوهش‌های آبخیزداری*، **۳**: ۳۹-۲۹.

مصطفی‌زاده، رئوف؛ وحید صفریان زنگیر، خدیجه حاجی. ۱۴۰۰. ارتباط و تأثیر متغیرهای اقلیمی بر وقوع تصادفات جاده‌ای (مطالعه موردی: محور برزند جاده گرمی-اردبیل)، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۴**: ۲۶-۱۷.

مظفری، غلامعلی .۱۳۹۳. بررسی روند تاریخ آغاز و خاتمه آستانه‌های دمای صفر و پنج درجه سانتی‌گراد در ایستگاه‌های منتخب ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، **۲**، ۱۱۱-۹۳.

Chmielewski, F. M., Götz, K. P., Weber, K. C., Moryson, S. 2018. Climate change and spring frost damages for sweet cherries in Germany. International journal of biometeorology, 62(2): 217-228.

Easterling, D. R., 2002. Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States, American meteorological society, 83: 1327-1332.

Eccel, E.; R. Rea, A. Caffarra., Crisci, A. 2009. Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phonological acclimation. International journal of biometeorology, 53(3): 273-286.

Graczyk, D.; Z. W. Kundzewicz., 2015. Changes of temperature-related agro climatic indices in Poland. Theoretical and Applied Climatology, 124:401 -410.

Lhotka, O., Brönnimann, S. 2002. Possible Increase of Vegetation Exposure to Spring Frost under Climate Change in Switzerland. Atmosphere, 11(4): 391-400.

Modala, N. R.; S. Ale, D. W. Goldberg, M. Olivares, C. L. Munster, N. Rajan, and R. A. Feagin. 2016. Climate change projections for the Texas High Plains and Rolling Plains. Theoretical and Applied Climatology, 124:1 -18.

Pohl, B., Joly, D., Pergaud, J., Buoncristiani, J. F., Soare, P., Berger, A. 2019. Huge decrease of frost frequency in the Mont-Blanc Massif under climate change. Scientific reports, 9(1): 1-7.

Potop, V., Zahraniček, P., Türkott, L., Štěpánek, P. 2013. Impacts of potential climate change on damaging frost during growing season of vegetable crops in Elbe River Lowland (Polabí). The Czech Republic. Natural hazards, 71(1): 1-19.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.2.2]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.1]