جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره چهاردهم، تابستان ۱۳۹٤

صص ۱۳۵-۱۱۷

بررسی و تهیه نقشه های وقوع سرمازدگی گیاهان زراعی و باغی در استان آذربایجان غربی

بهزاد حصاری- استادیار هیدرولوژی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

رضا رضایی[1] - استادیار باغبانی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، ارومیه، ایران

رامین نیکانفر- مربی پژوهش آبیاری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، ارومیه، ایران

نادره طایفه نسکیلی- دانشجوی دکترای عمران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۹/۱

چکیده

با توجه به خسارت سنگین سرمازدگی، تعیین محدوده احتمال وقوع دمای بحرانی خسارت سرمازدگی برای برنامه ریزی زمان مناسب کاشت و برداشت و طول فصل رشد موثر، انتخاب رقم و تعیین مناطق مستعد سرمازدگی حائز اهمیت است. در این تحقیق، برای بررسی سرماهای رخ داده طی ادوار گذشته، نسبت به جمع آوری آمار روزانه درجه حرارت حداقل در ۳٤ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و تبخیرسنجی اقدام گردید. تاریخ‌های وقوع سرمازدگی از مبدأ مهر در کلاس‌های صفر درجه (گیاهان خیلی حساس)، ۲/۲- درجه (گیاهان حساس) و ٤/٤- درجه (گیاهان نسبتاً مقاوم) برای ۳٤ ایستگاه منتخب استخراج شدند. برای تحلیل فراوانی، توزیع‌های حدی و غیر حدی به داده‌ها برازش داده شد و توزیع گامبل به عنوان توزیع غالب انتخاب گردیده و سرمازدگی بهاره و پائیزه در کلاس‌های مختلف و با احتمالات معادل محاسبه گردید. با ارائه نقشه تاریخ وقوع متوسط و نقشه ضریب تغییرات، و با تعیین مقدار ضریب فراوانی (K) نقشه های احتمالاتی هر منطقه در سه کلاس ۰، ۲- و ٤- درجه سلسیوس با روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و روش معکوس فاصله با توان‌های متفاوت تهیه شد. برای تحلیل مکانی و درون‌یابی، روش های کریجینگ، کو- کریجینگ و روش معکوس فاصله با توان های متفاوت استفاده گردید. مناسب‌ترین روش برازش بر اساس معیار ریشه دوم میانگین مربع خطا و روش ارزیابی تقاطعی تعیین گردید. روش درون‌یابی کو-کرجینگ با ارتفاع، مدل برتر تشخیص داده شد. تغییرات مکانی، منظم بودن وقوع سرمازدگی در استان از روی نقشه‌ها محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نقشه سرمازدگی با احتمال ۷۵٪ برای تعیین تاریخ کشت گیاهان زراعی استان آذربایجان غربی ارائه شد. این نقشه ها هم چنین برای مکان یابی توسعه باغات، مجتمع‌های گلخانه‌ای و استخر پرورش ماهی قابل استفاده هستند.

کلیدواژه‌ها: سرمازدگی، یخبندان زودرس پائیزه، دیررس بهاره، مکان یابی، نقشه‌های سرمازدگی، تحلیل مکانی.

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٤٤٤۰۷۸۳۸

Email: rezrezaee@yahoo.com

۱. مقدمه

سرمازدگی‌های زودرس پائیزه و دیررس بهاره در استان آذربایجان غربی هر ساله صدمات زیادی به بخش کشاورزی وارد می‌کند. از بین بلایای طبیعی ۳۹ گانه شناخته شده در جهان، ۷ بلیه به عنوان بلیه غالب گریبان گیر این استان بوده و از بین آن‌ها، سرمازدگی مقام اول را به خود اختصاص داده است (افشار و حصاری، ۱۳۷۷: ۱).

احتمال و ریسک وقوع درجه حرارت خسارت زا با زمان و سال، بسته به گیاه و حساسیت آن نسبت به درجه حرارت‌های زیر صفر و تغییرات آن متفاوت است. کمالی و ایکانی(۱۳۷۸) گزارش کردند که در اثر سرمای بهاره سال ۱۳٦۰ بادامستان‌های اطراف ارومیه چنان خسارتی دید که حتی یک درصد از محصول بادام برداشت نشد. همچنین یخبندان اردیبهشت ۱۳٦۸ هم خساراتی بالغ بر یک میلیارد و چهارصد میلیون تومان وارد آورد.

حسین نیا و همکاران (۱۳۸٤) میزان خسارت ناشی از سرمازدگی دیررس بهاره در سال ۱۳۸٤، در باغات میوه را حدود ٥٦۹۳۲۰ هکتار (در حدود ۲۵ درصد از باغات) برآورد نمودند که معادل از بین رفتن ۱۰۷۷۱۷۰ تن میوه با ارزش ریالی حدود ۸٤٥۰ میلیارد ریال است. رضایی (۱۳۸٤) با بیان اینکه بخش اعظم باغات استان آذربایجان غربی بدون مطالعه تناسب اراضی و تناسب آب و هوایی توسعه یافته است، با استناد به نتایج میزان خسارت سرمای دو سال پی در پی ۱۳۸۳ و ۱۳۸٤، محدوده استان را به سه ناحیه نسبتا امن شامل قسمتی از مناطق جنوبی، منطقه مرکزی و مجاور دریا، نیمه امن شامل مناطق غربی و شمال غربی و حساس به سرما مناطق جنوبی(به علت زود گلدهی) و ارتفاعات شمالی طبقه بندی و بر ضرورت بهره گیری از سیستم اطلاعاتی جغرافیایی در تعیین مناطق مستعد میوه کاری از نظر خسارت سرمازدگی تاکید نموده است. ایزدی و همکاران (۱۳۷۷) در ۱۱ ایستگاه همدان، برای دوره ۱۰ ساله (۱۳۷۷ ° ۱۳٦۸) احتمالات تاریخ‌های وقوع اولین سرماهای پائیزه و آخرین سرماهای بهاره را از روی آمار ثبت شده حداقل دمای روزانه هوا مورد بررسی قرار داده و با احتمالات ۵۰، ۷۰، ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد نقشه‌های هم احتمال وقوع در سطح استان همدان را به وسیله نرم‌افزار سورفر[1] تهیه نمودند. بری ابرقوئی و همکاران (۱۳۸٤) در ۲۸ ایستگاه استان یزد طی یک دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۰-۱۳۷۱) به بررسی احتمالات تاریخ‌های وقوع اولین سرماهای پائیزه و آخرین سرماهای بهاره پرداخته و پهنه بندی استان از نظر تاریخ وقوع اولین یخ بندان پائیزه و آخرین سرمای بهاره انجام و در نهایت با استفاده از یافته‌های تحقیق، آزمون فرضیات را به انجام رسانده اند. پدارم و همکاران (۱۳۸٤) نیز برای دوره ٦۹ ° ۷۸ با انتخاب ۱۱ ایستگاه سینوپتیک شاخص، برای هرکدام از این ایستگاه‌ها در آذربایجان غربی و شرقی تاریخ آغاز و خاتمه یخبندان در احتمالات مختلف ارائه نمودند با این توضیح که تحقیق فوق فاقد تحلیل مکانی بود. کمالی و حبیبی (۱۳۸٤) با هدف مطالعه توزیع زمانی و مکانی پدیده یخبندان و اثرات آن بر ایمنی حمل و نقل جاده‌ای، داده‌های روزانه هواشناسی ۱۱۹ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در طول سال‌های ۱۳۷۷- ۱۳٦۸ را تجزیه و تحلیل و

1 Surfer

پس از محاسبه روابط و برآورد احتمال وقوع در کلیه ایستگاه‌ها، محدوده مکانی و زمانی آغاز و خاتمه یخبندان با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی کشور تهیه و معادلات آن‌ها بر پایه تابعی از ارتفاع و عرض جغرافیایی ارائه نمودند. هژیر پور و علیجانی (۱۳۸٦) به منظور تحلیل همدید یخبندان های خسارت بار استان اردبیل آمار روزانه چهار ایستگاه همدیدی اردبیل، پارس آباد، خلخال و مشکین شهر را در طی دوره آماری ۲۰۰٤ –۱۹۹۵ مطالعه نمودند. در این پژوهش ابتدا دوره های یخبندان با دمای روزانه زیر صفر سلسیوس و تداوم بیشتر از دو روز انتخاب و از بین این دوره های یخبندان، طولانی‌ترین، زودترین و دیرترین یخ بندان فراگیر استان انتخاب و سپس الگوهای سینوپتیک روزانه این دوره‌ها بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشتر یخبندان های استان اردبیل از نوع انتقالی بوده و در دوره سرد سال از آبان تا فروردین اتفاق می‌افتند. خلجی (۱۳۸۰) طی مطالعاتی سرمای زود رس بهاره و دیررس پائیزه به ترتیب در استان‌های چهارمحال بختیاری و استان لرستان را به صورت نقطه‌ای مورد بررسی قرار داده است. با توجه به خسارت نخستین یخبندان‌های پاییزه به کشت پنبه و چغندر قند در استان آذربایجان غربی از لحاظ وقوع پدیده یخبندان در سامانه اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی شده است(میان آبادی و همکاران ۷۹:۱۳۸۸). نتایج این تحقیق نشان داد که وقوع یخبندان‌های پاییزه از شمال استان آغاز شده و سپس مناطق جنوبی را در بر می‌گیرد. همچنین یخبندان‌های بهاره در جنوب استان زودتر به پایان رسیده و یخبندان‌های زمستانه نیز بیشتر در شمال استان به وقوع می‌پیوندد.

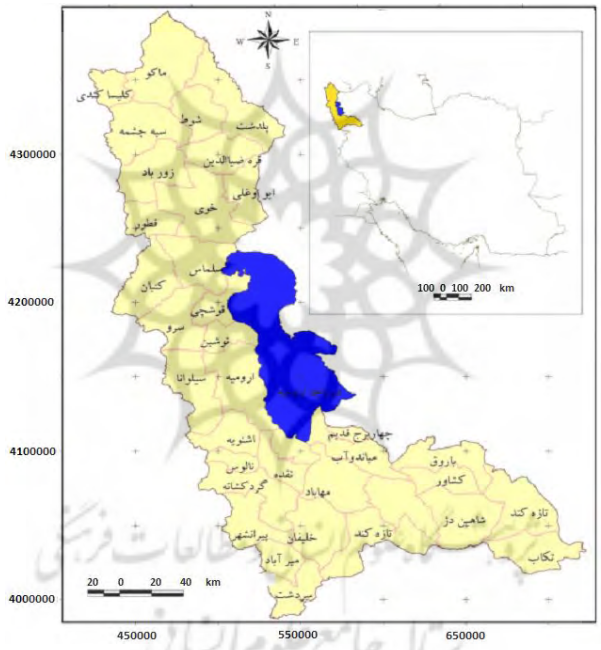
بر اساس مطالعه‌ای در امریکا توسط دزیکوفسکی[1] (۱۹۸۸) تاریخ احتمالاتی سرمازدگی ایستگاه‌های آلبرتا مورد تجزیه و تحلیل واقع گردید و با ریسک‌های مختلف، تاریخ وقوع سرمازدگی تعیین شد. یکی از مباحث مهم سرمازدگی آستانه های حرارتی است که گیاهان دچار سرمازدگی می‌شوند. بدین منظور لازم است که آستانه های حرارتی محصولات غالب منطقه نیز مورد توجه قرار گیرد: دمای بحرانی توت فرنگی صفر درجه سانتی‌گراد است و برای درختان میوه که گیاهان چند ساله هستند دمای بحرانی، دمایی است که منجر به یخ‌زدگی جوانه و شکوفه‌ها شده و به تنه درخت که چند ساله است آسیب نرسیده یا آسیب آن کمتر است (ریچاید و همکاران، ۲۰۰۵). طبقه بندی درجه حرارت‌هایی که برای گیاهان و کشاورزی مهم هستند، براساس مطالعات والتر و همکاران[2] (۱۹۸۸) به شرح زیر می‌باشد: **یخ بندان سبک:** ۲۹ تا ۳۲ فارنهایت (۰ تا ۱/۷– سانتی‌گراد) که در آن گیاهان حساس از بین می‌روند. **یخ بندان متوسط:** ۲۵ تا ۲۸ فارنهایت (۲/۲– تا ۳/۹– سانتی‌گراد) که با خسارت شدید گیاهان، شکوفه میوه‌ها و گیاهان نیمه مقاوم همراه است. **یخ بندان شدید:** ۲٤ درجه فارنهایت و کمتر (٤/٤– سانتی‌گراد) که در آن خسارت شدید به اغلب گیاهان وارد می‌شود. در این درجه حرارت‌ها زمین یخ‌زده و سفت می‌شود که عمق یخ بندان زمین به مدت و شدت یخ بندان، رطوبت خاک و نوع خاک بستگی دارد. تعیین محتمل‌ترین وقوع سرمازدگی با یک ریسک فرضی و بررسی تغییرات مکانی آن با استفاده از آمار روزانه درجه حرارت ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیر سنجی از هدف اصلی

1 Dzikowski, 1988
2 Walter et al., 1988

این تحقیق بوده و برای استان آذربایجان‌غربی که به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی نیز شناخته شده است از توجیه فنی و اقتصادی بالایی برخوردار است. استفاده از آخرین ابزار و روشهای زمین آماری و تهیه الگوهای فضائی حاکم بر منطقه در تهیه سطوح سرمازدگی از سایر اهداف این تحقیق می باشند.

۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه این تحقیق کل استان آذربایجان غربی را در بر می‌گیرد. این استان با مساحتی معادل ۳۷۶۰۰ کیلومترمربع (بدون احتساب سطح دریاچه ارومیه) از شمال به کشورهای ترکیه ارمنستان و جمهوری نخجوان، از غرب به کشورهای ترکیه و عراق، از جنوب به استان کردستان و از شرق به استان آذربایجان شرقی محدود می‌باشد. حدود جغرافیایی آن ٤٤°,۰۲ تا ٤٧° ۳۲ طول شرقی و ۵۸ °۳۵ تا ٤٦ °۳۹ عرض شمالی می‌باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه

۳. مواد و روش‌ها

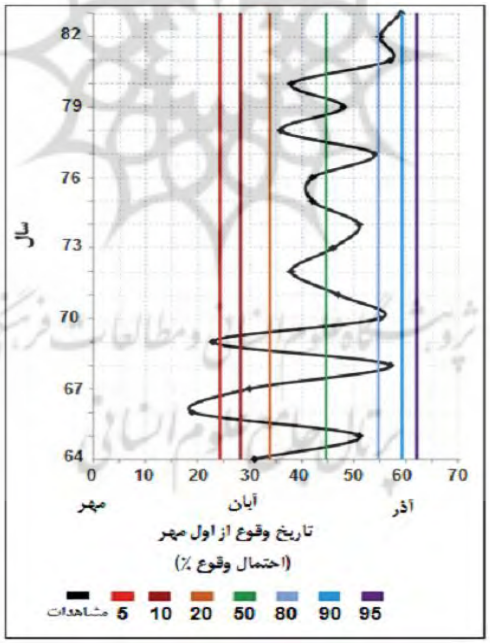
۳,۱. منابع آماری و آماده سازی داده‌ها

شبکه جامع هواشناسی استان آذربایجان غربی در مجموع دارای ۲۹٤ ایستگاه اعم از سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران سنجی معمولی، باران سنجی ذخیره‌ای و تبخیر سنجی است که از بین تمام ایستگاه‌ها فقط ایستگاه‌های تبخیر سنجی سازمان آب و اقلیم شناسی و سینوپتیک سازمان هواشناسی، آمار درجه حرارت را ثبت می‌نمایند. برای بررسی

سرماهای روی داده طی ادوار گذشته در ایستگاه‌های موجود، ابتدا اقدام به جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی ثبت شده آمار روزانه درجه حرارت حداقل گردید. از بین ۵۸ ایستگاه هواشناسی و تبخیر سنجی موجود، تنها ۳٤ ایستگاه دارای آمار مکفی بودند که برای داده‌های ۳٤ ایستگاه منتخب برای سه مبنای درجه حرارت صفر درجه سانتی‌گراد (شاخص گیاهان خیلی حساس)، ۲-درجه سانتی‌گراد (شاخص گیاهان حساس) و ٤- درجه سانتی‌گراد (شاخص گیاهان نسبتاً متحمل و مقاوم) تاریخ‌های وقوع در پاییز و بهار استخراج گردید. سرمای بهار هر چه به اردیبهشت نزدیک می‌شود احتمال وقوع آن کم و رخدادی نادر محسوب می‌گردد لذا در بهار احتمال وقوع سرمازدگی به صورت 1-p وارد می‌گردد یا احتمال به صورت احتمال عدم وقوع تفسیر خواهد شد.

۳,۲. تحلیل نقطه ای و مفهوم احتمالاتی تاریخ وقوع سرمازدگی

سرمازدگی بهاره یک ایستگاه در تاریخ‌های مختلف بین فروردین تا اردیبهشت روی می‌دهد. احتمال وقوع پدیده، تعداد وقوع آن پدیده در یک دوره زمانی مثلاً ۲۰ ساله است. اگر تاریخ احتمالی ۷۵٪، ۲۵ فروردین باشد بدین معنی است که از نظر آماری ۱۵ بار از ۲۰ سال سرمازدگی در تاریخ ۲۵ فروردین روی داده است. احتمال وقوع ۲۰٪ یعنی ٤ سال از ۲۰ سال در آن تاریخ روی داده و پدیده نادرتری بوده و مثلاً ۱۵ اردیبهشت خواهد بود. در شکل ۲ نمودار داده‌های سرمازدگی پاییزه ماکو در سال‌های مختلف با نشان دادن مفهوم تاریخ احتمال وقوع آن‌ها ارایه گردیده است.



شکل ۲ نمودار داده های سرمازدگی پاییزه منطقه ماکو

در این شکل بوضوح مشخص است که برای شهر ماکو و در پائیز ، احتمال وقوع سرمای نادر با احتمال ۱۰٪ ، قبل از آبان روی داده و شانس وقوع سرما پس از ۱۵ آبان افزایش می یابد.

برای بررسی فراوانی سرماهای ثبت شده گذشته در هر ایستگاه در طی سری آماری دراز مدت، تحلیل فراوانی با برازش توزیع‌های غیر حدی نرمال، لوگ نرمال و پیرسون و همچنین توزیع‌های حدی گامبل[1] و لوگ پیرسون برای کل سری‌های آماری در کلاس‌های سرما انجام گردید. با برنامه‌ای که توسط حصاری (۱۳۷٦) و به زبان بیسیک تهیه شده، برازش توزیع‌های آماری به سری‌های مذکور صورت گرفت. با بررسی فراوانی توزیع‌ها، توزیع گامبل به عنوان توزیع غالب انتخاب گردید و با برازش دوباره این توزیع به کل سری‌ها، سرمازدگی بهاره و پائیزه در کلاس‌های مختلف و احتمالات و دوره بازگشت‌های معادل محاسبه شد. توضیحات مختصری از توزیع گامبل یا توزیع مقادیر کرانه‌ای(حدی) ، ارائه می‌شود. جهت انطباق این قانون از رابطه ۱ استفاده می‌شود:

$$X_T = \bar{X} + K_T S \qquad (۱)$$

که در این رابطه X و S به ترتیب میانگین و انحراف معیار نمونه‌ها و K_T ضریب فراوانی توزیع گامبل است:

$$K_T = \frac{-\sqrt{6}}{\pi}\left\{\gamma + \ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]\right\} \qquad (۲$$

که در آن $0.5772=$ ثابت اولر، برابر ۳/۱٤ و T دوره برگشت بر حسب سال می‌باشد. وقتی $X_T=X$ باشد $K_T=0$ شده و $T=2.33$ می‌شود که این دوره برگشت متوسط مقادیر کرانه‌ای می‌باشد. خود Y_T از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$Y_T = -Ln\left[-\mathrm{Ln}\left(1-\frac{1}{T}\right)\right] \qquad (۳)$$

با جایگذاری و محاسبه موارد فوق فرمول ضریب فراوانی گامبل به صورت $K_T=0.78Y_T-0.45$ بدست می‌آید.

۳,۳. انتخاب بهترین توزیع آماری برای یکسری داده

در این طرح بهترین توزیع بر اساس روش مجموع مربعات باقی‌مانده[2] (R.S.S) که از رابطه ٤ محاسبه می‌شود انتخاب گردید:

$$R.S.S = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-E_i)^2}{n-m}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (٤)$$

که در آن: O_i = مقدار مشاهده شده متغیر X E_i = مقدار محاسبه شده متغیر X n = تعداد نمونه m = تعداد پارامتر توزیع که در توزیع‌های نرمال، لوگ نرمال و گامبل برابر ۲ بوده و برای توزیع‌های پیرسون و لوگ پیرسون برابر ۳ می‌باشد (حصاری، ۱۳۷٦). در جدول ۱ به صورت نمونه، نتایج بررسی ایستگاه ارومیه با استفاده از توزیع گامبل، ارایه شده است که نشان می دهد تاریخ وقوع یخبندان با احتمال و دوره بازگشت متغییر است.

1 Gumble exterm value distribution
2 Residual of sum of squers

جدول ۱ احتمال وقوع سرمازدگی زودرس پاییزه و دیررس بهاره ایستگاه ارومیه در کلاس‌های مختلف درجه حرارت حداقل با توزیع گامبل

			دوره بازگشت سرمازدگی(سال)	۱,۰۱	۱,۰۲	۱,۰۴	۱,۰۵	۱,۱۱	۱,۲۵	۲	۵	۱۰	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
			احتمال وقوع سرمازدگی پائیزه	۰,۰۹۹	۰,۰۹۸	۰,۰۹۶	۰,۰۹۵	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰۵	۰,۰۰۴	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱
زودرس پائیزه	سرمای صفر درجه	۴۳,۳		۸۹,۰۱	۸۱,۰۲	۷۳,۰۲	۷۰,۰۶	۶۲,۰۴	۵۳,۰۸	۴۱	۳۱,۰۴	۲۷,۰۳	۲۴,۰۳	۲۳,۰۵	۲۱,۰۳	۱۹,۰۴
				۲۹ آذر	۲۱ آذر	۱۳ آذر	۱۱ آذر	۲ آذر	۲۴ آبان	۱۱ آبان	۱ آبان	۲۷ مهر	۲۴ مهر	۲۴ مهر	۲۱ مهر	۱۹ مهر
	سرمای ۲ – درجه	۵۰,۹	۱۳ آبان	۱۰۲,۰۱	۹۳,۰۲	۸۴,۰۳	۸۱,۰۴	۷۲,۰۳	۶۲,۰۷	۴۸,۰۳	۳۷,۰۶	۳۳	۲۹,۰۷	۲۸,۰۷	۲۶,۰۳	۲۴,۰۳
				۱۲ دی	۳ دی	۲۴ آذر	۲۱ آذر	۱۲ آذر	۳ آذر	۱۸ آبان	۸ آبان	۳ آبان	۳۰ مهر	۲۹ مهر	۲۶ مهر	۲۴ مهر
	سرمای ۴ – درجه	۵۸,۰۶	۲۱ آبان	۱۰۷,۰۳	۹۸,۰۸	۹۰,۰۳	۸۷,۰۵	۷۸,۰۸	۶۹,۰۷	۵۶	۴۵,۰۸	۴۱,۰۵	۳۸,۰۳	۳۷,۰۴	۳۵,۰۱	۳۳,۰۱
				۱۷ دی	۹ دی	۳۰ آذر	۲۸ آذر	۱۹ آذر	۱۰ آذر	۲۶ آبان	۱۶ آبان	۱۲ آبان	۸ آبان	۷ آبان	۵ آبان	۳ آبان
			دوره بازگشت سرمازدگی(سال)	۱۰۰	۵۰	۲۵	۲۰	۱۰	۵	۲	۱,۲۵	۱,۱۱	۱,۰۵	۱,۰۴	۱,۰۲	۱,۰۱
			احتمال وقوع سرمازدگی بهاره	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۴	۰,۰۰۵	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۹۵	۰,۰۹۶	۰,۰۹۸	۰,۰۹۹
دیررس بهاره	سرمای ۴ – درجه	۱۸۵,۸	۷ فروردین	۲۳۶,۰۹	۲۲۸,۰۱	۲۱۹,۰۱	۲۱۶,۰۳	۲۰۷,۰۱	۱۹۷,۰۵	۱۸۳,۰۱	۱۷۲,۰۴	۱۶۷,۰۸	۱۶۴,۰۵	۱۶۳,۰۶	۱۶۱,۰۱	۱۵۹
				۲۷ اردیبهشت	۱۸ اردیبهشت	۹ اردیبهشت	۶ اردیبهشت	۲۸ فروردین	۱۹ فروردین	۴ فروردین	۲۲ اسفند	۱۸ اسفند	۱۵ اسفند	۱۴ اسفند	۱۱ اسفند	۹ اسفند
	سرمای ۳ – درجه	۱۹۰,۱۳	۱۹ فروردین	۲۳۷,۰۳	۲۲۹,۰۱	۲۲۰,۰۹	۲۱۸,۰۲	۲۰۹,۰۸	۲۰۱	۱۸۷,۰۸	۱۷۸	۱۷۳,۰۸	۱۷۰,۰۷	۱۶۹,۰۹	۱۶۷,۰۶	۱۶۵,۰۷
				۲۷ اردیبهشت	۱۹ اردیبهشت	۱۱ اردیبهشت	۸ اردیبهشت	۳۱ فروردین	۲۲ فروردین	۷ فروردین	۲۸ اسفند	۲۴ اسفند	۲۱ اسفند	۲۰ اسفند	۱۸ اسفند	۱۶ اسفند
	سرمای صفر درجه	۱۹۷,۰۸	۲۹ فروردین	۲۴۲,۰۹	۲۳۵,۰۱	۲۲۷,۰۲	۲۲۴,۰۶	۲۱۶,۰۶	۲۰۸,۰۱	۱۹۵,۰۴	۱۸۶	۱۸۱,۰۹	۱۷۹	۱۷۸,۰۲	۱۷۶	۱۷۴,۰۲
				۲ خرداد	۲۵ اردیبهشت	۱۷ اردیبهشت	۱۵ اردیبهشت	۷ اردیبهشت	۲۹ فروردین	۱۶ فروردین	۷ فروردین	۳ فروردین	۲۹ اسفند	۲۸ اسفند	۲۶ اسفند	۲۷ اسفند

۳,٤. تحلیل مکانی

در بررسی تغییرات مکانی، با بحث علم زمین آمار[1]، برازش سطح از بین نقاط نمونه گیری شده و درون یابی مواجه هستیم. به منظور منطقه‌ای کردن سرما و تهیه نقشه‌های سرمازدگی، آنالیز گرادیان مورد توجه واقع شد ولی هیچ گونه رابطه معنی داری بین ارتفاع ایستگاه‌ها و تاریخ‌های وقوع سرما حاصل نگردید. نحوه پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی در سطح استان آذربایجان غربی به گونه‌ای است که اغلب ایستگاه‌ها در دشت‌ها و یا ارتفاعات پایین واقع

1 GeoStatistics

شده‌اند و به این دلیل برآورد سرما در ارتفاعات و نحوه توزیع سرما مشکلاتی را به همراه دارد ولی خوشبختانه عمده مناطق کشاورزی استان در دشت‌ها و ارتفاعات پایین قرار دارند. معادله ۵ رابطه عمومی درون یابی را نشان می‌دهد:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i . Z(x_i) \qquad (۵)$$

که در آن $Z^*(x_0)$ مقدار تخمین زده شده در نقطه مجهول x_0، i وزن مقدار مربوطه به نقطه i ام، $Z(x_i)$ مقدار معلوم مربوط به نقطه x_i و n تعداد داده‌های معلوم می‌باشد (ازری[1]، ۲۰۱۰).

روش وزنی فاصله[2] IDW : این نوع درون‌یابی بر اساس روش وزنی فاصله استوار می‌باشد. وزن‌های درون‌یابی به صورت تابعی از فاصله نقطه مورد نظر تا نقاط اندازه‌گیری شده بیان می‌شود. در این روش بیشترین وزن را به نزدیک‌ترین ایستگاه نسبت داده و به همین ترتیب با افزایش فاصله وزن‌ها کاهش می‌یابد. مقدار عامل وزنی این روش با استفاده از رابطه ٦ محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-\alpha}} \qquad (٦)$$

که در آن i = وزن ایستگاه i ام، D_i= فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول، = توان وزن دهی می‌باشند. از معایب اصلی این روش اینست که وقتی دو یا چند نقطه اندازه گیری شده به هم نزدیک باشند، اطلاعات اضافی از این ایستگاه‌ها نسبت به همدیگر قابل تشخیص نبوده و همچنین در این روش تلاشی برای به حداقل رساندن خطا، انجام داده نشده و بیشتر مواقع، تخمینی اریب وار ارائه می‌دهد (حصاری و همکاران، ۱۳۸٤ و ازری، ۲۰۱۰).

روش درون یابی کرجینگ برخلاف روش وزنی فاصله که به خاطر استفاده مستقیم از داده های نقاط مجاور، روش قطعی[3] می‌باشد جزو مدل‌های آماری خود همبستگی می‌باشند و فرض می‌شود که فاصله و جهت داده های نمونه، همبستگی فضائی[4] ایجاد می‌کند که می‌تواند تغییرات در سطح را نشان دهد. کرجینگ یک روش چند مرحله ای بوده که شامل: آنالیز آماری داده‌ها، مدل سازی واریوگرام و تولید سطح است. برای مقایسه دو کمیت در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آن‌ها طبیعی‌ترین روش مقایسه است و آنالیز واریوگرام نامیده می‌شود. بر این اساس برای تمام موقعیت‌ها می‌توان، توان دوم این اختلاف را به عنوان نیم تغییر نما[5] به صورت معادله ۷ محاسبه کرد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]\text{^}2 \qquad (۷)$$

1 ESRI, 2010
2 Inverse distance weighting(IDW)
3 Deterministic
4 Spatial correlation
5 Semi_Variogram

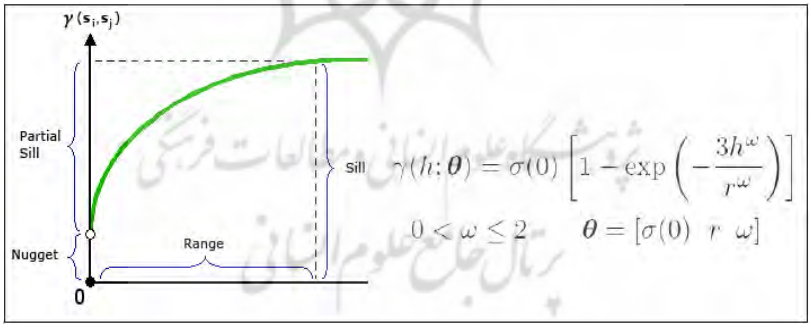
که در آن N(h) تعداد جفت‌های جدا شده در فاصله گام (h)، Z(xi) مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی Xi+h است. یک تغییر نمای ایده‌آل دارای سه پارامتر شامل اثر قطعه‌ای[1]، حد آستانه[2] و دامنه مؤثر[3] می‌باشد.

اعتبار سنجی روش‌های درون یابی: انتخاب روش بهینه درون‌یابی، بر اساس معیار ارزیابی تقاطعی[4] و شاخص خطا (ریشه دوم میانگین مربع خطا[5] (RMSE) صورت می‌گیرد که در آن کم‌ترین مربعات خطای هر برازش تعیین می‌گردد. در این روش ابتدا یکی از نقاط اندازه‌گیری را حذف نموده و سپس با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر برای نقطه حذف شده، برآورد آماری صورت می‌گیرد، در مرحله بعد این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط مشاهده‌ای یک برآورد نیز صورت می‌گیرد و نتایج در قالب دو ستون مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی ارائه می‌گردد. شاخص خطا از طریق معادله ۸ محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Z}(S_i)-z(S_i))^2}{n}} \qquad (۸)$$

که در آن Ż (Si) مقدار تخمین زده شده در موقعیت معلوم Si، Z(Si) مقدار مشاهداتی در همان نقطه است (ازری ۲۰۱۰).

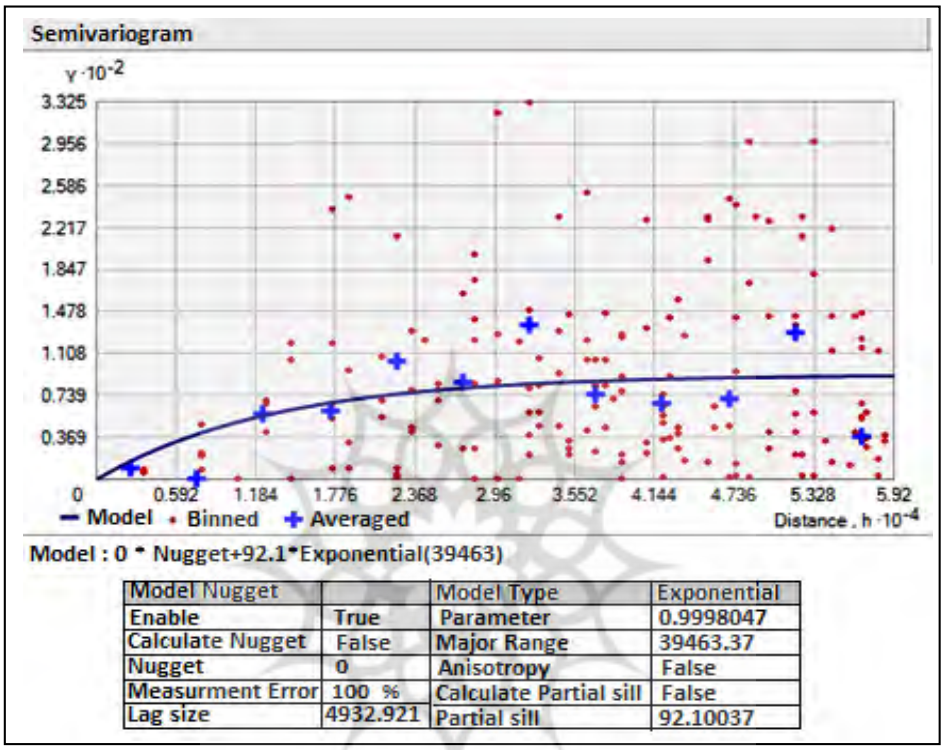
برای پهنه‌بندی سرمازدگی و تحلیل مکانی، الحاقیه تحلیلگر زمین آمار[6] در ARCGIS10 و برای درون‌یابی از روش‌های کرجینگ، کو-کرجینگ و روش معکوس فاصله با توان‌های متفاوت استفاده گردید که فرایند برازش و تهیه نیم تغییر نما را به روش سعی و خطا انجام می‌دهد. در شکل ۳ عوامل شمای کلی نیم تغییر نما و معادله کلی مدل نیم تغییر نمای پایدار[7] ارایه شده است که باید پارامتر های تجربی هر مدل تعیین و کمی گردد.



شکل۳ عوامل و شمای کلی نیم تغییر نما و معادله کلی مدل نیم تغییر نمای پایدار در روش درون یابی کریجینگ

1 Nugget effect
2 Sill
3 Range of influence
4 Cross validation
5 Root Mean Square Error
6 Geostatistical Analyst
7 Stable

در مدل پایدار چنانچه W برابر ۱ باشد به مدل نمائی[1] و چنانچه برابر ۲ باشد به مدل گوسی[2] تبدیل خواهد شد. نمونه‌ای از خروجی نیم تغییر نمای این الحاقیه برای آستانه درجه حرارت صفر درجه پاییز در شکل ٤ نمایش داده شده و پارامتر ها کمی شده است .این نمودار نشان میدهد که نتایج هر ایسنگاه تا شعاع ۳۹ کیلومتری قابل تعمیم است.



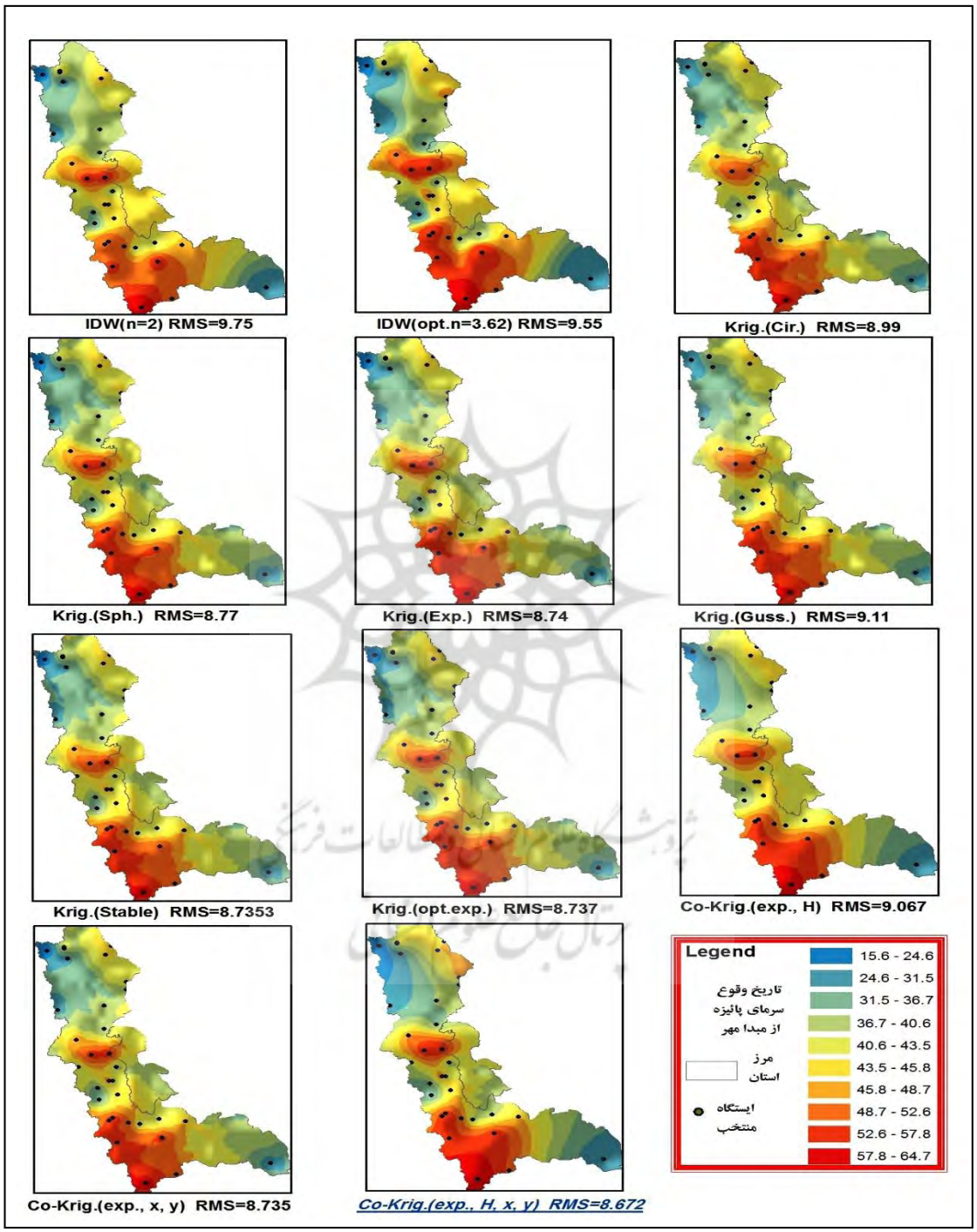
Model Nugget		Model Type	Exponential
Enable	True	Parameter	0.9998047
Calculate Nugget	False	Major Range	39463.37
Nugget	0	Anisotropy	False
Measurment Error	100 %	Calculate Partial sill	False
Lag size	4932.921	Partial sill	92.10037

شکل ٤ نمونه الحاقیه تحلیلگر زمین آمار و مقادیر عوامل مدل نیم تغییر نما برای آستانه درجه حرارت صفر درجه پاییز

در شکل ۵ نتیجه یازده روش درون یابی برای سرمای صفر درجه پائیز در محدوده مطالعاتی و مجموع مربعات خطای هر کدام از روش‌ها ارائه شده است. همانطوری که مشخص است روش کو کرجینگ با ارتفاع ایستگاه، طول و عرض جغرافیایی ، کمترین خطای برازش را نشان داده است . در روش وزنی فاصله حالت کوپه ای نمایان است و دلیل این امر تاثیر وزن ایستگاه‌های نزدیک است. در روش کرجینگ ابتدا برازش با ۵ روش معمول نیم تغییر نما انجام و پس از تعیین بهترین مدل نیم تغییر نما که دارای کمترین ریشه دوم میانگین مربع خطا است، پارامتر های مدل منتخب بهینه سازی می‌گردد. در صورتی که بهینه سازی، مقدارخطا را کم نماید، مدل کو-کرجینگ با آن مدل ادامه پیدا می‌کند وگرنه با مدل قبلی ادامه میابد. برای کو-کرجینگ ارتفاع ایستگاه (H) به عنوان اثر ناهمواری و طول و عرض (x, y) به عنوان اثر جهت توده‌ها بر سرمازدگی و ترکیب ارتفاع، طول و عرض جهت اعمال اثر فضائی و سه بعدی منطقه بر سرمازدگی

1 Exponential
2 Gussian

مورد آزمون قرار گرفت. نتایج این روش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است که نشان می دهد برای برازش سطح، هم روش درون یابی و هم روش بهینه سازی پارامترها باید مورد آزمون قرار گیرد.



شکل ۵ اثر مدل‌های مختلف درون یابی بر پیش بینی تغییرات مکانی سرمای پائیزه در سطح استان

جدول ۲ ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) روش‌های مختلف درون یابی در تحلیل مکانی سرمازدگی

فصل	آستانه حرارتی	IDW با توان ۲	IDW (توان بهینه شده) بهینه شده	کریجینگ						Co-kriging مدل منتخب			مدل منتخب نهایی	متوسط خطای معیار
				مدل نیمه تغییر نما										
				Circular	Spherical	Exponential	Gussian	Stable	بهینه شده (مدل)	مدل منتخب	ارتفاع (H)	طول و عرض جغرافیائی (x,y)	ارتفاع و طول و عرض جغرافیائی (H,x,y)	
پاییز	صفر درجه(متوسط)	۹،۷۵	(۳،۶۲) ۹،۵۵	۸،۹۹	۸،۰۷۷	۸،۰۷۳۵۲	۹،۰۱۱	۸،۰۷۳۵۳	(exp) ۸،۰۷۳۷	exp ساده	۹،۰۰۶۷	۸،۰۷۳۵۳	۸،۰۶۷۲۶	Co-kriging [exp,(H,x,y)]	۶،۶۱۳ روز
	ضریب تغییرات صفر	۰،۰۱۵۱	(۱،۰۶۴۵) ۰،۰۱۵	۰،۰۱۴	۰،۰۱۳۷۵	۰،۰۱۳۵۱۳	۰،۰۱۴۰۶	۰،۰۱۳۵۰۳۴	(Stable) ۰،۰۱۳۳۴۶۷	stable بهینه	۰،۰۱۱۶۱۵	۰،۰۱۳۳۴۶	۰،۰۱۳۹۲۸۶	Co-kriging [stable (H)]	۰،۰۱۲۴۸
	۲- درجه (متوسط)	۹،۴۷۰۰	(۳،۹۴) ۹،۱۳۷	۹،۲۰۶۰	۸،۹۸۲۰	۹،۰۱۲۶	۹،۲۱۷۰	۸،۹۸۴۰	(sph) 8.932	sph بهینه	۷،۷۷۴۸	۸،۹۳۲۲	۸،۳۰۶۲	Co-kriging [sph,بهینه(H)]	۸،۰۳۵ روز
	ضریب تغییرات ۲-	۰،۰۱۲۴۵	(۱) ۰،۰۱۲۳	۰،۰۱۱۸۳	۰،۰۱۱۸۱	۰،۰۱۱۷۳	۰،۰۱۱۸۴	۰،۰۱۱۸۳۶	(exp) ۰،۰۱۱۵۸	exp بهینه	۰،۰۱۰۷۳۱	۰،۰۱۱۵۷۷۵	۰،۰۱۱۶۳۲	Co-kriging [exp,(H),بهینه]	۰،۰۱۱۹۶۳
	۴- درجه (متوسط)	۸،۰۲۴۵	۸،۰۱ (۴،۹۳)	۷،۸۳۲۷	۷،۷۰۰۴	۷،۷۱۱۸	۷،۸۵۸	۷،۶۹۵۵	(sph) ۷،۳۲۷	sph بهینه	۷،۱۱۵۱	۷،۳۲۷۳	۷،۳۲۷۳	Co-kriging [sph,بهینه(H)]	۶،۶۶۲ روز
	ضریب تغییرات ۴-	۰،۰۰۸۹۰۷	(۱) ۰،۰۱۸۵۹۸	۰،۰۰۹۳۶۵	۰،۰۰۹۱۹۹	۰،۰۰۸۹۶۳	۰،۰۰۹۲۷۸	۰،۰۰۸۹۸۷	(exp) ۰،۰۰۸۵۷۵	exp بهینه	۰،۰۰۸۴۸۸۶	۰،۰۰۸۵۷۵	۰،۰۰۸۵۱۷۳	Co-kriging [exp,(H),بهینه]	۰،۰۰۷۸۲۷
زمستان	صفر درجه (متوسط)	۹،۰۰۵	(۶،۲۶) ۸،۰۵۹۵	۷،۶۹۸	۷،۷۰۸	۹،۰۵۶	۷،۷۱	۷،۶۰۱	(Stable) ۷،۱۷۱۴	stable بهینه	۷،۲۹۱	۷،۱۷۱۴	۷،۲۲۸۱	Co-kriging [stable (x,y)]	۶،۵۷۸۴ روز
	ضریب تغییرات صفر	۰،۰۰۱۳۲۲	(۱) ۰،۰۱۲۴۱	۰،۰۰۱۲۴۶	۰،۰۰۱۲۳۴	۰،۰۰۱۲۳۵	۰،۰۰۱۲۴۹	۰،۰۰۱۳۳۱	(Stable) ۰،۰۰۱۲۱۶۳	stable بهینه	۰،۰۰۱۲۱۳۲	۰،۰۰۱۲۱۶۳	۰،۰۰۱۱۸۴۲۶	Co-kriging [stable (H,x,y)]	۰،۰۰۰۳۲۱
	۲- درجه (متوسط)	۷،۰۹۸۱	(۳،۰۳) ۷،۰۹۱۴۲	۷،۰۴۶۹۳	۷،۰۴۹۱۵	۷،۰۵۹۹۳	۷،۰۳۸۲۸	۷،۰۳۸۵	(guss) ۷،۰۳۴۷۶	guss بهینه	۶،۰۲۲۵۸	۷،۰۳۴۷۷	۷،۰۲۸۹۸	Co-kriging [guss,(H),بهینه]	۷،۰۴۶۴۶ روز
	ضریب تغییرات ۲-	۰،۰۰۱۰۷۶	(۱) ۰،۰۰۱۰۱۵۳	۰،۰۰۰۰۹۹	۰،۰۰۱۰۹	۰،۰۰۱۰۲۹	۰،۰۰۱۰۹	۰،۰۰۱۱۸۳۶	(cir.) ۰،۰۰۰۹۵۳۶	cir بهینه	۰،۰۰۰۹۵۳۵	۰،۰۰۰۹۵۳۶	۰،۰۰۰۹۶۴۹	Co-kriging [cir,(H),بهینه]	۰،۰۰۱۰۹
	۴- درجه (متوسط)	۸،۰۰۱۲	(۲،۳۱) ۷،۹۹۵۱	۸،۰۳۰۵۳	۸،۰۲۹۴۹	۷،۰۵۷۵	۸،۰۳۷۳	۷،۶۹۵۵	(exp) ۷،۶۰۰۹	exp ساده	۷،۸۵۳۵	۷،۰۵۷۵	۷،۳۰۷۷	Co-kriging [exp,(H,x,y)]	۵،۳۲ روز
	ضریب تغییرات ۴-	۰،۰۰۵۶۴۱	(۱) ۰،۰۰۴۹۷۱	۰،۰۰۵۰۰۶	۰،۰۰۵۰۰۸	۰،۰۰۴۹۷۸	۰،۰۰۴۹۹۹	۰،۰۰۴۹۹۸	(exp) ۰،۰۰۴۸۰۱۶	exp بهینه	۰،۰۰۴۶۵۷	۰،۰۰۴۸۰۱۶	۰،۰۰۴۸۰۱۶	Co-kriging [exp,(H),بهینه]	۰،۰۰۴۲۵

٤. بحث و نتایج

با توجه به نتایج، در بین تمام روش‌های درون‌یابی، روش کو-کرجینگ نتایج بهتری ارایه می‌دهد. مدل بهینه شده در ۸۳٪ مواقع برازش بهتری داشته و این امر موجب می‌شود که همواره روش‌های بهینه سازی مورد توجه واقع شوند. در ۱۲ نقشه تهیه شده، مدل نمائی در ٤۵٪، مدل پایدار در ۲۵٪ و مدل کره‌ای[1] در ۱۷٪ موارد، مدل برتر نیم تغییر نما در روش درون یابی کرجینگ بوده است. در ٦۷٪ موارد، روش درون‌یابی کو-کرجینگ با ارتفاع و ۲۵٪ موارد هم مدل کو-کرجینگ با ارتفاع، طول و عرض جغرافیائی مدل برتر بوده و خطای برازش را کاهش داده‌اند.

1 Spherical

ارتفاع در این برازش‌ها، نشان دهنده اثر ناهمواری، پستی و بلندی شامل کوه‌ها و تپه‌ها و اثرات موضعی و میکرو کلیما می‌باشد. با افزایش ارتفاع سرمازدگی عموماً تشدید گردیده و گرادیان حرارتی منجر به تشدید سرمازدگی می‌گردد. طول و عرض نیز اثر جهت حرکت توده‌ها بر سرمازدگی را می‌تواند نشان دهد. در استان آذربایجان غربی کو-کرجینگ با ارتفاع غالب می‌باشد. به طوری که روش وزنی فاصله با توان ۲ برازش‌های نامناسب‌تری نسبت به روش وزنی فاصله بهینه شده و روش‌های کرجینگ ارائه می‌نماید.

ضریب تغییرات بالا (نامنظم بودن وقوع سرمازدگی در تاریخ معین) در مناطق کوهستانی مثل شمال‌غرب و غرب دریاچه ارومیه و تکاب مشهود بوده و نوسانات وقوع سرمازدگی بیشتر است که اثرات این روند در اکثر نقشه‌های ضریب تغییرات مشاهده می‌شود. سرمای زودرس پائیزه در منطقه ماکو و تکاب خیلی زودتر به وقوع پیوسته و بندرت در منطقه سردشت و منطقه مرکزی نازلو دیده می‌شود و دامنه زمانی آن از ١٦ مهر تا ١٥ آذر می‌باشد. سرمای دیر رس بهاره نیز همان روند را داشته و دامنه زمانی آن از ٢٤ اسفند تا ٢٥ فروردین می‌باشد. ضریب تغییرات، پراکنش داده‌ها و منظم یا نا منظم بودن یک رویداد طی سال‌های متمادی را نشان می‌دهد. اگر ضریب تغییرات سرمازدگی در یک نقشه و در یک منطقه کمتر باشد بدین معنی است که سرمازدگی در طی تاریخ‌های نزدیک به همدیگر طی سال‌های متمادی روی می‌دهد و احتمال وقوع پدیده طی سال‌های آتی در تاریخ‌های پیش‌بینی شده زیادتر است. البته باید یادآور شد چون مبدأ سرمازدگی بهاره از مهرماه در نظر گرفته شده است دارای ضریب تغییرات کوچک‌تری نسبت به سرمازدگی پائیزه خواهد بود (اگر به تمام اعداد ۱۸۰ روز اضافه شود انحراف معیار تقریباً ثابت می‌ماند و میانگین بزرگ می‌شود، لذا ضریب تغییرات کوچک می‌گردد). در این طرح برای دو فصل بهار و پائیز و سه کلاس سرما و حداقل ۱۰ کلاس احتمالاتی حدود ٦٠ نقشه بایست تهیه می‌گردید. برای اجتناب از ارائه نقشه‌ها در احتمالات مختلف و کاهش نقشه‌ها روش استفاده از فرمول خطی فراوانی، مدنظر قرار گرفت. با ارائه نقشه تاریخ وقوع متوسط و نقشه ضریب تغییرات می‌توان با تعیین مقدار ضریب فراوانی (K) از فرمول‌های زیر به مقادیر احتمالاتی هر منطقه خاص دست یافت. به طور مثال برای احتمال ۹ بار وقوع سرما در ده سال یا احتمال ۰,۹ می‌توان به شرح زیر عمل کرد:

اگر مقدار متوسط احتمال وقوع سرمای پائیزه ٦٠ روز پس از شروع مهر و یا ۳۰ آبان باشد و مقدار ضریب تغییرات آن منطقه برابر ۰,۵ باشد روش محاسبه مقدار این احتمال به شرح زیر خواهد بود:

$$X_p = \overline{X} + K.Sd \Rightarrow X_p = \overline{X}(1 + K.Cv)$$
$$K = 0.78Y - 0.45 \Rightarrow Y = -Ln(-Ln(p))$$

برای مثال اگر میانگین تاریخ وقوع سرمای پائیزه $\overline{X}_{p=50\%} = 60$ از روی نقشه مقدار برابر با ۳۰ آبان باشد و ضریب تغییرات همان نقطه cv=0.3 باشد، احتمال رویداد سرمازدگی پائیزه نه بار در ده سال یا p=0.9 برابر خواهد بود با:

آذر 23یا $X_{p=90\%}=83$, $K= 1.305$ ➔ $Y=2.25$ سال $T =1/p=1.11$ (دوره بازگشت) یا $P= 9/10$

و همچنین برای سرمازدگی بهاره:

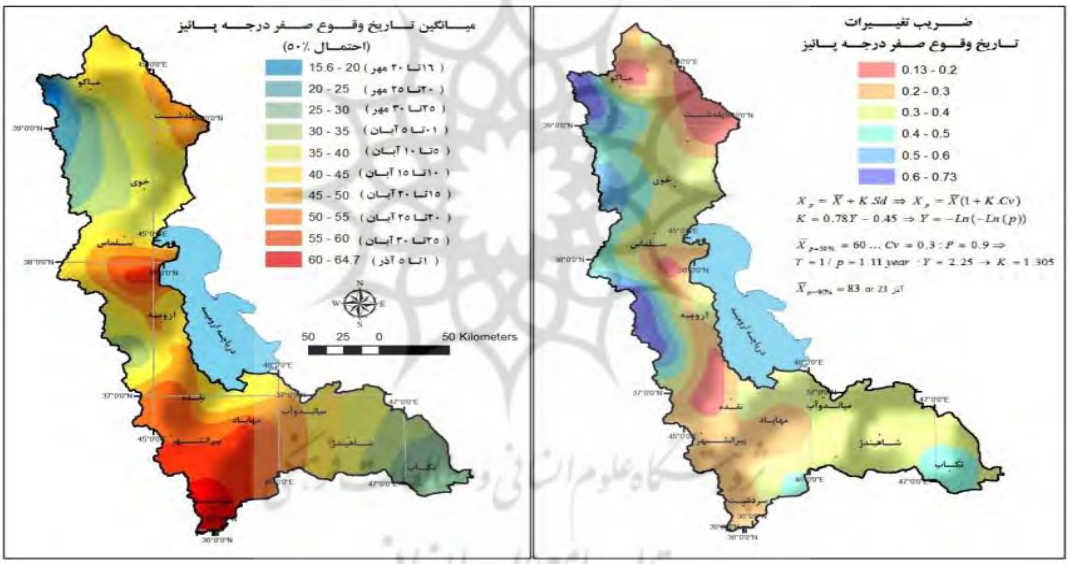
اگر میانگین تاریخ وقوع سرمای پائیزه از روی $\overline{X}_{p=50\%}=200$ نقشه مقدار برابر با ۲۱ فروردین باشد و ضریب تغییرات همان نقطه $cv=0.08$ باشد، احتمال رویداد سرمازدگی پائیزه یک بار در ده سال یا $p=0.1$ برابر خواهد بود با:

$$K = 0.78Y - 0.45 \Rightarrow Y = -Ln(-Ln(1-p))$$

۱۰ سال= $T =1/p$ (دوره بازگشت) یا (رویداد سرمازدگی بهاره یک بار در ده سال) $P= 1/10$

اردیبهشت 10 یا $X_{p=10\%}=221$, $K= 2.25$ ➔ $Y=1.305$

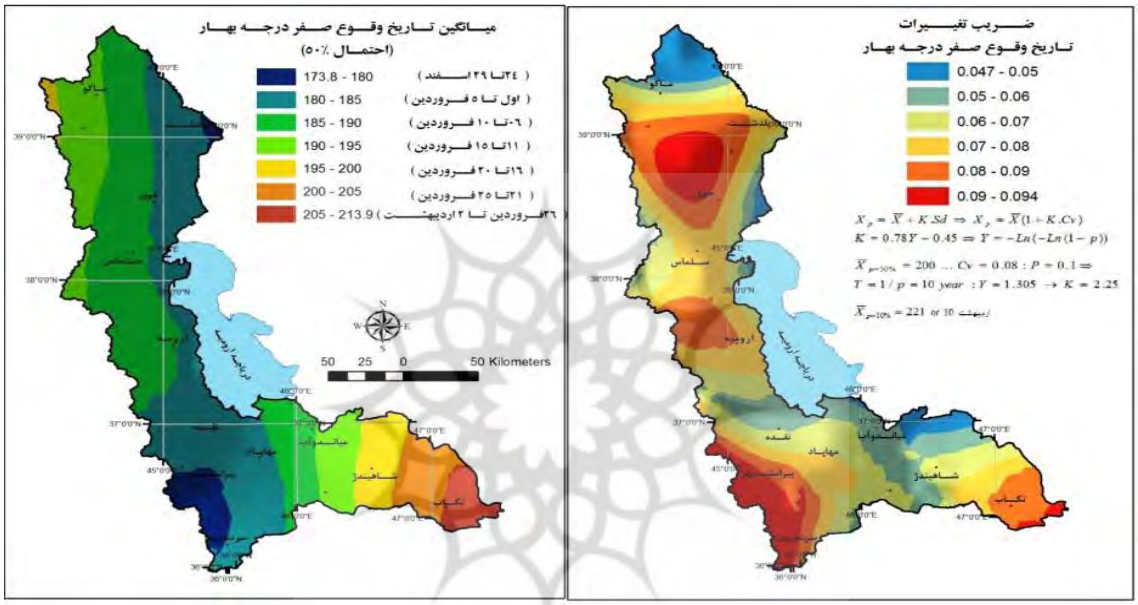
توجه شود احتمال وقوع سرمای پائیز و بهار برعکس می‌باشد و در فرمول بجایp مقدار 1-p وارد می‌شود. با این روش تعداد نقشه‌ها به ٦ عدد تقلیل یافت. به عنوان نمونه در اشکال ٦ و ۷ به ترتیب نقشه‌های سرمازدگی زود رس پائیزه و دیر رس بهاره (صفر درجه) ارایه شده است.



شکل٦ تاریخ وقوع سرمازدگی زود رس پاییزه – میانگین تاریخ وقوع صفر درجه (احتمال ۵۰٪) و ضریب تغییرات آن

تاریخ یخ وقوع سرمازدگی زود رس پائیزه میانگین تاریخ وقوع صفر درجه (احتمال ۵۰٪) و ضریب تغییرات آن اگر برای یک نقطه خاص، وضعیت سرمازدگی بررسی شود، با تعیین مقدار متوسط و ضریب تغییرات منطقه و فرمول‌های نوشته شده در زیر نقشه‌ها، می‌توان مقدار تاریخ احتمال وقوع سرمازدگی را از مبدأ مهرماه تعیین نمود. در سرمازدگی پائیزه هر چه تاریخ وقوع آن از مبدأ مهرماه دورتر باشد، پتانسیل سرما کمتر می‌گردد. در شکل ٦ رنگ آبی تیره که مربوط به اول پاییز می‌باشد بیانگر پتانسیل بالای سرمازدگی و رنگ‌های قرمز که عمدتاً مربوط به آذرماه می‌باشند وقوع سرمازدگی با پتانسیل کمتر را نشان می‌دهند. در سرمازدگی بهاره هر چه تاریخ وقوع آن از مبدأ مهرماه دورتر باشد،

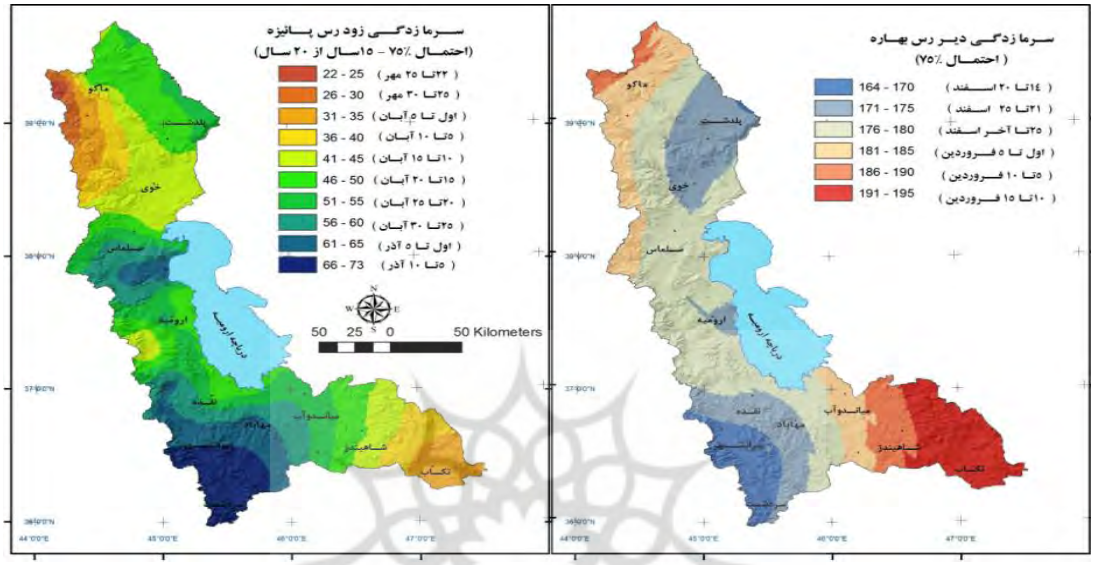
پتانسیل سرما بیشتر می‌گردد. در شکل۷ اعداد کوچک که مربوط به اواخر زمستان می‌باشند بیانگر پتانسیل کمتر سرمازدگی و اعداد بزرگ‌تر که مربوط به اواخر فروردین و اردیبهشت می‌باشند، وقوع سرمازدگی با پتانسیل بالا را نشان می‌دهند. اثر نفوذ توده‌های گرم از سمت آفریقا به ناحیه جنوب غربی استان و همچنین اثر نفوذ توده‌های سرد قطبی و سیبری به ناحیه شمال غرب استان در نقشه‌های سرمازدگی کاملاً مشهود بوده و این تأثیر هم در پائیز و هم در بهار غالب می‌باشد .علاوه بر کاربردهای مکان یابی، یکی از کاربردهای این نقشه‌ها، تعیین زمان کاشت می‌باشد. اثرات و درجه صدمه‌دیدگی محصولات از سرمازدگی و یخزدگی باعث کاهش عملکرد می‌گردد که با کاشت به موقع و عبور دادن مراحل حساس رشد گیاه از وقوع سرمای محتمل می‌توان خسارت را کاهش داد.



شکل۷ تاریخ وقوع سرمازدگی دیر رس بهاره – میانگین تاریخ وقوع صفر درجه (احتمال ۵۰٪) و ضریب تغییرات آن

در شکل ۸ نقشه سرمازدگی استان در بهار و پائیز با احتمال ۷۵٪ (که می‌تواند به عنوان تاریخ بهینه کاشت محصولات یک ساله مورد استفاده قرار گیرد) ارائه شده است. همانطوریکه ملاحظه می شود تاریخ وقوع اولین سرمازدگی پاییزه در بین شهرستان مختلف استان از ۲۲ روز تا ۷۳ روز پس از شروع مهر ماه متفاوت است، کمترین آن در چالدران، ماکو و تکاب و بیشترین مقدار مربوط مهاباد و سردشت می باشد. همین طور، تاریخ وقوع سرمازدگی دیردس بهاره از ۱٦٤ روز تا ۱۹۵ روز از اول مهر متفاوت است. درصد احتمال، با توجه به نوع محصول از نظر ارزش و قیمت می‌تواند متغیر باشد. محصولات گران‌قیمت دارای ریسک کمتر یا احتمال مثلاً ۸۰ ٪، ۹۰٪ یا حتی ۹۵٪ هستند که در این حالات با توجه به نوع مقاومت محصول، از نقشه‌های رقومی تهیه شده متوسط تاریخ وقوع یخ بندان بهاره یا پائیزه و نقشه ضریب تغییرات می‌توان نقشه‌های جدید استخراج نمود. به اختصار، احتمال ۷۵٪ سرمازدگی بهاره بدین معنی است که مثلاً از ۲۰ سال داده ثبت شده، در ۱۵ سال سرمازدگی در این تاریخ روی داده

است و احتمال ۵۰٪ یعنی از ۲۰ سال، ۱۰ سال در تاریخ مورد نظر به وقوع پیوسته است. هر چه احتمال بیشتر باشد یعنی ریسک کم و هر چه احتمال وقوع کم باشد یعنی پدیده نادر و ریسک بالا خواهد بود فلذا با عنایت به نوع و اهمیت گیاه، ریسک و احتمال طراحی تعیین می‌گردد. در بهار با افزایش احتمال، تاریخ وقوع سرمازدگی به سمت اسفند حرکت می‌کند و با کاهش احتمال به سرماهای نادر که در اواخر اردیبهشت روی می‌دهد.



شکل۸ تاریخ وقوع سرمازدگی زود رس پائیزه و دیر رس بهاره، تاریخ وقوع با احتمال ۷۵٪ (تاریخ بهینه کشت)

در پائیز با افزایش احتمال، تاریخ به سمت زمستان که احتمال سرمای بالاست حرکت می‌کند و با کاهش احتمال، سرماهای نادر که در اویل مهر روی می‌دهد برخورد خواهد شد. در بیشتر بخش‌های شمال و جنوب دریاچه ارومیه، سرمازدگی در پاییز دارای ضریب تغییرات کم (۰/۲ تا ۰/٤)، در نیمه غربی و بخش‌هایی از شمال شرق استان دارای ضریب تغییرات خیلی کم (۰/۲– ۰/۱) بوده و در مرزهای غربی استان و در بخش‌های کوچکی از تکاب و ارتفاعات شمال غرب تغییرات تاریخ وقوع بسیار شدید (۰/۷۳– ۰/۵) مشاهده شد. طبق نقشه‌های تهیه شده، در مناطق مرکزی، خوی، پیرانشهر و سردشت و تکاب سرمازدگی در بهار دارای ضریب تغییرات زیاد (۰/۰۷–۰/۰۹٤) بوده که نشان می‌دهد در این بخش‌ها سرمازدگی بهاره هر سال در تاریخ‌های نامنظم به وقوع می‌پیوندد. در بخش‌های شمالی و محدوده اطراف دریاچه ارومیه، سرمازدگی در بهار دارای ضریب تغییرات کمتری (۰/۰٤۵–۰/۰۶) می‌باشد و این نشان می‌دهد که در این بخش‌ها، سرمازدگی در بهار در تاریخ‌های منظم‌تری به وقوع می‌پیوندد. وضعیت و اطلاعات آماری سرمای زود رس پائیزه و دیر رس بهاره استان در احتمالات مختلف استخراج و در جدول ۳ ارائه گردیده است.

جدول۳ اطلاعات آماری تاریخ وقوع سرمازدگی زودرس پائیزه و دیررس بهاره در استان در احتمالات مختلف (مبدأ از مهر)

	صفر درجه پائیز از مبدأ مهر(احتمال ۵۰٪)				ضریب تغییرات				احتمال وقوع(٪)									
	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۶۰	۷۵	۸۰	۹۰
زودرس پائیزه	۱۵ ۷	٦٤ ٦	٤٢	۹ ۵	۰ ۱۲۱	۰ ۷۸۵	۰ ۳٤۷	۰ ۱۱	۲٦	۳۰	۳۳	۳٦	٤۳	۵۰	۵۳	٦۱
دیر رس بهاره	۱۵ ۷	۱۷۸ ۷	۲۰۷ ۳	۱۸۸ ۲	٦ ۷	۰ ۰۱٤	۰ ۱۱۸	۰ ۰۷۲	۱۹۸	۱۹۳	۱۸۹	۱۸۳	۱۷۹	۱۷۷	۱۷۳	۲۰٦

باتوجه جدول ۳ می توان پی برد که در این استان بطور میانگین یعنی در سطح احتمال ۵۰ درصد(۱۰ بار از ۲۰ سال)، سرماهای زودرس پاییزه به طور متوسط ٤۲ روز از آغاز مهر و سرمازدگی های دیرررس بهاره ۲۰۷ روز پس از اول مهر اتفاق می افتد. با دردست داشتن نقشه های احتمال وقوع یخبندان، میتوان برنامه ریزی برای اجرای عملیات باغی و زراعی را دقیقتر و در نتیجه خسارت سرمازدگی را کاهش داد.

۵. نتیجه گیری

تهیه نقشه‌های احتمال وقوع سرمازدگی در هر منطقه اهمیت خاصی در کاهش خسارت ناسی از سرمازدگی دارد. در تحقیق حاضر، برای تهیه نقشه‌های احتمال وقوع سرمازدگی استان آذربایجان غربی، درجه حرارت حداقل ایستگاههای مختلف جمع آوری و بر مبنای آن تاریخ‌های وقوع سرمازدگی در پاییز و بهار در سه گروه استخراج گردید. توزیع گامبل به عنوان توزیع غالب منطقه‌ای برای برازش توزیع و تحلیل فراوانی تاریخ‌های وقوع سرمازدگی پیشنهاد می‌گردد. روش درون‌یابی کو-کرجینگ، روش غالب برای تهیه نقشه های سرمازدگی می‌باشد. مدل بهینه شده نیم تغییر نما، تأثیر بسزائی در بهبود برازش داشته و مدل نمائی مدل برتر نیم تغییر نما در روش درون یابی کرجینگ می‌باشد. روش درون یابی کو-کرجینگ با ارتفاع، مدل برتر بوده و برازش را بهبود می‌بخشد. هر چه به سمت ارتفاعات مرزی و غربی حرکت می‌کنیم پتانسیل سرمازدگی تشدید می‌گردد. با مقایسه نقشه توده های ورودی و نقشه های تهیه شده، روند مشخصی بین پتانسیل بالای سرمازدگی و محل ورود توده های سرد تشخیص داده شد. سمت شمال غرب محل ورود توده های سرد قطبی و سیبری بوده که این روند در نقشه های سرمازدگی پائیز و بهار غالب می‌باشد. ضریب تغییرات در مناطق کوهستانی شمال غرب و غرب دریاچه ارومیه و تکاب همیشه بالا بوده و نوسان تاریخ وقوع سرمازدگی شدیدتر است. از این نقشه‌ها می‌توان برای مکان یابی توسعه باغات استان ،

توسعه مزارع پرورشی ماهیان گرمابی و سرد آبی ، توسعه شهرک‌های گلخانه‌های، مناطق مستعد توسعه دامداری‌های صنعتی و غیره استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی موسسه فنی و مهندسی کشاورزی بوده که از حمایت های بعمل آمده قدردانی میگردد. همچنین از سازمان آب منطقه‌ای، اداره کل هواشناسی استان که داده‌های این تحقیق را تأمین کردند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌گردد.

کتابنامه

افشار، یداله؛ حصاری بهزاد؛ ۱۳۷۷. بررسی و تهیه اطلس بلایای طبیعی– اقلیمی در استان آذربایجان غربی، اداره کل هواشناسی آذربایجان غربی، ۹۵ صفحه.

ایزدی، مسعود؛ قائدی محمدرضا؛ باقری سعید؛ ۱۳۷۷. برآورد احتمالات تاریخ‌های وقوع اولین سرماهای پائیزه و آخرین سرماهای بهاره در سطح استان همدان، اداره کل هواشناسی استان همدان، ۸٦ صفحه.

بری ابرقوئی، حسین؛ توکلی، محمود؛ نجار هدشی، ناصر؛ طالبی، محمدصادق؛ ۱۳۸٤. سرمازدگی و یخ‌بندان در استان یزد، اولین همایش راه‌های مقابله با سرمازدگی یزد، صص۷۳–۷۹.

پدرام، مژده؛ صحرائیان، فاطمه؛ نوحی، کیوان؛ ۱۳۸٤. آغاز و پایان یخ بندان در دشت‌های کشاورزی آذربایجان‌غربی و شرقی، پژوهشکده هواشناسی کشور، ۹۲صفحه.

حسین‌نیا، محمود؛ راحمی، علیرضا ؛ شهامتی‌فرد، جعفر؛ ۱۳۸٤. بررسی درجه حرارت‌های بحرانی از لحاظ سرمازدگی در مراحل مختلف گل‌دهی درختان میوه مناطق معتدله، اولین همایش راه‌های مقابله با سرمازدگی یزد، صص ۳۱۷–۳۲٤.

حصاری، بهزاد؛ ۱۳۷٦. تعیین منحنی‌های شدت، مدت و فرکانس بارش برای طرح‌های آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی استان آذربایجان غربی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، ۱۳۰صفحه.

حصاری، بهزاد؛ غنی‌پور، رضا؛ حیدری، علی؛ خلیلی، کیوان؛ ۱۳۸٤. تعیین بیلان آبی استان اذربایجان غربی با استفاده از GIS، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی، چهارجلد، ٦۵۵ صفحه.

خلجی، مهدی؛۱۳۸۰. پیش‌بینی سرمای دیر رس بهاره و یخ‌بندان زود رس پائیزه برای تعدادی از گیاهان زراعی و باغی در استان چهار محال بختیاری، نهال و بذر، سال ۱۷، شماره ۲، صص ۱۲٦–۱۳۹.

رضایی، رضا؛ ۱۳۸٤. زون بندی مناطق تولید میوه استان آذربایجان غربی با توجه به شدت خسارت سرمازدگی به عنوان راهکاری برای کاهش خطرات سرمازدگی، همایش راه‌های مقابله با سرمازدگی، یزد، ۱۳۸٤، صص۱٤۰–۱٤۳.

کمالی، غلامعلی؛ ایکانی، وحید؛ ۱۳۷۸. بررسی سرماهای زیان‌بخش به کشاورزی ایران، گردهمایی کارگاه آموزشی سرما و یخ‌زدگی محصولات کشاورزی، سازمان حفظ نباتات، صص ٤۱–٦٦.

کمالی، غلامعلی؛ حبیبی‌نوخندان، مجید؛ ۱۳۸٤. بررسی توزیع مکانی و زمانی یخ‌بندان در ایران و نقش آن در حمل و نقل جاده‌ای، پژوهش نامه حمل و نقل، سال دوم، شماره دو، صص ۱۲۷–۱۳۵.

میان‌آبادی، آمنه؛ موسوی‌بایگی، محمد؛ ثنایی‌نژاد، حسین؛ نظامی، احمد؛ ۱۳۸۸. بررسی و پهنه‌بندی یخبندان‌های زودهنگام پاییزه، دیرهنگام بهاره و زمستانه با استفاده از GIS در استان خراسان رضوی، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۱، صص ۹۰-۷۹.

ناصرزاده، محمدحسین؛ ۱۳۸۲. تجزیه و تحلیل یخبندان های زودرس پائیزه و دیررس بهاره در استان لرستان، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم (خوارزمی)، ۹۵ صفحه.

هژبرپور، قاسم؛ علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸٦. تحلیل همدید یخبندان‌های استان اردبیل، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، پائیز و زمستان ۸٦ ، صص ۸۹-۱۰٦.

Dzikowski P.A. 1998. Freezing Date Probabilities, Agdex 075-2, Alberta Agriculture and Rural Development, Available:http://www1.agric.gov.ab.ca/department/deptdocs.nsf/all/agdex10

ESRI. 2010. ArcGIS10 and Geostatistical Analyst Documentation Help, ESRI, Inc.Available at: http://www.esri.com.

Kamali, Gh., Ikani, V.,1999. Study on the Noisome Frost on Iran Agriculture Section. Proceeding of Workshop on Frost and Crop Freezing, Plant Protection Organization Report, 41-66.

Khalaji, M., 2001.Foerecasting Late Spring Frost and Early Autumn Frost for some Field and Orchard Crops in Chahar Mahal Bakhtyari Province, Iran. Plant and Seed Journal, 17 (2): 126-139.

Mianabadi, A., MousaviBaygi, M., Sanaeenajad, H., Nezami, A.,2009. Study on the Zoning of Early Autumn Frost and Late Spring Frost and Winter Frosts by GIS in Razavi Khorasan, Iran. Soil and Water Journal, 23 (1):79-90.

Naserzadeh, N.H.,2003. Analysis of Early Autumn and Late Spring Frost in Lorastan Iran. MSc.Thesis,Geography Department,Kharazmi Tarbiat Moalem University, pp. 95.

Pedram,M., Sahraeian, F., Noohi, K., 2005. Beginning and end of Frost Occurrence in West and East Azerbaijan. Climatology Research Center, pp.92 .

Rezaee, R., 2005. Zoning of Fruit Production Sites in West Azerbaijan Based on the Intensity of Frost Damage. The First National Conference on Approaches to Confront with Frost, Yazd, Iran, 140-143.

Richard L., Snyder, J. Paulo de Melo-Abreu, 2005. Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 112.

Walter J. K. J R. O. Steurer P. M. and Ezell D. S. 1988. Freeze/Frost Data. Climatography of the U.S. No.20, Supplement No.1, I-3-I-5.