

A Study of Frost Season Variability in Hamadan Province

Zohreh Maryanaji

Assistant Professor, Department of Geography, Department of Geology, University of Seyyed Jamaloddin Asad Abadi, Hamadan, Iran
z.maryanaji@gmail.com

Ali Baratian

PhD in Climatology, Geosciences Research Center, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

Climate change is one of the current problems of human society and is a threat to the earth. The increase in the temperature of the earth caused extensive changes in earth's climate and also led to changes in the time and place of frost season. This study attempts to identify the changes in frost season in Hamadan province. For this purpose, the dates of the first frost in autumn and the last frost in spring was extracted from daily minimum temperature data in Hamadan province, and thus the frost season was determined and the linear trend and their possible changes during a 20-year period of 1993-2012 were analyzed. For this purpose, the observations were split into two decades. The results of this study show that in both decades, the frost season is about to begin in the late of autumn. Thus, the frost season is short and squeezed. This shift in the first decade was more intense than the second decade, which means that in recent years, the frost season has moved at a relatively slow pace towards mid-winter. In order to classify, frost seasonal variability was interpolated and the cluster analysis was done based on the 'Euclidean mean distance' and 'Ward' integrated method. Based on this, Hamadan province was classified into four regions in terms of frost season variability. The first and second regions, which are northern parts of the province, have a cold climate with the most changes, the third region has a shortened autumn and spring frost and compression of the frosty season to the winter. The 4th region has no significant change. The results of this research can be used to predict the occurrence of frost and its application in agricultural planning.

Key words: Frost season, Trend, First Autumn Frost, Last Spring Frost, Cluster analysis.

تغییرپذیری فصل یخبندان در استان همدان

زهرة مریانجی*، دکتری اقلیم‌شناسی، استادیار گروه جغرافیا، آب‌وهواشناسی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، همدان، ایران
علی براتیان، دکتری اقلیم‌شناسی، پژوهشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

*نویسنده مسئول: z.maryanaji@gmail.com

وصول: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴
صص: ۴۱-۵۶

چکیده

تغییر اقلیم، یکی از معضلات کنونی جامعه بشری است و تهدید و بلای سیاره زمین به شمار می‌آید. افزایش دمای کره زمین سبب ایجاد تغییرات ژرف و وسیع در اقلیم‌های زمین و بروز تغییراتی در زمان و مکان پدیده یخبندان می‌شود. این مطالعه برای شناخت تغییرات فصل یخبندان در استان همدان تلاش می‌کند؛ بدین منظور تاریخ وقوع نخستین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره از داده‌های روزانه حداقل دما در استان همدان، استخراج و بدین ترتیب فصل یخبندان مشخص و روند خطی و تغییرات احتمالی آنها طی دوره بیست‌ساله ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۲ تجزیه و تحلیل شد؛ بدین منظور مشاهدات به دو دهه مجزا تقسیم و مقایسه شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در هر دو دهه روند آغاز دوره یخبندان به طرف اواخر پاییز است؛ یعنی دوره یخبندان کوتاه و فشرده شده است. این جابه‌جایی در دهه نخست شدیدتر از دهه دوم بوده است؛ این بدان معناست که در سال‌های اخیر، فصل یخبندان با سرعتی نسبتاً کندتر به طرف اواسط زمستان در حرکت بوده است. برای طبقه‌بندی تغییرات فصل یخبندان بر روی داده‌های میان‌بایی شده و براساس «متوسط فاصله اقلیدی» و به روش ادغام «وارد»^۱ تحلیل خوشه‌ای صورت گرفت. بر این اساس، استان همدان از نظر تغییرات فصل یخبندان به چهار منطقه طبقه‌بندی شد. منطقه یک و دو که مناطق شمالی استان‌اند، دارای اقلیم سردند و با بیشترین تغییرات، کوتاه‌شدن فصل یخبندان را شدیدتر نشان می‌دهند. منطقه سه کوتاه‌شدن یخبندان پاییز و بهار و فشرده‌گی فصل یخبندان را به طرف زمستان نشان می‌دهد و در منطقه چهار فصل، یخبندان تغییر چشمگیری نداشته است. نتایج این پژوهش می‌تواند در پیش‌بینی تاریخ وقوع یخبندان‌ها و کاربرد آن در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: فصل یخبندان، روند، نخستین یخبندان پاییزه، آخرین یخبندان بهاره، تحلیل خوشه‌ای.

¹ Ward

مقدمه

انسان با شناخت ویژگی‌های آب و هوایی به شکل بهتری با محیط سازگار می‌شود و اشکال مطلوبی از ساخت‌های فضایی را با ابزار مناسب به وجود می‌آورد؛ زیرا عناصر و برخی پدیده‌های آب و هوایی با تغییرات کمی و کیفی خود بر اوضاع محیطی تأثیر می‌گذارند. افزایش دمای کره زمین سبب ایجاد تغییرات ژرف و وسیع در اقلیم‌های زمین و بروز تغییراتی در زمان و مکان پدیده‌های اقلیمی، از جمله یخبندان، می‌شود. بی‌نظمی زمانی مکانی پدیده یخبندان در بسیاری از مواقع خسارات جبران‌ناپذیری را بر جای می‌گذارد. امروزه بیشتر مطالعات زیست‌محیطی برای شناخت تغییرات اقلیمی و کاهش اثرات آن تلاش می‌کنند. یکی از جنبه‌های شایان توجه در تغییر اقلیم، جابه‌جایی و تغییر فصول یخبندان است.

یخبندان به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن دمای هوا در ارتفاع حدود یک تا دو متری از سطح زمین به صفر یا زیر صفر درجه سلسیوس می‌رسد. شدت یخبندان به وضعیت جوی بستگی دارد. تفاوت‌هایی که از نظر پستی و بلندی و پوشش گیاهی در مناطق مختلف وجود دارد نیز در این امر دخالت دارند (روزنبرگ و مایرس^۱، ۱۹۶۲: ۴۷). تقریباً هر بخش از اقتصاد ممکن است تحت تأثیر یخبندان‌های دور از انتظار قرار بگیرد و در بیشتر موارد، رخداد یخبندان‌ها اثر منفی دارد. یخبندان، دماهای صفر درجه یا کمتر از آن را شامل می‌شود. منظور از تداوم یخبندان‌ها مدت زمانی است که دمای صفر درجه یا کمتر از آن در یک منطقه حاکم باشد. براساس زمان وقوع، یخبندان‌هایی که زمان اوج آنها نسبت به تاریخ شاخص، کمتر یا بیشتر باشد، زودرس یا دیررس تلقی می‌شوند (حجازی‌زاده و مقیمی، ۱۳۸۱: ۶۱).

عوامل زیادی بر فرایند افت دما مؤثرند؛ از جمله الگوهای گردش جوی، بیلان تابش، رطوبت خاک، پیکربندی ناهمواری و عوامل محلی مثل دوری و نزدیکی به پهنه‌های بزرگ آب و عرض جغرافیایی (مولر^۲، ۲۰۰۵: ۹۵). از نظر شدت، یخبندان‌ها به سه دسته ملایم (حداقل دما بین صفر تا $-1/9$)، متوسط (بین $9/1$ تا $-3/9$) و شدید (کمتر از -4 درجه سانتی‌گراد) تقسیم می‌شوند (مجرد قره‌باغ، ۱۳۷۶: ۲۹). یخبندان و کاهش درجه حرارت در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای دارای اهمیت زیادی است؛ به‌خصوص که به دلیل بارش‌های مناسب در این مناطق کشاورزی نقش اساسی را در اقتصاد منطقه به عهده دارد. شناخت توزیع زمانی و مکانی و احتمال وقوع یخبندان‌ها یکی از بنیادی‌ترین تحقیقات اقلیم است که می‌تواند برنامه‌ریزان را به‌منظور کاهش خسارت‌های سرما و یخبندان راهنمایی و کمک کند (کمالی، ۱۳۸۱: ۱۵۱).

تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهان و ایران روی پدیده یخبندان انجام شده است. در زیر به چند نمونه اشاره می‌شود: اینساف و همکاران با بررسی روند حدهای اقلیمی نیویورک یافتند که تعداد روزهای یخبندان ۹۷ درصد روز در هر دهه با کاهش مواجه شده است (اینساف^۳، ۲۰۱۲: ۱۰۰۷). داشخو و همکاران نشان دادند در مغولستان یک افزایش ۱۵ روزه در تعداد روزهای یخبندان در ۵۰ سال گذشته وجود دارد (داشخو^۴، ۲۰۱۵: ۲۶). تراسمونتته و همکاران خصوصیات مکانی و زمانی یخبندان، از قبیل شدت، مدت، روند و... را در کشور پرو بررسی کردند (تراسمونتته^۵، ۲۰۰۸).

¹ Rozenberg, N. J. & R. E. Myers

² Müller, G.V

³ Insaf, T.Z

⁴ Dashkhuu.D

⁵ Trasmonte, G

۲۶۵). سیلمن و روکنر در پژوهشی شاخص FD را برای استخراج روند روزهای همراه با یخبندان پیشنهاد کردند (سیلمن و روکنر^۱، ۲۰۰۸: ۸۳). پرابا و هوگنبوم استفاده از مدل‌های عددی را جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی یخبندان‌ها استفاده کرده و پیشنهاد داده‌اند (پرابا و هوگنبوم^۲، ۲۰۰۸: ۲۳۴).

وایلن ویژگی‌های یخبندان‌ها، تاریخ آغاز و خاتمه آنها، سردترین دما و خطر وقوع دوره‌های سرد را در فلوریدای مرکزی بررسی و توزیع احتمالی آن را پیش‌بینی کرده است. تحلیل رگرسیون سری‌های متوسط دمای حداقل روزانه و واریانس‌های سالانه آنها نشان داده است که با افزایش واریانس، احتمال وقوع یخبندان نیز افزایش می‌یابد (وایلن^۳، ۱۹۸۸: ۶۰۷). ساکلینگ با استفاده از شاخص انحراف آب‌وهوا نوسانات تاریخ وقوع آخرین یخبندان‌های بهار و اولین یخبندان‌های پاییزه و طول مدت فصل رشد را در جنوب شرقی ایالات متحده مطالعه کرده است. نتیجه این تحقیقات نشان داد یک دوره نسبتاً نرمال در اواخر دهه ۱۹۵۰ تا اوایل دهه ۱۹۷۰ در تاریخ وقوع آخرین یخبندان‌های بهار و اولین یخبندان‌های پاییزه و طول مدت فصل رشد حاکم بوده است (ساکلینگ^۴، ۱۹۸۸: ۲۳۹). واتکینز با استفاده از مدل رگرسیون خطی پی برد که طول مدت فصل یخبندان در حدود دو روز برای هر دهه کاهش یافته است که این کاهش با افزایش درجه حرارت توجیه‌پذیر است. وی به‌منظور پی‌بردن به تغییرات درازمدت فصل یخبندان پس از تحلیل دماهای روزانه، خاتمه یخبندان‌ها را در انگلستان مرکزی مطالعه کرد (واتکینز^۵، ۱۹۹۱: ۸۸۹). وگا با تجزیه و تحلیل یخبندان‌ها در نواحی اقلیمی جنوب ایالات متحده و با استفاده از دوره آماری سی‌ساله در ۳۴۲ ایستگاه، یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهار را ده، سی، پنجاه، هفتاد و نود درصد برای هر ایستگاه محاسبه کرده است. هر سطحی در چهار آستانه درجه حرارت ۲۶، ۲۸، ۳۲، ۳۶ فارنهایت محاسبه و بررسی شده است. در پاییز نمودار زمان وقوع بیانگر احتمال رخداد یخبندان بعد از زمان وقوع است؛ همچنین در بهار نمودار زمان وقوع نشان‌دهنده احتمال رخداد یخبندان قبل از زمان وقوع است (وگا^۶، ۱۹۹۴: ۴۰۳). تات و ژنگ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ویژگی‌های یخبندان ناحیه اوتاگو در کشور نیوزیلند را بررسی و نقشه‌های زمان آغاز و خاتمه یخبندان را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای این ناحیه تهیه کردند (تات و ژنگ^۷، ۲۰۰۳: ۱۹۳). مدلین و بلتراند پراکندگی مکانی یخبندان‌های دیررس بهار و عوامل تأثیرگذار بر آن را در ناحیه تاکداری شمال فرانسه مطالعه کردند. آنها عوامل تأثیرگذار بر پراکندگی مکانی یخبندان را در دو مقیاس ماکروکلیم (طول و عرض جغرافیایی) و توپوکلیم (عوامل محلی و توپوگرافی) مد نظر قرار دادند (مدلین و بلتراند^۸، ۲۰۰۵: ۵۱).

مونن شاخص‌های متعددی، از جمله تاریخ یخبندان‌های بهار و پاییزه و طول دوره بدون یخبندان را از ۱۲۲ سال آمار برای دو دوره سی‌ساله در ایتالیا مقایسه کرد (مونن^۹، ۲۰۰۲: ۱۳).

¹ Sillmann .J & Roeckner .E

² Prabha, T., and G. Hoogenboom

³ Waylon, p.r

⁴ Suckling, P. W

⁵ Watkins, S. C

⁶ Vega, A. J

⁷ Tait, A., and X. Zheng

⁸ Madelin, M., and G. Beltrando

⁹ Moonen, A. C

مولر و بری در یک مطالعه دیگر الگوهای گردش جوی را مطالعه کردند که منجر به یخبندان‌های بادوام و گسترده امریکای مرکزی می‌شود. نتایج، بیانگر ناهنجاری و اچرخندی بر روی امریکای جنوبی است که جریان‌های جنوبی و وزش هوای سرد به سمت امریکای جنوبی و یخبندان‌های بادوام و گسترده را به همراه دارد (مولر و بری^۱، ۲۰۰۷: ۱۲۶۸).

سلمان پور معتقد است در ایران بسیاری از دانشمندان علوم کشاورزی و آب و هواشناسی پژوهش‌های خود را در زمینه شدت و مدت یخبندان متمرکز و در شناخت ویژگی‌ها، چگونگی و تأثیرات این پدیده تلاش کرده‌اند (سلمان پور، ۱۳۸۶: ۱۲). علی‌زاده براساس مطالعه داده‌های حداقل دمای روزانه پانزده ایستگاه هواشناسی استان خراسان و با بهره‌گیری از احتمال وقوع تجربی نتیجه گرفته است با احتمال هشتاد درصد یخبندان‌های ملایم ایستگاه مشهد در ۲۹ اسفند خاتمه می‌پذیرد (علی‌زاده، ۱۳۷۳: ۳۸). مجرد قره‌باغ در مطالعه خود در زمینه اصول و روش‌های تحلیل و پیش‌بینی کمی یخبندان در منطقه آذربایجان نشان می‌دهد هر قدر آغاز یخبندان در منطقه زودتر از میانگین کل آغازها رخ دهد، خاتمه آن نیز در بهار دیرتر از میانگین کل پایان‌ها رخ خواهد داد. این مطالعه کاهش طول دوره بدون یخبندان در محدوده زمانی بین سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۹۰ در منطقه بررسی شده را نیز نشان داده است (مجرد قره‌باغ، ۱۳۷۶: ۳).

جهانبخش با استفاده از آمار بیست‌ساله ایستگاه هواشناسی ارومیه دوره‌های سرد و یخبندان را برای منطقه ارومیه تعیین و پیش‌بینی کرده است. براساس یافته‌های او معلوم شد که یخبندان‌های دیررس بهاره عامل ایجاد صدمات جبران‌ناپذیری به محصولات کشاورزی است (جهانبخش، ۱۳۸۴: ۹۶).

توکلی و حسینی با هدف ارزیابی شاخص یخبندان و تاریخ شروع آن در فصل پاییز یک مدل هم‌بستگی خطی را بین یخبندان‌های بهاره و پاییز ارائه دادند که با داشتن شرایط و زمان وقوع یخبندان بهاره، امکان پیش‌بینی یخبندان پاییزه فراهم می‌شود (توکلی و حسینی، ۱۳۸۵: ۲۸). خلیلی تغییرات زمانی وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره، زودرس پاییزه و طول دوره بدون یخبندان را به منظور بهینه‌سازی زمان کاشت، مدیریت زراعی و تصمیم‌گیری در شرایط اقلیمی مطالعه کرده است (خلیلی، ۱۳۸۶: ۸۲).

حجازی‌زاده فراوانی وقوع یخبندان‌ها در استان لرستان بررسی کرده است. او تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره در آستانه صفر و کمتر از آن را استخراج، دوره بدون یخبندان را محاسبه و مشخص کرده است که توزیع نرمال نسبت به بقیه توزیع‌ها با سری‌های موجود تناسب بیشتری دارد (حجازی‌زاده، ۱۳۸۶: ۳۲). نوحی با استفاده از آمار ۳۹ ساله سه ایستگاه هواشناسی زنجان، قزوین و تهران طول دوره بدون یخبندان را با استفاده از تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی و تابشی تعیین کرده است. نتایج این مطالعه نشان داد که سری‌های زمانی تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان‌های فرارفتی، تصادفی است و از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کند (نوحی، ۱۳۸۷: ۴۴۹). علیجانی و همکاران تداوم روزهای یخبندان ایران را به کمک مدل زنجیره مارکوف بررسی کردند و نشان دادند رخداد یخبندان در ایران تصادفی نیست. بیشترین تداوم یخبندان‌های زودرس و دیررس مربوط به تداوم‌های دوروزه است و ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه، مارس و آوریل ماه‌هایی‌اند که دارای تداوم‌های بیشتر یخبندان دو الی چهارروزه‌اند (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۰). میرموسوی در مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های توزیع نرمال، لوگ نرمال و توزیع احتمال تجمعی

¹ Müller, GV & Berri, GJ

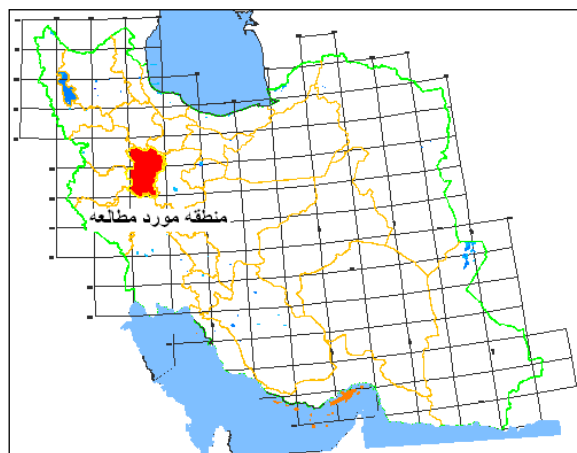
یکنواخت، احتمال وقوع شاخص‌های یخبندان تاریخ آغاز، تاریخ خاتمه، طول فصل رشد، طول فصل یخبندان و فراوانی وقوع یخبندان را تحلیل زمانی و مکانی کرده است (میرموسوی، ۱۳۹۰: ۱۶۷). مسعودیان برای تحلیل همدید و شناسایی روزهای همراه با یخبندان فراگیر و بادوام، دو معیار گستره و دوام را در نظر گرفته است. نتایج وی نشان داد که پنج الگوی فشار تراز دریا با آرایش‌های متفاوت به رخ دادن یخبندان‌های فراگیر و بادوام ایران منجر می‌شوند و شدت یخبندان در مناطق مختلف ایران با مسیر زبانه‌های سامانه‌های جوی و اچرخندی هماهنگ است (مسعودیان، ۱۳۹۲: ۱۲۹). محمودی و همکاران در تحقیقی ویژگی‌های روزهای یخبندان را براساس شاخص‌های میانگین شروع و خاتمه و فصل یخبندان بررسی کردند و از این نظر ایران را به شش ناحیه متمایز تقسیم کردند (محمودی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۵). مسعودیان و دارند در تحقیقی روند روزهای یخبندان ایران را مطالعه کردند که نتایج، نشان‌دهنده کاهش تعداد روزهای یخبندان در بیشتر نقاط ایران بود (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۴: ۴۹).

علیجانی و تقی‌لو همدید روزهای یخبندان استان زنجان را تحلیل کردند. نتایج نشان داد که شکل‌گیری ناوه بر روی دریای خزر، پرفشار سبیری، پرفشارهای گذرای غربی، بلو کینگ‌های ترازهای بالای جو و سردچال‌های بریده‌شده، مسئول یخبندان‌های استان زنجان هستند (علیجانی و تقی‌لو، ۲۰۱۰: ۱۶۸). تحقیقات متعددی روی یخبندان انجام شده است که به دلیل رعایت ایجاز از ذکر آنها پرهیز می‌شود؛ اما به نظر می‌رسد مطالعات درباره فصل یخبندان و تغییرات آن محدودتر شده است. به دلیل اهمیت و کاربرد فراوان تغییرات پدیده یخبندان در برنامه‌ریزی‌های عمرانی و اقتصادی منطقه در تحقیق حاضر سعی می‌شود تغییرات و مشخصه‌های فصل یخبندان استان همدان در یک دوره بیست‌ساله بررسی، مقایسه و طبقه‌بندی شود.

مواد و روش‌ها

الف- منطقه و داده‌های بررسی شده

استان همدان یکی از نواحی کوهستانی در غرب کشور است که در حدفاصل عرض جغرافیایی $33^{\circ}33'$ تا $35^{\circ}38'$ شمالی و $47^{\circ}45'$ تا $49^{\circ}36'$ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته و مساحت آن در حدود $19545/82$ کیلومتر مربع است (شکل یک).



نگاره ۱- موقعیت منطقه بررسی شده

در این مطالعه از آمار حداقل روزانه پنج ایستگاه مختلف هواشناسی استان همدان (همدان، نوزه، تویسرکان، نهاوند و ملایر) که دارای دوره مشترک آماری بیست ساله (۱۹۹۳ الی ۲۰۱۲) بودند، استفاده شد. در جدول شماره یک مشخصات ایستگاه‌های مذکور آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه بررسی شده

| نام | نوع | ارتفاع (متر) | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|----------|----------|--------------|---------------|---------------|
| نوزه | سینوپتیک | ۱۶۷۹ | ۴۸°۶۸' | ۳۵°۲۰' |
| همدان | سینوپتیک | ۱۷۴۹ | ۴۸°۵۳' | ۳۴°۵۸' |
| ملایر | سینوپتیک | ۱۷۲۵ | ۴۸°۸۲' | ۳۴°۳۰' |
| تویسرکان | سینوپتیک | ۱۷۸۳ | ۴۸°۳۶' | ۳۴°۳۳' |
| نهاوند | سینوپتیک | ۱۶۵۸ | ۴۸°۲۴' | ۳۴°۰۹' |

ب- روش کار

به منظور آشکارسازی تغییرات فصل یخبندان در منطقه بررسی شده از داده‌های حداقل روزانه ایستگاه‌های مدنظر طی دوره بیست ساله ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۲ استفاده شد. بدین منظور ابتدا داده‌های اولیه و خام که به صورت روزانه ثبت می‌شدند، استخراج شد و براساس تقویم میلادی تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان و همچنین طول دوره یخبندان برای هر سال به دست آمد. سپس برای بررسی و مقایسه تغییرات و مشخصه‌های فصل یخبندان این دوره به صورت دو دهه و یک دوره بیست ساله تقسیم و تجزیه و تحلیل شد. در این راستا مراحل ذیل صورت گرفت:

۱- بررسی صحت داده‌ها و کنترل کیفیت آنها: قبل از انجام هرگونه محاسبه، به منظور بررسی صحت و همگنی داده‌ها آزمون همگنی یا ران تست انجام شد. روش‌های گرافیکی با توجه به اینکه در آنها معیار کمی برای بیان حالت همگنی یا غیرهمگنی وجود ندارد، روش‌های کاملی به شمار نمی‌روند. روش ساده‌تر غیرنموداری که برای این منظور به کار می‌رود، آزمون همگنی است. برطبق این روش داده‌ها براساس دنباله‌ها تنظیم شده‌اند و در صورت قرارگیری تعداد دنباله‌ها بین حد مجاز همگن هستند و تصادفی بودن داده‌ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد پذیرفتنی است. این آزمون روی داده‌های موجود انجام و همگنی داده‌ها در کلیه نقاط در سطح اعتماد پنج درصد مشخص شد.

۲- بررسی شاخص‌های آماری: پس از صحت‌سنجی داده‌ها برخی شاخص‌های اولیه نظیر میانگین پیراسته (میانگین مشاهدات بین چارک اول و سوم) واریانس و انحراف معیار بررسی شدند.

۳- بررسی شاخص‌های ثانویه: پس از صحت‌سنجی داده‌ها به منظور تحلیل دقیق‌تر، مؤلفه‌هایی از قبیل روند و تغییرپذیری آن از داده‌ها استخراج شد. تغییرات زمانی دمای صفر و زیر صفر در هر بازه زمانی محتمل است؛ بنابراین تحلیل این تغییرات، از جمله تحلیل روند در بازه‌های زمانی مختلف، قادر است تصویری دقیق‌تر از رویدادها (یخبندان) ارائه دهد. این مسئله درخور توضیح و توجه است که برخی تغییرات در یک بازه زمانی نمایان‌تر و در بازه‌ای دیگر کم‌رنگ‌تر، محو و یا حتی معکوس می‌شوند.

مقدار روند از روش‌های متعددی به دست می‌آید (مشکانی، ۱۳۶۴: ۲۰۰). در این مطالعه میزان روند از طریق تابع رگرسیون خطی (با فرض خطی بودن روند) و روش حداقل مربعات به دست آمد که در سطح اطمینان مد نظر معنادار و در حد این تحقیق جواب‌گو بوده است.

روابط مربوط به شرح زیر است:

$$Y = a + bX \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$a = \bar{Y} - n\bar{X} \quad \text{رابطه ۳:}$$

در این روابط a عرض از مبدأ است و نشان‌دهنده جایی است که رابطه دو متغیر X و Y آغاز می‌شود. b شیب خط معادله است. B میزان تغییر در Y به ازای یک واحد تغییر در X را نشان می‌دهد. علامت ضریب b نشان‌دهنده نوع رابطه است. اگر $b > 0$ باشد، نشان‌دهنده رابطه مستقیم دو متغیر، اگر $b < 0$ باشد، نشان‌دهنده رابطه معکوس دو متغیر و اگر $b = 0$ باشد، نشان می‌دهد که متغیرها رابطه خطی ندارند و مستقل‌اند. a و b از دو روش کمترین مربعات خطا به دست می‌آیند.

۴- میانبایی داده‌ها: به منظور شناسایی تغییرات فصل یخبندان در همدان ابتدا داده‌های ایستگاه‌های بررسی شده جمع‌آوری و سپس به روش کریجینگ میانبایی شد. این روش دارای مزیتی است و آن، اینکه شناسایی مرز میان نواحی را دقیق‌تر می‌کند (مسعودیان، ۱۳۸۴: ۷۳). گفتنی است نقشه‌ها براساس سیستم تصویر مختصات جهانی (UTM)^۱ ترسیم شده‌اند.

۵- طبقه‌بندی خوشه‌ای: هدف از طبقه‌بندی خوشه‌ای، نخست پیدا کردن دسته‌های واقعی متغیرها و ثانیاً کاهش تعداد داده‌هاست؛ به عبارت دیگر هدف، شناسایی تعداد کمتری از گروه‌هاست؛ به طوری که گروه‌هایی که دارای شباهت بیشتری با یکدیگر هستند، در یک گروه قرار می‌گیرند. با بهره‌گیری از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سعی می‌شود تا مشاهدات به گروه‌های متجانس تقسیم شود؛ به گونه‌ای که مشاهدات هم‌گروه به یکدیگر شبیه و با مشاهدات سایر گروه‌ها کمترین تشابه را داشته باشند (فرشادفر، ۱۳۸۰: ۵۵۵).

به منظور دستیابی به شباهت مکانی استان از نظر مقادیر روند و تغییرات آن یک گروه‌بندی براساس «متوسط فاصله اقلیدسی» و به روش ادغام «وارد» انجام شد. به دلیل اینکه بررسی و آزمون این روش نسبت به روش‌های گوناگون با واقعیت‌های ظاهری منطقه و دقت در انتخاب آن با حداقل طول در فواصل بین خوشه‌ها صورت پذیرفته است. از مزایای ضریب متوسط فاصله اقلیدسی، آن است که اگر ماتریس داده‌ها دارای مقادیر از دست‌رفته‌ای باشد، باز هم استفاده از آن امکان‌پذیر است و همچنین روش دسته‌بندی حداقل واریانس وارد در عمل نسبت به سایر روش‌ها کاربرد بیشتری دارد (فرشادفر، ۱۳۸۰: ۵۶۳). به نظر (گونگ و ریچمان، ۱۹۹۵: ۵۸) اقلیم‌شناسان از بین روش‌های مختلف طبقاتی به روش ادغام برحسب متوسط گروه و روش دسته‌بندی حداقل واریانس وارد بیشتر از بقیه روش‌ها توجه کرده‌اند و این دو روش

¹ Universal Transverse Mercator

² Gong, X and M.B, Richman

را بیشتر به کار برده‌اند. در روش وارد، هر فرد یا عضوی در گروهی جای می‌گیرد که مجموع انحرافات درون گروهی آن به حداقل رسیده باشد؛ در نتیجه افرادی که در یک خوشه جای می‌گیرند، از نظر مکانی روی نقشه در همسایگی یکدیگر واقع شده‌اند و پیوستگی جغرافیایی مناطق حفظ می‌شود (مسعودیان، ۱۳۸۴: ۷۰).
ضریب فاصله اقلیدسی از رابطه یک به دست می‌آید (گونگ و ریچمان، ۱۹۹۵: ۶۰):

$$e_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2} \quad \text{رابطه ۱:}$$

یعنی برای محاسبه e_{jk} دو فرد j و k از داده‌های ستون‌های k و j ماتریس اصلی داده‌های استاندارد شده استفاده می‌شود و صفت به صفت تفاوت مقادیر آنها به دست می‌آید؛ سپس مجموع مجذور مربع تفاوت‌ها محاسبه می‌شود. در روش وارد برای ادغام افراد از مجموع مربعات اشتباه استفاده و در هر دسته مجموع مربعات اشتباه یک جفت دسته یا گروه ممکن تعیین می‌شود. افرادی که در یک جفت از دسته‌ها دارای حداقل مجموع مربعات اشتباه باشند، در یک دسته قرار می‌گیرند. با استفاده از روش وارد، مجموع مربعات اشتباه از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$E.S.S = \sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left[\sum_{i=1}^{n_j} X_{ij} \right]^2 \right] \quad \text{رابطه ۲:}$$

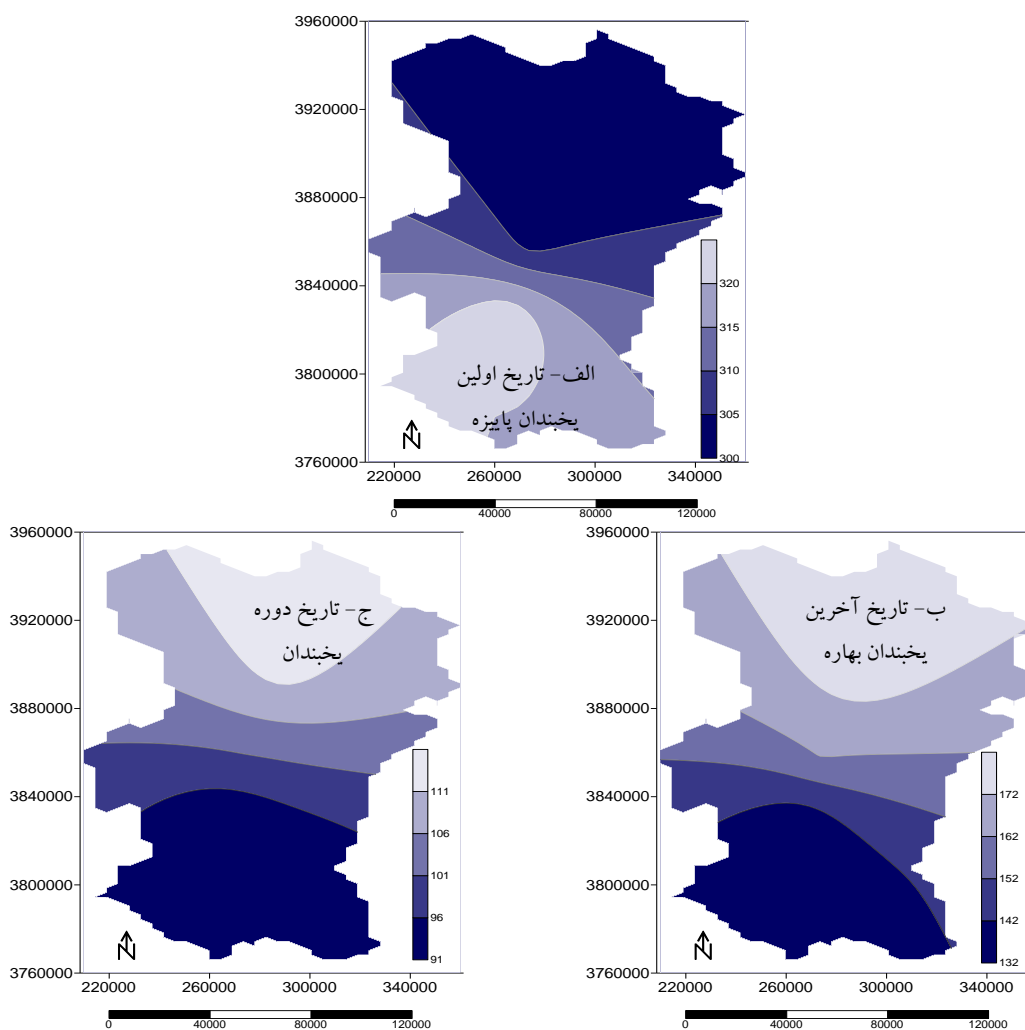
در این رابطه X_{ij} امتیاز فرد i در دسته j بوده و تعداد کل دسته‌ها در هر مرحله n_j تعداد افراد در هر دسته j است. این مجموع مربعات اشتباه را نمایه مجموع مربعات یا واریانس نیز می‌گویند (فرشادفر، ۱۳۸۰: ۵۶۴). در این تحقیق به منظور تحلیل خوشه‌ای از داده‌های میان‌بایی شده متغیرهایی نظیر روند تاریخ وقوع آغاز یخبندان، روند تاریخ وقوع خاتمه یخبندان، روند طول دوره یخبندان در دو دهه و دوره بیست‌ساله، طول دوره یخبندان و تاریخ شروع و خاتمه یخبندان و نمره استاندارد متغیرها استفاده شده است.

۶- پهنه‌بندی تغییرات دوره یخبندان: به منظور پهنه‌بندی تغییر دوره یخبندان ابتدا با توجه به داده‌های میان‌بایی شده (پیکسل‌ها) در محدوده بررسی شده، دوره آماری مد نظر و تعداد خوشه‌ها برای هر یک از خوشه‌ها به ترتیب، ارزشی عددی تعیین و سپس به روش کریجینگ پهنه‌بندی شد.

۷- مشخصات عمومی فصل یخبندان: براساس شکل دو- الف و ب که تاریخ اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره را براساس تقویم میلادی نشان می‌دهد، آغاز فصل یخبندان در مناطق شمالی و شمال غرب استان نسبت به سایر مناطق از نظر زمانی زودتر، در حالی که در مناطق جنوب استان فصل یخبندان نسبت به سایر مناطق دیرتر رخ می‌دهد. در نقشه مربوط به تاریخ پایان یخبندان که براساس تقویم میلادی تهیه شده است، پایان یخبندان در مناطق مرکزی و شمالی استان دیرتر از سایر مناطق است و این نشان‌دهنده طولانی‌تر بودن فصل یخبندان در این مناطق است. در مناطق جنوب استان نیز پایان یخبندان زودتر از سایر مناطق استان است و نشان از کوتاه بودن فصل یخبندان در این مناطق دارد که شکل دو- ج این واقعیت را نشان می‌دهد. جدول دو پاره‌ای از مشخصات آماری یخبندان را در دوره بررسی شده نشان می‌دهد:

جدول ۲- پاره‌ای از مشخصات آماری ایستگاه‌های بررسی شده

| ملاير | نهادند | تويسركان | نوژه | همدان | مشخصه‌های آماری فصل یخبندان |
|-------|--------|----------|------|-------|---|
| ۱۳۹ | ۱۳۹ | ۱۳۳ | ۱۷۷ | ۱۶۳ | طول دوره یخبندان (روز) |
| ۳۱۷ | ۳۲۰ | ۳۲۴ | ۳۰۱ | ۳۰۳ | تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه (شماره روز براساس تقویم میلادی) |
| ۹۱ | ۹۵ | ۹۱ | ۱۱۳ | ۱۰۱ | تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره (شماره روز براساس تقویم میلادی) |
| ۹/۶ | ۱۱/۱ | ۱۲/۶ | ۱۳ | ۱۰/۶ | انحراف معیار تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه (شماره روز) |
| ۸/۶ | ۱۰ | ۸/۴ | ۱۱/۷ | ۸/۹ | انحراف معیار تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره (شماره روز) |
| ۱۳/۵ | ۱۵/۵ | ۱۶/۹ | ۱۸ | ۱۳/۹ | انحراف معیار طول دوره یخبندان (روز) |
| ۹۳ | ۱۲۳ | ۱۵۸ | ۱۶۹ | ۱۱۳ | واریانس تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه (شماره روز) |
| ۷۳ | ۱۰۰ | ۷۰ | ۱۳۶ | ۷۸ | واریانس تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره (شماره روز) |
| ۱۸۱ | ۲۳۹ | ۲۸۵ | ۳۲۳ | ۱۹۲ | واریانس طول دوره یخبندان (روز) |
| ۰/۴ | ۰/۶ | ۱ | -۱/۱ | -۰/۹ | ضریب تغییرات تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه (شماره روز) |
| -۰/۷ | -۰/۳ | -۰/۷ | ۱/۶ | ۰/۳ | ضریب تغییرات تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره (شماره روز) |
| -۰/۷ | -۰/۷ | -۱/۱ | ۱/۷ | ۰/۸ | ضریب تغییرات طول دوره یخبندان (روز) |



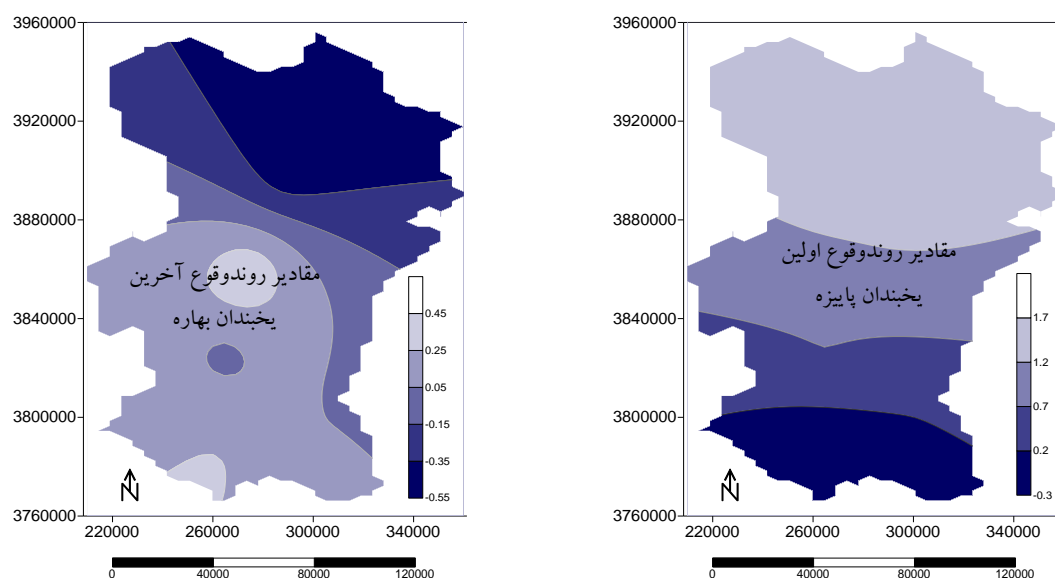
نگاره ۲- مشخصات عمومی یخبندان (۱۹۹۳-۲۰۱۲)

نتایج

الف- روند عمومی مشخصات فصل یخبندان: به منظور بررسی روند و مطالعه تغییرات فصل یخبندان در استان همدان تاریخ اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره و طول دوره یخبندان ایستگاه‌های بررسی شده برای دو دهه و روند آن به صورت نقشه برای هر دو دهه و میانگین پیراسته (میانگین مقادیر بین چارک اول و سوم) بیست‌ساله تهیه شده است (شکل شش- سه).

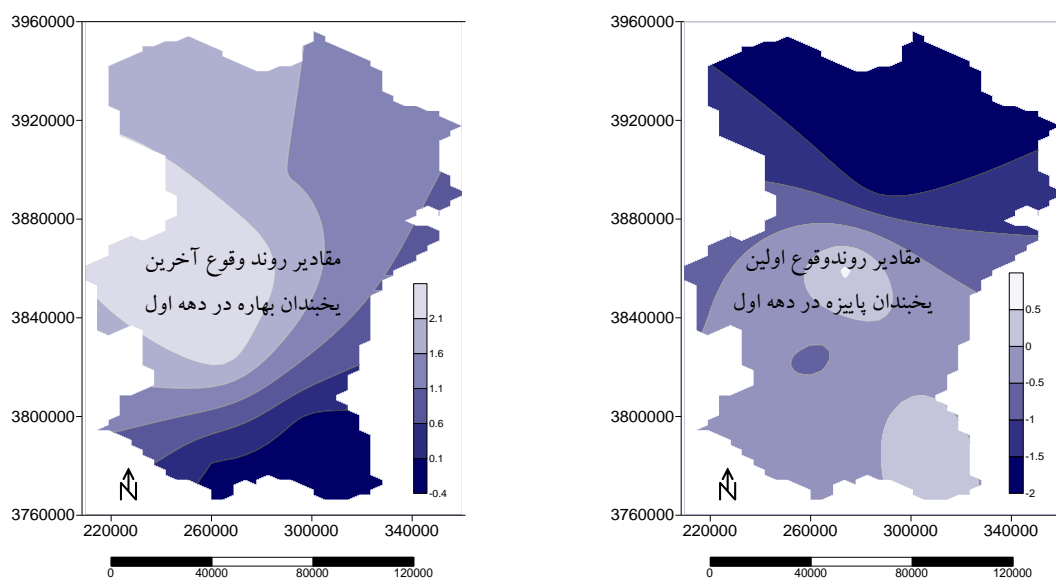
۱- روند تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره

دوره بیست‌ساله: براساس نقشه مربوط به میانگین پیراسته بیست‌ساله اولین یخبندان پاییزه که آغاز فصل یخبندان قلمداد می‌شود، در تمام استان به جز حاشیه جنوبی، روند افزایشی ملاحظه می‌شود که مقدار آن در مناطق شمالی بیشتر است و این امر نشان‌دهنده آن است که تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه افزایش یافته است؛ یعنی یخبندان در سال‌های اخیر دیرتر رخ داده است و به عبارتی فصل پاییز در سال‌های اخیر گرم‌تر شده است. در مقابل در نقشه روند آخرین یخبندان بهاره که به معنای خاتمه فصل یخبندان است، در مناطق شمالی روند منفی و در نیمه جنوبی روند مثبت به مقدار ناچیز دیده می‌شود. این مسئله نشان‌دهنده آن است که در مناطق شمالی استان آخرین یخبندان بهاره زودتر رخ می‌دهد و در واقع تاریخ وقوع آن کاهش یافته و به سمت اواخر زمستان کشیده شده است (شکل ۳). نقشه مقدار روند تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در استان همدان را در دوره بیست‌ساله (۲۰۱۲-۱۹۹۳) نشان می‌دهد.



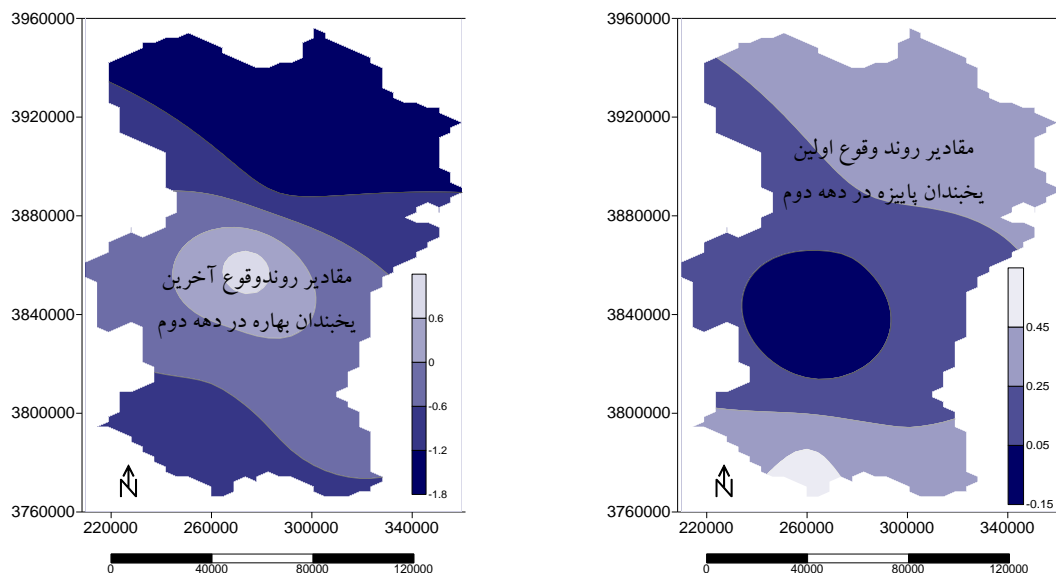
نگاره ۳- میزان روند تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در دوره بیست‌ساله (۱۹۹۳-۲۰۱۲)

دهه اول: روند اولین یخبندان پاییزه در مناطق غربی و شمالی استان، افزایشی و در حاشیه جنوبی استان، کاهش‌ی است. این امر گویای آن است که آغاز فصل یخبندان به سمت اواخر پاییز کشیده شده است. در نقشه آخرین یخبندان بهاره در دهه دوم در حاشیه جنوبی روند مثبت و در سایر مناطق روند منفی ملاحظه می‌شود. این مسئله به معنای چروکیده شدن فصل یخبندان به طرف زمستان در این دهه است (شکل چهار). توزیع مکانی روند تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در استان همدان را طی دهه اول (۲۰۰۲-۱۹۹۳) نشان می‌دهد.



نگاره ۴- میزان روند تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در دهه اول (۱۹۹۳-۲۰۰۲)

دهه دوم: در روند تاریخ آغاز یخبندان در دهه دوم در اکثر مناطق استان روند افزایشی ملایم دیده می‌شود که بیانگر تغییرات کمتری است. در این دهه تاریخ وقوع پایان یخبندان بهاره روند کاهشی دارد و زودتر خاتمه می‌یابد که این امر منجر به کاهش طول دوره یخبندان شده است (شکل پنج). نقشه میزان روند تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در دهه دوم (۲۰۱۲-۲۰۰۳) را نشان می‌دهد.

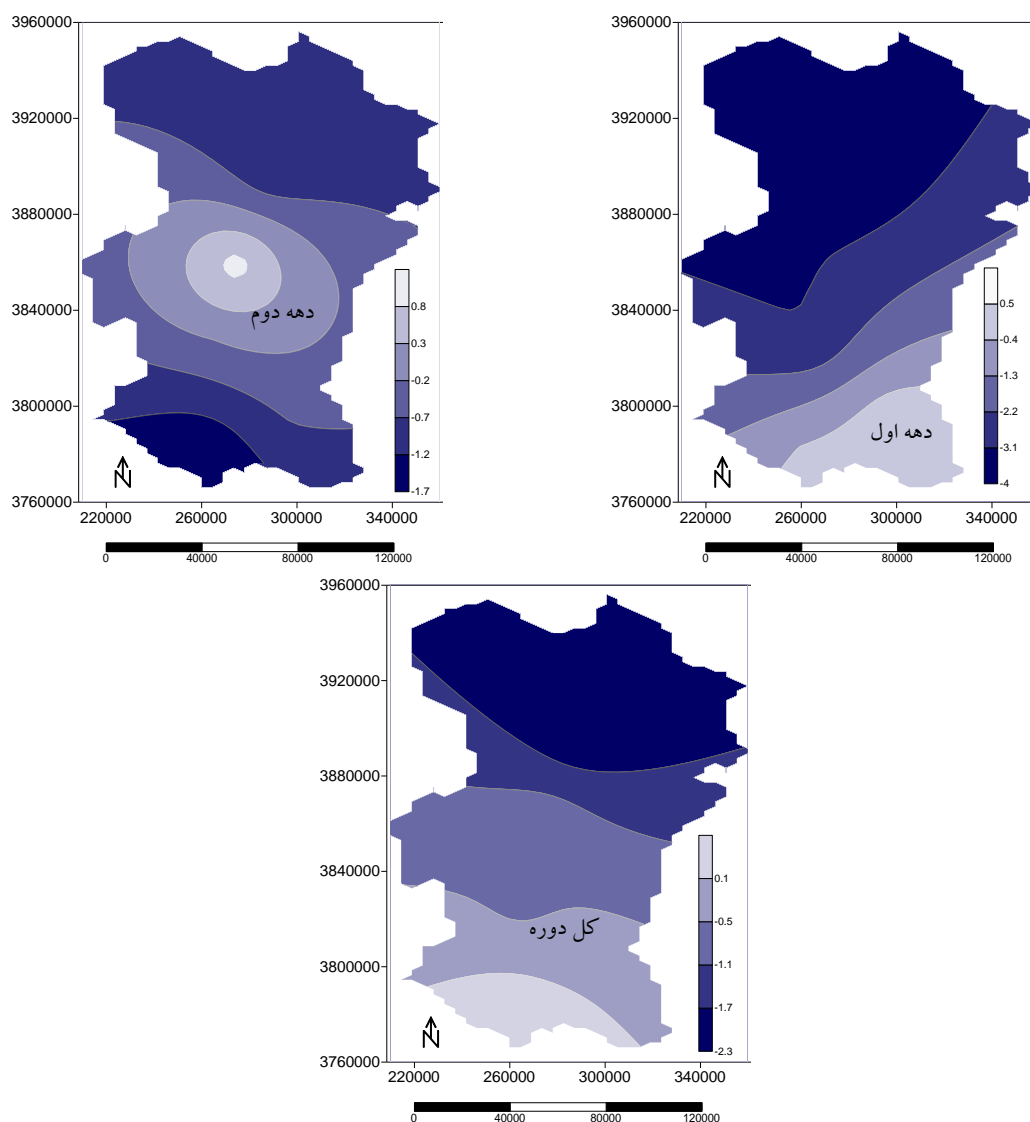


نگاره ۵- میزان روند تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در دهه دوم (۲۰۰۳-۲۰۱۲)

۲- تغییرات طول دوره یخبندان

به منظور بررسی تغییرات طول دوره یخبندان در منطقه بررسی شده در دو دهه و میانگین پیراسته دوره بیست ساله روند آنها مشخص شده و به صورت نقشه درآمد است. براساس این نقشه‌ها طول دوره یخبندان در دهه اول در سطح استان روند کاهشی داشته است. براساس این نقشه مناطق مرکزی و شمالی استان بیشترین کاهش طول دوره یخبندان را

نشان می‌دهد. در حاشیه جنوبی روند طول دوره یخبندان نزدیک به صفر است. در دهه دوم در اکثر مناطق استان طول دوره یخبندان کوتاه‌تر شده است. طول دوره یخبندان در یک دوره بیست‌ساله در سراسر استان، خصوصاً در نیمه شمالی، کاهش یافته است. میزان این روند در اکثر مناطق منفی است که علت آن ممکن است اثرات تغییرات اقلیمی و افزایش دما در سال‌های اخیر باشد (شکل شش). میزان روند، طول دوره یخبندان را در دهه‌های اول و دوم دوره بیست‌ساله نشان می‌دهد.

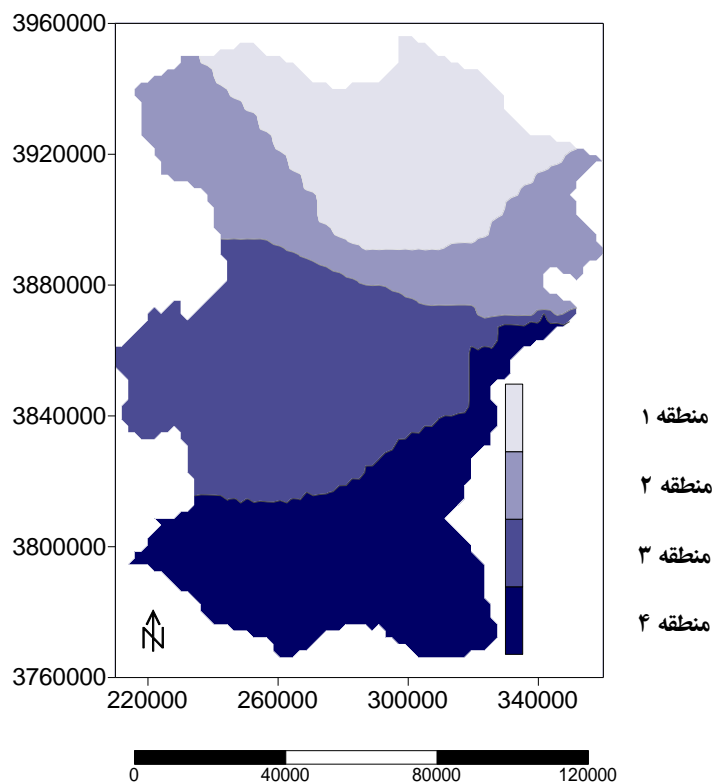


نگاره ۶- میزان روند طول دوره یخبندان در دهه‌های اول و دوم و دوره بیست‌ساله (۱۹۹۳-۲۰۱۲)

ب- طبقه‌بندی تغییرات فصل یخبندان

طبقه‌بندی خوشه‌ای براساس داده‌های میان‌بازی شده (پیکسلی) متغیرهایی نظیر میزان روند در تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره، روند طول دوره یخبندان در دو دهه و دوره بیست‌ساله، طول دوره یخبندان و تاریخ شروع و خاتمه یخبندان و نمره استاندارد متغیرها انجام شد. برای هر یک از خوشه‌ها به ترتیب، ارزشی عددی تعیین

و سپس به روش کریجینگ پهنه‌بندی شد. براساس نتایج حاصل، چهار منطقه از نظر تغییرات فصل یخبندان در سطح استان شناسایی شد که ویژگی‌های آنها به شرح زیر است: **منطقه یک**: در این منطقه که شمالی‌ترین مناطق استان را شامل می‌شود، طول دوره یخبندان در دو دهه به شدت روند کاهشی داشته است و بیشترین کاهش فصل یخبندان در این ناحیه دیده می‌شود. تاریخ وقوع آغاز یخبندان این منطقه در دهه اول و دوم روند افزایشی داشته؛ یعنی آغاز یخبندان از اواسط پاییز به اواخر این فصل منتقل شده است. مقدار روند جابه‌جایی تاریخ آخرین یخبندان به سمت زمستان است؛ در نتیجه این امر باعث فشرده‌تر شدن فصل یخبندان شده است. **منطقه دو**: این منطقه در حاشیه جنوبی منطقه یک واقع شده است. شیب روند کاهشی در آخرین یخبندان بهاره نسبت به منطقه یک ملایم‌تر، اما از دو منطقه دیگر تندتر است. این منطقه بین مناطق خوشه‌بندی شده کمترین مساحت را دارد. **منطقه سه**: این منطقه شامل ارتفاعات الوند می‌شود و در ناحیه مرکزی استان واقع شده است. تغییرات کاهش طول دوره یخبندان در این منطقه نسبت به دو منطقه قبل ملایم‌تر است. فشردگی فصل یخبندان در این ناحیه کمتر از شمال استان و بیشتر از جنوب آن است. میزان روند آخرین یخبندان بهاره تغییر محسوسی نداشته، اما اولین یخبندان پاییزه دارای روند افزایشی است. **منطقه چهار**: این منطقه جنوبی‌ترین ناحیه استان را شامل می‌شود که در آن طول یخبندان در کل دوره تغییر محسوسی نداشته است. در دهه دوم طول دوره یخبندان کمی کاهش یافته که نشان از روند اندک کاهشی طول دوره یخبندان در این ناحیه است (شکل هفت).



نگاره ۷- پهنه‌بندی تغییرات فصل یخبندان در استان همدان

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با تعیین میزان روند تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره و طول دوره یخبندان، تغییرات و جابه جایی فصل یخبندان طی دوره بیست ساله ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۲ برای استان همدان تجزیه و تحلیل شد. براساس یافته های این تحقیق به نظر می رسد فصل یخبندان در دهه اخیر دیرتر آغاز می شود و زودتر به پایان می رسد؛ به عبارتی آغاز فصل یخبندان در استان همدان که در فصل پاییز رخ می داد، به سمت زمستان می رود و فصل پاییز گرم تر از دوره های قبل است. این امر نشان از اهمیت مطالعات کاهش فصل یخبندان در بررسی تغییرات اقلیمی استان همدان دارد. در این پژوهش براساس تحلیل خوشه ای، تغییرات فصل یخبندان بررسی و پهنه بندی شده است. این بررسی اختلاف میزان و چگونگی تغییرات را نشان می دهد. بر این اساس مناطق جغرافیایی زیر از لحاظ ویژگی های فصل یخبندان در استان همدان تفکیک پذیر است:

دشت های شمالی و شرقی استان (دشت کبود آهنگ، دشت رزن، دشت قهاوند): تغییرات فصل یخبندان در این نواحی در دو دهه رفتاری یکسان داشته است و روند آن به سوی فشرده شدن و کوتاه تر شدن فصل یخبندان در سال های اخیر است. فصل یخبندان به تمرکز بیشتر در فصل زمستان گرایش دارد. بیشترین روند کاهش در تاریخ وقوع خاتمه یخبندان بهاره و طول دوره یخبندان در این نواحی رخ می دهد.

مناطق کوهستانی مرکزی استان (ارتفاعات الوند): در این ناحیه طول دوره یخبندان روند کاهش را نشان می دهد. به نظر می رسد در این ناحیه فصل یخبندان به سمت فصل زمستان رانده می شود؛ یعنی پاییز و بهار گرم تر از گذشته شده است. در این نواحی ضریب تغییرات و مقدار یخبندان حالت بینابین دو ناحیه دیگر است؛ یعنی ضریب تغییرات آن از دشت های شمالی کمتر و از دشت های جنوب غرب بیشتر است.

دشت نهاوند و مناطقی از جنوب غرب استان: در این نواحی فصل یخبندان الگوی ثابتی دارد و تغییرات محسوسی در آن دیده نمی شود. میزان دوره یخبندان از مناطق دیگر استان کوتاه تر است. این منطقه نسبت به مناطق شمالی تر از نظر دمایی زمستان های ملایم تری دارد. کمترین میزان روند در تاریخ وقوع آغاز و خاتمه و طول دوره یخبندان مربوط به این ناحیه است که این امر نشان دهنده ثبات نسبی فصل یخبندان در این منطقه است.

نتایج این تحقیق در برنامه ریزی های منطقه ای، کشاورزی و آمایش سرزمین به کار برده می شود. پیشنهاد این پژوهش بررسی تغییرات فصل یخبندان و جابه جایی آن برای مناطق مختلف ایران است.

منابع

- ۱- حجازی زاده، زهرا و مقیمی، شوکت، (۱۳۸۱)، میکروکلیماتولوژی مقدماتی، جلد اول، انتشارات پیام نور، چاپ اول، تهران، ۲۷۷ صفحه.
- ۲- فرشادفر، عزت الله، (۱۳۸۰)، اصول روش های آماری چندمتغیره، انتشارات دانشگاه رازی و طاق بستان، چاپ دوم، کرمانشاه، ۷۵۴ صفحه.
- ۳- مشکانی، محمدرضا، (۱۳۶۴)، آمار مقدماتی، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول، تهران، ۳۹۳ صفحه.

- ۴- توکلی، محسن و حسینی، مهرداد، (۱۳۸۵)، ارزیابی شاخص‌های یخبندان و شروع پاییز آن در ایران (مطالعه موردی ایستگاه اکباتان همدان)، مجله نیوار، شماره ۶۱ و ۶۰، بهار و تابستان ۱۳۸۵، صص ۲۸-۳۵.
- ۵- جهانبخش، سعید و امام‌قلی‌زاده، معصومه، (۱۳۸۴)، بررسی و پیش‌بینی یخبندان برای منطقه اورمیه، خلاصه مقالات کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، دانشگاه تبریز، ص ۹۶.
- ۶- حجازی‌زاده، زهرا و ناصرزاده، محمدحسین، (۱۳۸۶)، تجزیه و تحلیل یخبندان در استان لرستان، نشریه علوم جغرافیایی، ج ۶، شماره ۸ و ۹، صص ۳۲-۴۲.
- ۷- علیجانی، بهلول و همکاران، (۱۳۸۹)، بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۱-۲۰.
- ۸- علی‌زاده، امین و همکاران، (۱۳۷۳)، تاریخ وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهار در خراسان، مجله نیوار، شماره ۲۴، صص ۳۸-۵۶.
- ۹- کمالی، غلامعلی، (۱۳۸۱)، سرماهای زیان‌بخش به کشاورزی ایران در قالب معیارهای احتمالاتی، مطالعه موردی، تهران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۳-۶۴، صص ۱۴۹-۱۶۵.
- ۱۰- محمودی، پیمان و همکاران، (۱۳۹۲)، اطلس اقلیم‌شناسی و ویژگی‌های آماری یخبندان‌های ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ۴، زمستان ۹۲، صص ۵۵-۶۶.
- ۱۱- مسعودیان، سیدابوالفضل و عطایی، هوشمند، (۱۳۸۴)، شناسایی فصول بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، جلد هجدهم، شماره ۱، صص ۷۰-۸۳.
- ۱۲- مسعودیان، سیدابوالفضل و دارند، محمد، (۱۳۹۲)، تحلیل هم‌دید یخبندان‌های فراگیر و بادوام ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۴، پیاپی ۵۰، شماره ۲، صص ۱۲۹-۱۴۰.
- ۱۳- مسعودیان، سیدابوالفضل و دارند، محمد، (۱۳۹۴)، بررسی روند تعداد روزهای یخبندان‌های ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۱، صص ۵۵-۶۶.
- ۱۴- میرموسوی، سیدحسین و حسین بابایی، مصطفی، (۱۳۹۰)، مطالعه توزیع زمانی مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳، صص ۱۶۷-۱۸۴.
- ۱۵- نوحی، کیوان و همکاران، (۱۳۸۷). تعیین طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی و تابشی در نواحی زنجان، قزوین و تهران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، صص ۴۴۹-۴۶۰.
- ۱۶- سلمان‌پور، مرضیه. (۱۳۸۶). مطالعات نوسانات یخبندان و کاربرد نتایج آن در بازدهی محصولات باغی اهر، استاد راهنما: علی‌محمد خورشیددوست، دانشگاه آزاد اسلامی اهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه جغرافیا، صص ۱۲-۱۸.

۱۷- مجرد قره‌باغ، فیروز، (۱۳۷۶)، **تحلیل و پیش‌بینی یخبندان در آذربایجان**، استاد راهنما: هوشنگ قائمی، رسالهٔ دکتری دانشگاه تربیت مدرس، گروه جغرافیا، ص ۲۹.

۱۸- خلیلی، علی، (۱۳۸۶)، **طرح ملی پهنه‌بندی هواشناسی کشاورزی ایران جهت بیمه در برابر خطرات خشکسالی یخبندان و باران‌های سیل آسا**، ص ۸۲-۱۰۲.

19- Alijani, B and Tagiloo, M (2010), **Synoptic analysis of frost days in Zanjan province of Iran**, MS Annual Meeting Abstracts, Vol, 7, EMS2010-167.

20- Dashkhuu.D, Jong PilKim, Jong Ahn Chun, Woo-Seop Lee' (2015), **Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia**, Weather and Climate Extremes, vol 8, pp26-33.

21- Gong, X and M.B, Richman ,(1995), **On the application of cluster analysis for growing season precipitation in North American East of rockies**, Journal of climate, vol: 8.

22- Insaf, T.Z., Lin, S., Sheridan, S.C. (2012), **climate trends in indices for temperature and precipitation across New York State, 1948-2008**, Air Qual Atmos Health, Volume 1, N. 1, June 2008, DOI 10.1007/s11869-011-0168

23- Madelin, M., and G. Beltrando, 2005, **Spatial Interpolation – Based Mapping of the Spring Frost Hazard in the Champagne Vineyards**, Meteorological applications, Volume 12, pp. 51-56.

24- Moonen, A. C., Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A., 2002. **Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years**. Agric. For. Meteorol. 111, 13-27.

25- Müller, GV, Ambrizzi, T & Nuñez, MN (2005), **Mean atmospheric circulation leading to generalized frosts in Central Southern South America**, Theor. Appl. Climat, 82, 95-112.

26- Müller, GV & Berri, GJ (2007), **Atmospheric Circulation Associated with Persistent Generalized Frosts in Central outhern South America**, Mon. Wea. Rev., 135, 4, 1268-1289.

27- Prabha, T., and G. Hoogenboom. (2008), **Evaluation of the weather research and forecasting model for two frost events**. Computers and electronics in agriculture, 64, 234-247.

28- Rozenberg, N. J. & R. E. Myers. (1962). **The Nature of Growing Season Frost in and along the Plate Valley of Nebraska**. Monthly Weather Review. November (1962): 471- 478.

29- Sillmann .J & Roeckner .E. (2008) **Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change**, Climatic Change, vol 86, pp83-104.

30- Suckling, P. W. (1988), **Fluctuations of lastspring-freeze dates in the Southeastern United States**, Physical Geography, 7. 239-245.

31- Tait, A., and X. Zheng, 2003, **Mapping Frost Occurrence Using Satellite Data**, Journal of applied meteorology, Volume 42, Issue 2, pp. 193- 203.20.

32- Trasmonte, G., Chavez, R., Segura, B., Rosales, J.L., 2008. **Frost risks in the Mantaro river basin**. Adv. Geosci., 14(14): 265-270.

33- Vega, A. J; Robbins, K.D; & Grymes, J. M. (1994), **Frost/Freeze Analysis in the Southern Climate Region**. Southern Regional Climate Center, pp. 403- 423

34- Watkins, S. C. (1991), **The annual period of freezing temperatures in Central England 1850-1959**, Inter. J. Climatology, 11(8).889-896.

35- Waylon, p.r. (1988), **Statistical Analysis of Freezing Temperatures in Central and Southern Florida**, J. climatology, 8(6). 607 -628.