



تحلیل تأثیرات فصلی شرایط اقلیمی بر حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک در آزادراه‌ها با تطابق زمانی پارامترهای آب و هوایی و اطلاعات ترددشماری

چکاوک عطرچیان^۱، میثم عفتی^{۲*}، محمود داودی^۲

۱- دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران
۲- دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۲
بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۰۱
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴
ارائه آنلاین: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰

کلمات کلیدی:

تغییرات فصلی
شاخص‌های آستانه‌ای
حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک
آزادراه
تحلیل آماری

خلاصه: تغییرات احتمالی روی داده در الگوهای ترافیکی در امتداد یک قطعه راه تابع عوامل بی‌شماری است. یکی از عوامل مؤثر بر حجم ترافیک، آب و هوا می‌باشد. لذا هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر پارامترهای آب و هوایی من جمله متغیرهای دید افقی، سرعت باد، بارش باران، عمق برف و درجه حرارت بر حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک به تفکیک فصول مختلف سال در محور برون‌شهری لوشان- قزوین می‌باشد. در این پژوهش، آمار ترددشماری و هواشناسی در سه قطعه مجزی مورد آزمون واقع شده است. به منظور تحلیل آماری بررسی وجود تفاوت میان گروه‌بندی‌های متفاوت آب و هوایی با تعداد وسیله نقلیه سبک عبوری، از آزمون‌های آماری یو-من ویننی و یا کروسکال والیس استفاده شده است. به علاوه جهت بررسی وجود ارتباط میان تلفیق دو متغیر آب و هوایی با حجم ترافیک به تفکیک در قطعات مورد مطالعه از آزمون تحلیل واریانس دو طرفه استفاده شده است. نتایج نشان داد که میزان تردد در تمامی قطعات با کاهش میزان دید، به طور متوسط حدود ۱۸ درصد کاهش یافته است. افزایش میزان بارش باران نیز تنها در فصول گرم‌تر بهار و تابستان منجر به کاهش حجم ترافیک گشته است. نتایج تحلیل آماری بررسی اثر تلفیقی دو به دو متغیرهای هواشناسی بر میزان تردد نیز به طور کلی نشان داد که در قطعه کوهین- محمودآباد نمونه تلفیق دو حالت بارش و برف و برف همراه با وزش باد تأثیرگذار بوده است. خروجی‌های روش پیشنهادی ضمن آشکارسازی تغییرات تردد در آزادراه مورد مطالعه تحت شرایط آب و هوایی متفاوت، اطلاعات سودمندی را جهت مدیریت و برنامه‌ریزی حجم ترافیک و انجام امور پیشگیرانه در شرایط مشابه در اختیار متولیان مربوطه قرار می‌دهد.

۱- مقدمه

و تعداد تصادفات می‌گردد و به طور قابل توجهی بر عملکرد سیستم حمل و نقل تأثیر می‌گذارد [۳]. تمامی استفاده‌کنندگان از راه تحت تأثیر تأخیرهای ناشی از شرایط مختلف آب و هوایی از جمله باران، برف، یخبندان و یا مه قرار دارند [۴]. برآوردهای آماری نشان می‌دهد که شرایط آب و هوایی، سالانه منجر به ۵۴۴ میلیون ساعت تأخیر وسیله نقلیه می‌گردد. سازمان حمل و نقل هر ساله ۲/۳ میلیارد دلار که حدود ۲۰ درصد از میزان بودجه سالیانه می‌باشد را به نگهداری راه‌ها در فصل زمستان جهت کاهش در میزان تأخیر اختصاص می‌دهد [۵]. همچنین در مطالعات ایمنی جاده‌ای، اثرات جوی به عنوان عامل محیطی قابل توجه در ایجاد خطر و وقوع تصادفات جاده‌ای شناخته شده است [۶]. گزارشات حاکی از آن است که به طور متوسط هر ساله بیش از ۵,۷۴۸,۰۰۰ تصادف خودرو رخ می‌دهد که تقریباً ۲۲ درصد از این تصادفات که حدوداً ۱ میلیون و ۲۵۹ هزار مورد می‌باشد، مرتبط با آب و هوا می‌باشند [۵].

امروزه طیف وسیعی از عوامل بر الگوهای ترافیکی اثرگذار است. شرایط آب و هوایی یکی از مؤثرترین و رایج‌ترین متغیرها بر ترافیک می‌باشد بی‌شک شرایط نامساعد آب و هوایی، حجم ترافیک را دستخوش تغییراتی می‌کند. یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مردم به ویژه در مسیرهای برون‌شهری، آگاهی از میزان حجم ترافیک در شرایط آب و هوایی متغیر از جمله بارش برف، باران و غیره می‌باشد که این مسئله زمان سفر را تحت تأثیر قرار خواهد داد [۱]. در دهه گذشته شناسایی تغییرات اقلیمی در رأس برنامه‌های سیاسی بوده است و سازمان‌های بسیاری کوشش نموده‌اند تا تأثیر تغییرات شرایط آب و هوایی را بر زندگی روزمره و آینده تعیین نمایند [۲]. رویدادهای آب و هوایی مانند باران، مه و برف می‌توانند تأثیرات جدی بر تحرک و ایمنی کاربران سیستم حمل و نقل داشته باشند. این وقایع منجر به افزایش مصرف سوخت، تأخیر

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Meysamefati@guilan.ac.ir



بر اساس مراجع مربوطه، یافته‌ها حاکی از آن است که کشف ارتباط میان متغیرهای هواشناسی و حجم ترافیک با هدف کاهش میزان تأخیر، بهبود ایمنی حمل و نقل و افزایش میزان کارایی در واکنش به تغییرات ناگهانی شرایط آب و هوایی که از اهداف اصلی متولیان حمل و نقلی به شمار می‌آید، امری ضروری می‌باشد. بنا بر نتایج تحقیقات گذشته، از جمله کاستی‌های مطالعات صورت گرفته در این زمینه این است که تأثیر شرایط جوی بر سیستم‌های حمل و نقل عموماً بدون بازه‌بندی مقادیر عددی متغیرهای آب و هوایی توصیف شده که ممکن است برخی از سردرگمی‌ها را ایجاد نماید. اکثر مطالعات موجود، شرایط آب و هوایی را صرفاً به صورت کیفی تفسیر نموده و به توصیف پارامترهای عینی قابل اندازه‌گیری پرداخته‌اند. که این مسئله توضیح و مقدارسنجی تأثیر چنین شرایطی بر سیستم‌های حمل و نقل و کاربران آن‌ها را دشوار می‌سازد. بدین معنا که غالب مطالعات انجام شده صرفاً به بیان کلی افزایش و یا کاهش حجم ترافیک تحت تأثیر شرایط آب و هوایی پرداخته‌اند. لذا محققان از طرح‌های مختلف طبقه‌بندی برای شرایط آب و هوایی استفاده نموده‌اند [۷]. بنابراین توزیع احتمال وقایع ناگوار ناشی از شرایط آب و هوایی را می‌توان با استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌ها ارزیابی نمود. برای این منظور، شاخص‌های آستانه‌ای برای پدیده‌های مختلف آب و هوایی با در نظر گرفتن تأثیر آن در تمام بخش‌های حمل و نقل تعریف می‌شود [۸]. اخیراً با شدت یافتن تغییر الگوهای آب و هوایی، نیاز به روشی مؤثر و قابل اطمینان جهت مقدارسنجی آمار هواشناسی به منظور تجزیه و تحلیل جریان ترافیک اجتناب‌ناپذیر می‌باشد [۹]. امروزه تجزیه و تحلیل عددی و ارائه نتایج کمی، بخش ضروری اکثر پژوهش‌ها می‌باشد. به بیانی دیگر، نیاز به تأیید نتایج در طول فرآیند طراحی بسیار مهم است تا بتوان به روش و رویکرد تحقیق اعتماد کرد و طراحان به یافته‌های برآورد شده اطمینان داشته باشند [۱۰]. بر همین مبنا پژوهش حاضر با هدف ارائه نتایج عددی و کمی و بیان مقادیر عددی تغییرات حجم ترافیک (افزایش و یا کاهش) در شرایط مختلف آب و هوایی در قطعات مورد بررسی، انجام شده است.

با استناد به آیین‌نامه ایمنی راه‌ها، به علت افزایش تراکم خودروها در شرایط آب و هوایی نامناسب، علاوه بر در نظر گرفتن امنیت جاده، بررسی کارکرد ایمن خودرو، آمادگی راننده و برنامه‌ریزی‌های لازم برای زمان جهت رسیدن به مقصد، ضروری به نظر می‌رسد [۱۱]. به عبارت دیگر شناسایی روابط بین این عوامل و به کارگیری شیوه‌های مناسب برای مدیریت و کنترل ترافیک، مهم و حیاتی است. شناخت این تعاملات، اساس شناسایی اجزای

کلیدی سامانه حمل و نقل ایمن را تشکیل می‌دهد. طبق گزارشات تشریح شده در کتاب آب و هوا و ایمنی جاده‌ها، تردد در بعضی راه‌ها و گذرگاه‌های ایران به صورت یک مشکل حاد در آمده که برای رفع این بحران‌ها، مطالعات هواشناسی جاده‌ای مناسب با مقتضیات این موضوع تشخیص داده شده است. لازم به ذکر است که طبیعت هر یک از این گذرگاه‌ها دارای عوامل هواشناختی متفاوتی بوده که با مطالعه و بررسی شرایط ویژه جوی و اقلیمی هر منطقه و کسب تجربه می‌توان مواردی را به صورت یک الگو در جمیع جهات اقلیمی این مناطق مشخص و تدوین نمود [۱۲].

تراکم ترافیک در شرایط مختلف آب و هوایی و تبعات پس از آن، طبق اظهارات پلیس راهور و آیین‌نامه ایمنی راه‌های کشور (نشریه ۲۶۷) و مفاد مطالعات رفرنس [۱۲] تحت عنوان «آب و هوا و ایمنی جاده‌ها»، شامل هزینه‌های گزاف ناشی از مشکلات اقتصادی وارده، افزایش زمان سفر، هزینه‌های تعمیر و نگهداری راه‌ها و افزایش مصارف انرژی و سوخت و متعاقباً افزایش آلودگی‌های صوتی و هوا و موارد دیگری که در آینده قابل جبران نیست، لزوم ایمن‌سازی راه‌ها و حفظ سلامت و ایمنی کاربران استفاده کننده از آن جهت اتخاذ تصمیم‌گیری به منظور تردد در شرایط مختلف آب و هوایی را بسیار با اهمیت می‌نماید [۱۳-۱۱]. با استناد به توصیه‌های پیشگیرانه پلیس راهور و آیین‌نامه ایمنی راه‌های کشور (نشریه ۲۶۷) با تجهیز جاده‌ها به سیستم هشدار جاده‌ای و اطلاع‌رسانی شرایط آب و هوایی با استفاده از سامانه برخط می‌توان با الگوگیری از نتایج این پژوهش، در شرایط آب و هوایی مشابه و با آگاهی از حدود احتمالی تقریبی تغییرات حجم ترافیک، آمادگی‌های لازم جهت اجرا اقدامات مورد نیاز را پیش از موعد، برنامه‌ریزی نمود. از مهم‌ترین فواید آن بر اساس کتاب آب و هوا و ایمنی جاده‌ها می‌توان به اطلاع‌رسانی نحوه راهداری و کنترل ترافیک، بیان نیاز به هشدار و حتی ممانعت حرکت رانندگان در طول مسیرهای ارتباطی و جلوگیری از خطرات احتمالی و کاهش زمان سفر اشاره نمود. لذا بررسی تأثیرات آب و هوا بر واکنش استفاده کنندگان از راه نسبت به تغییرات در حجم وسایل نقلیه عبوری به منظور ارزیابی جنبه‌های کاربردی عملکرد ترافیک و ایمنی راه‌ها در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی حمل و نقل، الزامی می‌باشد [۱۳-۱۱]. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، تلفیق و تطبیق زمانی و مکانی آمار هواشناسی با میزان تردد وسایل نقلیه سبک در آزادراه‌ها جهت تحلیل و سنجش تأثیر کمی حد آستانه‌های متغیرهای هواشناسی و شناسایی ارتباط میان بازه‌ها و شرایط مختلف پارامترهای آب و هوایی با حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک، ضمن بررسی اثر تلفیقی دودویی پارامترهای آب و هوایی

میزان تردد کاسته شده است [۱۵]. در این راستا انجل و همکاران (۲۰۱۴) بر بررسی تأثیر بارش باران بر عملکرد جریان ترافیک در آزادراه‌های واقع در جنوب شرقی آمریکا تمرکز نمودند. در این پژوهش از آزمون آماری پارامتریک تی برای مدل طبقه‌بندی شده بارش باران به دو گروه بارش و بدون بارش و آزمون آنالیز واریانس برای مدل طبقه‌بندی شده بارش باران به ۴ گروه شامل بدون بارش، بارش سبک، بارش متوسط و بارش سنگین استفاده گردید. نتایج به طور کلی حاکی از آن بود که متوسط حجم ترافیک در امتداد قطعات مورد مطالعه در محدوده ۲/۵ الی ۱۲/۵ درصد کاهش می‌یابد [۱۶]. آندره نیز در مطالعه اخیر خود در سال ۲۰۱۹، به بررسی اثر بارش در آزادراه‌های فلوریدا پرداخت. تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی، کاهش در سرعت به میزان ۰/۷۵، ۱/۵۴ و ۲/۲۵ درصد را به ترتیب برای گروه‌های بارندگی سبک، متوسط و شدید نشان می‌دهد [۹]. از آنجایی که توزیع احتمال رویدادهای آب و هوایی را می‌توان با استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌ها ارزیابی نمود لذا جوگا و واجدا (۲۰۱۲) به طور خاص به بررسی احتمال وقوع کولاک ضمن لحاظ شاخص‌های آستانه‌ای در فصول سرد پرداخته‌اند. حد آستانه‌های پیشنهاد شده در این مطالعه جهت تخمین احتمال وقوع کولاک، شامل میزان بارش برف بیش از ۱۰ سانتی‌متر، درجه حرارت یخبندان (کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد) و وزش باد با سرعت بیش از ۱۷ متر بر ثانیه می‌باشد [۸]. به علاوه یکی از نتایج به دست آمده تحقیق انجام شده توسط دهمان و دراکوپولوس (۲۰۱۷) حاکی از بروز واکنش متفاوت کاربران راه در هنگام رویارویی با شرایط آب و هوایی در فصول مختلف می‌باشد. بدین صورت که بارش برف سبک به عنوان مؤثرترین پارامتر بر تقاضای ترافیک در فصل پاییز معرفی گردید. این در حالیست که در فصول زمستان و بهار به ترتیب از میزان اثربخشی آن کاسته شده است. تأثیر بارش باران نیز تنها در فصل تابستان قابل توجه می‌باشد. همچنین در سایر فصول به ویژه فصل زمستان، به نظر می‌رسد که استفاده کنندگان از راه، بارش باران را در مقایسه با بارش برف به عنوان شرایطی مساعد در نظر گرفته و لذا اثربخشی آن به میزان چشمگیری در فصول سرد کاهش یافته است [۱۷]. بررسی مطالعات پیشین انجام شده در زمینه شرایط آب و هوایی و الگوهای ترافیکی حاکی از آن است که اولاً تمرکز عمده مطالعات صورت گرفته بر روی سنجش تأثیر آب و هوا در شرایط بارش برف و یا باران در فصل زمستان بر حجم ترافیک بوده است و متغیرهای آب و هوایی تأثیرگذار دیگر نظیر درجه حرارت، دید افقی و سرعت باد و غیره کمتر لحاظ شده‌اند. به عبارت دیگر به بررسی زیر مجموعه‌های سایر متغیرهای آب و هوایی در فصول

بر حجم ترافیک به تفکیک قطعات و بعضاً لحاظ تغییرات فصلی در سال‌های آماری ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۷ از طریق به کارگیری تحلیل‌های آماری شامل آزمون‌های یو-من‌ویتنی^۱، کروسکال والیس^۲ و آزمون تحلیل واریانس دو طرفه^۳ است. روش پیشنهادی تحقیق در آزادراه چهار خطه لوشان- قزوین که محوری برون‌شهری واقع در شمال ایران بوده و به ترتیب از سه قطعه گسسته لوشان- کوهین، کوهین- محمودآباد نمونه و محمودآباد نمونه- قزوین تشکیل یافته است، مورد بررسی و آزمون قرار می‌گیرد.

بخش بعدی مقاله به بررسی تحقیقات پیشین در زمینه تأثیر شرایط آب و هوایی بر حجم ترافیک می‌پردازد. در بخش سوم روش تحقیق ارائه می‌گردد. بخش چهارم پیاده‌سازی روش پیشنهادی و داده‌های به کار رفته در محور مورد مطالعه را مورد بحث قرار می‌دهد. در بخش پنجم ارزیابی روش پیشنهادی انجام گرفته و نتایج پژوهش بحث می‌شوند. نهایتاً در بخش پایانی مقاله، مراجع مورد استفاده ارائه می‌گردد.

۲- ادبیات پیشین

بررسی تأثیر شرایط آب و هوایی بر الگوهای ترافیکی شبکه حمل و نقل در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققان را در جهان به خود معطوف داشته است. به عنوان مثال داتلا و همکاران (۲۰۱۳) به منظور مدل‌سازی تأثیر سرما و برف بر حجم ترافیک در ماه‌های فصل زمستان در محوری برون‌شهری در استان آلبرتا در کانادا از تحلیل رگرسیون چندگانه استفاده نمودند. نتایج نشان داد که حجم ترافیک با افزایش شدت سرما، کاهش یافته و در شرایط آب و هوایی بسیار سرد (کمتر از ۲۵- درجه سانتی‌گراد) متوسط حجم ترافیک روزانه به طور تقریبی ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. خودروهای سواری نیز در مقایسه با وسایل نقلیه سنگین، بیشتر در معرض شرایط نامساعد آب و هوایی قرار داشتند [۱۴]. به عبارت دیگر حجم ترافیک خودروهای سواری در شرایط نامساعد آب و هوایی نسبت به حجم وسایل نقلیه سنگین بیشتر کاهش یافته است. برخی از مطالعات پیشین بیانگر آن است که شرایط آب و هوایی و شدت بارش‌ها تأثیر مهمی بر ایمنی و تقاضا و الگوهای جریان ترافیک دارند. از این رو نتایج پژوهش میز و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که حجم ترافیک در روزهای برفی با میزان سرعت اندک بارش، ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، در روزهای برفی که میزان دید افقی کمتر از ۱/۴ مایل و سرعت باد زیاد (بیش از ۴۰ مایل در ساعت) است، تقریباً ۸۰ درصد از

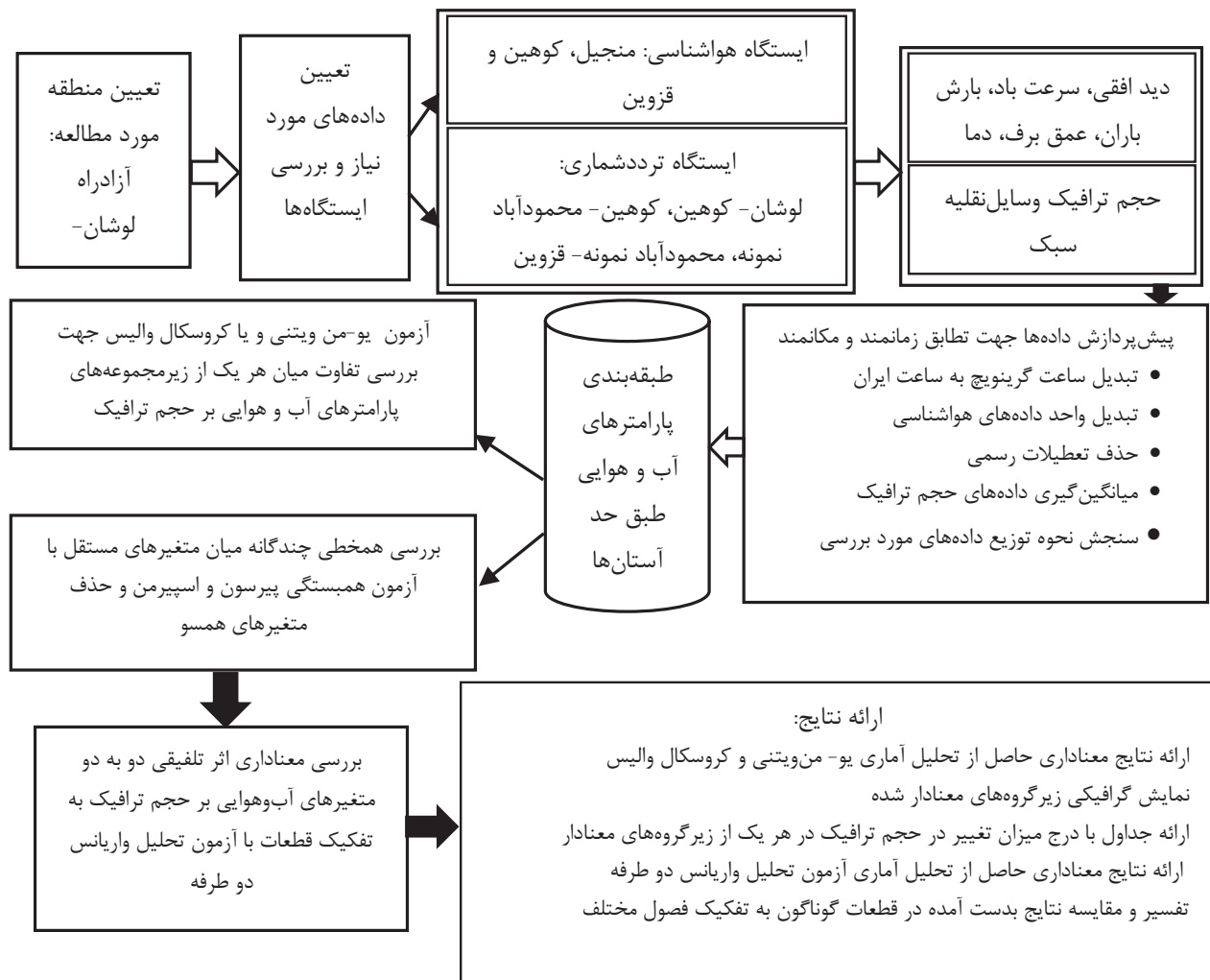
- 1 Mann-Whitney U
- 2 Kruskal Wallis
- 3 Two-way analysis of variance

مختلف سال پرداخته نشده است. ثانیاً محور مورد مطالعه غالب پژوهش‌های پیشین درون‌شهری بوده است. همچنین تمرکز عمده پژوهش‌ها بر بررسی حجم کلی ترافیک بوده و تعداد کمی از مقالات به طور خاص به بررسی طبقه خاصی از وسایل نقلیه پرداخته‌اند. لذا در این پژوهش در نظر است که با لحاظ کردن پاره‌ای از پارامترهای آب و هوایی من جمله دید افقی و سرعت باد که در تحقیقات پیشین کمتر مورد بررسی قرار گرفته بود، علاوه بر متغیرهای بارش باران، دما و عمق برف، و با طبقه‌بندی هر یک از آن‌ها طبق حد آستان‌های موجود در استانداردهای مربوطه و تطابق زمانی آن‌ها با میزان تردد، تأثیر آن‌ها بر حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک در بخشی از آزادراه رشت-قزوین که محور برون‌شهری می‌باشد، در تمامی فصول مورد بررسی قرار گیرد. به علاوه در پژوهش حاضر به بررسی اثرات ترکیبی دو به دو متغیرهای آب و هوایی بر میزان تردد نیز پرداخته شده است. کشف این تأثیرات می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آتی و مدیریت راه‌ها توسط متولیان حمل و نقل جاده‌ای مورد استفاده قرار گیرد. هم‌چنین لازم به ذکر است که بر اساس دستورالعمل ارائه شده در رفرنس [۱۲] تحت عنوان «آب و هوا و ایمنی جاده‌ها» و همچنین آیین‌نامه‌های مربوطه در حوزه ایمن‌سازی معابر، جهت طراحی راه‌های جدید و بهسازی راه‌های موجود و جاده‌های ارتباطی، برآورد تغییرات کمی حجم ترافیک وسایل نقلیه در شرایط مختلف آب و هوایی با لحاظ بعد زمانی فصول مختلف سال به عنوان اطلاعات مورد نیاز جهت تحلیل، مفید واقع خواهد شد. این در حالیست که در سال‌های پیش، اهمیت در نظر گرفتن تغییرپذیری میزان تردد تحت تأثیر شرایط گوناگون جوی در طراحی جاده‌ها و پیشنهاد مسیرهای ارتباطی جدید، مورد توجه نبوده است [۱۲]. در ادامه در بخش ۳ روش تحقیق به منظور بررسی تأثیر شرایط گوناگون آب و هوایی بر میزان تردد و در بخش ۴ پیاده‌سازی روش پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده تشریح خواهد شد. در بخش ۵ بحث روی نتایج حاصله انجام می‌گیرد. در نهایت در بخش ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی در راستای تحقیق ارائه خواهد شد.

۳- روش تحقیق

بنابر نتایج تحقیقات گذشته، به کارگیری روشی جهت مقدارسنجی ارتباط میان آمار هواشناسی و میزان تردد سودمند می‌باشد. از آنجایی که در غالب مطالعات پیشین عدم لحاظ پارامترهای عینی قابل اندازه‌گیری شرایط مختلف آب و هوایی جهت تحلیل تأثیر آن بر حجم ترافیک به چشم می‌خورد، لذا رویکرد اصلی این پژوهش تلفیق و تطابق زمانی و مکانی پارامترهای آب

و هوایی با اطلاعات ترددشماری جهت تحلیل کمی‌سنجی تأثیر گروه‌های گوناگون آب و هوایی با لحاظ شاخص‌های آستانه‌ای بر میزان تردد آزادراه لوشان-قزوین با استفاده از آزمون‌های آماری ناپارامتریک یو-من‌ویتنی و یا کروسکال والیس استوار است. همچنین تحقیق انجام شده توسط دهمان و همکاران در سال ۲۰۱۷، حاکی از بروز واکنش متفاوت کاربران راه در هنگام رویارویی با شرایط آب و هوایی در فصول مختلف است، از این رو در پژوهش حاضر نتایج به تفکیک فصول گوناگون سال ارائه شده است. این در حالیست که مطالعات گذشته در این زمینه اکثراً در فصول سرد سال صورت گرفته است. به علاوه در راستای کمی‌سنجی در این تحقیق درصد تغییرات حجم ترافیک به تفکیک فصل‌های مختلف سال در صورت معنادار بودن تأثیر زیرگروه‌های مختلف پارامترهای آب و هوایی و حجم ترافیک مورد تحلیل قرار گرفت. به بیان دیگر روش پیشنهادی پژوهش حاضر، استفاده از آزمون یو-من‌ویتنی جهت مقایسه و بررسی تأثیر وضعیت دو گروه مستقل پارامترهای مرتبط آب و هوایی بر حجم ترافیک و آزمون کروسکال‌والیس هنگامی که گروه‌های مورد مقایسه بیش از دو است، می‌باشد [۱۸]. نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل گروه‌های مختلف متغیرهای آب و هوایی من جمله دید افقی، سرعت باد، بارش باران، عمق برف و درجه حرارت طبق حد آستان‌های مربوطه و پارامتر حجم ترافیک می‌باشد. هدف از به کارگیری آزمون‌های فوق‌الذکر، تعیین وجود رابطه و سپس کمی‌سنجی میان توزیع مقادیر طبقه‌بندی‌های صورت گرفته متغیرهای آب و هوایی نام برده در هنگام دو و یا چند حالتی بودن پارامترهای آب و هوایی و میزان تردد وسایل نقلیه سبک عبوری می‌باشد. بسیاری از آزمون‌های آماری بر اساس این فرض استوارند که داده‌ها از جامعه‌ای نرمال نمونه‌گیری شده‌اند. بنابراین آزمون‌هایی که بر اساس فرض نرمال بودن جامعه استوار نیستند، به آزمون‌های ناپارامتری موسومند. زمانی که نمونه بزرگ باشد، قضیه حد مرکزی تضمین می‌کند که آزمون‌های پارامتری می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند، حتی اگر جامعه نرمال نباشد. بنابراین در نمونه‌های بزرگ به کارگیری هر یک از دو نوع آزمون مشکلی ایجاد نمی‌کند [۱۹]. روش پیشنهادی تحقیق حاضر جهت سنجش اثر مستقل هر یک از پارامترهای آب و هوایی بر حجم ترافیک با توجه به حجم عظیم آمار ساعتی موجود شامل ۲۱۷۱۲ ردیف برای هر قطعه در کلیه فصول سال بر استفاده از آزمون‌های آماری یو-من‌ویتنی و کروسکال والیس استوار است. که آزمون کروسکال والیس نوعی تعمیم یا گسترش‌یافته آزمون یو-من‌ویتنی است. به علاوه به منظور بررسی معناداری اثر تلفیقی و دو به دو متغیرهای هواشناسی بر میزان تردد



شکل ۱. فلوجارت روش پیشنهادی تحقیق

Fig. 1. Flowchart of the proposed research method

H_0 : توزیع داده‌های مربوط به هر یک از متغیرها نرمال است

H_1 : توزیع داده‌های مربوط به هر یک از متغیرها نرمال نیست

با این عمل خروجی نرم‌افزار شامل جدولی تحت عنوان Tests of Normality است که دو مقدار سطح معناداری برای هر کدام از متغیرها را به طور مجزا ارائه می‌دهد. این مقادیر در تشخیص نرمال بودن داده‌ها تعیین کننده است. چنانچه سطح معناداری در آزمون Shapiro-Wilk یا آزمون کولموگروف-اسمیرنوف که در این جدول با sig. نمایش داده می‌شود بیشتر از ۰/۰۵ باشد می‌توان داده‌ها را با اطمینان بالایی نرمال فرض کرد. در غیر این صورت نمی‌توان گفت که داده‌ها توزیع‌شان نرمال است [۱۸].

به تفکیک قطعات مورد مطالعه از آزمون تحلیل واریانس دو طرفه استفاده شده است. در ادامه روش پیشنهادی پژوهش در قالب فلوجارت در شکل ۱، ارائه شده است.

۳-۱- نرمال بودن توزیع جامعه آماری

آزمون نرمال بودن داده‌ها روشی برای تشخیص آن است که مشخص شود توزیع داده‌های گردآوری شده از توزیع طبیعی یا نرمال برخوردار است. قبل از هر گونه آزمونی که با فرض نرمال بودن داده‌ها صورت می‌گیرد باید آزمون نرمال بودن مورد بررسی قرار گیرد. برای آزمون نرمالیتت فرض‌های آماری به صورت زیر تنظیم می‌شود:

جدول ۱. طبقه‌بندی متغیرهای آب و هوایی

Table 1. Classification of climatic variables

نام متغیر	مرجع طبقه‌بندی	طبقه‌بندی
دید افقی (متر)	کتاب آب و هوا و ایمنی جاده‌ها [۱۲]	۰ تا ۲۰۰ (مه غلیظ)، ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ (مه معمولی) و بیش از ۱۰۰۰ (مه سبک)
سرعت باد (متر بر ثانیه)	مقیاس جهانی بوفورت [۲۰]	۰ تا ۳، ۳ تا ۷، ۷ تا ۱۳، ۱۳ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۲۸
بارش باران (میلی‌متر)	ماهیت ثبت آمار هواشناسی [۲۱]	۰ تا ۱، ۱ تا ۵، ۵ تا ۱۰ و بیش از ۱۰
عمق برف (سانتی‌متر)	کتاب آب‌وهوا و ایمنی جاده‌ها [۱۲]	کمتر از ۲، بیش از ۲
دما (درجه سانتی‌گراد)	ماهیت ثبت آمار هواشناسی [۲۱]	صفر و زیر صفر، صفر تا ۳۵ و بیش از ۳۵

۳-۲- آزمون یو-من‌ویتی

آزمون یو-من‌ویتی یک آزمون غیرپارامتری است که با آزمون تی نمونه‌های مستقل مشابهت دارد اما توزیع کلی مقادیر دو گروه را مقایسه می‌کند. در این پژوهش، به دلیل توزیع غیرنرمال داده‌ها از آزمون ناپارامتریک یو-من‌ویتی استفاده شده است. بر اساس توضیحات پیشین ارائه شده، آزمون یو-من‌ویتی یک آزمون ناپارامتری برای تعیین وجود رابطه بین دو گروه در هنگام دو حالتی بودن یک متغیر و حداقل رتبه‌ای بودن متغیر دیگر می‌باشد. آزمون یو-من‌ویتی بر مبنای رتبه مرتبط اندازه‌های هر گروه است. رتبه‌بندی به محققین امکان استفاده از شدت نسبی توزیع مشاهدات در هر گروه را می‌دهند. بدین صورت که داده‌های هر گروه مرتب می‌شوند و به هر گروه یک رتبه مستقل از گروه دیگر اختصاص داده می‌شود. شروع با کوچک‌ترین عدد و پیگیری با سایر اعداد گروه است. آزمون یو-من‌ویتی، فرضیه صفر را که می‌گوید دو گروه دارای توزیع برابر هستند را آزمون می‌نماید. در ادامه فرضیه صفر و مقابل بیان شده‌اند.

وضعیت حجم ترافیک در شرایط حدود طبقه‌بندی شده متغیر مستقل مربوطه با یکدیگر برابر است. :
حجم ترافیک در حدود طبقه‌بندی شده متغیر مستقل مورد نظر متفاوت است. :
نحوه محاسبه فرمول پایه این آماره در رابطه (۱) و (۲) شرح داده شده است.

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \quad (1)$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2 \quad (2)$$

در روابط ۱ و ۲، n_1 و n_2 ، تعداد گروه‌ها بوده و R_1 و R_2 مجموع رتبه‌های هر یک از دو گروه می‌باشد. پس از محاسبه این دو آماره، هر کدام که کمتر بود مبنای تصمیم‌گیری بعدی قرار می‌گیرد [۱۸]. در کشور ما با توجه به گستردگی عرض جغرافیایی و وجود ارتفاعات، شبکه حمل و نقل زمینی، در طول مسیر خود در معرض شرایط مختلف آب و هوایی است [۱۲]. حد آستان‌های بحرانی پدیده‌های جوی طبق تحقیقات انجام شده در مراجع مربوطه، مشخص شده است. این گروه‌بندی‌ها به تفکیک فصول مختلف سال در محورهای انتخابی انجام گرفته که جزئیات مربوط به آن در جدول ۱ نمایش داده شده است.

۳-۳- آزمون کروسکال‌والیس

وقتی یک متغیر اسمی و متغیر دیگر ترتیبی، فاصله‌ای یا نسبی (کمی) است؛ برای تعیین ارتباط بین دو متغیر از آزمون ناپارامتریک کروسکال‌والیس استفاده می‌شود. این آزمون بسط یافته آزمون یو-من‌ویتی بوده که چند گروه (نه فقط دو گروه) را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در تحقیق حاضر از آزمون کروسکال‌والیس به طور خاص جهت تعیین تفاوت توزیع مقادیر سه و یا چند گروه از یک متغیر ورودی آب و هوایی بر متغیر هدف حجم ترافیک استفاده شده است. در این آزمون، متغیر اسمی برای تقسیم نمونه به k گروه به کار می‌رود. به منظور تعیین تفاوت بین توزیع گروه‌های موجود از یکدیگر، جمع رتبه گروه‌ها با هم مقایسه می‌شوند تا مشخص شود کدام جمع، از مقادیر مجموع مورد انتظار در فرضیه صفر متفاوت می‌باشد. در آزمون نام برده متغیر مستقل در سطح اسمی می‌باشد. حجم ترافیک در شرایط گوناگون حدود گروه‌بندی شده متغیر مستقل مربوطه با یکدیگر برابر است. :

حجم ترافیک در حدود طبقه‌بندی شده متغیر مستقل مورد نظر متفاوت است. :

همبستگی محاسبه شده کمتر از $-0/2$ یا بیشتر از $+0/2$ باشد (مقدار معناداری کمتر از $0/05$ برای داده‌های مورد نظر)، دو متغیر در نظر گرفته شده بسیار با یکدیگر همبسته می‌باشند [۲۴]. نحوه قضاوت برای آزمون‌های آماری مورد بررسی نیز بدین گونه می‌باشد که چنانچه عدد معناداری (P- Value) کمتر از ۵ درصد باشد، می‌توان به وجود رابطه معنادار و یا تفاوت بین دو متغیر یا تفاوت بودن متغیر در گروه‌های مختلف اذعان نمود. بنابراین فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود تفاوت، رد خواهد شد [۱۸].

۴- پیاده‌سازی

در این بخش ضمن توصیف داده‌های مورد بررسی و معرفی محور مورد مطالعه، نحوه پیاده‌سازی روش پیشنهادی تشریح می‌گردد.

۴-۱- معرفی محور مورد مطالعه

محور مورد مطالعه، بخشی از آزادراه رشت-قزوین می‌باشد. این آزادراه که در شمال ایران واقع شده است، شهرهای قزوین و رشت را به یکدیگر متصل می‌نماید و بخشی از کریدور شمال-جنوب ایران می‌باشد. محور برگزیده شده، قطعه لوشان-قزوین به طول تقریبی ۸۳ کیلومتر می‌باشد. محور برون‌شهری فوق‌الذکر از چهار بخش ایران من جمله بخش مرکزی (رودبار) واقع در استان گیلان و همچنین بخش‌های طارم‌سفلی، کوهین و مرکزی (قزوین) که در استان قزوین قرار گرفته است، می‌گذرد. این آزادراه چهارخطه برون‌شهری اولین آزادراهی است که از رشته کوه البرز عبور کرده و بر اساس اطلاعیه سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای و همچنین پلیس راهور، یکی از مهم‌ترین محورهای ارتباطی و همچنین یکی از شلوغ‌ترین و حادثه‌خیزترین محورهای مواصلاتی کشور بوده که قسمت عمده‌ای از آن نیز از مناطق کوهستانی و مه‌گیر عبور می‌نماید. لذا نتایج تحلیل حاضر با توجه به حائز اهمیت بودن محور انتخابی، به این آزادراه و آزادراه‌های با ویژگی توپوگرافی و نوع راه مشابه قابل تعمیم است. در شکل ۲ منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های ترددشماری و نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به آن‌ها، در محور انتخابی نمایش داده شده است. محور برون‌شهری مورد بررسی از مختصات جغرافیایی $36^{\circ}38' 15'' N$ و $49^{\circ}30' 47'' E$ و شهر لوشان شروع شده و به مختصات جغرافیایی $49^{\circ}58' 55'' N$ و $36^{\circ}19' 34'' E$ در شهر قزوین منتهی می‌گردد.

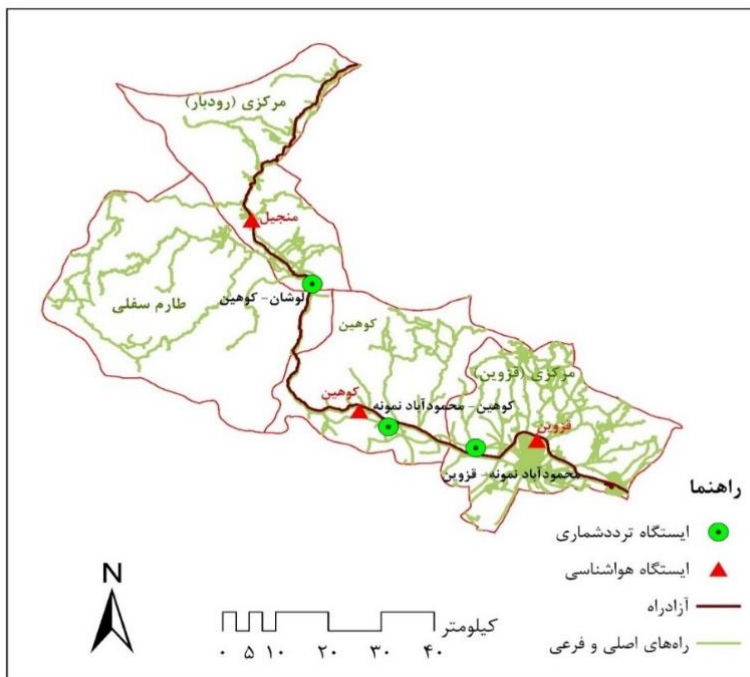
۴-۲- داده‌های مورد استفاده در پژوهش

پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق، شامل پارامترهای آب و هوایی

نحوه محاسبه فرمول اصلی آماره کروسکال‌والیس در رابطه (۳) شرح داده شده است. در رابطه ۳، n اندازه جامعه آماری بوده و $\sum_{i=1}^k R_i^2$ مجموع رتبه‌های مجذور شده برای تمام گروه‌ها است [۱۴].

$$H = \frac{12 \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i}}{n(n+1)} - 3(n+1) \quad (3)$$

فرضیه‌هایی مشابه فرضیه‌های ذکر شده برای آزمون‌های یو-من‌ویتنی و کروسکال‌والیس، برای پارامترهای آب و هوایی و حجم ترافیک بسته به تعداد گروه‌بندی متغیر مورد مطالعه، به تفکیک فصول مختلف سال در قطعات مختلف محور برون‌شهری مورد بررسی، در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور بررسی اثر دو به دو پارامترهای آب و هوایی بر حجم ترافیک از آزمون تحلیل واریانس دو طرفه (آنووا دو طرفه) استفاده شد. از جمله ملزومات مدل‌های رگرسیونی، کنترل عدم همسویی متغیرهای مستقل با یکدیگر است. به علاوه روش پیشنهادی مبتنی بر استفاده از تحلیل واریانس دو طرفه در مقایسه با روش‌های رگرسیونی مورد استفاده در مجموعه‌ای از تحقیقات پیشین، قادر به کشف اثرات تعاملی میان متغیرهای مستقل به کار رفته بر متغیر هدف می‌باشد [۲۳ و ۲۲]. به عبارت دیگر، آزمون تحلیل واریانس دو طرفه، قادر به سنجش اثر تعاملی دو متغیر مستقل کیفی و دارای طبقه‌بندی، بر متغیر وابسته عددی می‌باشد. مزیت اصلی آنووا، توانایی آزمون تعامل‌ها (اثر متقابل) که تحت عنوان تعدیل‌های اثر هم نامیده می‌شود، می‌باشد. این در حالیست که در اکثر پژوهش‌ها از روش‌های رگرسیونی و توابع مربوط به آن‌ها استفاده شده که در مقایسه با روش ارائه شده در تحقیق حاضر، قادر به کشف اثرات تعاملی میان متغیرهای مستقل به کار رفته بر متغیر هدف نمی‌باشد. لذا در بخشی از این پژوهش از روش پارامتریک آنووا دو طرفه که نوعی رگرسیون با قابلیت آزمون برهم‌کنش میان دو متغیر مستقل به کار رفته بر متغیر هدف می‌باشد [۱۸]. در این تحقیق نیز پیش از پیاده‌سازی آزمون مربوطه، به بررسی همبستگی میان متغیرهای مستقل پرداخته شده است. آزمون‌های بسیاری برای سنجش این مسئله وجود دارد که آزمون‌های همبستگی پیرسون و اسپیرمن معروف‌ترین آن‌ها هستند. در این راستا ابتدا بررسی همسویی متغیرهای ورودی از طریق دو آزمون همبستگی پارامتریک پیرسون و ناپارامتریک اسپیرمن انجام گرفت. این دو آزمون عملکرد مشابهی داشته با این تفاوت که یکی از نوع پارامتریک (پیرسون) و دیگری ناپارامتریک (اسپیرمن) است. در این روش‌ها اگر ضریب



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه

Fig. 2. Study area

جدول ۲. توصیف متغیرهای مورد مطالعه

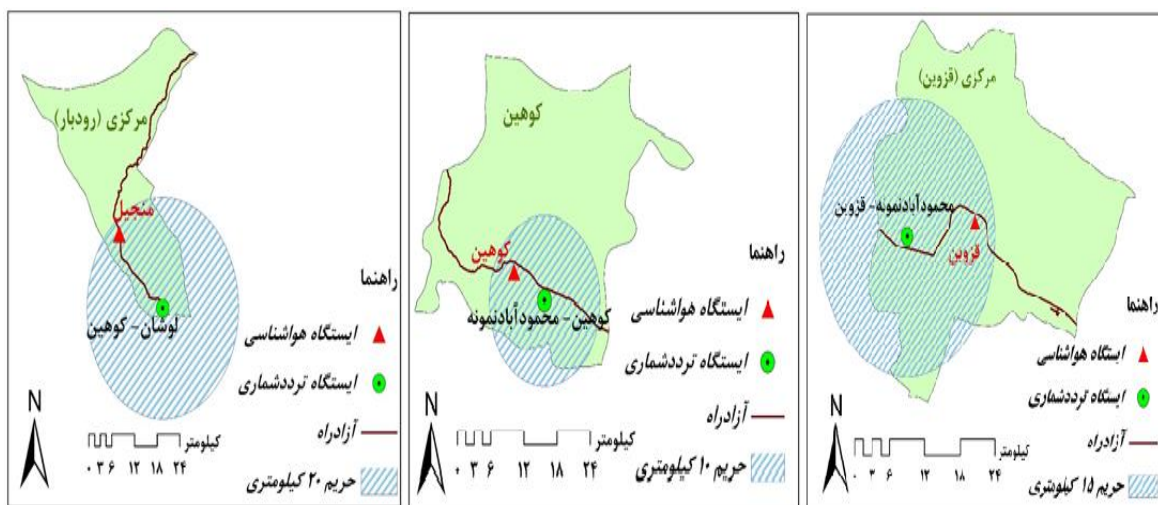
Table 2. Description of variables

تعریف	نام متغیر
حداکثر فاصله‌ای که یک جسم با اندازه مشخص به وسیله یک دیده‌بان با چشم‌های معمولی در امتداد افق دیده می‌شود.	دید افقی (متر)
جابه‌جایی مکانی یک توده هوایی را سرعت باد می‌نامند.	سرعت باد (متر بر ثانیه)
باران آشناترین فرم بارندگی است و ابرها منبع باران‌اند که از تراکم قطرات آب در ابرها به وجود می‌آید.	بارش باران (میلی‌متر)
برف ریزش جوی است که از کریستال‌های یخی تشکیل شده است. با هم ادغام شدن کریستال‌های برف، برف تکه‌ای تشکیل می‌شود و با اندازه‌ها و شکل‌های گوناگون به زمین فرود می‌آیند.	عمق برف (سانتی‌متر)
دما، معیاری است که از روی آن شدت گرما احساس می‌شود.	دما (درجه سانتی‌گراد)
حجم ترافیک به صورت تعداد وسایل نقلیه عبوری از یک نقطه از راه یا یک خط یا جهت مورد نظر از جاده در طول مدت زمان مشخص تعریف می‌گردد.	حجم ترافیک (تعداد)

فصول مختلف سال نه تنها به صورت روزانه بلکه به صورت ساعتی در نظر گرفته شده است و میانگین خودروهای عبوری در ساعات ثبت شده روزهای هر فصل مورد تحلیل و بررسی واقع شده است. متغیرهای آب و هوایی فوق‌الذکر در جدول ۲، توصیف شده‌اند [۲۶ و ۲۵]

اطلاعات هواشناسی اخذ شده از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و

من جمله دید افقی، سرعت باد، بارش باران، عمق برف و درجه حرارت و متغیر حجم ترافیک عبوری از محور مورد نظر می‌باشند. آمار ساعتی مربوط به متغیرهای آب و هوایی از سازمان هواشناسی کشور و اطلاعات ساعتی حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای اخذ گردیده است. به عبارت دیگر توزیع شرایط آب و هوایی در روزهای



شکل ۳. نمایش مکانی فاصله میان ایستگاه ترددشماري در هر قطعه تا نزديک‌ترين ایستگاه هواشناسي

Fig. 3. Spatial representation of the distance between the traffic station in each section to the nearest meteorological station

انتخاب محور مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، پیش‌پردازش‌های لازم جهت تطابق زمانمند و مکانمند داده‌های ایستگاه هواشناسی با حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک عبوری از محور مورد مطالعه صورت گرفت. با توجه به نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک موجود به محور مورد مطالعه، به تفکیک قطعات پرداخته و اطلاعات هر ایستگاه هواشناسی به یک قطعه از راه تعمیم داده شده است. فاصله میان ایستگاه ترددشماري در هر قطعه تا نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک نیز به ترتیب در شکل ۳ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج تحلیل‌های مکانی در GIS مشهود است که کلیه ایستگاه‌های ترددشماري و ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در مجاورت آن‌ها، در حریم کمتر از ۳۲ کیلومتر از یکدیگر واقع شده‌اند که در محدوده مورد قبول قرار گرفته است. اطلاعات مربوط به قطعات آزادراه مورد بررسی من جمله طول تقریبی قطعه، مختصات جغرافیایی مبدأ و مقصد و همچنین شعاع حریم، در جدول ۳ ارائه شده است.

در ادامه پس از تلفیق و تطابق مکانمند و زمانمند آمار هواشناسی و ترددشماري به سایر پیش‌پردازش‌های لازمه پرداخته شده است. این پیش‌پردازش‌ها شامل، مرتب‌سازی آمار ساعتی، تبدیل ساعت گرینویچ آمار هواشناسی به ساعت رسمی کشور، محاسبه و تغییر واحدهای پارامترهای هواشناسی، طبقه‌بندی پارامترهای هواشناسی بر اساس حد آستان‌های

داده ترددشماري مربوط به سال‌های آماری ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۷ گزارش شده‌اند. ایستگاه‌های سینوپتیک، ایستگاه‌هایی هستند که به طور همزمان در سراسر دنیا، بر اساس ضوابط و مقررات سازمان جهانی هواشناسی، هر سه ساعت یک بار موظف به اندازه‌گیری و تهیه پدیده‌های جوی و ارسال آن‌ها در شبکه مخابراتی است [۲۱]. به منظور بررسی روش پیشنهادی تحقیق، به سنجش تأثیر هر یک از بازه‌های متغیرهای آب و هوایی در بازه زمانی ۹ ساله، بر مجموع حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک شامل سواری و وانت در محور مورد مطالعه به تفکیک فصول مختلف سال پرداخته شده است. با توجه به یافته‌های مطالعات پیشین و واکنش متفاوت کاربران راه در مواجهه با هر عنصر اقلیمی در فصول گوناگون، نتایج به دست آمده برای هر پدیده جوی با تأکید بر فصل‌های مختلف سال و مقایسه آن‌ها در هر قطعه ارائه شده است [۱۷]. به عبارت دیگر با استناد به پژوهش‌های پیشین، لحاظ تغییرات فصلی و ارزیابی نتایج به دست آمده به ویژه در کشور ما که با توجه به گستردگی عرض جغرافیایی و وجود ارتفاعات، شبکه حمل و نقل زمینی در طول خود در معرض شرایط مختلف آب و هوایی قرار دارد، امری حیاتی می‌باشد [۱۲]. طبق تحقیقات انجام شده توسط پژوهشگران، فاصله بین دو ایستگاه هواشناسی و ترددشماري تا شعاع ۳۲ کیلومتری از لحاظ دقت و صحت قابل قبول اسن [۱۴]. بدان معنا که به کارگیری و تعمیم اطلاعات هواشناسی هر ایستگاه، تا شعاع ۳۲ کیلومتری از صحت برخوردار است. در این راستا پس از

جدول ۳. مشخصات قطعات مورد مطالعه

Table 3. Characteristics of the segments

نام قطعه	طول قطعه	مختصات جغرافیایی مبدأ	مختصات جغرافیایی مقصد	حداقل شعاع حریم
لوشان- کوهین	۵۰ کیلومتر	۳۶°۳۸ ۱۵/۵۵ N، ۴۹°۳۰ ۴۷/۷۳ E	۳۶°۲۱ ۱۸/۱۶ N، ۴۹°۳۹ ۵۸/۸۴ E	۲۰ کیلومتری
کوهین- محمودآبادنمونه	۲۷ کیلومتر	۳۶°۲۱ ۱۸/۱۶ N، ۴۹°۳۹ ۵۸/۸۴ E	۳۶°۱۸ ۱۷/۷۸ N، ۴۹°۵۳ ۰۷/۱۰ E	۱۰ کیلومتری
محمودآبادنمونه- قزوین	۱۰ کیلومتر	۳۶°۱۸ ۱۷/۷۸ N، ۴۹°۵۳ ۰۷/۱۰ E	۳۶°۱۹ ۳۴/۴۲ N، ۴۹°۵۸ ۵۵/۵۳ E	۱۵ کیلومتری

پژوهش‌های انجام شده در این زمینه به سنجش نحوه توزیع داده‌های مورد استفاده پرداخته و بدون بررسی فرض می‌کنند که جامعه مورد بررسی‌شان از توزیع نرمال پیروی می‌کند. به کارگیری این فرض زمانی که نمونه بزرگ باشد با توجه به قضیه حد مرکزی که پیشتر بدان اشاره شد، تضمین می‌کند حتی اگر جامعه نرمال نباشد، در نمونه‌های بزرگ به کارگیری هر یک از دو نوع آزمون پارامتریک و ناپارامتریک مشکلی ایجاد نمی‌کند.

در پژوهش حاضر جهت بررسی وجود و یا عدم وجود تفاوت میان گروه‌بندی‌های آب و هوایی ارائه شده با تعداد خودروهای سبک عبوری از محور مورد نظر، از آزمون‌های آماری ناپارامتریک یو-من‌ویتنی و یا کروسکال والیس استفاده شده است. در نهایت در صورت وجود رابطه معنادار میان هر یک از گروه‌بندی‌های انجام شده با متغیر حجم ترافیک، به نمایش گرافیکی آن‌ها با درج درصد حجم ترافیک در هر یک از زیرگروه‌ها پرداخته شده است. همچنین با توجه به یافته‌های مطالعات پیشین و واکنش متفاوت کاربران راه در مواجهه با هر عنصر اقلیمی در فصول گوناگون، نتایج به دست آمده برای هر پدیده جوی با تأکید بر فصل‌های مختلف سال و مقایسه آن‌ها در هر قطعه ارائه شده است [۱۷]. لحاظ تغییرات فصلی به ویژه در کشور ما که با توجه به گستردگی عرض جغرافیایی و وجود ارتفاعات، شبکه حمل و نقل زمینی در طول خود در معرض شرایط مختلف آب و هوایی قرار دارد، حیاتی می‌باشد. به عبارت دیگر در پژوهش حاضر با به کارگیری حجم عظیمی از آمار عددی ۸ ساله هواشناسی و حجم ترافیک و دسته‌بندی پارامترهای آب و هوایی مأخوذه به زیرگروه‌هایی بر اساس حد آستان‌های بحرانی ارائه شده در منابع مربوطه به بررسی جزئی‌تر و بیان میزان اثرگذاری هر یک از پارامترهای آب و هوایی در هر یک از زیرگروه‌ها در فصول

موجود در منابع مربوطه و حذف تعطیلات رسمی به منظور جلوگیری از ورود داده‌های حجم ترافیک که احتمال دارد تحت این شرایط متحمل تغییراتی گردند، می‌باشند [۱۷]. در مرحله بعد به گروه‌بندی پارامترهای آب و هوایی مورد مطالعه طبق حد آستان‌های موجود بر اساس استانداردهای مربوطه، پرداخته شده است. پس از تلفیق و تطابق آمار هواشناسی و ترددشماری، جهت انتخاب آزمون آماری مناسب به سنجش نحوه توزیع داده‌های مورد بررسی با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف پرداخته شده است.

۴-۳- پیاده‌سازی پیش‌فرض‌های انتخاب نوع آزمون‌های آماری (پارامتریک یا ناپارامتریک)

جهت گزینش آزمون آماری مناسب به منظور بررسی اثر مستقل پارامترهای آب و هوایی بر حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک عبوری از آزادراه لوشان- قزوین به تفکیک در سه قطعه پیوسته شامل لوشان- کوهین، کوهین- محمودآباد نمونه و محمودآباد نمونه- قزوین در تمامی فصول سال، از نتایج حاصله از آزمون‌های سنجش چگونگی توزیع جامعه آماری (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) استفاده شده است. خروجی‌های حاصله از آزمون مذکور به تفکیک در تمامی قطعات و کلیه فصول سال، به ترتیب در جدول ۴ ارائه شده است.

بر اساس نتایج حاصله از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در جدول ۴، از آنجایی که سطح معناداری کلیه متغیرهای مورد مطالعه در تمامی قطعات به تفکیک فصول مختلف سال کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، می‌توان توزیع داده‌ها را با اطمینان بالایی غیرنرمال فرض کرد [۱۸].

همانطور که در بخش مروری بر مطالعات پیشین ذکر شد، در بسیاری از

جدول ۴. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف به تفکیک قطعات و فصول

Table 4. Results of Kolmogorov-Smirnov test in each segment and season separately

نام متغیر	لوشان- کوهین				کوهین- محمودآباد نمونه				محمودآباد نمونه- قزوین			
	عدد معناداری		عدد معناداری		عدد معناداری		عدد معناداری		عدد معناداری		عدد معناداری	
	Asymp. Sig. (2-tailed)		Asymp. Sig. (2-tailed)		Asymp. Sig. (2-tailed)		Asymp. Sig. (2-tailed)		Asymp. Sig. (2-tailed)		Asymp. Sig. (2-tailed)	
دید افقی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
سرعت باد	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
بارش باران	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
عمق برف	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
درجه حرارت	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
حجم ترافیک	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان

۵-۱- نتایج پیاده‌سازی آزمون یو-من ویتنی و یا کروسکال والیس جهت بررسی اثر مستقل متغیرهای آب و هوایی بر حجم ترافیک

پس از تلفیق و تطابق زمانمند و مکانمند آمار هواشناسی و اطلاعات ترددشماری، در مرحله اول به بررسی معناداری میان هر یک از شاخص‌های آستانه‌ای متغیرهای آب و هوایی و حجم ترافیک عبوری از قطعات مختلف پرداخته شده است. جهت ارزیابی واکنش استفاده کنندگان از راه در هنگام رویارویی با شرایط آب و هوایی گوناگون و نحوه پاسخ آن‌ها، نتایج مربوط به آزمون‌های یو-من ویتنی و یا کروسکال والیس در جداول ۵ الی ۷ به تفکیک فصول مختلف سال به نمایش در آمده است. خروجی سنجش معناداری آزمون‌های آماری نام برده برای قطعه لوشان- کوهین، در جدول ۵ خلاصه شده است. در جداول ارائه شده مقصود از عبارت "عدد معناداری" P-Value می‌باشد. تفاوت در معناداری در قطعات و فصول مختلف با استناد بر شرایط مکانی و توپوگرافی هر قطعه در فصول مختلف سال طبیعی می‌باشد. از سویی دیگر طبق گزارشات تشریح شده در رفرنس [۱۲] تحت عنوان «آب و هوا و ایمنی جاده‌ها» تردد در بعضی راه‌ها و گذرگاه‌های ایران به صورت یک مشکل حاد در آمده که برای رفع این بحران‌ها، مطالعات

مختلف سال بر میزان تردد به صورت کمی و عددی برحسب درصد پرداخته شده است. کاربرد خروجی‌های کمی در آشکارسازی میزان دقیق تغییرپذیری حجم ترافیک تحت تأثیر شرایط آب و هوایی گوناگون در فصول مختلف سال به منظور پیش‌آگاهی و بروز واکنش مناسب در مواجهه با شرایط مشابه احتمالی پیش رو در محور مورد مطالعه سودمند می‌باشد. در ادامه نتایج هر یک از آزمون‌های نام برده به تفصیل تشریح شده است. به علاوه همانطور که پیشتر ذکر شد به دلیل حجم عظیم آمار مورد بررسی و عدم ممانعت در به کارگیری آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک، جهت بررسی اثر تلفیقی دو به دو متغیرهای آب و هوایی بر حجم ترافیک نیز ابتدا به سنجش همسویی میان متغیرهای مستقل آب و هوایی از طریق آزمون‌های همبستگی اسپیرمن و پیرسون و سپس حذف پارامترهای همسو و در نهایت پیاده‌سازی آزمون تحلیل واریانس دو طرفه استفاده شده است.

۵- نتایج و بحث

پس از تلفیق و تطابق زمانمند و مکانمند آمار هواشناسی و اطلاعات ترددشماری، به پیاده‌سازی آزمون‌های آماری مربوطه پرداخته شده است.

جدول ۵. بررسی معناداری میان متغیرها در قطعه لوشان-کوهین

Table 5. Significant study between variables in Loushan-Kouhin segment

نام متغیر	عدد معناداری ^۱				رابطه معنادار		
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
حجم ترافیک / دید افقی	۰/۱۹۱	۰/۲۷۷	۰/۸۱۸	۰/۹۶۱	ندارد	ندارد	ندارد
حجم ترافیک / سرعت باد	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	دارد	دارد	دارد
حجم ترافیک / بارش باران	۰/۱۷۵	۰/۰۰۲	۰/۷۰۴	۰/۴۰۴	ندارد	دارد	ندارد
حجم ترافیک / عمق برف	---	---	---	۰/۰۱۱	---	---	دارد
حجم ترافیک / دما	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	دارد	دارد	دارد

^۱ P-Value

جدول ۶. بررسی معناداری میان متغیرها در قطعه کوهین- محمودآباد نمونه

Table 6. Significant study between variables in Kouhin-Mahmoudabad nemune segment

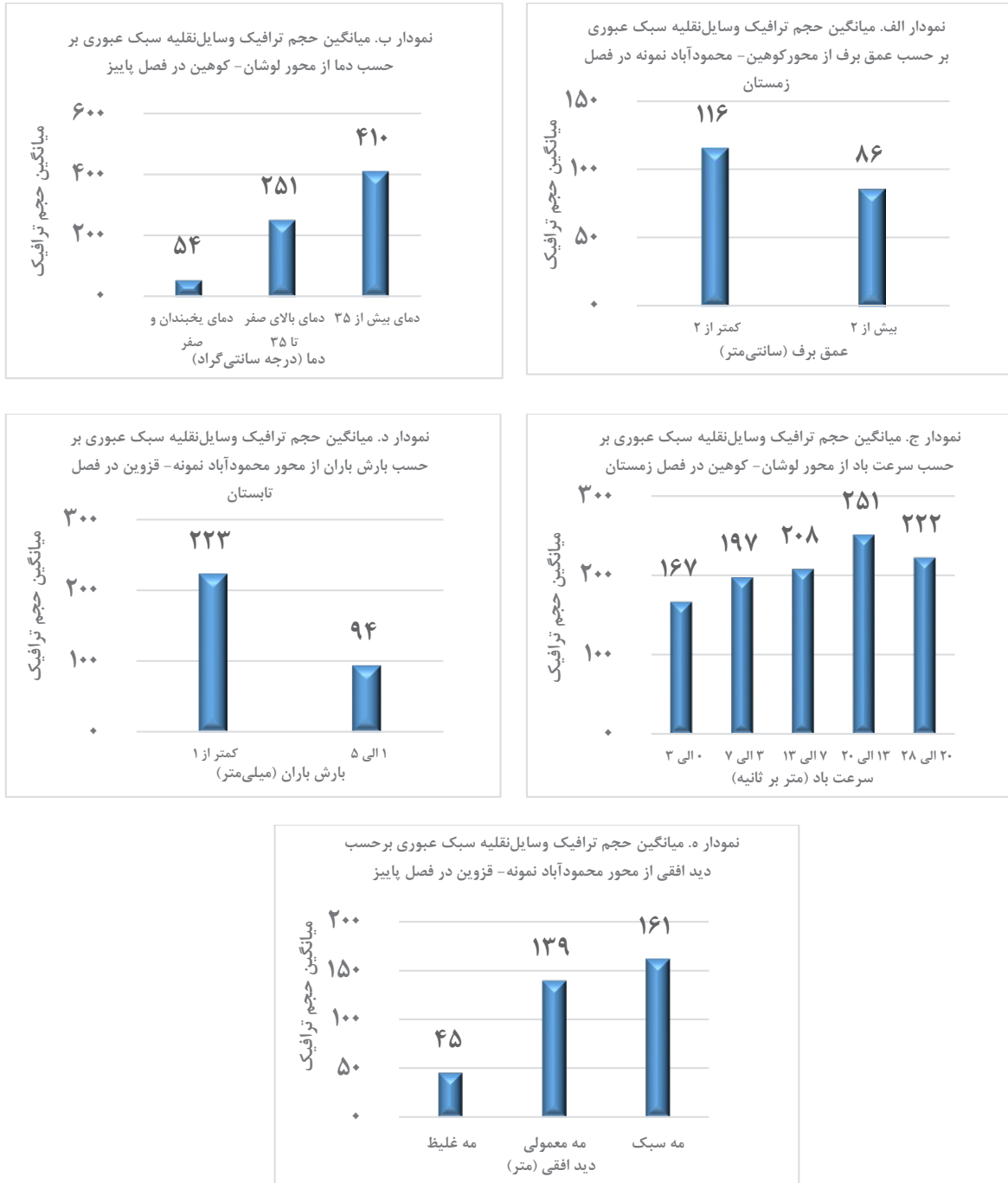
نام متغیر	عدد معناداری				رابطه معنادار		
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
حجم ترافیک / دید افقی	۰/۷۲۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	ندارد	دارد	دارد
حجم ترافیک / سرعت باد	۰/۰۰۰	۰/۰۶۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	دارد	ندارد	دارد
حجم ترافیک / بارش باران	۰/۰۱۳	۰/۴۵۶	۰/۱۲۱	۰/۸۲۳	دارد	ندارد	ندارد
حجم ترافیک / عمق برف	۰/۰۸۳	---	۰/۹۳۶	۰/۰۰۴	ندارد	---	دارد
حجم ترافیک / دما	۰/۰۷۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	ندارد	دارد	دارد

برحسب تعدادی از پارامترهای آب و هوایی مورد بررسی، به عنوان نمونه در شکل ۴ آورده شده است. ارقام درج شده بر روی نمودارها حاکی از میانگین حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک عبوری از محور مربوطه در هر یک از زیرگروه‌های آب و هوایی مورد بررسی می‌باشد. در نمودار ارائه شده در شکل ۴ به عنوان مثال نمودار ه، تعداد ۱۶۱، بیانگر میانگین وسایل نقلیه سبک (سواری و وانت) عبوری از قطعه محمودآباد نمونه- قزوین در فصل پاییز و شرایط مه سبک (دید افقی بیش از ۱۰۰۰ متر) در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۷ بوده است. میانگین حجم ترافیک به صورت تقسیم مجموع تعداد وسایل نقلیه عبوری در تمامی ساعات روزهای آماری دارای هر یک از حالات شرایط آب و هوایی به تفکیک قطعات و فصول مختلف سال بر سهم و تعداد روزهای آماری، محاسبه شده است.

در ادامه نتایج کلیه نمودارهای رسم شده برای هر متغیر آب و هوایی

هواشناسی جاده‌ای مناسب با مقتضیات این موضوع تشخیص داده شده است. لازم به ذکر است که طبیعت هر یک از این گذرگاه‌ها دارای عوامل هواشناختی متفاوتی بوده که با مطالعه و بررسی شرایط ویژه جوی و اقلیمی هر منطقه و کسب تجربه می‌توان مواردی را به صورت یک الگو در جمیع جهات اقلیمی این مناطق مشخص و تدوین نمود [۱۲].

خروجی سنجش معناداری مربوط به آزمون‌های یو-من ویتنی و یاکروسکال والیس برای قطعه کوهین- محمودآباد نمونه، در جدول ۶ خلاصه شده است. خروجی سنجش معناداری آزمون‌های آماری ناپارامتریک یو-من ویتنی و یاکروسکال والیس برای قطعه محمودآباد نمونه- قزوین، به صورت خلاصه در جدول ۷ ارائه شده است. در مرحله بعد به نمایش گرافیکی روابط معنادار بر اساس جداول بالا پرداخته شده است. در ادامه نمودارهای مربوط به نمایش متغیر حجم ترافیک



شکل ۴. نمایش گرافیکی روابط معنادار (میانگین حجم ترافیک بر حسب متغیر هواشناسی مورد نظر به تفکیک فصول)

Fig. 4. Graphic representation of significant relationships (average traffic volume in terms of meteorological variables by seasons)

جدول ۷. بررسی معناداری میان متغیرها در قطعه محمودآباد نمونه- قزوین

Table 7. Significant study between variables in Mahmoudabad nemune-Qazvin segment

نام متغیر	عدد معناداری				رابطه معنادار			
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
حجم ترافیک / دید افقی	۰/۱۱۴	۰/۴۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۴۵	ندارد	ندارد	دارد	دارد
حجم ترافیک / سرعت باد	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	دارد	دارد	دارد	دارد
حجم ترافیک / بارش باران	۰/۸۳۸	۰/۰۱۶	۰/۳۰۹	۰/۴۸۱	ندارد	دارد	ندارد	ندارد
حجم ترافیک / عمق برف	---	---	۰/۲۰۱	۰/۰۵۷	---	---	ندارد	ندارد
حجم ترافیک / دما	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	دارد	دارد	دارد	دارد

جدول ۸. نتایج عددی مربوط به متغیر دید افقی (برحسب درصد)

Table 8. Numerical results related to the horizontal visibility variable (in percentage)

قطعه مورد بررسی	فصل	شرایط گوناگون دید افقی (۹۰-۹۷)					
		مه سبک		مه معمولی		مه غلیظ	
		سهم روزهای آماری	میانگین حجم ترافیک (%)	سهم روزهای آماری	میانگین حجم ترافیک (%)	سهم روزهای آماری	میانگین حجم ترافیک (%)
کوهین- محمودآباد نمونه	تابستان	۳۴۷۶	۵۱/۴۰	۲۶	۱۹/۸۰	۱۴	۲۸/۸۰
کوهین- محمودآباد نمونه	پاییز	۲۹۶۲	۴۲/۳۲	۱۹۲	۲۸/۸۸	۱۵۲	۲۸/۸۰
کوهین- محمودآباد نمونه	زمستان	۳۰۶۹	۳۹/۰۹	۱۲۹	۲۸/۹۲	۱۴۵	۳۱/۹۹
محمودآباد نمونه- قزوین	پاییز	۵۲۶۹	۴۶/۶۶	۲۷	۴۰/۲۱	۸	۱۳/۱۳
محمودآباد نمونه- قزوین	زمستان	۵۳۲۷	۳۹/۷۷	۳۰	۳۷/۳۲	۱۲	۲۲/۹۱

سبک عبوری از محور کوهین- محمودآباد نمونه در شرایط بارش سنگین برف (عمق برف بیش از ۲ سانتی‌متر) در فصل زمستان، برابر ۲۰۰۵۳ بوده و سهم روزهای آماری دارای این شرایط مه غلیظ در فصل و قطعه مذکور طبق جدول ۱۱، ۱۰۲ روز بوده که میانگین میزان تردد به صورت تقسیم ۸۴۱۰ بر ۱۰۲ روز آماری و برابر ۸۲ به صورت تقریبی مشابه شکل ۴ در نمودار الف محاسبه شده است. درصدگیری از میانگین محاسبه شده نیز به صورت تجمیع میانگین حجم ترافیک محاسبه شده در دو گروه بارش برف سبک و سنگین در گراف الف در شکل ۴ و تقسیم میانگین محاسبه شده هر گروه بر

به تفکیک فصول مختلف سال و در قطعات گوناگون با احتساب میانگین تردد برحسب درصد و همچنین اشاره به سهم روزهای آماری در هر یک از زیرگروه‌ها، در جداول ۸ الی ۱۲ آورده شده است. سپس به تفسیر و تحلیل خروجی به دست آمده پرداخته شده است. میانگین حجم ترافیک به صورت تقسیم مجموع تعداد وسایل نقلیه عبوری در تمامی ساعات روزهای آماری دارای هر یک از حالات شرایط آب و هوایی به تفکیک قطعات و فصول مختلف سال بر سهم و تعداد روزهای آماری، محاسبه شده است. به عنوان نمونه در محور محمودآباد نمونه- قزوین مجموع حجم ترافیک وسایل نقلیه

جدول ۹. نتایج عددی مربوط به متغیر سرعت باد (برحسب درصد)

Table 9. Numerical results related to wind speed variable (in percentage)

		شرایط گوناگون سرعت باد (۹۰-۹۷)									
		۰-۳		۳-۷		۷-۱۳		۱۳-۲۰		۲۰-۲۸	
قطعه مورد بررسی	فصل	سهم	میانگین	سهم	میانگین	سهم	میانگین	سهم	میانگین	سهم	میانگین
		روزهای آماری	حجم ترافیک (%)	روزهای آماری	حجم ترافیک (%)	روزهای آماری	حجم ترافیک (%)	روزهای آماری	حجم ترافیک (%)	روزهای آماری	حجم ترافیک (%)
لوشان - کوهین	بهار	۲۵۰۷	۱۲/۶۹	۸۲۴	۱۷/۵۴	۱۳۵۴	۱۸/۲۷	۴۹۹	۲۳/۶۷	۲۶	۲۷/۸۲
لوشان - کوهین	تابستان	۱۶۱۹	۱۱/۶۰	۷۰۰	۱۳/۲۶	۲۲۰۳	۱۷/۳۲	۱۰۷۱	۲۴/۶۲	۴۲	۳۳/۲۰
لوشان - کوهین	پاییز	۳۴۵۵	۱۲/۶۳	۶۹۸	۱۷/۵۹	۹۹۴	۲۰/۸۴	۲۲۷	۲۴/۶۲	۶	۲۴/۳۳
لوشان - کوهین	زمستان	۳۷۵۶	۱۵/۹۴	۷۹۵	۱۸/۸۹	۶۹۹	۱۹/۸۷	۱۳۱	۲۴/۰۳	۴	۲۱/۲۶
کوهین - محمودآباد نمونه	بهار	۱۴۷۳	۳۱/۸۰	۲۳۳۴	۳۲/۳۹	۶۱۳	۳۵/۸۲	---	---	---	---
کوهین - محمودآباد نمونه	پاییز	۱۸۸۱	۲۸/۸۸	۲۲۶۷	۳۲/۱۰	۳۹۸	۳۷/۵۶	۲	۱/۴۶	---	---
کوهین - محمودآباد نمونه	زمستان	۲۲۲۳	۲۴/۱۸	۲۰۰۸	۲۵/۵۲	۴۰۴	۲۵/۳۸	۸	۲۴/۹۱	---	---
محمودآباد نمونه - قزوین	بهار	۴۳۵۷	۲۵/۴۲	۷۵۱	۳۱/۴۶	۱۰۲	۲۵/۶۲	۳	۱۷/۵۰	---	---
محمودآباد نمونه - قزوین	تابستان	۴۷۸۵	۳۰/۲۱	۷۶۵	۳۴/۵۸	۸۳	۳۵/۲۰	---	---	---	---
محمودآباد نمونه - قزوین	پاییز	۴۸۴۸	۲۹/۴۲	۵۰۳	۳۵/۹۶	۴۱	۳۴/۶۲	---	---	---	---
محمودآباد نمونه - قزوین	زمستان	۴۶۱۶	۲۸/۸۹	۷۰۴	۳۳/۳۰	۸۹	۳۷/۸۱	---	---	---	---

جدول ۱۰. نتایج عددی مربوط به متغیر بارش باران (برحسب درصد)

Table 10. Numerical results related to the rainfall variable (in percentage)

قطعه مورد بررسی		فصل		شرایط گوناگون بارش باران (۹۰-۹۷)						
				کمتر از ۱		۱-۵		۵-۱۰		بیش از ۱۰
		میانگین حجم ترافیک روزهای آماری	میانگین حجم ترافیک روزهای آماری	سهم	میانگین حجم ترافیک روزهای آماری	سهم	میانگین حجم ترافیک روزهای آماری	سهم	میانگین حجم ترافیک روزهای آماری	
لوشان - کوهین		تابستان	۶۵/۸۰	۲۸۰۶	۵	۱۴/۰۲	---	---	۲	۲۰/۱۷
کوهین - محمودآباد نمونه		بهار	۲۱/۱۴	۱۹۵۱	۹۱	۱۷/۹۴	۲۲	۲۰/۱۴	۱۲	۴۰/۷۸
محمودآباد نمونه - قزوین		تابستان	۷۰/۴۰	۱۸۰۲	۸	۲۹/۶۰	---	---	---	---

اندکی به میزان تقریبی ۵ درصد در تعداد وسایل نقلیه سبک عبوری مشاهده می‌گردد. به علاوه در قطعه کوهین - محمودآباد نمونه نیز در دو فصل سردتر پاییز و زمستان، با وجود ازدیاد حجم ترافیک در شرایط وزش باد تا سرعت ۱۳ متر بر ثانیه، در اثر افزایش سرعت باد تا ۲۰ متر بر ثانیه، حجم ترافیک کاهش یافته است. مورد مطرح شده در حقیقت تأییدی بر عدم تأثیرگذاری چشمگیر سرعت باد بر میزان تردد خودروها تا ۱۴ متر بر ثانیه می‌باشد. علت نوسان در حجم ترافیک در بازه ابتدایی طبقه‌بندی سرعت باد (۰ الی ۲۰ متر بر ثانیه) برای این دو قطعه را این گونه می‌توان توجیه نمود که از آنجایی که دو محور مذکور ماهیتاً از نظر شرایط توپوگرافی نسبت به قطعه محمودآباد نمونه - قزوین مرتفع‌تر می‌باشند و آمار هواشناسی مربوطه این دو محور به ترتیب از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک موجود یعنی ایستگاه هواشناسی منجیل و کوهین، اخذ شده است بنابراین بادخیز بودن منطقه مربوطه اجتناب‌ناپذیر بوده و در برخی موارد استفاده کنندگان از راه، سفر خود را تا حد امکان لغو نکرده لذا با وجود افزایش میزان سرعت باد از نظر عددی، کاهشی در روند حجم ترافیک ایجاد نگشته است که این موضوع به همان عدم تأثیرگذاری بادهای ملایم بر میزان تردد دلالت دارد. این در حالیست که در قطعه محمودآباد نمونه - قزوین به دلیل هموارتر بودن منطقه مورد مطالعه و وزش بادهای با سرعت ملایم، افزایش میزان سرعت باد، تأثیری بر میزان حجم ترافیک در هیچ یک از فصول نداشته است.

طبق نتایج جداول معناداری (جداول ۵ الی ۷)، ارتباط میان بارش باران و حجم ترافیک تنها در فصول گرم‌تر بهار و تابستان از لحاظ آماری معنادار بوده است. طبق جدول ۱۰، نتایج حاکی از آن است که تنها در فصل گرم تابستان با افزایش بارش باران، حجم ترافیک کاهش یافته است. بدین صورت که در قطعه لوشان - کوهین در فصل تابستان از میزان حجم ترافیک در شرایط

عدد تجمیعی به دست آمده می‌باشد که مشابه روند ذکر شده پیاده‌سازی شده و در جداول ۸ الی ۱۲ ارائه شده است.

طبق جدول ۸، تقریباً در تمامی فصول در هر دو قطعه کوهین - محمودآباد نمونه و محمودآباد نمونه - قزوین با بهبود میزان دید افقی، بر حجم تردد وسایل نقلیه سبک عبوری افزوده شده است و حدود بیش از ۴۰ درصد از حجم ترافیک در شرایط وقوع مه سبک که مربوط به میزان دید افقی بیش از ۱۰۰۰ متر است، می‌باشد. به عبارت دیگر نتایج بیانگر آن است که تعداد وسایل نقلیه سبک عبوری در تمامی قطعات با کاهش میزان دید، به طور متوسط حدود ۱۸ درصد کاهش یافته است. عبارت ذکر شده بیان‌کننده این مسئله می‌باشد که نتایج نشان داد که در شرایط مه سبک و متعاقباً بهتر بودن میزان دید برای رانندگان، حجم ترافیک در مقایسه با شرایط بحرانی و غلیظ شدن مه و کاهش دید، به ویژه در فصل پاییز در قطعه محمودآباد نمونه - قزوین حدود ۳۳ درصد افزایش یافته است. به عبارت دیگر با کاهش میزان دید، حجم ترافیک کاهش و با بهبود شرایط دید، میزان تردد هم افزایش یافته است.

در مورد پارامتر سرعت باد، از آنجایی که بادهای با سرعت ۲ الی ۱۳ متر بر ثانیه طبق مقیاس جهانی بوفورت^۱ در طبقه بادهای ملایم^۲ واقع شده‌اند که این گونه بادهای تأثیری بر حرکت وسایل نقلیه نخواهند داشت [۲۰]. لذا نوسان در میزان تردد در شرایط سرعت باد تا ۱۳ متر بر ثانیه حائز اهمیت نبوده است. با وجود مشاهده افزایش در میزان حجم ترافیک قطعه لوشان - کوهین در فصول سرد پاییز و زمستان تحت شرایط بادهای با سرعت ۰ الی ۲۰ متر بر ثانیه، اما با افزایش میزان سرعت باد از ۲۰ متر بر ثانیه، مجدداً کاهش

1 Beaufort Scale
2 Breeze

جدول ۱۱. نتایج عددی مربوط به متغیر عمق برف (برحسب درصد)

Table 11. Numerical results related to the snow depth variable (in percentage)

قطعه مورد بررسی	فصل	شرایط گوناگون عمق برف (۹۰-۹۷)			
		کمتر از ۲		بیش از ۲	
		سهام روزهای آماری	میانگین حجم ترافیک (%)	سهام روزهای آماری	میانگین حجم ترافیک (%)
لوشان - کوهین	زمستان	۵	۸۵/۶۸	۶	۱۴/۳۲
کوهین - محمودآباد نمونه	زمستان	۱۲۲	۵۷/۴۱	۱۰۲	۴۲/۵۹

در تأیید صحت مطالب فوق‌الذکر، نتایج یکی از مطالعات پیشین نیز در این زمینه، حاکی از مؤثر بودن بارش باران تنها در فصل تابستان می‌باشد. این پژوهش، علت را این گونه توجیه نمود که در سایر فصول به ویژه فصل زمستان، به نظر می‌رسد که استفاده کنندگان از راه، بارش باران را در مقایسه با بارش برف به عنوان شرایطی مساعد در نظر گرفته‌اند. لذا از اثربخشی آن در فصول سرد به میزان قابل ملاحظه‌ای کاسته شده است [۱۷].

به طور کلی خروجی‌های به دست آمده بیانگر آن است که نقش متغیرهای آب و هوایی در فصول مختلف بر تقاضای سفر متفاوت بوده بدین صورت که متغیر بارش باران در فصول گرم به دلیل نوع همرفتی و رگباری آن منجر به کاهش تردد گشته اما در فصل زمستان به دلیل ماهیت سینوپتیک و ملایم بارش‌ها و ماهیت فصل زمستان و انتظار وقوع بارش از دیدگاه کاربران راه، این شرایط تأثیر کمتری بر کاهش تعداد سفرها در فصل سرد داشته است.

طبق جدول ۱۱، نتایج بررسی ارتباط بین پارامتر عمق برف و حجم ترافیک حاکی از آن است که تنها در فصل زمستان میان این دو متغیر ارتباط معنادار در دو قطعه مرتفع‌تر لوشان - کوهین و کوهین - محمودآباد نمونه وجود داشته است. بدین معنا که افزایش عمق برف، منجر به کاهش تعداد وسایل نقلیه عبوری در فصل زمستان شده است. عدم وجود ارتباط بین این متغیر و حجم ترافیک در سایر فصول به عدم وجود برف باز می‌گردد. نتایج جداول حاکی از آن است که شرایط بارش برف سنگین حجم ترافیک به میزان بیش از ۷۰ درصد در قطعه لوشان - کوهین و بیش از ۱۵ درصد در قطعه کوهین - محمودآباد نمونه، کاهش یافته است.

بر اساس آمار هواشناسی کشور، دمای بحرانی، مربوط به درجه حرارت زیر صفر و احتمال وقوع یخبندان بوده که بر همین مبنا به تفکیک دمای یخبندان (صفر و زیر صفر)، دمای نرمال (۰ الی ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و

بارش باران به میزان کمتر از ۱ میلی‌متر در مقایسه با شرایط بارش به مقدار بیش از ۱۰ میلی‌متر، تقریباً ۴۵ درصد، کاسته شده است. در قطعه محمودآباد نمونه - قزوین نیز در فصل تابستان میزان تردد با افزایش بارش باران حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است. استفاده از روش پیشنهادی تحقیق در این آزاد راه حاکی از آن است که به طور کلی واکنش استفاده کنندگان از راه در فصول مختلف سال متفاوت بوده است. به علاوه با توجه به اهداف سفرهای صورت گرفته ضمن لحاظ شرایط آب و هوایی مشابه در دو فصل مختلف سال، نتایج متفاوت می‌باشد. طبق نظر کارشناسان مربوطه، بارش‌های فصول گرم مانند بهار و تابستان در کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی آن، معمولاً از نوع همرفتی و رگباری بوده که می‌تواند بر الگوهای ترافیکی شبکه حمل و نقل مؤثر واقع گردد. به عبارتی دیگر در فصول گرم در مقایسه با فصول سرد پاییز و زمستان عدم بارش انتظار می‌رود، به همین سبب با وقوع این پدیده جوی که در این فصل حالتی غیرنرمال در نظر گرفته می‌شود، آسفالت لغزنده‌تر گشته که ممکن است بر تعداد وسایل نقلیه عبوری تأثیرگذار باشد. در حالی که در فصل زمستان، بارش باران از نوع سینوپتیک و ملایم بوده که شرایطی نرمال محسوب می‌گردد. به عبارت دیگر کاربران راه در شرایط بارش باران در فصل گرم تابستان که غالب سفرها به مقصد تفریحی انجام می‌گیرد، به دلیل بارش‌های رگباری و غیرمنتظره در این فصل، از سفرهای غیرضروری خود جهت حفظ ایمنی سرنشینان، در برخی موارد اجتناب خواهند نمود، این در حالیست که در فصل زمستان به دلیل ماهیت طبیعی این فصل و انتظار بارش و از آنجایی که بر اساس آمار و نظر کارشناسان هواشناسی، بارش‌های فصل زمستان غالباً از نوع ملایم و سینوپتیک می‌باشد، و همچنین با توجه به این موضوع که اکثر سفرهای انجام شده در فصل سرد زمستان از نوع کاری و اجباری بوده، لذا استفاده کنندگان از راه نیز بالاچاره به سفرهای کاری خود در این فصل خواهند پرداخت.

جدول ۱۲. نتایج عددی مربوط به متغیر درجه حرارت (برحسب درصد)

Table 12. Numerical results related to the temperature variable (in percentage)

قطعه مورد بررسی	فصل	شرایط گوناگون دما (۹۰-۹۷)					
		زیر صفر (یخبندان)		۰-۳۵		بیش از ۳۵	
		سهم روزهای آماری	میانگین حجم ترافیک (%)	سهم روزهای آماری	میانگین حجم ترافیک (%)	سهم روزهای آماری	میانگین حجم ترافیک (%)
لوشان - کوهین	بهار	---	---	۱۲۴۴	۴۲/۳۰	۴۳	۵۷/۷۰
لوشان - کوهین	تابستان	---	---	۱۲۴۶	۳۹/۶۳	۱۵۴	۶۰/۳۷
لوشان - کوهین	پاییز	۸	۷/۵۴	۱۲۹۰	۳۵/۱۱	۱۱	۵۷/۳۵
لوشان - کوهین	زمستان	۶۷	۱۷/۸۸	۱۲۳۹	۸۲/۱۲	---	---
کوهین - محمودآباد نمونه	تابستان	---	---	۱۲۷۷	۴۰/۰۸	۱۲۶	۵۹/۹۲
کوهین - محمودآباد نمونه	پاییز	۱۶۹	۲۴/۶۰	۱۱۶۶	۷۵/۴۰	---	---
کوهین - محمودآباد نمونه	زمستان	۵۱۰	۲۳/۹۳	۸۲۶	۷۶/۰۷	---	---
محمودآباد نمونه - قزوین	بهار	۱۳	۳۱/۱۴	۱۲۴۵	۳۰/۱۳	۴۵	۳۸/۷۳
محمودآباد نمونه - قزوین	تابستان	---	---	۱۰۱۷	۳۹/۱۸	۳۸۷	۶۰/۸۲
محمودآباد نمونه - قزوین	پاییز	۱۴۴	۱۷/۰۷	۱۱۹۴	۸۲/۹۳	---	---
محمودآباد نمونه - قزوین	زمستان	۴۰۸	۱۷/۵۰	۹۴۲	۸۲/۵۰	---	---

آن است که در فصول سرد، یخبندان به عنوان عاملی آزار دهنده که منجر به کاهش عبور و مرور می‌گردند، می‌باشند. این در حالیست که در فصول گرم سال مانند تابستان با توجه به فقدان دمای یخبندان، افزایش درجه حرارت (درجه حرارت بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد) تأثیری بر کاهش تعداد وسایل نقلیه سبک عبوری نداشته است. از طرفی دیگر در نگاهی کلی تأثیرات متغیرهای آب و هوایی بر تغییرات حجم ترافیک بر اساس تعیین بیشترین و کمترین میزان اثرگذاری پارامترهای هواشناسی بر میزان تردد به تفکیک قطعات و فصول مختلف سال نیز بررسی گردید. بر این اساس طبق نتایج ارائه شده در جداول ۸ الی ۱۲، در قطعه لوشان - کوهین به ترتیب متغیرهای بارش باران در تابستان، کاهش دما در فصول سرد پاییز و زمستان و متعاقباً وقوع یخبندان و همچنین بارش برف زمستانه، بیشترین نقش را در کاهش تعداد وسایل نقلیه سبک عبوری از محور مورد مطالعه داشته‌اند. در باب متغیر سرعت باد، از آنجایی که در محور مذکور، بیشتر روزهای آماری بادهای با سرعت ۲ الی ۱۳ متر بر ثانیه که طبق مقیاس جهانی بوفورت در طبقه بادهای ملایم واقع شده‌اند، وزیده است، لذا این گونه بادها تأثیری بر حرکت

همچنین از طرفی دیگر دماهای بحرانی بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد پرداخته شده است. در مطالعه اخیری که توسط ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ صورت گرفت، مبنای تفکیک پارامتر دما به دو دسته زیر صفر و بالای صفر بوده است [۲۷]. این در حالیست که در غالب پژوهش‌های پیشین انجام گرفته در زمینه سنجش تأثیر متغیرهای آب و هوایی، بدون لحاظ تفکیک و بازه‌بندی پارامترهای هواشناسی، تأثیر آن‌ها بر تغییرپذیری حجم ترافیک به صورت کلی و بیان صرف افزایش و یا کاهش میزان تردد تحت متغیرهای آب و هوایی و بدون ارائه میزان تغییر حجم بیان شده است. در پژوهش حاضر، مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۱۲، متغیر درجه حرارت تقریباً در تمامی فصول سال و در تمامی قطعات با حجم ترافیک ارتباط معنادار داشته است. به گونه‌ای که با کاهش درجه حرارت، حجم ترافیک کاهش یافته است. خروجی‌های به دست آمده بیانگر آن بود که در فصول سرد پاییز و زمستان با کاهش دمای هوا به زیر صفر درجه سانتی‌گراد و متعاقباً احتمال وقوع پدیده یخبندان، به میزان بیش از ۵۵ درصد از تعداد وسایل نقلیه سبک عبوری از تمامی سه قطعه مورد مطالعه کاسته می‌شود. این مسئله بیانگر

جدول ۱۳. ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن میان متغیرهای مستقل در قطعه لوشان-کوهین

Table 13. Pearson and Spearman correlation coefficients between independent variables in Loushan-Kouhin segment

درجه حرارت	عمق برف	بارش باران	سرعت باد	دید افقی	آزمون پیرسون	درجه حرارت	عمق برف	بارش باران	سرعت باد	دید افقی	آزمون اسپیرمن
۰/۰۰۳	---	۰/۰۰۵	۰/۰۲۳	۱	دید افقی	۰/۰۰۳	---	۰/۰۰۵	۰/۰۲۳	۱	دید افقی
۰/۲۰۰	-۰/۵۸۲	-۰/۰۳۶	۱	۰/۰۲۳	سرعت باد	۰/۲۰۰	-۰/۵۸۲	-۰/۰۳۶	۱	۰/۰۲۳	سرعت باد
---	---	۱	-۰/۰۳۶	۰/۰۰۵	بارش باران	---	---	۱	-۰/۰۳۶	۰/۰۰۵	بارش باران
---	۱	---	-۰/۵۸۲	---	عمق برف	---	۱	---	-۰/۵۸۲	---	عمق برف
۱	---	---	۰/۲۰۲	۰/۰۰۳	درجه حرارت	۱	---	---	۰/۲۰۲	۰/۰۰۳	درجه حرارت

مورد مطالعه مورد بررسی واقع شده و سپس متغیرهای حذف شده همسو و پارامترهای نهایی در نظر گرفته شده جهت لحاظ در تحلیل‌های مورد نظر در این پژوهش، ارائه شده‌اند. در گام بعدی پس از سنجش همسویی میان متغیرها، با به کارگیری آزمون تحلیل واریانس دو طرفه، به شناسایی متغیرهای ترکیبی آب و هوایی دارای رابطه معنادار با حجم ترافیک مورد سنجش قرار گرفت. نتایج پیاده‌سازی آزمون همبستگی پیرسون و اسپیرمن و خروجی ماتریس‌های همبستگی بین تمامی متغیرهای مستقل آب و هوایی به تفکیک در سه قطعه مورد مطالعه نشان داد که اولاً متغیرهایی که ضریب همبستگی محاسبه شده آن‌ها کمتر از $0/2-$ یا بیشتر از $0/2+$ باشد، در خروجی حاصله از دو آزمون همبستگی پیرسون و اسپیرمن مشابه یکدیگر بوده است. نتیجه به دست آمده تأییدی بر این مطلب است که بر اساس قضیه حد مرکزی می‌توان اذعان نمود که در حجم عظیم دیتا شامل آمار ۸ ساله ساعتی ترافیکی و هواشناسی، به کارگیری هر یک از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک نتایج مشابهی را به همراه خواهد داشت. دوماً خروجی‌های به دست آمده طبق جداول ۱۳ الی ۱۵ حاکی از آن است که تنها در قطعه لوشان-کوهین میان دو پارامتر عمق برف و سرعت باد که با رنگ قرمز در جدول ۱۳ نمایش داده شده است، همبستگی وجود داشته و از آنجایی که روزهای برفی اندک بوده، لذا متغیر عمق برف به نفع پارامتر سرعت باد، جهت تحلیل آماری مربوط به این قطعه حذف خواهد شد.

در ادامه به بررسی معناداری دو به دو متغیرهای آب و هوایی غیرهمسو باقی‌مانده با حجم ترافیک عبوری از سه قطعه مورد مطالعه پرداخته شده است. در جدول ۱۶، متغیرهای دودویی آب و هوایی دارای رابطه معنادار با میزان تردد به تفکیک قطعات مورد بررسی نمایش داده شده است.

وسایل نقلیه نخواهند داشت و تنها در فصول سرد پاییز و زمستان با افزایش سرعت باد (بازه ۲۸-۲۰ متر بر ثانیه)، حجم ترافیک کاهش یافته است. در قطعه کوهین-محمودآباد نمونه، مشابه محور لوشان-کوهین، به دلیل وزش بادهای ملایم، متغیر سرعت باد کمترین میزان تأثیر را بر تغییر حجم ترافیک داشته و تنها در فصول سرد پاییز و زمستان شاهد کاهش اندکی در میزان تردد بوده‌ایم. از میان سایر متغیرهای آب و هوایی معنادار شناخته شده بر حجم ترافیک، کاهش میزان دید در فصول تابستان، پاییز و زمستان، کاهش دما و احتمال وقوع یخبندان و همچنین بارش برف در فصل زمستان از حجم ترافیک عبوری از محور مورد مطالعه کاسته‌اند. در قطعه محمودآباد نمونه-قزوین نیز از میان کلیه پارامترهای مؤثر شناسایی شده، بارش‌های رگباری فصل تابستان و کاهش میزان دید در فصول سردتر سال به علاوه کم شدن درجه حرارت به زیر صفر درجه سانتی‌گراد، منجر به کاهش حجم ترافیک نسبت به شرایط مساعدتر گشته است.

۵-۲- نتایج پیاده‌سازی آزمون تحلیل واریانس دو طرفه جهت بررسی اثر تلفیقی دو به دو متغیرهای آب و هوایی بر حجم ترافیک

پیش از پیاده‌سازی آزمون مربوطه، به بررسی همبستگی میان متغیرهای مستقل از طریق به کارگیری آزمون‌های همبستگی پیرسون و اسپیرمن پرداخته شده است. در این روش‌ها اگر ضریب همبستگی محاسبه شده کمتر از $0/2-$ یا بیشتر از $0/2+$ باشد (مقدار معناداری کمتر از $0/05$ برای داده‌های مورد نظر)، دو متغیر در نظر گرفته شده بسیار با یکدیگر همبسته می‌باشند [۲۴]. نتایج سنجش همسویی با دو آزمون همبستگی پیرسون و اسپیرمن، بین تمامی متغیرهای مستقل آب و هوایی به تفکیک در سه قطعه

جدول ۱۴. ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن میان متغیرهای مستقل در قطعه کوهین- محمودآباد نمونه

Table 14. Pearson and Spearman correlation coefficients between independent variables in Kouhin-Mahmoudabad nemune segment

آزمون پیرسون	دید افقی	سرعت باد	بارش باران	عمق برف	درجه حرارت	آزمون اسپیرمن	دید افقی	سرعت باد	بارش باران	عمق برف	درجه حرارت
دید افقی	۱	-۰/۰۴۵	-۰/۱۷۳	-۰/۰۸۶	۰/۱۷۰	دید افقی	۱	-۰/۰۴۷	-۰/۱۸۰	-۰/۰۸۶	۰/۱۷۱
سرعت باد	-۰/۰۴۵	۱	-۰/۰۱۸	۰/۰۱۱	۰/۰۶۲	سرعت باد	-۰/۰۴۷	۱	-۰/۰۲۴	-۰/۰۰۸	۰/۰۶۸
بارش باران	-۰/۱۷۳	-۰/۰۱۸	۱	۰/۱۸۹	---	بارش باران	-۰/۱۸۰	-۰/۰۲۴	۱	۰/۲۰۰	---
عمق برف	-۰/۰۸۶	۰/۰۱۱	۰/۱۸۹	۱	---	عمق برف	-۰/۰۸۶	-۰/۰۰۸	۰/۲۰۱	۱	---
درجه حرارت	۰/۱۷۰	۰/۰۶۲	---	---	۱	درجه حرارت	۰/۱۷۱	۰/۰۶۸	---	---	۱

جدول ۱۵. ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن میان متغیرهای مستقل در قطعه محمودآباد نمونه- قزوین

Table 15. Pearson and Spearman correlation coefficients between independent variables in Mahmoudabad nemune- Qazvin segment

آزمون پیرسون	دید افقی	سرعت باد	بارش باران	عمق برف	درجه حرارت	آزمون اسپیرمن	دید افقی	سرعت باد	بارش باران	عمق برف	درجه حرارت
دید افقی	۱	۰/۰۰۷	-۰/۱۳۱	۰/۰۲۷	۰/۰۶۸	دید افقی	۱	۰/۰۰۸	-۰/۱۳۲	۰/۰۲۷	۰/۰۶۵
سرعت باد	۰/۰۰۷	۱	۰/۰۱۰	۰/۱۲۵	۰/۱۳۴	سرعت باد	۰/۰۰۸	۱	۰/۰۰۶	۰/۱۲۵	۰/۱۳۹
بارش باران	-۰/۱۳۱	۰/۰۱۰	۱	۰/۱۲۲	---	بارش باران	-۰/۱۳۲	۰/۰۰۶	۱	۰/۱۱۹	---
عمق برف	۰/۰۲۷	۰/۱۲۵	۰/۱۲۲	۱	---	عمق برف	۰/۰۲۷	۰/۱۲۵	۰/۱۱۹	۱	---
درجه حرارت	۰/۰۶۸	۰/۱۳۴	---	---	۱	درجه حرارت	۰/۰۶۵	۰/۱۳۹	---	---	۱

ارتباط میان نتایج آماری با بعد مکانی ارتفاع، نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه از طریق GIS تهیه شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. در شکل ۵، تغییرات ارتفاعی محور انتخابی نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است، محور برگزیده شده عبوری از ناحیه کوهین در قیاس با بخش قزوین، مرتفع تر بوده است.

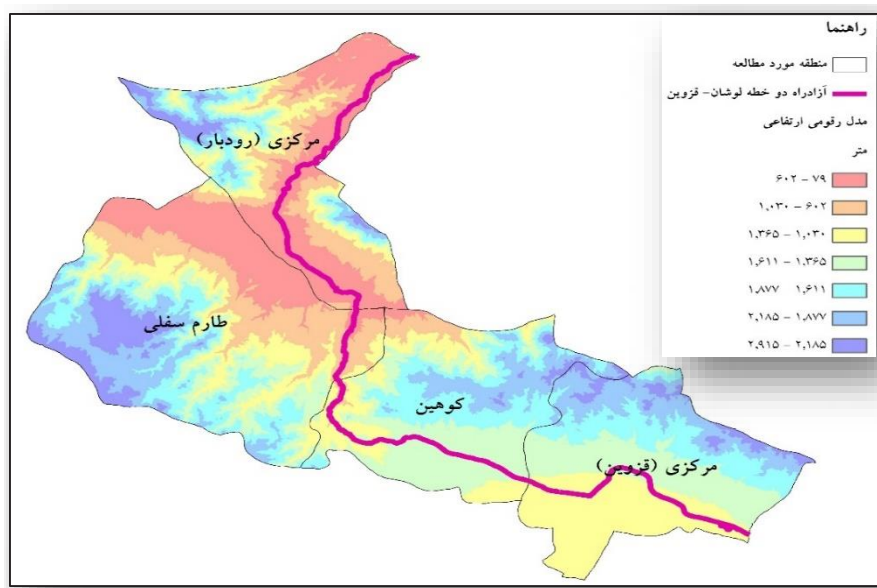
در محور محمودآباد نمونه- قزوین نیز نتایج پیاده سازی به شرح جدول ۱۶ نشان داد که تلفیق دید افقی با عمق برف، دید افقی و دما و همچنین میزان دید افقی در ترکیب با عامل سرعت باد، به علاوه ترکیب شرایط بارش باران همراه با سرعت باد بر تعداد وسایل نقلیه تأثیرگذار بوده است. علت اثرگذاری بیشتر شرایط تلفیقی جوی بر حجم ترافیک در این قطعه را این گونه می توان توجیه نمود که از آنجایی که محور محمودآباد نمونه- قزوین

همانطور که در جدول ۱۶ نشان داده شده است، در قطعه لوشان- کوهین پارامتر سرعت باد در تلفیق با متغیر بارش باران و همچنین سرعت باد همراه با عامل درجه حرارت دارای ارتباط معنادار با حجم ترافیک بوده است. تأثیرگذاری سرعت باد در تلفیق با شرایط بارش و همچنین تغییرات دمایی، با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه که آمار آب و هوایی مربوطه به آن از نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی یعنی منجیل اخذ گردیده و به دلیل بادخیز بودن ناحیه مورد نظر، توجیه پذیر می باشد. در قطعه کوهین- محمودآباد نمونه نیز تلفیق دو حالت بارش و برف و پوشش سطح راه توسط لایه ای از برف همراه با وزش باد بر میزان تردد مؤثر بوده است. معناداری اثر ترکیبی عمق برف و سرعت باد با توجه به کوهستانی بودن ناحیه مورد بررسی که از محور مرتفع کوهین می گذرد، قابل توجیه است. جهت سنجش

جدول ۱۶. نتایج آزمون تحلیل واریانس دوطرفه

Table 16. Results of two-way analysis of variance test

متغیر وابسته	متغیرهای مستقل (عامل)	معناداری Sig.
محور لوشان - کوهین		
حجم ترافیک	بارش باران * سرعت باد	۰/۰۰۴
	درجه حرارت * سرعت باد	۰/۰۰۰
محور کوهین - محمودآباد نمونه		
حجم ترافیک	عمق برف * سرعت باد	۰/۰۰۱
محور محمودآباد نمونه - قزوین		
حجم ترافیک	عمق برف * دید افقی	۰/۰۳۶
	دما * دید افقی	۰/۰۰۸
	بارش باران * سرعت باد	۰/۰۰۷
	دید افقی * سرعت باد	۰/۰۴۳



شکل ۵. تغییرات ارتفاعی آزادراه مورد مطالعه

Fig. 5. Elevation changes of the case study freeway

کوهین - محمودآباد نمونه، (با توجه به شکل ۵) استفاده کنندگان از راه به‌طور ذاتی با آگاهی و احتیاط بیشتری و با لحاظ ماهیت محورهای عبوری و شرایط جوی احتمالی پیش رو، پیش از حرکت جهت انجام سفرهای خود تصمیم‌گیری می‌نمایند.

تغییرات ارتفاعی محور مورد مطالعه در شکل ۵ نمایش داده شده است.

در قیاس با دو محور دیگر (لوشان - کوهین و کوهین - محمودآباد نمونه) از تغییرات ارتفاعی کمتری برخوردار بوده و هموارتر می‌باشد، لذا تغییرات تلفیقی جوی و متعاقباً تشدید اثرات آن‌ها برای کاربران راه غیرمنتظره بوده و منجر به واکنش رانندگان در تغییر به تصمیم‌گیری در سفرهایشان می‌گردد. این در حالیست که در دو قطعه مرتفع‌تر و کوهستانی لوشان - کوهین و

۶- نتیجه‌گیری

تهیه اطلاعات جوی لازم در مورد وضعیت راه‌ها برای تسهیل در امر جابه‌جایی کالا و مسافر، کاهش خسارات احتمالی و نیز آسایش مسافری امری ضروری است. صدور اطلاعات و پیش‌آگاهی‌های لازم برای مسئولان و مردم، ضمن تسهیل در امر رفت و آمد، خسارات جانی و مالی حوادث جاده‌ای را نیز در حد قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. لذا رویکرد اصلی تحقیق بر تلفیق و تطابق زمانی پارامترهای آب و هوایی با اطلاعات حجم ترافیک، ضمن لحاظ حد آستان‌های پارامترهای هواشناسی جهت تحلیل مقدارسنجی و تأثیر گروه‌های گوناگون آب و هوایی بر میزان تردد وسایل نقلیه سبک در آزادراه مورد مطالعه به تفکیک فصول مختلف سال از طریق به کارگیری آزمون‌های آماری استوار است.

مشاهدات آماری به دست آمده به طور کلی حاکی از آن است که تعداد وسایل نقلیه سبک عبوری در تمامی قطعات با کاهش میزان دید، به طور متوسط حدود ۱۸ درصد کاهش یافته است. این بدان معناست که با بهبود میزان دید به ویژه در فصول سرد سال، حجم ترافیک افزایش یافته است. وزش بادهای ملایم (حداکثر با سرعت ۱۳ متر بر ثانیه) نیز تأثیر چشمگیری بر میزان تردد نداشته است اما در فصل زمستان حجم ترافیک با افزایش میزان سرعت باد در دو قطعه مرتفع‌تر لوشان- کوهین و کوهین- محمودآباد نمونه کاهش یافته است. به طوری که در فصول سرد پاییز و زمستان، وزش بادهای با سرعت ۲۰ الی ۲۸ متر بر ثانیه در قطعه لوشان- کوهین و در قطعه محمودآباد نمونه- قزوین بادهایی با سرعت بیش از ۱۳ متر بر ثانیه، منجر به کاهش حجم ترافیک شده است. یکی از نتایج تحقیق حاکی از آن است که افزایش میزان بارش باران تنها در فصول گرم تابستان منجر به کاهش حجم ترافیک گشته است که خروجی حاصله در راستای تأیید پژوهش‌های پیشین می‌باشد. مشابه دستاوردهای به دست آمده از مطالعات گذشته که بارش برف در فصول سرد منجر به کاهش میزان تردد می‌گردد، در این تحقیق نیز افزایش عمق برف در دو قطعه مرتفع‌تر لوشان- کوهین و کوهین- محمودآباد نمونه، حجم ترافیک را کاهش داده است؛ بدین صورت که میزان تردد در شرایط بارش سنگین برف تقریباً به میزان بیش از ۷۰ درصد در قطعه لوشان- کوهین و بیش از ۱۵ درصد در قطعه کوهین- محمودآباد نمونه، کاهش یافته است. متغیر درجه حرارت نیز از جمله پارامترهای تأثیرگذار در تمامی فصول و قطعات مورد بررسی بوده است. بدین نحو که در فصول سرد، یخبندان به عنوان عواملی آزار دهنده که منجر به کاهش عبور و مرور خودروهای سبک عبوری می‌شود، شناخته شده است. نتایج نشان داد که

میزان حجم ترافیک در شرایط یخبندان به طور تقریبی در تمامی قطعات کمتر از ۳۰ درصد بوده است. مدیریت و برنامه‌ریزی ترافیک و کاهش میزان تلفات و تأخیر احتمالی در هنگام وقوع رویدادهای آب و هوایی غیرمترقبه یکی از اهداف اصلی متولیان حمل و نقلی در سراسر جهان محسوب می‌گردد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به منظور مدیریت ترافیک جاده‌ای و به تبع آن کاهش میزان تأخیر و افزایش ایمنی، جهت استفاده مدیران برنامه‌ریزی حمل و نقل سودمند واقع گردد. به عبارت دیگر بر اساس نتایج به دست آمده این تحقیق با آگاهی از میزان تغییرات حدودی حجم ترافیک در شرایط مختلف آب و هوایی و تعمیم آن به شرایط مشابه پیش آمده، می‌توان به ارائه توصیه‌های پیشگیرانه لازم و همچنین اجرا تمهیدات مورد نیاز جهت مدیریت و کنترل ترافیک و صرفه‌جویی در زمان و پیشگیری از سایر عواقب ناشی از تراکم ترافیک شامل افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، انواع آلودگی‌های صوتی و هوا، افزایش مصرف سوخت، افزایش زمان سفر و غیره پرداخت. به علاوه در کشور ما به سبب ویژگی‌های جمعیتی، وسعت زیاد و شرایط خاص اجتماعی و اقتصادی، حمل و نقل و امور مربوط به آن در اقتصاد و تحولات اقتصادی اهمیت زیادی دارد. با استناد به توصیه‌های مداخله پیشگیرانه پلیس راهور و آیین‌نامه ایمنی راه‌های کشور (نشریه ۲۶۷) با تجهیز جاده‌ها به سیستم هشدار جاده‌ای و اطلاع‌رسانی شرایط آب و هوایی با استفاده از سامانه برخط می‌توان با الگوگیری از نتایج این پژوهش، در شرایط آب و هوایی مشابه و با آگاهی از حدود احتمالی تقریبی تغییرات حجم ترافیک، آمادگی‌های لازم جهت اقدامات مورد نیاز را پیش از موعد، برنامه‌ریزی نمود. به عنوان نمونه طبق بند ۸ آیین‌نامه راهنمای بهداشت رانندگان می‌بایست توصیه‌هایی شامل رعایت فاصله تعقیب خودرو جلویی (طبق ضوابط رانندگی در شرایط نامساعد آب و هوایی در حد ۴ ثانیه)، استفاده از چراغ‌های مه‌شکن در شرایط کاهش دید افقی، استفاده از سیستم تهویه خودرو برای جلوگیری از بخارزدگی شیشه‌ها در شرایط بارانی، افزایش فاصله توقف در صورت وجود یخبندان در سطح جاده و کاهش سرعت و استفاده از دنده سنگین در شرایط افزایش سرعت باد، رعایت شوند [۲۸]. به علاوه ایجاد تعامل شبکه‌بندی بین پلیس راه با سازمان هواشناسی کشور، اعزام نیروهای تعمیر و نگهداری در شرایط اضطراری ناشی از بارش باران و برف، جمع‌آوری و تلفیق اطلاعات ترافیکی و جوی به منظور پیش‌بینی وضعیت راه‌ها و جریان ترافیک، حذف سفرهای غیرضروری و جایگزینی آن‌ها با روش‌های ارائه خدمات غیرحضور (خریدهای الکترونیک، خدمات غیرحضور و غیره، تغییر زمان انجام سفرهای غیراجباری شامل سفرهای

international road weather conference, Helsinki, Finland, 2012.

- [9] L. Andrew, Investigating the Effects of Rainfall on Traffic Operations on Florida Freeways, University of North Florida, 2019.
- [10] K. Iqbal, F. Alam, F. Riaz, A. Hashmi, M.N. Khalid, A.J.r. Gohar, Application of Numerical Analysis in Real Life, 55 7.
- [11] Road Safety Regulations: Deputy of Strategic Supervision of Technical System Affairs of the Ministry of Roads and Urban Development, No. 267.6 (1384), (in persian).
- [12] H.N. Majid, K. Gholamali, Climate and road safety: Tehran, ministry of roads and transportation, (1385), (in persian).
- [13] P.GH, Mohammadreza, F.Z. Manuchehr, G. Amir, H.Z. Ashab, Analysis of road accidents with a climatic approach and providing a model for preventive intervention of traffic police, 1396. (in persian).
- [14] S. Datla, P. Sahu, H.-J. Roh, S. Sharma, A comprehensive analysis of the association of highway traffic with winter weather conditions, Procedia-social and behavioral sciences, 104 (2013) 497-506.
- [15] T.H. Maze, M. Agarwal, G.J.T.r.r. Burchett, Whether weather matters to traffic demand, traffic safety, and traffic operations and flow, 1948(1) (2006) 170-176.
- [16] M.L. Angel, T. Sando, D. Chimba, V. Kwigizile, Effects of rain on traffic operations on Florida freeways, Transportation Research Record, 2440(1) (2014) 51-59.
- [17] A. Dehman, A.J.T.R.R. Drakopoulos, How weather events affect freeway demand patterns, 2615(1) (2017) 113-122.
- [18] B.H. Munro, Statistical methods for health care research, lippincott williams & wilkins, 2005.
- [19] J. Gholamreza, which statistical test should we choose, Management culturem, Second year, 6 (1383) 111-121. (in persian).
- [20] W.M.O.C.f.M. Meteorology, The Beaufort Scale of Wind Force:(technical and Operational Aspects), WMO,

غیرکاری و غیرآموزشی و تغییر ساعات کاری یا شناورسازی ساعات کار در روزهای خاص، از جمله اقدامات دیگری است که جهت بهبود شرایط رانندگی در شرایط آب و هوایی نامساعد پیشنهاد شده است.

سپاس‌گزاری

از سازمان هواشناسی کشور و سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای به دلیل تأمین بخشی از داده‌های مورد استفاده در پژوهش تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

- [1] S.C. Calvert, M. Snelder, Influence of weather on traffic flow: an extensive stochastic multi-effect capacity and demand analysis, Institute for Transport Studies in the European Economic Integration, 2016.
- [2] I.S. Oslakovic, H. ter Maat, A. Hartmann, G. Dewulf, Risk assessment of climate change impacts on railway infrastructure, (2013).
- [3] R. Hranac, E.D. Sterzin, D. Krechmer, H. Rakha, M. Farzaneh, Empirical studies on traffic flow in inclement weather, United States. Federal Highway Administration. Road Weather Management Program, 2006.
- [4] A.D. Stern, V. Shah, L.C. Goodwin, Analysis of weather impacts on traffic flow in metropolitan Washington, DC, (2003).
- [5] A. Alim, A. Joshi, F. Chen, C.T.J.G. Lawson, Techniques for efficient detection of rapid weather changes and analysis of their impacts on a highway network, (2020) 1-31.
- [6] F. Xing, H. Huang, Z. Zhan, X. Zhai, C. Ou, N. Sze, K.J.A.m.i.a.r. Hon, Hourly associations between weather factors and traffic crashes: non-linear and lag effects, 24 (2019) 100109.
- [7] H.S. Mahmassani, J. Dong, J. Kim, R.B. Chen, B.J.U.D.o.T. Park, Washington, Incorporating weather impacts in traffic estimation and prediction systems, 108 (2009).
- [8] I. Juga, A. Vajda, The effect of weather on transportation: assessing the impact thresholds for adverse weather phenomena, in: Proceedings of SIRWEC 16th

- [25] T. Jafar, F.P. Saeid, Meteorology, Tehran, Ministry of education, Iran, Textbook publishing company, 1395. (in persian).
- [26] R.P. Roess, E.S. Prassas, W.R. McShane, Traffic engineering, Pearson/Prentice Hall, 2004.
- [27] D. Sathiaraj, T.-o. Punksam, F. Wang, D.P. Seedah, Data-driven analysis on the effects of extreme weather elements on traffic volume in Atlanta, GA, USA, Computers, Environment and Urban Systems, 72 (2018) 212-220.
- [28] Comprehensive Guide to Driver Health: Environmental Research Institute, 1390. (in persian).
- 1970.
- [21] W.M. Organization, Manual on the Global Observing System WMO-No. 544-2017
- [22] K. Keay, I.J.A.a. Simmonds, prevention, The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia, 37(1) (2005) 109-124.
- [23] S. Datla, S.J.T.R.R. Sharma, Variation of impact of cold temperature and snowfall and their interaction on traffic volume, 2169(1) (2010) 107-115.
- [24] S.S. Pulugurtha, V.R. Duddu, Y.J.A.A. Kotagiri, Prevention, Traffic analysis zone level crash estimation models based on land use characteristics, 50 (2013) 678-687.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

Ch. Atrchian, M. Effati, M. Davudi, Seasonal Impact Analysis of climatic conditions on free-ways light- vehicle traffic volume with temporal adaptation of weather parameters and traf- fic information, Amirkabir J. Civil Eng., 54(10) (2023) 3699-3722.

DOI: 10.22060/ceej.2022.20503.7443

