



ارزیابی کمی و مدل‌سازی ریسک سرمازدگی بهاره محصولات زراعی و باغی در ایران

علی خلیلی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۲۲

چکیده

هدف از این بررسی پهنه‌بندی ریسک اقلیمی آسیب سرماهای دیررس بهاره به محصولات مختلف زراعی و باغی در مراحل مختلف فنولوژی در گستره ایران و کمی کردن آن در پهنه‌های زراعی، باغی و دیمزارهای کشور و نهایتاً تدوین مدلی کاربردی برای انجام محاسبات و ارائه نتایج برای تعیین نرخ بیمه محصولات زراعی است. برای این منظور ابتدا سری‌های زمانی آمار دمای حداقل روزانه هوا در ۱۳۷ ایستگاه دماسنجی کشور از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۴ گردآوری و تحت کنترل کیفی و بازسازی قرار گرفت و سری زمانی پیوسته آن‌ها تشکیل گردید. برای تاریخ وقوع دماها از TDN شماره روزهای سال دمایی (از اول اوت هر سال تا پایان ژوئیه سال بعد) استفاده شد، و تاریخ وقوع آخرین سرمای بهاره هر سال بر حسب آن برای ۱۳ آستانه دمایی استاندارد (θ) از $-۸/۹$ تا $+۴/۱$ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. در این بررسی Z_i متغیر معیار شده مقادیر سالانه TDN به عنوان سنج ارزیابی ریسک آخرین سرمای بهاره پیشنهاد گردید و حسب مقادیر آن، هر سال دمایی از دیدگاه پتانسیل سرمازدگی محصول در یکی از چهار گروه ناچیز، کم، متوسط و پرخطر قرار داده شد و همچنین احتمالات $(P_{0(\theta)}, P_{1(\theta)}, P_{2(\theta)}, P_{3(\theta)})$ وقوع آن‌ها حسب درصد در دوره مطالعاتی برای هر ایستگاه محاسبه گردید. پارامتر $P_{23(\theta)}$ یعنی درصد احتمال وقوع آخرین سرماهای زیان‌بخش متوسط یا شدید θ درجه، معیار پهنه‌بندی اقلیمی ریسک قرار گرفت. بررسی نشان داد که تابع ریسک $P_{23(\theta)}$ بهاره عموماً برای دماهای سیزده‌گانه روابط خطی معنی‌دار قابل تعمیمی با طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع دارند. بر این پایه اطلس اقلیمی ریسک آخرین سرماهای بهاره برای ۱۳ آستانه دمایی مختلف و با دقت 1×1 کیلومتر در محیط GIS و به روش ایجاد لایه تصحیح خطا برای کل کشور ترسیم و ارائه گردید. در گام بعدی دماهای بحرانی آستانه سرمازدگی θ بسته به نوع محصول زراعی و باغی در مراحل مختلف فنولوژی بر اساس داده‌های جداول فائو به نقشه‌های ریسک پیوند داده شد. در مرحله آخر به منظور کاربردی کردن نتایج، یک نرم‌افزار تحت عنوان AgroClimRisk گسترش داده شد که قادر است با استفاده از اطلس اقلیمی مذکور و بر مبنای محاسبات زمین آماری، آماره‌های کمی ریسک (شامل حداقل، حداکثر و میانگین) را در روی گستره‌های زراعی یا باغی دهستان‌ها و یا بخش‌های مختلف کشور برای ۲۷ محصول مختلف در هر یک از سه مرحله اصلی فنولوژی یعنی جوانه‌زنی، گلدهی و میوه‌دهی ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: ایران، هواشناسی کشاورزی، شاخص سرمازدگی بهاره، کمی‌سازی ریسک، مدل‌سازی، GIS

مقدمه

بخش خصوصی و اطمینان بخشیدن به سرمایه‌گذاران در مقابل ریسک‌های موجود است که این تضمین نیز به نوبه خود مستلزم ضابطه‌مند کردن حمایت و پرداختن به "ابزار حمایت" و چگونگی استفاده از این ابزار می‌باشد. یکی از این ابزارها برای رویداد سرماهای زیان‌بخش، کمی کردن ریسک یا خطر رخداد آن در نقاط مختلف کشور، برای گیاهان و محصولات زراعی و باغی گوناگون در مراحل مختلف فنولوژی آن‌ها است که در این نوشته به آن پرداخته شده و مختصری

طرح مسأله

سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی به دلیل ماهیت خطر-پذیری شدید آن در مقابل رویدادهای زیان‌بار جوی نظیر سرماهای نابهنگام، نیازمند حمایت‌های تضمینی دولت و یا

^۱ استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(*نویسنده مسئول: akhalili@ut.ac.ir)

ارزیابی خسارت سرمازدگی در ایران

در ایران اگرچه آمار دقیقی از میزان خسارت سرمازدگی در سال‌های مختلف در دست نیست ولی با تحلیل گرامت-هایی که هر ساله توسط صندوق بیمه کشاورزی پرداخت می‌شود می‌توان برآوردی از حداقل زیان‌های وارده به کشاورزی کشور از این رهگذر را به دست آورد. این تحلیل نشان می‌دهد که از بین ۱۲ محصول استراتژیک که زیر پوشش بیمه بوده‌اند بیشترین خسارت مربوط به سرمازدگی است که به طور متوسط ۳۴/۸ درصد کل گرامت پرداختی بوده است. ارقام گرامت‌های پرداختی برای خسارات سرمازدگی در پنج سال اخیر بین ۶۱۳ تا ۱۵۹۱ میلیارد ریال متفاوت بوده است. بدیهی است این ارقام گویای خسارت واقعی نیستند چه اولاً همه کشاورزان و باغداران نسبت به بیمه محصولات خود اقدام نمی‌کنند و ثانیاً صندوق‌های بیمه فقط بخشی از خسارت وارده به محصولات را پرداخت می‌کنند و خسارت واقعی در سطح کشور چندین برابر رقم فوق برآورد می‌شود. براین اساس هر اقدام، چه در بعد پژوهشی و چه در بعد حمایتی و حفاظتی که در این زمینه اعمال گردد کمکی لازم و بزرگ به اقتصاد زراعی کشور و معیشت کشاورزان خواهد بود. پدیده سرما و یخبندان از نظر کشاورزی در موقعی که درختان و محصولات زراعی در مراحل حساس فنولوژی نظیر گلدهی، شکوفه و یا تشکیل میوه می‌باشند حائز اهمیت است چه در نتیجه آن عموماً سر درختی‌ها به ویژه زردآلو، گوجه، بادام و سایر محصولات از بین رفته یا آسیب می‌بینند (جوادی، ۱۳۵۰). این پدیده سرمای دیررس بهاره نامیده می‌شود نوع دیگر سرمازدگی یخبندان‌های زمستانه است که از آستانه دمایی معینی می‌تواند به درختان میوه به ویژه مرکبات و انار و موستان‌ها خسارت فراوانی تا حد انهدام کامل درختان آسیب وارد آورند (سرمای ۱۳۸۶ تقریباً سراسری کشور). علاوه بر این سرماهای زودرس پائیزه نیز باعث خسارت به محصولات صیفی و مزارع پنبه و محصولات مشابه می‌شوند و یا بر کیفیت محصولاتی که باید برداشت شوند اثر می‌گذارد و از این نظر تاریخ وقوع آن‌ها از نظر هواشناسی کشاورزی نیز

از آنچه برای گستره ایران به انجام رسیده جمع بندی شده است (خلیلی، ۱۳۸۸). در حال حاضر در کشور ما صندوق بیمه کشاورزی تنها نهادی است که قانوناً مجری سیاست‌های مدیریت ریسک در بخش کشاورزی است و انجام این بررسی‌ها و نظایر آن مورد نیاز مستقیم برای ارزیابی عادلانه خطر و اتخاذ تصمیم‌های متکی به ارقام در امر بیمه‌گری محصولات زراعی در مقابل رویداد سرمازدگی می‌باشد. هدف این مقاله ارزیابی کمی ریسک اقلیمی سرمازدگی بهاره گیاهان مختلف در مراحل گوناگون فنولوژی و در گستره کشور و همچنین تدوین مدلی پویا برای برآورد کمی ریسک در محدوده‌های جغرافیایی و زراعی مورد نیاز در صنعت بیمه‌گری می‌باشد.

واژه‌شناسی، تعاریف و کلیات

واژه Frost که در زبان فارسی هسر و یا یخبندان و همچنین سرما و یخبندان معادل‌یابی شده است. در هواشناسی کشاورزی به رویداد افت دمای محیط به پایین‌تر از آستانه دمایی تحمل گیاه که موجب آسیب به آن شود اطلاق می‌گردد. پدیده سرمازدگی گیاهان به دو صورت، یکی در دمای بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد (Chilling) که در برخی از مراحل فنولوژی، گیاه به آن حساس است و دیگری در دمای کمتر از صفر درجه (Freezing) که باعث تغییرات فیزیولوژیکی در گیاه می‌گردد قابل تفکیک است. برای سرما و یخبندان تعاریف مختلفی ارائه شده ولی در بسیاری از محاورات متعارف کشاورزان و حتی محافل علمی واژه Frost، معادل سرما و یا یخبندان و یا هر دو، با جایگزینی یکسان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نوشته نیز واژه سرمازدگی گیاهان با همین مفهوم به کار گرفته شده است. سازمان جهانی هواشناسی نیز مطالعات درجه‌های مختلف دما برای اهداف هواشناسی کشاورزی را با همین نگرش از ۴/۴ + تا ۸/۹ - درجه توصیه کرده است. همچنین به منظور پرهیز از تداخلی که در تاریخ وقوع سرماها با استفاده از تقویم بین المللی به ویژه در کشورهایی که عرض جغرافیایی نسبتاً گسترده‌ای دارند به وجود می‌آید، به جای استفاده از شماره روز ژولیبوسی از شماره روز سال دمایی TDN استفاده شده که در متن توضیح داده شده است.

مهم می‌باشد که در این مقاله مورد بحث ما نیستند ولی در مدل تدوینی دیده شده‌اند (خلیلی، ۱۳۸۸). رویداد سرمازدگی از آغاز تمدن کشاورزی بشر شناخته شده و مشکل‌ساز بوده است و وقوع آن به استثنای مناطق کم‌ارتفاع عرض‌های پایین جغرافیایی، نظیر بخشی از نوار ساحلی جنوب ایران در همه جای کره زمین با فراوانی و شدت‌های مختلف دیده می‌شود و باعث خسارت‌های فراوان می‌گردد و بشر از همان آغاز برای پیکار با آن چاره‌هایی نظیر ایجاد دود در شب‌های یخبندان تابشی، اندیشیده و به کار بسته است که در ادبیات یونان قدیم و ایران قدیم منعکس است.

پیشینه پژوهش‌ها

بدون تردید توجه به رویداد سرمازدگی و ریسک به وجود آمدن آن قدمتی به اندازه تاریخ کشاورزی بشر دارد و اولین آثار مکتوب این توجه را می‌توان در نوشته‌های تئوفراستوس (۳۷۱-۲۸۷ ق.م) مشاهده کرد. ولی مطالعات مبتنی بر روش‌های علمی (آمار- تحلیلی و مطالعات مزرعه‌ای) به سده بیستم بر می‌گردد (تروارتا، ۱۹۵۴؛ تام و شاو، ۱۹۵۸؛ کاپریو، ۱۹۶۱؛ روزنبرگ و مایر، ۱۹۶۲؛ اشمدلین و دیزیر، ۱۹۸۶؛ لافلین و کالما، ۱۹۸۷؛ دیویس، ۱۹۷۸، ویلن، ۱۹۸۸؛ هانرز، ۱۹۹۴؛ هیجمانز، ۱۹۹۷؛ فرانسیس و همکاران، ۱۹۹۹). در خصوص مطالعات مربوط به سرمازدگی، اکثر بررسی‌ها چه در ایران و چه در سطح بین‌المللی به برآورد احتمال وقوع سرماهای زیان‌بخش در تاریخ‌های معین و ترسیم خطوط هم احتمال مربوط می‌گردد و مقالات در زمینه جستجوی رابطه میزان تولید محصول با فرآیندهای دمایی و همچنین پهنه‌بندی مناطق از نظر خطرپذیری آن‌ها از فراوانی کمتری برخوردار است. چند نمونه از پژوهش‌هایی که در دو دهه اخیر منتشر شده ذیلاً منعکس می‌گردد. مطالعات هوانگ شابو (۱۹۹۰) در زمینه پهنه‌بندی اقلیمی آسیب مرکبات زمستانه در چین از نظر متدولوژی به کار گرفته شده که در آن عوامل گیاهی و عوامل هواشناسی و آمار میزان خسارت‌ها در دوره مطالعاتی و چند فاکتور دیگر در نظر گرفته شده‌اند شایسته ذکر است. وی در این مطالعه جنوب چین را از نظر ریسک سرمازدگی مرکبات به پنج

منطقه از بی‌خطر تا بسیار پرخطر پهنه‌بندی کرده است. زینونی و همکاران (۲۰۰۲)، تاریخ وقوع یخبندان‌های دیررس بهار را در ۱۶۱ مکان در منطقه امیلیا- رومانی در ایتالیا در طول سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ مورد مطالعه قرار دادند. این محققین با معرفی یک شاخص ریسک یخبندان که بر پایه مراحل فنولوژی ارائه شده بود و همچنین برقراری رابطه بین دمای کمینه ایستگاه‌های مورد بررسی و شاخص ریسک در آن ایستگاه نقشه ریسک یخبندان منطقه را ارائه دادند. تات و ژنگ (۲۰۰۳) با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای ویژگی- های یخبندان ناحیه اوتاگو در کشور نیوزلند را مورد بررسی قرار داده و نقشه‌های زمان آغاز و خاتمه یخبندان را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای این ناحیه تهیه کردند. شفینگر و همکاران (۲۰۰۳) با مطالعه روند تغییرات دما در ۵۰ ایستگاه واقع در نیمکره شمالی به این نتیجه دست یافتند که طی دوره مورد بررسی دمای کمینه با سرعت بیشتری به نسبت دمای حداکثر افزایش یافته است. این محققین با این پیش‌فرض که روند افزایشی دمای کمینه، باعث می‌شود که تاریخ وقوع آخرین یخبندان و مراحل فنولوژی زودتر اتفاق می‌افتد به بررسی سرعت تغییرات در وقوع یخبندان دیررس و تغییر مراحل فنولوژی پرداختند. سیتادینی و همکاران (۲۰۰۶) رویدادهای تاریخی مربوط به وقوع سرماهای زیان‌بخش برای گیلان با آستانه ۳ درجه سانتی‌گراد در منطقه پاتاگونیا واقع در کشور شیلی را به منظور تعیین مناطق مناسب برای کشت این گیاه مورد مطالعه قرار دادند. ریگبای و همکاران (۲۰۰۸) طی مطالعه خود بر روی اثرات تغییر اقلیم بر ریسک یخبندان بیان کردند افزایش واریانس دمای روزانه (که منجر به افزایش ریسک یخبندان می‌شود) در برنامه‌ریزی کشاورزی مهم‌تر از افزایش میانگین دمای روزانه (که منجر به کاهش ریسک یخبندان می‌شود) است. برس و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی خود به بحث در خصوص بهره‌گیری از روش شبکه عصبی مصنوعی (با پیش‌بینی کننده‌های از قبیل ارتفاع و شیب و غیره) به منظور ایجاد سامانه پیش‌بینی ریسک یخبندان پرداختند. تراسمونته و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی و تعیین خصوصیات مکانی و زمانی پدیده یخبندان از قبیل شدت، مدت، تواتر، طول دوره عاری از یخبندان و روند زمانی وقوع

ارائه داده است. به اطلاع نگارنده پهنه‌بندی ریسک در مراحل مختلف فنولوژی گیاهان مختلف زراعی از نظر اقلیمی برای گستره ایران تا کنون به انجام نرسیده و موضوع آن پنجره گشوده‌ی پژوهشی برای محققین محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

زیرساخت‌های اصلی این بررسی را آمار حداقل روزانه دمای هوا در شبکه ایستگاه‌های هواشناسی، مدل رقومی ارتفاع یا DEM ایران، نقشه کاربری اراضی ایران، نقشه تقسیمات سیاسی کشور و بالاخره فهرست دماهای بحرانی محصولات زراعی و باغی در سه مرحله مهم فنولوژی یعنی جوانه‌زنی، گلدهی و محصول‌دهی تشکیل می‌دهد.

مدل رقومی ارتفاع ایران

برای مقاصد اقلیمی و با توجه به تراکم فعلی شبکه ایستگاه‌های هواشناسی کشور، و دقت مورد انتظار در عملیات میان‌یابی، یک شبکه ارتفاعی نقطه‌ای به ابعاد 1×1 کیلومتر برای رسم میدان‌های عددی اقلیمی مناسب تشخیص داده شد و از DEM ایران استخراج گردید. بر این اساس تمامی برآوردها در روی این گرید (شبکه) که در حدود دو میلیون نقطه (پیکسل) در داخل مرزهای ایران و نواحی مجاور را شامل می‌گردد انجام گرفت. بنابراین دقت مطالعات زمین آماری 1×1 کیلومترمربع می‌باشد. مقدار عددی پارامترهای جغرافیایی و یا اقلیمی به مرکز این پیکسل‌ها نسبت داده شده و پیکسل‌های ناقص $1/2$ کیلومتر مربع در نظر گرفته شده‌اند.

نقشه رقومی کاربری اراضی

چون برآوردهای منطقه‌ای ریسک منحصراً در گستره‌های زراعی یا مناطق تولید کننده توده زنده گیاهی معنی‌دار و قابل انجام است و مناطق لم یزرع نباید در محاسبات دخالت داده شوند، محدوده‌های رقومی باغات و زارعت آبی، دیمزارها، دیمزارهای پراکنده و جنگل و مرتع به عنوان محدوده‌های مؤثر در برآورد ریسک برای محاسبات زمین‌آماري از نقشه رقومی کاربری اراضی (وزارت جهاد کشاورزی) استخراج گردید و بر این اساس نقشه اخیر یکی از

در کشور پرو پرداختند. کاستلانوس و همکاران (۲۰۰۹) طی بررسی خود در مورد روش‌های پیش‌بینی یخبندان و درجه حرارت کمینه اصولی را برای پیش‌بینی تعداد روزهای یخبندان در ماه با استفاده از مدل ARIMA و همچنین توزیع فراوانی درجه حرارت کمینه روزانه ارائه دادند. در استرالیا نیز کریمپ و همکاران (۲۰۱۴) ضمن بررسی ویژگی‌های سرما و یخبندان در جنوب شرق این کشور، مدل‌های پیش‌بینی تاریخ اولین یخبندان و طول دوره یخبندان را مورد مقایسه قرار داده و استفاده از شبکه بیزین را برای پیش‌بینی یخبندان توصیه کرده‌اند. در ایران مطالعات مربوط به تاریخ وقوع اولین و آخرین سرما برای آستانه‌های مختلف دمایی در مقیاس سراسری و منطقه‌ای کم و بیش از دهه پنجاه به بعد آغاز گردید و از آن جمله می‌توان به مطالعات مقدسی (۱۳۶۱)، سمیعی و همکاران (۱۳۶۷)، علیزاده و همکاران (۱۳۷۳)، براتی (۱۳۷۵)، مجرد قره‌باغ (۱۳۷۶)، ایزدی (۱۳۷۷) و رحیمی و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد. هاشمی (۱۳۵۳) تاریخ‌های وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهار را با دقت مقیاس $1/16000000$ برای شبکه ایستگاه‌های سینوپتیک ایران مورد مطالعه قرار داده و نقشه طول فصل رویشی و ایام رشد فعال حسب روز را بر اساس آمار سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۷۰ تهیه کرد. کمالی (۱۳۸۰) تاریخ‌های عبور اولین و آخرین دماهای معین را در سطوح احتمال ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد بررسی و خطوط هم‌تاریخ آن را بر اساس میان‌یابی خطی با برآورد دما در نقاط متعدد ارتفاعی کشور ترسیم کرد. این مطالعه پس از کار هاشمی دومین کوششی است که برای مطالعه یکپارچه وقوع سرماهای زیان‌بخش به کار رفته‌است. ضیایی و همکاران (۱۳۸۵)، براساس داده‌های ۲۵ ایستگاه موجود اقدام به تهیه اطلس احتمال وقوع کمینه دمای استان فارس نمودند. این محققین نشان دادند که هر چه عرض جغرافیایی ایستگاه کمتر شود، اولین یخبندان‌ها دیرتر و آخرین یخبندان‌ها زودتر اتفاق می‌افتد. خلیلی (۱۳۸۸)، نقشه‌های تاریخ‌های وقوع سرماهای زودرس پاییزه، دیررس پاییزه و طول مدت سرما برای آستانه‌های مختلف دماهای زیان‌بخش در سطوح مختلف احتمال از ۱۰ تا ۹۰ درصد در محیط GIS و با دقت 1×1 کیلومتر برای گستره ایران را بصورت یک اطلس اقلیمی

زیرساخت‌های اصلی را تشکیل می‌دهد. قابل ذکر است که در صورت تولید نقشه‌های جدیدتر امکان جایگزینی آن بدون آنکه در ساختار مدل تغییر ایجاد شود، وجود دارد.

نقشه رقومی محدوده‌های اداری کشور

از نظر کاربردهای اجرایی نتایج لازم به نظر رسید که ارزیابی ریسک برای محصولات مختلف در قالب محدوده‌های اداری که تحت مسئولیت اجرایی واحدی می‌باشند امکان‌پذیر باشد. به این دلیل امکان انتخاب محدوده‌های دهستان، بخش، شهرستان و استان‌های کشور برای انجام برآوردهای زمین‌آماري با حفظ کاربری اراضی مورد نظر، نیز فراهم گردیده و نقشه تقسیمات اداری کشور در مدل گنجانده شده است. این نقشه نیز به طور پویا قابل جایگزینی با نقشه‌های جدید تقسیمات کشوری می‌باشد.

جدول دماهای بحرانی در مراحل مختلف فنولوژی محصولات زراعی

بررسی‌های اصلی اقلیمی این پژوهش کلاً روی آستانه‌های دمایی سیزده‌گانه θ ، توصیه شده از طرف سازمان جهانی هواشناسی WMO (از $-۸/۹$ تا $+۴/۴$ درجه) به انجام رسید و اطلس اقلیمی ریسک و همچنین رویداد تاریخ سرمایه‌های زودرس و دیررس و طول مدت بدون سرما برای این آستانه‌ها در محیط GIS تهیه گردید. بدیهی است دماهای بحرانی همگی منطبق بر این آستانه‌ها نمی‌باشند برای انجام میان‌یابی مکانی و زمانی فهرستی از دماهای بحرانی گیاهان مختلف از مراجع علمی باغبانی و زراعت به منظور تطبیق ریسک با هر یک از این آستانه‌ها و در هر یک از مراحل سه‌گانه فنولوژی تهیه گردید (اسنایدر و همکاران، ۲۰۰۵؛ خوشخوی، ۱۳۹۱؛ مظاهری، ۱۳۸۵). این فهرست امکان انجام عملیات انترپولاسیون فضایی اطلاعات ریسک بین پیکسل‌های همنام از دو نقشه متوالی θ_1 و θ_2 درجه، برای دماهای بحرانی مربوط به هر محصول و در هر یک از سه مرحله فنولوژی جوانه‌زنی، گل‌دهی و میوه‌دهی را فراهم می‌آورد.

داده‌پردازی اطلاعات شبکه

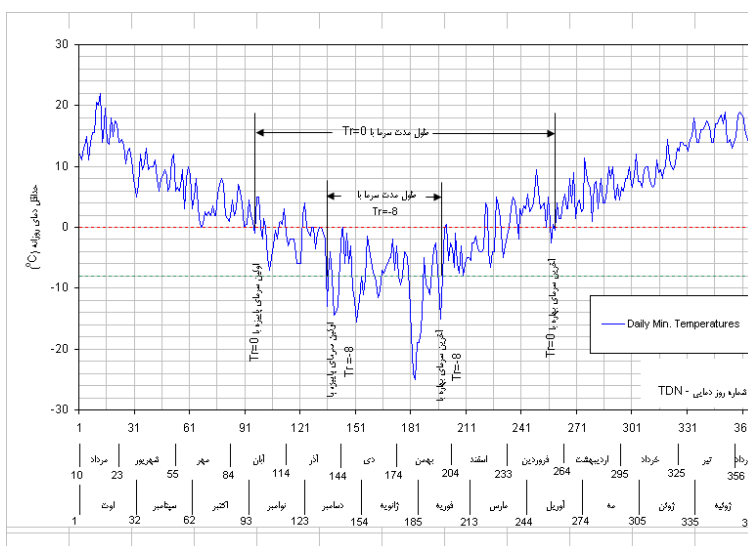
در عملیات پردازش داده‌ها دو اقدام اساسی روی شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی به انجام رسید. نخست کنترل دقیق مختصات جغرافیایی (طول، عرض و ارتفاع) از نظر تطابقی که مؤکداً لازم است با DEM ایران داشته باشند طی این بررسی ناهمخوانی‌ها به ویژه در مورد ایستگاه‌های کلیماتولوژی مشاهده شد که با دید کارشناسی و تطابق به نقشه‌های یک دویست و پنجاه هزارم اصلاح گردید. اقدام دوم کنترل سری آماری دماهای حداقل روزانه، حذف آمار مشکوک و تکمیل خلاءهای آماری در دوره مختوم به ۲۰۰۴ بود و برای این منظور با تلفیق روش‌های پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی با ویژگی‌های شبکه ایران، یک مدل زنجیره‌ای بازسازی داده‌های روزانه تدوین و گسترش داده شد در این مدل خلاءهای آماری دمای روزانه هوا به صورت گام به گام براساس اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه مرجع هم اقلیم بازسازی گردید و به این ترتیب سری‌های زمانی پیوسته برای دمای حداقل روزانه در شبکه استنادی به دست آمد. در این شبکه حجم آمار بازسازی شده حداکثر ۱۰٪ کل آمار موجود می‌باشد. این شبکه واجد ۱۳۷ ایستگاه است.

تعریف سال دمایی

مهم‌ترین سنجه‌ای که در مطالعات آگرومتئورولوژی سرما مورد استفاده قرار می‌گیرد تاریخ وقوع اولین سرمای پاییزی و آخرین سرمای فصل بهار است که در اطلس اقلیمی این طرح به ترتیب با حروف اختصاری FFF و LSF از عبارات First Fall Frost و Last Spring Frost کدگذاری شده‌اند. در اینجا به نظر می‌رسد که تعریف اولین سرما و آخرین سرما در قالب تقویم بین‌المللی (ژولوسوسی) برای کشور ایران که دارای عرض جغرافیایی گسترده و طیف ارتفاعی وسیعی است اشکالاتی ناشی از ناهماهنگی دوره‌های رشد و مراحل فنولوژی به وجود می‌آورد. در پژوهش حاضر برای رفع این ناهماهنگی و به منظور پرهیز از دشواری‌هایی که در راندن مدل تدوینی در شرایط حدی به وجود می‌آید اقدام به تعریف سال دمایی "Thermal year" نظیر آنچه در هیدرولوژی برای سال آبی "Water year" عمل می‌شود،

Number" در چنین تقویمی از یک (مطابق اول اوت) تا ۳۶۵ یا ۳۶۶ (مطابق ۳۱ ژوئیه) تغییر می‌یابد. در شکل ۱ به عنوان مثال نحوه تعیین اولین و آخرین سرما در سال دمایی ۲۰۰۱-۲۰۰۰ در همدان نوژه برای دو آستانه صفر و ۸- درجه نموده شده است. با استفاده از این تقویم در مناطق جنوب ایران که آخرین سرما ی زیان‌بخش در اسفند ماه و حتی دی ماه ممکن است رخ دهد و در عرض‌های شمالی کشور و مناطق مرتفع و کوهستانی که ممکن است در خرداد ماه واقع شود، قابل تفکیک و مقایسه‌اند.

گردید. برحسب تعریف پیشنهادی، سال دمایی سالی است که ابتدا و انتهای آن در گرم‌ترین ایام سال قرار می‌گیرد و برحسب قرارداد در این بررسی، آغاز آن اول ماه اوت هر سال و پایان آن ۳۱ ماه ژوئیه سال بعد (حدوداً از ۱۰ مرداد یکسال تا ۹ مرداد سال بعد) می‌باشد. در چنین تقویمی در هر سال دمایی تاریخ نخستین روز عبور دمای می‌نیم از خط دمای آستانه T_r (مثلاً صفر درجه) در روند نزولی دما، اولین سرمای پاییزی و تاریخ آخرین روز عبور آن از خط دمای رفرانس در روند صعودی دما، آخرین سرمای بهاره تعریف می‌شود. شماره روز دمایی " Thermal Day



شکل ۱- تغییرات دمای حداقل روزانه در سال دمایی ۲۰۰۱-۲۰۰۲ در ایستگاه همدان- نوژه و تعاریف اولین سرمای پاییزی و آخرین سرمای بهاره و طول مدت همراه با سرما با آستانه T_r

به مناسب بودن و سود آور بودن بازده آن محصول است. چه در غیر اینصورت در طول اعصار یک محصول بومی یک محل نمی‌گردید. مثلاً مسلم است که امکان کشت و زراعت خرما در عرض‌های جغرافیایی بالا و مناطق سرد و یا معتدل سرد وجود ندارد. چه احتمال محصول دهی آن نزدیک به صفر است و اصولاً زراعت آن امکان‌پذیر نیست. یا اگر کشت محصولی در درصد زیادی از سال‌ها (مثلاً ۸۰ درصد) به علت سرمازدگی موفقیت‌آمیز نباشد آن کشت بومی محل نمی‌شود. صرف نظر از کمبود آب که با آبیاری قابل جبران است محدودیت عمده زراعت محصولات زراعی، نیازهای حرارتی و تواتر یا فرکانس وقوع دماهای زیان‌بخش است که خود یکی

پیشنهاد یک شاخص برای ارزیابی کمی ریسک

تاریخ‌های وقوع سرماهای زودرس و دیررس و همچنین طول مدت بدون سرما از نظر آگرومتئورولوژی بسیار مهم هستند و تلفیق آنها با اطلاعات فنولوژی گیاهان می‌تواند کمک شایانی به پهنه‌بندی‌های ریسک حسب نوع محصول نماید ولی اطلاعات پایه دیدبانی‌های فنولوژی لازم برای کار بست این روش‌ها در ایران بسیار اندک و ناکافی است. از این دیدگاه روش دیگری برای پهنه‌بندی کمی شدت خطر سرمازدگی اتخاذ گردید. روش پیشنهادی بر این اندیشه استوار است که اصولاً لازمه رایج شدن کشاورزی یک محصول در یک منطقه، در مجموع و در طولانی مدت منوط

به انجام رسید، آستانه‌های جدول ۱ برای ارزیابی حالات مختلف شدت خطر سرمازدگی اختیار گردید.

جدول ۱- آستانه‌های ریسک سرمازدگی بهاره

حدود Z_i	توصیف آسیب سرمازدگی	فراوانی نسبی در هر ایستگاه
کمتر از صفر	ناچیز	P_0
صفر تا ۰/۲۵	خفیف	P_1
۰/۲۵ تا ۱/۲۵	ملایم	P_2
بیشتر از ۱/۲۵	شدید	P_3

براین اساس در یک دوره N ساله آمار موجود در هر ایستگاه، فراوانی‌های مختلفی برای هر یک از رده‌ها به وجود می‌آید که از روی احتمال وقوع آنها می‌توان معیاری برای درجه خطرپذیری ایستگاه تعریف نمود. در گام بعدی، معیار ریسک یا بزرگی خطر سرمازدگی، اندازه $P_{23(0)} = P_{2(0)} + P_{3(0)}$ یعنی مجموع احتمالات تجربی آسیب‌های ملایم و شدید انتخاب گردید. رده‌های ریسک یا خطر سرمازدگی بر پایه مقدار $P_{23(0)}$ (حسب درصد) براساس آزمون‌های مربوط به مقایسه ایستگاه‌ها با یکدیگر به شرح جدول ۲ اختیار شد.

جدول ۲- معیارهای کلی پهنه‌بندی خطر سرمازدگی $P_{23(0)}$ برای آستانه دمایی معین θ درجه

نماد	توصیف	حدود شاخص $P_{23(0)}$
A	بسیار کم خطر(بی خطر)	کمتر از ۱
B	کم خطر	۱ تا ۲۰
C	متوسط خطر	۲۰ تا ۳۵
D	پرخطر	بیشتر از ۳۵

در بررسی خردتر، طبقه‌های B، C و D به زیر طبقه‌هایی مطابق جدول ۳ تقسیم شدند. به این ترتیب مقادیر $P_{23(0)}$ و رده‌های مختلف خطر سرمازدگی‌های بهاره برای کلیه ایستگاه‌های مطالعاتی که برآورد درباره آنها امکان‌پذیر بوده و برای تمامی آستانه‌های سیزده‌گانه دماهای بحرانی محاسبه شد.

از هویت‌های ذاتی اقلیم محل می‌باشد. اگر تاریخ‌های نا-مناسب آخرین سرمای هر محل را معیاری برای بروز پدیده سرمازدگی قرار دهیم می‌توان یک شاخص معیار بدون بعد برای تاریخ وقوع آخرین سرمای بهاره به صورت معادله ۱ تعریف نمود.

$$Z_i = \frac{(TDN)_i - \overline{TDN}}{SD_{(TDN)}} \quad (1)$$

که در آن Z_i متغیر معیار شده بدون بعد آخرین سرما در یک سال معین i ، $(TDN)_i$ شماره روز دمایی تاریخ وقوع آخرین سرمای بهاره در یک سال معین i ، \overline{TDN} میانگین شماره روزها (یا تاریخ متوسط) آخرین سرمای بهاره و $SD_{(TDN)}$ انحراف معیار تاریخ‌های $(TDN)_i$ در دوره اقلیمی مورد مطالعه می‌باشند. به این ترتیب برای هر سال یک مقدار Z_i یا متغیر معیار شده وقوع سرما برای دمای معین عاید می‌گردد.

در این بررسی مابانی قضاوت برای ارزیابی خطر سرمای دیررس بهاره به شرح زیر تعریف شده است:

(۱) اگر $Z_i = 0$ باشد پدیده آخرین سرمای بهاری، طبیعی و مطابق استاندارد محلی و میانگین طبیعی اقلیمی محل رخ داده و شرایط نرمال برقرار است.

(۲) اگر در یک سال معین i مقدار $Z_i < 0$ باشد مفهوم آن این است که $(TDN)_i < \overline{TDN}$ می‌باشد و آخرین سرما قبل از تاریخ متوسط رخ داده و منطبق بر سیکل رویشی محصول بوده است و زیان‌بخش محسوب نمی‌گردد.

(۳) اگر در یک سال معین i مقدار $Z_i > 0$ باشد مفهوم آن این است که پدیده آخرین سرما پس از تاریخ میانگین متعارف رخ داده و هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد خطر آسیب سرمازدگی بیش‌تر است.

فراوانی اقلیمی مقدار Z_i در حالت سوم در دوره مطالعاتی چندساله در هر ایستگاه می‌تواند احتمال تجربی وقوع درجات مختلف خطر سرمازدگی را مشخص سازد و هرچه دوره اقلیمی طولانی‌تر باشد مقدار Z_i معرف‌تر می‌باشد. در مورد سرمای زودرس پاییزه مقادیر منفی Z_i زیان‌بخش محسوب می‌گردند. براساس آزمون‌هایی که در قالب چند پژوهش جداگانه روی سال‌هایی که از نظر خطر سرمازدگی و پرداخت غرامت‌ها در صندوق بیمه کشاورزی شاخص بوده‌اند

گردید و هر واحد (دهستان، بخش و ...) از نظر آسیب سرما درجه‌بندی شد.

الف - نقشه‌های هم‌خطر سرمازدگی

برای ترسیم نقشه‌های هم‌خطر سرمازدگی معادلات تغییرات شاخص ریسک $P_{23(\theta)}$ حسب مختصات جغرافیایی و دمای بحرانی θ جستجو شده است. این معادلات عموماً خطی و به صورت کلی معادله ۲ می‌باشند.

$$P_{23(\theta)} = \alpha + \beta x + \gamma y + \lambda z + \varepsilon \quad (2)$$

که عموماً در سطح احتمال ۵٪ و در مورد سرماهای ۴/۴ و ۳/۳ درجه در سطح احتمال ۱۰٪ معنی‌دار می‌باشند (جدول ۴). به عنوان نمونه تابع ریسک آخرین سرمای بهار ۳/۳- درجه به صورت معادله ۳ است.

$$P_{23(\theta)} = -115.6 + 1.05x + 2.11y + 0.017z + \varepsilon \quad (3)$$

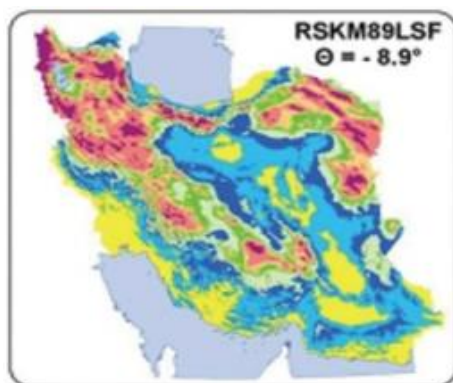
که در آن x و y طول و عرض جغرافیایی حسب درجه قوسی، $P_{23(\theta)}$ درصد ریسک در دمای بحرانی θ و ε خطای برآورد است که به روش ایجاد و اعمال لایه خطا (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۳) بر جزء قانونمند معادله اعمال می‌گردد. در شکل ۲ پهنه‌های هم‌خطر سرمازدگی بهار برای آستانه‌های مختلف دمایی که بر اساس معادلات جدول ۴ ترسیم شده، جمع‌بندی شده است. شکل ۳ نقشه پهنه‌های هم‌خطر آستانه دمایی مربوط به معادله فوق را نشان می‌دهد.

جدول ۳- معیارهای جزئی پهنه‌بندی خطر سرمازدگی برای آستانه دمایی معین

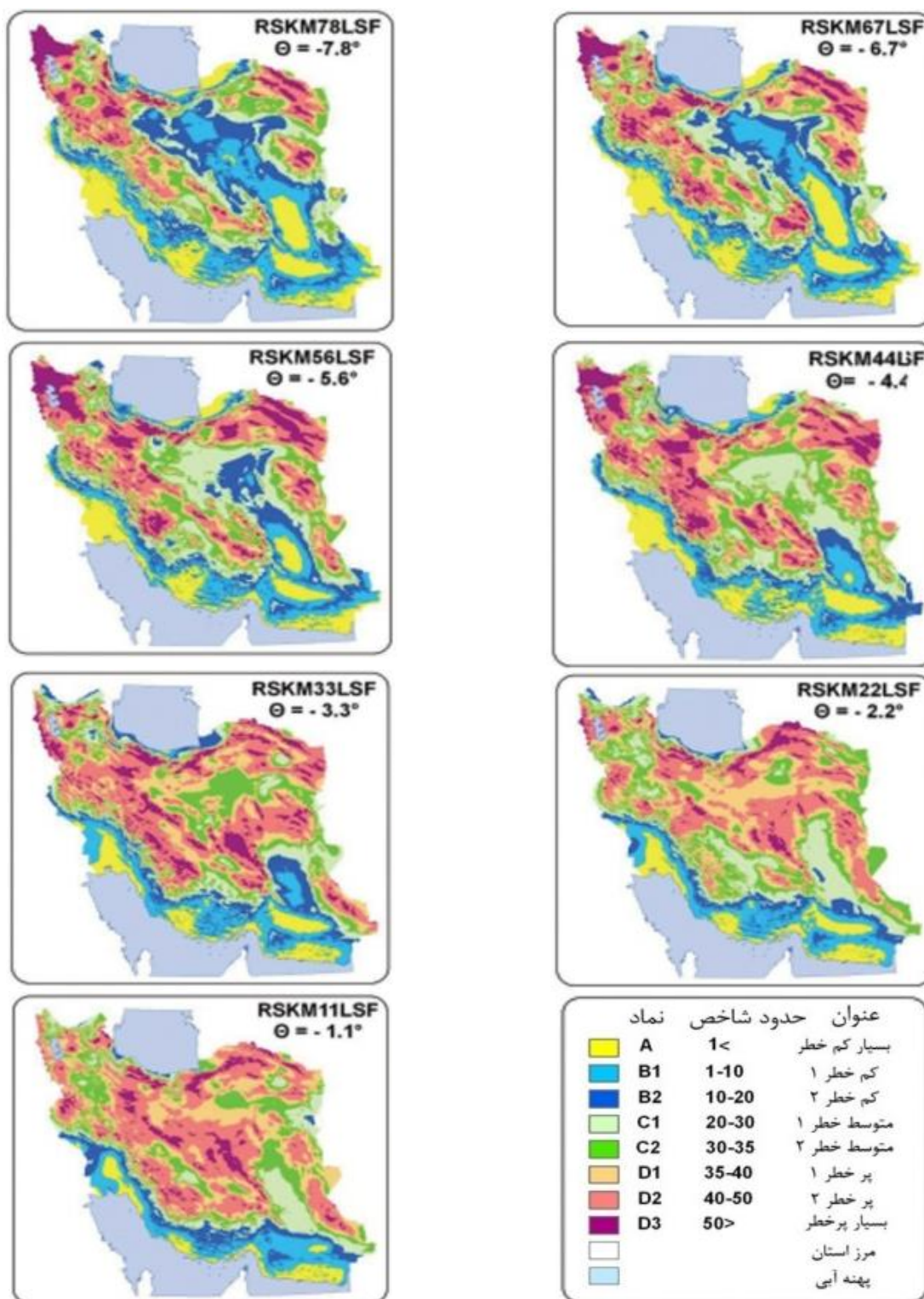
نماد	توصیف	حدود شاخص
A	بسیار کم خطر	کمتر از یک
B1	کم خطر ۱	۱ تا ۱۰
B2	کم خطر ۲	۱۰ تا ۲۰
C1	متوسط خطر ۱	۲۰ تا ۳۰
C2	متوسط خطر ۲	۳۰ تا ۳۵
D1	پرخطر ۱	۳۵ تا ۴۰
D2	پرخطر ۲	۴۰ تا ۵۰
D3	بسیار پرخطر	بیشتر از ۵۰

میدانی کردن ریسک سرمازدگی

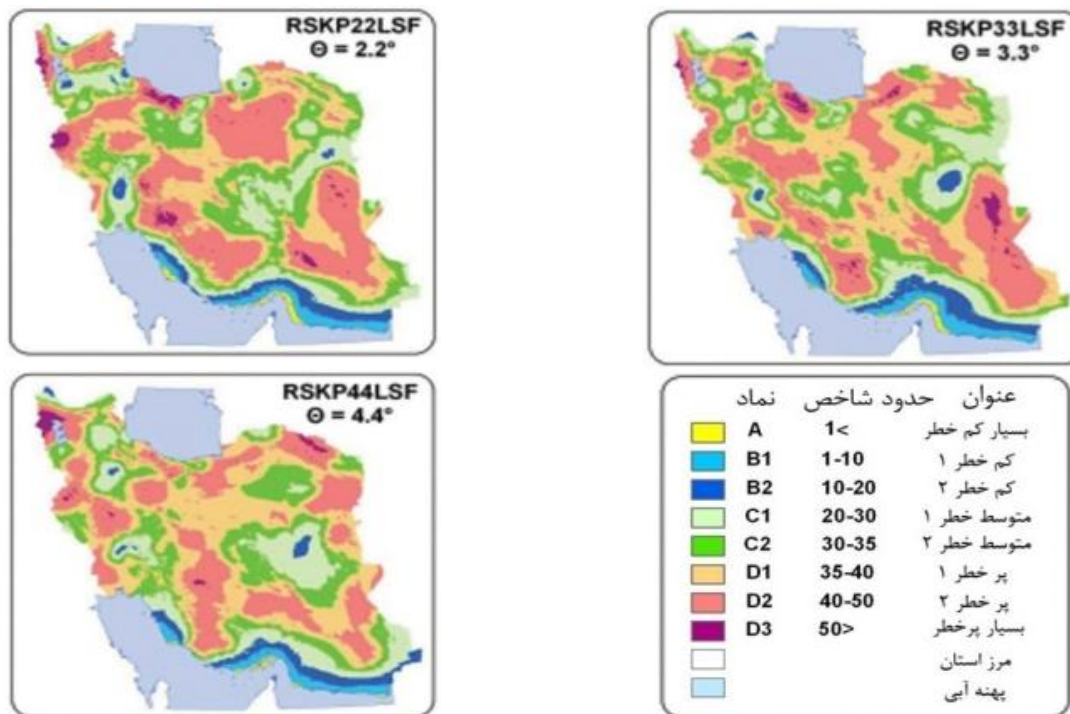
به منظور پهنه‌بندی مناطق هم‌خطر دو گام برداشته شد. در گام اول در راستای هدف اصلی، نقشه‌های هم‌خطر براساس معادلات توزیع فضایی $P_{23(\theta)}$ ترسیم شدند و پهنه‌بندی انجام گرفت. در گام دوم به منظور کاربردی کردن نتایج، پهنه‌های هم‌خطر روی گستره‌های فعالیت زراعی کشور و همچنین در محدوده تقسیمات اداری ایران با میانگین وزنی مقادیر $P_{23(\theta)}$ پیکسل‌های مربوط ارزیابی



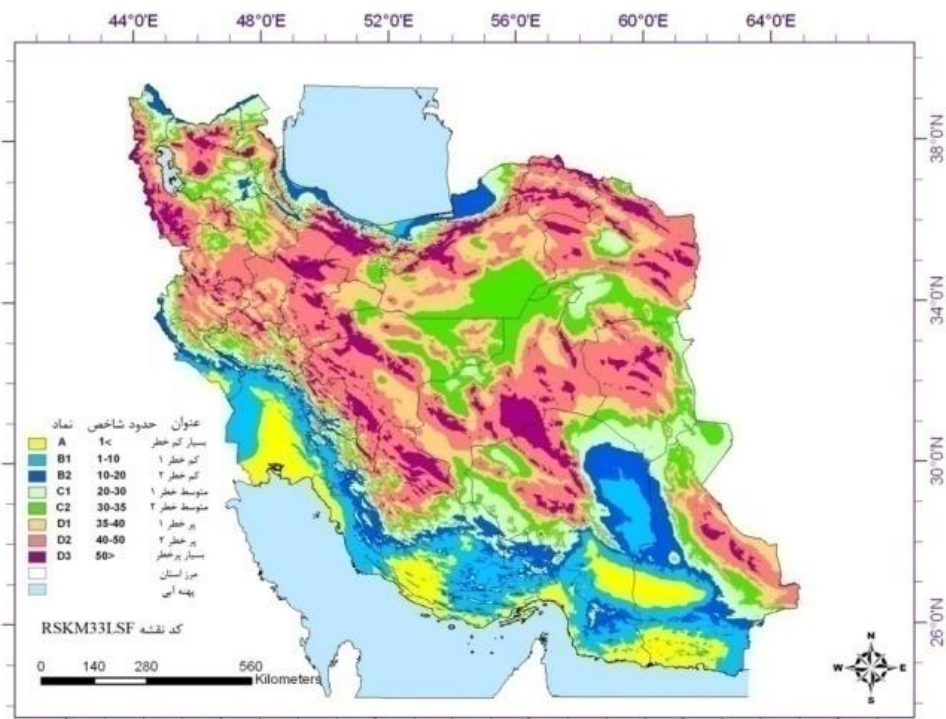
شکل ۲- پهنه‌های هم‌ریسک آخرین سرمای بهار برای آستانه‌های دماهای بحرانی مختلف



ادامه شکل ۲- پهنه‌های هم‌ریسک آخرین سرمای بهاره برای آستانه‌های دماهای بحرانی مختلف



شکل ۲- پهنه‌های هم‌ریسک آخرین سرمای بهاره برای آستانه‌های دماهای بحرانی مختلف



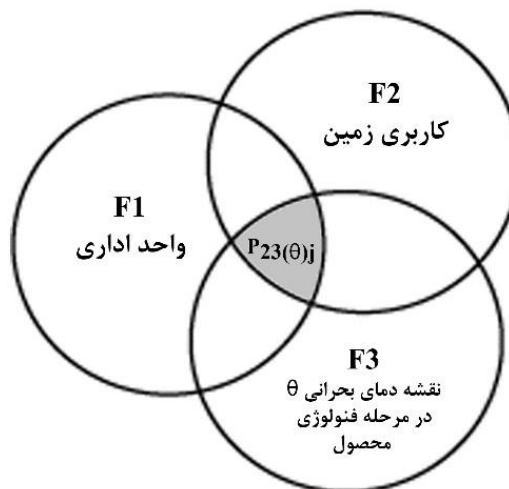
شکل ۳- پهنه‌های هم‌ریسک آخرین سرمای دیررس بهاره برای آستانه آسیب ۳/۳- درجه سانتی‌گراد

نتیجه‌گیری

ریسک کمی سرمازدگی برای محصولات مختلف زراعی و باغی

نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سرمازدگی بهاره ارائه شده در این بررسی برای هر نقطه (پیکسل) از کشور به ابعاد ۱×۱ کیلومتر، قضاوتی کمی راجع به بزرگی ریسک مربوط به ۱۳ آستانه دمایی را ارائه می‌دهد. با در نظر گرفتن این نکته که در عمل استخراج ارقام از نقشه‌ها و ارتباط دادن این ارقام به دماهای بحرانی گیاهان مختلف در مراحل سه‌گانه فنولوژی و تحلیل فراوانی داده‌های پیکسل‌ها جز با استفاده از یک نرم‌افزار مناسب امکان‌پذیر نیست؛ نرم‌افزاری به عنوان نتیجه-گیری و جمع‌بندی این پژوهش تدوین شده که AgroClimRisk نام‌گذاری شده است. بیان غیر ریاضی عملیاتی این مدل شامل مراحل زیر می‌باشد که در شکل ۴ خلاصه شده است:

- (۱) انتخاب واحد اداری کشور (استان، شهرستان، بخش، دهستان) (میدان F1)
- (۲) انتخاب کاربری زمین (جنگل و مرتع، زراعت دیم، باغات و زراعت آبی) (میدان F2)
- (۳) انتخاب محصول و مرحله فنولوژی مورد نظر مربوط به آن که بطور خودکار با دمای بحرانی θ محصول و ریسک $P_{23(\theta)}$ آن پیوند داده می‌شود (میدان F3) و نهایتاً منجر به انتخاب یکی از نقشه‌های ریسک و یا دو نقشه متوالی برای انترپولاسیون می‌گردد.



شکل ۴- ساختار مدل AgroClimRisk

جدول ۴- معادلات برگشت ریسک سرمازدگی بهاره برای آستانه‌های دمایی بحرانی استاندارد، براساس داده‌های ۱۳۳ ایستگاه. $P_{23(\theta)}$ ریسک (%، X و Y طول و عرض (درجه قوسی) Z ارتفاع (کیلومتر)

$P_{23(\theta)} = \alpha + \beta x + \gamma y + \lambda z + \varepsilon$				دمای بحرانی °C
α	β	γ	λ	
-۲۴/۳	۰/۱۵	۱/۳۶	۴/۶	۴/۴
-۱۶/۰	۰/۱۱	۱/۱۳	۵/۳	۳/۳
-۲۱/۱	۰/۰۹	۱/۲۹	۵/۸	۲/۲
-۶۵/۷	۰/۴۷	۲/۰۷	۵/۸	۱/۱
-۱۰۱/۷	۰/۷۱	۲/۶۸	۷/۲	۰/۰
-۱۱۴/۲	۱/۰۲	۲/۳۱	۱۲/۴	۱/۱
-۱۳۱/۳	۱/۱۲	۲/۶۱	۱۲/۵	-۲/۲
-۱۱۵/۶	۱/۰۵	۲/۱۱	۱۶/۶	-۳/۳
-۱۰۵/۱	۰/۷۸	۲/۱۸	۱۶/۷	-۴/۴
-۱۱۲/۱	۰/۸۴	۲/۲۴	۱۷/۴	-۵/۶
-۸۵/۶	۰/۴۶	۱/۹۸	۱۷/۴	-۶/۷
-۷۴/۴	۰/۲۵	۱/۹۶	۱۶/۵	-۷/۸
-۶۰/۴	۰/۰۷	۱/۷۷	۱۶/۹	-۸/۹

پس از این انتخاب جامعه آماری پیکسل‌هایی که منطقه اشتراک یا تقاطع سه میدان عددی فوق را تشکیل می‌دهند تحلیل آماری می‌شوند و کمترین، بیشترین و میانگین مقادیر $P_{23(\theta)z}$ ارائه شده و میانگین آن‌ها به عنوان سنج ریسک روی گستره فعالیت زراعی مورد بحث ارائه می‌شود.

$$\bar{P}_{23}(\theta) = \frac{\sum_{j=1}^N P_{23(\theta)z} \times S_j}{\sum S_j} \quad (۴)$$

که در آن $P_{23(\theta)z}$ مقدار ریسک هر پیکسل، S_j مساحت آن پیکسل (یک کیلومترمربع و در صورت ناقص بودن ۱/۲ کیلومترمربع) و N تعداد پیکسل‌های گستره زراعی و S کل مساحت گستره اشتراک میدان‌های F1، F2 و F3 است که در آن فعالیت زراعی به صورت زراعت آبی، یا دیم و یا باغات انجام می‌گیرد. بدیهی است از آنجا که دماهای بحرانی θ در مراحل فنولوژی اصلی گیاه (جوانه‌زنی، گلدهی و میوه‌دهی) مشخص است. مقدار متوسط ریسک منطقه‌ای حسب محصول و مرحله فنولوژی آن قابل برآورد است. به طور خلاصه نرم افزار AgroClimRisk قادر است آماره‌های منطقه‌ای شامل حداکثر حداقل ضریب تغییرات و میانگین

نمونه‌ای از خروجی این مدل را برای سرمزدگی بادام در مرحله جوانه‌زنی در بخشی از دهستان‌های استان چهارمحال بختیاری نشان می‌دهد. ارقام این شکل حداقل، حداکثر، ضریب تغییرات، میانگین ریسک و ارزیابی بزرگی خطر در محدوده‌های زراعی منتخب را منعکس می‌سازد.

ریسک را با استفاده از نقشه‌های پیش‌گفته به روش‌های زمین آماری در هر نقطه از کشور و در یکی از سه مرحله فنولوژی جوانه‌زنی، گلدهی و میوه‌دهی برای ۲۷ محصول و بر روی واحدهای اداری مختلف کشور (دهستان، بخش، شهرستان و استان) و با کاربری اراضی مختلف (زراعت آبی و باغات، مراتع، دیمزارها، جنگل و مرتع) ارائه دهد. شکل ۵

Zonal Calculation Result

پهنه بندی اقلیمی ایران از دیدگاه محصولات کشاورزی
سرمزدگی بهاره بادام در مرحله جوانه زنی

نماد	کاربری	استان	شهرستان	بخش	دهستان	حداکثر	حداقل	ضریب تغییرات (%)	میانگین وزنی	ارزیابی ریسک
C2	زراعت آبی	چهارمحال و بختیاری	کوهزنگ	مرکزی	میان کوه موگویی	34.4	34.4	0.0	34.4	متوسط خطر ۲
D1	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	کوهزنگ	بارفت	بارفت	47.7	24.8	15.3	37.7	پر خطر ۱
D2	زراعت آبی	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	لازان	مرغملک	46.0	43.0	2.6	45.0	پر خطر ۲
D2	زراعت آبی	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	بن	وردجان	46.8	43.9	2.6	45.1	پر خطر ۲
D2	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	کوهزنگ	مرکزی	شوراب تنگزی	48.3	40.2	5.3	42.4	پر خطر ۲
D2	زراعت آبی	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	سامان	سامان	43.8	43.4	0.3	43.6	پر خطر ۲
D2	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	مرکزی	حومه	53.1	41.5	6.2	45.2	پر خطر ۲
D2	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	لازان	لاز	52.1	40.5	8.3	46.1	پر خطر ۲
D2	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	کوهزنگ	مرکزی	دشت زین	47.9	47.9	0.0	47.9	پر خطر ۲
D2	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	فارسان	مرکزی	میردج علیا	54.7	40.0	9.8	46.5	پر خطر ۲
D2	زراعت آبی	چهارمحال و بختیاری	فارسان	مرکزی	میردج سفلی	52.7	40.9	7.5	46.1	پر خطر ۲
D2	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	مرکزی	طاقانک	53.3	41.9	6.0	44.0	پر خطر ۲
D1	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	کوهزنگ	بارفت	دوآب	42.3	37.6	5.3	39.4	پر خطر ۱
D2	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	کیار	کیار غربی	60.0	42.4	8.7	49.5	پر خطر ۲
D2	دیمزار	چهارمحال و بختیاری	شهرکرد	کیار	کیار شرقی	50.9	43.9	6.9	46.4	پر خطر ۲

اب | انتقال به اکسل | پیش نمایش چاپ

شکل ۵- نمونه خروجی نرم‌افزار تدوینی AgroClimRisk

بر مبنای حداقل دمای هوا در استان همدان. گزارش نهایی طرح پژوهشی. سازمان هواشناسی کشور. براتی، غ. ۱۳۷۵. طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیک یخبندان‌های بهاره‌ی ایران، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

جوادی، ش. ۱۳۵۰. آگرومتئورولوژی، اثر سرما و گرما روی رویدنی‌ها، انتشارات دانشگاه تبریز، ۶۱۳ صفحه.

خلیلی، ع.، درویش‌صفت، ع. ا.، برادران راد، ر. ۱۳۸۳. پیشنهاد روش برای پهنه‌بندی اقلیمی در محیط GIS (مطالعه موردی: شمال غرب ایران در سیستم سلیانینف). مجله بیابان، ۹(۲): ۲۳۸-۲۲۷.

خلیلی، ع. ۱۳۸۸. گزارش طرح "پهنه‌بندی اقلیمی ایران از دیدگاه بیمه محصولات کشاورزی در مقابل آسیب‌های خشکسالی، سرماهای زیان‌بخش و بارش‌های سیل آسا". امور پژوهش‌های کاربردی دانشگاه تهران و صندوق بیمه محصولات کشاورزی، جلد ۲ و ۷.

سیاسگزاری

از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه تهران و صندوق بیمه کشاورزی به پاس حمایت‌های معنوی و مادی آنان، از همکاری صمیمانه آقای دکتر خلیل قربانی برای انجام آزمون‌های متعدد ترسیم میدان‌های عددی و از آقایان دکتر مرتضی خوشخوی و دکتر داریوش مظاهری به خاطر مشاوره‌های علمی ارزنده‌شان تشکر و قدردانی می‌شود. از سازمان هواشناسی کشور به پاس در اختیار گذاشتن آمار و از آقای مهندس جابر رحیمی برای جمع‌بندی مراجع متن تشکر می‌شود.

منابع

ایزدی، م. ۱۳۷۷. تعیین احتمالات آخرین تاریخ‌های وقوع سرماهای بهاره و اولین تاریخ‌های وقوع سرماهای پاییزه

- Crimp, S., Bakar, K. S., Kokic, P., Jin, H., Nicholls, N., & Howden, M. 2014. Bayesian space-time model to analyse frost risk for agriculture in Southeast Australia. *International J. Clim.* DOI: 10.1002/joc.4109.
- Davis, R. L. 1978. A topoclimatic classification to map spring frost risk for six deciduous tree fruit varieties. *Atmosphere-Ocean*, 16(2): 169-176.
- François, C., Bosseno, R., Vacher, J. J., & Seguin, B. 1999. Frost risk mapping derived from satellite and surface data over the Bolivian Altiplano. *Agric. forest meteorol.*, 95(2): 113-137.
- Hannerz, M. 1994. Predicting the risk of frost occurrence after budburst of Norway spruce in Sweden. *Silva Fennica* 28(4): 243-249.
- Hijmans, R. J. 1997. Estimating frost risk in potato production on the Altiplano using interpolated climate data. CIP Program Report, 1998: 373-380.
- Laughlin, G. P., & Kalma, J. D. 1987. Frost hazard assessment from local weather and terrain data. *Agr. Forest. Meteorol.*, 40(1): 1-16.
- Rahimi, M., Hajjam, S., Khalili, A., Kamali, G. A., & Stigter, C. J. 2007. Risk analysis of first and last frost occurrences in the Central Alborz Region, Iran. *International j. clim.*, 27(3): 349-356.
- Rigby, J. R., & Porporato, A. 2008. Spring frost risk in a changing climate. *Geophysical Res. Lett.*, 35(12).
- Rozenberg, N. J., Myers, R. E. 1962. The nature of growing season frost in and along the Platte valley of Nebraska. *Mon. Weather Rev.* November: 471-478.
- Scheifinger, H., Menzel, A., Koch, E., Peter, C. 2003. Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 74(1-2): 41-51.
- Schmidlin, T. W., Detheir, B. C. 1986. A statistical analysis of Freeze hazard in New York State, *Phys. Geogr.* 7(3): 246- 257.
- Snyder, R. L., De Melo-Abreu, J. P., & Matulich, S. 2005. Frost protection: fundamentals, practice, and economics. Vol. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- خوشخوی، م. ۱۳۹۱. اصول نوین باغبانی، انتشارات دانشگاه شیراز، ۶۳۸ صفحه.
- سمیعی، م.، عسگری، م.، باستانی، خ. ۱۳۶۷. شروع و خاتمه یخبندان در ایران. سازمان هواشناسی کشور، تهران.
- ضیایی، ع.، کامگارحقیقی، ع.، سپاسخواه، ع.، رنجبر، س. ۱۳۸۵. تعیین اطلس احتمال وقوع کمینه دمای استان فارس با استفاده از آمار هواشناسی، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۰(۳): ۲۷-۱۳.
- علیزاده، ا.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ. ع. ۱۳۷۳. تاریخ وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره در خراسان. *مجله نیوار*، ۲۴: ۳۸-۵۶.
- کمالی، غ. ع. ۱۳۸۰. بررسی سرماهای زیان‌بخش به کشاورزی ایران و تهیه اطلس اقلیمی آن. گزارش نهایی طرح پژوهشی، سازمان هواشناسی کشور.
- مجرد قره‌باغ، ف. ۱۳۷۶. تحلیل و پیش‌بینی یخبندان در آذربایجان، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- مقدسی، ف. ۱۳۶۱. برآورد احتمالات خطر سرمای بهاره همدان، نشریه شماره ۱۰۰، سازمان هواشناسی کشور.
- مظاهری، د.، آفاخانی، م. ۱۳۸۵. بوم‌شناسی گیاهان گرمسیری، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۱۰ صفحه.
- هاشمی، ف. ۱۳۵۳. منطقه‌بندی ایران از نظر هواشناسی کشاورزی، انتشارات پژوهشی سازمان هواشناسی کشور.
- Beres, M., Foresti, L., Tapia, R., Kanevski, M. 2008. Frost risk mapping using neural networks and GIS decision models. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 10).
- Bo, H. S., 1990. A Climatic Classification for Citrus Winter Survival in China. *J. Clim.*, 4: 550-555.
- Caprio, J. M. 1961. A Rational Approach to the Mapping of Freeze Dates. *Bull. Amer. Meteorol.* 13: 339-348.
- Castellanos, M. T., Tarquis, A. M., Morató, M. C., & Saa, A. 2009. Forecast of frost days based on monthly temperatures. *Spanish J. Agric. Res.*, 7(3): 513-524.
- Cittadini, E. D., de Ridder, N., Peri, P. L., & van Keulen, H. 2006. A method for assessing frost damage risk in sweet cherry orchards of South Patagonia. *Agr. Forest. Meteorol.*, 141(2): 235-243.

- Trewartha, G. T. 1954. An Introduction to Climate, McGraw-Hill, New York, N.Y., 402 pp.
- Waylen, P. R. 1988. Statistical analysis of freezing temperatures in Central and Southern Florida. *J. clim.*, 8(6): 607-628.
- Zinoni, F., Antolini, G., Campisi, T., Marletto, V., & Rossi, F. 2002. Characterisation of Emilia-Romagna region in relation with late frost risk. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 27(23): 1091-1101.
- Tait, A., Zheng, X. 2003. Mapping frost occurrence using satellite data. *J. Appl. Meteorol.*, 42(2): 193-203.
- Thom, H. C. S., & Shaw, R. H. 1958. Climatological analysis of freeze data for Iowa. *Mon. Weather Rev.*, 86(7): 251-257.
- Trasmonte, G., Chavez, R., Segura, B., Rosales, J. L. 2008. Frost risks in the Mantaro river basin. *Adv. Geosci.*, 14(14): 265-270.



Quantitative Evaluation of Spring Frost Risk to Agricultural and Horticultural Crops in Iran and Modeling

A. Khalili^{1*}

Received: 15/04/2014

Accepted: 13/07/2014

Abstract

The purpose of this study is to quantify and mapping climatic damage risk of last spring frost for different agricultural and horticultural crops at various phenological stages over Iran and to develop an applicable model for determining crop insurance premium rates. For this purpose daily minimum temperature data of 137 meteorological stations since their establishment date to 2004 were collected and submitted to quality control. Missed or debt full data were reconstructed using a cross control model. Finally the time series of daily minimum temperatures are formed for each station and then the date of the occurrence of these daily data were expressed by TDN (Thermal Day Number), using a thermal year calendar (from first of August each year until end of July next year). Thus the last spring frost (LSF) date of occurrence in each year is expressed by TDN. The time Series of LSF are accomplished for 13 standard temperature threshold θ , from -9.8 to +4.8 Celsius degrees and for each station. Based on these series, the normalized values of TDNi named Zi is defined as a measure of frost risk severity for each thermal year i and each critical temperature (θ). At next step, based on Zi values, each thermal year was placed in one of the four risk classes of very low, low, medium and high frost damage risk group. Then the probability of their occurrences ($P_0(\theta)$, $P_1(\theta)$, $P_2(\theta)$ and $P_3(\theta)$) were calculated for each station and all critical temperature θ . Finally the parameter $P_{23}(\theta) = P_2(\theta) + P_3(\theta)$ i.e. the probability (in percent) of moderate and high frost risk were considered as spring frost risk criterion for various values of θ . It has been shown that $P_{23}(\theta)$ for all 13 values of θ has a significant linear relationship with longitude, latitude and elevation. Based on these regression equations and using error-correction procedures, spring frost risk maps with spatial resolution of $1 \times 1 \text{ km}^2$ were constructed in GIS environment for 13 critical temperatures over Iran. Afterwards critical temperatures (θ) at different phenological stages based on FAO threshold data were coupled to frost risk maps. Ultimately, for practical applications, a new agro-climatic risk tool named AgroClimRisk was developed which can be combined with geo-statistical methods to calculate the quantities of maximum, minimum and averages of frost risk for 27 different crops and for three phenological main stages i.e. germination, flowering and fruit forming, over agricultural zones of Iran.

Keywords: Iran, Agrometeorology, Spring frost index, Risk quantifying, Modeling, AgroClimRisk, GIS

¹Professor, University of Tehran, Faculty college of Agriculture and Natural Resources, Department of Irrigation, Karaj, Iran.
(*Corresponding author email address: akhalili@ut.ac.ir)