

مطالعه آماری ویژگی‌های یخبندان در ایستگاه سینوپتیک سقز

محمود مولی‌نژاد*

استادیار پژوهشکده مطالعات فناوری‌های نوین، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران (IROST)

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۵/۲۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۳/۱۲

چکیده

کاهش دمای هوا به صفر درجه سلسیوس 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 محیط‌زیست به ویژه کشاورزی دارد، به طوری که قرارگرفتن گیاهان در حال رشد در معرض یخبندان آسیب یا مرگ گیاه را در پی خواهد داشت. در این تحقیق، به منظور بررسی یخبندان‌های رخ داده در ایستگاه سقز، دماهای حداقل روزانه آن مطالعه و بررسی و در نهایت یخبندان‌ها به سه دسته ضعیف، متوسط و شدید گروه‌بندی شدند. سپس، محدوده تغییرات زمانی وقوع این یخبندان‌ها تعیین و فراوانی وقوع آن‌ها نیز محاسبه شد. همچنین، با محاسبه متغیرهای آماری مختلف، احتمال وقوع آستانه‌های دمایی بین صفر تا ۱۵- درجه سلسیوس در ماه‌های سال تعیین شد. علاوه بر این، با تقسیم سال به ۳۶ دهه مختلف سعی شده است دماهایی که با احتمالات مختلف، امکان وقوع دارند نیز محاسبه شوند. نتایج نشان می‌دهد که حداقل دمای ایستگاه سقز طی سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است. یخبندان‌های شدید عمدتاً در ماه‌های ژانویه و فوریه، یخبندان‌های متوسط در مارس و دسامبر و یخبندان‌های ملایم در نوامبر و آوریل رخ می‌دهند. همچنین، یافته‌ها حاکی از آن است که بین تاریخ شروع یخبندان‌های پاییزه با تاریخ خاتمه یخبندان‌های بهاره، حداقل دمای ماه سپتامبر و آوریل همان سال با توجه به رابطه به‌دست‌آمده همبستگی معناداری وجود دارد. همچنین، مشخص شد که زودترین یخبندان پاییزه و دیرترین یخبندان بهاره در چه تاریخ‌هایی رخ داده است، بنابراین، به طور کلی می‌توان گفت که با مطالعه و پیش‌بینی به موقع یخبندان، می‌توان با روش‌های مختلفی محصولات کشاورزی را در برابر یخبندان محافظت کرد.

کلیدواژه

ایستگاه سقز، احتمالات وقوع، تقویم ژولیوسی، مدل رگرسیون خطی، یخبندان.

۱. سرآغاز

دیدگاه هواشناسی کشاورزی، یخبندان به وقوع دماهای پایین در حدی که به خسارت به بافت‌های گیاهی منجر شود اطلاق می‌شود که این نوع یخبندان با توجه به دماهای بحرانی برای هر محصول متفاوت است (محمدی، ۱۳۸۶). میرموسوی و حسین‌بابایی (۱۳۹۰) به مطالعه توزیع زمانی- مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان پرداختند. نتایج آنان نشان داد که به طور متوسط اولین یخبندان‌های منطقه در 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

یخبندان از زیان‌آورترین پدیده‌های طبیعی است که گاهی با خسارت‌های فراوان مالی و حتی جانی همراه است. سرمایه‌دگی و یخبندان در مراحل مختلف رویشی برای محصولات کشاورزی و باغی بسیار مهم است، زیرا در صورت حادث شدن، به محدودیت تولید منجر می‌شود (علیجانی و هژبرپور، ۱۳۸۶). یخبندان، مرحله انجماد آب است (Oliver and Fairbridge, 1998). در این حالت، هنگام کاهش دمای هوا تا نقطه انجماد آب، پوششی از یخ روی سطوح باز تشکیل می‌شود (محمدی، ۱۳۸۵). از

داد که پیش‌بینی آخرین روز یخبندان بهاری در بین تمامی ایستگاه‌های همدید هواشناسی در شمال‌غرب و غرب ایران، بر اساس شبکه پسانتشار خطا، با دقت بالایی امکان‌پذیر است. خطای به‌دست‌آمده در تمام موارد پایین بود. بالاترین خطای شبکه بین ایستگاه‌ها، متعلق به اراک با ۱/۱۱۴۲ درصد و کمترین آن‌ها مربوط به مهاباد با ۰/۲۵۴ درصد است. تام (Thorn, 1959) نسبت به توزیع زمانی فصلی و سالانه یخبندان با توجه به روند وقوع آن در سال‌های گذشته اقدام کرد. استرلینگ (Easterling, 2002) به بررسی تغییرات اخیر روزهای یخبندان و بدون یخبندان در ایالات متحده پرداخت و نشان داد که در دوره ۱۹۴۸-۱۹۹۹ تعداد روزهای یخبندان کاهش و طول دوره بدون یخبندان افزایش یافته است. کارل (Karl, 1998) در تحقیقی به بررسی منطقه‌ای دماهای حداقل و حداکثر و بارش پرداخت و به این نتیجه رسید که دمای حداقل و حداکثر و بارش از نظر آماری قابل پیش‌بینی است. بوتسما (Bootsma, 1976) دمای حداقل و احتمال وقوع خطر یخبندان را در سرزمین‌های کوهستانی کانادا بررسی کرد. روزنبرگ و مایرز (Rosenberg and Myers, 1962) رویدادهای تاریخی مربوط به وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره را در ده مکان در داخل و اطراف دره پلت در ایالت نبراسکا مطالعه کردند. آن‌ها ضمن شناسایی الگوهای توزیع یخبندان‌های نوع تابشی یا فرارفتی، الگوهای همدیدی مؤثر در آن را هم مشخص کردند. در تحقیقی که بهیام (۱۳۸۲) در خصوص سرمازدگی روز هفتم اردیبهشت ۸۲ در استان چهارمحال بختیاری انجام داد، در تمام ساعات از دو روز قبل و بعد از وقوع یخبندان، متغیرهای هواشناسی را بررسی کرد تا عوامل مؤثر دینامیکی و همدیدی را روی سرمازدگی و یخبندان این استان بشناسد. هاشمی (۱۳۸۴) با استفاده از آمار دمای تهران به واکاوی آماری سرما و یخبندان اقدام و پراسنج‌های مختلف مرتبط با دمای حداقل را محاسبه و زمان وقوع برخی از این پراسنچ‌ها را از نظر آماری

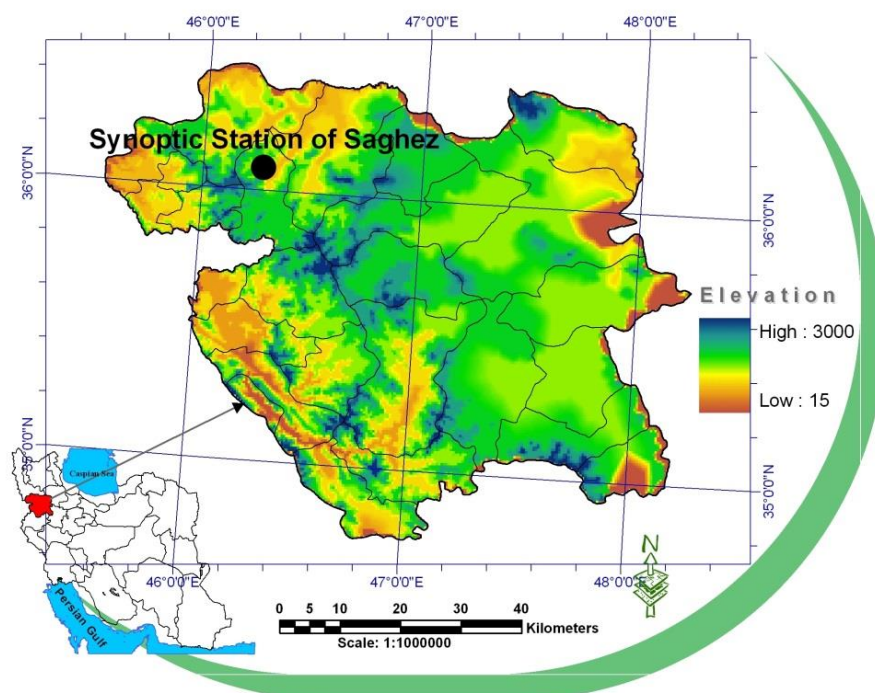
ایستگاه خیرآباد و کمترین میانگین در ایستگاه فیله خاصه زنجان وجود دارد. منتظری (۱۳۸۹) به تحلیل آماری یخبندان‌های کشاورزی در شهرستان نجف‌آباد پرداخته و به این نتیجه رسیده است که هرچند تعداد روزهای یخبندان کاهش نیافته، وقوع یخبندان‌های شدید رو به کاهش و از سوی دیگر فراوانی وقوع دماهای صفر درجه به شدت رو به افزایش است. همچنین، بررسی‌های آن‌ها نشان داد که طول دوره یخبندان بر مبنای آستانه صفر درجه روند معنی‌داری نداشته است. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۰) به تحلیل سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره تبریز پرداختند. نتایج آنان نشان داد که طولانی‌ترین و شدیدترین یخبندان بین روزهای ۷ تا ۱۲ فروردین ۱۳۸۲ و ۱۷ فروردین ۱۳۸۳ رخ داده است که این در نتیجه شکل‌گیری کم‌فشارها و عمیق‌شدن ناوهای حاصل از آن‌ها در شمال دریای خزر است. مسعودیان و دارند (۱۳۹۲) به تحلیل همدید یخبندان‌های فراگیر و بادوام ایران پرداختند. نتایج آنان نشان داد که ۵ الگوی فشار تراز دریا با آرایش‌های متفاوت به رخداد یخبندان‌های فراگیر و بادوام ایران زمین منجر می‌شوند. همزمان با رخداد هر کدام از الگوها نقشه مربوط به میانگین دمای کمینه ایران نیز ترسیم شد. شدت یخبندان در مناطق مختلف ایران هماهنگ با مسیر زبانه‌های سامانه‌های جوی و اچرخندی است. تام و شاو (Thorn and Shaw, 1985) نشان دادند که تاریخ‌های وقوع یخبندان تصادفی است و از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند، به همین دلیل استفاده از میانگین و انحراف معیار، شاخص‌های آماری معتبری برای مطالعه این پدیده به شمار می‌روند. توکلی و حسینی (۱۳۸۵) به ارزیابی شاخص‌های یخبندان و شروع پاییزه آن در ایستگاه اکباتان همدان پرداختند و به منظور پیش‌بینی یخبندان‌های پاییزه مدلی را ارائه کردند که بررسی آن همبستگی خطی خوبی بین یخبندان‌های بهاره و پاییزه نشان داد. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۱) تاریخ آخرین یخبندان‌های بهاری را در غرب و شمال‌غرب کشور پیش‌بینی کردند. نتایج بررسی آنان نشان

تجزیه و تحلیل شده است. موقعیت ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۱ آمده است. همگنی سری داده‌ها با استفاده از آزمون روان تست ۱ تأیید شد. سپس، روزهایی که دمای آن‌ها کمتر از صفر درجه سلسیوس بود به منزله روز یخبندان استخراج شدند و یخبندان‌ها به سه دسته ضعیف یا ملایم (دمای بین صفر تا $1/1$ - درجه سلسیوس)، متوسط (دمای بین $1/1$ - تا $3/3$ - درجه سلسیوس) و شدید (کمتر از $3/3$ - درجه سلسیوس) بر حسب مقاومت گیاهان زراعی در برابر سرما و یخبندان طبقه‌بندی شدند (برگرفته از مجردقره‌باغ، ۱۳۷۶، ۸۵). جدول ۱ فراوانی وقوع و زمان آغاز و خاتمه یخبندان‌ها را در آستانه‌های مختلف طی دوره آماری در ایستگاه سقز نشان می‌دهد. شایان یادآوری است که در این پژوهش شروع سال ژولیوسی با توجه به شروع یخبندان‌ها از ابتدای فصل پاییز، اول اکتبر در نظر گرفته شده است.

پیش‌بینی کرد. ربانی و کرمی (۱۳۸۸) به بررسی روند تعداد روزهای یخبندان در استان خراسان شمالی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تعداد روزهای یخبندان طی دوره مورد مطالعه دارای روندی نزولی است که این امر با روند افزایشی میانگین سالانه دما در منطقه مورد مطالعه همخوانی داشته است. سلطانی و همکاران (۲۰۱۴) ابعاد هواشناسی رخداد سرمای غیرعادی آوریل سال ۲۰۰۹ را بررسی و تحلیل سینوپتیکی - ترمودینامیکی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که گسترش بیش از حد تاوه قطبی به عرض‌های پایین‌تر جغرافیایی یخبندان شدید و فراگیر را در ایران به وجود آورده است.

۲. مواد و روش‌ها

به منظور بررسی یخبندان‌ها در ایستگاه همدیدی سقز، روزهای یخبندان در دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۷۶ استخراج و به صورت دوره‌های یخبندان تنظیم شد، سپس داده‌های حداقل دمای آن بر اساس تقویم ژولیوسی (اول اکتبر)



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نقشه توپوگرافی استان کردستان و ایستگاه سینوپتیک سقز

جدول ۱. فراوانی وقوع، تاریخ اولین و آخرین روز یخبندان‌های مختلف در ایستگاه سقز

سال	یخبندان			سال	یخبندان		
	ملازم	متوسط	شدید		ملازم	متوسط	شدید
۱۹۷۶	۳۵	۲۱	۶۶	۱۹۹۲	۳۷	۲۹	۹۵
۱۹۷۷	۳۵	۳۶	۵۷	۱۹۹۳	۳۸	۳۷	۶۶
۱۹۷۸	۳۹	۳۰	۳۲	۱۹۹۴	۴۶	۲۴	۵۱
۱۹۷۹	۳۳	۲۳	۴۴	۱۹۹۵	۳۴	۲۵	۹۹
۱۹۸۰	۳۴	۲۲	۵۱	۱۹۹۶	۳۱	۳۰	۶۵
۱۹۸۱	۲۹	۲۵	۷۶	۱۹۹۷	۲۹	۲۹	۸۵
۱۹۸۲	۲۰	۲۳	۹۳	۱۹۹۸	۳۱	۲۴	۷۹
۱۹۸۳	۳۱	۲۱	۶۷	۱۹۹۹	۳۵	۲۵	۸۲
۱۹۸۴	۳۲	۲۰	۵۴	۲۰۰۰	۳۰	۳۲	۸۵
۱۹۸۵	۲۴	۲۰	۵۰	۲۰۰۱	۴۲	۲۸	۶۴
۱۹۸۶	۳۲	۳۱	۴۱	۲۰۰۲	۲۲	۱۴	۸۰
۱۹۸۷	۳۴	۱۶	۵۱	۲۰۰۳	۳۵	۲۴	۶۴
۱۹۸۸	۲۶	۲۶	۸۱	۲۰۰۴	۳۲	۳۲	۷۰
۱۹۸۹	۲۸	۱۷	۸۳	۲۰۰۵	۱۷	۳۰	۸۳
۱۹۹۰	۳۹	۲۶	۸۴	۲۰۰۶	۱۴	۲۹	۸۳
۱۹۹۱	۳۱	۲۹	۸۲	۲۰۰۷	۳۰	۲۶	۷۹

که در این معادله، x سال‌های آماری و Y مجموع روزهای یخبندان است که برای پیش‌بینی فراوانی یخبندان‌های سال‌های آتی با قراردادن سال مورد نظر به جای x می‌توان مجموع روزهای یخبندان در آن سال را به دست آورد. شایان یادآوری است که معادله بالا در سطح ۵ درصد معنادار است. در شکل ۱ تغییرات تعداد روزهای یخبندان طی دوره آماری آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود کمترین روزهای یخبندان ایستگاه مورد مطالعه در سال ۱۹۸۵ و عین حال بیشترین روزهای یخبندان در سال ۱۳۹۲ رخ داده است. روند روزهای یخبندان در ایستگاه سقز به صورت تناوبی و بهترین برازش برای روند یخبندان، معادله خطی است (شکل ۲).

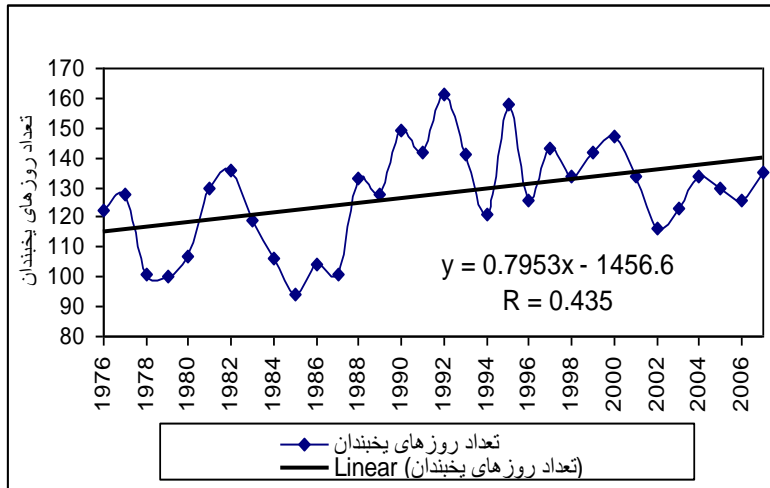
طبق جدول ۲، ملاحظه می‌شود که ضریب تغییرات دمایی حداقل در ماه‌های مارس و نوامبر به ترتیب با مقادیر ۱۷۰۰ و ۱۱۵/۳ نسبتاً زیاد است که دلیل آن را می‌توان

در ایستگاه سقز (جدول ۱)، همان‌طور که مشاهده می‌شود زودترین یخبندان پاییزه در روز ۲ ژوئیه و دیرترین یخبندان بهار در روز ۲۴۷ ژوئیه در سال ۲۰۰۲ رخ داده است. همچنین، بیشترین فراوانی یخبندان‌های ملازم با ۴۶ مورد در سال ۱۹۹۴، یخبندان‌های متوسط با ۳۷ مورد در سال ۱۹۹۳ و یخبندان‌های شدید با ۹۹ مورد در سال ۱۹۹۵ به وقوع پیوسته است. در مجموع بیشترین وقوع یخبندان‌ها در سال ۱۹۹۲ با ۱۶۱ روز بوده است. در ادامه برای مشخص کردن روند تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه سقز، بین تعداد روزهای یخبندان و سال‌های آماری رابطه همبستگی گرفته شد و معادله خطی ۲ آن به صورت زیر است.

$$y = 0.7953x - 1456/6$$

$$R = 0.435$$

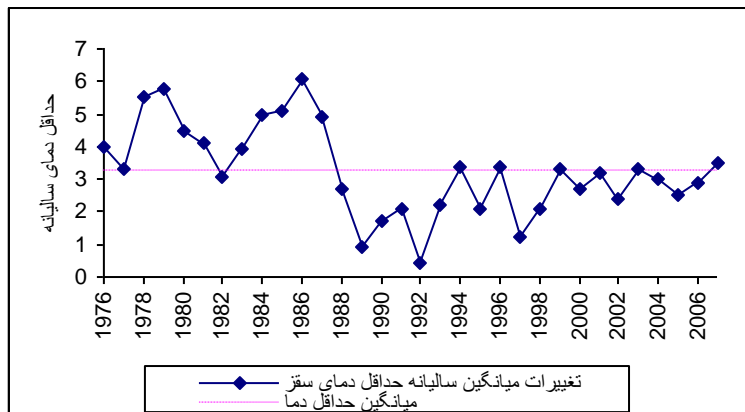
تغییرات وضعیت جوی طی فصول زمستان و پاییز دانست. همچنین، کمترین میانگین حداقل دمای ماهانه در ژانویه (۵- درجه سلسیوس) و بیشترین میانگین حداقل دمای ماهانه در ژوئیه (۱۷/۱ درجه سلسیوس) بوده است.



شکل ۲. تغییرات سالانه و روند کلی تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه سقز

جدول ۲. ویژگی‌های آماری حداقل متوسط ایستگاه سقز

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	م	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
-۵	-۴/۱	۰/۱	۴/۸	۸/۲	۱۲/۱	۱۷/۱	۱۶	۹/۷	۵/۷	۱/۳	-۲/۲	میانگین
-۱۲	-۱۴	-۳/۴	۲	۵/۹	۹/۴	۱۲/۹	۱۳/۱	۷/۶	۱/۳	-۲/۳	-۷/۳	کمترین
۲/۸	۳	۱/۷	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۹	۱/۵	۱/۳	۱/۷	۱/۵	۲	انحراف معیار
-۱/۱	-۱/۶	-۰/۸	-۰/۱	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۷	۰/۲	۰/۱	-۰/۷	-۰/۷	-۰/۵	چولگی
۵۶	۷۳	۱۷۰۰	۲۵	۱۵	۹/۹	۱۱/۱	۹/۳	۱۳/۴	۲۹/۸	۱۱۵/۳	۹۰/۹	ضریب تغییرات
۵	۵	۹	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۷	۷	۵	میانگین یخبندان ملایم
۷	۶	۳	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۳	۷	میانگین یخبندان متوسط
۱۸	۱۵	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۱۵	میانگین یخبندان شدید



شکل ۳. تغییرات میانگین سالانه حداقل دما در ایستگاه سقز

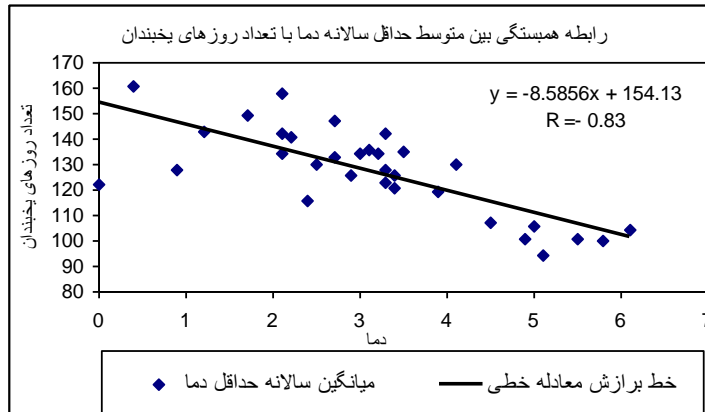
برای تجزیه و تحلیل دقیق‌تر و مناسب‌تر، سال بر طبق تقویم ژولیوسی به ۳۶ دهه و از اول اکتبر تقسیم شده است که تغییرات احتمال وقوع آستانه‌های دمایی بین صفر و ۱۵- درجه سلسیوس طی دهه‌های مختلف سال بر اساس آمار ۳۲ ساله ایستگاه سقز در جدول ۳ نشان داده شده است.

مطابق جدول ۳ احتمال اینکه حداقل دمای ایستگاه سقز به محدوده صفر تا ۵- برسد در ۲۵ دهه اول وجود دارد و بیشترین احتمال وقوع آن مربوط به نوامبر، دسامبر و اواخر مارس است. در شکل ۵ احتمال وقوع بازه‌های دمایی یخبندان‌های مختلف را در ایستگاه سقز نشان داده شده است.

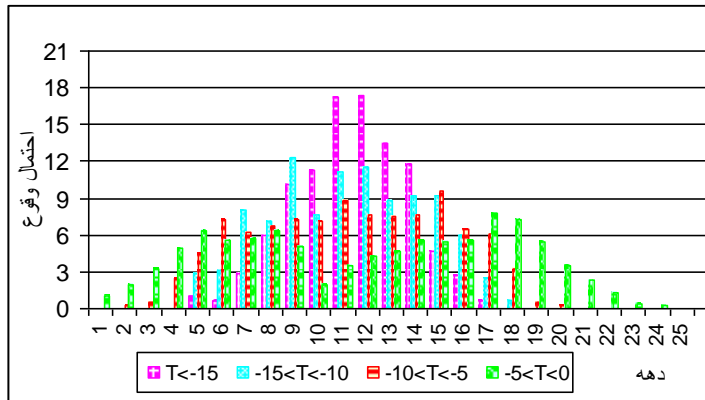
شکل ۳ نیز نشان‌دهنده روند تغییرات سالانه حداقل دما در ایستگاه سقز است، به طوری که در سال ۱۹۸۶ حداکثر دما و در سال ۱۹۹۲ حداقل دما رخ داده و روند تغییرات دما طی سال‌های اخیر روند متعادل‌تری نسبت به گذشته داشته است. نکته درخور توجه این است که میانگین حداقل دمای سالانه در سال ۱۹۹۲ به ۰/۴ درجه سلسیوس رسیده که به منزله کمترین میانگین حداقل دمای سالانه در ایستگاه مورد مطالعه بوده است. همچنین، بین تعداد روزهای یخبندان و حداقل‌های دما طی دوره آماری رابطه همبستگی گرفته شد و نتایج نشان داد که با افزایش حداقل دما از تعداد روزهای یخبندان کاسته می‌شود. همبستگی بالا در سطح ۱ درصد معنادار است (شکل ۴).

جدول ۳. تغییرات احتمال وقوع آستانه‌های دمایی بین صفر تا ۱۵- درجه سلسیوس در ایستگاه سقز

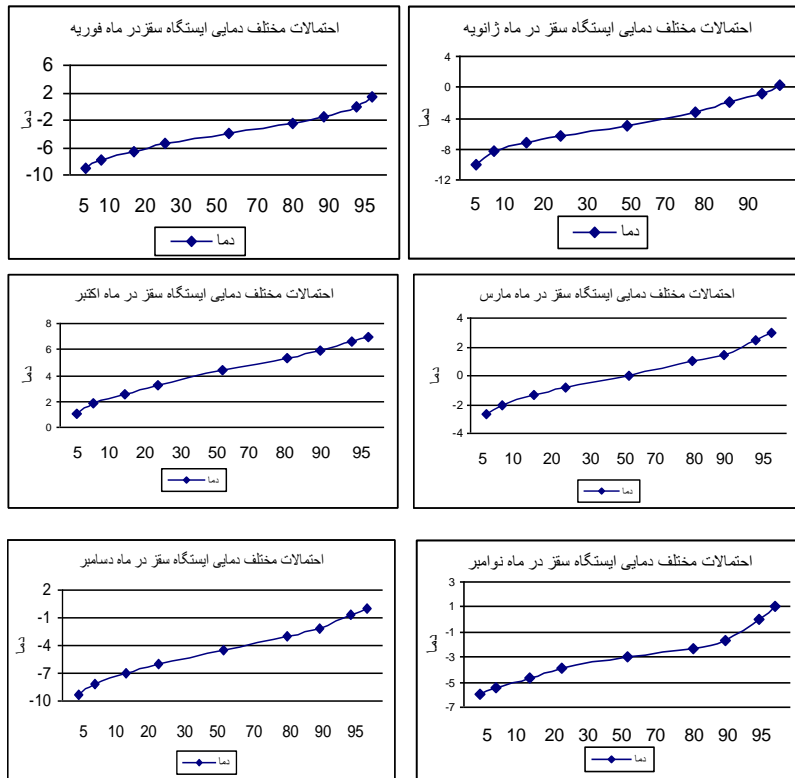
				دامنه دما				دامنه دما			
				-5<T<0	-10<T<-5	-15<T<-10	T<-15	-5<T<0	-10<T<-5	-15<T<-10	T<-15
				دهه					دهه		
۵/۵	۹/۶	۹/۲	۴/۷	۱۵	۱,۱	۰	۰	۰	۱		
۵/۶	۶/۵	۵/۹	۲/۷	۱۶	۱/۹	۰/۲	۰	۰	۲		
۷/۸	۶/۱	۲/۴	۰/۷	۱۷	۳/۳	۰/۵	۰	۰	۳		
۷/۳	۳/۳	۰/۷	۰	۱۸	۴/۹	۲/۴	۰	۰	۴		
۵/۴	۰/۵	۰	۰	۱۹	۶/۴	۴/۶	۲/۸	۱	۵		
۳/۵	۰/۳	۰	۰	۲۰	۵/۶	۷/۲	۳/۱	۰/۷	۶		
۲/۳	۰	۰	۰	۲۱	۵/۷	۶/۲	۸/۱	۲/۹	۷		
۱/۳	۰	۰	۰	۲۲	۶/۴	۶/۸	۷/۱	۵/۹	۸		
۰/۴	۰	۰	۰	۲۳	۵/۱	۷/۳	۱۲/۳	۱۰/۱	۹		
۰/۳	۰	۰	۰	۲۴	۲	۷/۱	۷/۶	۱۱/۳	۱۰		
۰/۲	۰	۰	۰	۲۵	۳/۵	۸/۸	۱۱/۱	۱۷/۲	۱۱		
۰	۰	۰	۰	۲۶	۴/۳	۷/۷	۱۱/۶	۱۷/۴	۱۲		
۰	۰	۰	۰	۲۷	۴/۷	۷/۵	۸/۸	۱۳/۵	۱۳		
۰	۰	۰	۰	۲۸	۵/۶	۷/۶	۹/۲	۱۱/۸	۱۴		



شکل ۴. نمودار همبستگی بین حداقل دما و روزهای یخبندان در ایستگاه سقز



شکل ۵. احتمالات وقوع آستانه‌های دمایی یخبندان‌های مختلف در ایستگاه سقز



شکل ۶. احتمالات مختلف دمایی ایستگاه مورد مطالعه در ماه‌های سرد سال

بررسی‌ها نشان می‌دهند یخبندان‌های شدید در ایستگاه سقز بیشتر در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر، یخبندان‌های متوسط بیشتر در ماه‌های ژانویه، فوریه، نوامبر، دسامبر و مارس و یخبندان‌های ملایم بیشتر در مارس، اکتبر، نوامبر و آوریل رخ می‌دهند.

روند تعداد روزهای یخبندان و دمای حداقل در ایستگاه سقز نشان‌دهنده رابطه معکوس و روند افزایشی در روزهای یخبندان و روند کاهشی در دمای حداقل است. این روند در دما که عجیب به نظر می‌رسد به دلیل کاهش مشخص دما از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۸۹ است که در خصوص تعداد روزهای یخبندان نیز مشخص است، اما اگر دوره آماری به دو بخش از ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۷ تقسیم‌بندی شود روند هر بخش به طور نسبی معکوس است. یعنی روند دمای حداقل افزایشی و تعداد روزهای یخبندان کاهشی است. نکته حائز اهمیت این است که در مطالعه یخبندان‌های ایستگاه سقز، بین تاریخ شروع یخبندان‌های پاییزه با تاریخ خاتمه یخبندان‌های بهاره، حداقل دمای ماه سپتامبر و آوریل همان سال با توجه به رابطه به دست آمده همبستگی معناداری وجود دارد. به طوری که هرچه یخبندان‌های بهاره زودتر خاتمه یابند و حداقل دماهای ماه‌های سپتامبر و آوریل بالا باشند می‌توان انتظار داشت که یخبندان‌های پاییزه دیرتر شروع شوند و بالعکس. همچنین، مشخص شد که زودترین یخبندان پاییزه در روز دوم در سال ۲۰۰۲ و دیرترین یخبندان بهاره در روز ۲۴۷م در سال ۲۰۰۲ رخ داده است. بنابراین، به طور کلی می‌توان گفت که با مطالعه و پیش‌بینی به موقع یخبندان، می‌توان با روش‌های مختلفی محصولات کشاورزی را در برابر یخبندان محافظت کرد که از جمله می‌توان به استفاده از وسایل گرم‌کننده مانند بخاری، ماشین‌های ثابت مولد باد یا هلیکوپتر، تولید مه مصنوعی و غیره اشاره کرد.

یادداشت‌ها

1. Runs Test
2. Linear Equation

با توجه به اینکه آگاهی از رخداد آستانه‌های یخبندان در هر منطقه از اهمیت بالایی به خصوص در بخش کشاورزی برخوردار است به طوری پیش‌بینی آن از بروز خسارات احتمالی جلوگیری می‌کند، لذا احتمالات حداقل دماهای ایستگاه مورد مطالعه با استفاده از تابع توزیع نرمال محاسبه شد. شکل ۶ احتمالات مختلف دمایی ایستگاه سقز را طی ماه‌های زمستان و پاییز نشان می‌دهد. برای مثال، در نمودار مربوط به ژانویه نشان داده شده است که حداقل دما در این ماه با احتمال ۵ درصد به حدود ۱۰- و کمتر از آن یا به احتمال ۹۰ درصد حداقل دما در ماه ژانویه به صفر و کمتر از آن خواهد رسید که این احتمالات برای ماه‌های منتخب محاسبه شده‌اند. از آنجا که بیشترین یخبندان‌های ایستگاه مورد مطالعه در فصول پاییز و زمستان رخ می‌دهند، لذا تنها نمودارهای مربوط به آن‌ها رسم شده است.

۳. نتیجه‌گیری

یخبندان یکی از عوامل جوی است که کنترل وقوع آن از دسترس انسان خارج است، اما دانش و تجربه بشری طی گذشت زمان راهکارهایی را ارائه کرده که در کاهش خسارات ناشی از عنصر اقلیمی کارآمد بوده است. تعیین نوع یخبندان در هر منطقه‌ای از امنیت بیشتری برخوردار است، زیرا مطالعه و بررسی نوع یخبندان در هر منطقه‌ای مشخص‌کننده شیوه مناسبی از مبارزه در خصوص سرمایه‌گذاری محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. نقشه‌های احتمال وقوع یخبندان و زمان وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره مثالی ساده، اما بسیار مهم از کاربرد مطالعات یخبندان در محیط‌زیست به ویژه در بخش کشاورزی به شمار می‌رود.

طی مطالعه و واکاوی داده‌های دما و روزهای یخبندان ایستگاه سقز طی ۳۲ سال اخیر مشخص شد که دمای حداقل ایستگاه مذکور طی دو دهه اخیر روند افزایشی داشته که در ۵ سال اخیر این روند شدیدتر بوده است. این خود نشان‌دهنده تأثیر گرم‌شدن کره زمین به طور طبیعی یا تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است. البته خشکسالی‌های اخیر نیز می‌تواند در این افزایش دما تأثیر داشته باشد.

منابع

- بهبودیان، ج. ۱۳۸۲. آمار و احتمال مقدماتی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ هجدهم.
- بهار، م. ب. ۱۳۸۲. بررسی پدیده سرمازدگی در استان چهارمحال و بختیاری از دیدگاه همدیدی- دینامیکی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۹، صص ۱۰۷-۱۲۰.
- توکلی، م.، حسینی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی شاخص‌های یخبندان و شروع پاییز آن در ایران (مطالعه موردی: ایستگاه اکباتان همدان)، مجله علمی نیوار، صص ۶۰-۶۱.
- جهانبخش، س.، رضایی، س.، قاسمی، ا. ر.، تدینی، م. ۱۳۹۰. تحلیل سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره تبریز (مطالعه موردی: سرمای بهار ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۰، شماره پایانی ۱۰۲، شماره صفحه پایانی ۱۷۲۷۲-۱۷۲۴۸.
- ذوالفقاری، ح.، زاهدی، غ.، سجادی‌فر، ط. ۱۳۹۱. پیش‌بینی تاریخ آخرین یخبندان‌های بهاری در غرب و شمال‌غرب ایران، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۴، صص ۵۹-۷۴، پاییز ۱۳۹۱.
- ربانی، ف.، کرمی، ف. ۱۳۸۸. بررسی روند تعداد روزهای یخبندان در استان خراسان شمالی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۴، تابستان ۱۳۸۸، صص ۸۵-۹۴.
- رحیمی، م. ۱۳۷۸. بررسی احتمال زمانی وقوع یخبندان‌های دیررس بهاره و زودرس پاییزه در البرز مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- رضایی، ع. ۱۳۸۱. مفاهیم آمار و احتمالات، نشر مشهد، چاپ سوم.
- سازمان هواشناسی کشور ۱۳۸۷. آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک سقز (استان کردستان).
- علیجانی، ب.، هژبرپور، ق. ۱۳۸۶. تحلیل همدید یخبندان‌های استان اردبیل، جغرافیا و توسعه، ۱۰.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ بیست و دوم، صص ۶۸۲.
- مجردقره‌باغ، ف. ۱۳۷۹. شاخص‌های یخبندان، مجموعه مقالات دومین همایش سرما و یخ‌زدگی گیاهان زراعی و باغی کشور، تهران.
- محمدی، ح. ۱۳۸۵. آب و هواشناسی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، صص ۹۹.
- محمدی، ح. ۱۳۸۶. جزوه درسی آب و هواشناسی کاربردی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- مسعودیان، ا.، دارند، م. ۱۳۹۲. تحلیل همدید یخبندان‌های فراگیر و بادوام ایران، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۴، پیاپی ۵۰، شماره ۲، صص ۱۲۹-۱۴۰، تابستان ۱۳۹۲.
- منتظری، م. ۱۳۸۹. تحلیل آماری یخبندان‌های کشاورزی در شهرستان نجف‌آباد، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دوم، شماره ۴، تابستان ۱۳۸۹.
- میرموسوی، ح.، حسین‌بابایی، م. ۱۳۹۰. مطالعه توزیع زمانی- مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پایانی ۴۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، صص ۱۷۶-۱۸۴.
- هاشمی، ف. ۱۳۴۸. تجزیه و تحلیل استاتستیکی از سرمای تهران، انتشارات تحقیقات و بررسی علمی هواشناسی کل کشور.

- Bootsma,A. 1976. Estimating Minimum Temperature and Climatologic freeze risk in hilly terrain. Agricultural Meteorology,16.
- Easterling,D.R. 2002. Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States, American meteorological society, BAMS, 1327-1332.
- Karl,T.R. 1998. A Regional Trends and Variation of Temperature and Precipitation in The Impacts of Climate change, Cambridge University Press.
- Oliver,J.E., Fairbridge,R.W. 1998. "The encyclopedia of climatology" van Nostramd Reinhold, New York, USA. P124.
- Rosenberg,N.J., Myers,R.E. 1962. The nature of growing Season Frost in Nebraska. Monthly Weather Reviwe, 90.
- Show,R.H. 1954. Leaf and Air Temperature Under Freezing Condition. Plant Physiology, 29.
- Soltani,M., Babu,C.A., Mofidi,A. 2014. Meteorological aspects of an abnormal cooling event over Iran in April 2009, Meteorol Atmos Phys (2014) 124:47–65, DOI 10.1007/s00703-014-0309-5.
- Thorn,H.C.S. 1959. The Distribution of Freezing Data and Years, mon. Wea.
- Thorn,H.C.S., Shaw,R.H. 1985. Climatologic Analysis of Freezing Data for Iowa. Monthly Weather Reviwe, 86.