

واکاوی ویژگی‌های یخبندان در ایستگاه همدیدی شهر سقز

دکتر فرامرز خوش اخلاق

استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

علی حنفی

دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان

محسن سلطانی

کارشناس ارشد اقلیم شناسی دانشگاه تهران

چکیده

دهه مختلف سعی شده است دماهایی که با احتمالات مختلف، امکان وقوع دارند نیز محاسبه گردد. 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 همچنین یخبندان‌های ملایم در نوامبر و آوریل رخ می‌دهند.

کلمات کلیدی: یخبندان، تقویم ژولیوسی، مدل رگرسیون خطی، احتمالات وقوع، ایستگاه سقز

کاهش دمای هوا به صفر درجه سلسیوس و کمتر از آن را یخبندان گویند که در صورت وجود رطوبت، پوششی از یخ بر روی سطوح اجسام تشکیل می‌شود. در این تحقیق، به منظور بررسی یخبندان‌های رخ داده در ایستگاه سقز، دماهای حداقل روزانه آن مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت؛ 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 شده است. همچنین برای پیش بینی یخبندان‌های دیررس بهاره با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره^۱ رابطه‌ای ارائه شده است که مقادیر آن همبستگی خطی خوبی را بین یخبندان‌های بهاره و پاییزه نشان می‌دهد. طبق معادله خطی بدست آمده با توجه به اینکه اولین یخبندان پاییزه در سال ۲۰۰۸ در روز ۳۵ ژولیوسی (۱۶ آبان)، حداقل دمای ماه سپتامبر ۱۱/۴ و حداقل دمای ماه آوریل ۲/۶ درجه سلسیوس بوده است، پیش بینی می‌شود زمان وقوع آخرین یخبندان بهاره در روز ۲۱۱ ژولیوسی (۱۱ اردیبهشت) باشد. همچنین با محاسبه متغیرهای آماری مختلف، احتمال وقوع آستانه‌های دمایی بین صفر تا ۱۵- درجه سلسیوس نیز در ماههای سال تعیین گردید. علاوه بر این با تقسیم سال به ۳۶

مقدمه

یخبندان یکی از زیان‌آورترین پدیده‌های طبیعی است که گاهی اوقات با خسارت‌های فراوان مالی و حتی جانی همراه است. سرمازدگی و یخبندان در مراحل مختلف رویشی برای محصولات کشاورزی و باغی بسیار مهم است. چرا که در صورت حادث شدن، منجر به محدودیت تولید می‌شود (علیجانی، هژبرپور، ۱۳۸۶). یخبندان، مرحله انجماد آب است (الیور و فریبریج^۲، ۱۹۹۸: ۱۲۴). در این حالت، به هنگام کاهش دمای هوا تا نقطه انجماد آب، پوششی از یخ روی سطوح باز تشکیل می‌شود (محمدی، ۱۳۸۵: ۹۹). ازدیدگاه هواشناسی کشاورزی، یخبندان به وقوع دماهای پایین در حدی که منجر

² Oliver and Fairbridge

¹ Multiple Liner Regression

به خسارت به بافتهای گیاهی شود طلاق می گردد که این نوع یخبندان با توجه به دماهای بحرانی برای هر محصول متفاوت است (محمدی، ۱۳۸۶). روزنبرگ و مایرز^۳ (۱۹۶۲) رویدادهای تاریخی مربوط به وقوع یخبندانهای زودرس پاییزه و دیررس بهاره را در ده مکان در داخل و اطراف دره پلت در ایالت نبراسکا مورد مطالعه قرار دادند. آنها ضمن شناسایی الگوهای توزیع یخبندانهای نوع تابشی و یا فرارفتی، الگوهای همیدی موثر بر آن را هم مشخص کردند. تام و شاو^۴ (۱۹۸۵) نشان دادند که تاریخهای وقوع یخبندان تصادفی بوده و از توزیع نرمال تبعیت می کنند به همین دلیل استفاده از میانگین و انحراف معیار، شاخصهای آماری معتبری برای مطالعه این پدیده به شمار می روند. هوم^۵ (۱۹۵۹) نسبت به توزیع زمانی فصلی و سالانه یخبندان با توجه به روند وقوع آن در سالهای گذشته اقدام نمود. بوتسما^۶ (۱۹۷۶) دمای حداقل و احتمال وقوع خطر یخبندان را در سرزمینهای کوهستانی کانادا مورد بررسی قرار داد. کارل^۷ (۱۹۹۸) در تحقیقی به بررسی منطقه ای دماهای حداقل و حداکثر و بارش پرداخت و به این نتیجه رسید که دمای حداقل و حداکثر و بارش از نظر آماری قابل پیش بینی می باشد. مجرد قره باغ (۱۳۷۹) علاوه بر ارائه تعریف جدیدی از یخبندان، ویژگیهای یخبندان را به صورت نظام مند تحلیل و بر اساس ۱۶ شاخص استخراج کرده است. (توکلی و حسینی، ۱۳۸۵) به ارزیابی شاخصهای یخبندان و شروع پاییزه آن در ایستگاه اکباتان همدان پرداختند، و به منظور پیش بینی یخبندانهای پاییزه مدلی را ارائه نمودند که بررسی آن همبستگی خطی خوبی بین یخبندانهای بهاره و پاییزه نشان داد. (هاشمی، ۱۳۸۴) با استفاده از آمار دمای تهران نسبت به واکاوی آماری سرما و یخبندان اقدام نمود و پراسنجهای مختلف مرتبط با دمای حداقل را محاسبه و زمان وقوع برخی از این پراسنجهها را از نظر آماری پیش بینی کرد.

داده ها

به منظور بررسی یخبندانها در ایستگاه همدیدی سقر، روزهای یخبندان در دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۷۶ استخراج و بصورت دوره های یخبندان تنظیم گردید، سپس داده های حداقل دمای آن بر اساس تقویم ژولیوسی (اول اکتبر) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. موقعیت ایستگاه مورد مطالعه در شکل (۱) آمده است.

همگنی سری داده ها با استفاده از آزمون ران تست^۸ مورد تایید قرار گرفت. سپس روزهایی که دمای آنها کمتر از صفر درجه سلسیوس بود به عنوان روز یخبندان استخراج شدند و یخبندانها به سه دسته ضعیف یا ملایم (دمای بین صفر تا ۱/۱- درجه سلسیوس)، متوسط (دمای بین ۱/۱- تا ۳/۳- درجه سلسیوس) و شدید (کمتر از ۳/۳- درجه سلسیوس) بر حسب مقاومت گیاهان زراعی در برابر سرما و یخبندان طبقه بندی شدند (مجرد قره باغ، ۱۳۷۶: ۸۵). جدول (۱) فراوانی وقوع و زمان آغاز و خاتمه یخبندانها را در آستانه های مختلف در طول دوره آماری در ایستگاه سقر نشان می دهد. شایان ذکر است که در این پژوهش شروع سال ژولیوسی با توجه به شروع یخبندانها از ابتدای فصل پاییز، اول ماه اکتبر در نظر گرفته شده است.

³ Rosenberg and Myers

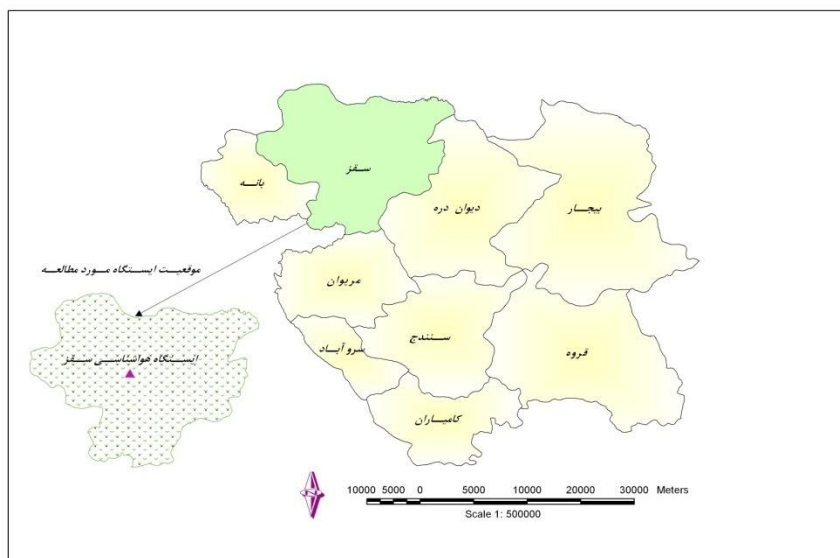
⁴ Thom and Show

⁵ Hom

⁶ Bootsma

⁷ Karl

⁸ Runs Test



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی شهرستان سقز و ایستگاه مورد مطالعه

جدول (۱): فراوانی وقوع، تاریخ اولین و آخرین روز یخبندانهای مختلف در ایستگاه سقز

سال	یخبندان ملایم	یخبندان متوسط	یخبندان شدید	مجموع	اولین یخبندان	آخرین یخبندان	سال	یخبندان ملایم	یخبندان متوسط	یخبندان شدید	مجموع	اولین یخبندان	آخرین یخبندان
۱۹۷۶	۳۵	۲۱	۶۶	۱۲۲	۲۳	۱۸۱	۱۹۹۲	۲۷	۲۹	۹۵	۱۶۱	۴	۲۱۸
۱۹۷۷	۳۵	۳۶	۵۷	۱۲۳	۲۴	۲۰۴	۱۹۹۳	۳۸	۳۷	۶۶	۱۴۱	۸	۲۱۱
۱۹۷۸	۳۹	۳۰	۳۲	۱۰۱	۳۴	۱۹۷	۱۹۹۴	۴۶	۲۴	۵۱	۱۲۱	۱۰	۲۳۰
۱۹۷۹	۳۳	۲۳	۴۴	۱۰۰	۳۶	۲۱۱	۱۹۹۵	۳۴	۲۵	۹۹	۱۵۸	۵	۲۲۱
۱۹۸۰	۳۴	۲۲	۵۱	۱۰۷	۳۷	۲۱۲	۱۹۹۶	۳۱	۳۰	۶۵	۱۲۶	۱۸	۲۱۲
۱۹۸۱	۲۹	۲۵	۷۶	۱۰۳	۳۰	۲۰۰	۱۹۹۷	۲۹	۲۹	۸۵	۱۴۳	۸	۲۱۸
۱۹۸۲	۲۰	۲۳	۹۳	۱۳۶	۲۳	۱۹۲	۱۹۹۸	۳۱	۲۴	۷۹	۱۳۴	۱۳	۲۳۶
۱۹۸۳	۳۱	۲۱	۶۷	۱۱۹	۸	۱۸۵	۱۹۹۹	۳۵	۲۵	۸۲	۱۴۲	۱۵	۲۳۵
۱۹۸۴	۳۲	۲۰	۵۴	۱۰۶	۲۱	۲۱۵	۲۰۰۰	۳۰	۳۲	۸۵	۱۴۷	۵	۲۲۴
۱۹۸۵	۲۴	۲۰	۵۰	۹۴	۲۴	۱۷۰	۲۰۰۱	۴۲	۲۸	۶۴	۱۳۴	۲۰	۲۴۵
۱۹۸۶	۳۲	۳۱	۴۱	۱۰۴	۴۴	۱۸۰	۲۰۰۲	۲۲	۱۴	۸۰	۱۱۶	۲	۲۴۷
۱۹۸۷	۳۴	۱۶	۵۱	۱۰۱	۲۷	۲۱۰	۲۰۰۳	۳۵	۲۴	۶۴	۱۲۳	۳۱	۲۲۲
۱۹۸۸	۲۶	۲۶	۸۱	۱۳۳	۲۴	۱۹۴	۲۰۰۴	۳۲	۳۲	۷۰	۱۳۴	۲۵	۲۱۱
۱۹۸۹	۲۸	۱۷	۸۳	۱۲۸	۵	۲۲۴	۲۰۰۵	۱۷	۳۰	۸۳	۱۳۰	۲۲	۲۲۲
۱۹۹۰	۳۹	۲۶	۸۴	۱۴۹	۱۶	۲۲۱	۲۰۰۶	۱۴	۲۹	۸۳	۱۲۶	۳۸	۲۳۱
۱۹۹۱	۳۱	۲۹	۸۲	۱۴۲	۳۰	۲۴۱	۲۰۰۷	۳۰	۲۶	۷۹	۱۳۵	۲۳	۲۱۲

با ۱۶۱ روز بوده است. در ادامه برای مشخص کردن روند تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه سقز، یک رابطه همبستگی بین تعداد روزهای یخبندان و سالهای آماری گرفته شد و معادله خطی^۱ آن به صورت زیر می باشد:

$$Y=0.7953x-1456.6$$

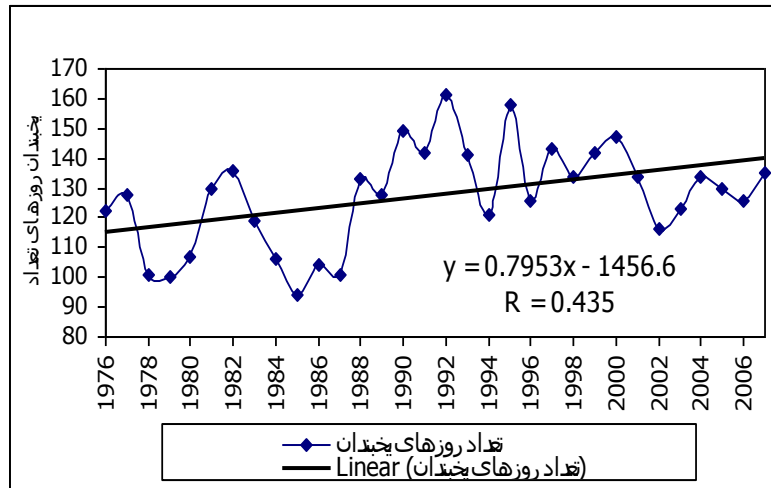
$$R=0.435$$

در ایستگاه سقز (جدول ۱)، همانطوری که مشاهده می شود زودترین یخبندان پاییزه در روز ۲ ژوئیه در سال ۲۰۰۲ و دیرترین یخبندان بهار در روز ۲۴۷ ژوئیه در سال ۲۰۰۲ رخ داده است. همچنین بیشترین فراوانی یخبندانهای ملایم 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

¹ Liner Equation

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 بوده و بهترین برازش برای روند یخبندان، معادله خطی می‌باشد (شکل ۲).

که در این معادله، X سالهای آماری و Y مجموع روزهای یخبندان است که برای پیش‌بینی فراوانی یخبندانهای سالهای آتی با قرار دادن سال مورد نظر به جای X می‌توان مجموع روزهای یخبندان در آن سال را بدست آورد. شایان ذکر است که معادله بالا در سطح ۵٪ معنادار می‌باشد. در شکل (۱) تغییرات تعداد روزهای یخبندان در طی دوره آماری آمده



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

میانگین حداقل دمای ماهانه در ژانویه (۵- درجه سلسیوس) و بیشترین میانگین حداقل دمای ماهانه در ژوئیه (۱۷/۱ درجه سلسیوس) بوده است.

طبق جدول (۲)، ملاحظه می‌شود که ضریب تغییرات دمای حداقل در ماه مارس و نوامبر بترتیب با مقادیر ۱۷۰۰ و ۱۱۵/۳ نسبتاً زیاد می‌باشد که دلیل آن را می‌توان تغییرات وضعیت جوی طی فصول زمستان و پائیز دانست. و همچنین کمترین

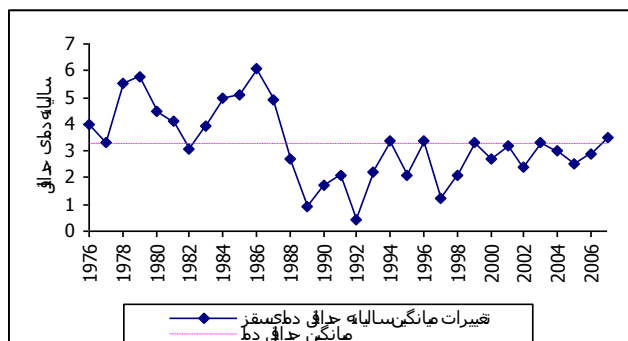
جدول (۲): ویژگی‌های آماری دمای حداقل متوسط ایستگاه سقز

ویژگی	میانگین	کمترین	انحراف معیار	چولگی	ضریب تغییرات	میانگین یخبندان ملایم	میانگین یخبندان متوسط	میانگین یخبندان شدید
میانگین	۱۲/۱	۱۷/۱	۱۶	۹/۷	۵/۷	۱/۳	-۲/۲	-۷/۳
کمترین	۱۲/۱	۱۲/۹	۱۳/۱	۷/۶	۱/۳	-۲/۳	-۷/۳	-۷/۳
انحراف معیار	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۳	۱/۷	۱/۵	۲	۲
چولگی	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۷	۰/۲	۰/۱	-۰/۷	-۰/۷	-۰/۵
ضریب تغییرات	۱۵	۹/۹	۱۱/۱	۹/۳	۱۳/۴	۲۹/۸	۱۱۵/۳	۹۰/۹
میانگین یخبندان ملایم	۰	۰	۰	۰	۰	۷	۷	۵
میانگین یخبندان متوسط	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۳	۷
میانگین یخبندان شدید	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۱۵

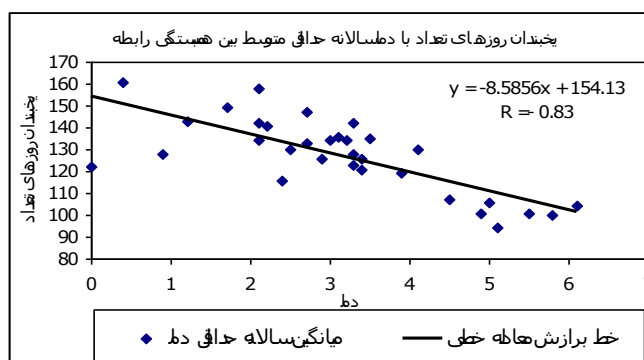
طی سالهای اخیر روند متعادل‌تری نسبت به گذشته داشته است. و نکته قابل توجه این است که میانگین حداقل دمای سالانه در سال ۱۹۹۲ به ۰/۴ درجه سلسیوس رسیده است، که به عنوان

شکل (۳) نیز نشان‌دهنده روند تغییرات سالانه حداقل دما در ایستگاه سقز می‌باشد، بطوری که در سال ۱۹۸۶ حداکثر دما و در سال ۱۹۹۲ حداقل دما رخ داده است. و روند تغییرات دما

کمترین میانگین حداقل دمای سالانه در ایستگاه مورد مطالعه بوده است. همچنین یک رابطه همبستگی بین تعداد روزهای یخبندان و حداقل های دما در طی دوره آماری گرفته شد و نتایج نشان داد که با افزایش حداقل دما از تعداد روزهای یخبندان کاسته می شود. و همبستگی فوق در سطح ۱٪ معنادار می باشد (شکل ۴).



شکل (۳): تغییرات میانگین سالانه حداقل دما در ایستگاه سقز



شکل (۴): نمودار همبستگی بین حداقل دما و روزهای یخبندان در ایستگاه سقز

مدل پیش بینی

دمای ماه سپتامبر (X_2) و حداقل دمای ماه آوریل (X_3), تاریخ آخرین یخبندان بهاره (y) را در آن سال پیش بینی کرد. در این تحقیق با انجام محاسبات همبستگی و وایزی بین تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره، حداقل دمای ماه سپتامبر، حداقل دمای آوریل و اولین یخبندان پاییزه در ایستگاه سقز، معادله خطی به صورت زیر بدست آمد که در سطح ۵٪ معنی دار می باشد: معادله شماره (۳):

$$Y = -12x_1 + 1.92x_2 + 2.42x_3 + 186.57$$

$$\text{Multiple R} = 0.65$$

$$\text{Rsquare} = 0.42$$

$$B = 9.82$$

شایان ذکر است که Multiple R ضریب همبستگی چندگانه، Rsquare ضریب تعیین و B خطای معیار تخمین می باشد. طبق معادله خطی فوق برای ایستگاه سقز، با توجه به اینکه اولین یخبندان پاییزه (X_1) در سال ۲۰۰۸ در روز ۱۳۵م (۱۶

از آنجا که پیش بینی یخبندان در بسیاری از امور روزمره در فصل سرد می تواند مهم باشد، لذا در این تحقیق برای پیش بینی رخداد یخبندان دیررس بهاره آزمون همبستگی انجام شد. که در آن تاریخ آخرین یخبندان بهاره به عنوان متغیر تابع و اولین یخبندان پاییزه، حداقل دمای ماه سپتامبر و حداقل دمای ماه آوریل به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. فرم کلی معادله به صورت زیر است:

معادله شماره (۲):

$$Y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + d$$

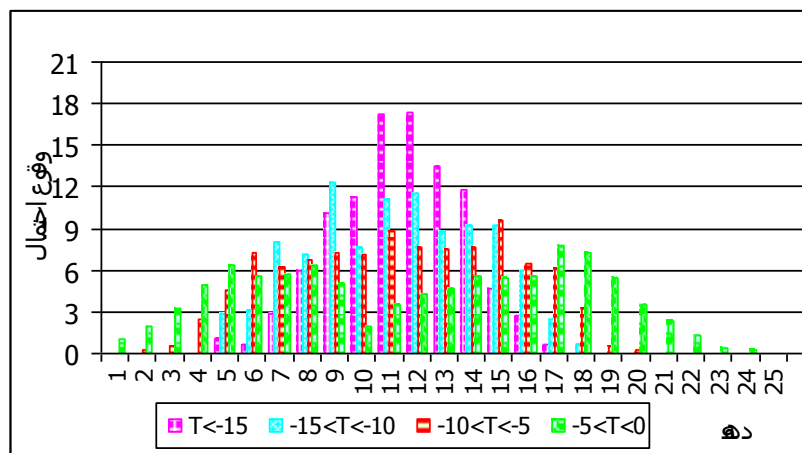
در این معادله X_1 تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و X_2 حداقل دمای ماه سپتامبر و X_3 حداقل دمای ماه آوریل و a, b, c, d به عنوان ضرایب ثابت می باشند. براساس این رابطه می توان با داشتن تاریخ اولین یخبندان پاییزه (X_1), حداقل

تغییرات احتمال وقوع آستانه‌های دمایی بین صفر و ۱۵- درجه سلسیوس طی دهه‌های مختلف سال براساس آمار ۳۲ ساله ایستگاه سقز در جدول (۳) نشان داده شده است.

آبان)، حداقل دمای ماه سپتامبر ۱۱/۴ و حداقل دمای ماه آوریل ۲/۶ بوده است پیش‌بینی می‌شود که تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره (y) در روز ۲۱۱ ام (۱۱ اردیبهشت) باشد. جهت تجزیه و تحلیل دقیق‌تر و مناسب‌تر، سال به ۳۶ دهه بر طبق تقویم ژولیوسی و از اول اکتبر تقسیم شده است که

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

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



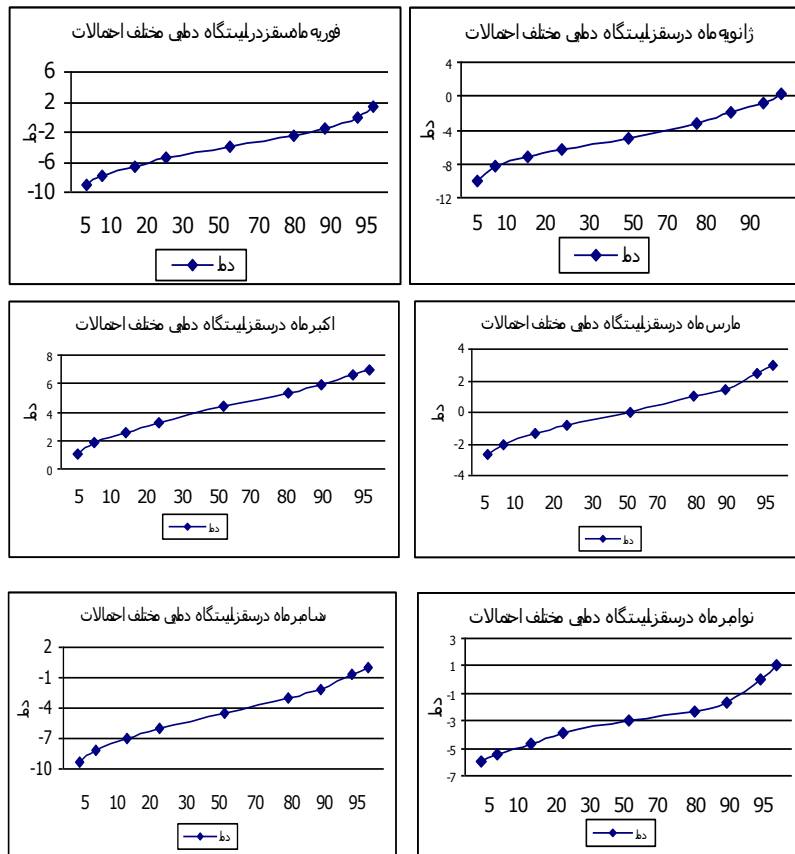
شکل (۴): احتمالات وقوع آستانه‌های دمایی یخبندان‌های مختلف در ایستگاه سقز

با توجه به این که آگاهی از رخداد آستانه‌های یخبندان در هر منطقه از اهمیت بالایی بخصوص در بخش کشاورزی برخوردار است بطوریکه پیش‌بینی آن از بروز خسارات احتمالی جلوگیری می‌کند، لذا احتمالات حداقل دماهای ایستگاه مورد مطالعه با استفاده از تابع توزیع نرمال محاسبه

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 می‌باشد. در شکل (۴) احتمال وقوع بازه‌های دمایی یخبندان‌های مختلف را در ایستگاه سقز نشان داده شده است.

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 گردیده است.

گردید. شکل (۵) احتمالات مختلف دمایی ایستگاه سقز را طی ماههای زمستان و پاییز نشان می‌دهد. به عنوان مثال در نمودار مربوط به ژانویه نشان داده شده است که با احتمال ۵٪ حداقل دما در این ماه به حدود ۱۰- و کمتر از آن خواهد رسید و یا به احتمال ۹۰٪ حداقل دما در ماه ژانویه به صفر و کمتر از آن



شکل (۵): احتمالات مختلف دمایی ایستگاه مورد مطالعه در ماههای سرد سال

ماههای ژانویه، فوزیه، نوامبر، دسامبر و مارس و یخبندانهای ملایم بیشتر در مارس، اکتبر، نوامبر و آوریل رخ می‌دهند (جدول ۲). 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 می‌باشد. این روند در دما که عجیب می‌نماید بدلیل کاهش مشخص دما از سال ۱۹۸۶ تا ۱۹۸۹ می‌باشد که در مورد تعداد روزهای یخبندان نیز مشخص است. ولی 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

نتیجه گیری

طی مطالعه و واکاوی داده‌های دما و روزهای یخبندان ایستگاه سقز طی ۳۲ سال اخیر مشخص گردید که دمای حداقل ایستگاه مذکور طی دو دهه اخیر روند افزایشی داشته است که در ۵ سال اخیر این روند شدیدتر بوده است که این خود نشان دهنده اثرات گرم شدن کره زمین بطور طبیعی یا تحت تاثیر فعالیتهای انسانی می‌باشد. البته خشکسالیهای اخیر نیز می‌تواند در این افزایش دما تأثیر داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که یخبندانهای شدید در ایستگاه سقز اکثراً در ماههای ژانویه، فوریه و دسامبر یخبندانهای متوسط بیشتر در

۸. مجرد قره باغ، فیروز، (۱۳۷۶)، تحلیل و پیش بینی یخبندان در آذربایجان. رساله دکترا. دانشگاه تربیت مدرس تهران.
۹. مجرد قره باغ، فیروز، (۱۳۷۹)، شاخص های یخبندان، مجموعه مقالات دومین همایش سرما و یخ زدگی گیاهان زراعی و باغی کشور. تهران.
۱۰. محمدی، حسین، (۱۳۸۵)، آب و هواشناسی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول، ص ۹۹.
۱۱. هاشمی، فریدون، (۱۳۴۸)، تجزیه و تحلیل استاتیستیکی از سرمای تهران. انتشارات تحقیقات و بررسی علمی هواشناسی کل کشور.
12. Bootsma, A(1976). Estimating Minimum Temperature and Climatologic freeze risk in hilly terrain. Agricultural Meteorology, 16.
13. Hom, H., C., S., (1959), The Distribution of Freezing Data and Years, mon. Wea.
14. Karl, T., R., (1998), A Regional Trends and Variation of Temperature and Precipitation in The Impacts of Climate change, Cambridge University Press.
15. Oliver, J. E. and Fairbridge, R. W. (1998). "The encyclopedia of climatology" van Nostrand Reinhold, New York, USA. P124.
16. Rosenberg, N. J. and Myers, R. E(1962). The nature of growing Season Frost in Nebraska. Monthly Weather Review, 90.
17. Show, R. H(1954), Leaf and Air Temperature Under Freezing Condition. Plant Physiology, 29.
18. Thom, H. C. and Show, R. H(1985), Climatologic Analysis of Freezing Data for Iowa. Monthly Weather Review, 86.
- افزایشی و تعداد روزهای یخبندان کاهش می‌یابد. 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 حداقل دمای ماه آوریل همان سال با توجه به رابطه بدست آمده همبستگی معناداری وجود دارد. به طوری که هرچه یخبندان‌های بهاره زودتر خاتمه یافته و نیز حداقل دماهای ماههای سپتامبر و آوریل بالا باشند می‌توان انتظار داشت که یخبندان‌های پاییزه دیرتر شروع می‌شوند و بالعکس. طبق معادله خطی بدست آمده برای ایستگاه سقز، با توجه به اینکه اولین یخبندان پاییزه (X_1) در سال ۲۰۰۸ در روز ۳۵م (۱۶ آبان)، حداقل دمای ماه سپتامبر ۱۱/۴ و حداقل دمای ماه آوریل ۲/۶ بوده است پیش بینی می‌شود زمان وقوع آخرین یخبندان بهاره (y) در روز ۲۱۱م (۱۱ اردیبهشت) باشد. همچنین، مشخص گردید که زودترین یخبندان پاییزه در روز ۲م در سال ۲۰۰۲ و دیرترین یخبندان بهاره در روز ۲۴۷م در سال ۲۰۰۲ رخ داده است.

منابع

۱. بهبودیان، جواد، (۱۳۸۲)، آمار و احتمال مقدماتی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ هجدهم.
۲. توکلی، محسن و حسینی، مهرداد، (۱۳۸۵)، ارزیابی شاخص های یخبندان و شروع پاییزه آن در ایران (مطالعه موردی ایستگاه اکباتان همدان). مجله علمی نیوار. صص ۶۱ - ۶۰.
۳. رحیمی، محمد، (۱۳۷۸): بررسی احتمال زمانی وقوع یخبندانهای دیرس بهاره و زودرس پاییزه در البرز مرکزی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
۴. رضایی، عبدالمجید، (۱۳۸۱)، مفاهیم آمار و احتمالات، نشر مشهد، چاپ سوم.
۵. سازمان هواشناسی کشور، (۱۳۸۷)، آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک سقز (استان کردستان).
۶. علیجانی، بهلول و هژبرپور، قاسم، (۱۳۸۶)، تحلیل هم‌دید یخبندانهای استان اردبیل. جغرافیا و توسعه، صص ۴۱-۵۷.
۷. علیزاده، امین، (۱۳۸۶)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ بیست و دوم، صص ۶۸۲.

