

تحلیل فضایی و پهنه‌بندی شدت درجه خطرپذیری رخدادهای یخبندان در شبکه جاده‌های کشور با استفاده از GIS

محمد باقر بهیار^{*}، الهام پیشداد

۱- استادیار پژوهشکده هواشناسی

۲- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، همکار پژوهشکده هواشناسی و علوم جو

(دریافت: ۹۴/۱۲/۱۹، پذیرش: ۹۵/۰۹/۰۹)

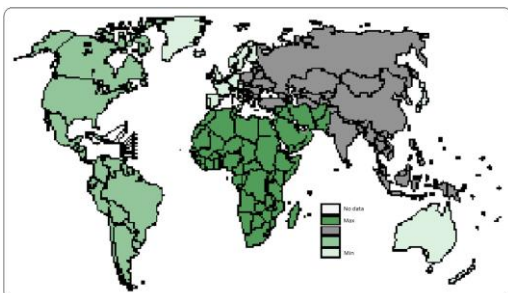
چکیده

در این تحقیق تحلیل فضایی و نیز پهنه‌بندی شدت درجه خطرپذیری رخدادهای یخبندان در شبکه جاده‌های کشور با استفاده از داده‌های ماهانه ۹۵ ایستگاه همدید در یک دوره آماری ۱۸ ساله (۲۰۰۷-۱۹۹۰) و آستانه‌های بحران یخبندان (آغاز، پایان، طول دوره و فراوانی رخداد) و نیز روش درون‌یابی (Spline with barriers) در محیط Arc GIS مورد ارزیابی قرار گرفته و در پایان بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی کشور از منظر رخداد و درجه خطرپذیری یخبندان طبقه‌بندی گردیده است. با توجه به نتایج، زمان آغاز و خاتمه یخبندان در کشور به ترتیب در ناحیه کوهستانی: ماه‌های شهریور و اردیبهشت، در ناحیه نیمه‌خشک: آبان و اسفند، در ناحیه خشک: آذر و بهمن، در ناحیه خزری: آذر و اسفند، در ناحیه ساحلی جنوبی: دی و بهمن و در نزدیکی سواحل جنوب محدود به دی ماه است. بالاترین سهم توزیع مکانی شدت خطرپذیری رخدادهای یخبندان نیز در نواحی کوهستانی کشور و بیشترین فراوانی توزیع زمانی رخداد یخبندان در ماه ژانویه است.

کلمات کلیدی: تحلیل فضایی، پهنه‌بندی اقلیمی، مخاطرات محیطی یخبندان، روش درون‌یابی ArcGIS, Spline with barriers

مقدمه

و برابر با ۹۰٪ از کل مرگ و میرهای ناشی از تصادفات جهانی می‌باشد. در نتیجه بدون اتخاذ فعالیت‌های مناسب تا سال ۲۰۲۰ سوانح جاده‌ای سومین عامل مرگ و میر در جهان خواهد بود (مهریاری لیلی و همکاران، ۱۳۸۵)



شکل ۱- نرخ تلفات تصادفات جاده‌ای از هر ۱۰۰,۰۰۰ هزار نفر جمعیت در مناطق تحت بررسی سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۲)

چگونگی آگاهی از تغییرات جوی در سیستم حمل و نقل جاده‌ای از جمله راهکارهای پیشگیری در این زمینه است. در سال‌های اخیر مسائلی مانند پیش‌بینی رخداد پدیده‌های اقلیمی

صدمات ترافیک جاده‌ای یک موضوع مهم بهداشت عمومی است که هزینه‌های آن در کشورهای کم درآمد به طور متوسط بین ۱٪ تا ۲٪ تولید ناخالص ملی آن‌ها و خیلی بیش‌تر از کشورهای توسعه یافته می‌باشد. با این حال تصادفات جاده‌ای قابل پیشگیری‌اند. بر این اساس سازمان بهداشت جهانی^۱ به اتفاق بانک جهانی^۲، گزارشی را با عنوان "پیشگیری از سوانح جاده‌ای"^۳ تهیه کرده است که هدف آن ارائه یک دید جامع در شناخت عوامل مخاطره‌آمیز در حمل و نقل جاده‌ای و ارائه راهکارهایی مناسب است. برطبق این گزارش بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ مرگ و میر ناشی از سوانح جاده‌ای در کشورهای کم درآمد حدود ۳۰٪ کاهش و در کشورهای کم درآمد یا متوسط افزایش خواهد یافت. با توجه به شکل (۱) در مناطق تحت بررسی سازمان بهداشت جهانی نسبت نرخ تلفات تصادفات جاده‌ای در این کشورها، بیشتر از کشورهای کم درآمد

1 . World Health Organization
2 .The World Bank
3 . the prevention of the road accidents injuries

به منظور کاهش سوانح جاده‌ای، جهت ایمنی بیشتر، صرفه جویی اقتصادی و استفاده بهینه از جاده‌ها اهمیت بسیاری یافته است. شعار بخش حمل و نقل در سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴، شبکه‌های حمل و نقل ایمن، روان، اقتصادی و سازگار با محیط زیست می‌باشد (فاریابی، ۱۳۸۳). بنابراین لزوم شناخت و مطالعه دقیق بر روی پدیده‌های اقلیمی جهت مقابله با خسارات احتمالی ضروری است.

به طور کلی عوامل اصلی مؤثر بر تصادفات جاده‌ای را می‌توان به چهار گروه: جاده، وسایل نقلیه، عوامل انسانی و شرایط محیطی تقسیم‌بندی نمود که این عوامل به صورت زنجیره‌وار به یکدیگر متصل و با تأثیرات متقابل بر یکدیگر در رخداد حوادث ترافیکی مؤثر می‌باشند (باقری خلیلی، ۱۳۹۰). در عامل شرایط جوی، رخداد پدیده یخبندان از جمله پدیده‌های اقلیمی بسیار مؤثر بر تصادفات جاده‌ای است (کمالی و حبیبی نوخندان، ۱۳۸۴). پیش‌بینی آماری پدیده یخبندان بر مبنای رخداد 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 نمود (Bettencourt, 1968). البته رخداد یخبندان تنها تحت اثر دمای صفر درجه نخواهد بود بلکه رطوبت نسبی (ابری بودن هوا) و عوامل دیگری نیز بر آن مؤثرند که می‌بایست با توجه به شرایط جاده‌ها (وجود ایستگاه جوی- جاده‌ای) اصلاح شود. با توجه به ساختار جو نیز نقش ارتفاع در سطح زمین دارای اهمیت ویژه‌ای است زیرا ارتباط منطقی بین ارتفاع و ویژگی‌های یخبندان در هر منطقه برقرار است. از آنجا که ارتفاع زیاد جاده‌های کوهستانی و تفاوت‌های اقلیمی در طول مسیرهای ارتباطی مشکلات بیشماری را در ماه‌های سرد سال به بار می‌آورند، بنابراین آگاهی در مورد زمان آغاز و خاتمه رخداد یخبندان در سطح جاده‌های کشور نیز به منظور پیشگیری، از اهمیت زیادی برخوردار است و مستلزم بکارگیری شاخص‌های مشخصی در تحلیل این پدیده است (هژبرپور و علیجانی، ۱۳۸۶).

در خصوص بررسی پدیده‌های اقلیمی مؤثر از جمله رخداد یخبندان در بروز تصادفات جاده‌ای کشور مطالعات گوناگون در داخل و خارج انجام گرفته است. یکی از اولین مطالعات داخلی، تحقیقات علیجانی و حبیبی نوخندان (۱۳۷۸) در محور هراز است که مشخص نموده‌اند تصادفات ناشی از رخداد یخبندان و ریزش برف این محور در ماه مارس (اسفند ماه) ۲۳۷ مورد معادل ۲۶٪، در ماه دسامبر (آذر ماه) با ۲۰۶ مورد معادل ۲۲٪ و در ماه ژانویه (دی ماه) با ۱۷۰ مورد، معادل ۱۸٪ از مجموع ۹۳۱ مورد بوده‌اند. کرمی و فرج‌زاده نیز (۱۳۸۴) با مطالعه محور فیروزکوه-ساری، بیشترین احتمال خطر تصادف ناشی از یخبندان را در کیلومتر ۴۰ این محور دانسته که با افزایش تعداد روزهای برفی و یخبندان در سطح اطمینان ۹۵٪ افزایش معناداری در فراوانی تصادفات، شدت خسارات، تعداد کشته‌ها و مصدومان در این محور دیده می‌شود. کمالی و حبیبی نوخندان نیز (۱۳۸۴) به بررسی توزیع مکانی و زمانی یخبندان در ایران با استفاده از داده‌های ۱۱۹ ایستگاه همدید پرداخته‌اند. ایشان پس از محاسبه احتمال رخداد، توسط مدل‌های رگرسیونی، ارتباط معنی‌داری بین متغیرهای مورد مطالعه با ارتفاع و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی یافته‌اند و معادلات مربوطه را به کل کشور تعمیم داده‌اند. محمدی و محمودی (۱۳۸۵) با مطالعه آستانه‌های بحرانی در ماه‌های سرد سال در جاده سنندج- همدان، مشخص کرده‌اند که خطرناکترین ماه از لحاظ بروز یخبندان در این محور در دی ماه می‌باشد. نتایج تحلیل جهان‌بخش اصل و همکاران (۱۳۸۸) در محور تبریز- میانه نیز نشان می‌دهد که از مجموع ۳۹۶۰ تصادف مورد بررسی، ۱۱۱۲ مورد در شرایط بروز پدیده یخبندان رخ داده است. دالایی و همکاران (۱۳۸۸) تاریخ زودترین و دیرترین شروع و خاتمه و طول دوره یخبندان را در زاگرس مرکزی (منطقه لرستان و چهارمحال و بختیاری) محاسبه کرده‌اند و نشان داده‌اند که یخبندان در شمال‌غرب لرستان و شمال‌شرق چهارمحال و بختیاری زودتر از بقیه نقاط شروع و در شمال و شمال‌شرق چهارمحال و بختیاری و شمال‌غرب و شرق

را در شرایط مساعد اقلیمی و فصل تابستان و در بین ساعات ۱۳ - ۱۲ در روز به میزان ۶۷٪ دانسته‌اند و علت آن را خطای انسانی و تردد زیاد وسایط نقلیه در این فصل و کوهستانی بودن جاده اعلام نموده‌اند. تصادفات در اثر یخبندان این محور به میزان ۹٪ دارای کمترین درصد تصادفات است که علت آن انجام به موقع عملیات راهداری زمستانه توسط راهدارخانه‌ها در طول مسیر و احتیاط رانندگان و تردد و ترافیکی کم در فصل زمستان ذکر شده است. کامیابی و همکاری (۱۳۹۲) با مطالعه تأثیر یخبندان و روزهای برفی در رویداد سوانح جاده‌ای در جاده‌های مواصلاتی استان سمنان مشخص نمودند که احتمال لغزندگی در سطح جاده‌ها در این شرایط بیشتر می‌شود. مطالعه نقش اقلیم در بالا بردن ضریب ایمنی جاده‌ها در دنیا نیز قدمت زیادی ندارد. تام و شاو (Thom and Show, 1958) به منظور مطالعه سری‌های زمانی تاریخ‌های آغاز و خاتمه یخبندان از توزیع نرمال و برای بررسی سری‌های دماهای کمینه و بیشینه مطلق سالانه از توزیع‌های کران‌های (گمبل، پیرسون، تیپ ۳) استفاده نموده و اظهار کردند که تاریخ‌های رخداد یخبندان تصادفی بوده و از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند به همین دلیل استفاده از میانگین و انحراف معیار، شاخص‌های آماری معتبری در این مورد هستند. ایشان اظهار نموده‌اند که با در دست داشتن این دو عامل، احتمال رخداد شروع یخبندان در فصل پاییز و خاتمه آن در بهار قابل محاسبه و از یکدیگر مستقل هستند. روزنبرگ و مایرز (Rosenberg and Myers, 1962) نیز با مطالعه عوامل مؤثر در بروز یخبندان مشخص نموده‌اند که وضعیت توپوگرافی محل بیش از سایر عوامل در رخداد یخبندان مؤثر است. گوستاوسون و بوگرن (Gustavsson and Bogren, 1990) در رابطه با توانایی (GIS) در مدل‌سازی شرایط اقلیمی حاکم بر جاده‌ها، احتمال بروز دماهای بحرانی زیر صفر درجه سلسیوس را با تغییرات توپوگرافی و کاربری زمین در شرایط مختلف جوئی مورد بررسی قرار داده و پیرامون الگوهای هم‌دید مؤثر بر لغزندگی جاده‌ای در جنوب سوئد عنوان کرده‌اند که در ماه‌های سرد سال عبور جریان گرم نقش بسیار مؤثری در ایجاد شرایط

لرستان دیرتر خاتمه می‌یابد. طول دوره یخبندان نیز در این مناطق بیشتر از سایر نقاط و مناطق شمالی و شرقی چهارمحال و بختیاری نیز از فراوانی بالای تداوم روزهای با شدت یخبندان بین صفر تا ۱۰ - درجه سلسیوس برخوردارند. مناطق دارای بیشترین فراوانی تداوم یخبندان یک، دو و هفت روز به بالا نیز در شمال غرب لرستان، شمال و شمال شرق چهارمحال و بختیاری می‌باشد. علاوه بر آن تغییرپذیری تاریخ شروع یخبندان از تاریخ خاتمه آن بیشتر است. صمدزاده و همکاران (۱۳۸۹)، با بررسی محور اردبیل - سراب نشان داده‌اند که پدیده یخبندان و لغزندگی از عوامل مهم تأثیرگذار بر تصادفات این محور می‌باشد. سلیمانی (۱۳۹۰) با بررسی محور ایلام- کرمانشاه حداکثر فراوانی تصادفات را در شرایط بروز پدیده یخبندان در کیلومتر ۱۰۰ این محور دانسته و در ارتفاعات بالاتر به علت شرایط نابهنجارتر، شدیدتر اعلام کردند. مطالعات مهن‌فر (۱۳۹۰) در محور یاسوج- سمیرم نیز نشان می‌دهد که در شرایط هوای یخبندان حد فاصل کیلومترهای ۳۰ تا ۴۰ دارای حداکثر فراوانی تصادفات است که این شرایط در ارتفاعات بالاتر تحت تأثیر شرایط نابهنجارتر اقلیمی تشدید می‌یابد. احسانی (۱۳۹۰) در محور کرج - چالوس مشخص نمود که از ۶۰۰۵ فقره تصادف ثبت شده ۵۵٪ در شش ماه اول سال و ۴۵٪ در نیمه سرد سال با حداکثر فراوانی تصادفات به میزان ۱۳ مورد در شرایط یخبندان در کیلومتر ۷۵ این محور رخ داده است. شهریور نیز با ۸۰۲ مورد تصادف بالاترین آمار تصادفات ماهانه را به خود اختصاص داده است. شهابی و همکاران (۱۳۹۰) با مطالعه محور سقز- سنندج در شرایط یخبندان، کیلومترهای ۹۳ تا ۱۵۲ این محور را دارای حداکثر فراوانی تصادفات به میزان ۲۱٪ و از جمله نقاط خطرناک محسوب نمودند. سعادت‌مند (۱۳۹۱) تصادفات ناشی از شرایط اقلیمی محور تبریز- جلفا را مورد تحلیل قرار داده‌اند که نتایج نشان می‌دهد در شرایط یخبندان، کیلومترهای ۲۰ تا ۳۰ و ۱۰۵ تا ۱۱۰ به عنوان نقاط مخاطره‌آمیز و دارای بیشترین خطر تصادفات است. عسگری و همکاران (۱۳۹۲) بیشترین سوانح جاده‌ای محور قزوین- همدان

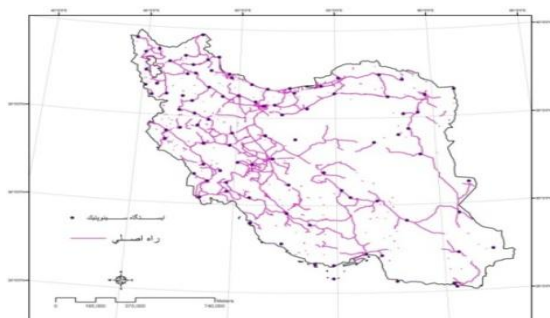
مواد و روش‌ها

در ابتدا به منظور بررسی شرایط توزیع جغرافیایی راه‌ها، شاخص تراکم جاده‌های کشور استخراج و نتایج آن به تفکیک استان در جدول (۱) ارائه شده است. شاخص تراکم به صورت نسبت مجموع طول راه‌ها در هر استان بر مساحت آن و به شکل درصد تعریف می‌شود. در این تحقیق مجموع طول راه‌ها براساس راه‌های اصلی و بزرگراه‌ها در نظر گرفته شده است و از راه‌های فرعی و روستایی صرف‌نظر گردیده است. با توجه به جدول مذکور، استان‌های گیلان، کرمانشاه و مازندران از منظر شاخص مربوطه در رتبه اول تا سوم قراردارند. جهت تهیه نقشه مذکور نیز از نقشه جاده‌های اصلی کشور، موقعیت مکانی ایستگاه‌های همدید و هواشناسی جاده‌ای و نیز نقشه توپوگرافی کشور به صورت تلفیقی در محیط ArcGIS استفاده شده است (شکل ۱).

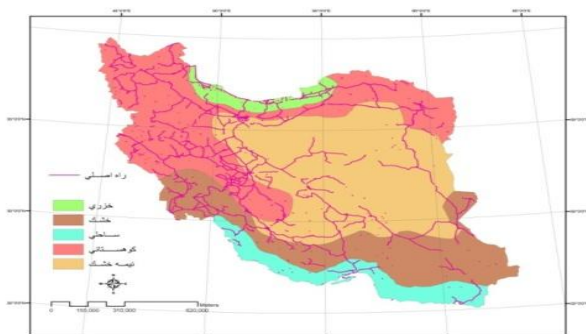
لغزندگی در جاده‌ها دارد. ایشان همچنین (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای جداگانه با بررسی ارتباط بین تصادفات جاده‌ای سوئد در زمستان با توجه به شرایط لغزندگی جاده‌ها، دمای سطح جاده و تعداد تصادفات، نشان داده‌اند که تعداد تصادفات در شرایط بارندگی همزمان با دمای حدود صفر درجه سلسیوس سطح جاده به دلیل ایجاد یخبندان بیشتر و شدیدتر است. کارسون و منگرینگ (Carson And Mongering, 2001) نیز با بررسی اثر یخبندان بر شدت و تناوب تصادفات جاده‌ای اظهار نموده‌اند که مکان‌یابی علائم هشدار دهنده یخبندان جاده‌ای و کنارجاده‌ای می‌تواند تناوب حوادث مرتبط با یخبندان را کاهش دهد. پیسانو و همکاران (Pisano et al, ۲۰۰۶) در مطالعات خود ضمن معرفی برنامه‌مدیریت هواشناسی بزرگراه‌های ایالت‌های آمریکا (FHWA)^۱ جهت بررسی عوامل گوناگون اقلیمی بر حمل و نقل جاده‌ای، توسعه استراتژی‌ها و ابزارهایی برای کاهش تأثیرات این پدیده‌ها که هدف آن ایجاد قابلیت پایش، مدیریت ترافیک و عملیات راه‌داری در زمستان می‌باشد، نحوه تجهیز کردن آن‌ها را نیز به حسگرهای مختلف توضیح داده‌اند. بنابراین با توجه به نتایج مطالعات محققان داخلی و خارجی می‌توان به اهمیت تحلیل و ارزیابی پارامترهای اقلیمی، از جمله رخدادهای یخبندان، و چگونگی تأثیر آن‌ها در بروز تصادفات جاده‌ای پی برد. اولین مسأله برای مقابله با این مخاطره، شناسایی توزیع مکانی و تحلیل فضایی بحران‌ها است. منظور از تحلیل فضایی شناسایی فراوانی زمانی و مکانی مخاطرات در یک مکان بخصوص است. تحلیل مکانی از این نظر مهم است که هر مخاطره‌ای در هر مکانی ویژگی‌های خاص آن مکان را دارد و راه مقابله با آن با سایر نقاط متفاوت است (علیجانی، ۱۳۸۶). به همین منظور در این تحقیق جهت تحلیل فضایی رخدادهای یخبندان در شبکه جاده‌های کشور، به تهیه نقشه توزیع زمانی و مکانی آغاز و پایان یخبندان و نیز پهنه‌بندی شدت درجه خطرپذیری و زمان حداکثر فراوانی رخدادهای آن پرداخته می‌شود.

جدول ۱- مقادیر شاخص تراکم و مجموع طول راه‌های اصلی و بزرگراه‌های کشور

نام استان	طول راه‌ها (km)	مساحت Km ²	شاخص تراکم	نام استان	طول راه‌ها (km)	مساحت Km ²	شاخص تراکم
آذربایجان شرقی	58874.4	45650	7.1	فارس	68359.8	122608	4.9
آذربایجان غربی	76554.3	37411	7.4	قزوین	35613.8	15567	3.4
اردبیل	90990.1	17800	7.8	قم	10991.1	11526	4.4
اصفهان	10380.3	07029	4.3	کردستان	71431.4	29137	2.0
ایلام	26765.3	20133	8.1	کرمان	09033.0	181785	2.4
بوشهر	35440.5	22743	6.3	کرمانشاه	72509.4	24998	9.1
تهران	35613.8	18814	2.8	کهگیلویه	106509.0	15504	7.1
چهارمحال	89916.6	16332	8.5	گلستان	106346.3	20367	5.4
خراسان جنوبی	11391.2	85290	2.8	گیلان	747001.4	14042	12.4
خراسان رضوی	74618.3	28949	4.2	لرستان	734627.8	28294	6.1
خراسان شمالی	14186.3	28434	3.6	مازندران	131808.7	23842	8.9
خوزستان	95649.2	64055	6.7	مرکزی	935489.5	29127	6.6
زنجان	68312.1	21773	5.4	هرمزگان	437944.9	70697	3.4
سمنان	56806.0	97491	1.2	همدان	590569.4	19368	8.2
سیستان	95506.1	80726	2.6	یزد	555333.4	129285	2.0



شکل ۱- نقشه توزیع جغرافیایی شبکه راه‌ها و ایستگاه‌های اصلی کشور



شکل ۲- پهنه‌بندی اقلیمی شبکه راه‌های اصلی کشور

به منظور تعیین محدوده‌های اقلیمی در شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور نیز لازم است، نقشه مناطق هم‌اقلیم (همگن اقلیمی) تهیه شود. زیرا رفتار پارامترهای اقلیمی در نواحی غیرهمگن متفاوت است (شفیعی و قهرمان، ۱۳۸۸). بر همین اساس برای پهنه‌بندی اقلیمی معمولاً از شیوه‌های جدید متکی بر تکنیک‌های آماری تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای استفاده می‌شود که اثرات متقابل تعداد زیادی از عناصر اقلیمی را ملاک تقسیم‌بندی قرار می‌دهد (ترابی و جهان‌بخش، ۱۳۸۳). به همین منظور در این مطالعه از نتایج مطالعات ترابی و جهان‌بخش (۱۳۸۳) که براساس روش تحلیل خوشه‌ای کشور رابه پنج منطقه اقلیمی معتدل خزری، کوهستانی، نیمه‌خشک، خشک و خشک ساحلی تقسیم کرده‌اند، استفاده شده است و نقشه نهایی در شکل (۲) ارائه شده است.

در مرحله بعد با توجه به اهداف کار، شاخص‌هایی برای بررسی و تحلیل پدیده یخبندان انتخاب شده‌اند که عبارتند از:

۱- زمان شروع و خاتمه یخبندان

۲- تعداد روزهای یخبندان

۳- دوره یخبندان (هژبرپور و علیجانی، ۱۳۸۶).

در مورد شاخص‌های زمان شروع و خاتمه یخبندان، کمالی و حبیبی نوخندان (۱۳۸۴) روابط رگرسیونی معنی‌داری ارائه کردند. در معادلات بدست آمده، اول شهریور ماه به عنوان مبنا (روز اول) در نظر گرفته و مابقی روزها به ترتیب شمارش شده‌اند. در ارائه این معادلات از تأثیر سال‌های کیسه صرف‌نظر شده است. معادلات به شرح ذیل می‌باشند.

آغاز یخبندان: $I(i) = 274 - 4.13 * Y - 0.0438 * H$

خاتمه یخبندان: $I(e) = 17.4 + 4.45 * Y - 0.0438 * H$

H: ارتفاع بر حسب متر Y: عرض جغرافیایی می‌باشد. زمان آغاز یخبندان به ازاء هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۴۴ روز و در خاتمه ۳۰ روز و به ازاء هر یک درجه افزایش عرض جغرافیایی، ۴ روز زودتر و در خاتمه یخبندان ۵ روز به تعویق می‌افتد. با کاربرد روابط فوق نقشه‌های مربوطه برای نواحی پنج‌گانه اقلیمی کشور ارائه شده است. جهت ارائه نقشه توزیع مکانی شدت خطرپذیری یخبندان در کشور با توجه به مجموع فراوانی رخداد آن از روش درونیابی Spline with barriers که درونیابی آن بر اساس مرزهای اقلیمی صورت می‌گیرد (Hutchinson, 1991 - Hartkamp et al, 2001)، در محیط نرم‌افزار ArcGIS و اطلاعات جدول (۱) استفاده شده است. لازم به ذکر است با توجه به ماهیت اغلب داده‌ها که از جنس فراوانی است، دقت روش درونیابی مجذور عکس فاصله و نیز کریجینگ کمتر از روش مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد. مقادیر حدی مورد استفاده در طبقه‌بندی نیز به صورت تجربی است و در صورت لزوم قابل تغییر می‌باشد. همچنین نمودار فراوانی رخداد (نمودار ۱) برای مقایسه برخی ایستگاه‌های کشور نیز تهیه شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت خطرپذیری یخبندان در کشور بر اساس مجموع فراوانی رخداد یخبندان در ایستگاه‌های منتخب

تغییرات مجموع فراوانی وقوع	خطرپذیری یخبندان
کمتر از ۵۰۰ روز	خیلی کم
۵۰۰-۸۰۰	کم
۸۰۰-۱۵۰۰	متوسط
۱۵۰۰-۲۰۰۰	زیاد
بیشتر از ۲۰۰۰ روز	خیلی زیاد

بعلاوه به علت اهمیت توزیع زمانی خطر رخداد یخبندان در شبکه جاده‌ای کشور و جهت تعیین مجموع حداکثر فراوانی آن، از داده‌های اقلیمی ماهانه یخبندان ۹۵ ایستگاه همدید در یک دوره آماری مشترک ۱۸ ساله (۱۹۹۰-۲۰۰۷) استفاده و نتایج برای کلیه ایستگاه‌ها به شکل نقطه‌ای نشان داده شده است که رقم ۱ در نقشه مربوطه نشانگر ماه ژانویه می‌باشد. لازم به ذکر است که جهت پهنه‌بندی، از یک شبکه نقطه‌ای با اندازه هزار کیلومتر استفاده و مقیاس زمانی تولید نقشه‌ها روزانه است (مبدأ اول شهریور) که از نقشه رومی قابل استخراج می‌باشد و به منظور سهولت در مقایسه به صورت ماهانه ارائه شده است.

نتایج و بحث

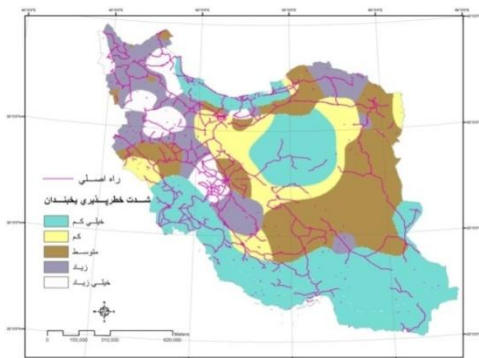
پس از مطالعه و تعیین توزیع تراکم و پراکندگی راه‌های اصلی و بزرگراه‌های کشور، تحلیل فضایی اطلاعات و پهنه‌بندی عامل مخاطره‌آمیز یخبندان بر اساس آستانه‌های بحرانی تعریف شده با استفاده از روش درونیابی مذکور انجام و سپس نقشه‌ها و پهنه‌بندی‌ها در محیط نرم‌افزار مربوطه برای جاده‌های کشور تهیه و در پایان نیز بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی از منظر رخداد و درجه خطرپذیری آن طبقه‌بندی گردیده است که نتایج هر یک در ادامه شرح داده خواهد است.

نتایج بررسی توزیع زمانی و مکانی آغاز و پایان یخبندان در نواحی جاده‌ای کشور با توجه به اشکال (۳ و ۴) به ترتیب: در ناحیه کوهستانی کشور، شهریور ماه زمان آغاز و اردیبهشت زمان پایان و نیز در ناحیه اقلیمی نیمه‌خشک: آبان و

می‌دهند که بالاترین سهم توزیع مکانی شدت خطرپذیری یخبندان در جاده‌های نواحی کوهستانی است.

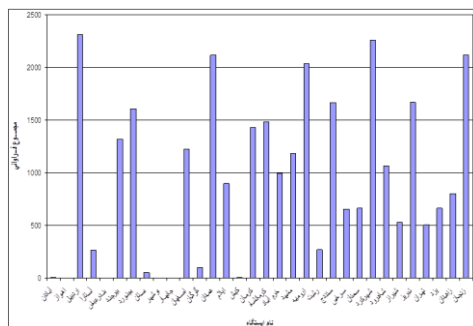
جدول ۲- متوسط فراوانی رخداد یخبندان در مناطق پنجگانه اقلیمی کشور

ناحیه	خزری	کوهستانی	نیمه خشک	خشک	ساحلی
یخبندان	۲۱۴/۰	۱۷۹۴/۹	۸۳۹/۵	۶۴/۳	۱/۶



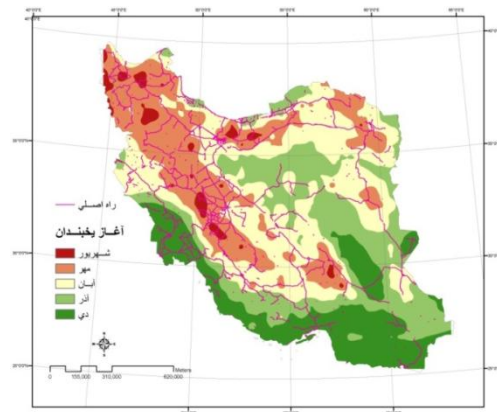
شکل ۵- توزیع مکانی شدت خطرپذیری یخبندان در راه‌های اصلی کشور

همچنین با مقایسه مجموع فراوانی رخداد یخبندان در ایستگاه‌های منتخب کشوری در نمودار (۱) در دوره آماری ۱۸ ساله، نیز مشخص گردیده که استان‌های اردبیل، شهرکرد و همدان نسبت به سایر استان‌ها دارای بیشترین فراوانی رخداد و در رتبه اول تا سوم قرار دارند که بر این اساس راه‌های مواصلاتی این مناطق که در ناحیه کوهستانی کشور نیز قرار دارند، از شدت خطرپذیری بیشتری بر اثر یخبندان برخوردارند.

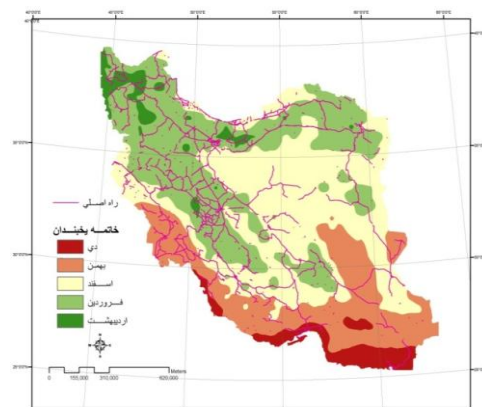


نمودار ۱- مجموع فراوانی رخداد یخبندان در ایستگاه‌های منتخب

اسفند، در ناحیه اقلیمی خشک: آذر و بهمن، در ناحیه خزری: آذر و اسفند، در ناحیه ساحلی جنوب: دی و بهمن و در نزدیکی سواحل جنوب نیز زمان آغاز و پایان یخبندان محدود به دی ماه و دارای دوره بسیار کوتاهی است. بر این اساس بیشترین رخداد مکانی یخبندان در جاده‌های نواحی کوهستانی و نیمه‌خشک کشور می‌باشد و پایان زمانی رخداد این پدیده در بهار (فروردین و اردیبهشت) به ویژه در نواحی کوهستانی موجب غافل‌گیری رانندگان می‌گردد که در نظر گرفتن این نکته بسیار حائز اهمیت است.



شکل ۳- توزیع زمانی و مکانی آغاز یخبندان در کشور



شکل ۴- توزیع زمانی و مکانی خاتمه یخبندان در کشور

نتایج تحلیل توزیع مکانی شدت درجه خطرپذیری یخبندان در شکل (۵) و نتایج مقایسه متوسط فراوانی آن در مناطق پنجگانه اقلیمی بزرگراه‌ها کشور در جدول (۲) نیز نشان

بهینه از نظر تأسیس ایستگاه‌ها، تجهیزات و تردد وسایل نقلیه را فراهم می‌آورد. همچنین در ارزیابی پدیده یخبندان علاوه بر استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی در مقیاس‌های مختلف، می‌توان با کمک اطلاعات کسب شده از تصاویر ماهواره‌ای در سطح مناطق فاقد ایستگاه، دمای سطح را برآورد و شاخص‌های مربوطه را بررسی نمود. جهت درونیابی داده‌های این پارامتر اقلیمی نیز می‌توان از روش (Spline) و در محاسبه شاخص‌های زمان شروع و خاتمه و تعداد روزهای یخبندان از روابط رگرسیونی جهت تعمیم به سایر نقاط استفاده کرد.

منابع

۱- باقری خلیلی، فاطمه، ۱۳۹۰، تحلیلی بر تحقیقات انجام شده در زمینه عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات در راه‌های برون شهری، نشریه راهور، دوره ۸، ص ۹۳-۱۱۶.

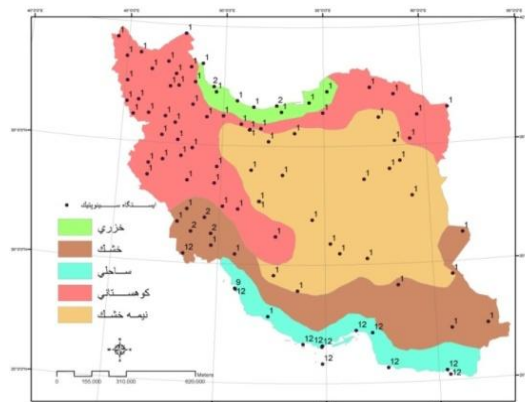
۲- ترابی، سیما، جهان‌بخش اصل، س، ۱۳۸۳، تعیین متغیرهای زمینه‌ای در طبقه‌بندی اقلیمی ایران: معرفی و کاربرد روش تحلیل عاملی و تجزیه مؤلفه‌های اصلی در مطالعات جغرافیایی و اقلیم‌شناسی، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۷۲، ص ۱۶۱-۱۵۱.

۳- جهان‌بخش اصل، سعید، حبیبی نوخندان، م، نوری اوغورآبادی، ح، ۱۳۸۸، تحلیل تصادفات جاده‌ای و داده‌های آب و هواشناسی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (محور جاده تبریز - میانه)، اولین کنفرانس ملی تصادفات و سوانح جاده‌ای و ریلی.

۴- دالایی، حمیده، علیجانی، ب، احمدی، م، ۱۳۸۸، تحلیل آماری دماهای یخبندان با رویکرد مدیریت ریسک یخبندان‌های جاده‌ای در استان‌های لرستان و چهارمحال و بختیاری، فصل‌نامه مهندسی حمل و نقل، سال اول، شماره ۲، ص ۷۹-۹۲.

۵- سعادت‌مند، حسن، ۱۳۹۱، بررسی تأثیرات شرایط اقلیمی بر حوادث جاده‌ای (مطالعه موردی: مسیر ترانزیتی تبریز-جلفا).

با توجه به نقشه توزیع زمانی حداکثر فراوانی رخداد یخبندان در سطح کل جاده‌های کشور در مقیاس ماهانه در شکل (۶) نیز بیشترین فراوانی در ماه ژانویه تعیین گردیده است. البته در نواحی کوهستانی کشور در اغلب ایستگاه‌ها علاوه بر ماه ژانویه (دی ماه)، در فوریه (بهمن ماه) نیز دیده شده که در این شکل نشان داده نشده است.



شکل ۶- توزیع زمانی حداکثر فراوانی یخبندان در مقیاس ماهانه

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج، بیشترین توزیع فراوانی مکانی و زمانی و شدت درجه خطرپذیری رخداد پدیده یخبندان در سطح جاده‌های کشور در مناطق کوهستانی است و توزیع زمانی آغاز و پایان رخداد آن در شهریور و اردیبهشت ماه است که با توجه به افزایش ارتفاع محل، ناهنجاری‌های مربوطه تشدید می‌گردد. بنابراین تحلیل رخداد یخبندان در سطح جاده‌های مواصلاتی امری ضروری است زیرا تضمین‌کننده ایمنی و سلامت دائم استفاده‌کنندگان به ویژه در مناطق کوهستانی و سبب حفظ ارزش اقتصادی جاده‌ها می‌گردد. از طرفی در این مطالعات پهنه‌بندی زمانی و مکانی رخداد پدیده‌های حدی اقلیمی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان‌شناسایی عوامل محیطی و اقلیمی مؤثر بر حوادث جاده‌ای، شناسایی نقاط بحرانی در طول مسیر، ایجاد شرایط به موقع در صدور پیش-آگاهی‌ها و راه‌کارهای مناسب جهت خنثی کردن مخاطرات مربوطه و اصلاح زیرساخت‌های موجود و نیز امکان مکان‌یابی

- ۱۴- کمالی، غلام، حبیبی نوخندان، م، ۱۳۸۴، بررسی توزیع مکانی و زمانی یخبندان در ایران و نقش آن در حمل و نقل جاده‌ای، پژوهش‌نامه حمل و نقل، شماره ۲، ص ۱۳۸-۱۲۷.
- ۱۵- محمدی، حسین، محمودی، پ، ۱۳۸۵، تأثیر پدیده‌های اقلیمی بر تردد و تصادفات در جاده سندج- همدان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۶، ص ۱۵۴-۱۲۹.
- ۱۶- مهرباری لیلی، فرهاد، قربانی، م، ۱۳۸۵، گزارش جهانی درخصوص پیشگیری از صدمات ناشی از تصادفات جاده‌ای (تألیف سازمان بهداشت جهانی)، انتشارات وزارت راه و ترابری، پژوهشکده حمل و نقل. ۸۳ ص.
- ۱۷- مهین‌فر، کمال، ۱۳۹۰، تأثیرپذیری تصادفات جاده‌ای از عناصر اقلیمی مطالعه موردی محور یاسوج-سمیرم، پایان‌نامه ارشد، دانشگاه آزاد تهران.
- ۱۸- هژبرپور، قاسم، علیجانی، ب، ۱۳۸۶، تحلیل همیدید یخبندان‌های استان اردبیل، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، ص ۱۰۶-۸۹.
- 19- Bettencourt, M. L. 1968. Frost in Portugal Agro climatological methods, Paris, UNESCO. pp 293-295.
- 20- Gustavsson T., and J .Bogren, 1990, Road slipperiness during warm air advection, Meteorological Magazine, 119: pp 267-270.
- 21- Gustavsson.T., and J .Bogren, 2006, Development of RWIS - a new approach using accident-data. XIII International Road Weather Conference, Polytechnic of Turin, ITALY.
- 22- Hartkamp, A. D., Stein, K.D.N., and J.W.White, 2001, Interpolation Techniques for Climate Variables .Res. Rep. NRG-GIS Series 99-01. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- 23- Hutchinson, M.F, 1991, The application of thin plate smoothing splines to continent-wide data assimilation. Res. Rep No. 27. Data Assimilation Sys, Bureau of Meteorology, Melbourne, pp. 104-113.
- 24- Pisano P., L. Goodwin, A.D. AndStern,2006.U.S. Road Weather Management Program –Sensor Siting and Weather Information Integration Projects .XIII International Road Weather Conference, Polytechnic of Turin, ITALY.
- پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم محیطی و معماری، دانشگاه تبریز.
- ۶- سلیمانی، فرخنده، ۱۳۹۰، تأثیر عناصر اقلیمی یخبندان، بارندگی، باد و گرد و غبار در تصادفات جاده‌ای ایلام- کرمانشاه، پایان‌نامه ارشد، دانشگاه آزاد تهران.
- ۷- شهابی، هیمن، خورشید دوست، ع، م، حسینی، م، ک، ۱۳۹۰، ارزیابی نقش عناصر اقلیمی بر تصادفات جاده‌ای (مطالعه محور سقز-سندج)، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳، ص ۱۸۰-۲۱۲.
- ۸- صمدزاده، رسول، خیام، م، رضازاده، ی، ۱۳۸۹، تحلیل مقایسه‌ای نقش عوامل توپوگرافی و آب و هواشناختی در بروز تصادفات جاده‌ای محور قدیم و جدید اردبیل- سراب با رویکرد مدیریت تصادفات و ایمن‌سازی جاده‌ای، نشریه راهور، دوره ۷، ص ۳۴-۶۵.
- ۹- عسگری، احمد، زاجکانی‌ها، ف، خیراندیش کشکویی، م، ۱۳۹۲، نقش عناصر و پدیده‌های جوی حاکم برسوانح جاده‌ای، نشریه راهور، دوره ۱۰، ص ۵۳-۷۱.
- ۱۰- علیجانی، بهلول، حبیبی نوخندان، م، ۱۳۷۸، مطالعه اثر نوسانات اقلیمی بر تردد و تصادفات جاده هراز، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم.
- ۱۱- فاریابی، فروغ، ۱۳۸۴، خلاصه گزارش جهانی پیشگیری از سوانح جاده‌ای، کمیته بهره‌وری، سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور.
- ۱۲- کامیابی، سعید، زند محمد، م، ر، یوسفی‌زاده، ر، ملکی، ح، ر، ۱۳۹۲، نقش یخبندان و تعداد روزهای برفی در تصادفات جاده‌ای (محور مورد مطالعه: جاده‌های اصلی برون شهری استان سمنان)، نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، کرمان.
- ۱۳- کرمی، شهرام، فرج‌زاده، م، ۱۳۸۴، تحلیل درباره تصادفات جاده‌ای و رویکرد اقلیمی با استفاده از GIS، فصل‌نامه مدرس، سال نهم، شماره ۱، ص ۱۷۴-۱۵۱.

26- Thom, H.C.S., and Show, R.H. (1958). Climatology analysis of freeze data for Iowa, Monthly. Weather Review, 8 b (7).251-257.

25- Rosenberg, N.J., and R.E. Myers, (1962). The Nature of Growing season Frost, Mon, wea , Rev 10471-479