بررسی یخبندان و لغزندگی در سطح جاده‌ی سنندج ـ همدان با استفاده از ماتریس وضعیت‌های اقلیمی

دکتر حسین محمدی
دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه تهران

پیمان محمودی
کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، اقلیم شناسی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

چکیده

از میان عوامل محیطی، عامل اقلیم و پدیده‌های جوی جزء تأثیرگزارترین عوامل روی ایمنی حمل و نقل به حساب می‌آیند که خطرناک‌ترین آن‌ها یخبندان می‌باشد. بدین منظور برای مطالعه توزیع زمانی و مکانی پدیده یخبندان در مسیر سنندج ـ همدان از ماتریس وضعیت‌های اقلیمی استفاده شد. برای استفاده از این ماتریس، از قسمت خدمات ماشینی سازمان هواشناسی کشور داده‌های روزانه سه پارامتر دما، بارش و رطوبت نسبی سه ایستگاه سینوپتیک سنندج، قروه و همدان برای یک دوره ده ساله دریافت شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج زیر به‌دست آمد.

بر اساس ماتریس وضعیت‌های اقلیمی، شرایط اقلیمی N5 (میانگین دمای روزانه بین ۲ تا ۶- درجه سانتی‌گراد به همراه رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪ یا بارش کم‌تر از ۲ میلی‌متر) و N6 (میانگین دمای روزانه بین ۲ تا ۶- درجه سانتی‌گراد به همراه بارش بیش از ۲ میلی‌متر) جزء شرایط خطرناک برای ایمنی تردد وسائط نقلیه در مسیر سنندج- همدان می‌باشند، که بیشترین تمرکز آن‌ها در ماه‌های ژانویه (۹ روز)، فوریه (۵ روز) و دسامبر (۴ روز) می‌باشد. یخبندان در منطقه اواخر سپتامبر شروع می‌شود و اوایل ماه مارس به پایان می‌رسد. اما یخبندانی که برای ایمنی حمل و نقل ایجاد خطر می‌کند خیلی دیرتر یعنی در ماه دسامبر روی می‌دهد.

واژگان کلیدی: یخبندان، ایمنی حمل و نقل، ماتریس وضعیت‌های اقلیمی، مسیر سنندج به همدان.

مقدمه

ایمنی عبور و مرور یکی از اصول مهندسی ترافیک و برنامه‌ریزی حمل و نقل می‌باشد به‌طوری‌که در کشورهای توسعه یافته همگام با توسعه‌ی سایر بخش‌های مهندسی ترافیک، موضوع ایمنی راه نیز مورد توجه قرار گرفته و با انجام مطالعات و تمهیدات لازم سعی می‌شود که تصادفات و پیامدهای ناشی از آن را تا حد ممکن به حداقل برسانند، اما متأسفانه در اکثر کشورهای توسعه نیافته تعداد و نرخ تصادفات ناشی از عدم توجه به اصول ایمنی و عوامل مؤثر بر آن همواره سیر صعودی داشته است، چنان که کشور ایران با بیشترین نرخ تصادفات در جهان مقام اول را در بین سایر کشورهای جهان به خود اختصاص داده است. از میان عوامل تأثیرگذار روی ایمنی حمل و نقل، پدیده‌های اقلیمی دارای اهمیت بالایی هستند. اگر چه این پدیده‌ها اجتناب‌ناپذیر و در مواردی خارج از توان و اختیار انسان می‌باشند اما بعضی از آن‌ها را می‌توان با اعمال روش‌هایی در طراحی راه و بعضی از آن‌ها را با حضور به موقع عوامل راهداری در محل می‌توان به حداقل رساند. از بین عناصر و پدیده‌های اقلیمی که در برنامه‌ریزی، طراحی و نگهداری جاده‌ها بیشترین توجه به آن می‌شود پدیده یخبندان است، زیرا یخبندان جزء آن دسته از پدیده‌های اقلیمی است که سالانه خسارات گسترده‌ای را در زمینه‌های مختلف از جمله حمل و نقل ایجاد می‌کند.

یخبندان به شرایطی از هوا گفته می‌شود که در آن دمای هوا به صفر یا زیر صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسد که دلیل آن کاهش سریع انرژی از سطح منطقه است که بیشترین توزیع را در فصل زمستان دارد. یخبندان‌ها را از لحاظ منشا وقوع به دودسته کلی تقسیم می‌کنند:

۱- یخبندان‌های تابشی
۲- یخبندان‌های توده‌ای

در یخبندان‌های تابشی با فرا رسیدن غروب خورشید و نزدیک شدن شب، زمین شروع به سرد شدن می‌کند و لایه‌های هوای مجاور خود را نیز سرد می‌کند. این لایه با سرد شدن خود موجب سرد شدن لایه‌های بالاتر می‌گردند. در چنین شرایطی توده‌های هوای پر فشار نیز با حرکت ملایم و هوای نسبتا سرد و خشک خود مؤثر واقع می‌شوند. وارنگی دما در چنین وضعیتی باعث سردتر شدن هوای لایه مجاور خاک از لایه‌های هوای بالایی می‌گردند و چون آسمان صاف است و هیچ گونه تلاطمی از طریق وزش باد پیش نمی‌آید، وضعیت با ثباتی برای سرد شدن پدید می‌آید که معمولا تا قبل از برآمدن خورشید ادامه می‌یابد.

یخبندان‌های توده‌ای با ورود توده‌های هوای سرد به یک منطقه حاصل می‌شوند. سرمای ناشی از ورود این توده‌های هوا به فرارفت هوای سرد موسوم است که امکان دارد طی شب یا روز حادث شوند. این سرما معمولا پس از عبور یک توده هوای کم فشار و یا یک جبهه هوای سرد توسعه یافته و استیلا می‌یابد و عمدتاً در پیشاپیش یک توده هوای پر فشار قرار دارد و ممکن است تا چند روز نیز دوام آورد. بنابراین وجود آسمان صاف و آرام، کمبود فشار بخار آب در لایه‌های فوقانی سطح زمین، ضرایب قابلیت هدایت حرارتی و حرارت ویژه لایه‌های نزدیک به سطح زمین از جمله عوامل سرد شدن سطح زمین است(محمودی، ۱۳۸۴).

بعد از آشنایی کلی با پدیده یخبندان و انواع آن لزوم بررسی پایگاه مکانی یخبندان مطرح می‌گردد. این پایگاه مکانی شامل جاده‌ها و محورهای ارتباطی است. برف و یخبندان سطح جاده‌ها نقش مؤثری در کاهش اصطکاک بین سطح جاده‌ها و تایر اتومبیل‌ها دارند. در مناطقی که این پدیده از فراوانی بیشتری برخوردار است مشکل وقتی شدت می‌یابد که رانندگان نسبت به رانندگی در چنین شرایطی آگاهی کافی نداشته باشند. از

تأثیرات دیگر یخبندان تأثیر آن بر روی روسازی جاده‌ها می‌باشد. اصولاً برای ایجاد یخبندان سطح جاده‌ها باید سه عامل با یکدیگر عمل کنند و در صورت نبود حتی یک عامل پدیده یخبندان اتفاق نمی‌افتد (ادیبی،۱۳۷۳). این سه عامل عبارت‌اند از:

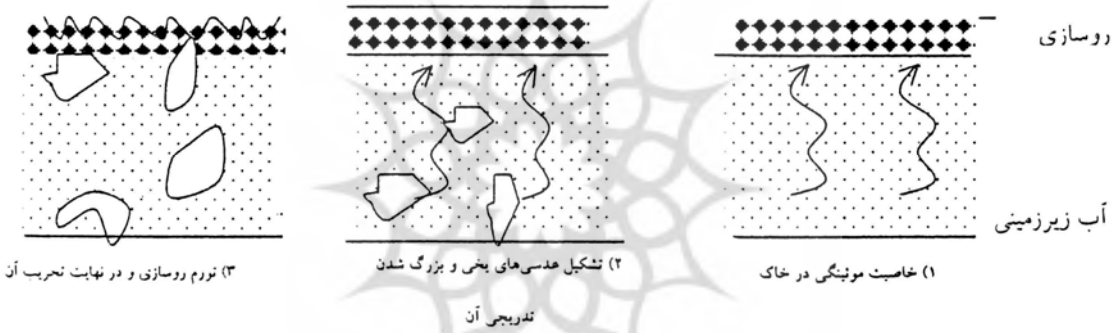
– هوای سرد زیر صفر درجه سانتی گراد

– خاک نسبتا ریزدانه که دارای خاصیت مویینگی خوبی باشد (خاک‌های حساس و یا خاک‌هایی که دارای بیش از ۳٪ دانه‌های با قطر کوچکتر از ۰/۰۲ میلی متر هستند)

– منابع آب زیر زمینی در عمق حداکثر سه متر

اکنون اگر سه عامل فوق الذکر دست به دست هم دهند تورم و تخریب روسازی جاده امکان پذیر می‌گردد. تورم عبارت است از بالا آمدن قسمتی از سطح روسازی آسفالت در اثر افزایش حجم خاک بستر روسازی و یا مصالح آن (عامری و همکاران،۱۳۷۲).

این تورم به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم روی می‌دهد که در شکل یک به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱- مراحل تورم روسازی در نتیجه آب‌های زیرزمینی و یخبندان(حبیبی نوخندان، ۱۳۸۳)

در این حالت رطوبت موجود در منابع آب زیرزمینی در اثر خاصیت موئینگی خاک بالا آمده و پس از قرار گرفتن در مجاورت قسمت‌های سرد فوقانی به یخ تبدیل می‌شوند و عدسی‌های یخی را تشکیل می‌دهند. حجم آب به علت یخ زدن افزایش پیدا می‌کند که به افزایش حجم خاک و مصالح روسازی منجر می‌گردد. به سبب تشکیل کریستال‌های یخی مقدار بیشتری از ذرات آب از منبع آب زیرزمینی جذب می‌شوند. در اثر این پدیده ضخامت عدسی‌های یخی مرتباً افزایش پیدا کرده و تورم لحظه به لحظه بیشتر می‌شود تا این‌که خرابی روسازی شکل می‌گیرد و ترک‌های به وجود آمده در سطح روسازی نیز تحت تأثیر پدیده ذوب و انجماد به تدریج وسعت پیدا می‌کند و باعث کاهش روسازی راه می‌گردد(حبیبی نوخندان،۱۳۸۳)، (شکل ۲).

در مورد ارتباط یخبندان و ایمنی حمل و نقل تحقیقات زیادی در جهان صورت گرفته است. از جمله این تحقیقات می‌توان به کار تحقیقاتی یوگن تکل (۱۹۹۱)اشاره نمود که ویژگی‌های وقوع یخبندان بر روی پل‌ها و جادها را از دیدگاه کارکنان تعمیر و نگهداری سازمان حمل و نقل آیوا که از طریق پرسش‌نامه‌هایی که توسط این کارکنان تکمیل شده بود به همراه تجزیه و تحلیلی که روی بیش از ۴۰۰۰ دیدبانی یخبندان در این ایالت صورت داده بود، مورد بررسی قرار داد. این داده‌ها نشان می‌دهند که میانگین تعداد سالانه وقوع یخبندان‌ها روی پل‌ها دامنه تغییراتی در حدود ۱۲ تا ۵۸ مورد و روی جاده‌ها دامنه تغییراتی در حدود ۷ تا ۳۵ مورد برای

سرتاسر ایالت آیوا را شامل می‌شوند. همچنین تحت حمایت این سازمان (سازمان حمل و نقل آیوا) سیستمی خبره برای پیش‌بینی‌های ۲۰ ساعته یخبندان طراحی شد که دارای ۳۲ پارامتر و ۳۳ قانون بود که از ۳ آیتم اطلاعاتی و ۷ متغیر پیش‌بینی بهره می‌برد. از این سیستم می‌توان در مدیریت مشاهدات بهره گرفت.

جودی کارسون و فردمنرینگ (۱۹۹۹) نیز به بررسی علائم هشدار دهنده‌ی یخبندان به روی شدت و فراوانی تصادفات در جاده‌های دارای یخبندان و برف پرداختند. این پژوهش به مطالعه تأثیرگذاری علائم هشداردهنده یخبندان در فراوانی و شدت تصادفات در ایالت واشنگتن می‌پردازد. آنان ویژگی تصادفات، وضعیت جاده‌ها و ویژگی‌های فضایی و مکانی را معین نموده و به این نتیجه رسیدند که مکان‌یابی علائم هشداردهنده یخبندان و خود علائم هشداردهنده جاده‌ای و کنار جاده‌ای می‌تواند حوادث مرتبط با یخبندان را کاهش دهد.

جان تورنز (۲۰۰۲) در مورد درستی و یا نادرستی تصمیمات اتخاذ شده در مورد نمک‌پاشی جاده‌ها در فصل سرد سال در وضعیت یخبندان، به یک روش ساده نظارتی بر کارهای اجرایی دست یافت . او با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از ایستگاه‌های (RWIS) تعداد شب‌هایی را که دمای سطح جاده پایین‌تر از ۴ درجه سانتی‌گراد بودند مشخص کرده و سپس شاخص زمستانی را بر اساس فرمول‌ها و روش‌های آماری – ریاضی محاسبه و نقشه‌های لازم را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه نمود.

حبیبی نوخندان (۱۹۹۹) نیز در تحقیقی به بررسی تأثیر پدیده‌های اقلیمی بر روی تردد و تصادفات پرداخت. او بعد از استخراج تصادفات به تفکیک روز، ساعت و بررسی ارتباط هر یک از تصادفات با شرایط جوی به نتایجی دست یافت. به‌طوری که با بررسی فراوانی تصادفات و پدیده‌های اقلیمی مشخص شد که در ماه مارس ۲۳۷ مورد معادل ۲۶درصد، ماه دسامبر با ۲۰۶ مورد معادل ۲۲ درصد و ژانویه با ۱۷۰ مورد معادل ۱۸ درصد از ۹۳۱ تصادف، پدیده غالب یخبندان و ریزش برف بوده‌اند و مابقی تصادفات با فراوانی کم‌تر با دیگر پدیده‌های اقلیمی همراه بوده‌اند.

موقعیت جغرافیایی مسیر مورد مطالعه

جاده مورد مطالعه به طول ۱۵۳/۷۱۷ کیلومتر در شمال غرب ایران در میان رشته کوه‌های زاگرس در جهت غرب به شرق مرکز دو استان کردستان و همدان را به یکدیگر متصل می‌کند. مسیر مورد نظر با توجه به

شکل ۲- تخریب روسازی آسفالت بر اثر یخبندان و تورم (محمودی، ۱۳۸۳)

نوع توپوگرافی حاکم بر آن دارای ارتفاعات مختلفی است که همین عامل باعث شده است که در طول مسیر، وضعیت‌های گوناگونی را از لحاظ اقلیمی شاهد باشیم. به‌طوری‌که قسمتی از مسیر دارای آب و هوای مرطوب و معتدل و قسمت دیگر آن دارای آب و هوای کوهستانی سرد می‌باشد.

مواد و روش تحقیق

یخبندان و لغزندگی ناشی از کاهش دما یا بارش باران از عوامل تأثیر گذار روی ایمنی حمل و نقل می‌باشند. برای مطالعه‌ی توزیع زمانی و مکانی این پدیده‌ها در طول دوره‌ی سرد سال، نیاز به داده‌های هواشناسی بود که از قسمت خدمات ماشینی سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. این داده‌ها شامل داده‌های ساعتی و روزانه‌ی پارامترهای دما، رطوبت نسبی و بارش سه ایستگاه سینوپتیک سنندج، قروه و همدان بودند که مشخصات ایستگاه‌ها در جدول یک آمده است.

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی در طول محور سنندج ـ همدان (سازمان هواشناسی کشور،۱۳۸۳)

نام ایستگاه	موقعیت				ارتفاع از سطح دریا	نوع ایستگاه
	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی			
سنندج	۲۳´	۳۵ °	۰۰´	۴۷ °	۱۳۷۳	سینوپتیک
قروه	۱۷´	۳۵ °	۴۸´	۴۷ °	۱۹۰۶	سینوپتیک
همدان	۴۷´	۳۴ °	۵۳´	۴۸ °	۵/۱۷۴۱	سینوپتیک

دوره زمانی ده ساله نیز بر اساس آزمون کافی بودن داده‌ها (روش ماکوس) در سطح احتمال ۹۰درصد و به ازای درجه آزادی (Y=6) انتخاب گردید.

$$Y = [(4.030t)\log R]^2 + 6$$

نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ مسیر مورد مطالعه نیز دومین منبع اطلاعاتی برای بررسی یخبندان این مسیر بود.

بعد از جمع‌آوری داده‌ها ابتدا آمار روزانه‌ی دما، بارش و رطوبت نسبی با توجه به اهمیت ماه‌های سرد سال از روز اول اکتبر تا پایان ماه آوریل به صورت روز شمار مرتب شدند. سپس برای هر یک از روزها، وضعیت بارش، دما و رطوبت نسبی استخراج و در نرم افزار EXCEL ذخیره گردیدند. سپس به منظور تعیین وضعیت اقلیمی هر یک از روزهای مورد مطالعه از ماتریس وضعیت اقلیمی که برای اولین بار توسط یوهانسن در سال ۲۰۰۲ ارائه شده، بهره برده شده است (حبیبی نوخندان، ۱۳۸۳)، (جدول ۲).

بر اساس جدول ۲ فراوانی هر یک از وضعیت‌های اقلیمی به‌صورت روزانه و ماهانه محاسبه و استخراج شدند، سپس تعداد روزهایی که مربوط به هر یک از شرایط اقلیمی برای یک دوره ده ساله (۲۰۰۳ – ۱۹۹۴) بودند شمارش گردیدند. (جدول ۴)

سپس میانگین ده ساله آن‌ها گرفته شد. (جدول ۵).

بعد از آن احتمال وقع هر یک از وضعیت‌های اقلیمی نه گانه برای هفت ماه دوره‌ی سرد سال مورد محاسبه قرار گرفت (جدول ۶).

جدول ۲- ماتریس وضعیت‌های اقلیمی (N) (حبیبی نوخندان، ۱۳۸۳)

بارش و رطوبت دما	عدم بارش و رطوبت نسبی کم‌تر از ۸۰ درصد	رطوبت نسبی بیشتر از ۸۰ درصد یا بارش ۹/۱- ۰ میلی متر	بارش بیش از ۲ میلی متر
دما بیش از ۲ درجهٔ سانتی گراد	N_1 Q	N_2 ◙♂	N_3 ◙♂
دما بین ۲ تا ۶- درجهٔ سانتی گراد	N_4 ●	N_5 ◙♂	N_6 ◙♂
دما کم‌تر از ۶- درجهٔ سانتی گراد	N_7 ●	N_8 ◙♂	N_9 ◙♂

جدول ۳- معرفی وضعیت‌های مختلف اقلیمی (N) (حبیبی نوخندان، ۱۳۸۳)

N_1: میانگین دمای روزانه بیش از ۲ درجهٔ سانتی گراد و عدم وجود ریزش‌های جوی و رطوبت نسبی کم‌تر از ۸۰٪
N_2 : میانگین دمای روزانه بیش از ۲ درجهٔ سانتی گراد به همراه مجموع بارش روزانه ۱/۹-۰ میلی متر و یا رطوبت نسبی بالای ۸۰٪ .
N_3: میانگین دمای روزانه بیش از ۲ درجهٔ سانتی گراد به همراه بارش روزانه بیش از ۲ میلی متر
N_4: میانگین دمای روزانه بین ۲ تا ۶- درجه سانتی گراد به همراه رطوبت نسبی کم‌تر از ۸۰٪
N_5 : میانگین دمای روزانه بین ۲ تا ۶- درجهٔ سانتی گراد به همراه رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪ یا بارش کم‌تر از ۲ میلی متر
N_6 : میانگین دمای روزانه بین ۲ تا ۶- درجهٔ سانتی گراد به همراه بارش بیش از ۲ میلی متر
N_7: میانگین دمای روزانه کم‌تر از ۶- درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی کم‌تر از ۸۰٪ (عدم بارش)
N_8: میانگین دمای روزانه کم‌تر از ۶- درجهٔ سانتی گراد و به همراه رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪ یا بارش کم‌تر از ۲ میلی متر
N_9: میانگین دمای روزانه کم‌تر از ۶- درجهٔ سانتی گراد به همراه بارش بیش از ۲ میلی متر

پرتال جامع علوم انسانی

جدول۴- مجموع فراوانی سالانه وضعیت‌های مختلف اقلیمی (N_1-N_9) در طول دوره‌ی آماری (۲۰۰۳ ـ ۱۹۹۴)

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع به متر	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9
سنندج	۳۵° ۳۳´	۴۷° ۰۰´	۱۳۷۳	۱۲۶۰	۲۰۳	۳۰۵	۱۹۲	۲۶	۳۲	۱۰	۴	۲
قروه	۳۵° ۱۷´	۴۷° ۴۸´	۱۹۰۶	۱۰۴۱	۱۶۲	۲۱۷	۲۸۵	۶۸	۹۹	۴۶	۱۸	۸
همدان	۳۴° ۴۷´	۴۸° ۵۳´	۵/۱۷۴۱	۱۱۱۸	۱۴۸	۲۲۸	۲۲۴	۵۰	۷۴	۱۳	۱۰	۵

جدول ۵ - میانگین سالانه وضعیت‌های مختلف اقلیمی(N_1-N_9) در طول دوره‌ی آماری(۲۰۰۳ ـ ۱۹۹۹)

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع به متر	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9
سنندج	۳۵° ۳۳´	۴۷° ۰۰´	۱۳۷۳	۱۲۶	۲۰	۳۰	۱۹	۳	۳	۱	۱	۱
قروه	۳۵° ۱۷´	۴۷° ۴۸´	۱۹۰۶	۱۰۵	۱۶	۲۲	۲۹	۱۰	۹	۵	۳	۴
همدان	۳۴° ۴۷´	۴۸° ۵۳´	۵/۱۷۴۱	۱۱۲	۱۷	۲۳	۲۲	۵	۷	۲	۲	۲

جدول ۶- احتمال وقوع هر یکی از وضعیت‌های N سه ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری (۱۹۹۴-۲۰۰۳)

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9
سنندج	۳۵° ۳۳´	۴۷° ۰۰´	۱۳۷۳	۵۹/۴	۹/۶	۱۴/۳	۹/۱	۱/۲	۱/۵	۰/۵	۰/۱	۰/۱
قروه	۳۵° ۱۷´	۴۷° ۴۸´	۱۹۰۶	۴۹/۱	۷/۶	۱۰/۲	۱۳/۴	۴/۶	۴/۲	۲/۲	۰/۸	۰/۴
همدان	۳۴° ۴۷´	۴۸° ۵۳´	۵/۱۷۴۱	۵۲/۷	۷/۷	۱۰/۷	۱۰/۶	۲/۴	۳/۵	۰/۶	۰/۴	۰/۲

پس از محاسبه‌ی احتمال وقوع هر یک از وضعیت‌های جوی در طول دوره‌ی آماری در ایستگاه‌های مورد مطالعه به تعیین میزان همبستگی بین هر یک از وضعیت‌ها با ارتفاع ایستگاه‌ها پرداخته شد. برای محاسبه‌ی میزان همبستگی و معادله رگرسیون از نرم افزار REGRESS 1.0 که توسط دکتراگلین استاد دانشگاه فلوریدای مرکزی آمریکا تهیه شده است استفاده گردید. (شکل ۳)

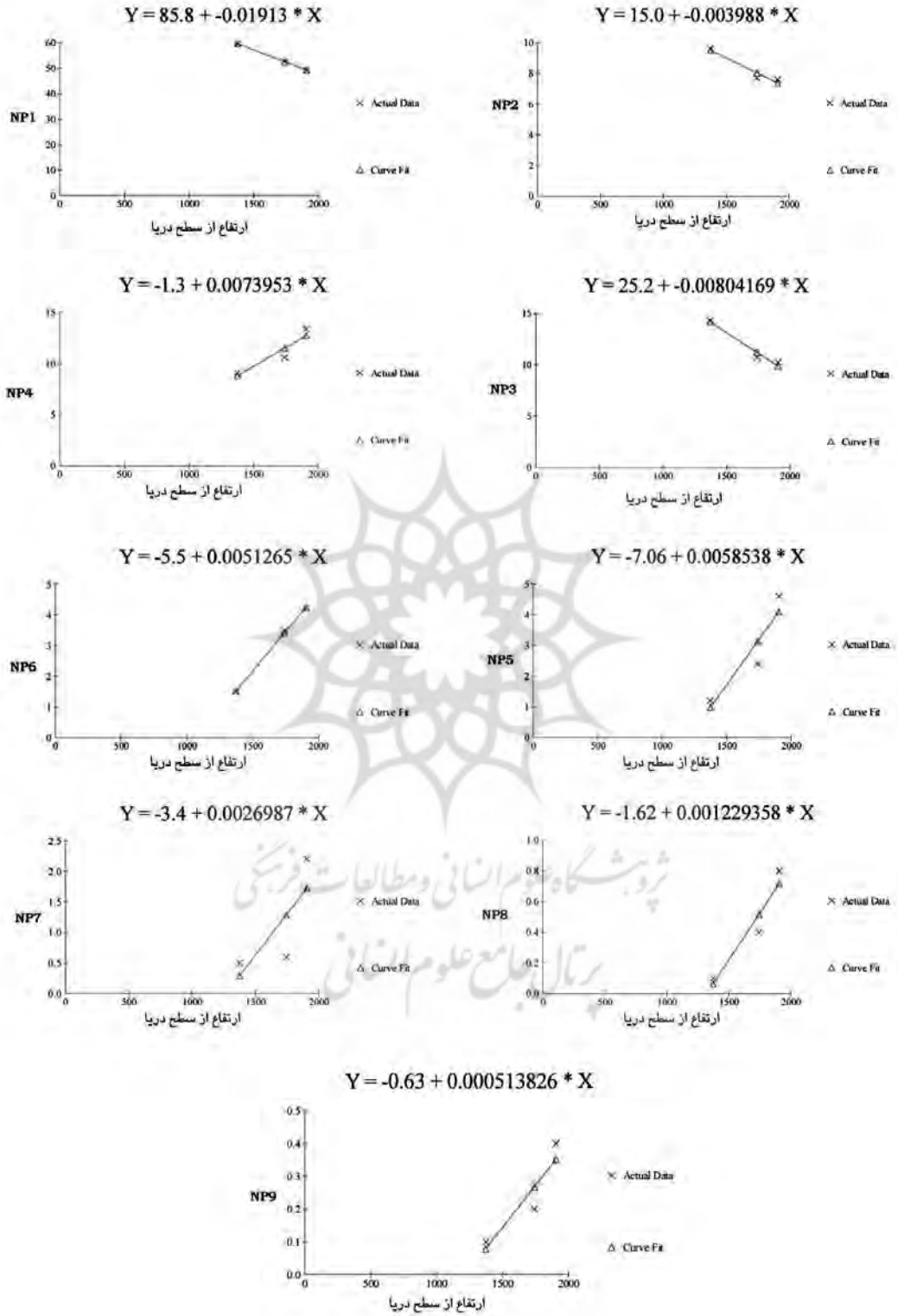
در جدول ۷ نوع و میزان همبستگی وضعیت‌های گوناگون اقلیمی با ارتفاع ایستگاه‌ها در مسیر سنندج ـ همدان مشخص گردیده است.

جدول۷- نتایج روابط هر یک از احتمال وقوع وضعیت‌های مختلف اقلیمی (NP_1-NP_9) با ارتفاع ایستگاه‌ها

احتمال وقوع / نوع رابطه	NP_1	NP_2	NP_3	NP_4	NP_5	NP_6	NP_7	NP_8	NP_9
میزان همبستگی	۰/۹۹۷۹	۰/۹۳۳۰	۰/۹۶۲۷	۰/۸۵۵۲	۰/۸۵۸۴	۰/۹۹۷۱	۰/۵۹۶۱	۰/۹۱۲۷	۰/۸۴۲۸
نوع همبستگی	مستقیم	مستقیم	مستقیم	معکوس	معکوس	معکوس	معکوس	معکوس	معکوس

برای تحلیل فضایی و زمانی این شرایط و تعیین محدوده‌های احتمالی یخبندان و لغزندگی از نرم افزار ARC/VIEW استفاده شد.

برای مشخص نمودن زمان آغاز و خاتمه‌ی یخبندان نیز روز ۲۲ آگوست (اول شهریور) را به عنوان روز مبنا انتخاب کردند و مابقی روزها به ترتیب نسبت به این مبدأ شمارش شدند. برای مثال اگر در یک ایستگاه اولین دمای صفر درجه سانتی‌گراد در روز ۸۳ رخ داده باشد با توجه به روز مبنای ما یعنی روز ۲۲ آگوست (اول شهریور)، معادل با ۱۳ نوامبر(۲۲ آبان) و به همین ترتیب اگر آخرین دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد در روز ۲۲۰ رخ داده باشد، برابر ۸ آوریل خواهد بود. سپس در مرحله بعد اطلاعات فوق الذکر با توزیع نرمال برازش داده شدند و اقدام به تعیین احتمال وقوع آن‌ها در سطح احتمالاتی ۷۵ درصد گردید. از مدل رگرسیون چند متغیره نیز برای مطالعه رابطه‌ی بین پدیده‌های اقلیمی با ارتفاع و عرض جغرافیایی اقدام گردید و روابط مورد



شکل ۳- روابط بین هر یک از احتمالات با ایستگاه‌های مختلف در مسیر سنندج- همدان

نظر به‌دست آمد و در مرحله آخر در محیط نرم افزاری SURFER اقدام به تهیه‌ی نقشه‌های توزیع مکانی پدیده‌ی یخبندان گردید.

آغاز یخبندان Y= 272-(4.248× عرض جغرافیایی)-(۰،۰۴۳۸× ارتفاع)

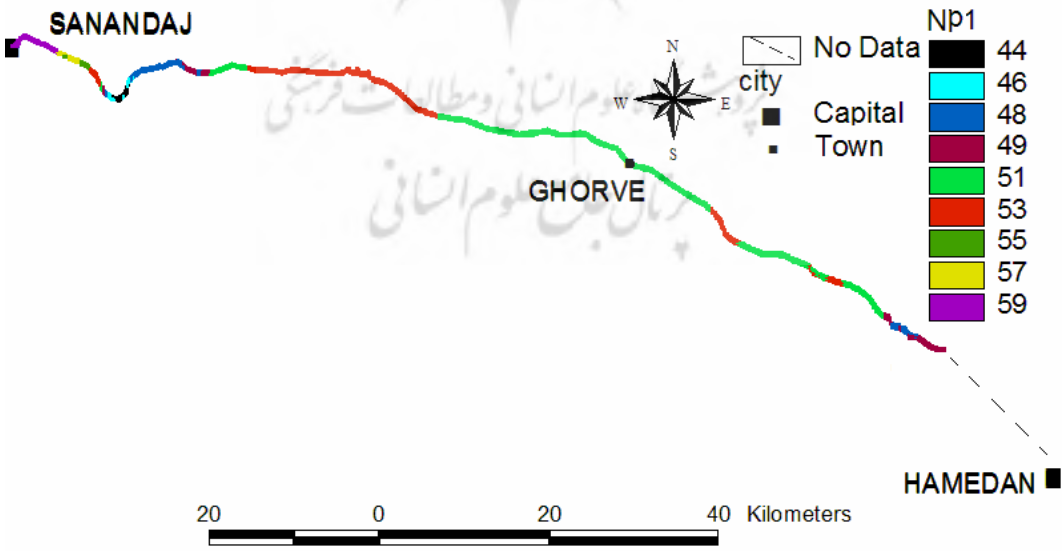
خاتمه‌ی یخبندان Y= -16.8 +(4. 44× عرض جغرافیایی)+(۰،۰۲۹۴× ارتفاع)

تجزیه و تحلیل

همان‌طور که درباره‌ی ماتریس وضعیت‌های اقلیمی توضیح داده شد این ماتریس جهت مشخص نمودن توزیع زمانی وضعیت‌های گوناگون اقلیمی در جاده‌ها به‌کار می‌رود که نتایج زیر در مورد جاده‌ی سنندج–همدان به‌دست آمد.

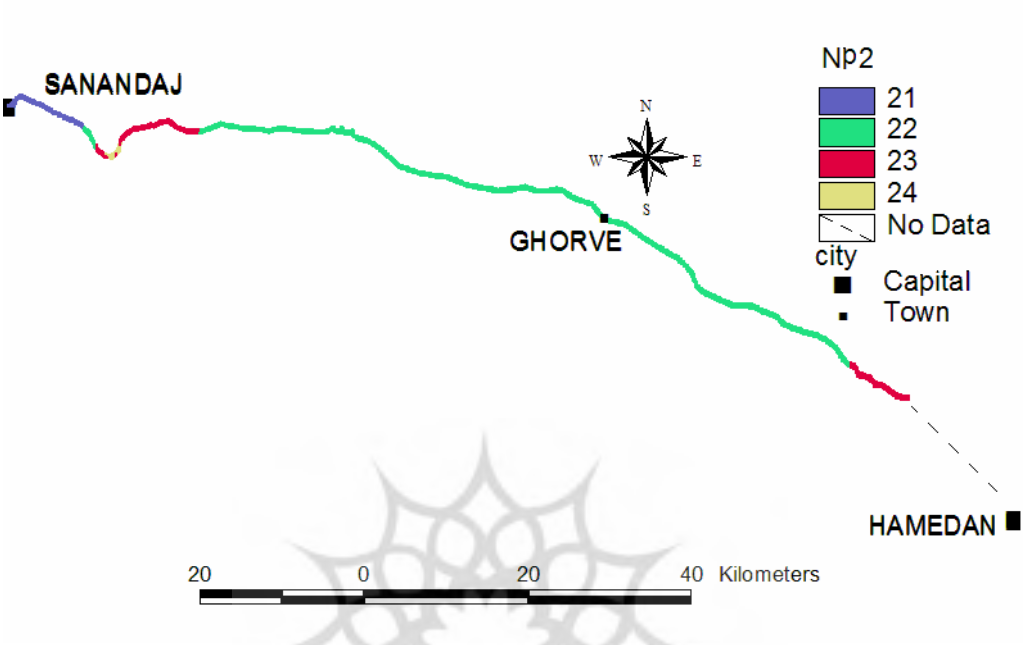
در ماتریس ارائه شده، «N1» وضعیت بدون پدیده را معرفی می‌کند که به‌طور متوسط ۴۷ درصد روزهای دوره‌ی سرد سال را یعنی از اول اکتبر تا پایان آوریل را شامل می‌شود. چنان‌که ایستگاه سنندج که دارای کم‌ترین ارتفاع این مسیر است با ۱۲۶ روز معادل ۵۹ درصد دارای بیشترین روزهای بدون پدیده و قروه با ۱۰۵ روز معادل ۴۹،۱ کم‌ترین روزهای بدون پدیده‌ی این مسیر را دارا هستند (شکل ۴). ماه‌های اکتبربا ۲۵ روز، نوامبر با۲۱ روز، آوریل با ۱۹ روز و مارس با ۱۸ روز به‌طور میانگین بیشترین روزهای بدون پدیده‌ی این مسیر را دارا هستند.

«N2» و «N3» معرف لغزندگی در سطح جاده‌ها می‌باشند که ضریب همبستگی بالایی را با ارتفاع نشان می‌دهند، به‌طوری‌که هرچه بر ارتفاع مسیر افزوده می‌شود، تعداد روزهای لغزندگی افزایش پیدا می‌کند. بیشترین روزهای دارای شرایط لغزندگی در ایستگاه قروه مشاهده می‌شود که آن هم به دلیل ارتفاع بالای این ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های دیگر این مسیر است. در صد تعداد روزهایی که این شرایط را در دوره‌ی هفت

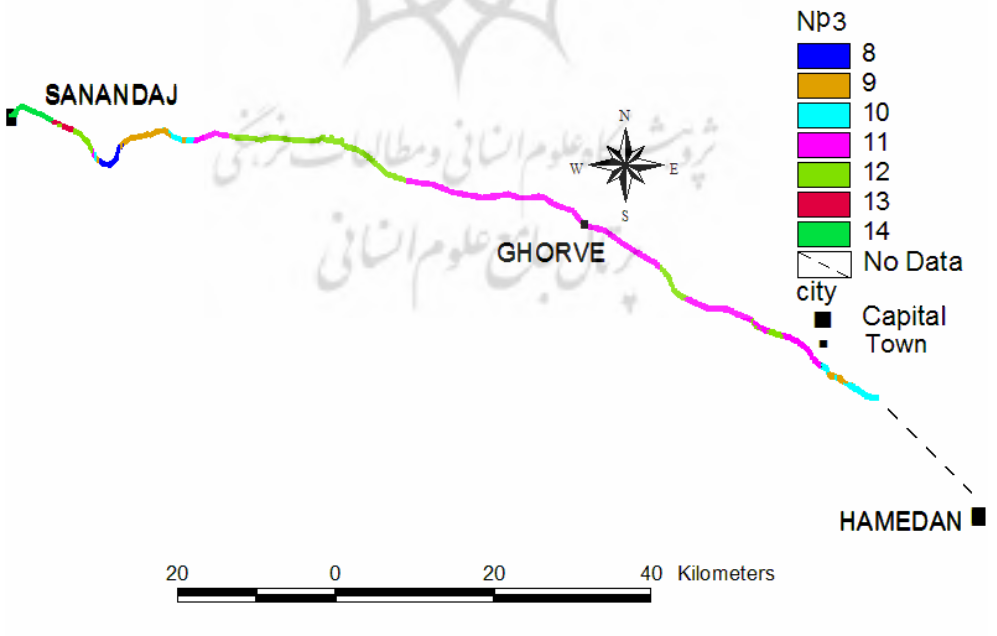


شکل ۴- نقشه‌ی وضعیت اقلیمی N1 در مسیر سنندج – همدان

ماهه‌ی سرد سال به خود اختصاص داده‌اند ۳۲ درصد است که بیشتر در ماه‌های آوریل(۱۰ روز)، نوامبر(۷ روز) و مارس(۷ روز) مشاهده می‌گردد (شکل‌های ۵ و ۶).

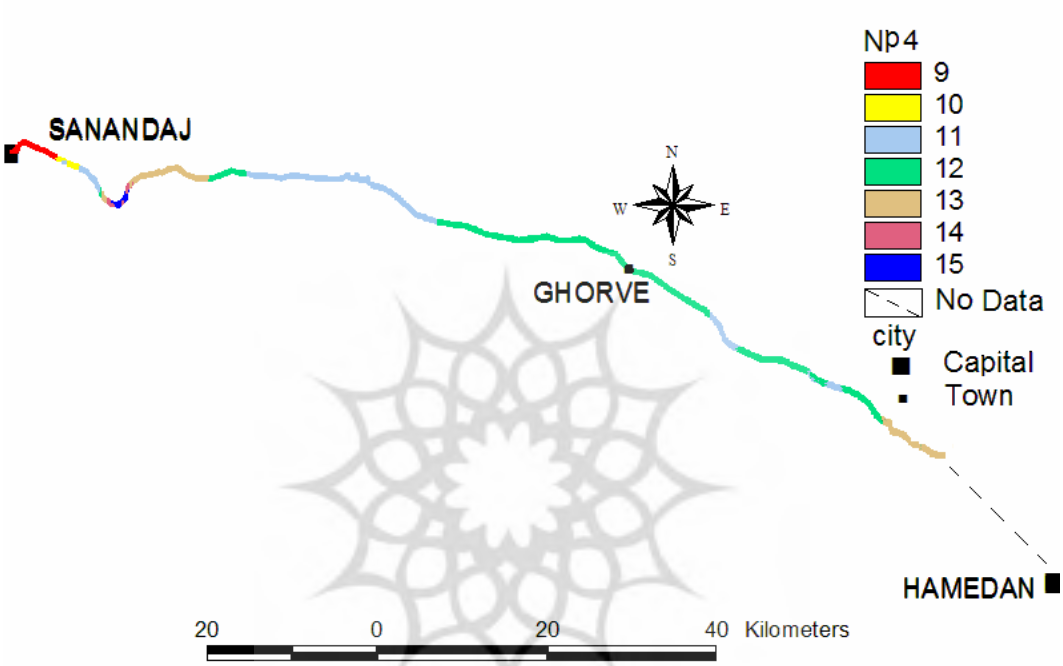


شکل ۵- نقشه‌ی وضعیت اقلیمی N2 در مسیر سنندج به همدان



شکل ۶- نقشه‌ی وضعیت اقلیمی N3 در مسیر سنندج به همدان

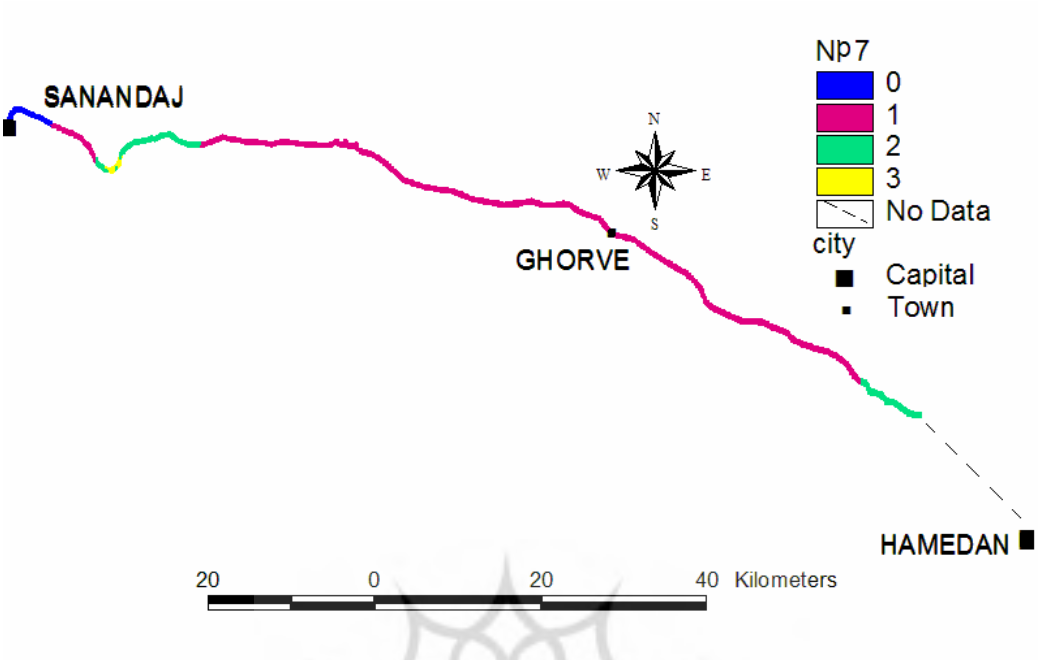
«N4» و «N7» شرایطی را ترسیم می‌نمایند که در آن دمای هوا پایین‌تر از ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. در این دما سطح جاده می‌تواند وضعیت یخبندان به خود بگیرد اما به سبب عدم وجود رطوبت کافی این وضعیت اقلیمی در سطح جاده‌ها حاصل نمی‌شود. اما اگر رطوبت به هر نحوی فراهم شود، یخبندان به ویژه در شرایط اقلیمی «N7» می‌تواند خطرناک باشد. درصد تعداد روزهای دارای این شرایط ۱۴ درصد کل روزهای دوره‌ی ۷ ماهه‌ی سرد سال را شامل می‌شود که بیشتر در ماه‌های ژانویه(۹ روز)، فوریه(۹ روز) و دسامبر(۸ روز) مشاهده می‌گردد.(شکل‌های ۷ و ۸)



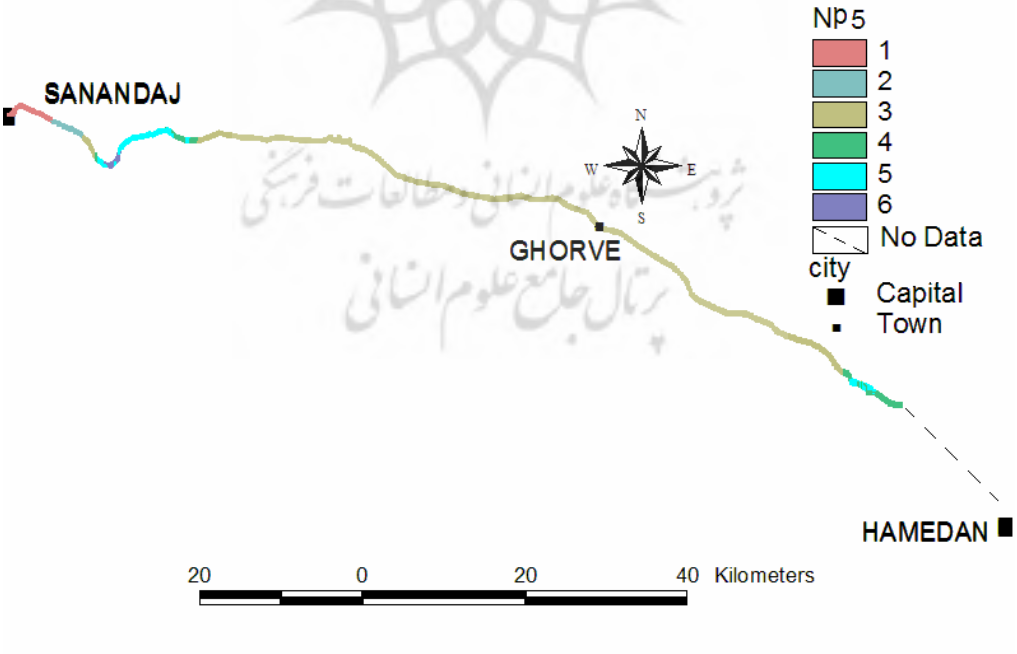
شکل ۷- نقشه‌ی وضعیت اقلیمی N4 در مسیر سنندج به همدان

«N5» و «N6» همراه با «N8» و «N9» وضعیت یخبندان را معرفی می‌کنند. یعنی شرایطی که هم درجه حرارت پایین است و هم رطوبت کافی برای به وجود آمدن یخبندان در سطح جاده وجود دارد. در این جا «N5» و «N6» را در یک طبقه با عنوان یخبندان کم خطر و «N8» و «N9» را در طبقه‌ی دیگری با عنوان یخبندان‌های پر خطر قرار می‌دهیم. درصد تعداد روزهای دارای یخبندان کم خطر تنها ۷درصد تعداد روزهای دوره‌ی سرد سال را دربر می‌گیرد که آن هم بیشتر در ماه‌های ژانویه (۷ روز)، فوریه(۴ روز) و دسامبر(۴ روز) مشاهده می‌شود (شکل‌های ۹و۱۰).

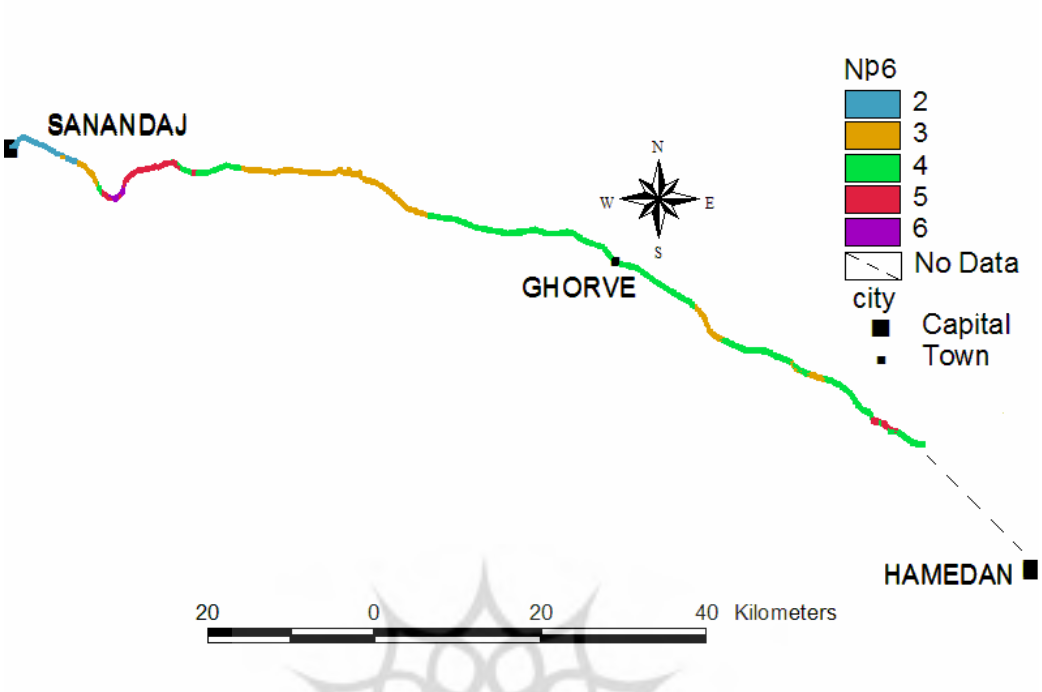
«N8» و «N9» که در طبقه‌ی یخبندان‌های پر خطر قرار داده شده بودند جزء آن دسته از یخبندان‌هایی هستند که نه تنها برای ایمنی حمل و نقل بلکه برای دیگر امور مربوط به انسان همچون کشاورزی، انتقال انرژی و غیره خطرناک است که در مسیر مورد مطالعه ما بسیار کم و نادر اتفاق می‌افتد. براساس مطالعه‌ی انجام شده در این تحقیق در طول دوره‌ی ده ساله بیشترین تعداد آن در ایستگاه قروه و تنها چهار روز بوده که آن هم فقط در ماه ژانویه اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر می‌توان گفت «N8» و «N9» جزء پدیده‌های نادر در این مسیر به شمار می‌روند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).



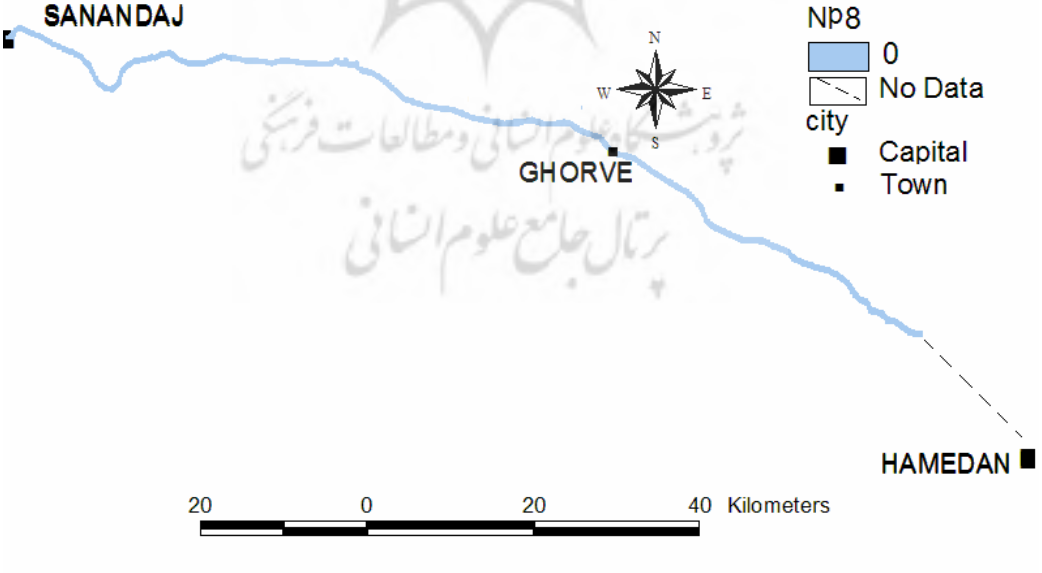
شکل ۸- نقشه‌ی وضعیت اقلیمی N7 در مسیر سنندج به همدان



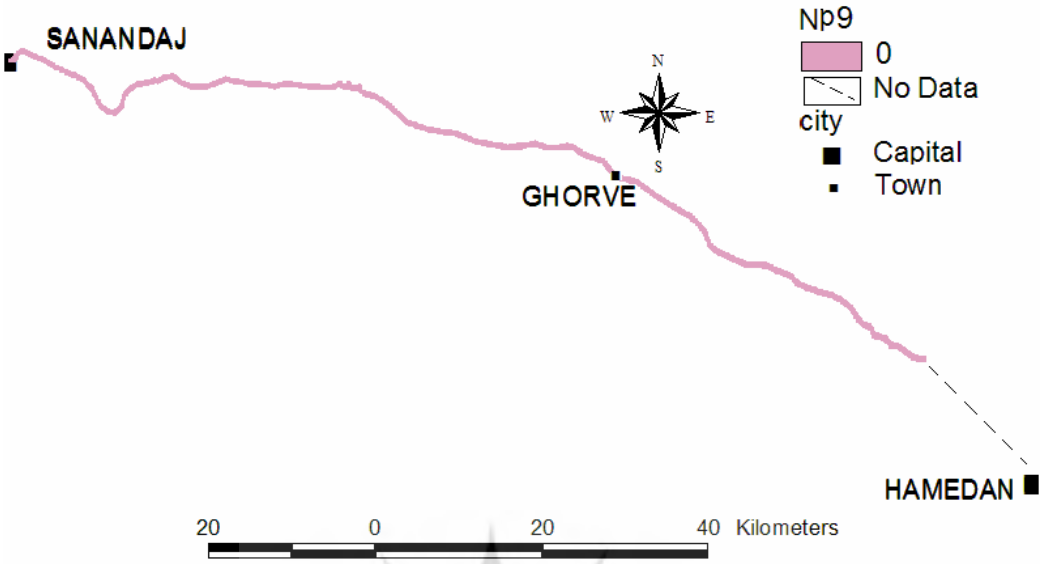
شکل ۹- نقشه‌ی وضعیت اقلیمی N5 در مسیر سنندج به همدان



شکل ۱۰- نقشه‌ی وضعیت اقلیمی N6 در مسیر سنندج به همدان



شکل ۱۱- نقشه‌ی وضعیت اقلیمی N8 در مسیر سنندج به همدان



شکل ۱۲- نقشه‌ی وضعیت اقلیمی N9 در مسیر سنندج به همدان

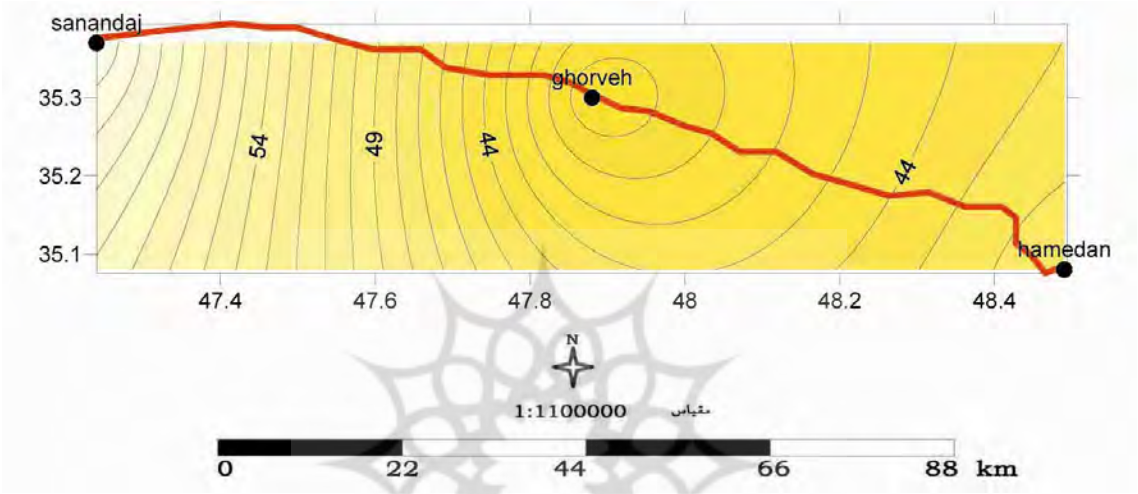
جدول ۸ به طور فشرده، توزیع میانگین ماهانه وضعیت‌های گوناگون اقلیمی را در مسیر سنندج ـ همـدان نشان می‌دهد.

جدول ۸ ـ توزیع میانگین ماهانه‌ی وضعیت‌های گوناگون اقلیمی در مسیر سنندج ـ همدان

وضعیت‌های اقلیمی / ماه	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
ژانویه	۷	۲	۴	۷	۳	۳	۲	۲	۱
فوریه	۹	۲	۳	۷	۲	۲	۲	۱	۰
مارس	۱۸	۲	۵	۲	۱	۲	۱	۰	۰
آوریل	۱۹	۴	۶	۱	۰	۰	۰	۰	۰
اکتبر	۲۵	۳	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
نوامبر	۲۱	۳	۴	۲	۱	۰	۰	۰	۰
دسامبر	۱۳	۳	۳	۶	۲	۲	۲	۰	۰

جدول ۹- زمان آغاز و خاتمه یخبندان در مسیر سنندج به همدان در سطح احتمالاتی ۷۵٪

پارامتر اقلیمی / ایستگاه	زمان آغاز یخبندان	زمان خاتمه‌ی یخبندان
سنندج	۲۲ اکتبر (۱ آبان)	۱۸ فوریه (۳۰بهمن)
قروه	۲۹ سپتامبر (۸ مهر)	۵ مارس (۱۵ اسفند)
همدان	۷ اکتبر(۱۶ مهر)	۲۷ فوریه (۹ اسفند)



شکل ۱۳ ـ نقشه‌ی توزیع مکانی خاتمه یخبندان در مسیر سنندج ـ همدان

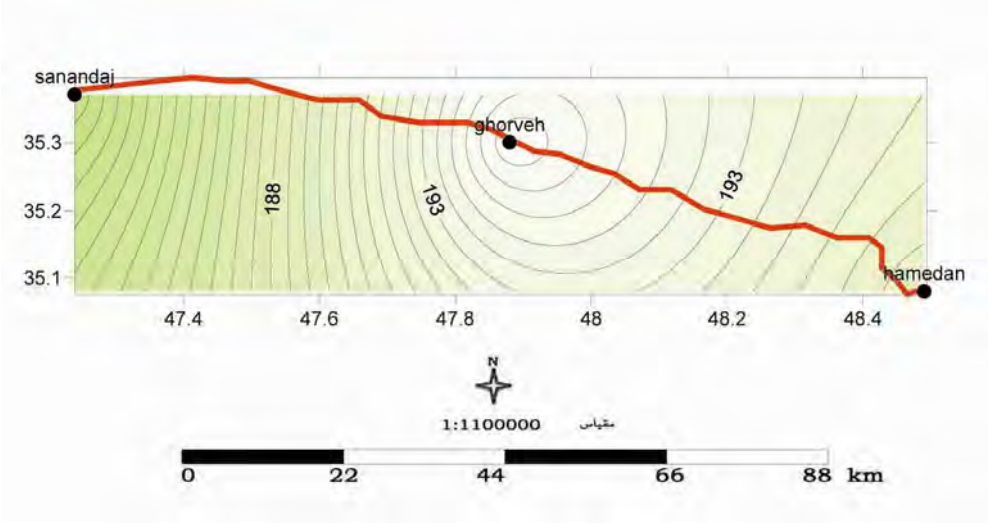
زمان آغاز و خاتمه‌ی یخبندان در مسیر سنندج ـ همدان

بر اساس محاسبات انجام شده اولین یخبندان در این مسیر عمدتاً در اواخر سپتامبر و اوایل اکتبر روی می‌دهد. به‌طوری که در ایستگاه قروه وقوع اولین یخبندان ۲۹ سپتامبر است که دلیل آن نیز ارتفاع زیاد این ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های اطراف می‌باشد. زمان وقوع اولین یخبندان‌ها و خاتمه‌ی آن‌ها در هر سه ایستگاه مورد مطالعه در این مسیر در جدول ۸ آورده شده است و توزیع مکانی شروع و خاتمه‌ی آن‌ها نیز با توجه به شرایط مسیر از لحاظ ارتفاعی در شکل‌های (۱۳ و ۱۴) ارائه شده است.

اما بر اساس جدول ۷ تاریخ خاتمه‌ی وقوع یخبندان در اواخر ماه فوریه و اوایل ماه مارس می‌باشد به‌طوری‌که تاریخ خاتمه‌ی وقوع یخبندان در این مسیر ۵ مارس و مربوط به ایستگاه قروه است و همانند آغاز یخبندان با فاصله گرفتن ایستگاه قروه زمان خاتمه‌ی یخبندان زودتر رخ می‌دهد چنانچه در ایستگاه سنندج این زمان به ۱۸ فوریه کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از ماتریس وضعیت‌های اقلیمی شرایط «N5» ، «N6» ، «N8» و«N9» از لحاظ وقوع یخبندان برای تردد وسائط نقلیه جزء شرایط خطرناک هستندکه بیشترین تمرکز آن‌ها در این مسیر در ماه‌های ژانویه (۹ روز)، فوریه(۵ روز) و دسامبر(۴ روز) می‌باشند. هرچند یخبندان خیلی زودتر از این‌ها در منطقه شروع می‌شود (اواخر سپتامبر و اوایل اکتبر) و خیلی دیرتر از زمان مورد نظر (اوایل ماه مارس) به



شکل ۱۴ ـ نقشه‌ی توزیع مکانی خاتمه یخبندان در مسیر سنندج ـ همدان

پایان می‌رسد. اما یخبندانی که برای ایمنی حمل و نقل ایجاد خطر می‌کند دیرتر از زمان‌های مورد نظر روی می‌دهد (یعنی در ماه دسامبر) و زودتر به پایان می‌رسد. بنابراین برای تمرکز فعالیت‌های راهداری و ایمنی جاده‌ها و کاهش هزینه‌های مربوطه، توجه به توزیع زمانی وضعیت‌های گوناگون اقلیمی ضروری است، که برای مسیر مورد مطالعه ماه ژانویه از لحاظ یخبندان، خطرناک‌ترین ماه به حساب می‌آید. بنابراین برای افزایش ایمنی حمل و نقل در مسیر سنندج – همدان بایستی محدودیت سرعت وسائط نقلیه به‌خصوص در شب و اوایل صبح از جانب پلیس راه سنندج- همدان با کمک سازمان هواشناسی دو استان کردستان و همدان اعمال گردد. همچنین برای کاهش لغزندگی سطح جاده بهترین روش، استفاده از روش موسوم به «نمک پاشی محتاطانه یا نمک پاشی بازدارنده» است. تکنیک یاد شده عبارت است از این‌که پاشیدن نمک را زودتر آغاز کنیم تا نقش جلوگیری از لغزنده شدن راه را ، به نحو مؤثری ایفا نماید. اجرای صحیح نمک پاشی محتاطانه، در ایمنی راه صد در صد مؤثر است و در این حال مصرف نمک نیز اساساً کاهش پیدا می‌کند.

لازم است سازمان هواشناسی نیز با توجه به توزیع زمانی وضعیت‌های اقلیمی و پیش بینی‌های صورت گرفته، هشدارهای لازم را به موقع به استفاده‌کنندگان از جاده انتقال دهد. این هشدارها را برای مسیر سنندج – همدان می‌توان به سه دسته تقسیم نمود:

۱- شرایط «N8» و «N9».. هشدارشدید (شرایط سخت پیش‌بینی می‌شود) فقط در ماه ژانویه

۲- شرایط«N5» و «N6» .. هشدار ملایم (شرایط سخت احتمال می‌رود) برای ماه‌های ژانویه، دسامبر و فوریه.

۳- شرایط «N4» و «N7» .. حالت حد پایین (شرایط سخت انتظار نمی‌رود)

منابع

۱- ادیبی، هادی (۱۳۷۳). پهنه‌بندی ایران از نقطه نظر عوامل مؤثر آب و هوایی بر روسازی راه. پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: حمید بهبهانی، دانشگاه علم و صنعت.

۲- حبیبی نوخندان، مجید (۱۳۷۸). مطالعه‌ی پدیده‌های اقلیمی مؤثر بر تردد و تصادفات جاده‌های کوهستانی و ارائه راهکارهای اجرائی مؤثر(مطالعه موردی جاده هراز). پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.

۳- حبیبی نوخندان ، مجید (۱۳۸۳). آب و هوا و ایمنی جاده‌های کوهستانی ایران (مطالعه موردی جاده‌های هراز و فیروزکوه). رساله دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه تهران.
۴- عامری، محمود و همکاران (۱۳۷۲). علل خرابی روسازی راه در شیب‌های تند. دفتر مطالعات و تحقیقات وزارت راه و ترابری.
محمودی، پیمان (۱۳۸۴). بررسی پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تردد و تصادفات در جاده‌های کوهستانی (با تأکید بر محور سنندج – همدان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
۵- نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ سنندج و همدان (۱۳۸۰). سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

6- Carson. J and Mannering (1999). The Traffic of the Ice Warning Sings and Ice Accident and Severity. Accident Analysis and Prevention, NO , 33, pp 89-100.
7-Takle, S.E. (1990).Bridge and Roadway Frost: Occurrence and Prediction by Use of an Expert system. Journal of Applied Meteorology, American Meteorological Society. August , Volume 29, Number
8- Thornes, J.E. (2002). Performance Audit Method for Winter Maintenance. In 11th International Road Weather Conference, Sapporo, Japan.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی