

## تحلیل فضایی توزیع زمانی و مکانی آغاز و خاتمه وقوع یخبندان در استان یزد

مهران فاطمی<sup>۱</sup>

### چکیده

کاهش دمای هوا به صفر درجه سانتیگراد و کمتر از آن را یخبندان گویند که در صورت رطوبت، پوششی از یخ روی سطوح اجسام تشکیل می‌شود. یخبندان یکی از پدیده‌های اقلیمی است که قابلیت فراوانی در ایجاد خسارت در بخش‌های مختلف محیط زیست به ویژه کشاورزی دارد. این تحقیق با هدف بررسی توزیع زمانی و مکانی آغاز و خاتمه یخبندان در استان یزد طی دوره ۱۷ ساله آماری (۱۳۸۰-۱۳۹۷) انجام گردیده است. بدین منظور از داده‌های آماری بلند مدت دمای کمینه روزانه ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استفاده شده است. جهت تعیین زمان آغاز و خاتمه یخبندان، روزها به روز شمار ژئوسی تبدیل و از نرم افزار SPSS و ArcGIS برای تعیین احتمالات و نقشه‌های آغاز و خاتمه یخبندان و فراوانی وقوع یخبندان استفاده گردید.

نتایج نشان داد که در نواحی جنوبی و جنوب شرقی شامل ایستگاه گاریزات، یخبندان نسبت به نواحی شمالی و شمال شرقی زودتر آغاز شده و دیرتر پایان می‌پذیرد. طول دوره یخبندان از شمال به جنوب افزایش یافته که باعث محدود شدن طول دوره رشد گیاهان در این نواحی می‌شود. فراوانی وقوع یخبندان در نواحی جنوب شرقی بیشتر می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** پهنه‌بندی، تاریخ آغاز یخبندان، تاریخ خاتمه یخبندان، فراوانی وقوع یخبندان.

### مقدمه:

یکی از عوامل آب و هوایی که در طی دوره سرد سال در بیش‌تر مناطق کشور بروز می‌کند، پدیده سرما و یخبندان است. یخبندان با پایین آمدن دما و نزول آن به آستانه بحرانی مشخص، شروع می‌شود و با تاثیراتی که در سطح زمین ایجاد می‌کند، زندگی انسان‌ها و همچنین فعالیت‌های عمرانی و بازدهی محصولات باغی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این عارضه بر درختان میوه در فصل زمستان یا اوایل بهار حادث می‌شود و خسارت زیادی بر جای می‌گذارد. (اکبرپور، ۱۳۸۴: ۴۴). پدیده یخبندان نه تنها حیات طبیعی تمامی موجودات زنده را با خطر مواجه می‌نماید، بلکه نقش مهم و تعیین کننده‌ای در مسایل اقتصادی، زیست-محیطی و عمرانی مانند جاده سازی، سد سازی و پل سازی دارد. سرمازدگی و یخبندان در مراحل مختلف رویش برای محصولات کشاورزی و باغی بسیار مهم است. چرا که در صورت حادث شدن، به محدودیت تولید منجر می‌شود (هژبرپور و علیجانی، ۱۳۸۶: ۹۰-۸۹). یخبندان عبارت است از دماهای صفر و یا کمتر از آن. همچنین از نظر فنی برای کشاورزی، رویداد تشکیل کریستال‌های نازک یخ بر روی سطوحی که درجه حرارت آنها زیر صفر، درجه حرارت لایه هوای بالای سطوح آن به نقطه شبنم رسیده باشد. از نظر هواشناسی کشاورزی نیز وقوع یخبندان، تغییر درجه حرارت‌های پایین می‌باشد که باعث آسیب به بافت‌های گیاهی می‌شود. یخبندان‌ها را بر مبنای شدت، تداوم و زمان وقوع نیز می‌توان تقسیم بندی نمود. منظور از تقسیم بر مبنای شدت، قدرت مؤلفه‌های توزیع انرژی می‌باشد که معمولاً بر اساس دمای میانگین، حداقل میانگین صفر و زیر صفر و پایین‌ترین دمای حداقل‌ها اندازه‌گیری می‌شود (حجازی‌زاده و مقیمی، ۱۳۸۱). تاریخ‌های آغاز و پایان دوره یخبندان از نظر کشاورزی دارای اهمیت می‌باشد. اولین یخبندانی که در ابتدای دوره یخبندان رخ می‌دهد یخبندان زودرس پاییزه نام دارد. در پاییز

یخبندان زودتر از زمان نرمال به شاخه‌هایی که فعالانه در حال رشد هستند صدمه می‌رساند. آخرین یخبندانی که در انتهای دوره یخبندان رخ می‌دهد یخبندان دیررس بهاره نامیده می‌شود. درختان میوه از زمان باز شدن جوانه‌های گل، در خلال گل دهی و تا مرحله میوه کوچک سبز بطور فزاینده‌ای نسبت به صدمه سرما حساس می‌باشند (زابلی عباسی، ۱۳۸۵: ۱۱-۱). جهت به حداقل رساندن خسارت‌های یخبندان در نواحی مستعد، آگاهی و دانش کاملی از فراوانی، تداوم و زمان رخداد یخبندان‌ها مورد نیاز است. برای ارزیابی ریسک یخبندان از داده‌های ثبت شده دمای حداقل هوا در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌گردد از دیدگاه هواشناسی یخبندان زمانی رخ می‌دهد که دمای سطح زمین و پوشش گیاهی روی آن به کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد کاهش یابد. (بدایع جمالی، ۱۳۸۴). یخبندان براساس وضعیت جوی و عوامل دیگر بوجود آورنده آن به دو صورت فرارفتی و تابشی تقسیم می‌شود. یخبندان فرارفتی با ورود توده هوای سرد با دمای زیر صفر به مناطقی که قبلاً هوای گرم در آنجا استقرار داشته‌اند می‌شود اما یخبندان تابشی بر اثر تابش شبانه زمین در شب‌های صاف و بدون باد رخ می‌دهد (Bordi et al., 2001).

منطقه یزد علیرغم داشتن اقلیم گرم، به جهت موقعیت بیابانی، در دوره سرد سال از سرماهای بسیار شدید متضرر می‌گردد. این سرماهای زیان‌آور عمدتاً در اوایل و انتهای دوره سرد رخ می‌دهد. برای این که در طول زمستان گیاهان به سرما عادت کرده‌اند و از طرف دیگر در این دوره گیاه فعالیت ندارد. اما در ابتدا و انتهای دوره سرد به لحاظ هم‌زمانی با برداشت و یا کاشت محصولات، میزان خسارات سنگین می‌باشد، برای مثال سرمای بهار ۱۳۷۴ سبب خشک شدن درختان گردو و بادام منطقه تفت و سایر نواحی کوهستانی یزد گردید (طالبی، ۱۳۸۵: ۸۹). در صورتیکه بتوان پهنه‌های همگن از لحاظ یخبندان و تاریخ شروع و پایان یخبندان را بدست آورد، می‌توان با اتخاذ روش‌های مناسب برای مقابله با این پدیده و کاهش اثرات زیانبار اقدام کرد. لذا هدف این تحقیق پهنه‌بندی توزیع زمانی و مکانی یخبندان، آغاز و خاتمه یخبندان در استان یزد می‌باشد.

بررسی وقوع یخبندان‌ها همواره مورد توجه محققان و اقلیم‌شناسان خارجی و داخلی قرار گرفته است. تاریخ وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه در ۹ مکان در منطقه گورنجسکا در اسلوونی در طول سال‌های ۱۹۴۷ و ۱۹۸۷ مورد مطالعه قرار گرفت. با این تحقیق تاریخ متوسط اولین یخبندان به دست آمد. در این مطالعه رابطه تاریخ وقوع اولین یخبندان با ارتفاع محل نیز مورد بررسی قرار گرفته است (Kajfez, 1989). وگا<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۴) تجزیه و تحلیل یخبندان‌ها در نواحی اقلیمی جنوب ایالات متحده با استفاده از دوره آماری ۳۰ ساله در ۳۴۲ ایستگاه یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره برای ۱۰ درصد، ۳۰ درصد، ۵۰ درصد، ۷۰ درصد و در سطح ۹۰ درصد برای هر ایستگاه محاسبه کردند. در هر سطحی چهار آستانه درجه حرارت ۳۶ درجه، ۳۲ درجه، ۲۸ درجه و ۲۶ درجه فارنهایت محاسبه و بررسی شده است. نقشه‌های نواحی اقلیمی جنوب ایالات متحده گسترش الگوهای یخبندان در هر آستانه درجه حرارت برای ۱۰ درصد، ۵۰ درصد و سطح‌های ۹۰ درصد را نشان می‌دهد. در پاییز، نمودار زمان وقوع بیانگر احتمال یخبندان بعد از زمان وقوع است. همچنین در بهار، نمودار زمان وقوع نشان دهنده احتمال رخداد یخبندان قبل از زمان وقوع است. فریج<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۲) شواهدی مبنی بر طولانی‌تر شدن فصل رشد و کاهش تعداد روزهای یخبندان را برای بسیاری از نواحی عرض‌های میانی و بالای نیمکره شمالی در طی ۵۰ سال اخیر ارائه داده‌اند. مادلین و بلتراندو<sup>۳</sup> (۲۰۰۵) پراکندگی مکانی یخبندان‌های دیررس بهاره و عوامل تأثیرگذار بر روی آن را در ناحیه تاکداری شمال فرانسه مورد مطالعه قرار دادند. عوامل تأثیرگذار بر پراکندگی مکانی یخبندان طول و عرض جغرافیایی، عوامل محلی و توپوگرافی بدست آوردند و به این نتیجه رسیدند که ارتفاع بهترین عامل پیش‌بینی کننده ویژگی‌های یخبندان است. ژائو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۲) به تحلیل منطقه‌ای نمایه‌های فرین دمای حوضه رودخانه‌های چین طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۰ پرداختند. نتایج بررسی نشان داد که در سراسر حوضه نمایه‌های فرین سرد روزهای یخبندان، روزهای یخی، شب‌های سرد، روزهای سرد، دوام امواج سرما و

<sup>1</sup> Vega

<sup>2</sup> Frich

<sup>3</sup> Madelin & Beltrando

<sup>4</sup> Zhao



دامنه دمای شبانه روزی روند منفی معناداری را نشان می‌دهند. داشخو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵: ۱۰۰۷) نشان دادند در مغلوستان یک افزایش ۱۵ روزه در تعداد روزهای یخبندان در ۵۰ سال گذشته وجود دارد. کیم و بیون<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) با بکارگیری داده‌های تاریخی و جدید تغییر پذیری زماین - مکانی یخبندان‌های دیررس در شبه جزیره کره و ارتباط آن با گردش‌های جوی را بررسی کردند. تاریخ آغاز داده‌های جدید از ۱۹۰۴ بوده است. ایشان نشان دادند که بیش‌ترین فراوانی یخبندان‌های دیررس در سال ۲۰۱۳ بوده است. یخبندان‌های بهاره در کره به طور میانگین بین ۱۷ مارس در واندو<sup>۳</sup> و ۱۷ می در دایگوالیونگ<sup>۴</sup> رخ داده است؛ همچنین بین ارتفاع و عرض جغرافیایی با یخبندان‌های زودرس همبستگی مثبت وجود داشته است. ویتاسی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۸) خطر یخبندان‌های بهاره بر درختان در ۵۰ نقطه سوییس را بررسی کردند. ایشان با بررسی چهارگونه درختی سیب، گیلان، صنوبر و راش نشان داد؛ که از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۶ خطر یخبندان‌های دیررس برای درختانی که در ارتفاعات بیش از ۸۰۰ متر قرار دارند افزایش داشته ولی در ارتفاعات پایین تر این خطر تغییری نکرده است. به باور ایشان دلیل این گوناگونی رخداد یخبندان بهاره در تاریخ‌های متفاوت، در ارتفاعات پایین و بالاتر است. تامزیک<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی وقوع و زمینه یخبندان شدید و بسیار شدید در بهار و پاییز با استفاده از دمای حداقل صفر و زیر صفر در اروپای مرکزی پرداختند. تجزیه و تحلیل فضایی نشان داد که تعداد روزهای یخبندان در بهار و پاییز از غرب به شرق اروپای مرکزی افزایش یافته است. پنجعلی زاده (۱۳۸۴) به تحلیل آماری و سینوپتیکی یخبندان‌های فراگیر شهر پرداخت و به این نتیجه رسید که اکثر یخبندان‌های فراگیر از نوع فرارفتی و ترکیبی می‌باشند. ضیایی و همکاران (۱۳۸۵) در استان فارس بر اساس داده‌های ۲۵ ایستگاه موجود اقدام به تهیه اطلس احتمال وقوع کمینه دمای استان نمودند، آنها نشان دادند که هرچه عرض جغرافیایی ایستگاه کمتر شود، اولین یخبندان‌ها دیرتر و آخرین یخبندان‌ها زودتر اتفاق می‌افتد. حجازی زاده و ناصرزاده (۱۳۸۶) در تجزیه و تحلیل یخبندان در استان لرستان به این نتیجه رسیدند که در ایستگاه‌ها بین آغاز و خاتمه یخبندان‌ها روابط معنی داری وجود دارد، یعنی؛ هرچه یخبندان زودتر شروع شود، دیرتر هم خاتمه می‌یابد و هر چه یخبندان دیرتر شروع شود زودتر هم خاتمه می‌یابد. امیدوار و ابراهیمی (۱۳۸۸) با پهنه‌بندی شدت یخبندان در استان یزد در طی دوره آماری ۱۶ ساله (۱۳۷۱-۱۳۸۶) به این نتیجه رسیدند که تمام ایستگاه‌های استان در طول سال یخبندان ضعیف و متوسط و به غیر از شرق استان یعنی ایستگاه طبس، بقیه قسمت‌های منطقه مورد مطالعه در طول سال یخبندان شدید را تجربه می‌کنند. تاریخ عبور دماهای صفر و کمتر از آن نیز نشان می‌دهد، به طور متوسط و به تفکیک ایستگاه‌ها گذر دمای صفر درجه در استان یزد از اوایل آبان تا اواسط آذر، گذر ۲- درجه، از اواخر آبان تا اوایل دی و گذر ۵- درجه سلسیوس، از اواسط آذر تا اواسط دی رخ می‌دهد. مظفری (۱۳۹۲) در بررسی روند تاریخ آغاز و خاتمه آستانه‌های دمای صفر و پنج درجه سانتیگراد در ایران به این نتیجه رسیدند که تاریخ آغاز دمای ۵ درجه سانتیگراد در ۱۱ ایستگاه دارای روند مثبت بوده است و در مورد خاتمه دمای ۵ درجه سانتیگراد در ۱۰ ایستگاه روند منفی وجود داشته است. تاریخ آغاز دمای صفر درجه سانتیگراد در ۱۰ ایستگاه دارای روند مثبت و خاتمه دمای صفر درجه سانتیگراد در ۶ ایستگاه دارای روند منفی بوده است. آزمون گرافیکی من کندال نیز نشان داد که روندها در کشور بصورت آرام، ناگهانی و هریک از آنها نیز به صورت صعودی و یا نزولی است. لشکری و کیخسروی (۱۳۹۶) به بررسی روند تغییرات دمایی و پهنه-بندی آغاز و پایان یخبندان شهر تهران پرداختند. نتایج نشان داد که با احتمال ۵۰ درصد احتمال وقوع اولین یخبندان متوسط در ایستگاه-های امین آباد و شمال تهران آذرماه و در ایستگاه‌های مهرآباد، دوشان تپه و ژئوفیزیک دیمه و در ایستگاه چیتگر بهمن ماه می‌باشد. تاریخ وقوع اولین یخبندان شدید در سطح احتمال ۵۰ درصد در کلیه ایستگاه دی ماه، ولی تاریخ وقوع آخرین یخبندان در ایستگاه‌ها در ماه‌های بهمن و اسفند مشاهده می‌شود. در حالیکه بررسی الگوهای تغییرپذیری زمانی و مکانی پارامترهای دمایی نشان داد که پهنه

<sup>1</sup> Dashkhuu

<sup>2</sup> Kim & Byun

<sup>3</sup> Wando

<sup>4</sup> Daegwallyeong

<sup>5</sup> Vitasse

<sup>6</sup> Tomczyk

یخبندان، الگوی گسترش غربی- شرقی دارد. بنابراین خط برف و یخبندان در امتداد خطوط تراز پیشروی و پسروی می‌کند. فلاح قاهره و همکاران (۱۳۹۷) با پهنه‌بندی توزیع زمانی و مکانی آغاز، خاتمه و فراوانی وقوع یخبندان در استان خراسان رضوی نشان دادند که در نواحی شمالی، یخبندان نسبت به نواحی جنوبی و غربی زودتر آغاز شده و دیرتر پایان می‌پذیرد. طول دوره یخبندان در سطح استان از جنوب به شمال افزایش یافته که باعث محدود شدن طول دوره رشد گیاهان در این نواحی می‌شود. فراوانی وقوع یخبندان در نواحی شمالی نسبت به نواحی جنوبی و غربی بیشتر می‌باشد. رضایی بنفشه درق و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی وقوع یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهار در شمال شرق کشور با استفاده از برون‌داد مدل جهانی HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 و روش ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG در دوره آماری ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۵) پرداختند. نتایج نشان داد که دمای کمینه در دوره آبی نسبت به دوره پایه بین ۱/۲ تا ۲/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت بر این اساس در بخش اعظم منطقه مورد مطالعه یخبندان‌های زودرس پاییزه یک الی دو هفته دیرتر شروع می‌شوند و یخبندان‌های دیررس بهار نیز بین ۹ تا ۱۸ روز زودتر به پایان می‌رسند. همچنین سرماهای زودرس پاییزه حدود ۷ تا ۱۳ روز دیرتر شروع و سرماهای دیررس بهار نیز حدود ۹ تا ۱۳ روز زودتر خاتمه می‌یابند.

### روش تحقیق:

در مطالعه حاضر از آمار دمای حداقل روزانه ۱۰ ایستگاه هواشناسی طی دوره ۱۷ ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۷) استفاده شده است. پراکندگی و مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه در شکل و جدول (۱) آورده شده است. برای تحلیل فراوانی وقوع یخبندان‌ها نیاز بود که برای هر سال، تاریخ اولین روز یخبندان پاییزه و آخرین روز یخبندان بهار به دست آید. آستانه مورد نظر در این تحقیق دمای صفر و کمتر از آن است. بنابراین برای هر سال آماری در آستانه مورد نظر تاریخ اولین و آخرین روز یخبندان استخراج گردید. بعد از اینکه تاریخ‌های اولین و آخرین روز یخبندان به دست آمد، به منظور تبدیل داده‌ها به اعداد قابل پردازش بر اساس شماره روز ژولویوسی به هر یک از تاریخ‌ها عددی اختصاص داده شده است. بر این اساس روز اول مهر شماره ۱ و روز آخر شهریور در سال‌های زراعی معمولی ۳۶۵ در نظر گرفته شده و بر این اساس روز شماره اولین یخبندان (سرما زودرس پاییزه) و آخرین یخبندان (سرما دیررس بهار) طی هر سال زراعی به تفکیک ایستگاه‌ها مشخص گردید. روزهایی که دمای آن‌ها کمتر از صفر درجه سلسیوس بود به منزله روز یخبندان استخراج گردید. فاصله بین اولین و آخرین رخداد دمای حداقل آستانه به عنوان فصل یخبندان در نظر گرفته شد. یخبندان در ۵ آستانه دمایی ضعیف (دمای بین صفر تا ۱/۹- درجه سانتی‌گراد)، ملایم (دمای بین ۱/۹- تا ۳/۹- درجه سانتی‌گراد)، متوسط (دمای ۴- تا ۵/۹- درجه سانتی‌گراد)، شدید (دمای ۶- تا ۹/۹- درجه سانتی‌گراد) و خیلی شدید (دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد و کمتر) مورد مطالعه قرار گرفت (اقتباس از قاهره، ۱۳۹۷: ۱۶). برای محاسبه احتمال وقوع آغاز و خاتمه یخبندان در هر یک از ایستگاه‌ها، لازم بود که سری زمانی داده‌ها به توزیع آماری مختلف برازش داده شود تا بهترین توزیع آماری جهت محاسبه تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان در سطوح احتمالاتی مختلف بدست آید. بدین منظور سری‌های زمانی مربوط به ایستگاه‌ها با استفاده از نرم افزار SMADA بررسی شد. بر اساس خطای معیار به دست آمده، بهترین توزیع آماری انتخاب گردید. نتایج نشان داد اغلب سری‌های آماری انتخاب شده دارای توزیع نرمال می‌باشند. با استفاده از نرم افزار SPSS رابطه رگرسیونی بین ارتفاع و تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان بدست آورده شد. بدین منظور از مدل رگرسیون خطی ساده که یک روش ریاضی برای بیان آماری بین دو متغیر است استفاده گردید. از نرم افزار ArcGIS برای پهنه‌بندی زمان آغاز و خاتمه یخبندان و تهیه نقشه‌های فراوانی وقوع یخبندان استفاده گردید.



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مورد مطالعه در سطح استان یزد

شماره	نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	ابرکوه	۱۵۲۳	۳۱°-۸'	۵۳°-۱۷'
۲	بافق	۹۹۱	۳۱°-۳۶'	۵۵°-۲۶'
۳	مروست	۱۵۴۶	۳۰°-۳'	۵۴°-۱۵'
۴	میبد	۱۱۰۸	۳۲°-۱۳'	۵۳°-۵۸'
۵	مهریز	۱۵۲۰	۳۱°-۳۵'	۵۴°-۲۶'
۶	یزد	۱۲۳۷/۲	۳۱°-۵۴'	۵۴°-۱۷'
۷	گاریزات	۲۱۰۰	۳۱°-۱۸'	۵۴°-۶'
۸	هرات	۱۶۰۰	۳۰°-۰۵'	۵۴°-۰۴'
۹	عقدا	۱۱۵۰	۳۲°-۲۶'	۵۳°-۳۷'
۱۰	رباط پشت بادام	۱۱۸۸	۳۳°-۲'	۵۵°-۳۳'

## دوره یخبندان

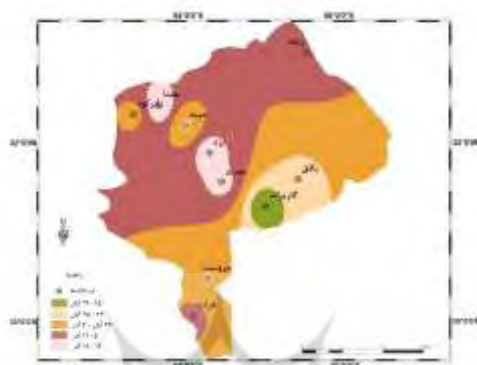
به تعداد روزهای بین میانگین اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره اطلاق می‌شود که دوره اصلی سرماست. به عبارت دیگر، حد فاصل آخرین روز غیر یخبندان در پاییز یا اوایل زمستان و آخرین روز یخبندان در اوایل بهار یا اواخر زمستان، دوره یخبندان اطلاق می‌شود (میرمحمدی میبدی، ۱۳۸۲). اما بیان این دوره برحسب تعداد روز، به این معنی نیست که یخبندان هر روز اتفاق می‌افتد و در حقیقت در طول فصل یخبندان احتمال وقوع دماهای زیر صفر درجه وجود دارد. در مقالات مختلف شدت یخبندان‌ها در آستانه‌های دمایی متفاوت بررسی شده است. فراوانی شدت یخبندان در این مقاله طبق نظر فلاح قاله‌ری در ۵ آستانه دمایی بررسی شده است.

## بحث و نتیجه‌گیری:

شکل (۲) توزیع مکانی آغاز یخبندان در استان را نشان می‌دهد. با توجه به شکل توزیع مکانی آغاز یخبندان از وضعیت توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند و در نواحی جنوبی و جنوب شرقی استان زودتر آغاز می‌شود. در بخش از نواحی جنوبی و جنوب شرقی به دلیل ارتفاع زیاد منطقه و قرار گرفتن در نواحی کوهستانی تاریخ آغاز یخبندان پاییزه زودتر اتفاق می‌افتد مانند ایستگاه گاریزات و از ۱۵ تا ۲۱

آبان رخ می‌دهد. در ایستگاه بافق آغاز یخبندان پاییزه از ۲۲ تا ۲۸ آبان رخ می‌دهد. در ایستگاه‌های مروست، میبد و ابرکوه تاریخ آغاز یخبندان از ۲۹ آبان تا ۴ آذر می‌باشد. تاریخ وقوع یخبندان زودرس پاییزه در ایستگاه‌های هرات و رباط پشت بادام ۵ تا ۱۱ آذر می‌باشد. تاریخ آغاز یخبندان در ایستگاه‌های مهریز، یزد و عقدا از ۱۲-۱۸ آذر می‌باشد. رابطه رگرسیونی بین تاریخ آغاز یخبندان و ارتفاع نشان می‌دهد بین ارتفاع و تاریخ آغاز یخبندان رابطه معنی دار و معکوس وجود دارد.

$$Y = -0.014X + 84.93 \quad R^2=0.51$$



شکل (۲): میانگین زمان آغاز یخبندان دمای صفر درجه

جدول (۲) تاریخ آغاز یخبندان را بر اساس احتمالات مختلف در توزیع نرمال نشان می‌دهد. به عنوان مثال تاریخ آغاز یخبندان در ایستگاه گاریزات با احتمال ۳۰ درصد ۱۲ آبان، با احتمال ۵۰ درصد، ۱۵ آبان، با احتمال ۷۰ درصد، ۱۸ آبان و با احتمال ۹۰ درصد ۲۳ آبان، به عنوان زودترین تاریخ شروع یخبندان پاییزه نشان می‌دهد. و در ایستگاه یزد نیز با احتمال ۳۰ درصد، ۲ آذر اولین یخبندان در ۲ آذر، با احتمال ۵۰ درصد، ۱۳ آذر، با احتمال ۷۰ درصد، ۱۷ آذر و با احتمال ۹۰ درصد در ۳ دی به وقوع می‌پیوندد.

جدول (۲): تاریخ آغاز یخبندان در احتمالات مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام منطقه	احتمال شروع یخبندان		
	۳۰ درصد	۵۰ درصد	۷۰ درصد
یزد	۲ آذر	۱۳ آذر	۱۷ آذر
مروست	۲۳ آبان	۲۹ آبان	۱ آذر
رباط	۲ آذر	۵ آذر	۱۲ آذر
هرات	۳۰ آبان	۳ آذر	۱۱ آذر
میبد	۲۳ آبان	۲۷ آبان	۲۹ آبان
مهریز	۲ آذر	۱۰ آذر	۲۷ آذر
ابرکوه	۲۷ آبان	۱ آذر	۷ آذر
عقدا	۱ آذر	۹ آذر	۱۴ آذر
گاریز	۱۲ آبان	۱۵ آبان	۱۸ آبان
بافق	۱۴ آبان	۱۷ آبان	۲۶ آبان

شکل (۳) میانگین زمان خاتمه یخبندان را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، یخبندان در ایستگاه بافق زودتر خاتمه می‌یابد (۱۸-۲۷ بهمن). یخبندان در نواحی مرکزی و جنوبی مانند مهریز، یزد، عقدا و هرات در تاریخ ۲۸ بهمن تا ۷ اسفند خاتمه می‌یابند. در ایستگاه‌های میبد، ابرکوه و رباط پشت بادام تاریخ خاتمه یخبندان ۸-۱۸ اسفند می‌باشد. در ایستگاه مروست تاریخ خاتمه یخبندان ۱۸-۲۸ اسفند رخ داده است. در نواحی مرتفع شامل ایستگاه گاریزات، یخبندان زودتر شروع شده و دیرتر خاتمه می‌یابد، در نتیجه طول فصل یخبندان در



این نواحی طولانی بوده و طول فصل رشد کمتر است (۲۹ اسفند تا ۱۰ فروردین). بررسی رابطه رگرسیونی بین خاتمه یخبندان و ارتفاع نشان داد بین ارتفاع و تاریخ خاتمه یخبندان رابطه معنی دار و مستقیم وجود دارد.

$$Y = 0.033X + 114.16 \quad R^2 = 0.59$$



شکل (۳): میانگین زمان خاتمه یخبندان دمای صفر درجه سانتیگراد

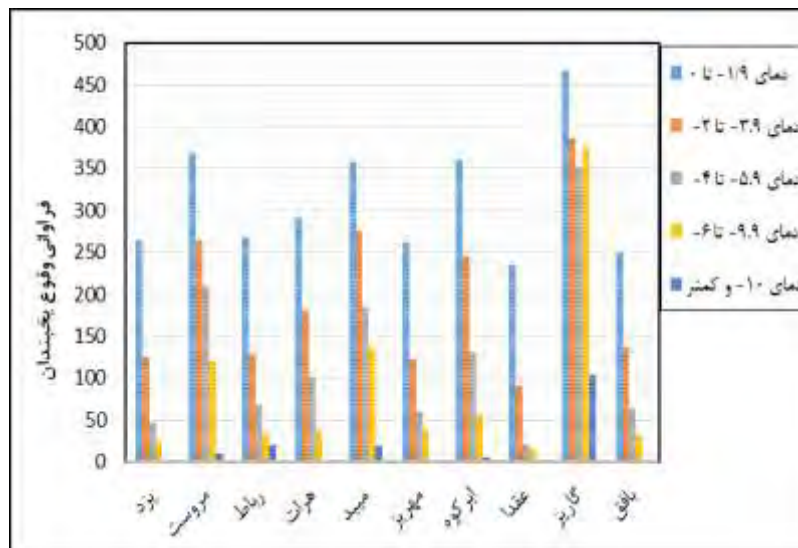
جدول (۳) تاریخ خاتمه یخبندان در احتمالات مختلف را بر اساس توزیع نرمال در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. به عنوان مثال تاریخ خاتمه یخبندان در ایستگاه بافق با احتمال ۳۰ درصد، ۳ بهمن، با احتمال ۵۰ درصد، ۲۳ بهمن، با احتمال ۷۰ درصد، ۶ اسفند و با احتمال ۹۰ درصد، ۱۴ اسفند رخ می‌دهد. در ایستگاه گاریزات با احتمال ۳۰ درصد آخرین یخبندان در ۶ فروردین، با احتمال ۵۰ درصد، ۹ فروردین، با احتمال ۷۰ درصد ۱۱ فروردین و با احتمال ۹۰ درصد ۱۹ فروردین رخ می‌دهد.

جدول (۳): تاریخ خاتمه یخبندان در احتمالات مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	احتمال پایان ۳۰ درصد	احتمال پایان ۵۰ درصد	احتمال پایان ۷۰ درصد	احتمال پایان ۹۰ درصد
یزد	۱۸ بهمن	۳۰ بهمن	۳ اسفند	۲۱ اسفند
مروست	۱۷ اسفند	۲۱ اسفند	۲۸ اسفند	۴ فروردین
رباط	۲۶ بهمن	۱۴ اسفند	۲۰ اسفند	۳ فروردین
هرات	۲۹ بهمن	۳ اسفند	۱۶ اسفند	۲۱ اسفند
میبد	۲ اسفند	۱۷ اسفند	۲۲ اسفند	۲ فروردین
مهریز	۱۸ بهمن	۳۰ بهمن	۱۲ اسفند	۲۱ اسفند
ابركوه	۴ اسفند	۱۵ اسفند	۱۸ اسفند	۲۲ اسفند
عقدا	۱۷ بهمن	۲۴ بهمن	۵ اسفند	۲۹ اسفند

#### نتایج حاصل از بررسی فراوانی وقوع یخبندان در پنج آستانه دمایی (۱۳۸۰-۱۳۹۷) در سطح استان یزد

از بررسی شکل (۴) چنین برمی‌آید که ایستگاه گاریزات در تمام آستانه‌های دمایی دارای بیشترین یخبندان می‌باشد. کمترین میزان روز یخبندان مربوط ایستگاه‌های بافق، عقدا و مهریز در آستانه دمایی (کمتر از ۱۰-) می‌باشد. جدول (۴) فراوانی وقوع یخبندان را در پنج آستانه دمایی در سطح استان یزد نشان می‌دهد.



شکل (۴): نمودار فراوانی وقوع یخبندان در پنج آستانه دمایی ایستگاه‌های مختلف استان یزد

جدول (۴): فراوانی وقوع یخبندان در آستانه‌های دمایی پنج گانه

نام ایستگاه	۰ تا -۱/۹ درجه سانتیگراد	-۲ تا -۳/۹ درجه سانتیگراد	-۴ تا -۵/۹ درجه سانتیگراد	-۶ تا -۹/۹ درجه سانتیگراد	۱۰- درجه سانتیگراد و کمتر
یزد	۲۶۵	۱۲۶	۴۶	۲۳	۳
مروست	۳۶۸	۲۶۴	۲۰۹	۱۲۱	۱۰
رباط	۲۶۷	۱۲۸	۶۹	۳۴	۲۰
هرات	۲۹۲	۱۸۱	۱۰۱	۳۷	۱
میبد	۳۵۸	۳۷۵	۱۸۵	۱۳۶	۱۹
مهریز	۲۶۲	۱۲۲	۶۱	۳۸	۰
ابركوه	۳۶۱	۲۴۵	۱۳۲	۵۷	۵
عقدا	۲۳۴	۹۱	۲۱	۱۵	۰
گاریز	۴۶۷	۳۸۵	۳۵۲	۳۷۶	۱۰۵
بافق	۲۴۹	۱۲۸	۶۴	۳۲	۰

## توزیع مکانی تعداد روزهای یخبندان در آستانه صفر

مطابق شکل (۵) نواحی جنوب شرقی شامل ایستگاه گاریزات دارای بیشترین روز یخبندان شامل ۱۶۸۵ روز و ایستگاه‌های بافق (۴۸۳ روز)، مهریز (۴۸۴ روز)، رباط پشت بادام (۵۱۸ روز)، یزد (۴۶۳ روز) و عقدا (۳۶۲ روز) دارای کمترین تعداد روزهای یخبندان در طی دوره آماری (۱۳۸۰-۱۳۹۷) می‌باشند.

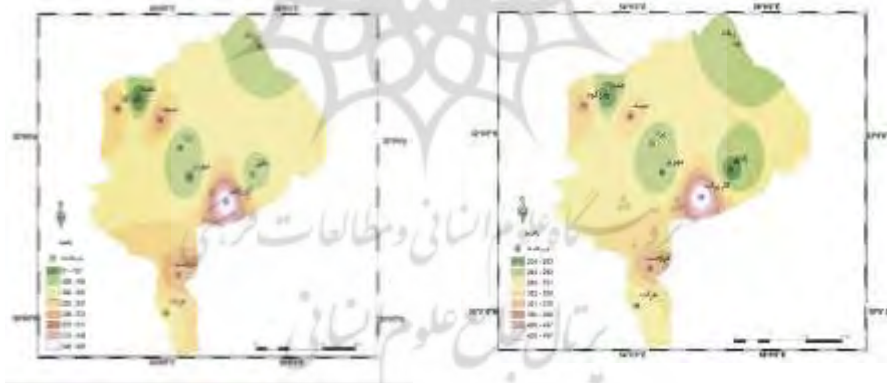




شکل (۵): پهنه بندی فراوانی وقوع تعداد روزهای یخبندان در استان یزد طی دوره آماری (۱۳۹۷-۱۳۸۰)

### توزیع مکانی وقوع یخبندان در آستانه‌های دمایی (۰ - -۱/۹) و (-۳/۹ - -۲)

مطابق شکل (۶) نواحی جنوب شرقی در آستانه (۰ تا -۱/۹) دارای بیشترین تعداد یخبندان و نواحی مرکزی و شمالی دارای کمترین تعداد یخبندان می‌باشند؛ به این ترتیب ایستگاه گاریزات (۴۶۷ روز) بیشترین میزان یخبندان و ایستگاه‌های بافق و عقدا کمترین میزان یخبندان را در این آستانه به خود اختصاص داده‌اند. همچنین مطابق شکل (۷) در آستانه (-۳/۹ تا -۲) نواحی جنوب شرقی و شمال غربی دارای بیشترین تعداد یخبندان و نواحی شمالی و مرکزی دارای کمترین تعداد یخبندان می‌باشند به این ترتیب ایستگاه‌های گاریزات، ابرکوه و میبد بیشترین میزان یخبندان و ایستگاه‌های مهریز، یزد، بافق، رباط پشت بادام و عقدا کمترین میزان یخبندان را در این آستانه به خود اختصاص داده‌اند.

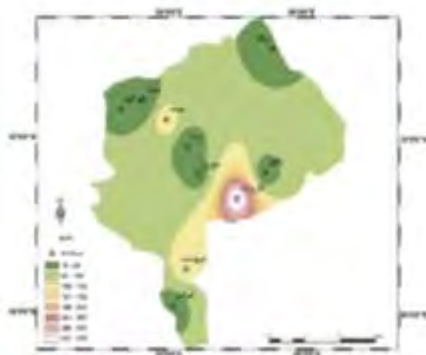


شکل (۷): فراوانی وقوع یخبندان

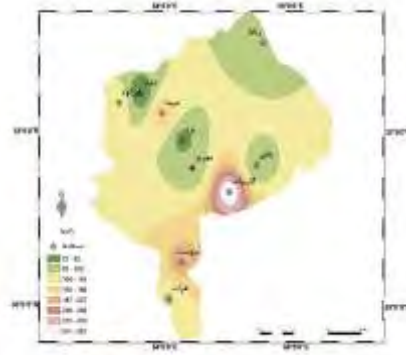
شکل (۶): فراوانی وقوع یخبندان

### توزیع مکانی وقوع یخبندان در آستانه‌های دمایی (-۵/۹ - -۴)، (-۹/۹ - -۶) و (-۱۰ و کمتر)

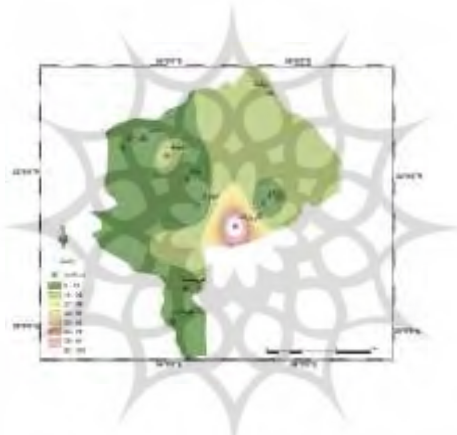
مطابق شکل (۸) در آستانه (-۵/۹ تا -۴) نواحی جنوب شرقی دارای بیشترین تعداد یخبندان می‌باشد مثلاً ایستگاه گاریزات بیشترین میزان یخبندان را در این آستانه دارند. ایستگاه‌های مهریز، یزد، بافق، رباط پشت بادام و عقدا دارای کمترین میزان یخبندان می‌باشند. به این ترتیب ایستگاه‌های مرکزی و شمالی یزد دارای کمترین میزان یخبندان می‌باشند. مطابق اشکال (۹) و (۱۰) در آستانه‌های (-۶ تا -۹/۹) و (-۱۰ و کمتر) نواحی جنوب شرقی دارای بیشترین تعداد یخبندان و بقیه ایستگاه‌ها دارای کمترین میزان یخبندان می‌باشند به این ترتیب ایستگاه گاریزات بیشترین میزان یخبندان را در این آستانه‌ها دارند و بقیه ایستگاه‌ها از حیث یخبندان کمترین میزان یخبندان را دارند.



شکل (۹): فراوانی وقوع یخبندان  
در آستانه ۹/۹ - تا ۶ -



شکل (۸): فراوانی وقوع یخبندان  
در آستانه ۵/۹ - تا ۴ -



شکل (۱۰): فراوانی وقوع یخبندان در آستانه ۱۰- و کمتر

### نتیجه‌گیری:

با بررسی‌هایی که بین تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان با ارتفاع ایستگاه‌های انتخابی انجام گرفت، مشخص شد که بین ارتفاع و تاریخ وقوع یخبندان زودرس پاییزه رابطه معنی داری وجود دارد. با افزایش ارتفاع، یخبندان زودتر آغاز می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که در فصل پاییز یخبندان‌های زودرس در مناطق کوهستانی زودتر از دشت‌ها رخ می‌دهد. نقشه آغاز یخبندان نشان می‌دهد که در دشت‌های استان زمان رخداد اولین یخبندان در حدود یک ماه دیرتر از مناطق مرتفع استان می‌باشد. در یخبندان‌های دیررس بهار، رابطه ارتفاع با خاتمه یخبندان به صورت مستقیم می‌باشد و با افزایش ارتفاع تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهار به تعویق می‌افتد. این موضوع نشان می‌دهد که در مناطق دشتی، یخبندان دیرتر شروع می‌شود و زودتر هم خاتمه می‌یابد، به عبارت دیگر فصل یخبندان در این مناطق کوتاه و فصل رشد طولانی‌تر است. برعکس در نواحی مرتفع، طول فصل یخبندان افزایش و طول رشد کاهش می‌یابد. این مساله از نظر کشاورزی قابل توجه می‌باشد. همچنین فراوانی وقوع یخبندان در مناطق جنوب و جنوب شرقی بیشتر از مناطق شمالی و شمال شرقی است که با ارتفاع رابطه معنی داری دارد. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که ایستگاه‌های گاریزات در تمامی آستانه‌ها دارای بیشترین یخبندان در دوره زمانی مورد مطالعه می‌باشد. کمترین میزان روز یخبندان مربوط به ایستگاه‌های بافق، عقدا و مهریز در آستانه دمایی (کمتر از ۱۰-) می‌باشد. توزیع مکانی فراوانی وقوع یخبندان در آستانه‌های دمایی مختلف نیز نشان داد در مجموع مناطق جنوبی و جنوب شرقی استان دارای بیشترین فراوانی وقوع این پدیده می‌باشند و هرچه به سمت شمال استان حرکت می‌کنیم از فراوانی وقوع یخبندان کاسته می‌شود.



## منابع:

- 0 اکبرپور، عباس، (۱۳۸۴)، بارش، ماهنامه تخصصی بازار کشاورزی ایران، ص ۴۴-۱.
- 0 امیدوار، کمال؛ ابراهیمی، عاطفه، (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی شدت یخبندان در استان یزد، نشریه جغرافیا، دوره ۷، شماره ۲۱-۲۰، ص ۱۲۷-۱۱۳.
- 0 آقا شریعتمداری، زهرا؛ بذرافشان، جواد؛ صفایی، الهه، (۱۳۹۵)، چشم انداز زمان وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از SDSM در چند ایستگاه منتخب در نیمه غربی ایران، نشریه هواشناسی کشاورزی، جلد ۴، شماره ۱، ص ۳۱-۲۲.
- 0 بداق جمالی، جواد؛ آسیایی فریمانی، مهدی؛ صمدی نقاب، سینا؛ جوانمرد، سهیلا، (۱۳۸۴)، مدیریت ریسک خشکسالی (شناخت و راهکارها)، تهران، انتشارات سخن گستر.
- 0 پنجعلی زاده، محمد، (۱۳۸۴)، تحلیل آماری و سینوپتیکی یخبندان‌های فراگیر شهر اردبیل، رساله ارشد، دانشگاه آزاد واحد اردبیل.
- 0 حجازی زاده، زهرا؛ ناصرزاده، محمد حسین، (۱۳۸۶)، تجزیه و تحلیل یخبندان در استان لرستان، نشریه علوم جغرافیایی، ج ۶، شماره ۸ و ۹، ص ۳۱-۴۷.
- 0 حجازی زاده، زهرا؛ مقیمی، شوکت، (۱۳۸۱)، میکروکلیماتولوژی مقدماتی، جلد اول، انتشارات پیام نور، تهران.
- 0 رضایی بنفشه درق، مجید؛ جهان بخش اصل، سعید؛ خورشید دوست، علی محمد؛ علی محمدی؛ مجید، (۱۳۹۸)، چشم انداز تغییرات زمانی و مکانی وقوع یخبندان‌ها و سرماهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره در شمال شرق کشور، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دوازدهم، شماره ۴۳، ص ۱۴-۱.
- 0 زابل عباسی، فاطمه؛ احمدیان طیبی، محمد جواد؛ محمدنیا قرابی، سهراب، (۱۳۸۵)، بررسی و مقایسه شاخص‌های خشکسالی در مشهد، اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، مشهد، ۵۷۱: ص ۱۱-۱.
- 0 ضیایی، علیرضا؛ کامگار حقیقی، علی اکبر؛ سپاسخواه، علیرضا؛ رنجبر، سعید، (۱۳۸۵)، تعیین اطلس احتمال وقوع کمینه دمای استان فارس با استفاده از آمار هواشناسی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره سوم، ص ۲۷-۱۳.
- 0 طالبی، محمد صادق، (۱۳۸۵)، تحلیل سینوپتیکی سرمای زودرس پاییزه و دیررس بهاره در استان یزد، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال سوم، شماره ۱۲، ص ۹۵-۸۸.
- 0 فلاح قالهری، غلامعباس؛ شاکری، فهیمه؛ نودهی، ام البنین، (۱۳۹۷)، پهنه‌بندی توزیع زمانی و مکانی آغاز، خاتمه و فراوانی وقوع یخبندان در استان خراسان رضوی، فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۴۴، ص ۲۴-۱۳.
- 0 لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم، (۱۳۹۶)، روند تغییرات دمائی و پهنه‌بندی آغاز و پایان یخبندان شهر تهران، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ششم، شماره ۱۴، ص ۸۶-۶۳.
- 0 مظفری، غلامعلی، (۱۳۹۲)، بررسی روند آغاز و خاتمه آستانه‌های دمای صفر و پنج درجه سانتیگراد در ایستگاه‌های منتخب ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، پیاپی ۱۰۹، ص ۱۱۲-۹۳.
- 0 مولی نژاد، محمود، (۱۳۹۳)، مطالعه آماری ویژگی‌های یخبندان در ایستگاه سینوپتیک سقز، محیط شناسی، دوره ۴۰، شماره ۴، ص ۸۹۱-۹۰۰.
- 0 میرمحمدی میبدی، علی؛ ترکش اصفهانی، سعید، (۱۳۸۲)، مدیریت تنش‌های سرما و یخ‌زدگی گیاهان زراعی و باغی، جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی اصفهان.
- 0 هژبرپور، قاسم؛ علیجانی، بهلول، (۱۳۸۶)، تحلیل هم‌دید یخبندان‌های استان اردبیل، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، ص ۸۹-۱۰۶.
- 0 Bordi, I., Frigid, S., Parenti, P., Speranza, A., Sutera, A., (2001). "The analysis of Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area (part I)".
- 0 Dashkhuu.D, Jong PilKim, Jong Ahn Chun, Woo-Seop Lee. (2015). Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia, Weather and Climate Extremes, 8: 26-33

- 0 Frich, P. L. V. Alexander, P. Della Marta, B. Gleason, M. Haylock, A., Klein Tank and T., Peterson, (2002), "Global changes in climatic extremes during the 2nd half of the 20th century", *climate, Res*, 193-212.
- 0 Kajfez, B. I. (1989). "Early Autumn Frost in Upper Carolina Slovenia. Zbornik Biotehniške Univerze (Yugoslavia)". 53: 19-20.
- 0 Kim, J.A. and Byun, H.R. (2016). "Spatiotemporal variability of the latest frosts in Korean Peninsula and causes of atmospheric circulation. *Meteorology and Atmospheric Physics*". 128(5):.663-675.
- 0 Madelin, M., & Beltrando, G., (2005). "Spatial Interpolation – Based Mapping of the Spring Frost Hazard in the Champagne Vineyards", *Meteorological applications*, 12, pp. 51-56.
- 0 Tomczyk, A., Szyga-pluta, K., Bednorz, E., (2019). "Occurrence and synoptic background of strong and very strong frost in spring and autumn in Central Europe", *International Journal of Biometeorology*, 64 (4), DOI: 10.1007/s00484-019-01793-z
- 0 Zhao, C., Wang, W., and Xing, W. (2012), "Regional Analysis of Extreme Temperature Indices for the Haihe River Basin from 1960 to 2009". *International Conference on Modern Hydraulic Engineering*. 28: 604-607.
- 0 Vega, A. J; Robbins, K.D; & Grymes, J, M. (1994). "Frost/Freeze Analysis in the Southern Climate Region". Southern Regional Climate Center.
- 0 Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., & Rebetez, M. (2018). "Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades". *Agricultural and Forest Meteorology*, 248: 60-69

