

مطالعه توزیع زمانی - مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان

سیدحسین میرموسوی: استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران*
مصطفی حسین‌بابایی: کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

یخبندان یکی از پدیده‌های اقلیمی است که هر سال اتفاق می‌افتد و باعث بروز خسارات فراوانی در بخش‌های اقتصادی از جمله کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی، حمل و نقل و خطرات جاده‌ای می‌شود. بنابراین، شناخت و مطالعه دقیق این پدیده به منظور مقابله با خسارات احتمالی آن لازم و ضروری به نظر می‌رسد. این مطالعه با هدف بررسی توزیع زمانی و مکانی وقوع یخبندان در ایستگاه‌های منتخب منطقه مورد مطالعه شامل ایستگاه‌های سینوپتیک زنجان، خرمدره، خدابنده و ایستگاه‌های کلیماتولوژی باروت آقاچی، فیله خاصه و خیرآباد در طی دوره آماری موجود بر اساس داده‌های دمای حداقل روزانه انجام گرفته است. در این مطالعه با استفاده از روش‌های توزیع نرمال، لوگ نرمال و توزیع احتمال تجمعی یکنواخت به تحلیل زمانی و مکانی احتمال وقوع شاخص‌های یخبندان (تاریخ آغاز، تاریخ خاتمه، طول فصل رشد، طول فصل یخبندان و فراوانی وقوع یخبندان) پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد به طور متوسط اولین یخبندان‌های منطقه در فصل پاییز بین ۷ مهر تا ۲۴ آبان رخ می‌دهد و میانگین تاریخ خاتمه یخبندان‌ها از ۲۰ فروردین تا ۳۰ اردیبهشت است و بیشترین میانگین تعداد روزهای وقوع یخبندان در ایستگاه خیرآباد و کمترین میانگین در ایستگاه فیله خاصه زنجان وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: یخبندان، تاریخ آغاز، تاریخ خاتمه، توزیع احتمال

مقدمه

یخبندان یکی از پدیده‌های مهم اقلیمی است که عبارت از تغییر دما به صفر و یا کمتر از آن است. این پدیده بسیاری از فعالیت‌ها را به طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد اما بیشترین اثرات آن در سه بخش انرژی، حمل و نقل و کشاورزی است. اثرات یخبندان در بخش کشاورزی بیشتر از سایر بخش‌هاست (حجازی زاده و ناصرزاده، ۱۳۸۴:۱۳۹).

در مورد یخبندان پژوهش‌های مختلفی در جهان و ایران صورت گرفته که از مهمترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

انسان و گیاهان می‌توانند در محدوده‌ی حرارتی معین رشد نمایند و تحمل پذیری آنها در مقابل دماهای بالا و پایین محدود است. کاهش دما از آستانه‌های حداقل گیاهان و وقوع یخبندان در جاده‌ها همه ساله خسارت‌های گسترده‌ای را به اقتصاد کشور وارد می‌کند. شناخت توزیع زمانی و مکانی و احتمال وقوع یخبندان‌ها یکی از بنیادی‌ترین تحقیقات اقلیم است که می‌تواند برنامه ریزان را به منظور کاهش خسارت‌های سرما و یخبندان راهنمایی و کمک نماید (کمالی، ۱۳۸۱:۱۵۱).

وایلن و لبتیلر^۳ (۱۹۸۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان خصوصیات آماری متغیرهای تاریخ یخبندان و طول فصل رشد، با استفاده از درجه حرارت حداقل روزانه ایستگاه‌های لیک سیتی و رگینا ایرپورت، به پیش بینی تاریخ وقوع یخبندان پرداخته‌اند. برای این منظور از روش‌های آماری توزیع گوسی، پواسون، ضریب چولگی، کشیدگی، رگرسیون، همبستگی، انواع گشتاورها و نیز از آزمون خی دو جهت نیکویی برازش اعداد مربوط به تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان و طول فصل رشد استفاده کرده‌اند.

واتکینز^۴ (۱۹۹۱) 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 را می‌توان با افزایش درجه حرارت توجیه نمود. وی به منظور پی بردن به تغییرات دراز مدت فصل یخبندان با تحلیل دماهای روزانه، شروع و خاتمه یخبندان‌ها را در انگلستان مرکزی مورد مطالعه قرار داد.

اریکسون و لیندکوئیست^۵ (۲۰۰۲) به بررسی علل لغزندگی سطح جاده‌های سوئد به هنگام بارندگی و ریزش برف پرداختند. آنها با بررسی سال‌های ۱۹۹۸-۹۹ تعیین نمودند که این نوع لغزندگی عموماً از ماه نوامبر تا ماه مارس اتفاق می‌افتد. ماه اکتبر به جهت اینکه سطح جاده هنوز گرمای ماه‌های قبل را دارد و به دمای صفر درجه نرسیده و ماه آوریل به دلیل فراوانی تابش ورودی انرژی خورشیدی از شدت لغزندگی کمتری برخوردارند.

وایلن^۱ (۱۹۸۸) بر اساس تحلیل‌های احتمالی، ویژگی‌های یخبندانها، تاریخ آغاز و خاتمه آنها، سردترین دما و خطر وقوع دوره‌های سرد را در فلوریدای مرکزی بررسی و توزیع احتمالی آن را پیش بینی 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. از این نظر خطر وقوع یخبندان در یک مکان با عواملی نظیر تعداد یخبندان‌های سالانه، شدت متوسط آنها، میانگین و واریانس تاریخ‌های وقوع، قابل شناسایی است.

ساکلینگ^۲ (۱۹۸۸)، با استفاده از شاخص انحراف آب و هوا به مطالعه نوسانات تاریخ وقوع آخرین یخبندانهای بهاره و اولین یخبندانهای پاییزه و طول مدت فصل رشد در جنوب شرقی ایالات متحده پرداخته است. وی با مقایسه آمار ثبت شده در ایستگاههای منطقه مورد مطالعه نتیجه می‌گیرد که شاخص انحراف آب و هوا برای تبیین نرمال یا غیر نرمال بودن داده‌های اقلیمی در مقایسه با میانگین بلند مدت منطقه مناسب تشخیص داده می‌شود. نتیجه‌ی این تحقیقات نشان داد که یک دوره نسبتاً نرمال در اواخر دهه ۱۹۵۰ تا اوایل دهه ۱۹۷۰ در تاریخ وقوع آخرین یخبندانهای بهاره و اولین یخبندانهای پاییزه و طول مدت فصل رشد حاکم بوده است، اما در دهه ۱۹۸۰ ناهنجاری مشاهده شده که قبلاً در دهه ۱۹۴۰ نیز قابل رویت بوده است و مقادیر به دست آمده از میانگین بلند مدت منطقه رقم بالاتری را نشان می‌دهند.

3- Waylen, P. R. and Leboutillier, D.W

4 -Watkins, S.C

5-Eriksson And Lindquist

1 -Waylon

2 - Suckling, P. W

مجرد قره باغ (۱۳۷۶) در مطالعه خود در زمینه اصول و روشهای تحلیل و پیش بینی کمی یخبندان در منطقه آذربایجان، ویژگی آنها را بر مبنای شانزده شاخص معتبر و معکوس بین سریهای زمانی آغاز و خاتمه یخبندان تحلیل نموده است. نتایج این مطالعه 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 مورد مطالعه را نیز نشان داده است.

کمالی (۱۳۸۱) به منظور پیش بینی تحولات زمانی پارامتر دمای حداقل هوا و سرماهای زیان آور در تهران، از آمار دمای حداقل روزانه ۴۷ ساله ایستگاه هواشناسی تهران استفاده نموده و با احتمالات مختلف مورد بررسی قرار داده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات تاریخ وقوع اولین سرماهای پاییزه و آخرین سرماهای بهاره نسبت به احتمالات مختلف خطی است و خطوط احتمالاتی برای هر آستانه حرارتی در یک صفحه احتمالات تقریباً موازی یکدیگر است و در صورت تلاقی خطوط باهم، عملاً عبور یک زمان افت دما از چند آستانه حرارتی است.

عزیزی و حبیبی نوخندان (۱۳۸۲) به مطالعه توزیع زمانی و مکانی یخبندان و لغزندگی در جاده‌های هراز و فیروزکوه با استفاده از تکنیک GIS پرداخته اند و به این نتیجه رسیده اند که در مناطق کوهستانی جاده‌های هراز و فیروزکوه با شروع دوره سرد (اکتبر)، احتمال وقوع یخبندان و در مناطق ساحلی و کم ارتفاع، احتمال لغزندگی بسیار افزایش می‌یابد.

با توجه به این که ایران جزء کشورهایی است که سالانه مخاطرات اقلیمی خصوصاً یخبندان زیان‌های اقتصادی زیادی به آن وارد می‌سازد این مسأله موجب توجه بیشتر پژوهشگران اقلیم و هواشناسی به آن شده است و در این زمینه تحقیقات متعددی انجام یافته است. در برخی از این مطالعات از روش‌های آماری برای بررسی این پدیده استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

سمیعی و همکاران (۱۳۶۷) با استفاده از اطلاعات دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های هواشناسی کشور و با کاربرد معکوس توابع توزیع مدل‌های ترکیبی، تاریخ وقوع و خاتمه یخبندان‌های پاییزه و بهاره، در سطوح احتمالات انتخابی و در ۱۲ آستانه بحرانی دما محاسبه نموده اند.

علیزاده و همکاران (۱۳۷۳) بر اساس مطالعه داده‌های حداقل دمای روزانه ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان خراسان و با بهره‌گیری از احتمال وقوع تجربی به روش کانین^۱ به تجزیه و تحلیل احتمال وقوع یخبندانهای ملایم (۰ الی ۱/۵)، متوسط (بین ۱/۵- تا ۳-) و شدید (پایین تر از ۳- درجه سانتی‌گراد) پرداخته و نتیجه گرفتند که با احتمال ۸۰ درصد یخبندان‌های ملایم ایستگاه مشهد در ۲۹ اسفند خاتمه می‌پذیرد، در حالی که این تاریخ برای یخبندان‌های شدید، ۱۳ اسفند ماه است.

نوحی (۱۳۷۴) بر اساس اطلاعات حداقل دمای روزانه ایستگاه هواشناسی کرج، تاریخ‌های شروع و خاتمه دماهای بحرانی را در آستانه‌های صفر، منفی پنج و ده درجه سانتی‌گراد استخراج نموده است.

هکتوپاسکالی هوا در ساعت صفر، نوحی و همکاران (۱۳۸۶) در منطقه آذربایجان با کمک نقشه‌های سینوپتیک و بررسی ساعتی پارامترهای جوی از یخبندان‌های تابشی- فرارفتی، علیجانی و هژبرپور (۱۳۸۶)، در زمینه تحلیل همدید یخبندان‌های خسارت بار استان اردبیل اشاره نمود.

داده‌ها و روش‌ها

داده‌ها

در این مطالعه برای مطالعه توزیع زمانی و مکانی احتمال وقوع یخبندان از شاخص‌های: آغاز و خاتمه، فراوانی وقوع، طول فصل رشد و طول فصل یخبندان بر مبنای تاریخ ژولیوسی استفاده شده است. برای این منظور از آمار دمای حداقل روزانه ۶ ایستگاه هواشناسی با دوره آماری ۹ تا ۴۵ ساله استفاده شده است (جدول ۱).

در این مطالعه منظور از یخبندان کلیه دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد و طول فصل رشد از اوایل ماه آوریل تا اواخر ماه سپتامبر و طول فصل یخبندان فاصله زمانی بین اولین و آخرین رخداد یخبندان در طول سال در نظر گرفته شده است.

جهانبخش و امام‌قلیزاده (۱۳۸۴) با استفاده از آمار ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی اورمیه به تعیین دوره‌های سرد و پیش‌بینی یخبندان برای منطقه اورمیه پرداخته‌اند. بر اساس یافته‌های این تحقیق معلوم شد که اولاً وقوع یخبندان در منطقه اورمیه تا حد زیادی از عامل ارتفاع تاثیر می‌پذیرد و ثانیاً، یخبندان‌های دیررس بهاره عامل ایجاد صدمات جبران‌ناپذیری به محصولات کشاورزی است.

نوحی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از آمار ۳۹ ساله سه ایستگاه هواشناسی زنجان، قزوین و تهران نسبت به تعیین طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی و تابشی اقدام نموده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که سربهای زمانی تاریخ آغاز و خاتمه یخبندانهای فرارفتی تصادفی است و از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

در برخی از مطالعات نیز از روشهای سینوپتیکی برای بررسی این پدیده استفاده شده است که در این زمینه به مطالعات حبیبی (۱۳۷۷) در زمینه بررسی و شناسایی توده‌های هوایی که ایرای را مورد تهاجم قرار می‌دهند، عزیزی (۱۳۸۳)، در نیمه غربی ایران را با استفاده از نقشه‌های سینوپتیک سطح زمین و تراز ۵۰۰

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در استان زنجان

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول دوره آماری (سال)
۱	زنجان	سینوپتیک	۶۶۳	۴۵
۲	خرمدره	سینوپتیک	۱۵۷۵	۱۹
۳	خداآباد	سینوپتیک	۱۸۸۷	۱۰
۴	باروت آقاچی	کلیماتولوژی	۲۰۱۰	۹
۵	فیله خاصه	کلیماتولوژی	۱۳۶۸	۱۳

روش‌ها

در این مطالعه پس از برآزش اولیه و تشخیص توزیع های مناسب آماری با شاخص های مورد نظر، روش توزیع نرمال و لوگ نرمال جهت بررسی احتمال وقوع شاخص های یخبندان انتخاب گردید و روش توزیع یکنواخت صرفاً جهت مقایسه نتایج آن با روشهای انتخاب شده مورد استفاده قرار گرفته است.

مطابق با نظریه سازمان هواشناسی جهانی (۱۹۸۳) هیچ قاعده مشخصی برای این مسئله که یک عنصر خاص اقلیمی همواره از یک توزیع به خصوص پیروی می‌کند وجود ندارد اما نظریات مختلفی ارائه شده است که مطابق با آنها متغیرهای یخبندان از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. از جمله تام و شاول (۱۹۵۸) معتقدند که تاریخ‌های یخبندان به طور نرمال توزیع شده اند و با استفاده از میانگین و انحراف معیار به عنوان دو عامل معتبر می‌توان احتمال وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره و زودرس پاییزه را قبل یا بعد از یک تاریخ مشخص پیش بینی کرد. محققین دیگری نیز از قبیل سمیعی و همکاران (۱۳۶۷) و هاشمی (۱۳۴۸) و مجرد قره باغ (۱۳۷۶) استفاده از توزیع نرمال را برای متغیرهای یخبندان مناسب دانسته اند.

به طور کلی روش‌های آماری مورد استفاده در این مطالعه به شرح ذیل است:

برآزش اولیه توزیع‌هایی آماری جهت انتخاب بهترین روش برای مطالعه نحوه توزیع داده‌ها

آزمون نیکویی برآزش برای تشخیص کارا بودن روش‌های انتخابی از طریق آزمون‌های ذیل:

• آزمون کای اسکور

آزمون کای اسکور یا آزمون باقیمانده‌ها بر اساس رابطه زیر:

$$R.s.s = \left[\frac{\sum (QE - QO)^2}{n - m} \right]^{0.5} \quad (1)$$

در رابطه (۱) $R.s.s$ مجموع مربعات باقیمانده، QE مقدار برآورد شده متغیر، n تعداد نمونه و m تعداد پارامترهای توزیع است (مهدوی، ۱۳۷۱: ۱۲۱). نتایج حاصل از این آزمون در سطح اطمینان ۹۹ درصد با استفاده از جدول مقادیر بحرانی χ^2 دو مقایسه شده است.

• آزمون کولموگوروف^۲ - اسمیرنوف^۳

آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف بر اساس رابطه زیر:

$$D_n = \text{Maximum} |F_e - F_o| \quad (2)$$

که در آن F_e و F_o به ترتیب فراوانی نظری نسبی تجمعی و فراوانی مشاهده شده نسبی تجمعی است (آذر و مؤمنی، ۱۳۸۱: ۱۷۱). نتایج حاصل از این آزمون در سطح اطمینان ۹۹ درصد با استفاده از جدول مقادیر بحرانی D آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف مقایسه شده است.

- استفاده از توزیع‌های تعیین شده:

توزیع نرمال و لوگ نرمال:

رابطه مورد استفاده برای برآزش و محاسبه داده‌ها

در توزیع نرمال به صورت زیر است:

$$x = \bar{x} + s \cdot k \quad (3)$$

در این رابطه، x مقدار مورد پیش بینی متغیر، \bar{x} میانگین مقادیر مشاهده شده متغیر، s انحراف معیار

11- A. N. kolmogorov

12- N. V. smirnov

1-Thom, H. C. S, R. H. Shaw

است به ترتیب زیر است: (بازرگان لاری، ۱۳۸۲: ۱۵۶).

$$E(x) = \frac{a+b}{2} \quad (۷)$$

$$V(x) = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (۸)$$

اگر مقادیر d, c طوری باشند که
 $a < c < d < b$ آنگاه:
 (۹)

$$p(c \leq x \leq d) = \int_c^d \frac{1}{b-a} dx = \frac{1}{b-a} x \Big|_c^d = \frac{d-c}{b-a}$$

از رابطه فوق برای محاسبه احتمال پیشامدهای
 مربوط به x استفاده می‌شود (جمشیدی، ۱۳۷۶: ۴۸).

۴. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط Arc/view با
 استفاده از مدل میان‌بایی spline

یافته‌های تحقیق

بررسی میانگین دمای ماهانه در تمام ایستگاه‌ها
 نشان می‌دهد بیشترین مقدار دما مربوط به ماه‌های
 آگوست و جولای و کمترین آن مربوط به ماه‌های
 ژانویه و دسامبر است. همچنین ایستگاه خیرآباد و
 باروت آقاجی کمترین و ایستگاه فیله خاصه بیشترین
 دمای متوسط ماهانه را در بین سایر ایستگاه‌ها دارند
 (جدول ۲).

مقادیر مشاهده شده متغیر و k ضریبی است که بر
 حسب توزیع‌های مختلف متفاوت است. رابطه مورد
 استفاده برای محاسبه ضریب k در توزیع نرمال به
 شرح زیر است:

$$k = z \quad (۴)$$

$$W = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{0.5}$$

$$Z = \frac{2.515517 + 0.802853W + 0.010328W^2}{1 + 1.432788W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3}$$

برای محاسبه احتمال وقوع ($0 < p < .5$)
 داده‌ها (p) از رابطه ویبول استفاده شده است. رابطه
 ویبول به صورت زیر است:

$$p = \frac{m}{n+1} \quad (۵)$$

در رابطه ۵، p احتمال وقوع (احتمال برابری یا
 تجاوز) و m شماره ردیف و n تعداد داده‌ها است
 (علیزاده، ۱۳۸۰: ۵۸۷).

• توزیع یکنواخت
 در توزیع یکنواخت رابطه تابع چگالی احتمال به
 صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} \\ 0 \end{cases} \quad (۶)$$

$$a < x < b$$

در غیر این صورت امید ریاضی و پراش متغیر
 تصادفی x که روی (a, b) دارای توزیع یکنواخت

جدول ۲- میانگین دمای ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان زنجان

ایستگاه	ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
فیله خاصه		-۰/۶	۱/۶	۶/۷	۱۳/۲	۱۷/۲	۲۲/۴	۲۵/۴	۲۶/۴	۲۱/۵	۱۵/۳	۷	۱/۹
خیرآباد		-۳/۳	-۲/۱	۳	۹/۵	۱۳/۸	۱۸/۶	۲۱/۴	۲۲	۱۶/۹	۱۱/۲	۴/۴	۰/۴
خدابنده		-۲/۶	-۱	۴	۱۰/۳	۱۵/۱	۲۰/۳	۲۳/۶	۲۴/۶	۱۹/۵	۱۳/۴	۵/۹	۱
باروت آقاچی		-۳/۸	-۳/۱	۲/۱	۸/۵	۱۳/۴	۱۸/۹	۲۱/۳	۲۲/۶	۱۸	۱۲/۱	۴/۱	-۰/۲
خرمدره		-۰/۹	۰/۵	۵/۱	۱۱/۷	۱۶	۲۰/۸	۲۳/۶	۲۳/۵	۱۹/۴	۱۳/۶	۷/۲	۱/۸
زنجان		-۲/۵	-۰/۷	۴/۵	۱۰/۵	۱۵/۱	۱۹/۹	۲۳/۳	۲۳/۱	۱۸/۹	۱۳	۶/۴	۰/۸

حاصل از این آزمون‌ها، بهترین توزیع برای روز آغاز (یخبندان‌های زودرس پاییزه) و خاتمه (یخبندان‌های دیررس بهاره)، فصل یخبندان و فراوانی وقوع یخبندان توزیع نرمال است و برای طول فصل رشد روش مناسب، توزیع لوگ نرمال تشخیص داده شد (جدول ۳).

پس از برازش اولیه توزیع‌ها و انتخاب توزیع‌های مناسب به منظور تشخیص کارا بودن توزیع‌های انتخابی با سه آزمون کای اسکور یا آزمون باقیمانده‌ها، آزمون کلموگروف - اسمیرنوف و آزمون ضریب همبستگی (بین ارتفاع و شاخص‌های یخبندان) نسبت به آزمون نیکویی برازش اقدام گردید. بر اساس نتایج

جدول ۳- آزمون‌های تشخیص برای انتخاب بهترین توزیع احتمالاتی

آزمون	کای اسکور			کلموگروف- اسمیرنوف			ضریب همبستگی (بین ارتفاع و شاخص‌های یخبندان)		
	نرمال	لوگ نرمال	یکنواخت	نرمال	لوگ نرمال	یکنواخت	نرمال	لوگ نرمال	یکنواخت
روز آغاز	۰/۰۲۹۶	۰/۰۳۰۸	۰/۱۰۵۷	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۹۶	۰/۰۶۲۵	۰/۰۹۹۵	۰/۰۹۹۵	۰/۰۹۹۱
روز خاتمه	۰/۰۲۷۱	۰/۰۳۲۳	۰/۰۹۷۶	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۵۲	۰/۰۶۸۷	۰/۰۹۹۷	۰/۰۹۹۵	۰/۰۹۹۸
فصل رشد	۰/۳۶۹۸	۰/۰۳۷۱	۰/۲۵۵۷	۰/۱۲۳۸	۰/۰۱۵۹	۰/۰۸۲۷	۰/۰۶۳	۰/۰۹۹۰	۰/۰۷۵
فصل یخبندان	۰/۰۳۱۵	۰/۰۴۲۶	۰/۰۹۴۲	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۹۰۶	۰/۰۹۹۵	۰/۰۹۹۰	۰/۰۹۷۵
فراوانی وقوع	۰/۰۳۳۶	۰/۰۴۲۲	۰/۰۶۰۵	۰/۰۰۹۸	۰/۰۱۵۶	۰/۰۲۷۵	۰/۰۹۹۵	۰/۰۹۹۲	۰/۰۹۷۷

گردید (جدول شماره ۴ و ۵). توزیع جغرافیایی مقادیر محاسبه شده در دوره‌های بازگشت ۲ سال نیز به منظور نمایش بهتر نتایج حاصل به صورت نقشه‌هایی بر حسب روز ژولیوسی تهیه گردید (نقشه‌های ۱-۵).

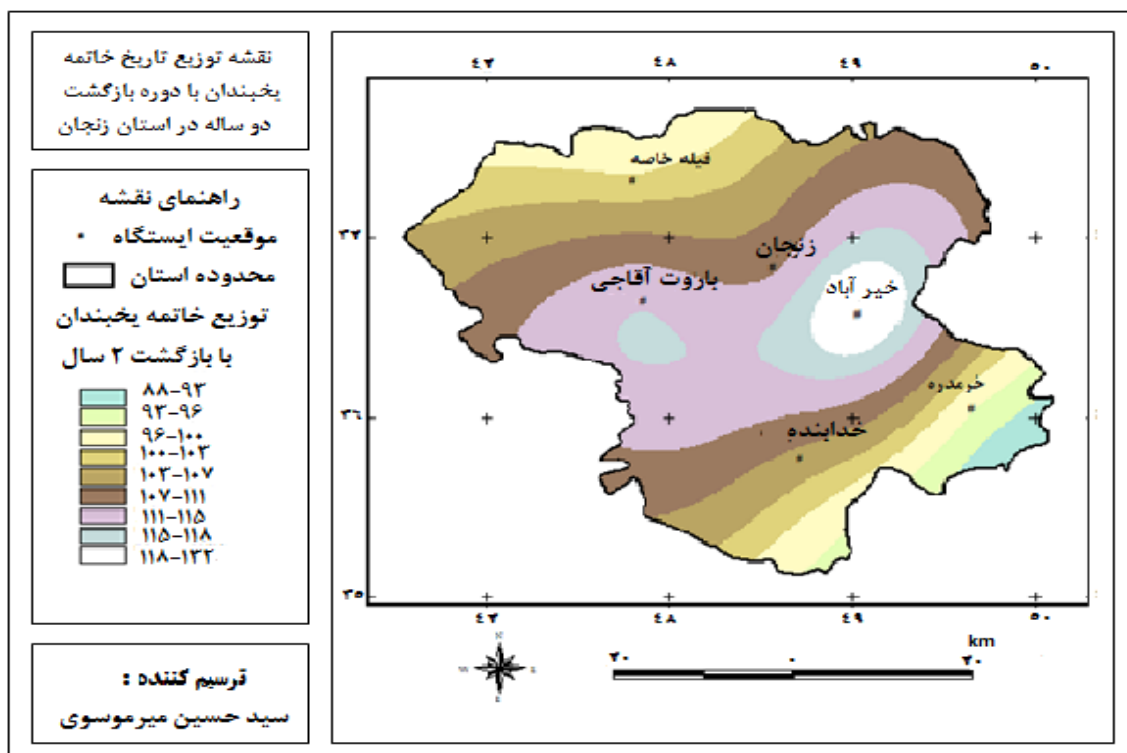
بر اساس نتایج حاصل از آزمون روش‌ها، شاخص‌های مورد مطالعه برای وقوع یخبندان در دوره‌های بازگشت، ۱/۰۱، ۱/۰۵، ۱/۲۵، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ سال با استفاده از توزیع نرمال و لوگ نرمال محاسبه

جدول ۴- شاخص‌های وقوع یخبندان ایستگاه‌ها در دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از توزیع نرمال

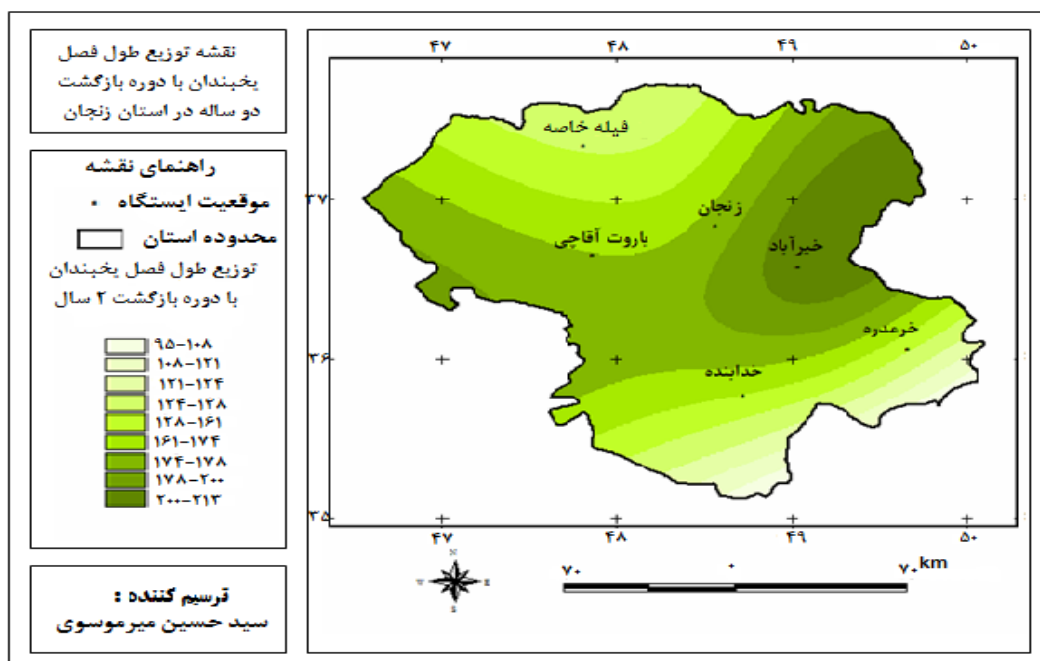
۲۰	۱۰	۵	۲	۱/۲۵	۱/۱۰	۱/۰۱	دوره بازگشت (سال)	شاخص
۵	۱۰	۲۰	۵۰	۸۰	۹۵	۹۹	احتمال (%)	
۳۱۸	۳۱۳	۳۰۸	۲۹۶	۲۸۵	۲۷۵	۲۶۶	زنجان	آغاز
۳۳۶	۳۳۱	۳۲۵	۳۱۲	۳۰۰	۲۸۸	۲۷۸	خرمدره	
۳۳۰	۳۲۸	۳۲۵	۳۱۹	۳۱۳	۳۰۷	۳۰۲	فیله	
۳۲۴	۳۲۱	۳۱۷	۳۱۱	۳۰۴	۲۹۷	۲۹۲	خدابنده	
۲۹۰	۲۸۸	۲۸۵	۲۷۹	۲۷۳	۲۶۸	۲۶۳	خیرآباد	
۳۲۷	۳۲۲	۳۱۶	۳۰۵	۲۹۴	۲۸۴	۲۷۵	باروت	
۱۳۵	۱۳۰	۱۲۳	۱۱۱	۱۰۰	۸۸	۷۹	زنجان	خاتمه
۱۱۴	۱۱۰	۱۰۶	۹۷	۸۹	۸۰	۷۴	خرمدره	
۱۳۴	۱۲۶	۱۱۷	۱۰۱	۸۴	۶۸	۵۴	فیله	
۱۲۵	۱۲۰	۱۱۶	۱۰۶	۹۶	۸۷	۸۰	خدابنده	
۱۴۸	۱۴۲	۱۳۵	۱۲۲	۱۰۸	۹۵	۸۵	خیرآباد	
۱۴۰	۱۳۵	۱۲۸	۱۱۵	۱۰۲	۹۰	۷۹	باروت	
۲۱۱	۲۰۴	۱۹۶	۱۸۱	۱۶۶	۱۵۲	۱۳۹	زنجان	طول فصل یخبندان
۱۷۹	۱۷۳	۱۶۵	۱۵۰	۱۳۵	۱۲۱	۱۰۹	خرمدره	
۱۸۲	۱۷۴	۱۶۵	۱۴۷	۱۲۹	۱۱۲	۹۷	فیله	
۱۸۹	۱۸۲	۱۷۵	۱۶۱	۱۴۶	۱۳۲	۱۲۱	خدابنده	
۲۳۱	۲۲۶	۲۲۰	۲۰۸	۱۹۶	۱۸۴	۱۷۵	خیرآباد	
۲۱۲	۲۰۴	۱۹۴	۱۷۵	۱۵۶	۱۳۸	۱۲۳	باروت	
۱۴۳	۱۳۸	۱۳۲	۱۲۱	۱۰۹	۹۹	۸۹	زنجان	فراوانی یخبندان
۱۱۷	۱۱۴	۱۰۹	۱۰۱	۹۳	۸۵	۷۸	خرمدره	
۱۱۵	۱۱۱	۱۰۶	۹۷	۸۷	۷۸	۷۰	فیله	
۱۲۲	۱۲۲	۱۲۱	۱۲۰	۱۱۹	۱۱۹	۱۱۸	خدابنده	
۱۶۰	۱۵۷	۱۵۳	۱۴۶	۱۳۸	۱۳۱	۱۲۵	خیرآباد	
۱۵۶	۱۵۱	۱۴۵	۱۳۴	۱۲۳	۱۱۳	۱۰۴	باروت	

جدول ۵- شاخص‌های وقوع یخبندان ایستگاه‌ها در دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از توزیع لوگ نرمال

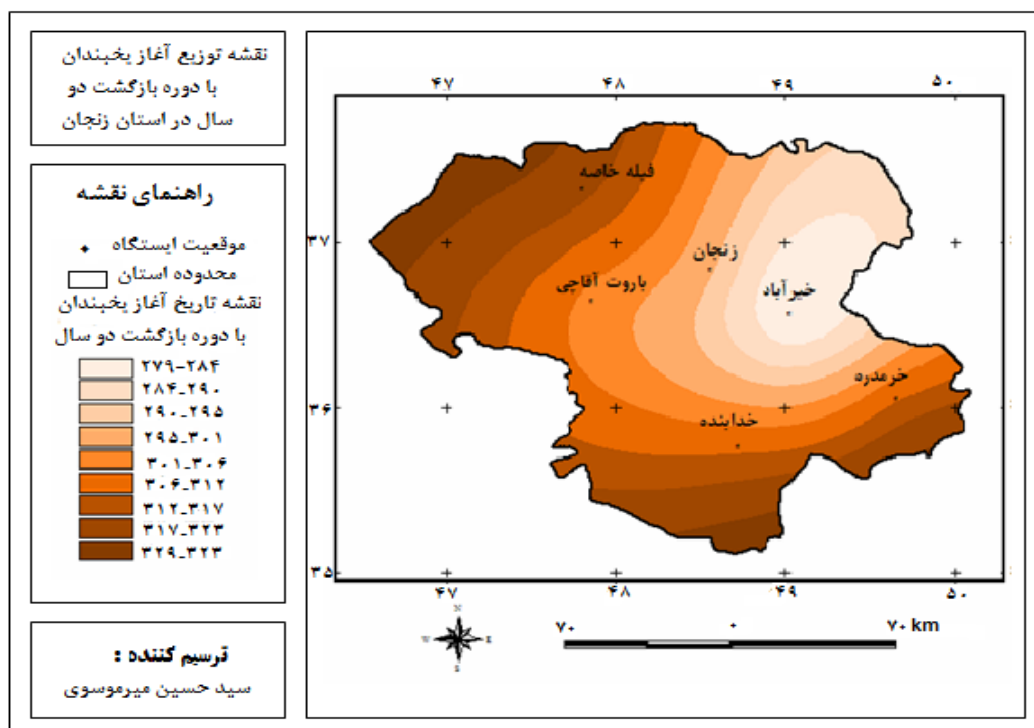
شاخص	دوره بازگشت (سال)							
	۲۰	۱۰	۵	۲	۱/۲۵	۱/۱۰	۱/۰۱	
احتمال (%)	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۸۰	۹۵	۹۹	
طول فصل رشد	زنجان	۲۱۲	۲۰۵	۱۹۸	۱۸۲	۱۶۸	۱۵۶	۱۴۷
	خرمدره	۲۸۵	۲۴۱	۲۳۱	۲۱۴	۱۹۸	۱۸۴	۱۷۳
	فیله	۲۳۲	۲۲۵	۲۱۶	۲۰۰	۱۸۵	۱۷۱	۱۶۱
	خدابنده	۲۳۲	۲۲۵	۲۱۶	۲۰۰	۱۸۵	۱۷۱	۱۶۱
	خیرآباد	۱۸۰	۱۷۴	۱۶۷	۱۵۵	۱۴۳	۱۳۳	۱۲۵
	باروت	۲۲۵	۲۱۶	۲۰۵	۱۸۶	۱۶۹	۱۵۴	۱۴۲



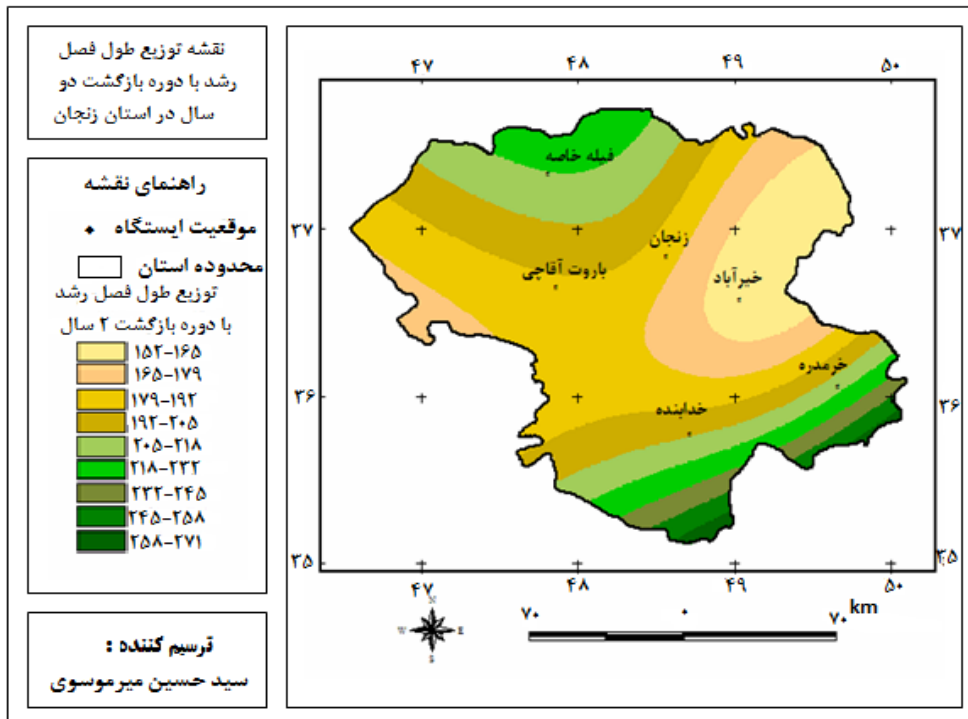
شکل ۱- نقشه توزیع تاریخ خاتمه یخبندان با دوره بازگشت دو ساله در استان زنجان



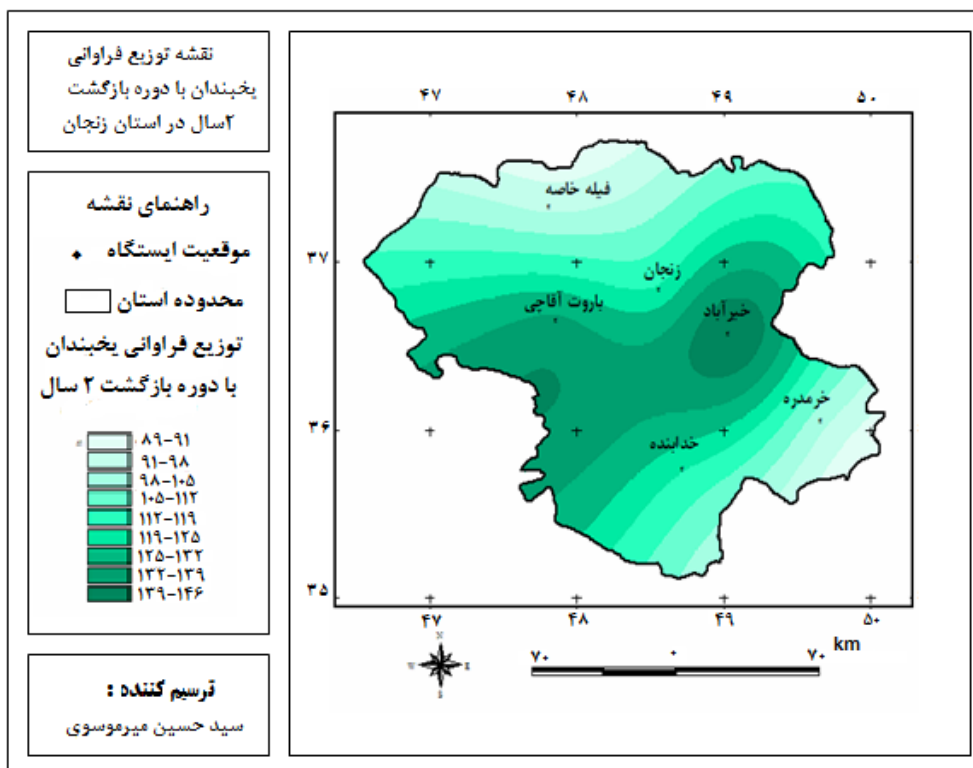
شکل ۲- نقشه توزیع طول فصل یخبندان با دوره بازگشت دوساله در استان زنجان



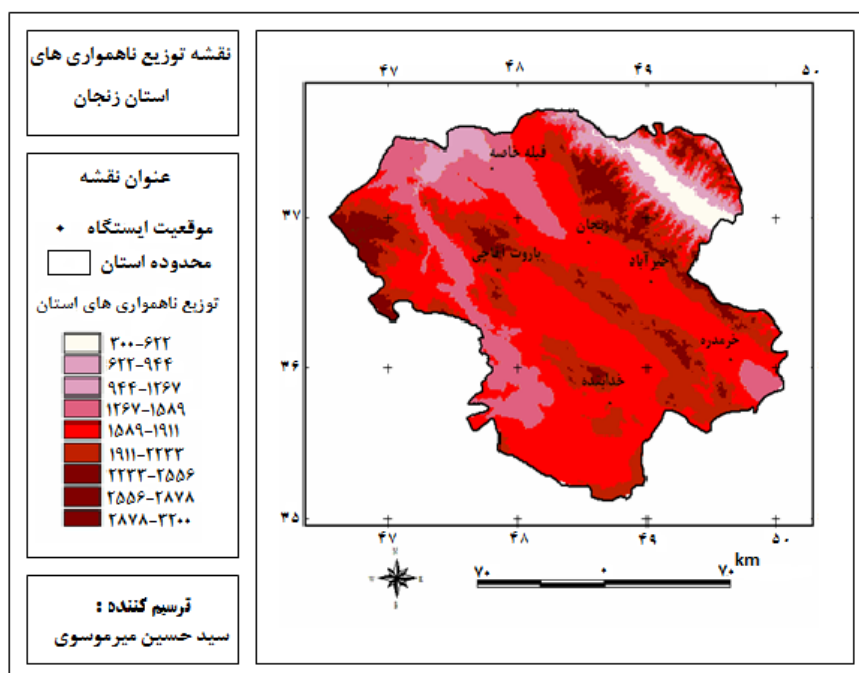
شکل ۳- نقشه توزیع تاریخ آغاز یخبندان با دوره بازگشت دوساله در استان زنجان



شکل ۴- نقشه توزیع یخبندان در طول فصل رشد گیاهان با دوره بازگشت دو ساله در استان زنجان



شکل ۵- نقشه توزیع فراوانی وقوع یخبندان با دوره بازگشت دو ساله در استان زنجان



شکل ۶- نقشه ناهمواری‌های استان زنجان و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

آبان ماه در هر ۲ سال یکبار است. دامنه تفاوت این دو منطقه ۳۴ روز است که می‌تواند از نظر کشاورزی قابل توجه باشد.

نقشه توزیع احتمال طول فصل یخبندان و طول فصل رشد عکس همدیگر هستند. به طوری که در نقشه احتمال طول فصل یخبندان مشاهده می‌شود، یک هسته مشخص افزایش طول فصل یخبندان در اطراف ایستگاه خیرآباد تقریباً برابر با ۲۰۰ روز با احتمال ۵۰ درصد در هر ۲ سال یکبار وجود دارد و به طرف مناطق پست شمالی، طول فصل یخبندان کمتر شده و در اطراف ایستگاه‌های فیله خاصه، خرمدره و خدابنده به ۱۵۰ روز و کمتر از آن نیز کاهش می‌یابد. بنابراین، دامنه احتمال وقوع طول فصل یخبندان در قسمت‌های مرکزی و اطراف منطقه مورد مطالعه به ۵۰ روز می‌رسد. در حالی که در نقشه توزیع احتمال طول فصل رشد یک هسته مشخص کاهش طول فصل رشد در اطراف ایستگاه خیرآباد با احتمال وقوع تقریباً ۱۷۰ روز در هر ۲ سال یکبار نشان می‌دهد و در اطراف

بررسی نقشه‌های ۱-۶ نشان می‌دهد که توزیع جغرافیایی مقادیر محاسبه شده، کم و بیش از وضعیت توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند. نقشه توزیع احتمالی روز خاتمه (یخبندان بهاره) همانند روز آغاز (یخبندان پاییزه) است با این تفاوت که منطقه مرتفع مرکزی به جای هسته کاهش با افزایش تاریخ روز خاتمه یخبندان مواجه است. در این منطقه بطور متوسط هر ۲ سال یکبار احتمال دارد که یخبندان دیررس بهاره در روز ۷ اردیبهشت اتفاق افتد. اما به طرف مناطق اطراف احتمال تاریخ وقوع یخبندان به روزهای کمتری می‌رسد تا اینکه به روز ۱۰ فروردین و کمتر از آن نیز تقلیل می‌یابد.

مطابق با نقشه وز آغاز یخبندان یک هسته کاهش تاریخ وقوع در اطراف ایستگاه خیرآباد مشاهده می‌شود و به طور متوسط هر ۲ سال یکبار احتمال دارد که در روزهای ۲۲ و ۲۴ مهر ماه یخبندان زودرس پاییزه اتفاق افتد. در حالی که احتمال تاریخ وقوع یخبندان در اطراف ایستگاه فیله خاصه برابر با روز ۲۶

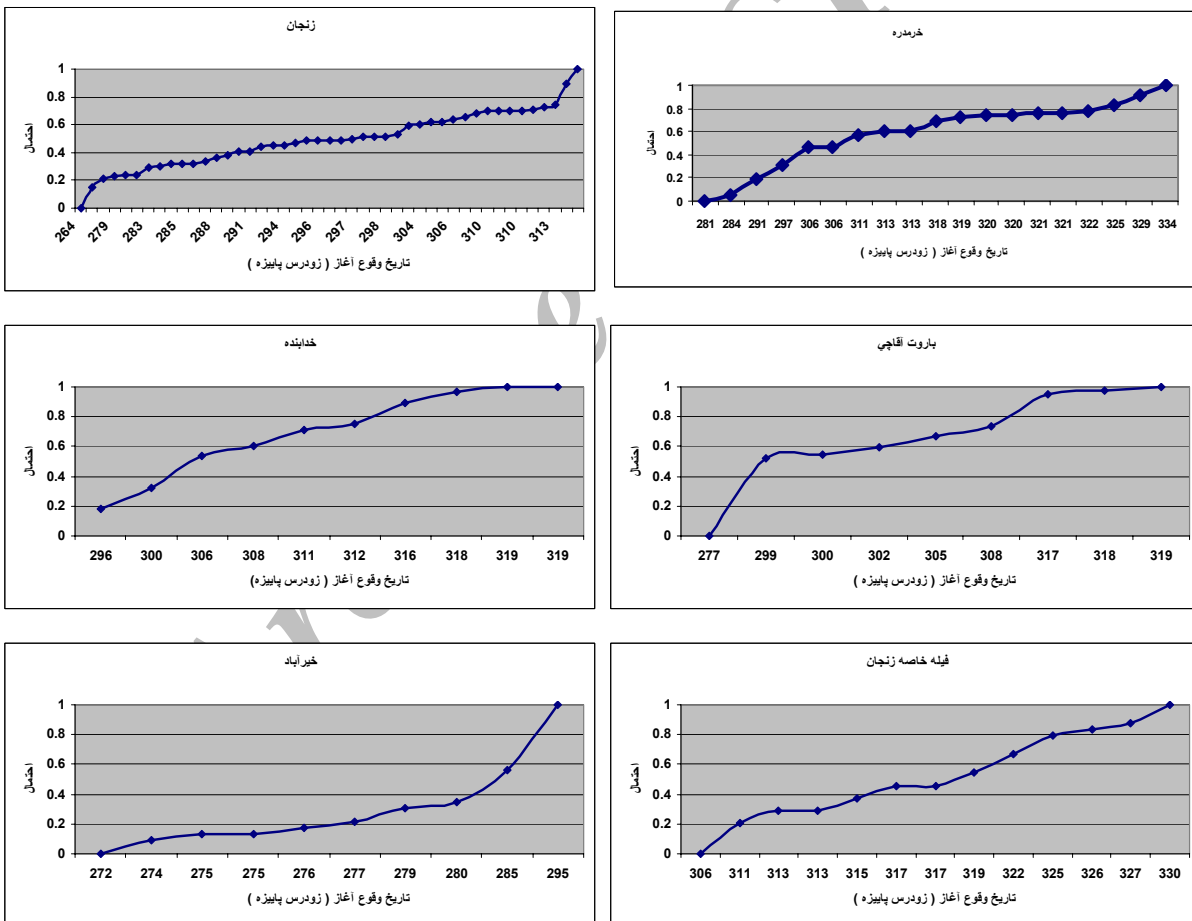
روزهای یخبندان با دوره بازگشت ۲ سال، ۱۰۲ روز است و دامنه اختلاف تقریباً به ۲۸ روز در منطقه مورد مطالعه می‌رسد.

پیش بینی تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان با استفاده از توزیع یکنواخت

برای مطالعه بیشتر شاخص‌های یخبندان و ایجاد زمینه برای مقایسه نتایج حاصل از روش‌ها با استفاده از توزیع یکنواخت، اقدام به تعیین احتمال وقوع و همچنین احتمال توزیع تجمعی تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان گردیده است (شکل های ۷-۸).

ایستگاه فیله خاصه این رقم به ۲۱۶ روز و بیشتر و ایستگاه خرمدره و خدابنده به ۲۱۴ روز افزایش می‌یابد. بدین ترتیب اختلاف احتمال وقوع طول فصل رشد در هر دو سال یکبار در مناطق مرکزی و اطراف منطقه مورد مطالعه تقریباً به ۵۶ روز می‌رسد.

بررسی نقشه توزیع احتمالی فراوانی وقوع یخبندان نشان دهنده دو هسته مشخص افزایش فراوانی وقوع یخبندان در اطراف ایستگاه‌های باروت آقاجی و خیرآباد (با احتمال وقوع ۱۳۰ روز و بیشتر) است. این ایستگاه‌ها بیشترین ارتفاع را در منطقه دارند. در حالی که در مناطق پست اطراف احتمال وقوع تعداد



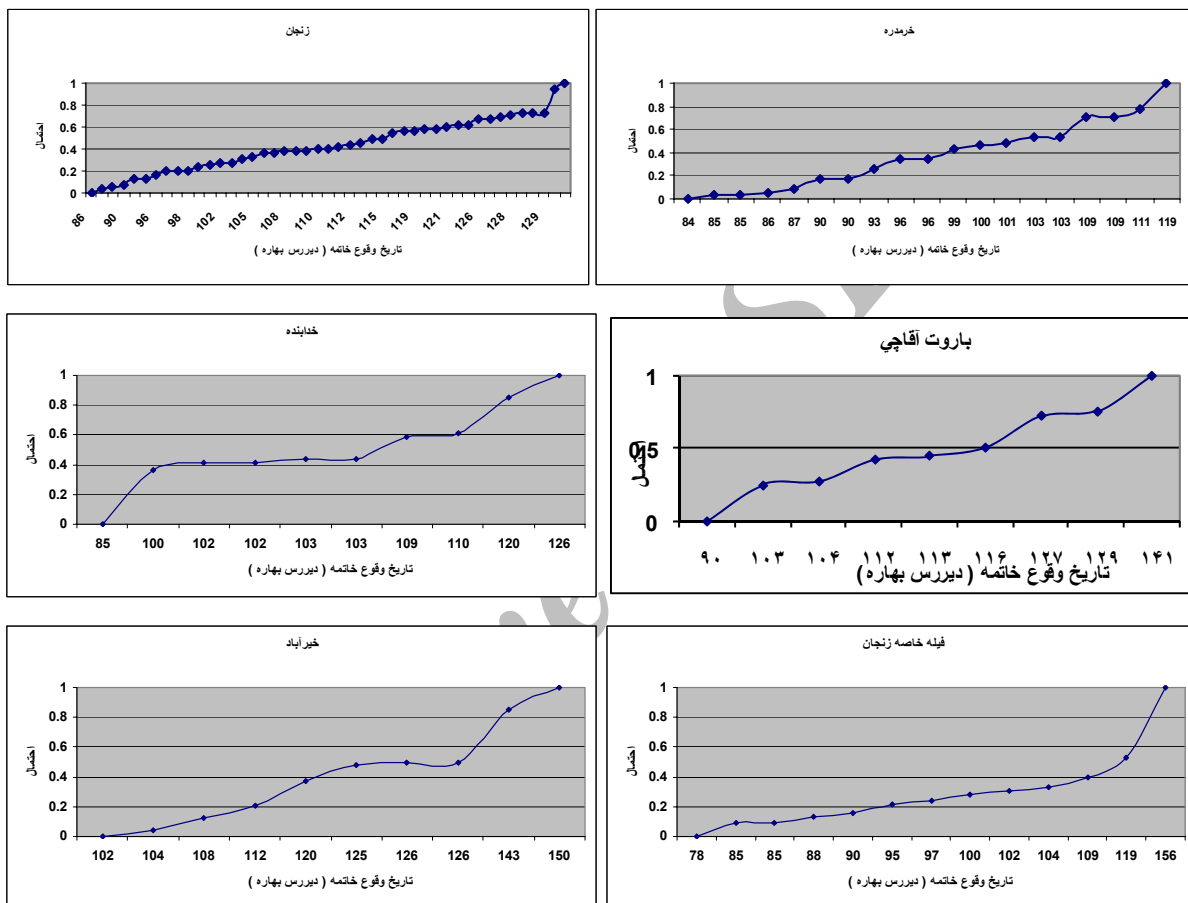
شکل ۷- نمودار احتمال تجمعی توزیع یکنواخت تاریخ آغاز یخبندان در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

خیرآباد در روز هفتم مهرماه با احتمال ده درصد به سمت آخرین روز مهرماه نزدیک به حداکثر می‌رسد در حالی که این اتفاق در ایستگاه خرمدره در روز

بررسی نتایج حاصل از محاسبه تاریخ آغاز وقوع یخبندان به روش احتمال تجمعی توزیع یکنواخت نشان می‌دهد احتمال وقوع یخبندان در ایستگاه

به طرف بیستم آبانماه به بعد به حداکثر می‌رسد و ایستگاه‌های فیله خاصه و خرمدره از هفته اول آذرماه به بعد به عنوان ایستگاه‌هایی با احتمال وقوع دیرتر یخبندان شناسایی شدند (شکل ۷).

هیجدهم مهرماه با احتمال ده درصد و تا دهم آذرماه از چنین احتمالی برخوردار است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه زنجان، خدابنده و باروت آقاجی از شرایط همگونی برخوردارند و احتمال وقوع یخبندان پاییزه از هفته اول مهرماه با احتمال ده درصد و کمتر



شکل ۸- نمودار احتمال تجمعی توزیع یکنواخت تاریخ خاتمه یخبندان در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

بررسی نتایج حاصل از احتمال تجمعی توزیع یکنواخت تاریخ خاتمه وقوع یخبندان در استان زنجان نیز نشان می‌دهد در ایستگاه خرمدره تا بیست و پنجم فرودین ماه احتمال وقوع یخبندان وجود دارد و این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها از احتمال خطر یخبندان کمتری برای کشاورزی و سایر فعالیت‌ها برخوردار است در حالی که ایستگاه‌های زنجان و

خرمدره حتی تا بیستم اردیبهشت ماه نیز از احتمال وقوع یخبندان برخوردار هستند. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه سه ایستگاه باروت آقاجی، خیرآباد و فیله خاصه از نظر زمان خاتمه یخبندان تقریباً از شرایط همگونی را دارند و تا اواخر اردیبهشت ماه نیز در معرض خطر وقوع یخبندان هستند.

جدول ۶- احتمال وقوع تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان با استفاده از توزیع یکنواخت در سه ایستگاه نمونه زنجان، خرمدره، فیله خاصه

()		()	
۲۸۴	۹۴/۳۴	۱۱۱	۲۲/۸۶
۳۱۹	۲۸/۳	۱۰۱	۵۱/۴۳
۳۲۳	۱۶/۹۸	۹۰	۸۲/۸۶
۳۱۸	۳۰/۱۹	۹۳	۷۴/۲۹
۳۲۰	۲۶/۴۲	۸۵	۹۷/۱۴
۳۲۲	۲۲/۶۴	۱۰۹	۲۸/۵۷
۲۸۱	۱۰۰	۸۶	۹۴/۲۹
۳۱۳	۳۹/۶۲	۹۶	۶۵/۷۱
۲۹۱	۸۱/۱۳	۹۰	۸۲/۸۶
۳۰۶	۵۲/۸۳	۹۶	۶۵/۷۱
۳۱۱	۴۳/۴	۱۰۳	۴۵/۷۱
۳۳۴	.	۸۵	۹۷/۱۴
۳۰۶	۵۲/۸۳	۱۰۰	۵۴/۲۹
۳۱۳	۳۹/۶۲	۸۷	۹۱/۴۳
۳۲۱	۲۴/۵۳	۸۴	۱۰۰
۳۲۱	۲۴/۵۳	۱۰۳	۴۵/۷۱
۳۲۰	۲۶/۴۲	۱۱۹	.
۳۲۹	۹/۴۳	۱۰۹	۲۸/۵۷
۲۹۷	۶۹/۸۱	۹۹	۵۷/۱۴

()		()	
۳۲۲	۳۳/۳۳	۱۵۶	.
۳۱۷	۵۴/۱۷	۸۵	۹۱/۰۳
۳۱۱	۷۹/۱۷	۹۵	۷۸/۲۱
۳۱۵	۶۲/۵	۸۸	۸۷/۱۸
۳۱۷	۵۴/۱۷	۹۷	۷۵/۶۴
۳۱۳	۷۰/۸۳	۱۰۴	۶۶/۶۷
۳۳۰	.	۸۵	۹۱/۰۳
۳۰۶	۱۰۰	۱۰۰	۷۱/۷۹
۳۱۳	۷۰/۸۳	۱۰۲	۶۹/۲۳
۳۲۵	۲۰/۸۳	۷۸	۱۰۰
۳۲۶	۱۶/۶۷	۹۰	۸۴/۶۲
۳۱۹	۴۵/۸۳	۱۱۹	۴۷/۴۴
۳۲۷	۱۲/۵	۱۰۹	۶۰/۲۶

()		()	
۲۹۱	۵۹/۰۹	۱۰۸	۶۲/۷۱
۲۸۵	۶۸/۱۸	۱۰۴	۶۹/۴۹
۳۰۴	۳۹/۳۹	۸۸	۹۶/۶۱
۲۸۰	۷۵/۷۶	۱۲۳	۳۷/۲۹
۲۹۹	۴۶/۹۷	۱۰۵	۶۷/۸
۳۲۳	۱۰/۶۱	۱۲۹	۲۷/۱۲
۲۸۸	۶۳/۶۴	۱۱۰	۵۹/۳۲
۳۱۰	۳۰/۳	۱۲۰	۴۲/۳۷
۳۰۳	۴۰/۹۱	۱۱۲	۵۵/۹۳
۲۹۷	۵۰	۱۱۵	۵۰/۸۵
۲۸۳	۷۱/۲۱	۱۱۰	۵۹/۳۲
۳۰۵	۳۷/۸۸	۹۸	۷۹/۶۶
۳۰۹	۳۱/۸۲	۱۲۷	۳۰/۵۱
۲۸۵	۶۸/۱۸	۱۲۰	۴۲/۳۷
۲۷۸	۷۸/۷۹	۹۴	۸۶/۴۴
۲۹۳	۵۶/۰۶	۹۸	۷۹/۶۶
۲۹۶	۵۱/۵۲	۱۰۷	۶۴/۴۱
۳۰۷	۳۴/۸۵	۱۲۳	۳۷/۲۹
۳۱۰	۳۰/۳	۱۱۹	۴۴/۰۷
۲۹۶	۵۱/۵۲	۱۰۹	۶۱/۰۲
۳۱۰	۳/۳۰	۱۰۰	۷۶/۲۷
۲۹۸	۴۸/۴۸	۹۰	۹۳/۲۲
۳۳۰	.	۱۱۱	۵۷/۶۳
۲۹۴	۵۴/۵۵	۱۲۸	۲۸/۸۱
۲۹۶	۵۱/۵۲	۱۰۷	۶۴/۴۱
۲۹۸	۴۸/۴۸	۸۹	۹۴/۹۲
۲۸۴	۶۹/۷	۱۱۸	۴۵/۷۶
۳۰۵	۳۷/۸۸	۱۰۱	۷۴/۵۸
۲۶۴	۱۰۰	۱۲۱	۴۰/۶۸
۲۸۹	۶۲/۱۲	۱۱۳	۵۴/۲۴
۳۱۲	۲۷/۲۷	۱۴۵	.
۲۷۴	۸۴/۸۵	۱۲۶	۳۲/۲
۲۸۰	۷۵/۷۶	۱۲۹	۲۷/۱۲
۲۸۵	۶۸/۱۸	۹۶	۸۳/۰۵
۲۷۹	۷۷/۲۷	۹۸	۷۹/۶۶
۲۹۱	۵۹/۰۹	۱۱۹	۴۴/۰۷
۳۱۱	۲۸/۷۹	۱۲۶	۳۲/۲
۲۸۶	۶۶/۶۷	۱۱۵	۵۰/۸۵
۳۱۰	۳۰/۳	۱۴۲	۵/۰۸
۳۱۳	۲۵/۷۶	۱۰۲	۷۲/۸۸
۲۹۴	۵۴/۵۵	۸۶	۱۰۰
۲۹۶	۵۱/۵۲	۹۴	۸۶/۴۴
۳۰۶	۳۶/۳۶	۱۲۹	۲۷/۱۲
۲۹۸	۴۸/۴۸	۱۰۹	۶۱/۰۲
۲۹۵	۵۳/۰۳	۱۰۲	۷۲/۸۸

نتایج تحقیق

به طور کلی، نتایج اصلی این مطالعه نشان می‌دهد که:

- بر اساس نتایج حاصل از برازش اولیه و آزمون نیکویی برازش، بهترین توزیع برای روز آغاز و خاتمه یخبندان، فصل یخبندان و فراوانی وقوع یخبندان توزیع نرمال و برای طول فصل رشد توزیع لوگ نرمال است.

- نتایج حاصل از بررسی تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان از نظر احتمال وقوع به روش نرمال نشان می‌دهد که ایستگاههای مرکزی استان نظیر خیرآباد و باروت آقاجی در ارتباط با خاتمه یخبندان از شرایط ویژه ای برخوردارند. به طوری که احتمال وقوع یخبندان دیررس بهاره در اواخر اردیبهشت ماه نیز وجود دارد. از مرکز به طرف حاشیه‌های استان احتمال تاریخ وقوع یخبندان دیررس بهاره به روزهای کمتری می‌رسد تا اینکه به روز ۱۰ فروردین و کمتر از آن نیز تقلیل می‌یابد.

- مطابق با نقشه روز آغاز یک هسته کاهش تاریخ وقوع یخبندان در اطراف ایستگاه خیرآباد مشاهده می‌شود و به طور متوسط هر ۲ سال یکبار احتمال دارد که در روزهای ۲۲ و ۲۴ مهر ماه یخبندان زودرس پاییزه اتفاق افتد. در حالی که احتمال تاریخ وقوع یخبندان در اطراف ایستگاه فیله خاصه برابر با روز ۲۶ آبان ماه در هر ۲ سال یکبار است. دامنه تفاوت این دو منطقه ۳۴ روز است که می‌تواند از نظر کشاورزی قابل توجه باشد.

- نتایج حاصل از محاسبات توزیع‌های احتمال نشان دهنده یک هسته مشخص افزایش طول فصل یخبندان در اطراف ایستگاه خیرآباد (۲۰۰ روز) است.

در حالی که به طرف مناطق پست شمالی، طول فصل یخبندان کمتر شده و در اطراف ایستگاه‌های فیله خاصه، خرمدره و خدابنده به ۱۵۰ روز و کمتر از آن نیز کاهش می‌یابد.

- بررسی توزیع احتمالی فراوانی وقوع یخبندان نشان می‌دهد که دو هسته مشخص افزایش فراوانی وقوع یخبندان در اطراف ایستگاههای باروت آقاجی و خیرآباد با احتمال وقوع ۱۳۰ روز و بیشتر وجود دارد که بیشترین ارتفاع را در بین سایر ایستگاه‌های منطقه دارند. در حالی که در مناطق پست اطراف احتمال وقوع تعداد روزهای یخبندان ۱۰۲ روز است و دامنه اختلاف تقریباً به ۲۸ روز در منطقه مورد مطالعه می‌رسد.

منابع

آذر، عادل و مؤمنی، منصور، (۱۳۸۱)، "آمار و کاربرد آن در مدیریت"، انتشارات سمت، جلد دوم.

بازرگان لاری، عبدالرضا، (۱۳۸۲)، "آمار کاربردی"، انتشارات دانشگاه شیراز.

جمشیدی، خدیجه، (۱۳۷۶)، "آمار و کاربرد آن در مدیریت"، انتشارات دانشگاه پیام نور، قسمت اول.

جهانبخش، سعید و معصومه امام قلیزاده، (۱۳۸۴)، «بررسی و پیش بینی یخبندان برای منطقه اورمیه»، خلاصه مقالات کنفرانس بین المللی مخاطرات زمین، دانشگاه تبریز.

حجازی زاده، زهرا، ناصر زاده، حسین (۱۳۸۴)، "محاسبه و تجزیه و تحلیل ساعتهای تداوم یخبندان با استفاده از برنامه نویسی به زبان دلفی"،

کمالی، غلامعلی و حبیبی نوخندان، مجید (۱۳۸۴): " بررسی توزیع مکانی و زمانی یخبندان در ایران و نقش آن در حمل و نقل جاده‌ای": پژوهشنامه حمل و نقل، سال دوم، شماره ۲، (۱۲۷-۱۳۵).

کمالی، غلامعلی، (۱۳۸۱)، " سرمایه‌های زیان بخش به کشاورزی ایران در قالب معیارهای احتمالاتی، مطالعه موردی، تهران": فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۴-۶۳، زمستان ۸۰ و بهار ۸۱، (۱۶۵-۱۴۹).

مجرد قره باغ، فیروز، (۱۳۷۶)، "تحلیل و پیش بینی یخبندان در آذربایجان"، رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس.

مهدوی، محمد، (۱۳۷۱)، "هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم.

نوحی، کیوان، صحرائیان، فاطمه، پدرام، مزده و صداقت کردار، عبدالله، (۱۳۸۷)، تعیین طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخهای آغاز و خاتمه یخبندان فرارفتی و تابشی در نواحی زنجان، قزوین و تهران، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی / سال دوازدهم / شماره چهل و ششم (ب)، (۴۴۹-۴۶۰).

نوحی، کیوان و پدرام، مزده و صحرائیان، فاطمه و کمالی، غلامعلی، (۱۳۸۶)، " بررسی و تحلیل تاریخ آغاز و خاتمه یخبندانهای تابشی - فرارفتی و فرارفتی در استانهای آذربایجان شرقی و غربی": فصلنامه علمی پژوهشی وزارت جهاد کشاورزی، جلد ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۶، (۱۹۷-۲۱۱).

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۶، (۱۵۰-۱۳۹)

خلیجی، مهدی، (۱۳۸۰)، "پیش بینی سرمای دیررس بهاره و زودرس پاییزه برای تعدادی از گیاهان زراعی و باغی در استان چهارمحال و بختیاری": مجله نهال و بذر، جلد ۱۷، شماره ۲، (۱۳۹-۱۲۶).

سمیعی، محمود و دیگران، (۱۳۶۷)، «تجزیه تحلیل اقلیمی اطلاعات و احتمالات تاریخ شروع و خاتمه یخبندان پاییزه و بهاره در آستانه‌های بحرانی دما و طول فصل رویش در ایران»، انتشارات سازمان هواشناسی کشور.

عزیزی، قاسم و مجید حبیبی نوخندان، (۱۳۸۴)، «مطالعه توزیع زمانی و مکانی یخبندان و لغزندگی در جاده‌های هراز و فیروزکوه»، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دانشگاه تهران، شماره ۵۱، (۶۵-۵۱).

عزیزی، قاسم، (۱۳۸۳)، "ارزیابی سینوپتیکی یخبندانهای فراگیر بهاری در نیمه غرب ایران": مجله مدرس علوم انسانی، شماره ۸(۱)، پیاپی ۳۲، (۹۹-۱۱۵).

علیجانی، بهلول و هژبرپور، قاسم، (۱۳۸۶)، "تحلیل همدید یخبندانهای استان اردبیل": جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، (۸۹-۱۰۶).

علیزاده، امین، (۱۳۸۰)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، چاپ سیزدهم، انتشارات آستان قدس رضوی.

علیزاده، امین، موسوی، محمد، کمالی، غلامعلی، (۱۳۷۳)، "تاریخ وقوع اولین یخبندانهای پاییزه و آخرین یخبندانهای بهاره در خراسان": نیوار، شماره ۲۴، (۳۸-۵۶).

- Thom, H. C. S, R. H. Shaw (1958), "Climatologically analysis of freeze data for Lawa", Monthly weather Reviews (87).
- Watkins, S. C. (1991), "The annual period of freezing temperatures in Central England 1850-1959", Inter. J. Climatology, 11(8). 889-896.
- Waylen, P. R. and Leboutillier, D. W. (1988), " Stochastic analysis of cold spells"J. Appl. Meteor, 27(1): 67-76.
- Waylon, p.r. (1988), Statistical Analysis of Freezing Temperatures in Central and Southern Florida, J. climatology, 8(6).
- WMO. (1983), Guide to climatologically practice; Geneva, Switzerland, No (100).
- هاشمی، فریدون، (۱۳۴۸)، " تجزیه و تحلیل استاتیکی از سرمای تهران ": انتشارات دفتر تحقیقات و بررسی‌های علمی هواشناسی کشور.
- Eriksson And Lindquist, S. (2002), Regional Influence on Road Slipperiness During Winter Precipitation Events, (2nd) International Road Weather Conference, Sapporo, Japan.
- Suckling, P. W. (1988)," Fluctuations of last spring-freeze dates in the Southeastern United States, Physical Geography, 7. 239-245.

Archive of SID