تهیه اطلس یخبندان‌های پاییزه و زمستانه در استان سیستان و بلوچستان

ندا کیخا[۱]، معصومه دلبری*[۲]، پریسا کهخامقدم[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب- گروه مهندسی آب- دانشکده آب و خاک- دانشگاه زابل

۲- دانشیار گروه مهندسی آب-دانشکده آب و خاک- دانشگاه زابل

۳- مربی گروه مهندسی آب- دانشکده آب و خاک- دانشگاه زابل

(دریافت: ۹۵/۰۶/۳۰، پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۸)

چکیده

از مهمترین بلایای طبیعی که تهدیدکننده محصولات کشاورزی است، سرمازدگی است. لذا تعیین تاریخ وقوع یخبندان و دمای کمینه برای محافظت گیاهان در مقابل تنش سرمایی حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش تهیه اطلس تاریخ وقوع یخبندان در استان سیستان و بلوچستان است. اطلاعات مورد استفاده شامل آمار دمای کمینه روزانه ۱۴ ایستگاه همدید (سینوپتیک) و تبخیرسنجی بود. محدوده دمای بین ۰ و ۲- درجه سلسیوس به عنوان یخبندان ملایم، ۲- و ۴- به عنوان یخبندان متوسط و کمتر از ۴- به عنوان یخبندان شدید در نظر گرفته شد. اولین و آخرین روزی که در آن نسبت به روز مبنا (در اینجا اول مهرماه)، سرماهای پاییزه و زمستانه رخ می‌دهد، یادداشت شده و تاریخ وقوع کمترین دمای کمینه نیز تعیین شد. سپس بهترین تابع توزیع تاریخ‌های وقوع به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SMADA 6 بر اساس کمینه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تعیین شد. در نهایت نقشه‌های خطوط هم‌مقدار تاریخ وقوع یخبندان‌های پاییزه و زمستانه با احتمال وقوع ۷۰ درصد در محیط GIS ترسیم شد. نتایج نشان داد تنوع دمایی در استان گسترده است به‌طوری‌که با وجود وقوع یخبندان‌های پاییزه و زمستانه، در برخی ایستگاه‌ها با قاطعیت می‌توان گفت یخبندانی اتفاق نخواهد افتاد. بر اساس نتایج، عمده یخبندان‌های ملایم، متوسط و شدید پاییزه در بازه زمانی روزهای ۷۰ تا ۹۰ (از اول مهرماه) اتفاق می‌افتد. البته در خصوص یخبندان‌های زمستانه نمی‌توان با اطمینان چنین بازه‌ای را تعیین کرد چراکه بازه گسترده‌ای از ابتدا تا انتهای فصل زمستان را به خود اختصاص داد. بررسی نتایج به‌دست آمده از دماهای کمینه مطلق ثبت شده در ایستگاه‌های منتخب نشان داد که در ایستگاه‌های جنوبی‌تر استان (چابهار، باهوکلات و پیشین) دمای کمتر از صفر طی دوره‌های آماری به‌وقوع نپیوسته و در سایر ایستگاه‌ها این پدیده به‌طور عمده طی روزهای ۱۰۰ تا ۱۲۵ رخ خواهد داد. به‌عبارت دیگر در این ایستگاه‌ها هر ساله در ماه‌های دی و بهمن انتظار وقوع یخبندان‌های زمستانه وجود دارد.

کلمات کلیدی: دمای کمینه، سرمازدگی، یخبندان شدید، یخبندان متوسط، یخبندان ملایم، سیستان و بلوچستان.

مقدمه

انسان همواره از ابتدای خلقت در پی به‌دست آوردن منابع غذایی مناسب و مطمئن به‌منظور حفظ حیات خود بوده‌است. در قرون اخیر شکوفایی علم در بسیاری از زمینه‌ها از جمله کشاورزی و هوا اقلیم به بهبود کیفیت زندگی انسان خدمات شایانی نموده‌است. یکی از مهمترین بلایای طبیعی که منشأ اقلیمی داشته و اغلب محصولات کشاورزی به‌ویژه محصولات باغی و زراعی را تهدید می‌کند خطر سرمازدگی یا یخبندان‌های زمستانه، زودرس پاییزه و دیررس بهاره است. یخبندان با پایین آمدن دما و نزول آن به آستانه بحرانی مشخص شروع می‌شود و با تأثیراتی که در سطح زمین ایجاد می‌کند، زندگی انسان‌ها و همچنین فعالیت‌های عمرانی و رشد و بازدهی محصولات زراعی و باغی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یخبندان‌ها با توجه به منشأ پیدایش‌شان به انواع مختلفی همچون تشعشعی، انتقالی و تبخیری تقسیم می‌شوند که هر کدام ویژگی‌های خاص خود را دارند. با توجه به وضعیت جغرافیایی کشور و ارتفاع به‌نسبت بالای بیش‌تر مناطق آن از سطح دریا و ورود جبهه‌های متفاوت به کشور، وقوع سرما و یخبندان هر ساله بیش‌تر نقاط کشور و در برخی از سال‌ها حتی قسمت‌های جنوبی آن را در بر می‌گیرد و خسارات زیادی را به بار می‌آورد. برای نمونه می‌توان به یخبندان بهاره اردیبهشت ماه ۱۳۶۸ اشاره کرد که حدود یک هفته قسمت‌هایی از شمال و غرب کشور را در بر گرفت و حدود یک میلیارد و چهارصد میلیون تومان خسارت به بار آورد. از این‌رو محافظت گیاهان در مقابل تنش سرمایی وارده یکی از موضوعات پراهمیت در کشاورزی است.

* نگارنده رابط: masoomeh.delbari@uoz.ac.ir

پیشینه تحقیق

بروز یخبندان‌های غیرمترقبه در استان سیستان و بلوچستان طی ادوار گذشته باعث ایجاد خسارات زیادی به محصولات باغی و زراعی و حتی حیوانات اهلی در این منطقه شده است. از آنجایی‌که شغل بسیاری از مردم استان سیستان و بلوچستان، کشاورزی است، می‌بایست برنامه‌ریزی مدونی در این زمینه صورت گیرد که میزان خسارت به بخش کشاورزی حتی در سخت‌ترین شرایط و رخدادهای طبیعی غیرقابل پیش‌بینی در منطقه کمینه شود. بررسی روند تغییرات دما کاری پیچیده و زمان‌بر بوده و مستلزم داشتن داده‌های آماری بلندمدت است. با بررسی‌های مدون و تحلیل‌های دقیق علمی برای یک دوره زمانی بلندمدت، می‌توان الگوی مناسبی جهت پیش‌بینی وقوع یخبندان در بازه‌های زمانی مختلف در یک سال داشت. بررسی آثار سرمازدگی و تلاش برای پیشگیری آن از دیدگاه اقتصادی کاملاً توجیه‌پذیر است به‌طوری‌که از دیدگاه شمار زیادی از پژوهشگران، تأثیر مثبت این‌گونه پژوهش‌ها در اقتصاد، سیاست و خدمت به همنوعان شایان توجه است.

در طی نیم‌قرن گذشته، مطالعات مختلفی در رابطه با رخداد یخبندان از نظر تاریخ وقوع، عوامل پیدایش یخبندان و ارتباط آن با سایر متغیرهای جغرافیایی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای پژوهشگران نشان دادند که تاریخ‌های وقوع یخبندان‌ها تصادفی‌اند و از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. آن‌ها همچنین دریافتند که در منطقه مورد مطالعه تاریخ‌های وقوع سرمازدگی تصادفی و از نظر آماری نیز این مطلب را تایید نمودند. در پژوهشی که در استرالیا صورت گرفت نشان داده شد که برای اکثر نقاط منطقه مورد مطالعه، احتمال وقوع سرمازدگی در دمای ۶ درجه سلسیوس (دماهای بزرگتر و نزدیک به صفر) بسیار کم و در دماهای کمتر از صفر درجه سلسیوس زیاد است. پژوهشگرانی در استرالیا، یکی از مناطق گندم‌خیز را براساس پنج ویژگی یخبندان به چهار ناحیه همگن تقسیم نمودند. در بین عوامل مؤثر بر یخبندان، عامل ارتفاع مهم‌ترین تشخیص داده شد. تعیین خطرپذیری و خطرات ناشی از وقوع یخبندان علاوه بر اطلاعات مربوط به دمای هوا به فنولوژی گیاه نیز بستگی دارد چرا که درجه مقاومت گیاهان به سرما و یخبندان متفاوت است. در پژوهشی دماهای سرمازدگی اکثر گیاهان، میوه‌ها و گل‌ها را بر پایه محاسبات آزمایشگاهی به تفصیل بیان شد. در مطالعه‌ای پژوهشگران گیاهان را بر طبق توانایی آن‌ها به تحمل دماهای کم در مراحل مختلف به ۵ دسته گیاهان با مقاومت بسیار زیاد، گیاهان مقاوم، گیاهان نیمه مقاوم، گیاهان با مقاومت کم و گیاهان حساس تقسیم‌بندی کرده است.

از جمله راه‌های پیش‌بینی رویدادهای اقلیمی استفاده از روش‌های تجربی، رجوع به داده‌های هواشناسی ثبت شده در سال‌های گذشته و استفاده از اطلاعات موجود است. هر چند که رخدادهای اقلیمی در بسیاری از موارد از قانون خاصی پیروی نمی‌کنند، اما در مواردی استفاده از اطلاعات موجود می‌تواند روند پیش‌بینی را به واقعیت نزدیک نماید و هر چه بازه زمانی داده‌های موجود وسیع‌تر و داده‌ها از دقت بیشتری برخوردار باشند در میزان صحت پیش‌بینی‌ها تأثیر مثبت خواهد داشت. یکی از اصول اولیه در پیش‌بینی سرمازدگی یافتن راهی برای تخمین دمای کمینه است. در مطالعات متعددی به پهنه‌بندی دمای کمینه در سوئد پرداخته شده است.

به‌عنوان مثال در سال ۱۹۹۵، منطقه‌ای به مساحت ۸۰ کیلومتر مربع را مورد مطالعه قرار گرفت و از کریجینگ برای پهنه‌بندی مقادیر دمای هوا استفاده شد. همانطوری‌که انتظار می‌رفت مناطق با دماهای پایین در ته دره‌ها و مناطق گرم‌تر در ارتفاعات مشاهده شدند. همچنین در سال ۲۰۰۰، به اندازه‌گیری و مدل‌سازی الگوی یخبندان در مناطق کوهستانی سوئد پرداخته شد. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که یخبندان‌ها به‌طور عمده در دره‌ها و گاهاً در مناطق مرتفع با شکل محدب دیده می‌شوند. در پژوهشی در ایتالیا خطرپذیری یخبندان را در منطقه‌ای به مساحت ۲۲۰۰۰ کیلومتر مربع بررسی شد. نتایج نشان داد در اراضی تپه‌ای، ارتباط قوی بین میانگین کمینه دما در طی رخداد یخبندان و ارتفاع نسبی بالای کف دره و میزان نزدیکی به دریا وجود دارد. در این تحقیق الگوی یخبندان پهنه‌بندی شده و

خطرپذیری یخبندان بر اساس ترکیبی از عوامل دما و گیاه تعیین شد. پژوهشگرانی به مقایسه و پیش‌بینی کارایی مدل‌های آب-شناختی سری‌های زمانی در جمهوری چک پرداختند که نتایج آنها کارایی بالای مدل‌های مذکور را در پیش بینی فرآیندهای آب‌شناختی بیان می‌کند.

در ایران نیز مطالعات یخبندان در استان‌های مختلفی مانند مناطقی از استان خراسان، آذربایجان، فارس، زنجان و سیستان صورت گرفته است. همچنین پژوهشگران دیگری در سال ۱۳۸۷، به بررسی طول دوره بدون یخبندان با استفاده از تاریخ-های شروع و خاتمه یخبندان در ایستگاه‌های زنجان، قزوین و تهران پرداختند. در سال ۱۳۸۸، محققین دیگری به بررسی و پهنه‌بندی یخبندان‌های زود هنگام پاییزه، دیر هنگام بهاره و زمستانه با استفاده از GIS در استان خراسان رضوی پرداختند. تأثیر یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره بر عملکرد گندم دیم در استان کرمانشاه، مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج حاکی از کاهش بیشتر عملکرد گندم در اثر یخبندان-های بهاره (مراحل خوشه‌دهی و گل‌دهی) نسبت به یخبندان‌های پاییزه (مرحله جوانه‌زنی) بود. در سال ۱۳۹۴ پژوهشگران با استفاده از آمار دمای کمینه روزانه، در ۶۲ ایستگاه هواشناسی برای یک دوره ۱۵ ساله اقدام به تهیه اطلس اقلیمی ویژگی‌های یخبندان‌های کشور ایران در محیط نرم‌افزار GIS نمودند. همچنین پهنه کشور بر اساس آرایش ویژگی آماری یخبندان، به شش ناحیه متفاوت تقسیم شد. هر چند مطالعات مختلفی در برخی استان‌های کشور در رابطه با تعیین تاریخ وقوع یخبندان-های زودرس پاییزه و دیررس بهاره صورت گرفته است، تاکنون مطالعه جامعی در استان سیستان و بلوچستان انجام نشده است.

بنابراین با توجه به اهمیت بخش کشاورزی در امرار معاش مردم این استان، در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از داده‌های آماری موجود، اطلس تاریخ وقوع یخبندان در استان سیستان و بلوچستان تهیه شود.

منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان با مساحت حدود ۱۸۱۴۷۱ کیلومتر مربع در عرض جغرافیایی °۲۵ و ′۳ تا °۳۱ و ′۲۷ شمالی و طول جغرافیایی °۵۸ و ′۵۰ تا °۶۳ و ′۲۱ شرقی قرار گرفته است. در وضعیت هواشناسی این منطقه بادهای شدید موسمی، طوفان شن، رگبارهای سیل‌آسا، رطوبت زیاد و مه صبحگاهی پدیده‌ای قابل توجه است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی گرم و خشک و در بعضی نقاط گرم و معتدل است. میانگین بلند مدت بارندگی سالانه و تبخیر ماهانه در استان به ترتیب برابر با ۷۳/۱۰۳ و ۱۲۰ میلی‌متر است. میانگین تعداد روزهای با دمای بالای ۳۵ درجه سلسیوس ۱۱۱ روز در سال است. استان سیستان و بلوچستان دارای تابستان‌های گرم و طولانی و زمستان‌های کوتاه است. عمدهٔ بارندگی در زمستان صورت می‌گیرد. این ناحیه دو فصل متمایز زمستان با دما معتدل و خنک در ماه‌های آذر، دی و بهمن و تابستان گرم در بقیه فصل‌های سال دارد. مهم‌ترین محصولات زراعی و باغی استان، گندم، جو، خربزه، هندوانه، مرکبات و صیفی‌جات است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور استخراج اطلس یخبندان در استان سیستان و بلوچستان از داده‌های دمای کمینه روزانه ۱۴ ایستگاه استفاده شده است که سعی شده انتخاب ایستگاه‌ها با پراکنش یکنواخت و از نقاط مختلف استان صورت گیرد. هفت ایستگاه مربوط به ایستگاه‌های همدید از سازمان هواشناسی و هفت ایستگاه مربوط به ایستگاه‌های تبخیر سنجی از شرکت آب-منطقه‌ای استان است. بدیهی است که داشتن آمار بلند مدت منجر به استحصال نتایج دقیق‌تری می‌گردد، اما به‌دلیل تازه تأسیس بودن، در برخی از ایستگاه‌ها آمار طولانی‌مدت در دسترس نبود؛ لذا طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۱۰ تا ۴۰ سال تا سال ۱۳۹۱ است. مشخصات جغرافیایی و طول دوره آماری مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی و تبخیرسنجی به‌ترتیب در جداول (۱) و (۲) آمده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی استان سیستان و بلوچستان متعلق به سازمان هواشناسی

شماره	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	طول دوره (سال)
۱	چابهار	۲۴۸۱۵۳	۲۷۹۳۱۲۸/۱	۲۷
۲	ایرانشهر	۲۷۲۱۴۰/۴	۳۰۰۸۸۳۱/۴	۴۰
۳	خاش	۳۲۳۳۵۸/۵	۳۱۲۲۵۱۶/۲	۲۵
۴	سراوان	۴۳۴۰۵۱/۸	۳۰۲۳۵۳۲	۲۵
۵	زابل	۳۵۵۵۳۰/۳	۳۴۵۴۶۰۵/۶	۲۹
۶	زهک	۳۷۴۱۶۶/۸	۳۴۱۹۲۶۲/۱	۱۷
۷	زاهدان	۲۹۴۷۴۵	۳۲۶۱۵۵۵/۷	۳۰

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی استان سیستان و بلوچستان متعلق به وزارت نیرو

شماره	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	طول دوره (سال)
۱	باهوکلات	۳۴۱۸۶۴	۲۸۴۶۲۵۰	۱۰
۲	گلمورتی	۱۴۳۲۸۸/۵	۳۰۳۹۳۴۰/۷	۱۰
۳	هوشک	۴۲۹۵۱۴	۳۰۳۱۲۳۵	۱۰
۴	ایرافشان	۳۸۷۹۴۲	۲۹۴۹۳۷۸	۱۰
۵	جالق	۴۷۳۵۱۶/۸	۳۰۵۴۷۰۰	۱۰
۶	نصرت‌آباد	۲۰۷۲۶۱/۴	۳۳۱۰۲۷۴/۹	۱۰
۷	پیشین	۳۷۸۰۶۸/۷	۲۸۸۵۷۴۶	۱۰

آماده‌سازی داده‌ها

ابتدا کلیه داده‌های موجود بر اساس ۱۲ ماه سال به تفکیک مرتب شدند. به عنوان مثال برای دوره آماری ۳۰ ساله، ۳۰ دوره مهر ماه به‌ترتیب پشت سرهم ردیف شدند. بدیهی است که در تابستان یخبندان رخ نخواهد داد، پس ۳ ماه تیر، مرداد و شهریور از بررسی‌ها حذف شدند. از آنجایی که سال آبی از اول مهر ماه شروع می‌شود به روز اول مهر ماه شماره یک تعلق گرفت و به تمام روزهای مورد بررسی بر اساس فاصله زمانی آن تا اول مهر ماه، شماره‌ای اختصاص داده شد که این شماره در هر سال طی دوره‌های آماری تکرار شد. به عنوان مثال روز ۱۵ آبان، با شماره ۴۵ نامگذاری شد. سپس در هر ایستگاه به تفکیک هر ماه با استفاده از نرم‌افزار SPSS نمودار جعبه‌ای رسم شده و داده-

های پرت مشخص و حذف شدند. پس از حذف داده‌های پرت آزمون همگنی داده‌ها در نرم‌افزار SPSS بررسی شد و معنی‌دار بودن داده‌ها با استفاده از آزمون ران[1] مشخص شد.

تعیین تاریخ وقوع یخبندان و دمای کمینه در ایستگاه‌های مختلف استان

یخبندان‌ها را می‌توان به سه گروه سرمازدگی دیررس بهاره، یخبندان زودرس پاییزه و زمستانه تقسیم نمود. در این پژوهش محدوده‌های دمای صفر الی ۲- درجه سلسیوس به عنوان سرما یا یخبندان ملایم، محدوده ۲- الی ۴- درجه سلسیوس به‌عنوان سرما یا یخبندان متوسط و محدوده کمتر از ۴- درجه سلسیوس به‌عنوان سرما یا یخبندان شدید در نظر گرفته شده است. با مشاهده آمار ثبت شده و پس از تفکیک ۱۲ ماه سال طی دوره آماری و حذف به یقین ۳ ماهه تابستان و پس از حذف داده‌های پرت، اولین و آخرین روزی که در آن هرکدام از محدوده دما یخبندان‌های ملایم، متوسط و شدید پاییزه و زمستانه اتفاق افتاده بود (نسبت به اول مهر ماه)، یادداشت شد. همچنین تاریخ وقوع کمترین دمای کمینه نسبت به اول مهر ماه مشخص شد. سپس تاریخ‌های وقوع به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SMADA 6 بر توابع توزیع مختلف (شامل توزیع نرمال، لوگ نرمال دو و سه پارامتری، گامبل، پیرسون تیپ ۳ و لوگ پیرسون تیپ ۳) برازش شد و بهترین تابع توزیع بر اساس معیار آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) انتخاب شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x - x_i)^2}{n}} \qquad (۱)$$

که در آن: x_i: مقدار محاسبه شده، x: مقدار واقعی و n: تعداد داده‌ها است. سپس احتمال وقوع رخداد مورد نظر با دوره برگشت و احتمال وقوع مختلف توسط نرم‌افزار SMADA 6 تخمین زده شد. قابل ذکر است نرم‌افزار SMADA 6، یک نرم‌افزار هیدرولوژی است که چندین زیر برنامه دارد. آنالیز همبستگی و توزیع‌های آماری از جمله زیر برنامه‌های آن است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

ترسیم نقشه‌های خطوط هم مقدار تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان و کمترین دمای کمینه مطلق استان

پس از تحلیل نتایج حاصل از نرم‌افزار SMADA 6، شماره روزهایی که احتمال وقوع آن‌ها با دوره بازگشت ۳ ساله، ۷۰ درصد بود استخراج شد. سپس آن شماره روزها با توجه به هر دسته‌بندی برای کلیه ایستگاه‌ها ثبت شده و با ثبت مختصات هر ایستگاه در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه‌های خطوط هم‌مقدار ترسیم شد. همچنین نقشه خطوط هم‌مقدارکمترین دمای کمینه در استان ترسیم شد.

بحث و نتایج

بر اساس یافته‌های این پژوهش مشخص شد که آمار مربوط به تاریخ‌های وقوع یخبندان‌های پاییزه و زمستانه به‌طور عمده از توزیع (لوگ) پیرسون نوع ۳ تبعیت می‌کنند. پس از آن، توزیع‌های نرمال و لوگ نرمال دو پارامتری بیشترین فراوانی را در بین بهترین توزیع‌های به‌دست آمده داشتند. همچنین توزیع فراوانی کمترین دماهای کمینه نیز اغلب از توزیع پیرسون نوع ۳ تبعیت می‌کرد. بر اساس مدل بهترین توزیع فراوانی، تاریخ‌های وقوع یخبندان‌های پاییزه و زمستانه با احتمال وقوع ۷۰ درصد و دوره بازگشت سه ساله در هر یک از ایستگاه‌های همدید و تبخیر سنجی استان سیستان و بلوچستان به‌دست آمد که نتایج حاصله به‌ترتیب در جداول ۳ و ۴ آمده‌است. در این جداول طول دوره یخبندان‌های مورد نظر (فاصله زمانی بین اولین و آخرین روز وقوع یخبندان) نیز ارائه شده است. خانه‌های خالی در این جداول بیانگر عدم وجود محدوده دماهای ذکر شده در ایستگاه مورد نظر است. همانطوری که در جداول (۳) و (۴) مشاهده می‌گردد روند مشخصی بین تاریخ‌های وقوع یخبندان‌ها مشاهده نمی‌گردد یعنی در یک سال اولین (یا آخرین) روز وقوع یخبندان شدید پاییزه ممکن است زودتر از اولین (یا آخرین)

1- Run test

روز وقوع یخبندان ملایم پاییزه رخ دهد. از بین ۱۳ ایستگاه مورد بررسی، اولین یخبندان پاییزه و زمستانه در ایستگاه زاهدان و به‌ترتیب ۶۳ و ۹۷ روز نسبت به اول مهر ماه اتفاق خواهد افتاد. یکی از پارامترهای مهم در یخبندان طول دوره یخبندان است و با توجه به آن طول فصل رشد مشخص می‌شود. تداوم یخبندان چه در مقیاس ساعتی و چه در مقیاس روزانه اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌عنوان مثال، موقعی که دما به‌مدت ۴ الی ۵ ساعت به کمتر از صفر درجه سلسیوس یا به‌مدت چند دقیقه به ۲/۲- درجه سلسیوس یا پایین‌تر تنزل یابد، خسارات فراوانی به بافت‌های برگ، ساقه و پوست گیاهان وارد می‌شود. بیشترین طول دوره یخبندان در ایستگاه زاهدان به تعداد ۲۴ و ۶۹ روز و بعد از آن ایستگاه خاش به تعداد ۱۸ و ۶۱ روز به‌ترتیب برای یخبندان‌های ملایم پاییزه و زمستانه مشاهده شد.

نتایج مربوط به تاریخ وقوع یخبندان‌های پاییزه و زمستانه در ایستگاه‌های همدید و تبخیر سنجی که در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است به نرم‌افزار ArcGIS منتقل شد و نقشه خطوط هم‌مقدار اولین و آخرین روز وقوع یخبندان‌های ملایم، متوسط و شدید پاییزه و زمستانه و کمترین دمای کمینه ترسیم شد (شکل‌های ۱ تا ۷). در ادامه به تفسیر این نقشه‌ها پرداخته خواهد شد.

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده و با توجه به شکل‌های ۱ (الف) و ۲ (الف)، امکان وقوع یخبندان ملایم و متوسط پاییزه در عرض‌های پایین‌تر شامل ایستگاه‌های چابهار، باهوکلات، ایرافشان، جالق و پیشین به احتمال ۷۰ درصد وجود ندارد.

تاریخ وقوع اولین یخبندان متوسط پاییزه در سایر ایستگاه‌ها به احتمال ۷۰ درصد بین روزهای ۷۲ تا ۸۶ یعنی ۱۲ تا ۲۶ آذر ماه است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل نقشه خطوط هم‌مقدار به‌دست‌آمده مربوط به اولین یخبندان شدید پاییزه (شکل ۳ (الف)) حاکی از آن است که در ایستگاه‌های چابهار، ایرانشهر، باهوکلات، گلمورتی، ایرافشان، جالق و پیشین، یخبندان شدید بروز نخواهد کرد و از طرفی بازه زمانی وقوع این پدیده در سایر ایستگاه‌ها (که شمال و مرکز استان مورد مطالعه را تحت پوشش قرار می‌دهند) بین روزهای ۷۷ تا ۸۹ (۱۷ تا ۲۹ آذرماه) است. ضیایی و همکاران نیز گزارش کردند که در عرض‌های پایین‌تر قسمت‌های مختلف استان فارس، احتمال وقوع یخبندان کاهش می‌یابد. گندم در استان سیستان و بلوچستان، عمده‌ترین محصول زراعی است. در اولین یخبندان پاییزه گندم و جو دیم در مرحله سبز شدن و استقرار و گندم و جو آبی در مرحله پنجه‌زنی می‌باشند. به‌منظور استقرار یک گیاهچه سالم و قوی از این غلات پاییزه باید آن‌ها را به اندازه کافی زود کشت نمود تا پیش از آن‌که دچار تنش سرما شوند، به‌خوبی استقرار یابند و یا با آبیاری قبل از یخبندان خسارت ناشی از آن را به کم‌ترین حد رساند.

جدول ۳. نتایج حاصل از بررسی یخبندان‌های پاییزه و زمستانه در ایستگاه‌های همدید با احتمال وقوع ۷۰ درصد و دوره بازگشت سه ساله

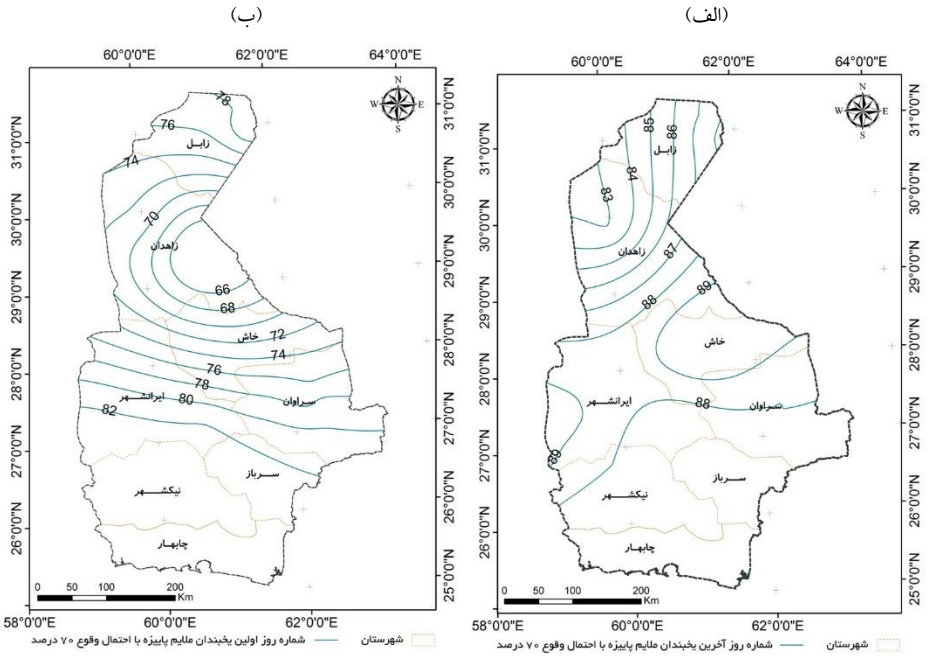
شرح	ایرانشهر	خاش	سراوان	زابل	زهک	زاهدان
شماره روز اولین یخبندان ملایم پاییزه	۸۲	۷۲	۷۹	۷۸	۷۹	۶۳
شماره روز اولین یخبندان متوسط پاییزه	۸۳	۸۰	۸۰	۸۱	۸۱	۷۲
شماره روز اولین یخبندان شدید پاییزه	_	۸۰	۸۰	۷۸	۷۸	۷۷
شماره روز آخرین یخبندان ملایم پاییزه (طول دوره-روز)	۸۷ (۵)	۹۰ (۱۸)	۸۸ (۹)	۸۷ (۹)	۸۸ (۹)	۸۷ (۲۴)
شماره روز آخرین یخبندان متوسط پاییزه (طول دوره -روز)	۸۳ (۰)	۸۳ (۳)	۸۴ (۴)	۸۵ (۴)	۸۲ (۱)	۸۶ (۱۴)
شماره روز آخرین یخبندان شدید پاییزه (طول دوره -روز)	_	۸۴ (۴)	۸۵ (۵)	۸۱ (۳)	۷۸ (۰)	۸۶ (۹)

ادامه جدول ۳

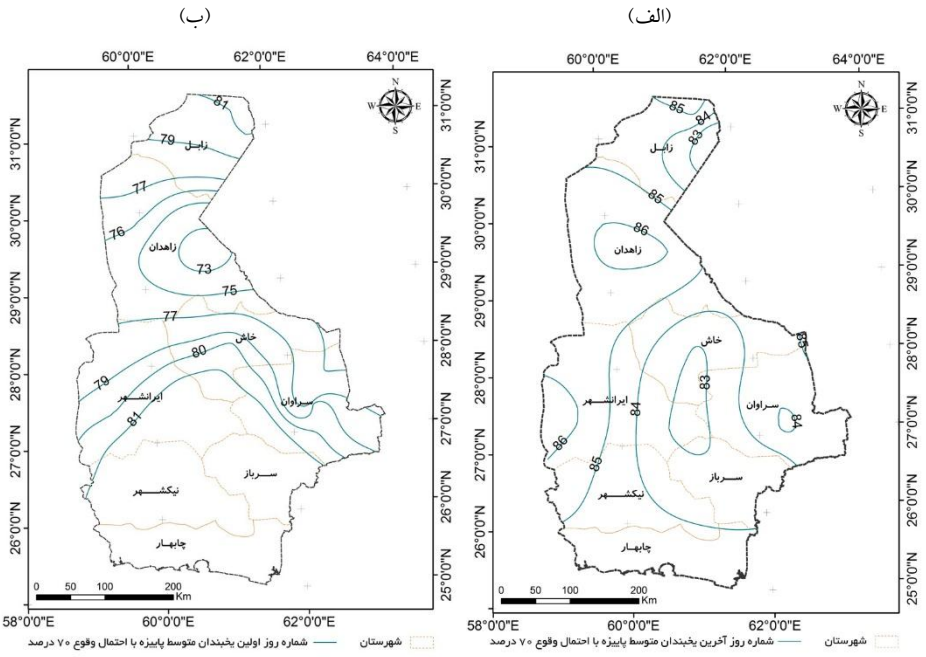
شرح	ابرانشهر	خاش	سراوان	زابل	زهک	زاهدان
شماره روز اولین یخبندان ملایم زمستانه	۱۱۹	۱۰۱	۱۰۶	۹۹	۱۰۲	۹۷
شماره روز اولین یخبندان متوسط زمستانه	۱۰۰	۱۰۶	۱۰۷	۱۰۴	۱۱۰	۹۷
شماره روز اولین یخبندان شدید زمستانه	_	۱۱۱	۱۰۸	۱۰۸	۱۱۳	۱۰۱
شماره روز آخرین یخبندان ملایم زمستانه (طول دوره -روز)	۱۴۲ (۲۳)	۱۶۲ (۶۱)	۱۵۳ ((۴۷)	۱۶۰ (۶۱)	۱۵۰ (۴۸)	۱۶۶ (۶۹)
شماره روز آخرین یخبندان متوسط زمستانه (طول دوره -روز)	_	۱۴۸ (۴۲)	۱۴۷ (۴۰)	۱۴۹ (۴۵)	۱۴۵ (۳۵)	۱۵۹ (۶۲)
شماره روز آخرین یخبندان شدید زمستانه (طول دوره -روز)	_	۱۳۲ (۲۱)	۱۴۰ (۳۲)	۱۳۳ (۲۵)	۱۳۶ (۲۳)	۱۵۲ (۵۱)
شماره روز دمای کمینه مطلق	۱۲۳	۱۱۳	۱۰۲	۱۱۷	۱۱۰	۱۰۷

جدول ٤. نتایج حاصل از بررسی یخبندان‌های پاییزه و زمستانه در ایستگاه‌های تبخیرسنجی با احتمال وقوع ۷۰ درصد و دوره بازگشت سه ساله

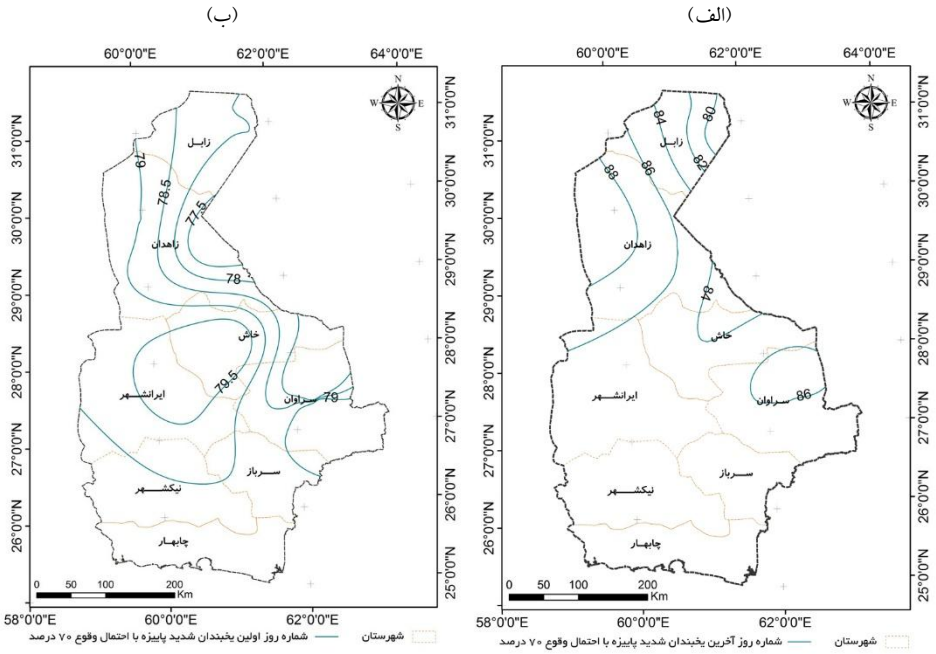
شرح	گلمورتی	هونشک	ابرافشان	جالق	نصرت آباد
شماره روز اولین یخبندان ملایم پاییزه	۸۲	۷۷	_	_	۷۱
شماره روز اولین یخبندان متوسط پاییزه	۸۰	۷۵	_	_	۷۶
شماره روز اولین یخبندان شدید پاییزه	_	۷۷	_	_	۷۹
شماره روز آخرین یخبندان ملایم پاییزه (طول دوره -روز)	۸۹ (۷)	۸۸ (۱۱)	_	_	۸۳ (۱۲)
شماره روز آخرین یخبندان متوسط پاییزه (طول دوره -روز)	۸۶ (۶)	۸۵ (۱۰)	_	_	۸۶ (۱۰)
شماره روز آخرین یخبندان شدید پاییزه (طول دوره -روز)	_	۸۷ (۱۰)	_	_	۸۹ (۱۰)
شماره روز اولین یخبندان ملایم زمستانه	۱۰۵	۱۰۰	۱۱۸	۱۲۳	۱۰۲
شماره روز اولین یخبندان متوسط زمستانه	۱۱۱	۱۰۳	۱۱۵	۱۱۵	۱۰۶
شماره روز اولین یخبندان شدید زمستانه	_	۱۰۰	۱۳۱	۱۲۷	۱۰۷
شماره روز آخرین یخبندان ملایم زمستانه (طول دوره -روز)	۱۲۰ (۱۵)	۱۴۵ (۴۵)	۱۲۶ (۸)	۱۳۶ (۱۳)	۱۴۶ (۴۴)
شماره روز آخرین یخبندان متوسط زمستانه (طول دوره -روز)	۱۱۷ (۶)	۱۲۶ (۲۳)	۱۳۱ (۱۶)	۱۴۰ (۲۵)	۱۴۳ (۳۷)
شماره روز آخرین یخبندان شدید زمستانه (طول دوره -روز)	_	۱۱۹ (۱۹)	_	۱۲۸ (۱۱)	۱۴۱ (۳۴)
شماره روز دمای کمینه مطلق	۱۱۲	۱۰۴	۱۲۱	۱۲۰	۱۱۲



شکل ۱. نقشه خطوط هم‌مقدار اولین (الف) و آخرین (ب) روز وقوع یخبندان ملایم پاییزه در استان با احتمال ۷۰ درصد



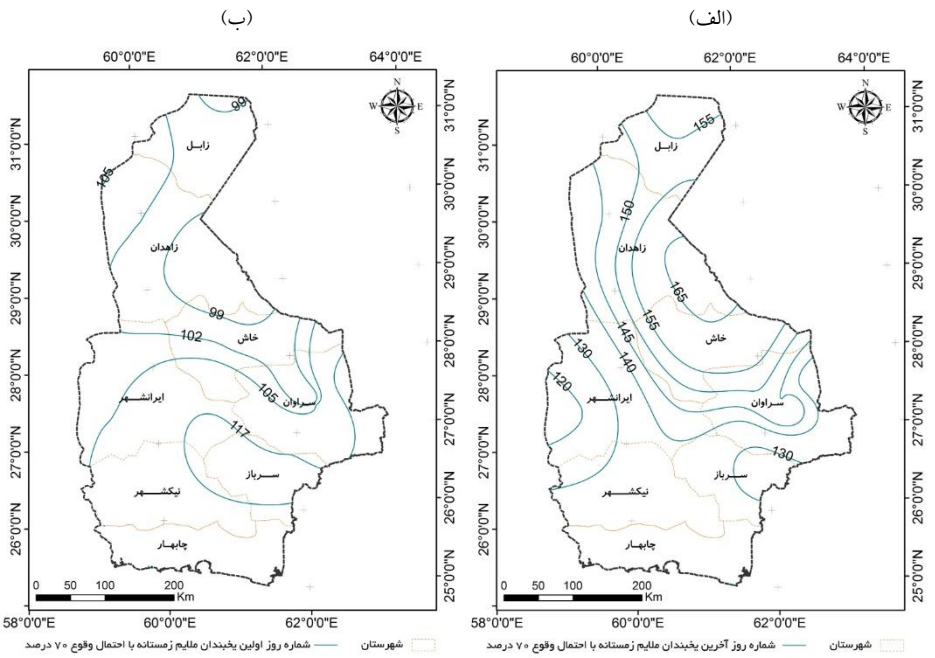
شکل ۲. نقشه خطوط هم‌مقدار اولین (الف) و آخرین (ب) روز وقوع یخبندان متوسط پاییزه در استان با احتمال ۷۰ درصد



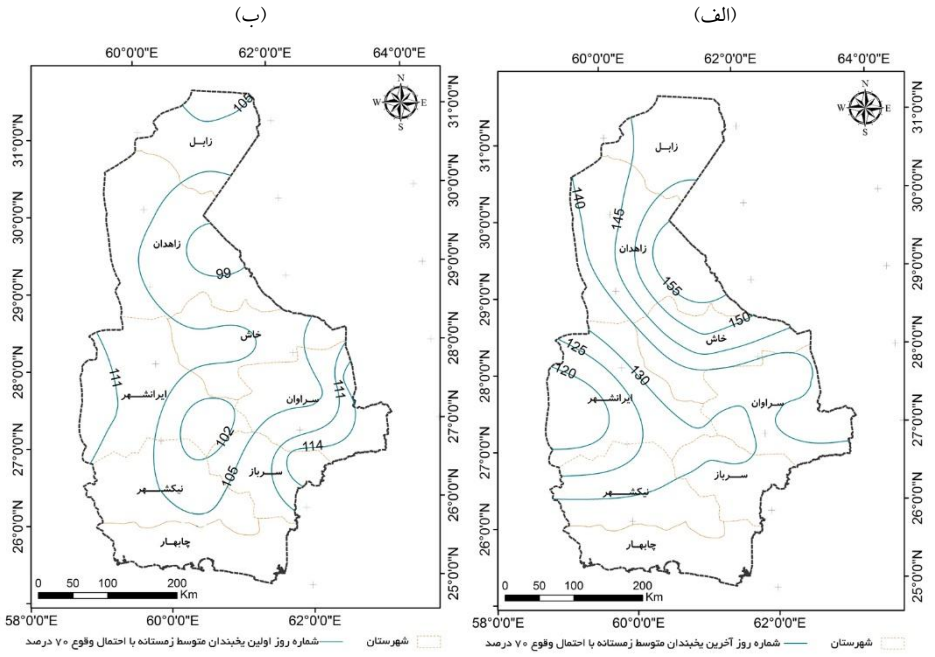
شکل ۳. نقشه خطوط هم‌مقدار اولین (الف) و آخرین (ب) روز وقوع یخبندان شدید پاییزه در استان با احتمال ۷۰ درصد

با توجه به شکل‌های ۱ (ب) و ۲ (ب) و جداول ۳ و ۴، امکان وقوع آخرین یخبندان ملایم و متوسط پاییزه در ایستگاه-های چابهار، باهوکلات، ایرافشان، جالق و پیشین وجود نداشته و در سایر ایستگاه‌ها امکان وقوع این رخدادها در بازه روزهای ۸۰ تا ۹۰ وجود دارد. مشابه سایر یخبندان‌ها، احتمال وقوع آخرین یخبندان شدید پاییزه عرض‌های پایین یعنی در ایستگاه-های چابهار، ایرانشهر، باهوکلات، گلمورتی، ایرافشان، جالق و پیشین نزدیک به صفر است و در سایر ایستگاه‌ها این رخداد در بازه روزهای ۸۰ تا ۹۰ روی خواهد داد (شکل ۳ (ب)).

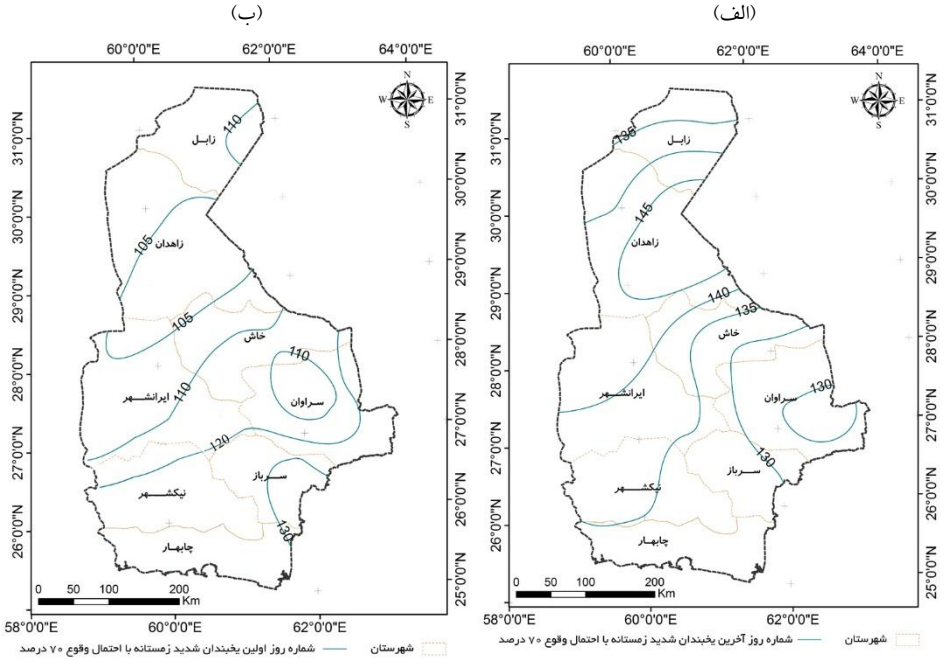
شکل ۴(الف) نشان می‌دهد اولین یخبندان ملایم زمستانه در ایستگاه‌های چابهار، باهوکلات و پیشین به‌وقوع نخواهد پیوست و در سایر ایستگاه‌ها این پدیده در فاصله زمانی روزهای ۹۵ تا ۱۲۵ رخ خواهد داد. با توجه به شکل ۵ (الف) یخبندان متوسط زمستانه احتمال وقوع بسیار کمی در ایستگاه‌های چابهار، باهوکلات و پیشین داشته و در سایر ایستگاه‌ها در فاصله زمانی روزهای ۹۵ تا ۱۱۵ به‌وقوع خواهد پیوست. احتمال وقوع اولین یخبندان شدید زمستانه نیز در ایستگاه‌های چابهار، باهوکلات و پیشین و ایستگاه‌های ایرانشهر و گلمورتی بسیار کم است و در سایر ایستگاه‌ها این رخداد در فاصله زمانی روزهای ۱۰۰ تا ۱۳۰ به‌وقوع خواهد پیوست (شکل ۶ (الف)). در منطقه سیستان این اتفاق به احتمال ۷۰ درصد در روزهای ۱۰۸تا ۱۱۳ روز نسبت به اول مهر ماه یعنی حدود ۱۸ تا ۲۳ دی‌ماه رخ خواهد افتاد که با نتایج سایر پژوهشگران که تاریخ شروع یخبندان‌های شدید را در این منطقه ۱۷ ژانویه (۱۷ دی‌ماه) برآورد کردند، مطابقت دارد. محصولات باغی مانند انواع انگور و مرکبات از دیگر محصولات زراعی استان سیستان و بلوچستان است. هر ساله یخبندان باعث ایجاد خساراتی به این گیاهان می‌شود.



شکل ٤. نقشه خطوط هم‌مقدار اولین (الف) و آخرین (ب) روز وقوع یخبندان ملایم زمستانه در استان با احتمال ۷۰ درصد



شکل ۵. نقشه خطوط هم‌مقدار اولین (الف) و آخرین (ب) روز وقوع یخبندان متوسط زمستانه در استان با احتمال ۷۰ درصد

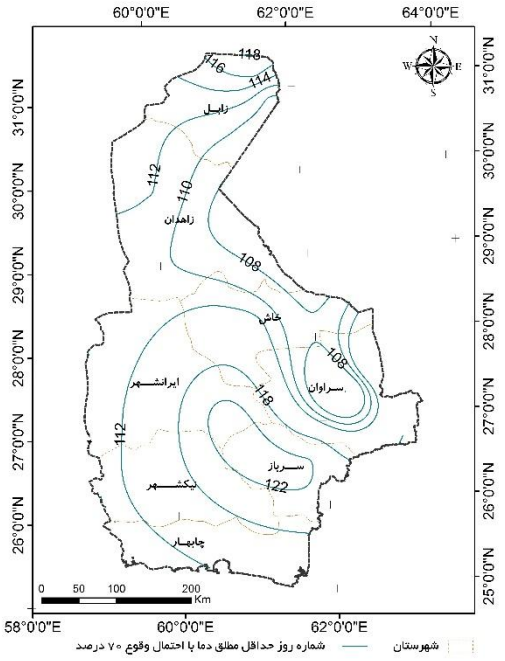


شکل ٦. نقشه خطوط هم‌مقدار اولین (الف) و آخرین (ب) روز وقوع یخبندان شدید زمستانه در استان با احتمال ۷۰ درصد

با ترسیم منحنی‌های هم مقدار یخبندان، مناطقی که نسبت به این مسئله مستعدتر هستند مشخص می‌شوند و می‌توان با جایگزینی ارقام مقاوم به سرما در این مناطق و یا ایجاد تمهیداتی در جهت محافظت گیاهان زراعی از یخبندان در راستای کاهش خطرات ناشی از آن اقدام نمود.

با توجه به شکل ۴ (ب)، امکان به‌وقوع پیوستن آخرین یخبندان ملایم زمستانه در ایستگاه‌های چابهار، باهوکلات و پیشین وجود ندارد و در سایر ایستگاه‌ها این یخبندان بین روزهای ۱۲۰ تا ۱۷۰ محتمل است. همچنین با توجه به نقشه خطوط هم مقدار تاریخ وقوع آخرین یخبندان متوسط زمستانه (شکل ۵ (ب))، مشخص است که ایستگاه‌های چابهار، ایرانشهر، باهوکلات و پیشین فاقد یخبندان متوسط زمستانه بوده و در سایر ایستگاه‌ها این پدیده به احتمال ۷۰٪ در فاصله زمانی روزهای ۱۲۵ تا ۱۶۰ به‌وقوع می‌پیوندد. نقشه هم‌تراز تاریخ وقوع آخرین یخبندان شدید زمستانه (شکل ۶ (ب)) حاکی از عدم وجود آخرین یخبندان شدید زمستانه در ایستگاه‌های چابهار، ایرانشهر، باهوکلات، گلمورتی، ایرافشان و پیشین است و در سایر ایستگاه‌ها این پدیده به‌احتمال ۷۰٪ در فاصله روزهای ۱۱۵ تا ۱۵۵ رخ خواهد داد. در منطقه سیستان این اتفاق در روزهای ۱۳۳ تا ۱۳۶ روز نسبت به اول مهر ماه (مصادف با ۱۳ تا ۱۶ بهمن‌ماه) رخ خواهد افتاد. این در حالی است که محققین دیگری تاریخ وقوع آخرین یخبندان شدید را در منطقه سیستان در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، ۳ بهمن برآورد کردند. نتایج به‌دست آمده از بررسی اولین روز وقوع دمای کمینه مطلق ثبت شده در ایستگاه‌های تحت بررسی (شکل ۷)، مشخص می‌کند که در ایستگاه‌های چابهار، باهوکلات و پیشین دمای کمتر از صفر طی دوره‌های آماری به وقوع نپیوسته و در سایر ایستگاه‌ها این پدیده به‌طور عمده طی روزهای ۱۰۰ تا ۱۲۵ نسبت به اول مهرماه رخ خواهد داد که این نشان می‌دهد که می‌بایست در ماه‌های دی و بهمن هر ساله انتظار وقوع چنین یخبندان‌هایی را داشت. به‌طور کلی با توجه به بررسی داده‌های آماری موجود در ایستگاه‌های مورد بررسی در استان سیستان و بلوچستان وقوع یخبندان در فصل بهار بسیار بعید است. یکی از عوامل مؤثر در وقوع رخداد یخبندان، موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها است به-

طوری‌که در عرض‌های جنوبی‌تر، احتمال وقوع این پدیده کاهش می‌یابد. البته به‌نظر می‌رسد بروز یخبندان در استان سیستان و بلوچستان علاوه بر موقعیت جغرافیایی به میزان زیادی متأثر از سامانه‌های آب و هوایی منطقه که به‌دلیل وسعت استان تنوع آن زیاد است، نیز باشد. با توجه به اطلس تهیه شده می‌توان ادعا نمود که در مناطق دارای روزشمار یکسان (خطوط همتراز)، علی‌رغم داشتن مختصات‌های متفاوت، با احتمال ۷۰ درصد می‌بایست انتظار وقوع یخبندان یا سرمای شدید را داشت.



شکل ۷. نقشه خطوط هم مقدار اولین روز وقوع دمای کمینه مطلق استان در هر ایستگاه با احتمال ۷۰ درصد

نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات دما کاری پیچیده و زمان‌بر بوده و مستلزم داشتن داده‌های آماری بلند مدت است. با بررسی‌های مدون و تحلیل‌های دقیق علمی برای یک دوره زمانی بلندمدت، می‌توان الگوی مناسبی جهت پیش‌بینی وقوع یخبندان در بازه‌های زمانی مختلف در یک سال داشت و از خسارات احتمالی به‌وجود آمده به محصولات کشاورزی جلوگیری نمود. از بین رفتن محصولات زراعی و باغی و حیوانات اهلی و اثرات آن بر زندگی روزمره اهالی استان سیستان و بلوچستان سبب شده این مخاطره محیطی (یخبندان) در کنار خشکسالی، طوفان‌های گرد و غباری و سیل جزو مهمترین عوامل تهدیدکننده به‌شمار رود. بررسی نتایج حاصل از پیش‌بینی وقوع یخبندان‌ها در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی در استان حاکی از وجود تنوع اقلیمی در سطح استان است. نتایج بررسی‌های آماری نشان داد که وقوع یخبندان در فصل بهار برای استان سیستان و بلوچستان بعید به‌نظر می‌رسد. در مناطق شمالی و مرکزی و تا حدودی شرقی، دفعات و احتمال بروز یخبندان بیش از سایر نقاط است. در مناطق ساحلی دریای عمان، احتمال وقوع یخبندان بر اساس داده‌های آماری موجود بسیار دور از ذهن است که البته همجواری با دریا قطعاً تأثیرات گسترده‌ای در کاهش احتمال وقوع یخبندان دارد. این نتایج با یافته‌های محققین دیگر نیز مطابقت دارد. همچنین به نظر می‌رسد علاوه بر موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها، تأثیرپذیری محدوده هر ایستگاه از سیستم‌های آب و هوایی منطقه که به‌دلیل وسعت استان تنوع آن زیاد است، در وقوع یخبندان نقش دارد. بر اساس اطلس تولید شده می‌توان تاریخ وقوع انواع یخبندان را در استان پیش‌بینی نمود و بر اساس آن الگوی مناسب کشاورزی (کاشت و برداشت) را برای کشت‌های متداول در نقاط مختلف استان تعیین کرد. همچنین با استفاده از نقشه‌های مربوط به آخرین تاریخ وقوع یخبندان می‌توان مناطقی که آخرین تاریخ وقوع یخبندان آن‌ها در دی یا بهمن باشد (مناطق گرم) را مشخص و نسبت به کشت گیاهان مناسب (مانند صیفی جات) در اواخر زمستان (زودتر از موعد معمول) اقدام نمود. امروزه روش‌های حفاظتی گوناگونی برای کاهش اثرات یخبندان وجود دارد. برای به کارگیری بیشتر این روش‌ها تهیه نقشه‌های هم مقدار وقوع یخبندان یک ضرورت به‌حساب می‌آید. به‌طوری که اقلیم‌شناسان به دنبال استفاده از روش‌هایی هستند که با کمترین خطا واقعیت‌های موجود در پهنه‌های اقلیمی را آشکار سازند. چنانچه بتوان خسارت ناشی از یخبندان‌ها را برطرف کرد تاریخ

مناسب برای عملیات کشاورزی برای مزارعی که در جوار ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند قابل استخراج است.

منابع

۱- ادیم، حسین، سارانی، منصور، مین‌باشی معینی، مهدی، (۱۳۸۹)، تعیین پراکنش و خصوصیات جمعیتی علف‌های هرز مزارع گندم استان سیستان و بلوچستان، مجله پژوهش علف‌های هرز، جلد ۲، شماره ۱، صص ۱۴-۱.

۲- براتی. غلامرضا، (۱۳۷۵)، طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره در ایران. رساله دکتری اقلیم-شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- حقیقی، اسماعیل، (۱۳۹۰)، تأثیر یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره بر عملکرد زراعت گندم دیم در استان کرمانشاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران.

۴- خسروی، محمود، صفرزائی، نعمت الله، آرمش، محسن، (۱۳۹۴)، تحلیل همدیدی یخبندان‌های زمستانه منطقه سیستان (مورد یخبندان ژانویه سال ۲۰۰۸)، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۲، صص ۱۴۰-۱۱۳.

۵- سازمان جهاد کشاورزی. آمار و اطلاعات استان سیستان و بلوچستان. ۱۳۹۲.

۶- سازمان هواشناسی سیستان و بلوچستان. آمار و اطلاعات مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان. ۱۳۹۳.

۷- ضیایی، علیرضا، کامگار حقیقی، علی‌اکبر، سپاسخواه. علیرضا، رنجبر، سعید، (۱۳۸۵)، تعیین اطلس احتمال وقوع حداقل دمای استان فارس با استفاده از آمار هواشناسی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره سوم (الف)، صص ۲۷-۱۳.

۸- علیزاده، امین، موسوی بایگی، محمد، کمالی، غلامعلی، (۱۳۷۳)، تاریخ وقوع اولین یخبندان های پاییزه و آخرین یخبندان های بهاره در خراسان. نیوار، شماره ۲۲، صص ۵۶-۳۸.

۹- کریمی خواجه لنگی، صادق، (۱۳۸۶). تأثیر شاخص نوسان قطبی (AO) بر وقوع پدیده یخبندان در ایران (مطالعه موردی: شهرکرد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه-ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۱۰- میان‌آبادی، آمنه، موسوی بایگی، محمد، ثنایی‌نژاد، حسین، نظامی، احمد، (۱۳۸۸)، بررسی و پهنه‌بندی یخبندان‌های زود هنگام پاییزه، دیر هنگام بهاره و زمستانه با استفاده ازGIS در استان خراسان رضوی، مجله آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی)، جلد۲۳، شماره ۱، صص ۹۰-۷۹.

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

۱۲- مجرد قره‌باغ، فیروز، (۱۳۷۶). تحلیل و پیش‌بینی یخبندان در آذربایجان. رساله دوره دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۱۳- محمودی، پیمان، خسروی، محمود، مسعودیان، سید، ابوالفضل، علیجانی، بهلول، (۱۳۹۲)، اطلس اقلیم‌شناسی ویژگی‌های آماری یخبندان‌های ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲، صص ۶۶-۵۵.

۱۴- میرموسوی، سید، حسین، حسین بابایی، مصطفی، (۱۳۹۰)، مطالعه توزیع زمانی-مکانی احتمال وقوع یخبندان در استان زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۴۳، صص ۱۸۴-۱۶۷.

15. Blennow, K (1998) Modelling minimum air temperature in partially and clear felled forests. Agricultural and Forest Meteorology, 91, pp. 223-235.

16. Blennow, K. and P. Persson (1998) Modelling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with a GIS. Agricultural and Forest Meteorology, 89, pp. 59-71.

17. Boer, R., L.C. Campbell., and D.J. Fletcher (1993), "Characteristics of Frost in a Major Wheat-growing Region of Australia", Australian Journal of Agricultural Research, Volume 44, Number 8, pp. 1731- 1743.

18. Bondonas, A., J. C. Georg and J. F. Gerber. 1978: Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. WMO Techol. Note, No. 157, 160 p.

19. Komornık, J. Komornıkova, M. Mesiar, R. Szokeova, D. and J. Szolgay. 2006.Comparison of forecasting performance of nonlinear models of hydrological time series. Physics and Chemistry of the Earth, 31: 1127–1145.

20. Lindkvist, L., T. Gustavsson and J. Bogren (2000) A frost assessment method for mountainous areas. Agricultural and Forest Meteorology, 102, pp. 51-67.

21. Snyder, R. L. 2000: Predicting temperature trends during freeze nights. Dept. of Land, Air and Water Res., Univ. of California, Davis, CA 95616. USA.

22. Söderström, M. and B. Magnusson (1995) Assessment of local agroclimatological conditions – a methodology. Agricultural and Forest Meteorology, 72, pp. 243-260.

23. Thom, H.C.S., R.H. Shaw., 1958: Climatological Analysis of Freeze Data for Iowa, Monthly weather review, Volume 86, Issue 7, pp. 251-257.

24.Ventskevich, G. Z. 1958: Agrometeorology. National Sci. Foundation Pub., USA.

25. Whiteman, T. M. 1957: Freezing points of fruits, vegetables and florist stocks. U. S. Dept. of Agric. Marketing Res. Report No. 196, 32pp.

26. Zinoni, F., G. Antolini, T. Campisi, V. Marletto and F. Rossi (2002) Characterisation of Emilia-Romagna region in relation to late frost risk. Physics and Chemistry of the Earth, 27, pp. 1091-1101.