

## مطالعه توزیع زمانی و مکانی یخبندان و لغزندگی در جاده های هراز و فیروزکوه با استفاده از تکنیک GIS

دکتر قاسم عزیزی<sup>\*</sup> - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
مجید حبیبی نوخندان - عضو هیئت علمی پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو  
پذیرش مقاله: ۸۲/۴/۲

### چکیده

یخبندان و لغزندگی در جاده های کوهستانی شرایط بحرانی برای حمل و نقل جاده ای ایجاد می کند. مطالعات قبلی به افزایش سوانح در طول ماه های سرد سال (به ویژه به هنگام بارندگی و یخبندان جاده ها) اشاره دارند. در این مقاله دو هدف دنبال می شود: اول، تشریح روشی جهت تعیین احتمال وقوع وضعیتهای بحرانی یخبندان و لغزندگی (Np1-Np9) در طول جاده های هراز و فیروز کوه (از جاده های پرتراфик و کوهستانی کشور که استان های شمالی را از طریق ارتفاعات البرز به تهران ارتباط می دهد). دوم، تحلیل زمانی- مکانی یخبندان و لغزندگی با استناد به تحلیل های آماری و آنالیز آنها در توابع موجود در سیستم اطلاعات جغرافیایی. از مهم ترین دستاوردهای تحقیق آن است که در مناطق کوهستانی جاده های هراز و فیروزکوه با شروع دوره سرد (ماه اکتبر) احتمال وقوع یخبندان (Np5) و در مناطق ساحلی و کم ارتفاع احتمال لغزندگی (Np2) بسیار افزایش می یابد. واژگان کلیدی: یخبندان، لغزندگی، ماتریس N، روش ویبول، سیستم اطلاعات جوی و جاده ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

### مقدمه

توسعه روزافزون مرزهای دانش بشری و پیشرفت های شگفت انگیز در علوم مختلف، محققین را در جهت توسعه روش ها و تکنیک های مطالعاتی و ارائه دیدگاه های نوین از پیش به تکاپو واداشته است. بلایای جوی - اقلیمی از جمله یخبندان از مسائل مهم مورد توجه پژوهشگران در سال های اخیر بوده است. وسعت خسارات ناشی از وقوع این پدیده در بخش های مختلف از جمله کشاورزی، آب، تهیه و توزیع سوخت، جهانگردی و حمل و نقل لزوم مطالعه دقیق این پدیده را به منظور مقابله با خسارات احتمالی ضروری می سازد (مجرد قره باغ ۱۳۷۶).

<sup>\*</sup> E-mail: [ghazizi@ut.ac.ir](mailto:ghazizi@ut.ac.ir)

فلات ایران در جنوب باختری آسیا و در مدار ۲۵ تا ۴۰ درجه واقع شده است. از اینرو تحت تأثیر سیستم ها و توده های هوایی است که غالباً از غرب به سوی عرض های میانی روان هستند. برآیند عبور آنها در اکثر نقاط کشور به ویژه سلسله جبال البرز و زاگرس ابر ناکی، افت دما و بارش می باشد.

سرما می ناشی از ورود این توده های هوا به سرمای فرارفت (یخبندان وزشی) موسوم بوده و کاهش دمای شبانه به حدود صفر درجه سانتی گراد و کمتر، زمینه بروز نوع دیگری از یخبندان به نام یخبندان تابشی را ایجاد می کند.

عواملی که در بروز یخبندان مؤثرند در درجه اول به ویژگی های توده هوای عبوری، مبدأ توده هوا، ویژگی های مناطقی که در مسیر عبور توده هوا هستند و همچنین به وضعیت اقلیمی از قبیل دامنه تغییرات دما، رطوبت نسبی، اثرات محلی سمت و سرعت باد و تغییرات محلی ابرها در مناطق مورد مطالعه بستگی دارند (براتی ۱۳۷۵).

با گذر از موضوع عام یخبندان و انواع آن، لزوم بررسی پایگاه مکانی یخبندان و لغزندگی در این بخش به میان می آید که در این پژوهش هدف جاده ها و راه های ارتباطی است.

مهم ترین تغییرات مرتبط با شرایط جوئی در سیستم های حمل و نقل جاده ای، تغییرات فیزیکی است که در سطح جاده در نتیجه بارش ایجاد می شود. در سه دهه گذشته تحقیقات تجربی قابل توجهی در مورد تغییرات اصطکاک آسفالت جاده ها و تاثیر اتومبیل ها در شرایط بارندگی صورت گرفته که در بیشتر تحقیقات بر خیس و تر بودن سطح جاده در نتیجه ریزش باران توجه شده است (آندره ۲۰۰۰).

بررسی لغزندگی و اصطکاک سطح جاده ها مستلزم در دسترس بودن اطلاعاتی است که از میزان حضور آب در سطح جاده بدست می آید. دو جنبه مهم در این مبحث، ضخامت لایه آب سطحی و طول مدتی است که سطح جاده خیس یا تر بوده است. در هر دو حالت، مدل های رقومی موجود این شرایط را برآورد می کنند (دانلپ و همکاران ۱۹۷۶ هاروود و همکاران، ۱۹۸۸).

در این مدل ها علاوه بر حضور آب در سطح جاده، از اطلاعات بافت و ساختار آسفالت، سرعت اتومبیل ها، فشار و عکس العمل تایرها و دمای محیط نیز استفاده می شود (رز و گالوی ۱۹۷۷).

بنابراین اگر اطلاعات دقیقی از شرایط اقلیمی، جاده، ترافیک و وسایل نقلیه در دسترس باشد، امکان پیش بینی اثر بارندگی بر لغزندگی سطح جاده ها با دقت بیشتری بدست می آید. این امر در ایجاد زهکش های کنار جاده نقش مهمی ایفاء می کند (هیوبز و همکاران ۱۹۹۹).

از اواسط دهه ۱۹۸۰ پیشرفت هایی در زمینه پیش بینی وضع هوا، ارتباطات و سنجش از دور، کامپیوتر و فناوری های مهندسی بوجود آمد که نقش مؤثری در پیش بینی شرایط سطح جاده داشت. این فناوری ها ابتدا در اروپا و سپس در ایالات متحده آمریکا، کانادا و ژاپن گسترش یافت (رایر ۱۹۸۸، اسمیت ۱۹۸۸، تونز ۱۹۸۹). این فناوری ها را می توان در موارد ذیل خلاصه نمود:

۱- سنجنده های جوئی و جاده ای با اهداف اندازه گیری دید، ارتفاع برف، ضخامت لایه آب و میزان تمرکز مواد ذوب یخ در سطح جاده و همچنین خصوصیات جوئی (جهت و سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی، بارش و...)

۲- سنجنده هایی که بر روی وسایل نقلیه نصب می شوند و به صورت متحرک به اندازه گیری پارامترهای جوئی و جاده ای می پردازند (تهیه نقشه دمای سطح جاده از بخش های مختلف طول مسیر راه)؛

۳- مدل های پیش بینی رقومی جوئی - جاده ای؛

۴- سیستم اطلاعات جوئی - جاده ای پیشرفته<sup>۱</sup> که با استفاده از موارد فوق به خدمات رسانی می پردازد.

### از فوائد این سیستم می توان به موارد ذیل اشاره نمود(پیزانو ۲۰۰۰)

۱- تعیین زمان دقیق آغاز عملیات راهداری در ماه های سرد سال؛

۲- اطلاع رسانی جهت نحوه راهداری و کنترل ترافیک سالانه؛

۳- هشدار بلایای جوئی - جاده ای به صورت اتوماتیک و حتی ممانعت از حرکت برای رانندگان؛

۴- تهیه اطلاعات از دمای سطح جاده در نقاط معین؛

۵- قابلیت نصب شبکه پخش نمک در موقعیت های بحرانی با استفاده از اطلاعات این سیستم؛

۶- تهیه داده های اقلیمی از وضعیت منطقه و بکارگیری آن در برنامه ریزی و طراحی دقیق جاده در برابر شرایط نامساعد جوئی مثلاً کولاک برف و ...؛

۷- مهیا نمودن اطلاعات سفر برای عموم .

اریکسون و لیندکوئیست<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۲ به بررسی علل لغزندگی سطح جاده های سوئد به هنگام بارندگی و ریزش برف پرداختند. این شرایط معمولاً به هنگام عبور یک جبهه هوای گرم از روی منطقه ای که هوای سرد در آنجا حاکم بوده و دمای سطح جاده نیز زیر صفر درجه است، رخ می دهد. آنها با بررسی زمستان سال های ۹۹-۱۹۹۸ تعیین نمودند که این نوع لغزندگی عموماً از ماه نوامبر تا ماه مارس اتفاق می افتد. ماه اکتبر به جهت این که سطح جاده هنوز گرمای ماه های قبل را دارد و به دمای صفر درجه نرسیده و ماه آوریل به دلیل فراوانی تابش ورودی انرژی خورشیدی از شدت لغزندگی کمتری برخوردارند.

تغییرات توپوگرافی و ارتفاع جاده نقش بسیار مؤثری در نوسانات مکانی و زمانی تشکیل لغزندگی دارد؛ به طوری که توزیع مکانی دمای نزدیک به صفر درجه سانتی گراد، شرایط بحرانی جهت بروز لغزندگی را تسریع می بخشد (اریکسون و لیندکوئیست ۲۰۰۲).

گوستاوسون و بوگرن (۱۹۹۰) در مطالعه خود پیرامون الگوهای سینوپتیکی مؤثر بر لغزندگی جاده ای در جنوب سوئد به این نتیجه رسیدند که در ماه های سرد سال عبور جریان هوای گرم نقش بسیار مؤثری در ایجاد شرایط لغزندگی دارد. حال اگر سیستم اطلاعات جوئی - جاده ای دارای تراکم مناسبی از ایستگاه ها باشد، پیش بینی این وضعیت در هنگام تغییرات جوئی با دقت بسیار بالایی ممکن خواهد شد.

گوستاوسون و همکاران در سال ۱۹۹۸ نشان دادند که چگونه سیستم اطلاعات جغرافیایی توانایی مدل سازی شرایط اقلیم جاده ها را دارد. آنها احتمال بروز دماهای بحرانی زیر صفر درجه را با تغییرات توپوگرافی و کاربری زمین در شرایط مختلف جوئی بررسی نمودند.

1-Advanced Road Weather Information System( ARWIS)

2-Eriksson & Lindqvist

نورمن نیز در سال ۲۰۰۰ به بررسی توزیع مکانی لغزندگی با استفاده از یک روش طبقه بندی در جاده های جنوب سوئد پرداخت. بدین منظور با بهره گیری از اطلاعات ایستگاه های هواشناسی جاده ای، تپ های مختلف لغزندگی را استخراج کرد.

مناطق کوهستانی کشور در ماه های سرد سال، شرایط بحرانی جوئی و اقلیمی به ویژه لغزندگی و یخبندان های شدید را تجربه می کنند. این امر باعث بروز مشکلاتی در حمل و نقل جاده ای مانند افزایش سوانح و راهبندان های جاده ای می شود (حبیبی نوخندان و همکاران ۲۰۰۲).

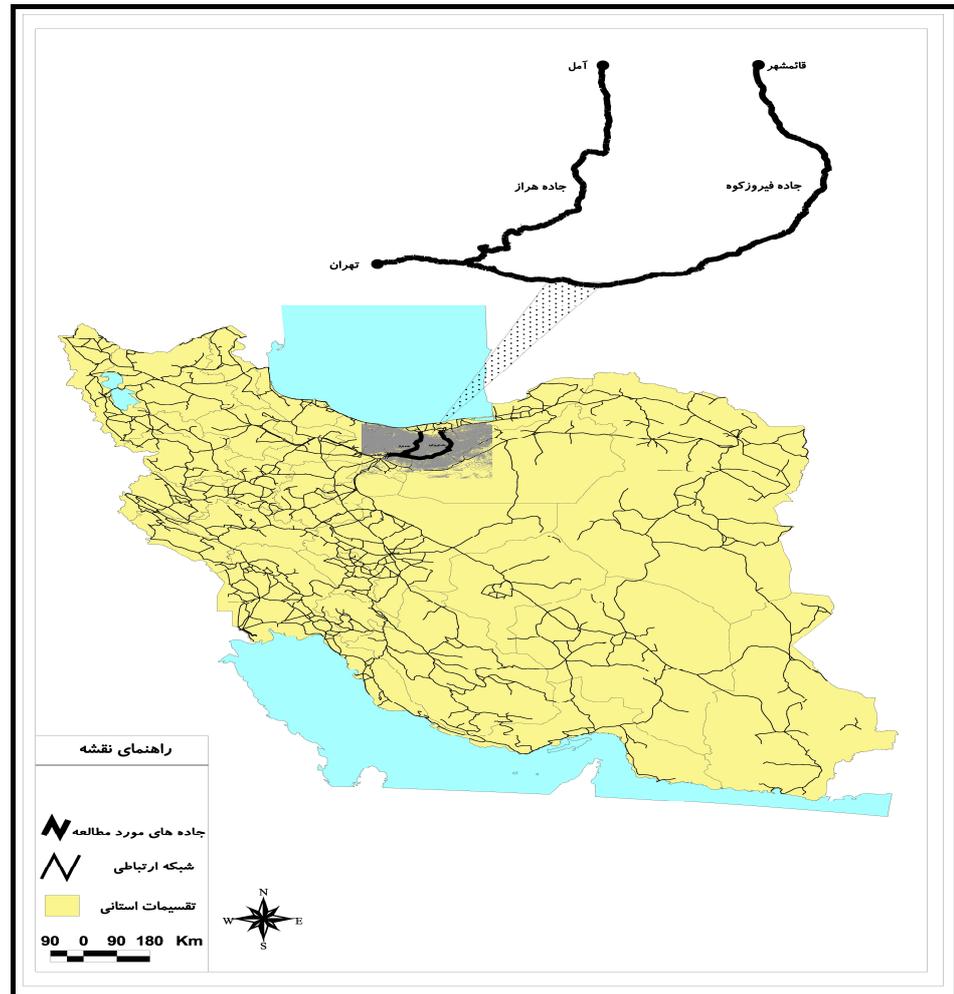
طول راه های برفگیر و صعب العبور در کشور حدود ۲۸۴۱۰ کیلومتر است که در مسیر خود از ۲۷۲ گردنه عبور می کند. در شرایط فعلی حفظ و نگهداری زمستانه راه ها از طریق ۵۰۰ پایگاه راهداری مستقر در این مناطق انجام می شود. عملیات راهداری و نگهداری راه ها در ماه های سرد سال از وسعت بیشتری برخوردار است و تا اواسط فروردین ماه که احتمال بارندگی های شدید و حتی ریزش برف وجود دارد، ادامه می یابد. وظیفه اصلی پایگاه های راهداری جلوگیری از راهبندان های جاده ای ناشی از ریزش های دامنه ای، بارش سنگین برف و یخبندان های گسترده است که این امر با اجرای عملیاتی چون برف روبی، نمک پاشی و همچنین کمک به رانندگان و مسافری محصور در راهبندان ها همراه است (بزازان ۱۳۷۱).

اخیراً به منظور ارزیابی و کنترل شرایط جوئی و جاده ای و همچنین اطلاع رسانی از وضعیت گردنه های صعب العبور کشور، پنج ایستگاه هواشناسی جاده ای در گردنه های امامزاده هاشم (جاده هراز)، گدوک (جاده فیروزکوه)، کندوان (جاده کرج - چالوس)، کوهین (جاده قزوین - رشت) و گردنه اسد آباد همدان (جاده همدان - کرمانشاه) در جنب راهدار خانه ها نصب و راه اندازی شده است. شایان ذکر است که مکان یابی آنها در کنار راهدارخانه ها به جهت دسترسی به امکاناتی چون آب، برق، تلفن و... بوده است.

## داده ها و روش کار

این مقاله به تشریح روشی جهت تعیین محدوده های بحرانی تحت تأثیر یخبندان و لغزندگی در طول جاده های هراز و فیروزکوه می پردازد. جاده های مذکور از پر ترافیک ترین جاده های کوهستانی ایران هستند که استان های شمالی کشور را از طریق ارتفاعات البرز به تهران ارتباط می دهند (شکل شماره ۱).

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی جاده های هراز و فیروز کوه در شبکه ارتباطی کشور



برای این منظور از اطلاعات ذیل در پژوهش حاضر استفاده شده است:

الف - نقشه پایه خطوط تراز ارتفاعی با مقیاس ۱/۲۵۰/۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح مربوط به منطقه مورد مطالعه؛

ب - آمار روزانه پارامترهای دما، بارش و رطوبت نسبی ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک آبدلی، فیروزکوه، اقدسیه (تهران شمال)، همدان آبرسد و قراخیل قائم شهر مربوط به دوره آماری ۹۹-۱۹۸۹.

با توجه به ویژگی خاص جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (که محدوده ای مابین مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی مناطق کوهستانی البرز و سواحل کم ارتفاع دریای خزر است)، جاده های هراز و فیروزکوه را می توان به سه بخش کوهپایه ای خشک و نیمه خشک جنوبی، کوهستانی نیمه خشک سرد مرکزی و منطقه مرطوب و کم ارتفاع شمالی تقسیم نمود. اطلاعات ایستگاه هایی که در این مطالعه مورد تجربه و تحلیل قرار گرفته به نحو مطلوبی گویای شرایط جوی و اقلیمی هر یک از مناطق فوق است؛ به طوری که در منطقه کوهپایه ای خشک و نیمه خشک از ایستگاه های اقدسیه و همدان آبرسد، در مناطق کوهستانی نیمه خشک سرد مرکزی البرز از ایستگاه های فیروزکوه و آبدلی و در منطقه ساحلی و مرطوب از اطلاعات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قراخیل قائم شهر استفاده شد.

ابتدا نقشه پایه خطوط تراز و راه های منطقه مورد مطالعه در محیط نرم افزاری ArcInfo رقومی شد که متعاقب آن نقشه های شیب، سایه، جهت و هیپسومتریک تهیه گردید.

آمار روزانه دما، بارش و رطوبت نسبی بنا به اهمیت ماه های سرد سال از روز اول ماه اکتبر تا پایان ماه آوریل به صورت روزشمار مرتب شد. این بانک اطلاعات در نرم افزار Access برای همه ایستگاه ها در طول دوره آماری تهیه گردید. سپس به منظور تعیین وضعیت اقلیمی هر یک از روزهای مورد مطالعه از ماتریس وضعیت های مختلف اقلیمی (جانسون ۲۰۰۲) استفاده شد.

جدول ۱- ماتریس وضعیت های مختلف اقلیمی (N)

بارش و رطوبت دما	عدم بارش و رطوبت نسبی کمتر از ۸۰ درصد	رطوبت نسبی بیشتر از ۸۰ درصد یا بارش ۱/۹-۰ میلی متر	بارش بیش از ۲ میلی متر
دما بیش از ۲ درجه سانتی گراد	N1 ■	N2 }	N3 }
دما بین ۲ تا ۶- درجه سانتی گراد	N4 •	N5 } ■	N6 } ■
دما کمتر از ۶- درجه سانتی گراد	N7 •	N8 } ■	N9 } ■

■ یخبندان • یخبندان بالقوه (عدم وجود رطوبت در محیط) } لغزندگی ■ بدون پدیده

جدول ۲- معرفی هر یک از وضعیت های اقلیمی N

N1: میانگین دمای روزانه بیش از ۲ درجه سانتی گراد و عدم وجود ریزش های جوی و رطوبت نسبی کمتر از ۸۰٪
N2: میانگین دمای روزانه بیش از ۲ درجه سانتی گراد به همراه مجموع بارش روزانه ۱،۹-۰ میلی متر و یا رطوبت نسبی بالای ۸۰٪
N3: میانگین دمای روزانه بیش از ۲ درجه سانتی گراد به همراه بارش روزانه بیش از ۲ میلی متر
N4: میانگین دمای روزانه بین ۲ تا ۶- درجه سانتی گراد به همراه رطوبت نسبی کمتر از ۸۰٪
N5: میانگین دمای روزانه بین ۲ تا ۶- درجه سانتی گراد به همراه رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪ یا بارش کمتر از ۲ میلی متر
N6: میانگین دمای روزانه بین ۲ تا ۶- درجه سانتی گراد به همراه بارش بیش از ۲ میلی متر
N7: میانگین دمای روزانه کمتر از ۶- درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی کمتر از ۸۰٪ (عدم بارش)
N8: میانگین دمای روزانه کمتر از ۶- درجه سانتی گراد به همراه رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪ یا بارش کمتر از ۲ میلی متر
N9: میانگین دمای روزانه کمتر از ۶- درجه سانتی گراد به همراه بارش بیش از ۲ میلی متر

بر اساس جدول شماره (۱) فراوانی هر یک از وضعیت ها به صورت روزانه و ماهانه محاسبه و استخراج شد و تعداد روزهایی که مربوط به هر یک از شرایط بودند، شمارش و ثبت گردید (جدول شماره ۳).

به منظور تعیین احتمال وقوع هر یک از وضعیت های اقلیمی از روش ویبول ( $P=m/n+1*100$ ) برای هر ایستگاه استفاده شد (جدول شماره ۴).

جدول ۳- مجموع سالانه فراوانی هر یک از وضعیت های N1-N9 طی دوره آماری ۱۹۸۹ - ۱۹۹۹

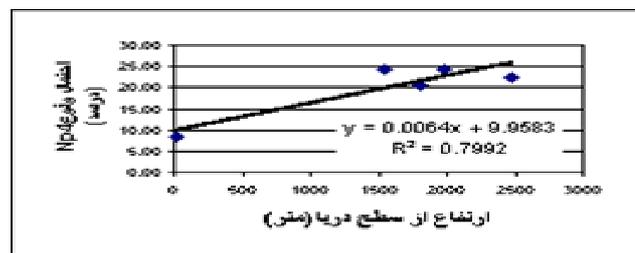
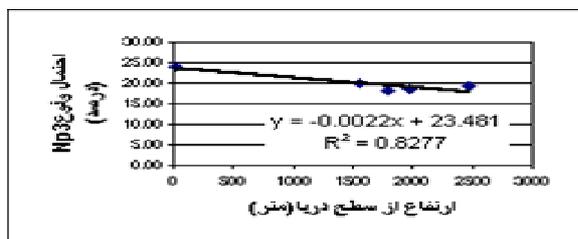
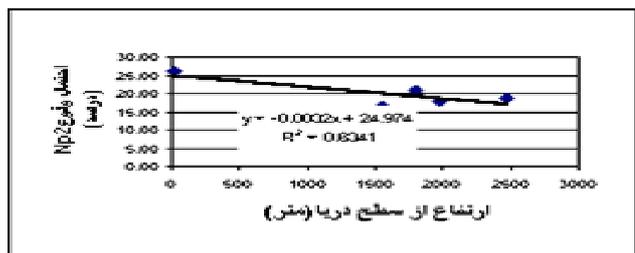
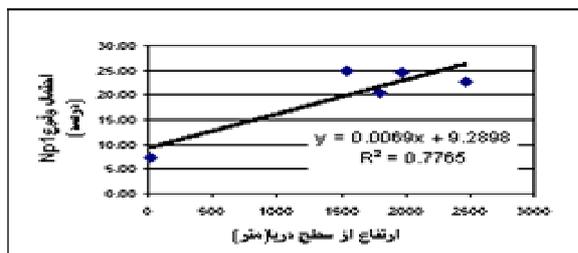
ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
آبعلی	35.75	51.88	2465.2	527	612	485	1749	1933	1683	417	566	429
اقدسیه	35.78	51.62	1548.2	1193	1108	1027	1941	1878	1729	59	87	56
فیروزکوه	35.92	52.83	1975.6	155	156	127	2030	1881	1813	711	687	662
قائم شهر	36.45	52.77	14.7	401	1939	1378	528	2111	1700	0	1173	0
همند آبرسد	35.65	52.08	1800	615	889	592	1620	2017	1797	311	607	381

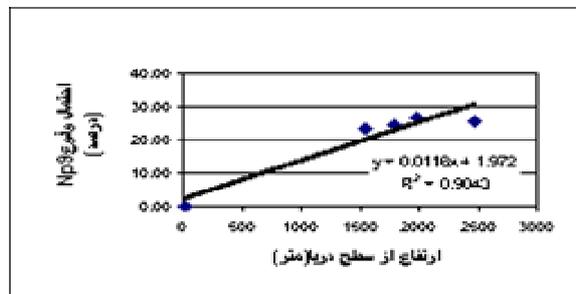
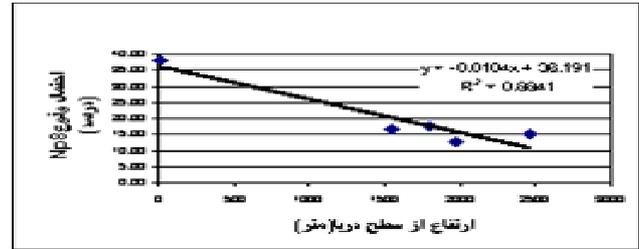
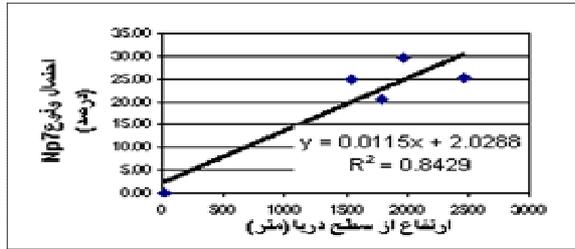
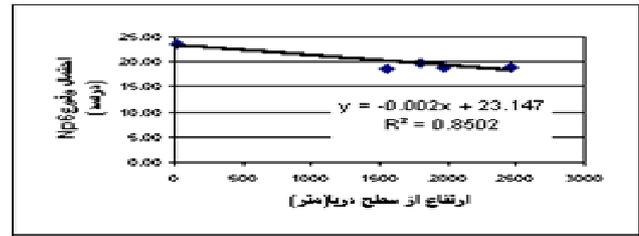
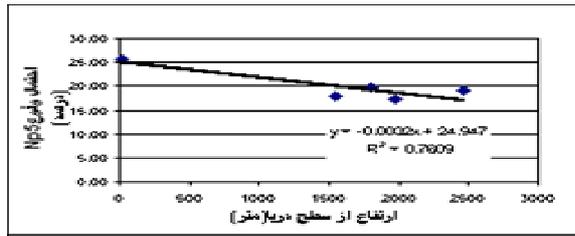
جدول ۴- احتمال وقوع هر یک از شرایط N در ایستگاه های مورد مطالعه طی دوره ۱۹۸۹ - ۱۹۹۹

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	Np1	Np2	Np3	Np4	Np5	Np6	Np7	Np8	Np9
آبعلی	35.75	51.88	2465.2	22.57	18.73	19.26	22.48	19.11	18.85	25.20	15.23	25.41
اقدسیه	35.78	51.62	1548.2	24.93	16.55	19.91	24.12	17.96	18.72	24.92	16.36	23.19
فیروزکوه	35.92	52.83	1975.6	24.61	17.71	18.70	24.45	17.43	19.03	29.45	12.67	26.88
قائم شهر	36.45	52.77	14.7	7.50	25.93	23.91	8.39	25.81	23.54	0.00	37.99	0.00
همند آبرسد	35.65	52.08	1800	20.40	21.08	18.22	20.56	19.69	19.87	20.43	17.75	24.53

پس از محاسبه احتمال وقوع هر یک از وضعیت های جوی طی دوره آماری در ایستگاه های مورد مطالعه، به تعیین میزان همبستگی بین هر یک از وضعیت ها با ارتفاع ایستگاه ها پرداخته شد (شکل شماره ۲).

شکل ۲- روابط بین هر یک از احتمالات با ارتفاع ایستگاه های مورد مطالعه (سالانه)





جدول ۵- نتایج روابط هر یک از وضعیت های مختلف Np1-Np9 با ارتفاع

Np9	Np8	Np7	Np6	Np5	Np4	Np3	Np2	Np1	رابطه با ارتفاع
•		•			•		*	•	مستقیم
	•		•	•		•	*		معکوس

\*رابطه معنی دار نیست

پس از محاسبه ضریب همبستگی داده های سالانه، با توجه به اهمیت بررسی توزیع زمانی به تعیین میزان همبستگی ارتفاع و وضعیت های جوئی در ماه های اکتبر تا آوریل دوره آماری ۱۹۹۸ - ۱۹۹۹ پرداخته شد.

جدول ۶- ضرایب همبستگی ماهانه بین ارتفاع و وضعیت های مختلف اقلیمی در طول دوره بررسی

NP9	NP8	NP7	NP6	NP5	NP4	NP3	NP2	NP1	
0.06	0.06	0.06	0.76	0.85 -	0.85 +	0.45	0.86 -	0.04	اکتبر
0.3	0.57	0.5	0.02	0.75	0.57	0.47	0.61	0.35	نوامبر
0.54	0.71	0.25	0.04	0.42	0.26	0.96 -	0.88 -	0.33	دسامبر
0.71	0.86 -	0.13	0.29	0.32	0.2	0.42	0.67	0.04	ژانویه
0.68	0.85 -	0.06	0.003	0.51	0.12	0.81 -	0.38	0.08	فوریه
0.7	0.93 -	0.16	0.11	0.31	0.18	0.67	0.45	0.05	مارس
0.2	0.007	0.72	0.82 -	0.62	0.63	0.005	0.003	0.41	آوریل

- رابطه معکوس

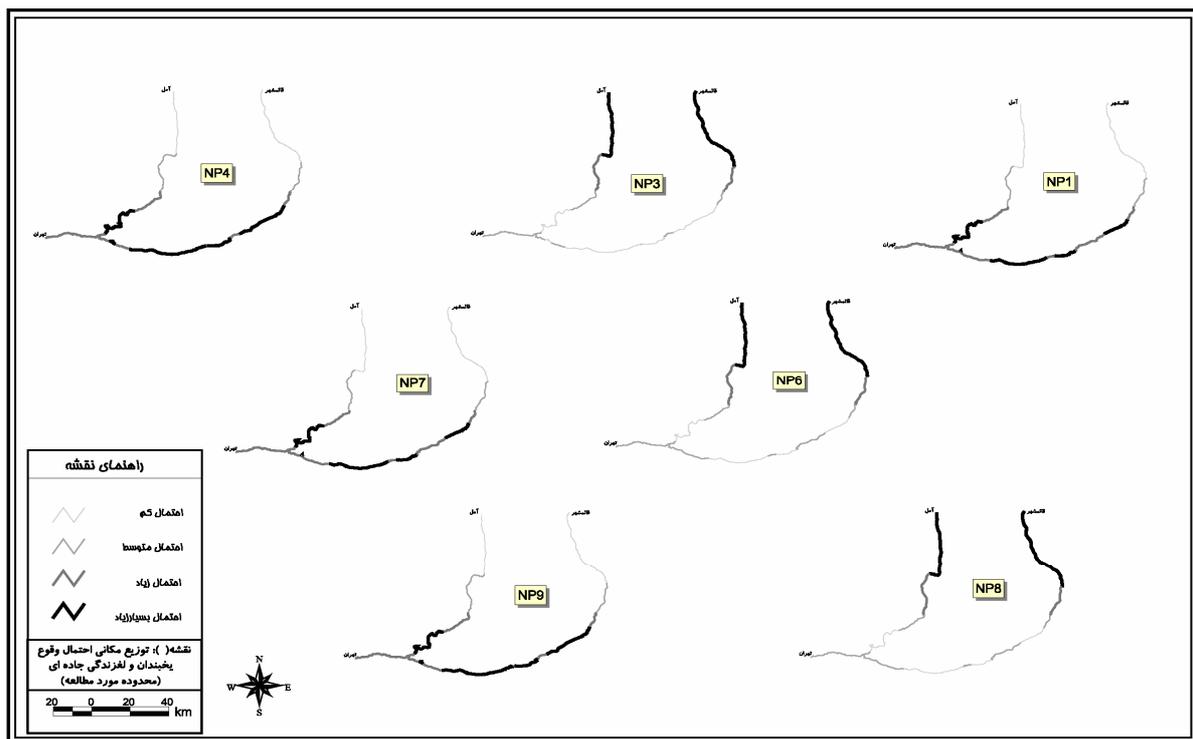
+ رابطه مستقیم

با فرض وجود تغییرات شرایط جوئی در هر بخش از مسیر جاده و همچنین با محاسبه همبستگی و روابط فیمابین وضعیت های مشاهده شده جوئی- اقلیمی با ارتفاع در محدوده مورد مطالعه، به منظور تحلیل فضایی و زمانی این شرایط در طول راه های مورد مطالعه از محیط نرم افزاری ArcView استفاده شد. ابتدا با استفاده از آنالیز روابط آماری برآورد شده در توابع تحلیل فضایی<sup>۱</sup> به تعیین محدوده های احتمالی هر یک از وضعیت های جوئی در ارتباط با لایه رقمی ارتفاعی پرداخته شد.

سپس با ترانسفرم پهنه ای بدست آمده خطی (ارتباط داده های پهنه ای به جاده های هراز و فیروزکوه) از طریق روابط موجود در سیستم اطلاعات جغرافیایی، محدوده های بحرانی لغزندگی و یخبندان در جاده های هراز و فیروزکوه مشخص شد (شکل شماره ۳).

### 1-Spatial Analysis

شکل ۳- محدوده های احتمال وقوع وضعیت های مختلف جوئی (یخبندان و لغزندگی) در جاده های هراز و فیروزکوه



### شرح و تفسیر نتایج

بر اساس ماتریس N احتمال وقوع شرایط بحرانی (یخبندان و لغزندگی) در مناطق مختلف جاده های هراز و فیروزکوه تعیین می گردد. بطوریکه با بررسی های بعمل آمده مشخص شد که در بخش های کوهستانی محدوده مورد مطالعه احتمال بروز شرایطی چون: Np1, Np4, Np7, Np9 و در بخش های ساحلی و مرطوب شمالی Np3, Np5, Np6, Np8 بیشتر است.

مطابق نتایج بدست آمده در جدول شماره (۵)، Np2 رابطه معنی داری با ارتفاع ندارد. همچنین مشخص شد که Np1, Np4, Np7, Np9 رابطه مستقیم و Np3, Np5, Np6, Np8 رابطه معکوسی با ارتفاع دارند. این مسئله مؤید آن است که در طول ماه های سرد سال (اکتبر تا آوریل) در مناطق کوهستانی شرایط بالقوه ای برای تشکیل یخبندان وجود دارد و در صورت حضور ریزش های جوئی، یخبندان بوقوع می پیوندد (Np9) و در مناطق کم ارتفاع ساحلی نیز شرایط لغزندگی کاملاً مهیا است و در صورت افت دما با پدیده یخبندان مواجه خواهند شد. (Np8) که پیرو آن در ماه اکتبر Np4 و Np8 و در ماه ژانویه Np3 رابطه معنی داری با ارتفاع داشتند.

بر اساس جدول شماره (۴) احتمال وقوع Np7 و Np9 در ایستگاه ساحلی قراخیل قائم شهر بسیار پایین بوده و این در حالی است که احتمال وقوع Np8 در این محدوده بسیار بالا برآورد شده است. این مسئله بیانگر آن است که در این محدوده (کم ارتفاع ساحلی) احتمال بروز رطوبت نسبی کمتر از ۸۰ درصد به همراه دمای زیر صفر درجه سانتیگراد (Np7) و یا بارش بیش از دو میلی متر به همراه دمای زیر صفر درجه سانتی گراد (Np9) کمتر می باشد و در عوض شرایط غالب جوئی در این منطقه طی ماه های سرد سال، رطوبت نسبی بالاتر از ۸۰ درصد یا بارش کمتر از دو میلی متر به همراه دمای زیر صفر درجه سانتی گراد است (Np8). این در حالی است که در مناطق کوهستانی از نظر زمانی کمتر شاهد افزایش رطوبت نسبی و یا بارش به همراه دماهای بسیار پایین می باشیم و لذا رابطه Np8 با ارتفاع معکوس می باشد. در بخش ساحلی کمتر شاهد دماهای زیر صفر درجه به همراه رطوبت نسبی کمتر از ۸۰٪ هستیم و از اینرو Np7, Np9 رابطه مستقیمی با ارتفاع دارند و در مناطق کوهستانی بیشتر شاهد این شرایط خواهیم بود.

همان طور که در شکل شماره (۵) ملاحظه می شود، Np9 که مؤید احتمال وقوع یخبندان شدید در طول جاده های هراز و فیروزکوه است، حدود ۴۰ کیلومتر از قطاع کوهستانی جاده هراز (از مجموع ۱۶۰ کیلومتر) از دهکده آبدلی تا منظره را به خود اختصاص داده و در جاده فیروزکوه به دلیل امتداد این جاده در دره های ارتفاعات البرز، وسعت بیشتری (حدود ۱۰۰ کیلومتر) از این مسیر تحت تأثیر (Np9) یخبندان های شدید در ماه های سرد سال قرار می گیرد. این مسئله تأییدی بر اثرات محلی (خرد مقیاس) دره ها بر ایجاد شرایط حاد است؛ چرا که دره ها به جهت سایه گیر بودن (اثرات پناهگاهی) و زهکشی هوای سرد ارتفاعات (جریانات کاتاباتیک)، دماهای بحرانی و یخبندان بیشتری را تجربه می کنند (گاستاوسون و همکاران ۱۹۹۸).

پس از این مرحله و تعیین روابط هر یک از احتمال وقوع وضعیتهای جوئی با ارتفاع، بنا به اهمیت توزیع زمانی برای هر یک از ماه های مورد مطالعه (اکتبر تا آوریل) به تعیین معنی داری روابط بین ارتفاع و وضعیتهای مختلف جوئی در این ماه ها پرداخته شد (جدول شماره ۶). در این ارتباط به جز ماه نوامبر، در دیگر ماه ها رابطه معنی دار با ارتفاع مشاهده می شد. در همه وضعیتهای به جز Np4، در ماه اکتبر رابطه معکوسی بین متغیرهای مورد مطالعه وجود داشت. علت امر را می توان در این مسئله دانست که در این ماه از سال هوای سرد کم کم جایگزین هوای دوره گرم سال می شود و در بخش وسیعی از جاده های مورد مطالعه (به ویژه مناطق کوهستانی و کوهپایه ای مرکزی و جنوبی) هنوز بارندگی و رطوبت نسبی بالا غالب نشده و تنها محدوده ساحلی در این ماه بارندگی فراوانی دارد. شایان ذکر است که در همین ماه از سال در مناطق کوهستانی دمای زیر صفر به همراه رطوبت نسبی پایین بیشتر مشاهده می شود و لذا Np4 در این ماه از سال رابطه مستقیمی با ارتفاع داشته است.

در ماه فوریه نیز اهمیت ریزش های جوئی در بخش های ساحلی و کم ارتفاع مسیرهای مورد مطالعه همچنان قابل توجه است. از اینرو وضعیت  $Np3$  که مؤید شرایط حضور بارش بالاتر از دو میلی متر و دمای بالاتر از دو درجه است، رابطه معکوسی را با ارتفاع نشان می دهد.

در پایان با عنایت به این که نوسانات مکانی و زمانی یخبندان لغزندگی جاده ها تحت تأثیر فاکتورهای محیطی و اقلیمی در مقیاس خرد است؛ از اینرو در صورت شناخت و آگاهی بیشتر از این نوسانات، ارتباط آن با ویژگی جغرافیایی، توانایی بیشتری در تعیین مناسب ترین نقاط جهت استقرار ایستگاه های هواشناسی جاده ای ایجاد می کند. از دیگر دستاوردهای این پژوهش آن است که در مطالعات ساخت و توسعه راه های جدید و برنامه ریزی راهداری و ایمنی راه ها می بایست به وضعیت توپوگرافی و اقلیم منطقه توجه ویژه ای نمود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از رساله دکتری تحت عنوان «آب و هوا و ایمنی جاده های کوهستانی - مطالعه موردی جاده های هراز و فیروزکوه» است و لذا بر خود فرض می داند. از زحمات اساتید محترم مشاور آقایان دکتر حسینمراد محمدی و دکتر بهلول علیجانی قدردانی کند.

### منابع و مآخذ:

- ۱- براتی، غلامرضا(۱۳۷۵)، مطالعه الگوهای سینوپتیکی موثر بر یخبندانهای بهاره ایران، رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- بزازان، محمود(۱۳۷۱)، راهداری و روشهای نگهداری راهها، انتشارات مرکز تحقیقات و مطالعات راه و ترابری.
- ۳- مجرد قره باغ، فیروز(۱۳۷۶)، تحلیل و پیش بینی یخبندان آذربایجان، رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
4. Andrey, J. , Mills, B. , Vandermolen, J.(2001) Weather Information and Road Safety, A Report to the Institute for Catastrophic Loss Reduction, University of Western Ontario.
5. Dunlap, D.F et al (1976). Pavement Skid Resistance Requirement. Transportation Research Record 584:15-21
6. Eriksson, M. and Lindqvist , S.(2002). Regional Influence on Road Slipperiness During Winter Precipitation Events , II th International Road Weather Conference, Sapporo,Japan
7. Gustavsson , T. Bogren , T . (1990). Road Slipperiness During Warm Air Advection, Meteorological Magazine, 119: 267-270
8. Gustavsson , T. Bogren , T and Eriksson , M.(1998).GIS as a Tools for Planning New Road Stretches in Respect of Climatological Factors, Theoretical Appl Climatol 60: 179-190
9. Habibi Nokhandan, M. Alijani, B, Jamali, J.(2002). Case Study of the Effects of Weather conditions on mountainous Road Safety, XI th International Winter Road Congress, Japan
10. Harwood, D.W. et al (1998). Estimation of Wet Pavement Exposure from available Weather records
11. Huebner , R. D., et al (1999). Proposed Design Guidelines for reducing Hydroplaning on New and Rehabilitated pavements, Research Results Digest 243, National Cooperative Highway Research Program.

12. Johansson, O. (2002). Accidents, Speed and Salt Consumption on Road in winter, XI th International Winter Road Congress, Japan
13. Norrman, J. (2000). Local Climatological Studies with Emphasis on Road Slipperiness, Unpubl. PhD Thesis A50. Dept. of Earth Science, Gothenburg University, Sweden
14. Pisano, p.(2002). Road Weather Management; Better information and improve operations, Save Lives, Federal Highway Administration
15. Rayer, P.J (1987). The Meteorological Office Forecast Road Surface Temperature Model, Meteorological Magazine, 116: 181-191
16. Rose, J.G and Galloway, B.M. (1977). Weather Depth Influence on Pavement Friction. Transportation Engineering journal, 130:491-506
17. Smith,K. (1988). Highway Meteorology come to Scotland, Scottish geographical Magazine 104:123-125
18. Thornes, J.E. (1989). A Preliminary Performance can Benefit Analysis of the UK national Road ice prediction system, meteorological Magazine 118: 93-99