

# بررسی توزیع مکانی و زمانی یخبندان در ایران و نقش آن در حمل و نقل جاده ای\*

غلامعلی کمالی، عضو هیأت علمی، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران  
مجید حبیبی نوخندان، عضو هیأت علمی، پژوهشکده هواشناسی، مشهد، خراسان  
E-mail:kamali@irimet.net

## چکیده

پدیده یخبندان همه ساله خسارات گسترده‌ای را در زمینه‌های مختلف از جمله حمل و نقل جاده ای ایجاد می‌کند و وسعت خسارات ناشی از وقوع یخبندان در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، آبرسانی، تهیه و توزیع سوخت، انرژی، جهانگردی، فعالیت‌های صنعتی، حمل و نقل، اعم از پل‌سازی و جاده‌سازی و خطرات جاده‌ای، لزوم شناخت و مطالعه دقیق این پدیده را به منظور مقابله با خسارات احتمالی آن ضروری می‌سازد. آگاهی از زمان آغاز و خاتمه یخبندان نقش بسیار مؤثری در مدیریت عملیات راهداری زمستانه، اقدامات ایمنی پلیس راه و آمادگی بیشتر رانندگان دارد. در این تحقیق با هدف مطالعه توزیع زمانی و مکانی پدیده یخبندان و اثرات آن بر ایمنی حمل و نقل جاده ای به تجزیه و تحلیل داده‌های روزانه هواشناسی مربوط به ۱۱۹ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در طول سال‌های ۷۷-۱۳۶۸ پرداخته شد. پس از استخراج اطلاعات مربوط به یخبندان احتمال وقوع هر یک محاسبه شده و با استفاده از مدل رگرسیون به تعیین ارتباط بین متغیرهای مورد مطالعه با ارتفاع و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های برگزیده پرداخته شد و معادلات مربوط به کل کشور محاسبه گردید. پس از محاسبه روابط و برآورد احتمال وقوع در کلیه ایستگاه‌ها، عملیات درون‌یابی و تعیین محدوده‌های مکانی و زمانی آغاز و خاتمه یخبندان با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی کشور انجام شد. نتایج این تحقیق براساس محاسبات انجام شده و معادلات آنها بر پایه تابعی از ارتفاع و عرض جغرافیایی، در بخش نتیجه گیری این مقاله مفصلاً بیان گردیده اند.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل جاده ای، یخبندان، احتمال وقوع، توزیع مکانی و زمانی و درون یابی

## ۱. مقدمه

جاده‌سازی و خطرات جاده‌ای، لزوم شناخت و مطالعه دقیق بر روی این پدیده را برای مقابله با خسارات احتمالی ضروری می‌سازد. با توجه به ساختار جو، نقش ارتفاع در سطح زمین دارای اهمیت ویژه‌ای است و عملاً می‌توان ارتباط منطقی بین ارتفاع و ویژگی‌های یخبندان در هر منطقه را برقرار کرد و به این ترتیب با استفاده از آن پیش‌بینی‌ها، یخبندان و سرماهای بحرانی را ساماندهی کرد.

پدیده یخبندان همه ساله خسارات گسترده‌ای را در زمینه‌های مختلف از جمله حمل و نقل ایجاد می‌کند. این پدیده که به علت کاهش سریع در مقدار انرژی رسیده به سطح منطقه ایجاد می‌شود، در ماه‌های سرد سال دارای فراوانی بیشتری است.

وسعت خسارات ناشی از وقوع یخبندان در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، آبرسانی، تهیه و توزیع سوخت، انرژی، جهانگردی، فعالیت‌های صنعتی، حمل و نقل؛ اعم از پل‌سازی و

اشمیدلین و دیتر معتقدند که با میانگین و انحراف معیار می‌توان روزهای انجماد - ذوب که از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند را بررسی و پیش‌بینی کرد [6]. آنان دریافتند که روزهای انجماد - ذوب با دمای میانگین ماهانه ارتباط دارد و به صورت تابعی از ارتفاع و موقعیت محل تغییر می‌کند. واتکینز به منظور پی بردن به تغییرات بلند مدت فصل یخبندان، با تحلیل دماهای روزانه، شروع و خاتمه یخبندان‌ها را در انگلستان مطالعه کرد. وی با استفاده از مدل رگرسیون خطی به این نتیجه رسید که طول مدت فصل یخبندان در حدود دو روز در هر دهه کاهش می‌یابد که همین کاهش با افزایش دما قابل توجیه است [7].

از میان مطالعات انجام شده محدود در داخل کشور، قدیمی‌ترین کار مربوط به هاشمی [8] است [به نقل از علیزاده ۱۳۷۳]. وی با استفاده از آمار ۶۰ ساله تهران، احتمال وقوع سرما و تاریخ‌های اولین و آخرین یخبندان را در چهار آستانه حرارتی با استفاده از توزیع نرمال بررسی کرده است.

علیزاده با استفاده از آمار دمای حداقل روزانه پانزده ایستگاه هواشناسی استان خراسان به این نتیجه رسیده است که تاریخ‌های اولین وقوع یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره (زودرس پاییزه و دیررس بهاره) از توزیع گامای دو پارامتری تبعیت می‌کند. وی بر همین مبنا آغاز و خاتمه یخبندان‌ها را در سه آستانه پیش‌بینی کرده است [8].

کمالی و همکاران با بررسی دوره آماری (۱۹۹۸ - ۱۹۵۱) ۱۲۰ ایستگاه هواشناسی در ایران تاریخ آغاز یخبندان‌های زودرس پاییز و دیررس بهاره را برای آستانه‌های حرارتی ۱۲ گانه انتخاب و برای توزیع نرمال ۱۴ سطح احتمالاتی محاسبه و منحنی‌های آن را ترسیم کرده‌اند [9].

در زمینه مطالعات سینوپتیکی، براتی مطالعه‌ای بر روی الگوی سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره در ایران انجام داده است. مطابق با نتایج این تحقیق، سیستم‌های پر فشار از عرض‌های بالاتر (سیبری و اروپای مرکزی) در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به یخبندان‌های شدید و فراگیر می‌انجامند و بر عکس جابه‌جایی از عرض‌های پایین‌تر (حوالی دریای مدیترانه)، در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به یخبندان‌های ملایم و نیمه فراگیر منجر می‌گردد [۱۰].

با گذر از موضوع عام و بسیار کلی یخبندان، لزوم بررسی پایگاه‌های مکانی یخبندان در این بخش پیش می‌آید که این پایگاه‌ها، جاده‌ها و محورهای ارتباطی هستند. ریزش برف و

پیش‌بینی هواشناسی رخداد یخبندان، براساس نظم حاکم بر وقوع آن و شرایط طبیعی منطقه انجام می‌پذیرد، در حالی که پیش‌بینی آماری یخبندان بر مبنای این نظریه استوار است که وقوع دمای خاص در یک محل، از روند و تکرار معنی‌داری برخوردار بوده و از قانونمندی خاصی تبعیت می‌کند که با تحلیل داده‌های آن می‌توان رفتارهای جو را از قبل پیش‌بینی کرد [۱]. از آنجا که ارتفاع زیاد جاده‌های کوهستانی و تفاوت‌های اقلیمی در طول مسیرهای ارتباطی مشکلات بیشماری را در ماه‌های سرد سال برای راهداران و کاربران جاده‌ها به بار می‌آورند، به این علت دوره سرد سال و متغیرهای اقلیمی مربوط به آن بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. آگاهی از زمان آغاز و خاتمه یخبندان نقش بسیار مؤثری در مدیریت عملیات راهداری زمستانه، اقدامات ایمنی پلیس راه، آمادگی بیشتر رانندگان و کلیه افرادی که به نوعی با شبکه حمل و نقل در ارتباط هستند، دارد.

## ۲. پیشینه تحقیق

انتخاب متغیرهای اقلیمی مورد استفاده در تحلیل و بررسی، آستانه‌های بحرانی و تعیین محدوده‌های آنها بر نتایج مطالعات و تحقیقات پژوهشگران هواشناسی جاده‌ای در سال‌های اخیر استوار بوده است [۳ و ۲].

براساس نظریه تام و شاو [4] سری‌های زمانی تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان با توزیع نرمال و سری‌های دماهای کمینه و بیشینه مطلق سالانه با یکی از توزیع‌های کرانه‌ای (گمبل - پیرسون تیپ ۳ و ...) برازش می‌شوند. در این تحقیق آنها نشان دادند که تاریخ‌های وقوع یخبندان تصادفی بوده و از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. به همین دلیل استفاده از میانگین و انحراف معیار، شاخص‌های آماری معتبری برای مطالعه به شمار می‌آیند. با در دست داشتن این دو عامل، احتمال وقوع شروع یخبندان در فصل پاییز و خاتمه آن در بهار بعدی قابل محاسبه است.

تام و شاو همچنین نشان دادند که سری‌های زمانی تاریخ‌های آغاز یخبندان در پاییز و خاتمه آن در بهار از یکدیگر مستقل هستند. آنان با استفاده از ضریب همبستگی، رابطه بین ارتفاع و واریانس دما را مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که بین ارتفاع و واریانس دما رابطه معنی‌داری وجود ندارد [4].

روزنبرگ و مایرز وضعیت توپوگرافی محل را بیش از سایر عوامل در وقوع یخبندان مؤثر می‌دانند [5].

## بررسی توزیع مکانی و زمانی یخبندان در ایران و نقش آن در حمل و نقل جاده ای

الف) تعداد تصادفات درهنگام ریزش برف و یخبندان از سطح جاده خشک، ۳ تا ۲۰ برابر بیشتر است (شکل ۱).

ب) رابطه‌ای بین مقدار نمک‌پاشی و تعداد تصادفات وجود ندارد.  
ج) تعداد تصادفات در جاده‌های نمک‌پاشی شده مشابه جاده‌های نمک‌پاشی نشده در طی ماه‌های نوامبر و فوریه، ۵۲٪ و در ماه‌های مارس و آوریل و اکتبر، ۲۲٪ جاده‌های نمک‌پاشی نشده بوده است.

لارسون و برآد یک شاخص تصادف (۱۹۷۷ و ۱۹۷۳) را برای تعدادی از راه‌های برفگیر و یخبندان بررسی کردند که در آن متغیرهای دما، بارش، عمق برف و تغییرات آن، ماه سال، روز هفته و هم چنین ایام تعطیل در نظر گرفته شد. [نقل از مرجع ۱۱]

آنها در سال ۱۹۸۱ گزارشی در ارتباط با همبستگی بین شرایط جوی، شرایط جاده و تصادفات جاده ای در فصل زمستان، ارائه کردند که بر پایه داده‌های آماری سال‌های ۷۷-۱۹۷۳ استوار بود. آنها مطابق آمار سال‌های مورد مطالعه، جاده‌ها را به سه گروه تقسیم کردند: گروه A؛ جاده‌هایی که در زمستان نمک‌پاشی شده‌اند، گروه B؛ جاده‌هایی که در بهار و پاییز نمک‌پاشی شده‌اند و گروه C؛ جاده‌هایی که نمک‌پاشی نشده‌اند.

جاده‌های در معرض یخبندان وقتی که نمک‌پاشی شده باشند دو برابر دیگر جاده‌ها تصادف دارند که احتمالاً دلیل آن این است که راننده‌ها متوجه یخبندان جاده‌ای که نمک‌پاشی شده است نمی‌شوند و سرعت خود را با شرایط یخبندان تنظیم نمی‌کنند. در مجموع کل تصادفات در ماه‌های مارس و آوریل از ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و سپتامبر کمتر است [۱۱].

یخبندان در سطح جاده‌ها نقش مؤثری در کاهش اصطکاک بین سطح جاده و تایر اتومبیل‌ها دارد. در مناطقی که این پدیده از فراوانی بیشتری برخوردار است مشکل هنگامی شدت می‌یابد که رانندگان از رانندگی در چنین شرایطی آگاهی نداشته باشند.

روزهای زمستانی با دمای زیر صفر درجه به همراه بارش برف مشکلاتی چون کاهش سرعت متوسط خودروها، افزایش خطر تصادفات و افزایش هزینه مدیریت و نگهداری راه‌ها را به دنبال دارد. علاوه بر برف‌رویی، مصرف مقدار قابل توجهی نمک به منظور بازگشایی جاده‌ها بعد از ریزش برف نیز می‌تواند مفید واقع شود.

تعداد تصادفات رابطه مستقیمی با نسبت بارش به درجه حرارت دارد. لارسون و براد معتقد بودند که مقایسه تصادفات به هنگام ریزش باران با زمانی که بارندگی نباشد وابسته به دمای هوا است به طوری که حداکثر تعداد تصادفات هنگامی رخ می‌دهد که بارندگی با دمای صفر درجه سانتی‌گراد و یا کمتر همراه است. تعداد تصادفات در جاده‌های یخبندان و برفی همزمان با افزایش دما افزایش می‌یابد. این تعداد در طی شب دو برابر بیشتر از ساعات روز است. اما در شرایط ریزش برف و یخبندان (بدون شرایط ذوب) تفاوتی بین تعداد آن در هنگام شب و روز وجود ندارد [۱۱].

آندرسون به بررسی اثرات کاربرد نمک بر تعداد سوانح جاده‌ای بین سال‌های ۷۴-۱۹۷۰ که توسط پلیس گزارش شده بود، پرداخت و نتایج زیر را به دست آورد [۱۱]:



شکل ۱. ریزش برف سنگین، دید کم، یخبندان و شن‌ریزی

سطح جاده در گردنه اسد آباد همدان (کیلومتر ۴۵ جاده همدان به کرمانشاه) [۳]

## ۲-۱-۱ خاک‌های حساس در برابر یخبندان

خاک‌های حساس در برابر یخبندان عبارتند از: ماسه خیلی ریز دانه، لای، و خاک رس با دانه خمیری کمتر از ۱۲ میکرون [۱۴]. حفره‌های این نوع خاکها از یک سو به اندازه کافی کوچک هستند تا خاصیت مویینگی در آنها برقرار شود و از سوی دیگر به اندازه‌ای ریز دانه نیستند که به علت کوچک بودن حفره‌های آنها غیر قابل نفوذ باشند.

در جدول (۱) اندازه حساسیت خاک‌ها در برابر یخبندان نشان داده شده است. همان گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، شن‌ها و ماسه‌های تمیز در برابر یخبندان حساس نیستند. این نوع خاک‌ها معمولاً بیشترین بخش مقاومت خود را در هنگام ذوب شدن یخ‌ها نیز حفظ می‌کنند. از طرف دیگر لای‌ها از خطرناک‌ترین مصالح از نقطه نظر تورم در اثر یخبندان هستند. این نوع خاک‌ها در موقع ذوب شدن یخ‌ها مقاومت خود را به مقدار قابل توجهی از دست می‌دهند.

### جدول ۱. درجه حساسیت خاکها

#### در برابر یخبندان [۱۴]

رده بندی خاک		میزان حساسیت
یونیفاید (متحد)	اشتو	
GW, GP, SW, SP	A-1, A-3	غیر حساس
GM, GC	A-2	کم تا متوسط
SM, SC	A-2	کم تا زیاد
CH, OH	A-7	متوسط
CL, OL	A-6	متوسط تا زیاد
ML, MH	A-4, A-5	متوسط تا خیلی زیاد

مطالعات فراوانی که در این زمینه صورت پذیرفته اند حکایت از این مسئله دارند که تمام خاک‌های غیر آلی که بیش از ۳٪، دانه‌های به قطر کوچکتر از ۰/۰۲ میلی‌متر دارند کم و بیش دو برابر به یخبندان حساسند. بر اساس این مطالعات خاک‌های حساس در برابر یخبندان به ۴ گروه تقسیم می‌شوند که به F1, F2, F3, F4 موسومند. در این رده بندی خاک F1 کمترین و خاک F4 بیشترین حساسیت را داراست. مشخصات این خاک‌ها در جدول ۲ آورده شده که توسط گروه مهندسین ارایه شده اند [۱۴].

در اوایل دهه ۹۰ اداره ملی حمل و نقل سوئد شروع به عملیات راهداری زمستانه با تکیه بر مشاهدات شرایط جوی و وضعیت جاده‌ای نمود و با بهره‌گیری از مشاهدات دقیق و اطلاعات به دست آمده، نوع عملیات راهداری در شرایط مختلف جاده‌ای را تعیین کرد. از این زمان ثبت شرایط جاده (خشک، تر و یخبندان) به هنگام رخداد تصادفات، در فورم های اداره پلیس آغاز شد. گردآوری اطلاعات مربوط به ترافیک ساعتی، روزانه و ماهانه نیز در این امر نقش مؤثری داشت زیرا که در روزهای تعطیل شرایط جوی و جاده‌ای نامساعد، بیشترین اثر خود را بر ترافیک دارند [۱۱].

سرویس اطلاعات جوی - جاده‌ای کشور فنلاند سه وضعیت متفاوت را برای جاده‌ها تعریف کرده است [۱۲]:

- شرایط عادی
- شرایط نامناسب
- شرایط خطرناک

۱- شرایط عادی: بیانگر زمانی هستند که ریزش برف در سطح جاده‌ها به شکل متمادی صورت نگیرد.

۲- شرایط نامناسب: ریزش برف مداوم و سنگین در یک مدت طولانی و به تبع آن افت شدید دما، کاهش دید و لغزندگی در سطح جاده، باعث ایجاد شرایط نامناسب می‌شوند.

۳- شرایط خطرناک: شرایطی هستند که باران‌های یخ‌زده سبب لغزندگی سطح جاده می‌شوند و نمی‌توان با عملیات راهداری از آنها محافظت کرد یا زمانی که نتوان برف سنگین سطح جاده را برف‌روبی نمود.

## ۲-۱-۲ یخبندان و اثرات آن بر روسازی جاده‌ها

اصولاً برای ایجاد یخبندان‌های سطح جاده‌ها باید سه عامل با یکدیگر عمل کنند. در صورت نبود حتی یک عامل پدیده یخبندان اتفاق نمی‌افتد [۱۳]. این سه عامل عبارتند از:

- هوای سرد زیر صفر درجه سانتی‌گراد،
- خاک نسبتاً ریز دانه که دارای خاصیت مویینگی زیادی باشد (خاک‌های حساس یا خاک‌هایی که دارای بیش از ۳٪ دانه‌های با قطر کوچکتر از ۰/۰۲ میلی‌متر هستند)،
- منابع آب زیرزمینی در عمق حداکثر ۳ متر.

جدول ۲. گروه بندی خاکها از نظر حساسیت

در برابر یخبندان [۱۴]

گروه	مشخصات خاک
F1	خاکهای شنی حاوی ۳ تا ۲۰٪ مواد ریزتر از ۰/۰۲ میلیمتر
F2	خاکهای ماسه‌ای حاوی ۳ تا ۱۵٪ مواد ریزتر از ۰/۰۲ میلیمتر
F3	خاکهای شنی حاوی بیش از ۲۰٪ مواد ریزتر از ۰/۰۲ میلیمتر خاکهای ماسه‌ای حاوی بیش از ۱۵٪ مواد ریزتر از ۰/۰۲ میلیمتر خاکهای رسی با دانه خمیری بیش از ۱۲
F4	لای و لای‌های ماسه دار ماسه ریز دانه لای‌دار حاوی بیش از ۱۵٪ مواد ریزتر از ۰/۰۲ میلیمتر میلیمتر خاکهای رسی با دانه خمیری کمتر از ۱۲

۳. مواد و روش ها

در این تحقیق به منظور بررسی شرایط آب و هوایی مؤثر بر ایمنی حمل و نقل و تعیین آستانه‌های بحرانی، به تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی در گستره کشور پرداخته شد.

آمار و اطلاعات هواشناسی مورد استفاده در تحقیق حاضر از بخش خدمات ماشینی سازمان هواشناسی کشور تهیه شده‌اند. مقیاس زمانی داده‌ها شامل داده‌های ساعتی روزانه مربوط به دیدبانی‌های ۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱ GMT در طول سال‌های ۷۷-۱۳۶۸ مربوط به ۱۱۹ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک است. انتخاب دوره آماری بر اساس آزمون کافی بودن داده‌ها (روش ماکوس)  $Y = 2 + (R \times \log_{10} T \times \frac{4}{3})$  بوده است. (در این رابطه R نسبت مقدار متغیر در دوره بازگشت ۱۰۰ سال به مقدار آن در دوره بازگشت دو سال و T مقدار Tstudent در سطح اعتماد ۹۰ درصد به درجه آزادی ۶ - y است که y حداقل قابل قبول تعداد داده‌ها برای تجزیه و تحلیل است).

بر اساس مطالعات اولیه انجام شده در غالب ایستگاه‌ها، قبل از مهر ماه یخبندان مشاهده می‌شود، از این رو اول شهریور ماه به عنوان مبنا (روز اول) در نظر گرفته شد و مابقی روزها به ترتیب شمارش شدند. برای مثال اگر در یک ایستگاه اولین دمای صفر درجه سانتی‌گراد در روز ۷۵ رخ داده باشد، معادل ۱۴ آبان ماه است و به همین ترتیب اگر آخرین دمای صفر درجه سانتی‌گراد مشاهده شده در روز ۲۵۵ رخ داده باشد، برابر ۱۳ اردیبهشت ماه خواهد بود.

پس از استخراج اطلاعات مربوط به یخبندان (آغاز و خاتمه دمای صفر درجه سطح خاک و هوا) و آغاز و خاتمه ریزش برف برای کلیه ایستگاه‌ها، به تعیین احتمال وقوع آنها اقدام شد. برای این

منظور از روش تعیین احتمال ویبول  $(P = \frac{m}{n+1} \times 100)$  استفاده گردید (در این رابطه m شماره ردیف و n تعداد داده‌ها است). در این رابطه داده‌ها به صورت صعودی مرتب می‌شوند سپس به آنها شماره ردیف اختصاص می‌یابد و در نهایت احتمال وقوع محاسبه می‌شود (لازم به ذکر است که در این مرحله احتمال ۷۵٪ و بیشتر مد نظر بوده است). پس از تعیین احتمال، داده‌های مورد مطالعه به صورت ماهیانه تقسیم‌بندی شدند تا توزیع زمانی هر یک تعیین گردد. لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر به منظور تسهیل کاربرد نتایج در مراکز تحقیقاتی، استخراج داده‌ها بر اساس ماه‌های شمسی انجام گرفته است. در تحقیق حاضر از مدل رگرسیون برای تعیین ارتباط معنی‌داری بین متغیرهای مورد مطالعه با ارتفاع و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های برگزیده استفاده و روابط مربوط به کل کشور محاسبه شدند (جدول ۳).

پس از محاسبه روابط و معادلات متغیرها به صورت تابعی از ارتفاع و عرض جغرافیایی (با احتمال ۷۵٪) در کلیه ایستگاه‌ها، عملیات درون‌یابی و ترسیم منحنی‌ها و تعیین محدوده‌های هر یک از شاخص‌ها با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی  $\frac{1}{1000000}$  کشور در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد.

شایان ذکر است که در این مطالعه از روش‌های کریجینگ<sup>۲</sup> و IDW که متداول‌ترین و معتبرترین روش‌ها برای درون‌یابی متغیرهای اقلیمی هستند، استفاده گردید. پس از تعیین روابط بین متغیرها به تعیین توزیع مکانی و زمانی آغاز و خاتمه هر یک از پارامترها در گستره کشور پرداخته شد و نتایج در قالب شکل‌های ۴ الی ۶ ارایه شده‌اند.

۴. نتایج

از آن جا که آگاهی و شناخت در مورد زمان آغاز و خاتمه وقوع یخبندان در سطح جاده‌های کشور از اهمیت بسیاری برخوردار است پس از استخراج و تحلیل داده‌های مربوط به یخبندان (هوا و سطح خاک) با احتمال ۷۵٪ شدند تاریخ‌های آغاز و خاتمه آنها برآورد شد. سپس روابط و معادلات آنها به صورت تابعی از ارتفاع و عرض جغرافیایی محاسبه شدند.

بر اساس جدول ۳ می‌توان مطالب زیر را نتیجه گرفت:

- زمان آغاز یخبندان: به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۴ روز و به ازای هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۴ روز زودتر اتفاق می‌افتد.

#### ۴-۲ خاتمه یخبندان

مطابق شکل ۳ خاتمه یخبندان در اکثر جاده های مناطق کوهستانی کشور (زاگرس، البرز، شمال غرب، کوه های کرمان و ارتفاعات شمال و جنوب خراسان) در فروردین ماه اتفاق می افتد. در کوهپایه های البرز، زاگرس شامل استان های اصفهان، تهران، سمنان، مرکز خراسان، کرمان و بخش هایی از استان فارس، کهکیلویه و بویراحمد و ایلام زمان خاتمه یخبندان، اسفندماه است. در جنوب خراسان، جنوب ایلام، شمال خوزستان، سواحل دریای خزر، جنوب فارس و کرمان و شمال سیستان و بلوچستان، بهمن ماه زمان خاتمه یخبندان است. در چاله لوت، سواحل خلیج فارس و دریای عمان، در دی ماه آخرین یخبندانها را تجربه می کنند که البته در این نواحی به ندرت این شرایط اتفاق می افتد و بین زمان آغاز و خاتمه یخبندان معمولاً فاصله زمانی بسیار اندک است. بر این اساس آخرین یخبندان های بهاره معمولاً باعث غافلگیر شدن رانندگان و راهداران می شوند و معمولاً خطر آفرین اند.

#### ۴-۳ آغاز یخبندان سطح خاک

شکل ۴ گویای این واقعیت است که در اکثر مناطق کوهستانی کشور شهریور ماه زمان آغاز یخبندان سطح خاک است. البته مطابق معمول این زمان در قله مرتفع دماوند و سهند و سبلان، مرداد ماه است. زمان آغاز یخبندان سطح خاک در مرکز و شمال خراسان، سمنان، تهران، قم، قزوین، دشت مغان، استان های غربی کشور، فارس، کرمان، یزد، اصفهان مهرماه، و در حواشی مناطق بیابانی و عرض های پایین تر هم چنین سواحل دریای خزر، آبان ماه بوده و در نواحی ساحلی جنوب کشور، آذرماه آغاز یخبندان سطح خاک است. به هر طریق یک نکته مهم وجود دارد و آن این که زمان شروع یخبندان سطح زمین، نسبت به یخبندان هوا، زودتر فرا می رسد.

به علت این که رابطه بین خاتمه یخبندان سطح خاک با ارتفاع و عرض جغرافیایی از دقت زیادی برخوردار نبود، لذا از تجزیه و تحلیل آن چشم پوشی شد.

بر اساس نقشه های فوق شبکه پیچیده ای از راهها در مناطق کوهستانی غرب و شمال غرب کشور توسعه یافته اند، از این رو آگاهی از زمان یخبندان نقش بسیار مهمی در عملیات راهداری زمستانه خواهد داشت.

- خاتمه یخبندان: به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۳۰ روز و به ازای هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۵ روز به تعویق می افتد.

- آغاز یخبندان سطح خاک: به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۳۷ روز و به ازای هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۵ روز زودتر روی می دهد.

- خاتمه یخبندان سطح خاک: به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۲۸ روز و به ازای هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۴ روز به تعویق می افتد.

- تعداد روزهای یخبندان: به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۶۰ روز و به ازای هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۸ روز به تعداد روزها افزوده می شود.

- تعداد روزهای یخبندان سطح خاک: به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۷۳ روز و به ازای هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۱۰ روز به تعداد روزها افزوده می شود.

- طول دوره یخبندان: به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۷۲ روز و به ازای هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۹ روز به تعداد روزها افزوده می شود.

- طول دوره یخبندان سطح خاک: به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۶۵ روز و به ازای هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۹ روز به تعداد روزها افزوده می شود.

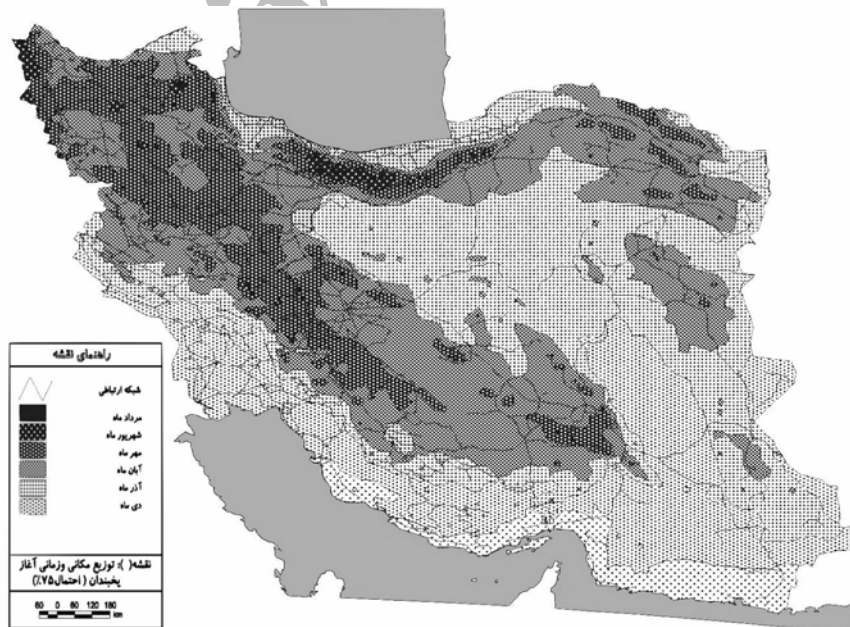
#### ۴-۱ آغاز یخبندان

همان طور که در شکل ۲ ملاحظه می شود در نواحی کوهستانی کشور از جمله البرز، زاگرس، ارتفاعات آذربایجان، شمال خراسان، یخبندان از ماههای شهریور و مهرماه آغاز می شود. البته در نواحی بسیار مرتفعی چون قله دماوند، سهند و سبلان، آغاز یخبندان بسیار زودتر و در مرداد ماه روی می دهد. در ارتفاعات کپه داغ و بینالود خراسان شمالی و حتی در ارتفاعات بزمان استان سیستان و بلوچستان نیز زمان آغاز یخبندان مهرماه است اما در کوهپایه های البرز و زاگرس زمان آغاز و پایان یخبندان آبان و اسفند ماه است. در سواحل شمالی کشور و مناطق مرکزی و شرقی در آذرماه و در مناطق جنوبی و جنوب شرقی و غربی کشور در بهمن ماه آن هم به ندرت شاهد بروز یخبندان هستیم. بر این اساس در پهنه گسترده ای از شبکه راههای کشور که از مناطق صعب العبور و کوهستانی عبور می کنند می باید راهداریها را در مهرماه تجهیز و آماده خدمات رسانی کرد.

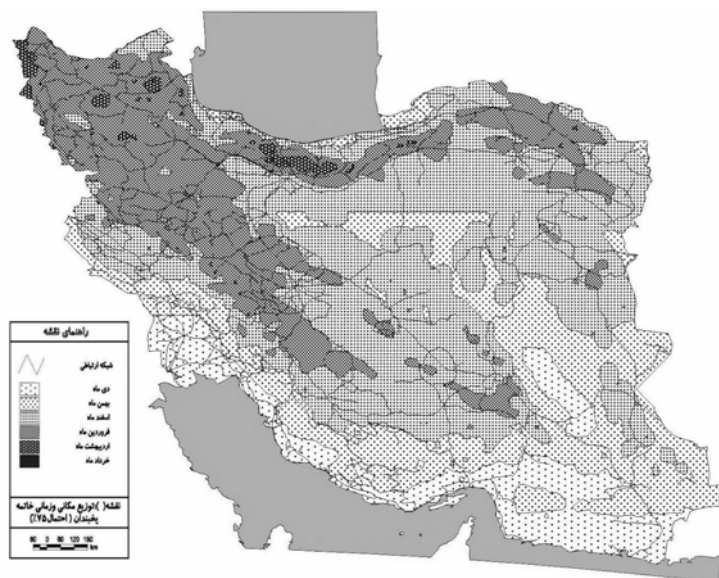
جدول ۳. روابط بین متغیر های اقلیمی با ارتفاع و عرض جغرافیایی در سطح کشور

ضریب همبستگی	معادلات	پارامتر های برآورد شده
٪۶۷	ارتفاع * ۰/۰۴۳۸ - عرض جغرافیایی * ۴/۱۳ - ۲۷۴ = *y	آغاز یخبندان
٪۷۶	ارتفاع * ۰/۰۲۹۵ + عرض جغرافیایی * ۴/۴۵ - ۱۷ = y	خاتمه یخبندان
٪۶۹	ارتفاع * ۰/۰۳۷۱ - عرض جغرافیایی * ۴/۹۲ - ۲۶۴ = y	آغاز یخبندان سطح خاک
٪۶۱	ارتفاع * ۰/۰۲۷۸ + عرض جغرافیایی * ۳/۷۵ + ۲۲ = y	خاتمه یخبندان سطح خاک
٪۸۳	ارتفاع * ۰/۰۵۹۷ + عرض جغرافیایی * ۸/۴۴ - ۳۰۱ = y	تعداد روزهای یخبندان
٪۸۶	ارتفاع * ۰/۰۷۳۴ + عرض جغرافیایی * ۹/۹۹ - ۳۳۶ = y	تعداد روزهای یخبندان سطح خاک
٪۷۴	ارتفاع * ۰/۰۷۲۸ + عرض جغرافیایی * ۹/۱۳ - ۳۰۳ = y	طول دوره یخبندان
٪۷۰	ارتفاع * ۰/۰۶۴۶ + عرض جغرافیایی * ۸/۵۸ - ۲۳۹ = y	طول دوره یخبندان سطح خاک

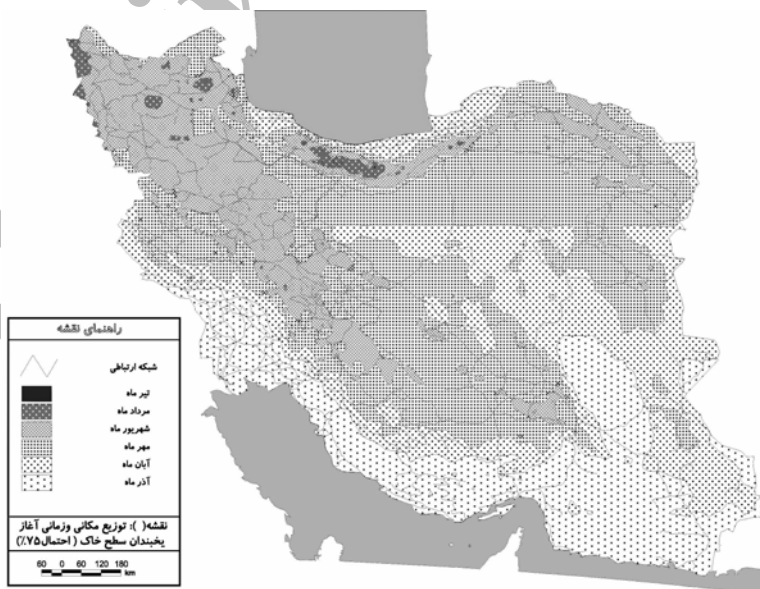
\*Y: معرف هر یک از متغیر های اقلیمی در سطح احتمال مورد نظر است.



شکل ۲. توزیع مکانی و زمانی آغاز یخبندان در کشور



شکل ۳. توزیع مکانی و زمانی خاتمه یخبندان در کشور



شکل ۴. توزیع مکانی و زمانی آغاز یخبندان سطح خاک در کشور



## ۵. مراجع

- ۸- علیزاده ، امین [و همکاران] (۱۳۷۹) " هوا و اقلیم شناسی " مشهد ، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۹- کمالی، غلامعلی [همکاران] (۱۳۸۰) "بررسی سرماهای زیانبخش بر کشاورزی ایران و تهیه اطلس اقلیمی آن" ، تهران، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو.
- ۱۰- براتی، غلامرضا (۱۳۷۵) "مطالعه الگوهای سینوپتیکی مؤثر بر یخبندان های بهاره ایران" رساله دکتری اقلیم شناسی، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- 11- Wallaman, C., Wretling, P. and Oberg, G. (1999). "Effects of winter road maintenance", Finland Road Administration, 86-88.
- 12- Nygard, M. and Helin, J. (2002). "Road weather Information Services in Finland", SIRWEC Conference, Japan.
- ۱۳- ادیبی، هادی و بهبهانی، حمید (۱۳۷۳) "پهنه بندی ایران از نقطه نظر عوامل مؤثر آب و هوایی بر روسازی راه" پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- ۱۴- طباطبایی، امیرمحمد (۱۳۷۷) "روسازی راه و فرودگاه" چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۵- عامری، محمود [و همکاران] (۱۳۷۲) "علل خرابی روسازی راه در شیب های تند"، تهران، دفتر مطالعات و تحقیقات وزارت راه و ترابری.
- 1- Bettencourt, M.L. (1968) "Frost in Portugal: Agroclimatological methods", Paris, UNESCO, pp 293-295.
- ۲- حبیبی نوخندان، مجید (۱۳۷۸) "مطالعه پدیده های اقلیمی مؤثر بر تردد و تصادفات جاده های کوهستانی و ارائه راهکار های اجرایی مؤثر (مطالعه موردی جاده هراز)" پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، به راهنمایی بهلول علیجانی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران.
- ۳- حبیبی نوخندان، مجید (۱۳۸۳) "آب و هوا و ایمنی جاده های کوهستانی ایران" رساله دکتری اقلیم شناسی، به راهنمایی قاسم عزیزی، تهران، دانشگاه تهران.
- 4- Thom, H.C.S and Show, R.H. (1958). Climatological analysis of freeze data for Iowa, Monthly. Weather Review, 8 b (7). 251-257.
- 5- Rosenberg, N.J. and Myers, R.E. (1962). The Nature of Growing season Frost, Mon, wea, Rev 10471-479.
- 6- Schmidlin, T.W. and Dethier, B.C (1986) "A statistical analysis of Freeze hazard in New York State, Physical Geography, 7(3) 246-257.
- 7- Watkins, S.C. (1991) "The annual period of freezing temperatures in central England 1850-1959 International Journal of Climatology. 11(8) 889-896.

## پانویس ها:

- 1- Weibull Probability
2. Kriging