

## مدلسازی خطر خسارت یخبندان بهاره درختان میوه مطالعه موردی: محصول سیب، مکان دشت

مشهد

محمد رحیمی<sup>۱</sup> - منوچهر فرج زاده<sup>۲\*</sup> - غلامعلی کمالی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۷

### چکیده

در این مطالعه به منظور مدلسازی خطر خسارت یخبندان در دشت مشهد، ۱۲ متغیر موثر اقلیمی (دمای حداقل، نرخ کاهش دما قبل از یخبندان، نرخ افزایش دما بعد از یخبندان، طول مدت یخبندان، روز شمار وقوع یخبندان، واحدهای حرارتی تجمعی سیب، سطح محصور بین منحنی دمای روزانه و خط صفر درجه سانتیگراد) و جغرافیایی (ارتفاع از سطح دریا، طول و عرض جغرافیایی، جهت و زاویه شیب) انتخاب شدند. سپس سه یخبندان تابشی زیانبخش رخ داده در تاریخ‌های ۳۱ فروردین ۱۳۸۲، ۸ و ۱۹ فروردین ۱۳۸۴ در محدوده زمانی گلدهی درخت سیب برای مطالعه انتخاب شدند. داده‌های هواشناسی نیز از آمار ۹ ایستگاه هواشناسی واقع در داخل و بیرون محدوده مورد مطالعه استخراج گردید. برای مدلسازی خطر خسارت یخبندان از روش رگرسیون خطی چند متغیره استفاده گردید. به منظور تهیه داده‌های کافی برای ورود به مدل نقشه پهنه بندی هر کدام از متغیرها با استفاده از روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) تهیه و مقادیر هر نقشه از شبکه ای فرضی به فاصله ۵ در ۵ کیلومتر استخراج و وارد مدل گردید. سپس با استفاده از معادله رگرسیون در سطح اعتماد ۹۹ درصد، مقادیر خطر خسارت برای هر نقطه از شبکه فرضی محاسبه و نقشه مربوطه ترسیم گردید. معادله رگرسیون میان نقشه خطر خسارت برآورد شده و واقعی یخبندان با ضریب همبستگی ۰/۹۳ به دست آمده و نقشه خطا نیز ترسیم گردید. بر اساس نتایج به دست آمده ریسک خسارت یخبندان در ۳۱ فروردین ۱۳۸۲ با ۵۳/۱۹ درصد در مناطق جنوب غربی دشت به عنوان حداکثر و با ۳۴/۵ درصد در مناطق جنوب شرقی دشت به عنوان حداقل برآورد گردید.

**واژه‌های کلیدی:** مدلسازی، ارزیابی خطر، خسارت یخبندان، دمای حداقل، گلدهی سیب، دشت مشهد

### مقدمه

کشاورزی استان خراسان رضوی برابر با ۱۷۰۰ میلیارد ریال اعلام گردیده است (۱۸). میزان خسارت ناشی از یخبندان بر روی محصولات کشاورزی نسبت به مکان، زمان، نوع محصول و شرایط محیطی متفاوت است. وقوع یخبندان با شدت یکسان در دو منطقه با شرایط محیطی متفاوت و یا دو محصول متفاوت و یا یک محصول با وارپته‌های مختلف باعث ایجاد خسارت متفاوت می‌گردد. اینکه چه عواملی در تعیین میزان خسارت یخبندان نقش. برخی از عوامل موثر بر میزان خسارت از قبیل خصوصیات جغرافیایی و توپوگرافیکی منطقه ثابت هستند ولی برخی از خصوصیات از قبیل شدت و تداوم یخبندان نسبت به زمان دارای تغییرات هستند. لذا می‌توان با پهنه بندی عوامل موثر در میزان خسارت یخبندان، خطر خسارت را نیز برای یک محصول خاص در منطقه جغرافیایی خاصی پهنه بندی نمود.

اولین مطالعات دانشمندان در مورد یخبندان زیانبخش کشاورزی به یکصد و شصت سال قبل بر می‌گردد که توسط ریکناگل در مورد یخبندان دیررس بهاره و روش‌های جلوگیری از خسارت آنها می‌باشد

یخبندان به کاهش دمای هوا به زیر نقطه انجماد گفته می‌شود و چنانچه این رویداد در طول فصل رشد اتفاق افتد خسارات زیادی بر روی محصولات کشاورزی می‌گذارد. سیب یکی از محصولات مهم استان خراسان رضوی است که کل سطح کشت آن در شهرستانهای استان خراسان رضوی در سال ۱۳۸۴ بیش از ۱۶ هزار هکتار بوده است. در یخبندان زیانبخش فروردین ۱۳۸۴ در خراسان رضوی حدود ۱۱ هزار هکتار از باغات درختان میوه دانه دار شامل گلابی، به و سیب آسیب دیدند که حدود ۱۰ هزار هکتار آن مربوط به محصول سیب بوده است (۱۷). میزان خسارت وارد شده بر اساس اعلام سازمان جهاد

۱- استادیار دانشگاه سمنان و دانش آموخته دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، تهران

\*- نویسنده مسئول: (Email: farajzam@modares.ac.ir)

۳- دانشیار دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

پهنه‌بندی خطر یخبندان بهاره را در باغات انگور در فرانسه انجام داده‌اند. آنها با کمک رگرسیون چند متغیره و بر اساس مدل رقومی زمین، توزیع دمای حداقل را در منطقه مورد مطالعه به دست آورده و بر اساس این نقشه، توزیع میزان خطر یخبندان را نیز برای کل منطقه بر اساس اطلاعات هواشناسی ۲۰ ایستگاه ترسیم نمودند.

مطالعات مربوط به یخبندان کشاورزی در کشور طی سالهای گذشته در کشور تا حدودی کم بوده است و اکثر این مطالعات جنبه‌های سینوپتیکی و آماری وقوع یخبندانها را مورد بررسی قرار داده‌اند. اولین مطالعه یخبندان در ایران به سال ۱۳۵۳ بر می‌گردد که توسط هاشمی و در مورد تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان در ۱۷ ایستگاه هواشناسی موجود در گستره ایران صورت گرفت (۱). علیزاده و همکاران (۳) احتمال وقوع اولین و آخرین یخبندان را در ۱۵ ایستگاه هواشناسی خراسان مورد مطالعه قرار دادند. این مطالعات به صورت نقطه ای و فقط برای ایستگاههای هواشناسی انجام گردید. رحیمی (۱) یخبندان‌های البرز مرکزی را به صورت منطقه ای بررسی نموده است به ترتیبی که قانونمدهای معینی را برای منطقه ارایه نموده است.

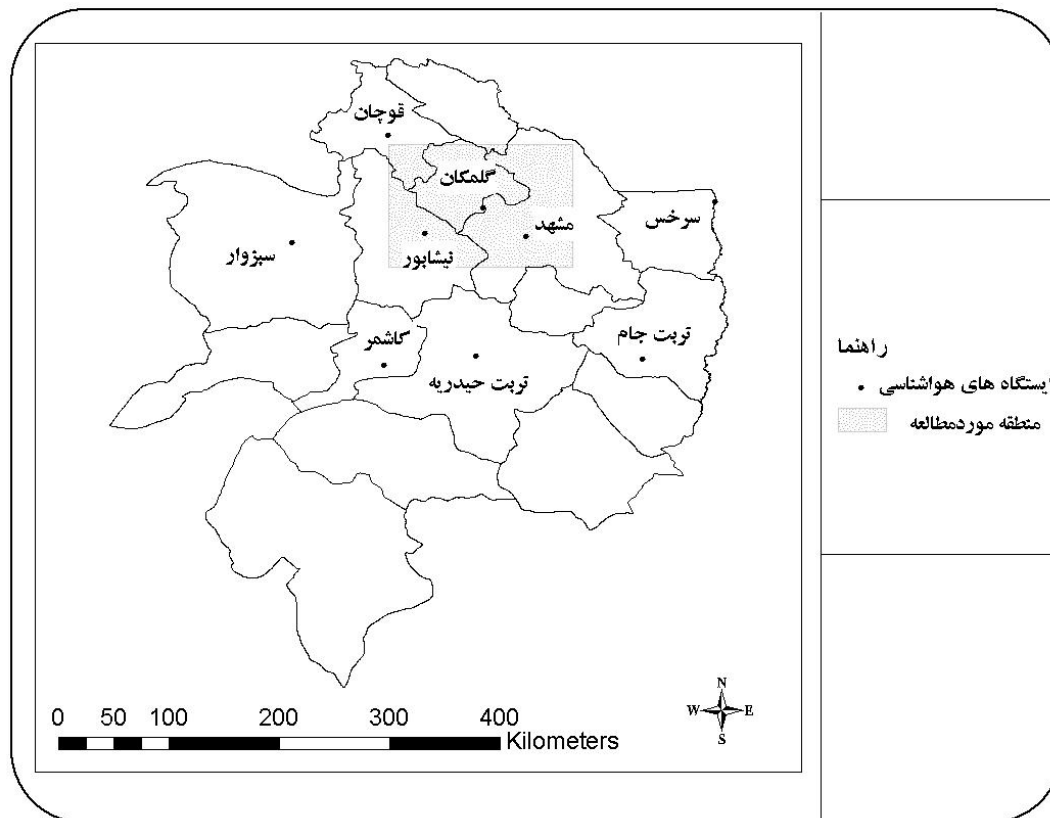
مطالعه و بررسی خاصی در زمینه شناخت متغیرهای موثر بر روی خطر خسارت یخبندان تا به حال در کشور صورت نگرفته است و به عبارتی ریسک یخبندان مورد کمی سازی قرار نگرفته است. در این مطالعه برای اولین بار در مطالعات یخبندان در کشور، به کمک مدل سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی و نیز بهره گیری از داده‌های هواشناسی نقشه‌های خطر خسارت یخبندان تهیه گردید که می‌تواند مورد استفاده بخش‌های مختلف قرار بگیرد.

سیب از جمله درختانی است که با مناطق سردسیر تطابق بیشتری دارند. با این وجود سرماهای شدید، موجبات خسارت را فراهم می‌سازد. بر اساس دیده بانی‌هایی که طی سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۶ در ایستگاه تحقیقاتی هواشناسی کشاورزی گلکان انجام شده است میانگین زمان آغاز گلدهی باغات سیب از ۵ تا ۳۰ فروردین مشاهده شده است. از زمان آغاز گلدهی تا حدود دوهفته به عنوان مرحله حساس فنولوژیکی سیب نسبت به یخبندان در نظر گرفته می‌شود (۲).

هدف این پژوهش، شناسایی عوامل موثر بر خسارت یخبندان و یکپارچه سازی آنها از طریق مدل سازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی و ارایه مدلی برای ارزیابی خطر خسارت یخبندان است. کمی سازی خطر خسارت یخبندان به منظور شناسایی نقاط خطر پذیر جهت توسعه باغات سیب، کمک به انجام علمی بیمه این محصول و نیز توسعه روش‌های محافظت از آسیب ناشی از یخبندان می‌باشد. نتایج مطالعه حاضر، علاوه بر اینکه می‌تواند نقش مهمی در درآمد و معاش کشاورزان داشته باشد بلکه گامی در جهت رشد و شکوفایی کشاورزی کشور و اقتصاد ملی نیز محسوب می‌شود.

(۱۹). بوتسما (۶) درجه حرارت کمینه و احتمال وقوع یخبندان را در زمینهای کوهستانی در کشور کانادا مورد مطالعه قرار داد. او نتیجه گرفت که متوسط تاریخهای برآورد شده وقوع یخبندان در قعر دره‌ها ۳۴ روز دیرتر در بهار و ۳۹ روز زودتر در پاییز نسبت به ارتفاعات رخ می‌دهد. آویسار و ماهر (۵) یک مدل سه بعدی را در مقیاس محلی برای شبیه سازی خرد اقلیم نزدیک سطح زمین در زمان وقوع یخبندانهای تابشی توسعه دادند. متغیرهای موثر در این مدل شامل پستی بلندی، پوشش گیاهی، رطوبت موجود در خاک، سمت و سرعت باد و رطوبت هوا بودند. میچالسکا (۱۳) با مطالعه احتمال زمانی وقوع یخبندانهای دیررس بهاره در هلند، تاریخ کاشت مناسب ذرت را تعیین نمود. کاجفز (۹) تاریخ وقوع یخبندانهای زودرس پاییزه را در ۹ مکان در اسلوونی در طی سالهای ۱۹۴۷ تا ۱۹۸۷ به دست آورد. وی رابطه تاریخ وقوع اولین یخبندان و ارتفاع محل را نیز مشخص نمود. لافلین و کالما (۱۱) نتایج مطالعات حداقل درجه حرارت اندازه گیری شده را طی سه زمستان متوالی در یک ناحیه ناهموار و کوهستانی منتشر کردند. آنها نشان دادند که تغییرات درجه حرارت حداقل هوا با ارتفاع، بر اساس میانگین شبانه سرعت باد، تابش خالص خروجی شبانه و درجه حرارت حداقل بالای تپه قابل برآورد می‌باشد. همچنین معلوم شد که اختلاف دما در نقاط مختلف از طریق یک متغیر زمینی محلی که نشاندهنده میزان تجمع هوای سرد است قابل برآورد می‌باشد. بنابراین متدولوژی پهنه بندی ریسک یخبندان بر اساس داده‌های هواشناسی منطقه ای و تحلیل زمینی محلی امکان پذیر می‌باشد.

زینونی و همکاران (۲۰)، یک مطالعه اقلیمی- اوروگرافیکی را به منظور شناسایی نواحی مستعد یخبندان و تعیین مشخصات رویدادهای یخبندان در دوره زمانی مارس و آوریل ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ برای ۱۶۱ ایستگاه هواشناسی در منطقه امیلیا روماننا در ایتالیا انجام دادند. این محققین یک شاخص تلفیقی ریسک یخبندان را که هم شرایط دمایی و هم شرایط فنولوژیکی را در نظر می‌گیرد، معرفی نمودند. پژوهشگران یاد شده منطقه مورد مطالعه را به دو بخش کوهستانی و مسطح تقسیم و برای هر بخش، روابط همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و اوروگرافیکی محاسبه نمودند. بدین ترتیب برای نقاط کوهستانی منطقه، یک همبستگی معنی دار بین میانگین دمای حداقل در طی یخبندان با دو عامل اوروگرافیکی ارتفاع نسبی از پایین دره و نزدیکی به دریا ارایه گردید. برای بخش مسطح همبستگی معنی‌داری ارایه نشده است که به دلیل عدم کفایت داده‌ها بوده است. ریچاردز و بامگارتن (۱۵) نشان دادند که توزیع مکانی یخبندانهای تابشی ارتباط نزدیکی با الگوهای توپوگرافیکی دارد و این باعث می‌شود که یخبندان از روی نقشه‌های توپوگرافیکی مشخص شود. با استفاده از مدلسازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی و تأثیر عواملی چون نوع پوشش سطح زمین، شیب، ارتفاع، عرض جغرافیایی و فاصله تا ساحل، نقشه درجه حرارت حداقل را ارایه نمودند. مادلین و بلتراندو (۱۲)



شکل ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه (مستطیل تیره) و ایستگاه‌های هواشناسی

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه قسمتی از استان خراسان رضوی می باشد که در دشت مشهد و در میان دو رشته کوه بینالود و هزار مسجد قرار گرفته است. محدوده عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۳۶ تا ۳۷ درجه شمالی و محدود طول جغرافیایی از ۳۰ و ۵۸ تا ۶۰ درجه شرقی را در بر می گیرد (شکل ۱). مساحت تقریبی این محدوده حدود ۱۳۰۰۰ کیلومتر مربع می باشد. مهمترین شهرهای منطقه مطالعاتی شامل مشهد، نیشابور، چناران، گلستان و کلات می باشد.

## داده ها

در این مطالعه از آمار هواشناسی ۹ ایستگاه سینوپتیک استفاده شده است. ایستگاه‌های گلستان، مشهد و نیشابور در داخل محدوده مورد مطالعه و سایر ایستگاهها در خارج از آن محدوده قرار دارند. لیست ایستگاههای مورد استفاده در جدول ۱ و موقعیت جغرافیایی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.

داده‌های هواشناختی مورد استفاده عبارت بودند از:

- دمای حداقل هوا

- تداوم یخبندان

- سطح محصور بین منحنی دما و خط صفر درجه که عبارت است از سطح محصور بین منحنی دما و خط صفر درجه طی مدتی که دما زیر صفر می‌باشد. مساحتی را که منحنی دمای روزانه با خط صفر درجه سانتیگراد به دست می‌داد مساوی با مجموع حاصلضرب قدر مطلق دما در تداوم آن در نظر گرفته شد. واحد این متغیر درجه ساعت می‌باشد.

- نرخ کاهش دما قبل از یخبندان: واحد این متغیر درجه سانتی‌گراد بر ساعت می‌باشد و آن شیب یا ضریب زوایه خطی است که دمای ساعت ۹ شب قبل را به دمای ساعت ۶ صبح روز یخبندان (نرخ کاهش دما طی ۹ ساعت قبل از وقوع یخبندان) وصل می‌کند.

- نرخ افزایش دما بعد از یخبندان: واحد این متغیر درجه بر ساعت می‌باشد و آن شیب یا ضریب زوایه خطی است که دمای ساعت ۶ صبح روز یخبندان را به دمای ساعت ۳ بعد از ظهر محلی (نرخ افزایش دما طی ۹ ساعت بعد از وقوع یخ بندان) وصل می‌کند.

- درجه روز تجمعی: در خصوص نحوه محاسبه میزان تامین نیازهای سرمای و گرمایی مدل‌های متفاوتی وجود دارد. در این مطالعه

### داده‌های جغرافیایی

- ارتفاع از سطح دریا، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، جهت شیب، میزان شیب و روز از سال. برای کمی کردن روز سال براساس تاریخ میلادی عدد ۱ برای اول ژانویه در نظر گرفته شد و برای روزهای بعدی سال نیز اعداد ۲ و ۳ و ... استفاده شد. روز شمارهای یخبندانهای ۳۱ فروردین ۱۳۸۲، ۸ و ۱۹ فروردین ۱۳۸۴ معادل ۱۱۰، ۶۸ و ۹۷ تعیین گردید.

### داده‌های خسارت یخبندان

برای تعیین میزان خسارت ناشی از یخبندان بهاره بر روی محصول سیب برای هر یخبندان سطح خسارت دیده بر حسب هکتار تعیین و بر میزان کل سطح باغات سیب تقسیم و درصد ضرب گردید.

### روش مطالعه

نمودار روش مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. در مطالعه حاضر به منظور تفکیک یخبندانهای تابشی از یخبندانهای انتقالی به عوامل متعددی از جمله سرعت باد، ابرناکی و وارونگی دمایی توجه شد. برای تعیین وجود وارونگی دمایی که ویژگی یخبندانهای تابشی می‌باشد نیاز به وجود داده‌های دمای هوا در ارتفاعات مختلف از سطح زمین است. این داده‌ها در گزارشهای دریافتی از رادیوسوند موجود می‌باشد. تنها ایستگاه جو بالایی محدوده مطالعاتی ایستگاه جو بالایی مشهد می‌باشد.

تعداد ۱۳ یخبندان در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴ در خراسان رضوی اتفاق افتاده بود که در جدول ۲ نشان داده شده است. در سال ۱۳۸۳ یخبندان زینبخش دیررس بهاره در منطقه اتفاق نیافتاده بود. دمای حداقل رخ داده در ۳ ایستگاه داخل محدوده مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

از مدلی که توسط سی ساریو و همکاران (۷) برای تعیین نیازهای تجمعی سرمایی و پیش‌بینی زمان گلدهی برخی از گونه‌های درختی در ایتالیا بکار رفته، استفاده شده است. منظور از درجه روز تجمعی در اینجا، میزان درجه روز تجمعی از زمان ریزش برگ تا زمان وقوع یخبندان در آن سال مشخص بوده است. برای تعیین آستانه دمایی کمینه (Tc) و واحدهای حرارتی تجمعی (Cr) برای وارینه گلدن ۵ حالت برای Tc شامل ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ درجه سانتیگراد و ۱۱ حالت برای Cr شامل ۱۳۰، ۱۳۵، ۱۴۰، ۱۴۵، ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۸۰ در نظر گرفته شد. تاریخهای ریزش برگ درخت سیب و نیز تاریخهای شکوفه دهی سیب از سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۶ برای آموزش مدل پیش بینی گلدهی مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبات یک برنامه کامپیوتری به زبان فرترن نوشته شد.

در این آزمون از میان ۲۰ ترکیب مختلف Cr و Tc و مقایسه ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) آنها، ترکیب Cr = ۱۵۰، Tc = ۵، RMSE = ۵ با Tc = ۵ روز نسبت به ۵۵ حالت دیگر به عنوان ترکیب مناسب و معنی دار در سطح ۹۵ درصد انتخاب گردید. همچنین برای سال ۱۳۸۷، زمان گلدهی سیب با استفاده از مدل گفته شده و با لحاظ کردن Cr = ۵، Tc = ۱۵۰ انجام گردید. تاریخ پیش بینی شده بر اساس مدل ۱۳ فروردین ۸۷ تعیین گردید. زمان واقعی گلدهی ۱۶ فروردین ۸۷ بود. اختلاف ۳ روز بین مقدار پیش بینی شده و واقعی مشاهده گردید.

میزان واحدهای تجمعی سرمایی سه تاریخ یخبندان انتخاب شده برای ایستگاههای منطقه مطالعاتی با این روش و با در نظر گرفتن Cr = ۵ و Tc = ۱۵۰ صورت گرفت. زمان مرجع مورد استفاده برای محاسبه میزان تجمعی واحدهای سرمایی، تاریخ ریزش برگ می‌باشد. طی سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۶ زمان ریزش برگ از ۲۹ مهر تا ۳۱ آبان برای ایستگاه گلکمان مشاهده شده است. تاریخ میانگین ریزش برگ را ۱۵ مهر در نظر گرفته و میزان واحدهای تجمعی سرمایی از ۱۵ مهر تا تاریخ رخداد یخبندان مورد محاسبه قرار گرفت.

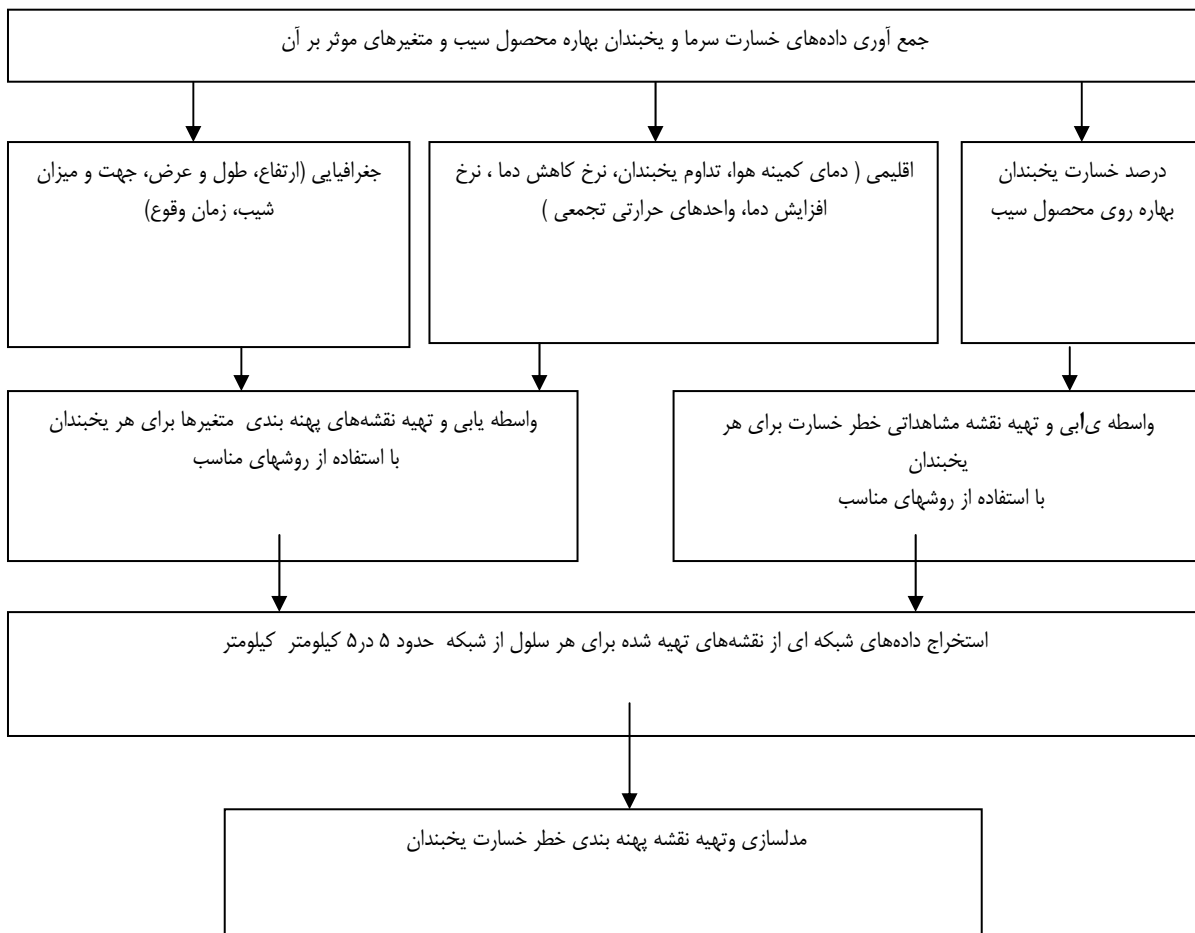
جدول ۱- اسامی ایستگاههای هواشناسی مورد استفاده

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول دوره آماری	طول دوره (سال)
گلمکان	۱۱۷۶	۵۹/۲۸	۳۶/۴۸	۱۳۶۳-۱۳۸۵	۲۳
مشهد	۹۹۰	۵۹/۶۳	۳۶/۲۵	۱۳۲۸-۱۳۸۵	۵۸
نیشابور	۱۲۱۳	۵۸/۸۰	۳۶/۲۷	۱۳۶۹-۱۳۸۵	۱۷
سبزوار	۹۷۷/۶	۵۷/۷۲	۳۶/۲	۱۳۳۳-۱۳۸۵	۵۳
قوچان	۱۲۸۷	۵۸/۵	۳۷/۰۷	۱۳۶۲-۱۳۸۵	۲۴
سرخس	۲۳۵	۶۱/۱۷	۳۶/۵۳	۱۳۶۳-۱۳۸۵	۲۳
ترت حیدریه	۱۴۵۰/۸	۵۹/۲۲	۳۵/۲۷	۱۳۳۷-۱۳۸۵	۴۹
ترت جام	۹۵۰/۴	۶۰/۵۸	۳۵/۲۵	۱۳۷۱-۱۳۸۵	۱۵
کاشمر	۱۱۰۹/۷	۵۸/۴۷	۳۵/۲	۱۳۶۴-۱۳۸۵	۲۲

۸؛ ۹؛ ۱۸ و ۱۹ فروردین ۱۳۸۴ به عنوان شبهای یخبندان تابشی انتخاب گردیدند. هر پنج رویداد یخبندان دارای شرایط یخبندان تابشی که همانا وجود وارونگی دمایی، پوشش ابر کمتر از چهار هشتم و سرعت باد کمتر از ۱/۵ متر بر ثانیه هست، می‌باشند. وقوع خسارت یخبندان بر روی محصول سیب در روزهای ۳۱ فروردین ۸۲ و نیز ۸ و ۱۹ فروردین ۸۴ اعلام شده است. بنابراین سه روز گفته شده به عنوان روزهای یخبندان زیانبخش مورد مطالعه انتخاب شدند. بعد از تعیین و انتخاب ۳ یخبندان تابشی، نقشه پهنه بندی کلیه متغیرها برای منطقه مورد مطالعه برای هر رویداد یخبندان انجام گردید. پهنه بندی به این منظور انجام شد تا تعداد کافی داده‌های ورودی برای رگرسیون در اختیار قرار گیرد.

کمترین دما مربوط به روز ۸ فروردین ۱۳۸۴ می‌باشد. بر اساس مطالعاتی که طی سالهای ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۶ در ایستگاه هواشناسی کشاورزی گلکان صورت گرفته است تاریخ گلدهی سیب رقم گلدن از ۵ تا ۳۰ فروردین متفاوت بوده است. یکی از معیارهای انتخاب یخبندانهای زیانبخش قرار گرفتن تاریخ وقوع یخبندان در این محدوده زمانی بوده است.

برای تعیین وجود و یا عدم وجود وارونگی دما گزارش‌های دریافتی از رادیسوند نیمه شب (ساعت 00 GMT) طی روزهای گفته شده مورد استفاده قرار گرفت. به همین منظور شبهای با پوشش ابر کمتر از چهار هشتم و سرعت باد کمتر از ۱/۵ متر بر ثانیه نیز به عنوان شبهای یخبندان تابشی انتخاب شدند. بر این اساس پنج یخبندان در روزهای ۳۱ فروردین ۱۳۸۲ و نیز



شکل ۲- روش پژوهش

جدول ۲- یخبندانهای زیانبخش بهاره در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴

ردیف	سال	روز	وارونگی دمایی	دمای حداقل مشهد	دمای حداقل گل‌مکان	دمای حداقل نیشابور	نوع یخبندان	خسارت روی سبب
۱	۱۳۸۲	۳۰ فروردین	عادی	-۰/۶	-۱	۰	انتقالی	
۲	۱۳۸۲	۳۱ فروردین	وارونگی	-۱	-۱/۶	۰	تابشی	+
۳	۱۳۸۲	۱ اردیبهشت	عادی	-۱	-۰/۸	۲	انتقالی	
۴	۱۳۸۴	۶ فروردین	عادی	۱	-۱/۶	۰/۶	انتقالی	
۵	۱۳۸۴	۷ فروردین	عادی	-۱/۴	-۳	-۰/۸	انتقالی	
۶	۱۳۸۴	۸ فروردین	وارونگی	-۵/۴	-۴/۴	-۷/۲	تابشی	+
۷	۱۳۸۴	۹ فروردین	وارونگی	۰	-۰/۶	-۱/۸	تابشی	-
۸	۱۳۸۴	۱۰ فروردین	عادی	۳/۲	۰	-۰/۲	انتقالی	
۹	۱۳۸۴	۱۸ فروردین	وارونگی	۰/۸	-۱	-۱/۶	تابشی	-
۱۰	۱۳۸۴	۱۹ فروردین	وارونگی	-۰/۶	-۳	-۳/۲	تابشی	+
۱۱	۱۳۸۴	۲۰ فروردین	عادی	-۱	-۲/۶	-۲/۲	انتقالی	
۱۲	۱۳۸۴	۲۱ فروردین	عادی	۱	-۱/۶	-۳/۴	انتقالی	
۱۳	۱۳۸۴	۲۲ فروردین	عادی	۱/۶	-۰/۸	-۱/۸	انتقالی	

مقادیر هر متغیر ورودی و نیز متغیر خروجی در روی هر یک از نقاط تقاطع خطوط استخراج و در جدولی ثبت گردید. کل تعداد نقاط شبکه ۶۰۹ نقطه را شامل گردید. برای هر یخبندان (کلا ۳ یخبندان) شبکه فرضی شامل همان نقاط بود و در نهایت تعداد کل نقاط اطلاعاتی برای تحلیل رگرسیون ۱۶۵۳ (۳×۵۵۱) نقطه را شامل گردید. برای ۱۲ متغیر ورودی و یک متغیر خروجی (کلا ۱۳ متغیر) با ۱۶۵۳ ردیف تعداد کل داده‌های قابل تحلیل ۲۱۴۸۹ (۱۳×۱۶۵۳) را شامل شدند.

برای کمی سازی خطر وقوع خسارت، بایستی عوامل فوق الذکر کمی سازی میشد. برای تعیین میزان تأثیر هر کدام از این عوامل روشهای آماری مختلفی وجود دارد که مهمترین آنها روش رگرسیون چند متغیره می‌باشد (۴). برای بررسی وجود رابطه همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته از آزمون دو طرفه و ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید.

برای تعیین ضرایب از روش‌های جبری، جلوگرد، عقب گرد و گام به گام (۴) استفاده گردید. مقدار خطای کلی هر چهار روش بر اساس میزان جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) آن محاسبه و روش با کمترین میزان RMSE به عنوان روش مناسبتر انتخاب گردید.

بدین ترتیب خطر خسارت با استفاده روش تحلیل رگرسیون جبری برای هر سه رویداد یخبندان با استفاده از معادله به دست آمده برای هر نقطه از شبکه فرضی برآورد گردید. بعد از برآورد خطر خسارت برای هر یخبندان و با استفاده از اطلاعات برآورد شده هر نقطه از شبکه فرضی نقشه خطر خسارت برآورد شده به روش IDW

نقشه‌های تهیه شده برای متغیرهای موثر به عنوان ورودی‌های مدل و درصد خسارت یخبندان به عنوان خروجی مدل با استفاده از سه روش پهنه بندی وزن دهی معکوس فاصله (IDW)، Spline و روش کریجینگ (۴) انجام گردید و با مقایسه نقشه‌های تهیه شده برای ۳ روش، روش IDW انتخاب گردید. نقشه ارتفاع، جهت و میزان شیب در محدوده مورد مطالعه با قدرت تفکیک فضایی ۹۰ در ۹۰ متر تهیه گردید. کلیه این نقشه‌ها از روی نقشه ماهواره راداری SRTM<sup>۲</sup> به دست آمد.

از ۱۳ سری داده، نقشه طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح آزاد آبها، جهت و میزان شیب از روی نقشه مدل رقومی زمین استخراج گردید و برای هر سه رویداد یخبندان یکسان بود. برای متغیر روز وقوع یخبندان که برای کل محدوده مورد مطالعه یک عدد ثابتی برای هر یخبندان بود، نقشه ای تهیه نگردید. برای ۷ سری دیگر (خطر خسارت یخبندان، واحدهای حرارتی، دمای کمینه، طول مدت زیر صفر، سطح محصور، نرخ کاهش و نرخ افزایش دما) نقشه‌های پهنه بندی تهیه گردید.

سپس یک شبکه فرضی شامل نقاط با فاصله ۵ کیلومتر در ۵ کیلومتر بر روی هر نقشه قرار گرفت. در این حالت محور طول جغرافیایی به ۲۸ قسمت و محور عرض جغرافیایی به ۱۸ قسمت با فواصل مساوی تقسیم گردید. با توجه به ابعاد محدوده مورد مطالعه تعداد کل نقاط شبکه ۵۵۱ عدد (۲۹ در ۱۹) به دست آمد. سپس

1- Inversed Distance Weighting

2-Shuttle Radar Topography

Mission(<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>)

3-Root Mean Square Error

خسارت است. هرچقدر سطح محصور بیشتر باشد میزان خسارت نیز بیشتر می‌باشد. سطح محصور زمانی بیشترین مقدار را خواهد داشت که هم دمای حداقل پایین تر باشد و هم طول مدت زمان زیر صفر بیشتر باشد. البته هر کدام از این دو جزء نیز به تنهایی می‌توانند در بالا بودن سطح محصور نقش داشته باشند. متغیر بعدی طول مدت زیر صفر می‌باشد. میزان ضریب همبستگی این متغیر با خطر خسارت یخبندان به عنوان متغیر وابسته برابر با  $0/664$  می‌باشد. این عدد نشاندهنده تأثیر مستقیم طول مدت زیر صفر در میزان خسارت یخبندان می‌باشد. اشنایدر (۱۶) نیز بر این اعتقاد می‌باشد. هر چقدر طول مدت زمانی که دمای هوا زیر نقطه یخبندان قرار بگیرد، بیشتر باشد به همان اندازه نیز میزان خسارت یخبندان بیشتر خواهد بود. مدت زمان قرار گرفتن در شرایط آسیب هرچه بیشتر باشد آسیب نیز بیشتر خواهد بود. هرچقدر که اندامهای گیاه بیشتر در شرایط یخبندان قرار گیرند در شرایط یخبندان برون سلولی میزان بیشتری آب از داخل سلول به فضای بین سلولی وارد شده و از فضای زیر روزنه، تبخیر خواهد گردید و گیاه دچار خسارت‌های بعدی خواهد گردید. در مورد یخبندان درون سلولی نیز هرچقدر که گیاه به مدت زمان بیشتری در شرایط یخبندان قرار گیرد بر وسعت و حجم بخشهای یخ زده در داخل سلول افزوده خواهد شد. نرخ کاهش دما قبل از یخبندان دارای ضریب همبستگی معادل با  $0/549$  - با خطر خسارت یخبندان دارد. بر این اساس هرچه نرخ کاهش دما قبل از یخبندان کمتر باشد میزان خسارت یخبندان بیشتر خواهد بود. به عبارتی هرچقدر این کاهش تدریجی باشد میزان خسارت بیشتر می‌باشد. تحقیق معتبری در خصوص تأثیر میزان نرخ کاهش دما قبل از یخبندان بر روی خطر خسارت یخبندان مشاهده نگردید. حتی اشنایدر (۱۶) نیز به این مسئله اشاره نموده است که تا بحال در این مورد نتیجه تایید شده ای وجود ندارد. آنچه که به نظر می‌رسد در این رابطه به عنوان یک توجیه منطقی اشاره شود رابطه ای است که میان نرخ کاهش دما با سطح محصور می‌تواند ارایه نمود. هر چقدر که دما با نرخ کمتری کاهش یابد برای رسیدن به یک دمای حداقل معین زمان بیشتری را زیر صفر درجه سانتیگراد خواهد بود و لذا سطح محصور بیشتر خواهد بود.

هفتمین متغیر مستقل که با سطح اعتماد ۹۹ درصد دارای ضریب همبستگی  $0/431$  - نسبت به متغیر وابسته خطر خسارت یخبندان بهاره می‌باشد، واحدهای حرارتی تجمعی می‌باشد. با توجه به ضریب همبستگی معلوم می‌شود که هرچقدر واحدهای حرارتی کمتری تجمع یابد، میزان خطر خسارت یخبندان بهاره بیشتر خواهد بود. تجمع کم واحدهای حرارتی زمان اتفاق می‌افتد که زمستان گرمتر و بهار سردتری داشته باشیم که منجر به کاهش واحدهای سرمایی در زمستان و کاهش واحدهای گرمایی در بهار شود. زمستان گرمتر و بهار سردتر باعث افزایش خطر خسارت یخبندان می‌شوند چرا زمستان گرمتر باعث زودتر آغاز شدن فصل رشد و شروع فعالیتهای زیستی

تهیه گردید. به منظور بررسی وجود همبستگی میان این دو نقشه با استفاده از نرم افزار IDRISI معادله رگرسیونی و نیز ضریب همبستگی و تبیین هر معادله برای هر یخبندان به دست آمد.

## نتایج و بحث

بیشترین ضریب همبستگی میان خطر خسارت یخبندان با دمای حداقل و به میزان  $0/867$  - می‌باشد و به این معنی است که هرچقدر میزان دمای حداقل کمتر باشد یا به عبارتی یخبندان شدیدتر باشد خطر خسارت یخبندان بیشتر خواهد بود. در بسیاری از منابع نیز تأثیر دماهای پایین تر در افزایش میزان خسارت یخبندان بر محصولات کشاورزی اشاره شده است. نرخ افزایش دما که در واقع شیب خط افزایش دما بعد از وقوع یخبندان از ساعت ۶ صبح تا ۳ بعد از ظهر می‌باشد نیز تأثیر مستقیم بر روی خطر خسارت یخبندان دارد. به این معنی که هرچقدر سرعت افزایش دما بعد از یخبندان سریعتر باشد میزان خسارت یخبندان بر روی محصول بیشتر می‌باشد. اشنایدر (۱۶) و ریبریو و همکاران (۱۴) نیز به همین نتیجه رسیده اند. علت این امر این است که ذوب شدن آرام یخ، سرعت از دست دادن آب سلولهایی را که دچار یخبندان برون سلولی شده اند کاهش می‌دهد و می‌تواند خسارت ناشی از ذوب شدن سریع را کاهش دهد. به عبارتی هر چقدر افزایش دما بعد از وقوع یخبندان تدریجی و به آرامی صورت گیرد توانایی برای بازیابی خود و ترمیم بافتهای خسارت بیشتر خواهد بود. نظر به اینکه میزان خسارت یخبندان بر روی محصول حدود ۴ یا ۵ روز بعد از یخبندان معلوم می‌شود مزارعی که در آنها بعد از وقوع یخبندان از ماشینهای باد استفاده می‌شود و نرخ افزایش دما تحت کنترل و آرام صورت می‌گیرد خسارت به مراتب کمتری را نسبت به مزارع اطراف که از این سیستمها استفاده نشده است را نشان می‌دهد و به همین علت به باغداران توصیه می‌شود که ماشینهای باد را تا چند ساعت بعد از وقوع یخبندان روشن نگه دارند. متغیر بعدی روز شمار می‌باشد که دارای ضریب همبستگی برابر با  $0/849$  - با خطر خسارت یخبندان دارد. این ضریب نشاندهنده اینست که هر چه میزان متغیر روز شمار بیشتر باشد، یعنی یخبندان دیرتر اتفاق افتاده باشد، خطر خسارت یخبندان کمتر است. محدوده زمانی در این مطالعه اول تا آخر فروردین می‌باشد. همانطوریکه اشاره شد زمان گلدهی حساسترین مرحله رشد گیاه نسبت به خسارت یخبندان می‌باشد. با گذشت زمان مقاومت گیاه به سرما افزایش یافته و میزان خطر خسارت یخبندان بر روی محصول کمتر می‌شود.

چهارمین متغیر مستقل موثر بر خطر خسارت یخبندان، سطح محصور بین منحنی دمای روزانه با خط صفر درجه سانتیگراد می‌باشد که دارای ضریب همبستگی برابر  $0/773$  - با خطر خسارت یخبندان می‌باشد. این موضوع نشاندهنده تأثیر مستقیم سطح محصور بامیزان

ارتفاع و جهت شیب توسط مدل در نظر گرفته شدند. مقایسه ضرایب همبستگی روش‌های مختلف تحلیل رگرسیون چند متغیره و RMSE در جدول ۴ نشان می‌دهد که مقادیر خطا و ضریب همبستگی در هر ۴ روش بسیار نزدیک به هم هستند. که برای ساده سازی و حذف متغیرهای غیر معنی دار روش گام به گام مورد استفاده قرار گرفت.

معادله زیر رابطه رگرسیون خطی مناسب برای پیش بینی خطر خسارت یخبندان بهاره محصول سیب را ارائه گردید:

$$1.77TM + 16.9 \quad IN - 2.02JD - 0.75AR - FDR = 325.59 \\ 8.9DE + 0.11DD - 2.64X + 1.79Y$$

که در آن TM: دمای حداقل، IN: نرخ افزایش دما، JD: روز شمار، AR: سطح محصور، DE: نرخ کاهش دما، DD: درجه روز، X: طول جغرافیایی و Y: عرض جغرافیایی می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی معادله برابر با ۰/۹۸ و ضریب تبیین برابر با ۰/۹۹ می‌باشد.

بعد از اینکه مشخص گردید روش رگرسیون خطی چند متغیره روش مناسبتر برای مدلسازی خطر خسارت یخبندان می‌باشد خطر خسارت با استفاده روش تحلیل رگرسیون جبری برای هر سه رویداد یخبندان با استفاده از معادله به دست آمده برای هر نقطه از شبکه فرضی برآورد گردید و سپس نقشه خطر خسارت به روش IDW تهیه گردید. همچنین اختلاف مقدار برآورد شده و اتفاق افتاده خطر خسارت یخبندان برای هر نقطه از شبکه فرضی نیز محاسبه گردید و نقشه خطای برآورد رگرسیون نیز ترسیم گردید. در اشکال ۳-الف تا ج نقشه خطر خسارت یخبندان مشاهده شده، نقشه خطر خسارت یخبندان برآورد شده و نیز نقشه میزان خطای رگرسیون در این برآورد برای یخبندان روز ۳۱ فروردین ۱۳۸۲ به روش IDW نشان داده شده است. همانطوری که از شکل ۳-الف مشخص است، کمترین خسارت در محدوده مورد مطالعه در ۳۱ فروردین ۱۳۸۲ در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه (مشهد) رخ داده است. منطقه جنوب غربی بیشترین خسارت بر روی محصول سیب وارد شده است.

در نقشه برآورد شده (شکل ۳-ج) نیز بیشترین خسارت در شهرهای جنوب غربی (نیشابور) و کمترین مقدار خسارت در جنوب شرقی ملاحظه می‌شود. برای دو رویداد یخبندان دیگر نیز یعنی ۸ و ۱۹ فروردین ۱۳۸۴ نیز این نقشه‌ها تهیه شدند. در جدول ۱۳ مشخصات کلیه این نقشه‌ها اعم از مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و نیز انحراف معیار ارائه شده است. بر اساس شکل ۳-ج میزان خطای برآورد خسارت حدود ۵ درصد کمتر یا بیشتر از مقدار مشاهده شده خطر خسارت می‌باشد. خطای مثبت (برآورد بیش از مقدار مشاهده شده) در مناطق مرکزی محدوده مورد مطالعه و خطای منفی (برآورد کمتر از مقدار مشاهده شده) در مناطق جنوب غربی محدوده مورد مطالعه مشاهده گردیده است. مشخصات این نقشه‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. همبستگی میان نقشه خطر خسارت یخبندان واقعی (متغیر مستقل: X) و برآورد شده (متغیر وابسته: Y) به منظور تعیین معادله

محصول می‌شوند و وقوع یخبندانهای دیررس بهاره در بهار سرد باعث ایجاد یخبندان بشود. از نظر طول جغرافیایی هرچقدر که طول جغرافیایی زیاد می‌شود خطر وقوع خسارت کمتر می‌شود. ضریب این همبستگی برابر با ۰/۴۳- می‌باشد که در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی دار می‌باشد. ضریب همبستگی میان ارتفاع از سطح دریا و خطر خسارت یخبندان ۰/۱۴۱ می‌باشد که در سطح ۹۵ درصد معنی دار می‌باشد. هر چقدر که ارتفاع افزایش می‌یابد خطر خسارت یخبندان نیز افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع از سطح زمین دمای هوا کاسته می‌شود (قاعده کلی در تروپوسفر) همچنین طول دوره یخبندان در این مناطق نسبت به مناطق پست و کم ارتفاع طولانی بوده و بالعکس طول دوره بدون یخبندان کمتر است. یخبندانهای دیررس بهاره در مناطق مرتفع دیرتر از مناطق کم ارتفاع رخ می‌دهند و یخبندانهای زودرس پاییزه نیز زودتر رخ می‌دهند لذا محصولات مدت طولانی تری در معرض خطر خسارت یخبندان قرار می‌گیرند. اشنایدر (۱۶) نیز به این موضوع اشاره نموده است. هم چنین لافلین (۱۰) افزایش خطر آسیب یخبندان را بر روی محصولات کشاورزی با افزایش ارتفاع نتیجه گرفته است. بر این اساس مرتفع ترین نقاط قابل کشت سیب، پر خطر ترین و کم ارتفاع ترین مناطق، کم خطر ترین مناطق کاشت سیب محسوب می‌شوند. ولی در مناطقی که دامنه ارتفاعی به یک دره U, V شکل منتهی می‌گردد موضوع فرق می‌کند؛ چرا که این مناطق محل تجمع هوای سرد محسوب شده و سردچال‌هایی را به وجود می‌آورند که در شرایط یخبندان تابشی هوای سرد به صورت یک سیال در آن مناطق تجمع می‌یابد و در صورتیکه محصول در این مناطق کاشته شود شدیداً دچار خسارت می‌شوند (۱۰).

بین مقدار عرض جغرافیایی، میزان شیب و جهت شیب با خطر خسارت یخ بندان ارتباط معنی داری مشاهده نشد. هیچکس (۸) نیز در مطالعه مربوط به تعیین مناطق مناسب کاشت برای سیب زمینی در پرو به این نتیجه رسید که میزان شیب تأثیر معنی داری در افزایش یا کاهش خطر خسارت یخبندان ندارد. تأثیر مقدار عرض جغرافیایی، میزان و جهت شیب بیشتر در مقیاس محلی و ریز مقیاس مهم و قابل ملاحظه می‌باشد. با توجه به مقیاس مورد نظر در این مطالعه که میان مقیاس می‌باشد، تنوع و تغییرات این متغیرها در سطح زیاد بوده و باعث عدم معنی داری روابط گردیده است.

در جدول ۳ ضرایب معادله رگرسیون با چند روش نشان داده شده است. در مدل گام به گام در ابتدا مهمترین متغیر مستقل که اثر آن در معادله بیشترین مقدار است وارد محاسبات می‌شود که در حقیقت کمترین مقدار آماره F را به خود اختصاص داده بود. اولین متغیر میزان دمای حداقل بود که بیشترین تأثیر را در میزان خطر خسارت یخبندان باعث می‌شود. دومین متغیر مستقل موثر طول جغرافیایی بود. در گام‌های بعد نیز به ترتیب اهمیت متغیرهای نرخ افزایش دما، روز شمار، درجه روز، مساحت زیر صفر، نرخ کاهش دما، عرض جغرافیایی،



رگرسیون و تعیین وجود رابطه احتمالی میان این دو نقشه با استفاده از نرم افزار IDRISI محاسبه و در جدول ۶ نشان داده شده است. Y خطر خسارت یخبندان مشاهده شده و X خطر خسارت یخبندان برآورد شده می باشد.

جدول ۳- ضریب همبستگی و RMSE روش های تحلیل رگرسیون

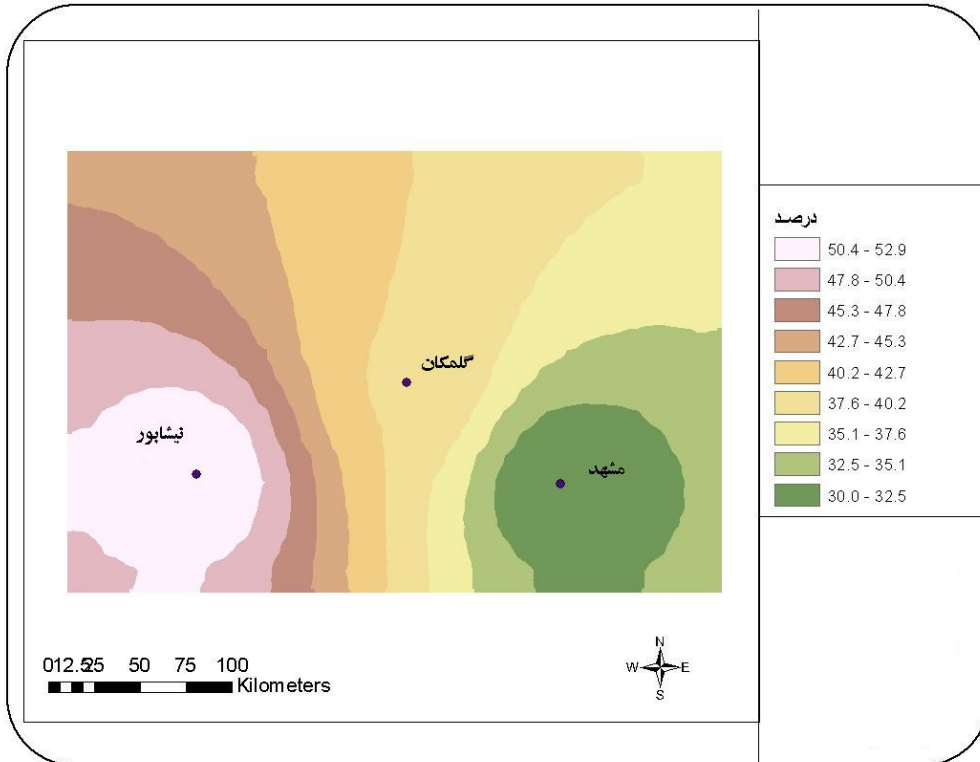
روش تحلیل	ضریب همبستگی	RMSE
جبری	۰/۹۹۳	۱/۶۱۲۳
جلوگرد	۰/۹۹۳	۱/۶۱۲۳
عقب گرد	۰/۹۹۳	۱/۶۱۲۴
گام به گام	۰/۹۹۳	۱/۶۱۲۴

جدول ۴- ضرایب معادله رگرسیون برای روش های مختلف

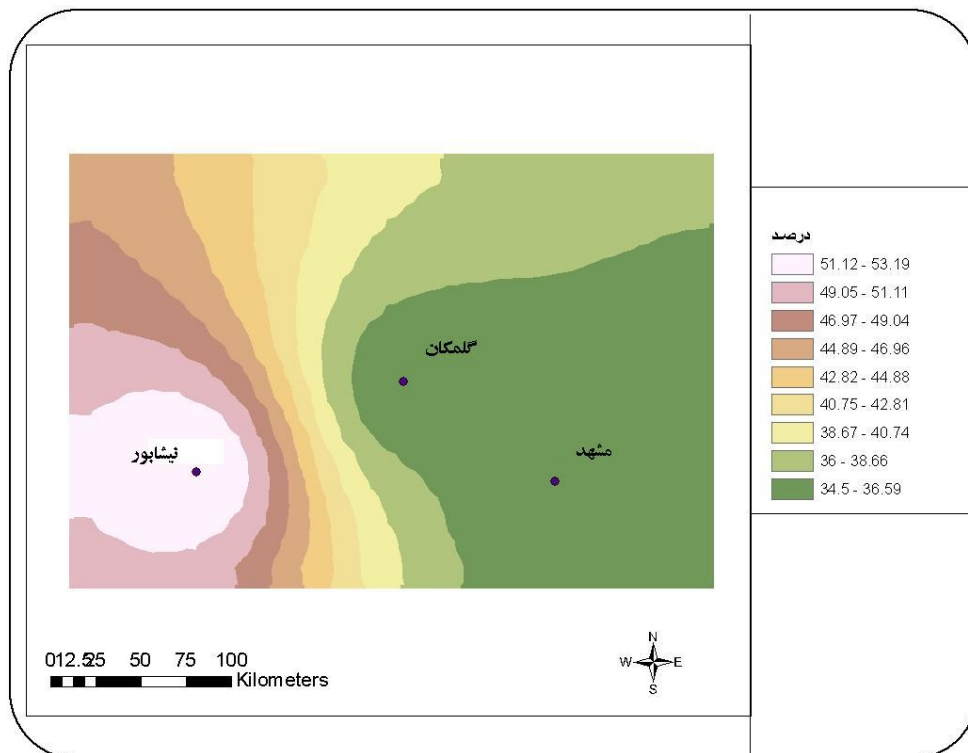
روش متغیر	رگرسیون جبری	رگرسیون عقب گرد (تک حذفی)	رگرسیون عقب گرد (دو حذفی)	گام به گام
مقدار ثابت	۳۳۳/۲۴۵	۳۳۱/۰۳۷	۳۲۵/۵۷۸	۳۲۵/۵۸۷
طول جغرافیایی	-۲/۷۲۲	-۲/۶۹۱	-۲/۶۳۹	-۲/۶۳۹
عرض جغرافیایی	۱/۷۴۴	۱/۷۵۶	۱/۷۹۹	۱/۷۹۹
ارتفاع از سطح دریا	.	.	.	.
جهت شیب	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱
زوایه شیب	-۰/۰۰۵	حذف	حذف	حذف
دمای حداقل	۱/۷۷۳	۱/۷۷۴	۱/۷۷۰	۱/۷۷
نرخ افزایش دما بعد از یخبندان	۱۶/۷۰۵	۱۶/۷۱۵	۱۶/۹۰۵	۱۶/۹۰۵
نرخ کاهش دما قبل از یخبندان	-۸/۸۹۶	-۸/۹۰۵	-۸/۸۲۶	-۸/۸۲۶
مساحت بین منحنی دما و خط صفر درجه	-۰/۷۵۷	-۰/۷۵۷	-۰/۷۴۸	-۰/۷۴۸
طول مدت زیر صفر	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	حذف	حذف
درجه روز	-۰/۱۱۰	-۰/۱۱۰	-۰/۱۱۰	-۰/۱۱۰
روز شمار	-۲/۰۱۹	-۲/۰۲۱	-۲/۰۱۴	-۲/۰۱۴
درجه آزادی معادله	۱۲	۱۱	۱۰	۱۰
ضریب همبستگی	۰/۹۹۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹۳

جدول ۵- مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و نیز انحراف معیار نقشه ها

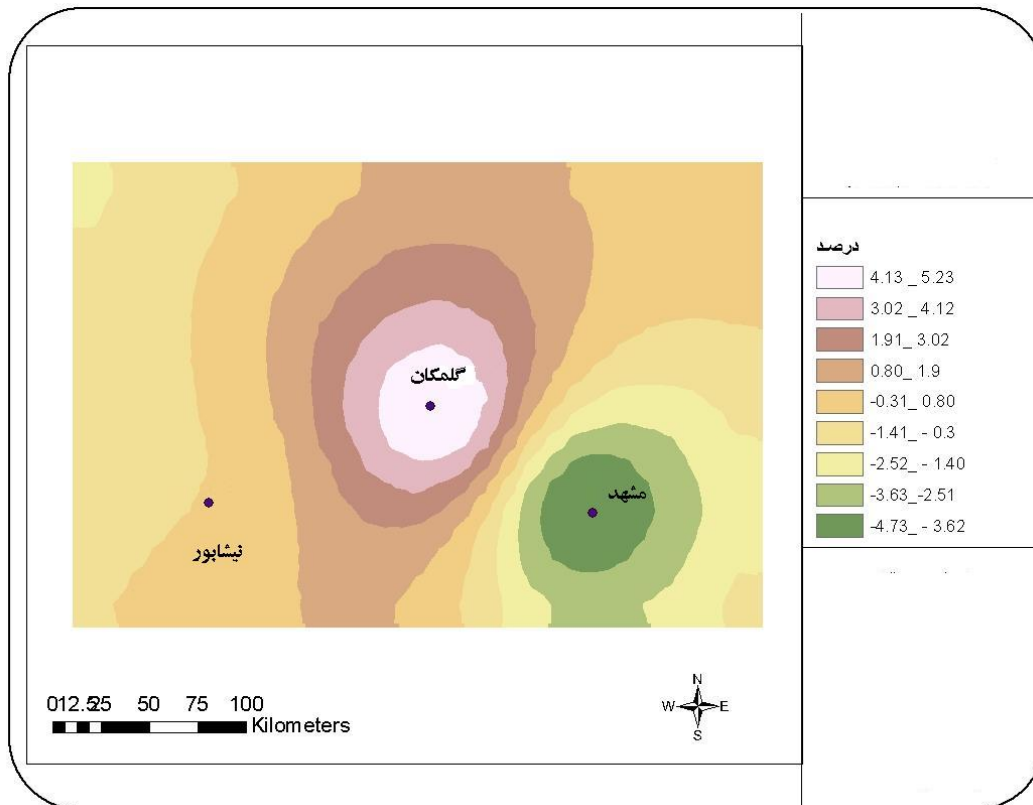
تاریخ	۳۱ فروردین ۸۲		۸ فروردین ۸۲		۱۹ فروردین ۸۲		مقادیر متغیر در نقشه
	مشاهده شده	برآورد رگرسیون چند متغیره	خطای برآورد	مشاهده شده	برآورد رگرسیون چند متغیره	خطای برآورد	
حداقل	۳۰/۰۴	۳۴/۵۲	-۴/۷۳	۶۲/۰۲	۵۹/۶۴	-۳/۵۸	۳۰/۰۴
حداکثر	۵۲/۹۷	۵۳/۱۹	۵/۲۳	۷۶/۹۸	۸۰/۵۳	-۴/۵۴	۵۲/۹۷
میانگین	۴۰/۴۵	۴۰/۸۱	۰/۱۴	۶۸/۹۵	۶۸/۷۱	۰/۲۴	۴۰/۴۵
انحراف معیار	۶/۲۱	۵/۹۵	۱/۸۸	۴/۰۷	۴/۹۵	۱/۶۳	۶/۲۱



شکل ۳- الف- نقشه خطر خسارت واقعی یخبندان ۳۱ فروردین ۸۲



شکل ۳- ب- نقشه خطر خسارت برآورد شده یخبندان ۳۱ فروردین ۸۲



شکل ۳-ج- نقشه خطای برآورد خطر خسارت یخبندان ۳۱ فروردین ۸۲

جدول ۶- روابط رگرسیونی بین نقشه خطر خسارت یخبندان برآورد شده (X) و مشاهده شده (Y)

۱۹ فروردین ۸۴	۸ فروردین ۸۴	۳۱ فروردین ۸۲	
$Y=10.22+0.94X$	$Y=9.80+0.93X$	$Y=9.80+0.94X$	معادله رگرسیون
۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۳	ضریب همبستگی (R)

### نتیجه گیری

در این تحقیق معلوم گردید که ۲ دسته عوامل مختلف در میزان خسارت یخبندان موثر هستند که شامل عوامل اقلیمی و جغرافیایی بودند. برای تعیین نوع رابطه میان متغیرهای موثر و خطر خسارت یخبندان از مدل خطی رگرسیون چند متغیره استفاده شد.

از ۱۲ متغیر موثر بر روی خطر خسارت یخبندان ۶ متغیر اقلیمی و ۶ متغیر جغرافیایی می‌باشند مشاهده می‌شود که دمای حداقل مهمترین و موثرترین متغیر بر روی میزان خسارت و خطر خسارت یخبندان می‌باشد. یخبندانهای شدید با دماهای پایین رخ می‌دهند و باعث خسارتهای بیشتری می‌شوند. دو متغیر زاویه شیب و طول مدت زیر صفر اهمیت چندانی در خطر خسارت یخبندان نداشته و تأثیر آنها غیر معنی دار می‌باشد. با توجه به این جدول به جز متغیر طول جغرافیایی که بر اساس مقدار آماره F دومین متغیر موثر بر خطر

خسارت یخبندان بعد از میزان دمای حداقل می‌باشد، متغیرهای ردیفهای بعدی همگی متغیرهای اقلیمی می‌باشند. بعد از متغیرهای اقلیمی، متغیرهای جغرافیایی مطرح می‌شوند.

به طور کلی متغیرهای درونی یا جغرافیایی که مربوط به ماهیت فیزیکی و طبیعی منطقه می‌باشند تأثیر کمتری نسبت به متغیرهای اقلیمی دارند. به نظر می‌رسد که محصولات کاشت شده در منطقه و در این مطالعه سیب در طول سالهای متمادی توانسته باشند با شرایط طبیعی منطقه سازگاری یافته باشند. یعنی درختان کاشته شده در ارتفاعات، طول و عرض و شیبهای مختلف نقش ثانویه را در تعیین میزان خسارت یخبندان بعد از عوامل اقلیمی داشته باشند. ولی در مقابل وقوع یخبندانهایی که معمول نبوده و محصولات با آنها سازگاری نیافته اند نقش به مراتب زیادتری را در میزان خطر خسارت یخبندان داشته باشند.

## منابع

- ۱- رحیمی م. ۱۳۷۹. بررسی احتمال زمانی وقوع یخبندانهای دیررس بهاره و زودرس پاییزه در البرز مرکزی، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران.
- ۲- رحیمی م. ۱۳۸۴. پیش بینی زمان گلدهی سیب گلدن در گلمکان خراسان، گزارش پژوهشی، سازمان هواشناسی کشور، تهران.
- ۳- علیزاده ا. ۱۳۷۵. بررسی تاریخ وقوع اولین یخبندانهای پاییزه و آخرین یخبندانهای بهاره در استان خراسان، مجله نیوار، پاییز ۷۵.
- ۴- فرج زاده م. ۱۳۸۶. تکنیکهای اقلیم شناسی، انتشارات سمت، تهران، صص ۸۵ الی ۸۹.
- 5- Avisar R., and Y. Mahrer. 1978. Mapping frost-sensitive areas with a three-dimensional local-scale numerical model, Part II. *J. Applied meteorol.* 27:400-413.
- 6- Bootsma, A. 1976. Estimating minimum temperature and climatological freezing risk in hilly terrain. *Agricultural Meteorology* 16: 425-443.
- 7- Cesaraccio C, D. Spano, R.L. Snuder, P. Duce. 2004. Chilling and forcing model to predict bud-burst of Crop and forest species. *Agricultural and Forest Meteorology*.126:1-13.
- 8- Hijmans, R.J. 1998. Estimating Frost Risk in potato Production on the Altiplano Using interpolated Climate Data, CLP Program Report, Peru.
- 9- Kajfez B.L. 1989. Early outomn frost in upper CarolinaSlovenia, *Zbornik Biotechniske Univerze, Yugoslavia*, 53: 19-26.
- 10- Laughlin, J.P., and J.D. Kalma 1990 Frost Risk Mapping for landscape Planning: A methodology, *Theoretical and Applied Climatology*, 42:41-51.
- 11- Madelin M., and G., Beltrando. 2005. Spatial interpolation-based mapping of the spring frost hazard in the Champagne vineyards, *meteorological Application*, 12: 51-56.
- 12- Michalska B. 1986. Suggest D terms of corn sowing in the main yield in Poland dependent on soil temperatures and frost. *Agrotechniczna, Poland*, 106:97-102.
- 13- Ribeiro Antó'nio C., De Melo-Abreu J. Paulo, Snyder Richard L., 2006, Apple orchard frost protection with wind machine operation, *Agricultural and Forest Meteorology*, 141:71-81
- 14- Richards K & Baumgarten M., 2003, Towards Topoclimatic Maps of Frost and frost Risk for Scotland New Zeland, SIRC 2003, NewZeland.
- 15- Snyder, R. L., J. P., De Melo-Abreu. 2005. Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics. Vol. I. United Nations, Food and Agriculture Organization, Rome, 223 pp.
- 16- URL1: [www.aiiri.com](http://www.aiiri.com)
- 17- URL 2: [www.koaj.ir](http://www.koaj.ir)
- 18- WMO. 1963. Protection against frost damage. WMO-No. 133. WMO: Geneva.
- 19- Zinoni F., et al. 2002. Charachterization of Emilia-Romagna region in relation with late frost risk, *Physics and Chemistry of the Earth*, 27: 1091-1101