علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره هفت، مهر ماه ۹۸

تعیین روزشمار یخ بندان بر اساس احتمال وقوع
مطالعه موردی استان اردبیل

مهری اکبری[1*]

mehryakbary@khu.ac.ir

سهیلا مظفری[2]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۰۷ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۵**

چکیده

زمینه و هدف: از آنجا که مخاطره‌ی یخ بندان زندگی انسان‌ها، فعالیت‌های عمرانی، رشد محصولات زراعی و مصرف انرژی به خصوص توزیع آن را متاثر می‌کند؛ لذا آگاهی از رخداد یخ بندان و پیش بینی تاریخ وقوع یخ بندان‌ها به تفکیک انواع آن کمک شایانی به مدیریت این پدیده می‌کند. در این پژوهش برای اولین بار، پارامترهای موثر بر یخ بندان و به تفکیک نوع یخ بندان‌ها محاسبه شده و همچنین دوره بازگشت یخ بندان با سطوح احتمالات مختلف، برای هر دو نوع یخ بندان تابشی و فرارفتی صورت گرفته است.

روش بررسی: در این پژوهش پس از بررسی دماهای حداقل در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل، تاریخ‌های عبور دمای صفر درجه و کم تر برای اولین بار در پاییز و آخرین بار در بهار استخراج و بر اساس نوع یخ بندان تفکیک شدند. در ادامه سری‌های زمانی آغاز و خاتمه یخ بندان‌های فرارفتی و تابشی با توزیع‌های آماری برازش شده و مناسب‌ترین توزیع انتخاب و تاریخ‌های آغاز و خاتمه‌ی یخ بندان در سطوح احتمالاتی ۵۰ ، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۹۹ درصد با استفاده از توزیع نرمال در پایگاه آماری smada محاسبه شد.

یافته‌ها: براساس نتایج تحقیق، بیشتر ین و کم‌ترین فراوانی روزهای یخ بندان به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های خلخال و پارس آباد و در رژیم ماهانه یخ بندان، بیشترین و کم‌ترین فراوانی روزهای یخ بندان به ترتیب در ژانویه و اکتبر است. واکاوی رخداد یخ بندان‌های تاریخی نشان داد زودترین تاریخ آغاز یخ بندان‌های تابشی و فرارفتی (خلخال) به ترتیب در ۱۹ سپتامبر و ۱۰ اکتبر و دیرترین آغاز (پارس آباد) به ترتیب در ۱۲ نوامبر و ۱۲ دسامبر رخ داده است.

بحث و نتیجه‌گیری: به طور کلی در استان اردبیل ۴۷ درصد یخ بندان‌ها با یخ بندان تابشی و ۵۳ درصد با یخ بندان فرارفتی آغاز می-شوند که این مساله خطر سرمازدگی محصولات کشاورزی در اواخر فصل تابستان را در این استان افزایش می‌دهد و بایستی در پاییز قبل از فرارفت هوای سرد (۲۵ مهر، بر اساس نتایج این پژوهش)، محصولات کشت تابستانه برداشت شوند. ۷۳ درصد یخ بندان ها با یخ بندان تابشی و ۲۷ درصد با یخ بندان فرارفتی خاتمه یافته‌اند و در فصل بهار، امکان مبارزه با یخ بندان‌های تابشی و کاهش چشمگیر خسارات

۱-عضو هیات علمی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. (مسئوول مکاتبات)

۲-دانش آموخته کارشناسی ارشد آب وهواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

وجود دارد. بر اساس تحلیل احتمالات وقوع یخ بندان، اولین یخ بندان‌های تابشی و فرارفتی در ایستگاه سینوپتیک اردبیل با احتمال ۹۰٪ به ترتیب در ۱۸ و ۲۳ آبان رخ می‌دهد. تاریخ شروع یخ بندان فرارفتی در ایستگاه اردبیل با احتمال ۵۰٪، ۹ آبان، در پارس آباد ۲۲ آذر، در خلخال ۲۶ مهر و در مشگین شهر ۱۸ آبان است.

واژه‌های کلیدی: یخ بندان تابشی، یخ بندان فرارفتی، روزشمار یخ بندان، اردبیل.

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.7, September, 2019

Determining the Calendar of Frost on the basis of Probability of Occurrence

(Case Study: Ardabil Province)

Mehry Akbary[1]

mehryakbary@khu.ac.ir

Soheila Mozaffari[2]

Accepted:2017.08.16 Received:2017.04.27

Abstract

Background and Purpose: Since frost hazard can affect the human life, construction activities, agriculture and energy consumption and its distribution, being aware of the time of occurrence of frost can help in managing this hazard. In the present research, for the first time, effective parameters on frost separating advection or radiation types and return periods with probability of occurrence are calculated.

Data and Methodology: In this research, using synoptic stations minimum temperatures in Ardabil province, dates of frost for the first time in the fall and last time in spring extracted and frosts were separated by their types (Radiation or Advection). Principal Component Analysis (PCA) was implemented on all meteorological variables in frosty days for each station. Time series of beginning and end of radiation and advection frosts using statistical distributions were analyzed and best fit distribution were selected and calculated in SMADA website.

Findings: The highest and lowest frequency of frost days, respectively have happened in Khalkhal and Parsabad stations. Monthly frost analysis showed that the highest and lowest frequency of frost days respectively happened in January and October. The earliest date for the beginning of radiation frosts and advection frost (Khalkhal), respectively, have happened on September 19 and October 10 and latest date for the beginning (ParsAbad) respectively, happened on November 12 and December 12.

Discussion and Conclusion: Generally, in Ardabil province 47% of frosts started with radiation frost and 53% started with advection frost which can increase the danger of frost in late summer crops. Products must be harvested before the cold air advection (5 October, based on the results of this study). 73% of frosts were terminated with radiation frosts and 27% were terminated with advection frosts which can be concluded in the spring time. It is possible to combat the radiation frosts and there is a significant reduction in losses. Based on the analysis of probability of frost occurrence, first radiation and advection frost in Ardabil with 90% probability, respectively, will occur at 18th and 23th of October. Advection frost date average of Ardabil station with a probability of 50% is 9th of November, in Pars-Abad, 1st of December, in Khalkhal, 26th of October and on 18th of November in Meshkin Shahr station.

Key words: Radiation Frost- Advection Frost- Calendar of Frost- Ardabil.

1- Assistant Prof. of Climatology, Kharazmi University, Tehran, Iran.
2- Msc of Climatology, Kharazmi University, Tehran, Iran.

مقدمه

یکی از عناصر مهم که در تکوین اقلیم موثر می باشد دما است. دما به لحاظ ارتباطی که با سایر متغیرهای اقلیمی دارد در بیش‌تر مطالعات اقلیم شناسی مورد توجه قرار می‌گیرد. پدیده‌ی یخ بندان با پایین آمدن دما و نزول آن به آستانه‌ی بحرانی مشخصی شروع می‌شود و زندگی انسان‌ها و همچنین فعالیت‌های عمرانی و رشد محصولات زراعی را متاثر می‌کند؛ همپنین این پدیده بخش انرژی به خصوص توزیع آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به طوری که در زمان وقوع یخ بندان‌های شدید و فراگیر در کشور، با کاهش فشار گاز شهری، گرمایش منازل و مراکز اداری و آموزشی با مشکل مواجه می‌گردد. پدیده‌ی یخ بندان علاوه بر خسارات مالی، خسارات جانی نیز به همراه دارد. مهم‌ترین بخشی که بیشینه‌ی آسیب جدی و خسارت را از یخ بندان می‌بیند بخش کشاورزی است. گیاهان در محدوده‌ی حرارتی معینی رشد می‌کنند و تحمل پذیری آنان در مقابل دماهای بالا و پایین‌تر از آستانه محدود است. معمولاً بیش‌ترین تعداد روزهای یخ بندان مربوط به ماه‌های پایانی پاییز و فصل زمستان است. در این ایام وقوع یخ بندان امری عادی است ولی تداوم و شدت آن در فصل بهار و پاییز به شکل فراگیر بحران محسوب شده و خسارات جبران ناپذیری به بخش‌های مختلف وارد می‌کند. روزنبرگ و مایرز (۱۹۶۲) با پذیرش نظریه‌ی تام و شاو در سال ۱۹۵۸ مبنی بر نرمال بودن توزیع تاریخ‌های یخ بندان(۱)، نوع وقوع یخ بندان را برای مقاصد کشاورزی مناسب‌تر از تاریخ متوسط وقوع یک دمای حداقل مشخص عنوان نمودند و نشان دادند که ۷ تا ۳۰ درصد یخ بندان‌های دیررس بهاره و ۷ تا ۴۲ درصد یخ بندان-های زودرس پاییزه از نوع فرارفتی است (۲). وستال (۱۹۷۱) هم برای تعیین احتمالات وقوع اولین و آخرین یخ بندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره در ایالات ساحلی اقیانوس اطلس از توزیع نرمال استفاده کرد(۳). همیلتون و تاریفا (۱۹۷۸) به بررسی همدید یخ بندان‌ها در برزیل حاره‌ای پرداخته و بر اساس نتایج آن‌ها تکوین واچرخند در زیر تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، موجب تغذیه جریان‌های سرد و خشک قطبی شده و جبهه سرد سطحی تا عرض جغرافیایی ۱۰ درجه‌ی جنوبی کشیده شده و دما ۱۰ تا ۱۵ درجه افت داشته است(۴). دینگ و کریشامورتی (۱۹۸۷) به مطالعه موسمی‌های زمستانه و ریزش هوای سرد در چین پرداخته و نقش الگوهای بزرگ مقیاس در نفوذ زبانه‌های سرد به سوی استوا را بررسی نموده‌اند(۵). وایلن (۱۹۸۸) به تحلیل یخ بندان‌های ایالت فلوریدا ایالات متحده پرداخته و با آزمون‌های آماری نتیجه گرفته که با افزایش واریانس، احتمال رخداد یخ بندان افزایش یافته است (۶). واتکینز (۱۹۹۱) با بررسی یخ بندان در انگلستان در دو دهه به این نتیجه رسیده که به تدریج یخ بندان‌های بهاره زودتر خاتمه یافته و یخ بندان‌های پاییزه دیرتر شروع شده‌اند و در هر دهه، دو روز از طول فصل یخ بندان کاسته شده است (۷). استرلینگ و همکاران (۲۰۰۰) تغییرات تعداد روزهای یخ بندان براساس مطالعات تغییر اقلیم برای ۹ ایالت آمریکا برای پنجاه سال مطالعه کرده و کاهش تعداد روزهای یخ بندان به دلیل گرمایش جهانی تایید نموده-اند(۸). اریکسون و لیندکویست (۲۰۰۲) در بررسی لغزندگی سطح جاده‌های سوئد هنگام بارندگی و ریزش برف، نشان دادند که ماه‌های اکتبر و آوریل به ترتیب به دلیل حفظ گرمای سطح جاده از ماه‌های قبل و افزایش نسبی تابش خورشیدی، از لغزندگی کم‌تری برخوردارند (۹). مولر و بری (۲۰۰۷) در بررسی الگوهای گردش جوی یخ بندان‌های بادوام و گسترده آمریکای مرکزی به ناهنجاری واچرخندی بر روی آمریکای جنوبی اشاره کردند که منجر به وزش هوای سرد قطبی به سمت آمریکای مرکزی و رخداد یخ بندان‌های طولانی و گسترده شده است (۱۰). در ایران هم مطالعات متعددی، به ویژه در خصوص پیامدهای یخ بندان در صنعت کشاورزی انجام شده است که اغلب به دو نوع مطالعات آماری و سینوپتیکی تقسیم می‌شوند. پژوهش حاضر به مرور پژوهش‌های آماری یخ بندان متمرکز شده تا به هدف اصلی پژوهش که تعیین تقویم یخ بندان به تفکیک نوع آن است؛ نزدیکتر شود. سمیعی و همکاران (۱۳۶۷) برای تعیین طول

دوره رویش در ایران، با استفاده از داده‌های روزانه دمای حداقل ایستگاه‌های سینوپتیک، تاریخ‌های شروع و خاتمه یخ بندان‌های پاییزه و بهاره را در تخمین زدند (۱۱). مجردقره‌باغ (۱۳۷۶) به مطالعه‌ی یخ بندان‌های آذربایجان پرداخت و با استفاده از روش‌های آماری مدل‌هایی برای پیش بینی یخ بندان ارائه داد (۱۲). کمالی (۱۳۸۰) در پژوهشی برای سازمان هواشناسی کشور، به تولید اطلس و نقشه‌های هم احتمال یخ بندان در ایران پرداخت (۱۳). قطره‌سامانی (۱۳۸۳) به تحلیل سینوپتیکی تاریخ شروع و خاتمه یخ بندان در استان چهارمحال بختیاری در ارتباط با سامانه‌های موج‌های باد غربی پرداخت (۱۴). موتمن (۱۳۸۵) با بررسی یخ بندان‌های شمال غرب آذربایجان نتیجه گرفته است که یخ بندان‌های دیررس اغلب از نوع فرارفتی بوده که به یخ بندان‌های تابشی ختم شده و فراگیر بوده‌اند، اما یخ بندان‌های زودرس پاییزه اغلب تابشی و غیرفراگیر بوده‌اند(۱۵). حاج پنجعلی زاده (۱۳۸۵) در تحلیل آماری یخ بندان‌های فراگیر ایستگاه سینوپتیک شهر اردبیل، به روند کاهشی تعداد روزهای یخ بندان در اردبیل رسیده است(۱۶). توکلی و حسینی (۱۳۸۵) به ارزیابی شاخص‌های یخ بندان در همدان پرداخته و همبستگی خطی بین یخ بندان‌های بهاره و پاییزه را نشان دادند (۱۷). نوحی و همکاران (۱۳۸۶) طول دوره بدون یخ بندان در زنجان، قزوین و تهران را بررسی کرده و نشان دادند که سری‌های زمانی تاریخ آغاز و پایان یخ بندان‌های فرارفتی تصادفی بوده و از تابع توزیع نرمال تبعیت می‌کند (۱۸). هژبرپور و علیجانی (۱۳۸۶) به این نتیجه رسیدند که یخ بندان‌های شدید و فراگیر استان اردبیل در دوره سرد سال از آبان تا فروردین اتفاق می‌افتند (۱۹). نوحی و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی و تحلیل آغاز و خاتمه یخ بندان‌های تابشی و فرارفتی در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی نشان دادند که به طور میانگین یخ بندان‌های فرارفتی در منطقه از ۶ تا ۴۰ روز دیرتر از یخ بندان‌های تابشی در پاییز آغاز شده و از ۱ تا ۲۵ روز زودتر در بهار خاتمه می‌یابد (۲۰). رحیمی (۱۳۸۷) در البرز مرکزی با بررسی یخ بندان-های زودرس پاییزه و دیررس بهاره، نتیجه گرفت که میان شروع یخ بندان و ارتفاع ایستگاه همبستگی معنادار در سطح ۹۵٪ وجود دارد (۲۱). اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۹) اثر تغییر اقلیم برطول دوره رشد و یخ بندان در خراسان رضوی را برای دوره اقلیمی آینده مورد ارزیابی قرار داده و کاهش یخ بندان را پیش بینی کردند (۲۲). علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی تداوم روزهای یخ بندان ایران، دریافتند رخداد یخ بندان در ایران تصادفی نبوده و بیشترین تداوم یخ بندان‌های زودرس و دیررس، دو روزه بوده و ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه، مارس و آوریل دارای حداکثر تداوم یخ بندان‌های ۲ تا ۴ روزه هستند (۲۳). عساکره (۱۳۸۹) با بررسی تداوم و تواتر یخ بندان‌های زودرس و دیررس در شهر زنجان، نتیجه گرفت که تداوم و تواتر یخ بندان در فروردین ماه بیشتر از مهرماه بوده و محصولات انتهای تابستان، کم‌تر در معرض هجوم یخ بندان و سرما بوده‌اند (۲۴). ساری‌صراف و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی زمان وقوع یخ بندان سالانه در اردبیل نشان دادند که تاریخ وقوع یخ بندان‌ها، بیشتر به یخ بندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره گرایش داشته است (۲۵). میرموسوی و بابایی (۱۳۹۰) با بررسی توزیع زمانی مکانی یخ بندان‌های استان زنجان، نشان دادند که به طور متوسط اولین یخ بندان‌های منطقه در فصل پاییز بین ۷ مهر تا ۲۴ آبان رخ می‌دهد و میانگین تاریخ خاتمه یخ بندان‌ها از ۲۰ فروردین تا ۳۰ اردیبهشت است (۲۶). ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۱) به پیش-بینی آخرین روز یخ بندان بهاری در شمال غرب و غرب ایران با استفاده از شبکه‌ی مصنوعی پرداخته و با نقشه‌های هم ارزش طول فصل یخ بندان، نشان دادند که در منطقه مورد مطالعه شان فصل یخ بندان بیشتر تابع ارتفاع است تا عرض جغرافیایی (۲۷).

روش انجام پژوهش

پس از دریافت آمار و اطلاعات دمای حداقل در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل از سازمان هواشناسی کشور، با توجه به سال‌های آماری مشترک (دوره‌ی ۲۰ ساله از ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵) ۴ ایستگاه سینوپتیک (اردبیل، پارس‌آباد، خلخال،

مشگین شهر) که پراکنش مناسبی در سطح استان داشتند به عنوان ایستگاه‌ها معرف منطقه، انتخاب شدند. در ابتدا تاریخ-های عبور دمای صفر درجه و یا کم‌تر از آن برای اولین بار در پاییز و آخرین بار در بهار استخراج شدند. برای اجرای فرایند-های آماری بر روی تاریخ‌های مستخرج، تمامی تاریخ‌ها با انتخاب مبدا اول سپتامبر دارای ارزش عددی شده و در هر سال ابتدا تاریخ شروع یخ بندان استخراج و تاریخ خاتمه آن در سال میلادی بعدی مشخص شد. در بخش بعد به واکاوی آماری تاریخ آغاز و خاتمه یخ بندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره براساس تقویم ژولیوسی به صورت جدول ویژگی‌های آماری و بررسی طول فصل رشد و طول فصل یخ بندان در طول دوره آماری پرداخته شد. به منظور تفکیک یخ بندان تابشی از یخ بندان فرارفتی کلیه‌ی پارامترهای جوی از روزهای قبل و بعد از روزی که یخ بندان برای اولین و آخرین بار در پاییز و بهار رخ داده بود مورد بررسی قرار گرفت و تاریخ‌ها بر اساس نوع یخ بندان تفکیک شدند. بعد از تفکیک یخ بندان تابشی از یخ بندان فرارفتی جهت تحلیل عاملی و تحلیل مولفه‌ی مبنا کلیه‌ی متغیرهای هواشناسی از قبیل دما، فشار، رطوبت، سرعت باد، فشار بخار، نقطه‌ی شبنم، میزان ابرناکی، دید افقی و... در روزهای وقوع یخ بندان برای هر دو نوع یخ بندان تابشی و فرارفتی و برای هر ایستگاه به طور جداگانه به صورت ستونی مرتب شده و قبل از شروع انجام تحلیل عاملی اعتبار سنجی آن از طریق محاسبه‌ی دترمینان ضرایب همبستگی بین متغیرها و محاسبه معیار کایزر- مبیر- آلکاین(kmo) آزمون گردید. پس از مرتب کردن داده‌ها و اعتبار سنجی آن‌ها توسط نرم افزارspss به چهار عامل اصلی که ۸۵ درصد کل واریانس بین متغیرها را به خود اختصاص می‌دهد تقلیل داده شده و متغیرهای اصلی موثر بر رخداد یخ بندان استخراج شدند. در ادامه سری‌های زمانی آغاز و خاتمه یخ بندان‌های فرارفتی و تابشی با توزیع‌های آماری (توزیع احتمال نرمال، توزیع احتمال لوگ نرمال، توزیع احتمال پیرسون تیپ ۳، توزیع احتمال لوگ پیرسون) برازش شده و مناسب‌ترین توزیع انتخاب شد. تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخ بندان‌های تابشی و فرارفتی در سطوح احتمالاتی ۵۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۹۹ درصد برای دوره آماری مشترک با استفاده از توزیع نرمال توسط نرم افزار smada محاسبه شد.

یافته‌های پژوهش

تعداد روزهای یخ بندان سالانه، فصلی و ماهانه

بطور کلی در طول دوره آماری منتخب، ایستگاه‌های خلخال و پارس‌آباد با متوسط ۱۵۸ و ۲۸ روز، به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد روزهای یخ بندان را در استان اردبیل دارند. در مقیاس ماهانه هم ژانویه با میانگین ۲۶ روز بیش‌ترین و اکتبر با میانگین ۴ روز کم‌ترین تعداد روزهای یخ بندان را در بین فصول سرد سال دارا می باشد.

کم‌ترین تعداد روزهای یخ بندان ماه ژانویه ۱۵ روز می باشد که در سال ۲۰۱۰ ثبت شده و بیش‌ترین تعداد روزهای یخ بندان ماه ژانویه ۳۱ روز می باشد که در سالهای ۱۹۹۸ و ۲۰۰۸ ثبت شده است. میانگین روزهای یخ بندان ماه فوریه ۲۲ روز می باشد که بیشینه‌ی آن ۲۸ روز است که در سال-های ۹۵، ۹۶ و ۲۰۰۸ ثبت شده است. کم ترین تعداد روزهای یخ بندان ۱۵ روز است که در سال ۲۰۰۶ ثبت شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های آماری تعداد روزهای یخ بندان سالانه

Table 1- Statistical Characteristrics of Number of Annual Frosty Days

نام ایستگاه	بیشینه	کمینه	میانگین
اردبیل	۱۵۸	۹۵	۱۱۷
پارس آباد	۶۳	۲۸	۴۶
خلخال	۱۶۹	۱۱۶	۱۴۳
مشگین شهر	۱۱۴	۳۹	۹۰

جدول ۲- ویژگی آماری تعداد روزهای یخ بندان ماهانه ایستگاه اردبیل

Table 2- Statistical Characteristrics of Number of Monthly Frosty Days in Ardebil Station

ویژگی آماری	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل
میانگین	۴	۹	۲۲	۲۶	۲۲	۲۰	۹
کمینه	۱	۷	۳	۱۵	۱۵	۷	۲
بیشینه	۱۰	۲۰	۳۱	۳۱	۲۸	۳۰	۱۶

همچنین در طی دوره آماری در فصل پاییز ایستگاه خلخال با داشتن میانگین ۴۵ روز بیش‌ترین و ایستگاه پارس‌آباد با داشتن میانگین ۷ روز، کم ترین تعداد روزهای یخ بندان را دارد.

واکاوی آماری آغاز و پایان یخ بندان‌های تابشی و فرارفتی بر اساس تقویم ژولیوسی

معمولا یخ بندان تابشی با آسمان صاف، بدون وزش باد، نقطه-ی شبنم پایین و وارونگی همراه است و عموماً در طول شب دمای هوا به صفر درجه یا پایین‌تر نزول می‌کند. ولی یخ بندان فرارفتی با وزش باد متوسط تا شدید و رطوبت پایین همراه است و در طول روز نیز دمای هوا به زیر صفر درجه نزول می-کند و اغلب بیش از دو روز تداوم دارد. زودترین یخ بندان تابشی پاییزه در ایستگاه خلخال، در ۱۹ سپتامبر سال ۲۰۰۶ شروع شده است. متوسط آغاز یخ بندان تابشی در ایستگاه خلخال در ۲۲ سپتامبر است و دیرترین آغاز یخ بندان تابشی در ایستگاه خلخال در ۲ اکتبر ۱۹۹۶ قرار دارد. میانگین آغاز یخ بندان تابشی پاییزه برای ایستگاه اردبیل ۱۵ اکتبر است. زودترین تاریخ آغاز یخ بندان تابشی در ایستگاه اردبیل در ۲۱ سپتامبر سال ۲۰۰۴ رخ داده است. همچنین دیرترین تاریخ آغاز یخ بندان تابشی در ایستگاه اردبیل در ۳۰ اکتبر سال ۲۰۰۰ رخ داده است. میانگین آغار یخ بندان تابشی برای ایستگاه پارس آباد ۱۵ نوامبر است. زودترین تاریخ آغاز یخ بندان تابشی در ایستگاه پارس آباد در ۱۲ نوامبر سال ۱۹۹۹ است و دیرترین آغاز یخ بندان تابشی در ایستگاه پارس آباد در ۲۰ دسامبر سال ۲۰۰۱ رخ داده است که دیرترین تاریخ آغاز یخ بندان تابشی پاییزه متعلق به ایستگاه پارس آباد می باشد.

جدول ۳- ویژگی‌های آماری آغاز یخ بندان تابشی

Table 3- Statistical Characteristrics of the Beginning of the Radiational Frost

خصوصیات آماری	اردبیل	پارس آباد	خلخال	مشگین شهر
متوسط آغاز یخ بندان	۱۵ اکتبر	۱۵ نوامبر	۲۲ سپتامبر	۱۹ اکتبر
زودترین یخ بندان	۲۱ سپتامبر	۱۲ نوامبر	۱۹ سپتامبر	۱۵ اکتبر
دیرترین یخ بندان	۳۰ اکتبر	۲۰ دسامبر	۲ اکتبر	۱۹ نوامبر

بطور کلی در ایستگاه خلخال ۶۰ در صد با یخ بندان فرارفتی و ۴۰ در صد با یخ بندان تابشی آغاز شده ولی در ایستگاه پارس آباد، کاملاً برعکس یعنی ۶۰ در صد با یخ بندان تابشی و ۴۰ در صد با یخ بندان فرارفتی آغاز شده است. که این امر به

دلیل موقعیت جغرافیایی شهرستان خلخال می باشد به طوری که این شهرستان در جنوبی‌ترین قسمت استان اردبیل قرار گرفته و منطقه‌ای کوهستانی است که کوههای طالش مانند سدی از شمال تا جنوب بین این شهرستان و دریای خزر قرار گرفته است. در فصل سرد توده هوای مدیترانه‌ای و اقیانوس اطلس پس از عبور از دریای خزر گرم شده و عمده رطوبت و بارش را در دامنه کوه‌های طالش فرو ریخته و هوای خشک و سرد را وارد منطقه خلخال می‌کند. همچنین به دلیل ارتفاع زیاد از سطح دریا سبب شده است که شهرستان خلخال در بسیاری از ایام سال (۱۷۰ روز) با پدیده سرما و یخ بندان مواجه باشد. اما در ایستگاه پارس‌آباد به دلیل این‌که در شمالی‌ترین قسمت استان اردبیل قرار دارد، ارتفاع بسیار کمی داشته و به شکل جلگه بوده و دارای آب و هوایی گرم تا معتدل است. میانگین آغاز و پایان یخ بندان در این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها دیرتر شروع شده و زودتر خاتمه یابد. در ایستگاه اردبیل ۵۳ درصد یخ بندان هابا یخ بندان فرارفتی و ۴۷ درصد با یخ بندان تابشی آغاز می‌شوند که این امر به دلیل موقعیت جغرافیایی و ارتفاع زیاد شهرستان اردبیل است که باعث شده است تا سهم یخ بندان فرارفتی بیشتر از یخ بندان تابشی باشد. خاتمه یخ بندان تابشی و فرارفتی در دو ایستگاه خلخال و اردبیل با درصد مساوی پایان می‌پذیرد که این امر به دلیل شباهت زیاد توپوگرافیکی این دو ایستگاه است. ایستگاه مشگین شهر تنها ایستگاهی است که هم آغاز و هم پایان یخ بندان ها اکثراً با یخ بندان فرارفتی بوده است که این امر به دلیل عرض جغرافیایی بالا و وجود توده سترگ سبلان در بخش جنوب غربی و جنوب این شهرستان است که سبب شده آغاز و پایان یخ بندان ها اکثراً از نوع فرارفتی باشد.

بررسی طول فصل رشد

فصل رشد عبارت است از فاصله‌ی بین آخرین یخ بندان بهاره تا اولین یخ بندان پاییزه که دما به صفر یا زیر صفر می‌رسد. طبق جدول زیر طولانی‌ترین طول فصل رشد برای ایستگاه پارس آباد و کوتاه‌ترین فصل رشد مربوط به ایستگاه خلخال است. اختلاف بین متوسط طول فصل رشد بین طولانی‌ترین فصل رشد و کوتاه‌ترین فصل رشد ۱۰۳ روز است. کوتاه‌ترین طول فصل رشد در دوره آماری مورد مطالعه، با ۱۲۰ روز متعلق به ایستگاه خلخال و طولانی‌ترین طول فصل رشد با ۲۷۹ روز به ایستگاه پارس‌آباد تعلق دارد. بررسی ارتباط بین مقادیر متوسط طول فصل رشد و ارتفاع ایستگاه‌ها نشان می-دهد که با افزایش ارتفاع به دلیل سردتر شدن هوا طول فصل رشد کاهش می‌یابد. در جدول زیر، به تفکیک نوع یخ بندان (تابشی یا فرافتی)، طول دوره‌ی رویشی مشخص شده و همانطور که پیداست، در دوره آماری مورد مطالعه، تفاوت بین یخ بندان تابشی و فرارفتی برای ایستگاه خلخال ۴۷ روز بوده که بیش‌ترین تفاوت در بین ایستگاه‌هاست. میانگین طول دوره رویش یخ بندان تابشی برای ایستگاه پارس آباد ۲۵۲ روز و برای یخ بندان فرارفتی ۲۶۶ روز می باشد. تفاوت بین یخ بندان تابشی و فرارفتی در ایستگاه پارس آباد، حداقل و ۱۴ روز است.

جدول ۴- میانگین طول دوره رشد یخ بندان تابشی و فرارفتی

Table 4- Average of Growth Period of Radiational and Advectional Frost

نام ایستگاه	طول دوره رویش (روز)		تفاوت (روز)
	تابشی	فرارفتی	
اردبیل	۱۴۵	۱۶۶	۲۱
پارس آباد	۲۵۲	۲۶۶	۱۴
خلخال	۱۳۰	۱۷۷	۴۷
مشگین شهر	۲۰۲	۲۱۳	۱۱

برآورد احتمالات و دوره بازگشت اولین و آخرین یخبندان

در این بخش با استفاده از داده‌های موجود به توزیع تاریخ آغاز و خاتمه انواع یخ بندان را در دوره‌های بازگشت ۲، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۰۰ سال (احتمالات ۵۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۹۹ درصد) پرداخته شد که به دلیل مضیقه‌ی حجم این مقاله تنها نتایج تاریخ آغاز و خاتمه انواع یخ بندان در جدول شماره ۵ با احتمال ۹۰ درصد (دوره بازگشت ۱۰ ساله) نشان داده شده است. به طور کلی ایستگاه‌های مرتفع‌تر بخش وسیعی از مناطق مرکزی و جنوبی استان اردبیل را شامل شده و در این ایستگاه‌ها روزهای یخ بندان زودتر شروع می‌شوند.

جدول ۵- برآورد احتمالات شروع و خاتمه یخ بندان به تفکیک انواع یخ بندان در سطح احتمال ۹۰٪

Table 5- Probability of the beginning and end of Frosts in level of 90%

ایستگاه‌ها	شروع یخ بندان تابشی	شروع یخ بندان فرافتی	خاتمه یخ بندان فرارفتی	خاتمه یخ بندان تابشی
اردبیل	۱۸ آبان	۲۳ آبان	۱۱ اردیبهشت	۲۹ اردیبهشت
پارس آباد	۲۳ آذر	۸ دی	۱۰ فروردین	۱۹ فروردین
خلخال	۱۹ مهر	۱۲ آبان	۱۱ اردیبهشت	۳۱ اردیبهشت
مشگین شهر	۱۵ آبان	۲۸ آبان	۱۳ اردیبهشت	۱۴ اردیبهشت

در ایستگاه خلخال به دلیل کوهستانی بودن و ارتفاع زیاد تاریخ شروع یخ بندان فرارفتی با دوره‌های بازگشت مختلف زودتر از سایر ایستگاه‌ها شروع شده و ایستگاه پارس‌آباد به دلیل جلگه‌ای بودن و ارتفاع کم تاریخ شروع یخ بندان فرارفتی دیرتر از سایر ایستگاه‌ها شروع شده است. میانگین تاریخ شروع یخ بندان فرارفتی در ایستگاه اردبیل با دوره برگشت ۲ ساله (۹ آبان)، ایستگاه پارس آباد (۲۲ آذر)، ایستگاه خلخال (۲۶ مهر) و ایستگاه مشگین شهر (۱۸ آبان) می باشد.

بررسی توزیع تاریخ پایان یخ بندان تابشی نشان داد که زودترین تاریخ خاتمه یخ بندان تابشی مربوط به ایستگاه پارس‌آباد و دیرترین تاریخ خاتمه یخ بندان تابشی مربوط به ایستگاه خلخال است. به طور کلی اولین یخ بندان تابشی پاییزه اردبیل با دوره برگشت ۲ ساله و احتمال ۵۰٪ در ۵ مهر، با احتمال ۸۰ ٪ در ۱۴ مهر و با احتمال ۹۹ ٪ در ۳۰ مهر می باشد که این امر به دلیل ارتفاع زیاد این شهرستان و نزدیکی به خط الراس کوه‌های طالش است که سبب می‌شود هوای سرد سیبری به راحتی از طریق دالان‌ها به آن نفوذ کند. اما در شهرستان پارس آباد اولین یخ بندان تابشی با احتمال ۵۰ ٪ در ۴ آذر، با احتمال ۸۰ ٪ در ۱۶ آذر و با احتمال ۹۹ ٪ در ۸ دی رخ می دهد که این امر به دلیل ارتفاع کم این شهرستان و جلگه‌ای بودن این شهرستان است.

بحث و نتیجه گیری

مهم‌ترین تفاوت و رجحان این پژوهش بر سایر پژوهش‌های یخنبدان این است که در تحقیقات یخ بندان‌های زودرس و دیررس بر تنها مبنای تقویم ژولیوسی مشخص شده‌اند اما در این پژوهش برای اولین بار، پارامترهای موثر بر یخ بندان و به تفکیک نوع یخ بندان هامحاسبه شده و همچنین دوره بازگشت یخ بندان با سطوح احتمالات مختلف، برای هر دو نوع یخ بندان تابشی و فرارفتی صورت گرفته است.

برای برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در راستای کاستن از خسارت-های واپسین یخ بندان بهاره و اولین یخ بندان پاییزه و افزایش عملکرد تولیدات کشاورزی؛ لازم است میزان نوسان یخ بندان-های پاییزه و بهاره بررسی شده و احتمال وقوع و عدم وقوع اولین و آخرین یخ بندان و دوره بازگشت آن‌ها با استفاده از توزیع نرمال برای یخ بندان تابشی و فرارفتی محاسبه شود. براساس نتایج پژوهش حاضر، زودترین یخ بندان تابشی پاییزه با احتمال ۵۰ درصد در پنج مهر و زودترین یخ بندان فرارفتی در ۲۵ مهر اتفاق خواهد افتاد. دیرترین خاتمه یخ بندان تابشی با احتمال ۵۰ درصد ۵ اردیبهشت و دیرترین خاتمه یخ بندان فرارفتی در ۲۷ فروردین اتفاق خواهد افتاد. بر اساس نتایج این پژوهش آغاز یخ بندان تابشی پاییزه در فاصله بین ۱۹ سپتامبر تا ۱۲ نوامبر قرار دارد و آغاز یخ بندان فرارفتی در فاصله بین ۱ اکتبر تا ۲۰ نوامبر قرار دارد. تاریخ وقوع آخرین یخ بندان تابشی بهاره در فاصله بین ۲۰ مارس تا ۱۶ می قرار دارد و تاریخ وقوع آخرین یخ بندان فرارفتی بهاره در فاصله بین ۲۵ نوامبر تا ۲۶ آوریل قرار دارد. احتمال آغاز یخ بندان فرارفتی در فصل پاییز، بیشتر از یخ بندان تابشی است اما در فصل بهار خاتمه یخ بندان‌ها بیشتر از نوع تابشی است و این مساله خطر سرمازدگی محصولات در اواخر فصل تابستان را به دنبال دارد و در بهار استان اردبیل امکان مبارزه با این یخ بندان‌های تابشی وجود دارد. در حالیکه در مناطقی هم‌چون زنجان، که پایان یخ بندان‌ها با فرارفت هوای سرد است (عساکره، ۱۳۸۹)، بایستی از ارقامی استفاده شود که دیرگل بوده و دوره رویشی کوتاهی دارند. برای استان اردبیل بدلیل شروع یخ بندان با انواع فرارفتی آن بر خلاف زنجان به عنوان مثال، پیشنهاد می-شود در پاییز قبل از فرارفت هوای سرد (۲۵ مهر)، محصولات کشت تابستانه جمع آوری شوند. در تحلیل مولفه‌های اصلی برای یخ بندان فرارفتی بیشتر ین تاثیر را ابرناکی و سرعت باد و در یخ بندان تابشی را تابش و رطوبت دارند.

References

1. Thom, H. Show, C,S., 1958. Climatological Analysis of Freeze Data for Loma, Monthly Weather Review, 86: 251-257.
2. Rosenberg, N.J. Myers, R. E., 1962, The nature of growing season frosts in and along the platte valley of Nebraska, Monthly Weather Review. 90: 471-476.
3. Vestal, C. K, 1971 First and last occurrences of low temperatures during the cold season, Monthly weather review, 99(8): 650-652.
4. Hamilton, M.G. Tarifa, J.R. 1978. Synoptic aspect of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, Juhy 1972. Monthly weather and Weather Explained, Routledge, London.
5. Ding, Y. Krishnamurti, T.N. 1987. Heat Budget of the Siberian High and winter Monsoon, Monthly weather Review ; vol. 115.
6. Waylon, P.r., 1988. Statistical Analysis of Freezing Temperatures in Central and Southern Florida, Journal of Climatology, 8(6).
7. Watkins, S. C. 1991, The annual period of freezing temperatures in Central England 1850-1959, Inter. J. Climatology, (8). 889-896.
8. Easterling, D. R., Evans, J.L., Groisman, P. YA., Karl, T.R., Kunkel K., E., and Ambenje, P., 2000, Observed Variability and Trend in Extreme Climate Events: A Brief Review, Bulletin of the American Meteorological Society, 81(3), pp. 417-425.
9. Eriksson, M. and Lindqvist , S., 2002, Regional Influence on Road Slipperiness During Winter Precipitation Events , II th International Road Weather Conference, Sapporo,Japan.

10. Muller GV & Berri, B, 2007, Climates and Weather Explained, Routledge, London.
11. Samie, M. Asgari, Kh. Bastani, 1988. Start and End of Frost in Iran. I.R. of Iran Meteorology Organization (IRIMO). (In Persian)
12. Mojarad Gharabagh, F. 1997, Analysis and Forecating Frost in Azerbayejan, PhD Dissertation, Tarbiat Modarres University. (In Persian)
13. Kamali, Gh,. 2001, Investigating Harmful Cold Weather in Agriculture and Production of its Climate Atlas, I.R. of Iran Meteorology Organization (IRIMO) (In Persian)
14. Ghatreh Samani, S,. 2004. Synoptic Analysis of Start and End of Frost in Cahahrmahal Province, Msc Thesis, Kharazmi (Former Tarbiat Moallem) University. (In Persian)
15. Motmen, Gh,. 2006. Analysis of Frost in North-West Azerbayejan and its Impacts on Just-Ripe Crops in Khoy Region, Msc Thesis, Tabriz University. (In Persian)
16. HajPanjalizadeh, M,. 2005. Synoptic and Statistical Analysis of Widespread Frosts in Ardabil City. Msc Thesis, I.A.University of Ardabil (In Persian)
17. Tavakoli, M. Hosseini, M. 2006. Evaluation of Frost Indicators and the Start of Autumn Frost in Iran, Case study of Ekbatan Station in Hamedan, Nivar Journal, No. 60 & 61, Spring and Summer 2006, I.R of Iran Meteorological Organization, pp. 31-42. (In Persian)
18. Noohi, K. Sahraeian, F. Pedram, M. Kamali, Gh. 2007. Investigation and Analysis of the of the Start and the End of Radiation, Advectional Frost in the East and West Azarbaijan Provinces, Journal of the Ministry of Agriculture, Vol. 20, No. 2, Summer 2007, pp. 197-211. (In Persian)
19. Hjhbarpour, Gh. Alijani, B. 2007. Synoptic Analysis of Frosts of Ardabil Province, Geography and Development Quarterly, Autumn and Winter, No. 10. (In Persian)
20. Noohi, K. Sahraeian, F. Pedram, M. Kamali, Gh. 2008. Determining Frost Free Period Using Start/End Time of Radiative- Advectional Frost in Zanjan, Qazvin and Tehran Provinces. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Year 12, Issue 46, pp. 449-460. (In Persian)
21. Rahimi, M. 2008. Investigation the probability of occurrence of late spring and early fall frost in central Alborz, Master's thesis, University of Tehran. (In Persian)
22. Esmaili, R. HabibiNokhandan, M. Fallah Ghalhari, Gh.A,. 2010. Estimation the changes of the growth and Frost Periods Regarding Climate Fluctuations, Case study of Khorasan Razavi, Journal of Physical Geography Research, No. 73, Autumn 2010, pp. 69-82. (In Persian)
23. Alijani, B. Mahmoodi, P. Rigi, A. Khosravi, P. 2010. Investigating the Continuity of Frost Days in Iran Using Markov Chain Model, Journal of Physical Geography Research, No. 73, pp. 1-20.
24. Asakereh, H. 2010. The probability and Continuity of early and late frosts in Zanjan City, Journal of Geography and Environmental Planning, Year

21, Issue 37, No 1, Spring 2010. (In Persian)

25. Sari-Sarraf, B. Hajimirzaei, B. Malekian, A. 2010. Investigating the relationship between annual Frost Time in Reduction of Growth Period in Ardebil, Journal of Geography and Planning, Year 15, No. 31, Spring 2010, pp. 187-208. (In Persian)
26. Mirmoosavi, M.H,. HosseinBabaei, M. 2011. Study of Spatial Distribution of Probability of Frost Occurrence in Zanjan Province, Journal of Geography and Environmental Planning, Year 22, Serial No. 43, No 3, Autumn 2011. (In Persian)
27. Zolfaghari, H. Zahedi, Gh. Sajjadifar, T. 2012. Estimation of the Last Frost in the West and Northwest of Iran, Journal of Geography and Environmental Sustainability, No. 4, Autumn 2012. Pp. 59-74. (In Persian)