مقاله علمی – پژوهشی

آسیب‌پذیری شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای ناشی از تغییرات اقلیمی (موردمطالعه: جاده‌های استان لرستان با استفاده از آزمون جرم مضاعف)

ولی مریدی[۱]، منیژه ظهوریان پردل[۲]، رضا برنا[۳]، علیرضا شکیبا[۴]

پژوهشنامه جغرافیای انتظامی
سال نهم، شماره سی‌وچهارم، تابستان ۱۴۰۰

از صفحه ۵۷ تا ۸۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲

چکیده

صنعت حمل‌ونقل، نقش کلیدی و مؤثری در اجرای برنامه‌های توسعه پایدار کشورها ایفا می‌کند. یکی از بخش‌های مهم صنعت حمل‌ونقل، امنیت حمل‌ونقل جاده‌ای است. هدف اصلی این پژوهش تحلیل آسیب‌پذیری شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای در شرایط تغییر اقلیم است.

روش مورداستفاده در پژوهش حاضر «آزمون جرم مضاعف» است که برای بررسی درستی و همگنی داده‌ها[۵] و کنترل کیفیت آمار مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این روش از مدل «اقلیمی جهانی»[۶] و از یک دوره آماری ده‌ساله استفاده شد که با روش وزن‌دهی و با هدف تحلیل زمانی و مکانی داده‌ها بررسی شده است. نتایج حاصله و بررسی‌ها نشان داد، شاخص‌های حدی اقلیمی-هواشناسی که بر اساس آستانه‌های دما و بارش (صدک، مطلق، تداوم، تعداد روز و سایر) استخراج‌شده، در مدل رگرسیون با توجه به میزان تصادفات جاده‌ای در نواحی مختلف استان دارای وزن‌های مختلفی بودند؛ در نتیجه میزان تأثیرپذیری متفاوتی داشتند. در نواحی شمالی مؤثرترین شاخص در بین (۵) شاخص تعیین‌شده، حداکثر بارش یک‌روزه در ماه بود. به‌جز در محور جنوبی استان لرستان که شاخص شب‌های گرم تأثیر بیشتری بر بارش داشت. آنچه در روند تغییرات درصد تصادفات به‌وضوح مشخص بود، مطابقت روند فصلی شاخص‌ها و درصد تصادفات و معنی‌داری همبستگی (۰/۰۰۰) میان آن‌ها بود؛ بنابراین فرضیه‌های پژوهش مبنی بر تأثیر تغییر اقلیم بر عناصر اقلیمی مؤثر بر حمل‌ونقل جاده‌ای و تغییر اقلیم به‌عنوان عامل اصلی آسیب‌پذیری شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای، مورد تأیید قرار گرفتند.

کلیدواژه‌ها: اقلیم، جاده، جرم مضاعف، حمل‌ونقل، تغییر اقلیم، لرستان.

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران.
۲- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران.
۳- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران، (نویسنده مسئول)، bornareza@yahoo.com.
۴- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۵- آمار تصادفات جاده‌ای، منبع آمار پلیس‌راه فرماندهی انتظامی استان لرستان.

6- GCM

بیان مسئله

تغییر اقلیم، اشاره به تغییر در شرایط اقلیمی دارد که می‌تواند بر اساس تغییرات ایجادشده در میانگین‌ها یا نوسانات اقلیمی در طولانی‌مدت مانند دهه یا طولانی‌تر به وجود آید. علت تغییر اقلیم ممکن است فرآیندهای داخلی طبیعت یا نیروهای خارجی مانند تغییرات مداری، دوره‌های خورشیدی یا تغییر کاربری اراضی و تغییر ترکیبات جو براثر فعالیت‌های انسانی باشد. از طرفی تغییرات اقلیمی و پارامترهای مؤثر آن مانند بارش زمینه وقوع تصادفات جاده‌ای را فراهم می‌کند. آنچه مسلم است تصادفات جاده‌ای یکی از مهم‌ترین چالش‌های محورهای مواصلاتی استان لرستان است که سالانه جان بسیاری از شهروندان را به مخاطره انداخته و نقاط حادثه‌خیز این محورها کماکان به‌عنوان خطری بالقوه وجود دارند و شناسایی و اصلاح آن‌ها ضرورتی است اجتناب‌ناپذیر که در این پژوهش به عوامل تأثیرگذار و تشدیدکننده پرداخته شده است. امروزه یکی از زیرساختارهای اساسی برای توسعه اقتصادی، داشتن شبکه حمل‌ونقل کارآمد و مؤثر است؛ به‌نحوی‌که توسعه سایر زیرساخت‌های جامعه بدون توجه کافی به شبکه ترابری و امور حمل‌ونقل، پیامدهای زیان‌بار جانی و مالی بسیاری را در پی خواهد داشت. از طرفی اثرات موجود و پیش‌بینی‌شده تغییر اقلیم منجر به پیامدهای مهم و جدی برای زیرساخت‌های حمل‌ونقل می‌شود. برخی از این تأثیرات در حال حاضر مشاهده می‌شوند و برخی دیگر توسط مدل‌های پیچیده آب‌وهوا پیش‌بینی می‌شوند؛ اما همه این پیش‌بینی‌ها پتانسیل دارند که به‌طور چشمگیری زندگی مردم را تغییر دهند. علاوه بر دمای متوسط گرم، دانشمندان پیش‌بینی می‌کنند که اثرات تغییر اقلیم شامل مواردی از قبیل افزایش فراوانی خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت (۱-۳ ماه) در ماه‌های تابستان، افزایش موارد روزهای گرمای شدید، یخ‌های زودرس در دریاچه‌ها، طولانی‌شدن طول فصل رشد، نوسانات چرخه انجماد/ذوب، افزایش فرکانس و شدت طوفان، افزایش بارش سالانه، برف کمتر و باران بیشتر در ماه‌های زمستان، رواناب اولیه بهار، فزایش تبخیر و تعرق، افزایش خطر آتش‌سوزی، آفات و گونه‌های تهاجمی، تغییر در حجم رواناب و حجم آب

طوفان، کاهش برف (تراکم، مدت‌زمان، میزان)، کاهش رطوبت خاک، افزایش فرکانس حوادث شدید آب‌وهوایی (طوفان‌ها، طوفان‌های یخی، باران شدید) و افزایش سطح دریا در امتداد مناطق ساحلی هستند. سامانه‌های حمل‌ونقل و زیرساخت‌های وابسته به آن‌ها متأثر از بسیاری از موارد فوق هستند (نئومانن، ۲۰۱۳).

سیستم حمل‌ونقل نواحی مختلف جهان برای شرایط اقلیمی معمولی و آب‌وهوایی که در محل تجربه می‌شود، ساخته شده است؛ از جمله محدوده‌های معقول و استثنا مانند وقوع سیل که به‌ندرت در (۱۰۰) سال اتفاق می‌افتد. این سیستم به‌گونه‌ای طراحی شده است که نوسانات اقلیمی را تحمل کند. بااین‌حال، تغییر اقلیم و رخدادهای حدی اقلیمی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در حمل‌ونقل داشته باشد؛ به‌ویژه اگر آن‌ها شرایط محیطی را در خارج از محدوده طراحی سیستم قرار دهند. شرایط اقلیمی و اثرات آن بر حمل‌ونقل در طی چند دهه گذشته تغییر کرده است و پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز با تأثیرات منفی و مثبتی بر سیستم حمل‌ونقل ادامه خواهد یافت.

تغییر اقلیم به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر زیرساخت‌های حمل‌ونقل تأثیر می‌گذارد. میزان این اثرات بستگی به محیطی دارد که زیرساخت‌ها در آن واقع‌شده‌اند. به‌عنوان‌مثال، افزایش میزان بارش در برخی مناطق بر سطح رطوبت موجود در خاک و ایجاد هیدرواستاتیک در پشت دیواره‌ها و فرورفتگی‌ها و پایداری زیرشاخه‌های روسازی تأثیر می‌گذارد. رواناب حاصل از افزایش میزان بارش نیز در برخی از نقاط بر جریان رسوب‌گذاری با تأثیرات احتمالی بر پایه‌های پل تأثیر می‌گذارد. اثرات غیرمستقیم آن به‌عنوان‌مثال، تغییرات احتمالی ناشی از اقلیم در جمعیت‌شناسی یا توزیع محصولات کشاورزی، جنگل‌ها و شیلات می‌تواند پیامدهایی برای استفاده از جاده‌ها و سایر الگوهای حمل‌ونقل بین مراکز اقتصادی نوظهور و مناطق شهری باشد. الگوهای حمل‌ونقل همچنین می‌تواند تغییر کند؛ زیرا صنعت گردشگری به

تغییرات در مناطق جالب از نظر زیست‌محیطی یا تفریحی پاسخ می‌دهد (میلر[1] و همکاران، ۲۰۰۸).

با توجه به آنچه بیان شد، تغییر اقلیم یکی از چالش‌های کنونی و آتی فراروی زیرساخت‌های حمل‌ونقل است؛ بنابراین باید به‌نوعی با استفاده از ابزارهای مختلف موجود در حوزه مدیریت این اثرات پیش‌بینی و یا شبیه‌سازی شود تا با توجه به آن بتوان برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های لازم را داشت تا در نهایت ضمن تأمین امنیت حمل‌ونقل تأمین شود؛ بنابراین با توجه به اهمیت زیرساخت‌های حمل‌ونقل به‌ویژه جاده‌ای در این پژوهش تلاش خواهد شد تا اثر تغییر اقلیم حمل‌ونقل جاده‌ای استان لرستان بررسی شود.

پیشینه پژوهش

تغییر اقلیم و حمل‌ونقل رابطه معنی‌داری با یکدیگر دارند. زیرساختارهای حمل‌ونقل از تغییر اقلیم تأثیر می‌پذیرند و از طرف دیگر به‌عنوان یک پیشران برای تغییر اقلیم شناخته می‌شوند (همفری[2]، ۲۰۰۸؛ ورنر[3]، ۲۰۱۰). در زمینه اثرات تغییر اقلیم، این چالش زیست‌محیطی بر همه زیرساخت‌های حمل‌ونقل تأثیر می‌گذارد (فرانسوا[4]، ۲۰۱۲). بررسی منابع نشان می‌دهد، آسیب‌پذیری سامانه‌های حمل‌ونقل از تغییر اقلیم عمدتاً با دو رویکرد انجام می‌شود: اثرات مستقیم و اثرات غیرمستقیم. تقریباً در تمام پژوهش‌های انجام‌شده، عوامل اصلی اثرات مستقیم و غیرمستقیم تغییر اقلیم شامل رخدادهای حدی دمایی (گرم و سرد)، بارندگی‌های شدید در شرایط خشک‌سالی، افزایش سطح دریا و طغیان ساحلی هستند (استوکر و همکاران[5]، ۲۰۱۳؛ ملیلو و همکاران[6]، ۲۰۱۴). در ادامه مروری پژوهش‌ها بر اساس چهار رویکرد ذکرشده بیان می‌شود.

1 - Miller et al
2 - Humphrey
3 - Werner
4 - Françoise
5 - Stocker et al
6 - Melillo et al

«رایت و هوگان»[1] (۲۰۰۸)؛ تأثیر افزایش سطح دریا در زیرساخت‌های حمل‌ونقل سواحل شرقی ایالات‌متحده را مورد تحلیل قرار دادند و دریافتند که بیش از (۳۸۰۰) کیلومتر راه و راه‌آهن در معرض خطر غوطه‌وری موقت یا دائمی در صورت افزایش سطح دریا تا (۵۹) سانتی‌متر هستند. به همین ترتیب «سوارز»[2] و همکاران (۲۰۰۵)، بررسی اثرات ترکیبی سیلاب ساحلی (به دلیل افزایش سطح دریا) و طغیان رودخانه (به دلیل وقوع بارندگی شدید) را بر عملکرد سیستم حمل‌ونقل شهری در کلان‌شهر بوستون انجام دادند. در نهایت، آن‌ها تخمین زدند که سیل ناشی از تغییر اقلیم، تقریباً تعداد اختلال‌های ایجادشده و داشتن شرایط سفر را تا سال (۲۱۰۰) دو برابر می‌کند.

«شوایکرت و همکاران»[3] (۲۰۱۴)، در نتایج پژوهشی نشان دادند هزینه متوسط عدم اجرای راهبردهای سازگاری در جاده‌های آسفالت شده در «کلرادو» تا سال (۲۰۹۰)، (۱۴،۲) میلیون دلار خواهدبود. «اسپینت و همکاران»[4] (۲۰۱۶)، تخمین زدند که اثرات تغییر اقلیم ممکن است منجر به خسارت بین (۱،۳ تا ۴،۹) میلیارد دلار در جاده‌های اصلی مکزیک بین سال‌های (۲۰۱۵ و ۲۰۵۰) شود. «آندروود و همکاران»[5] (۲۰۱۷)، تخمین زدند که افزایش دمای پیش‌بینی‌شده می‌تواند هزینه‌های انتخاب و نگهداری مواد روسازی را در ایالات‌متحده به میزان (۳۶) میلیارد دلار تا دهه (۲۰۷۰) افزایش دهد. نهایتاً، «مالیک و همکاران»[6] (۲۰۱۶)، با استفاده از ترکیبی از مدل‌های اقلیمی، مدل‌سازی دینامیکی شبیه‌سازی انجام دادند. آن‌ها برآورد کردند، تغییرات در حداکثر دمای هوا و بارندگی سالانه احتمالاً منجر به ایجاد (۴ تا ۱۲) درصد بازسازی اضافه جاده‌ها تا سال (۲۰۵۰) خواهد شد. «ژله و گوکچکوس»[7] (۲۰۱۸)، تأثیر تغییر اقلیم را در پنج کشور اروپایی (ایتالیا، آلمان، بلژیک، هلند و اسپانیا) زیرساخت‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی بررسی

1 - Wright and Hogan
2- Suarez et al
3- Schweikert et al
4 - Espinet et al
5 - Underwood et al
6 - Mallick et al
7 - Gelete and Gokcekus

کـرد. ایـن پـژوهش نتیجـه گرفـت کـه رخـدادهای حـدی هزینـه‌هـای تعمیـر و نگهـداری جـاده را (۳۰ تـا ۵۰) درصـد در سـال افـزایش مـی‌دهـد. از اثـرات دیگـر تغییر اقلیم تأخیر، اختلال یا بسته شدن حمل‌ونقل است.

ارتبـاط بـین وضـعیت آب‌وهـوا و رفتـار مسـافرتی سـال‌هاسـت کـه موردمطالعـه و بررسی قرار می‌گیـرد و اخیـراً در زمینـه تغییـر اقلـیم نیـز بـه کـار گرفتـه شـده اسـت. در ایـن زمینـه تغییـرات بـالقوه در الگوهـای گردشـگری موردتوجـه خـاص اسـت. بـه‌ویـژه افـزایش پـیش‌بینـی‌شـده دمـا مـی‌توانـد تـأثیر بسـزایی در گردشـگری و الگوهـای مـرتبط بـا آن در حمـل‌ونقـل مسـافر داشـته باشـد. «نیکـولز و آملونـگ»[1] (۲۰۰۸) و «آملونـگ و وینـر»[2] (۲۰۰۶)، تـأثیر میـزان افـزایش دمـا بـر جـذب گردشـگری کشـورهای اروپـایی را بررسـی کردنـد. نتـایج تحلیـل آن‌هـا نشـان داد کـه در ماه‌های تابسـتان منـاطق شـمالی اروپـا جـذب بیشـتر گردشـگر دارنـد. درحـالی‌کـه قسمت‌هـای جنـوبی جـذب کمتـری دارنـد. عـلاوه بـر ایـن، طـول فصـل تعطـیلات در کشـورهای شـمالی افـزایش مـی‌یابـد؛ بنـابراین ممکـن اسـت مـا انتظـار کـاهش گردشگری از شمال بـه جنـوب و بـه‌ویـژه در مـاه‌هـای تابسـتان افـزایش گردشـگری از جنـوب بـه شـمال را داشـته باشـیم. بـااین‌حـال، در طـول بهـار و زمسـتان کشـورهای جنـوبی جـذب گردشـگر بیشـتری خواهنـد داشـت کـه ممکـن اسـت در ایـن دوره‌هـا گردشـگری بـه ایـن منطقـه افـزایش یابـد. در ارتبـاط بـا تـأثیر بـر تصـمیم‌گیـری، معمولاً متخصصان بـه دنبـال یافتـه‌هـایی هسـتند تـا نشـان دهنـد چگونـه تـنش‌هـای اقلیمـی بـر زیرسـاخت‌هـا تـأثیر مـی‌گـذارد و بـا ایجـاد اخـتلال در مؤلفـه‌هـای تصـمیم‌گیـری و تغییـر رفتـار چـه تـأثیری بـر بازخوردهـای ناخواسـته مـی‌گـذارد (مـارکولف و همکـاران[3]، ۲۰۱۸). بـه‌طـورکلی بیشـتر پـژوهش‌هـای انجـام‌یافتـه در زمینه اثـرات مسـتقیم غیرفیزیکـی در حـوزه هواشناسـی جـاده‌ای قـرار مـی‌گیـرد و تـا زمـان تـدوین رسـاله کمتـر بـه اثـر بلندمـدت تغییـرات رونـد عناصـر اقلیمـی توجـه شده است.

1 - Nicholls and Amelung
2 - Amelung and Viner
3- Markolf et al

مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد از مهم‌ترین اثرات غیرمستقیم فیزیکی تغییر اقلیم بر سامانه‌های حمل‌ونقل، ارائه خدمات سایبری، ارتباط میان اجزاء مختلف جامعه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد زیرساخت‌های ارتباطات از رخدادهای حدی آسیب‌پذیر هستند. به‌طور مشابه، رطوبت زیاد می‌تواند خطر اتصال کوتاه را افزایش دهد و درجه حرارت شدید می‌تواند منجر به خرابی بیشتر قطعات شود (فو و همکاران[1]، ۲۰۱۶).

در نهایت، بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده و دانش به‌دست‌آمده و با توجه به اینکه در منطقه موردمطالعه تاکنون کار مشابهی انجام نشده است، در این پژوهش ریسک‌پذیری حمل‌ونقل جاده‌ای استان لرستان در شرایط موجود و آینده بررسی می‌شود. پتانسیل اثرات فیزیکی و غیرفیزیکی در نواحی مختلف بررسی و نقشه ریسک‌پذیری استان در وضعیت موجود و آینده ارائه خواهد شد.

مبانی نظری

ادبیات پژوهش شامل طیف متنوعی از مفاهیم است که مهم‌ترین آن‌ها شامل تغییر اقلیم، سناریوهای اقلیمی، مدل‌های اقلیمی، آسیب‌پذیری، سازگاری و حمل‌ونقل جاده‌ای است. در ادامه هریک از این مفاهیم شرح داده می‌شوند.

تغییر اقلیم

بر اساس ماده یک «چارچوب کنوانسیون تغییر اقلیم»[2]، تغییر اقلیم این‌گونه تعریف می‌شود «تغییر شرایط اقلیم که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر اثر تغییر ترکیبات جوی به‌وسیله فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود و علاوه بر تغییرپذیری طبیعی مشاهده‌شده، تفاوت‌های آن در بازه‌های زمانی مختلف مشخص است». همچنین این کنوانسیون تغییر اقلیم را از تغییرپذیری اقلیمی متمایز می‌داند (آیپکس[3]، ۲۰۱۴).

1 - Fu et al
2 - UNFCCC
3 - IPCC

تغییرپذیری اشاره به حالتی از اقلیم یک منطقه دارد که حالت‌های مختلفی از میانگین درازمدت را تجربه می‌کنند. این بدان معناست که هرسال در یک دوره زمانی خاص، یک منطقه اقلیم متفاوتی داشته باشد. به‌عنوان‌مثال برای یک سال بارندگی پایین‌تر از میانگین و برای سال دیگر بالاتر از میانگین باشد که نشان‌دهنده نوسان شرایط خشک‌سالی و ترسالی در یک منطقه است. این تغییرات می‌تواند در نتیجه گردش جو-اقیانوس و توزیع نابرابر انرژی حرارتی خورشید بر روی زمین باشد (راماماسی و همکاران[1]).

سناریوهای اقلیمی

سناریوهای اقلیمی، پیامدهای پارامترهای اقلیمی و تغییرات آن‌ها را بر روی کره زمین ارزیابی و برآورد می‌کنند. از طرفی بسیاری از تصادفات جاده‌ای به‌ویژه در محورهای مواصلاتی منطقه موردمطالعه ناشی از عوامل و فاکتورهای اقلیمی است که عوامل تأثیرگذار اقلیمی توسط این سناریوها و مدل‌های اقلیمی قابل‌بررسی و استنتاج هستند و بر این اساس می‌توان رخدادهای آتی را رصد کرد. به علت اهمیت و تأثیرگذاری بسیار بالای گرمایش جهانی و ابهام در روند تغییر اقلیم و پیامدهای آن در سطوح منطقه‌ای و جهانی سناریوهای متعددی برای ارزیابی تغییرات آینده مطرح شده است. سناریوهای تغییر اقلیم عمدتاً به دو دسته تقسیم می‌شوند[2].

سناریوهای «آر.سی.پی» در سال (۲۰۱۰) توسط یک کمیته علمی و زیر نظر آیپکس با هدف مهیاکردن مجموعه‌ای از اطلاعات که از نتایج آن بتوان عوامل اصلی تغییر اقلیم را ردیابی کرد و نتایج آن را در مدل‌های اقلیمی اعمال کرد، ایجاد شدند. مدل‌های اقلیمی از نتایج این سناریوها برای نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کنند. در سناریوهای خانواده «آر.سی.پی» سطح واداشت‌های تابشی به چهار دسته شامل: (۸/۵)، (۶)، (۴/۵) و (۲/۶) وات بر مترمربع تا پایان قرن (۲۱)، طبقه‌بندی‌شده‌اند. در این خانواده از سناریوها، مشخصات متفاوت سطح

1 - Ramamasy et al
2 - SRES and RCP

فنّاوری، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، راهبردهای آینده که در شرایط مختلف منجر به تولید انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم می‌شود، دیده شده است (عزیزی، ۱۳۸۳، ص ۲۵۸).

سناریوی «آر.سی.پی ۸/۵ »: بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار «آر.سی.پی ۸/۵ » پیش خواهد رفت. به‌طوری‌که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان (۸/۵) وات بر مترمربع در سال (۲۱۰۰) می‌شود. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به (۱۰۰۰) میلی‌گرم در لیتر رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی پیام و مؤسسه «آیاسا» به سرپرستی پروفسور «کیوان ریاحی» در مؤسسه بین‌المللی آنالیز سامانه‌های کاربردی آیاسا اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است.

سناریوی «آر.سی.پی ۶»: در سناریوهای «آر.سی.پی ۶»، «آر.سی.پی ۴/۵» و «آر.سی.پی ۳» با کاهش واداشت‌های تابشی، میزان افزایش دی‌اکسید کربن نیز کاهش می‌یابد. سناریوی انتشار «آر.سی.پی ۶» توسط گروه مدل‌سازی «ای.آی.ام» در مؤسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی شد. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال (۲۱۰۰) به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند.

سناریوی «آر.سی.پی ۴/۵»: سناریوی «آر.سی.پی ۴/۵» توسط گروه مدل‌سازی «مینی‌کم» طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال (۲۱۰۰) در مقدار (۴/۵) وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.

سناریوی «آر.سی.پی ۲/۶»: این سناریو توسط تیم مدل‌سازی تصویر از مؤسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو دربرگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود (۳/۱)رسیده و

سپس کاهش‌یافته و به (۲/۶) وات بر مترمربع در سال (۲۱۰۰) می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل اوجی کاهش یابند (همان، ۲۵۹).

قلمرو پژوهش

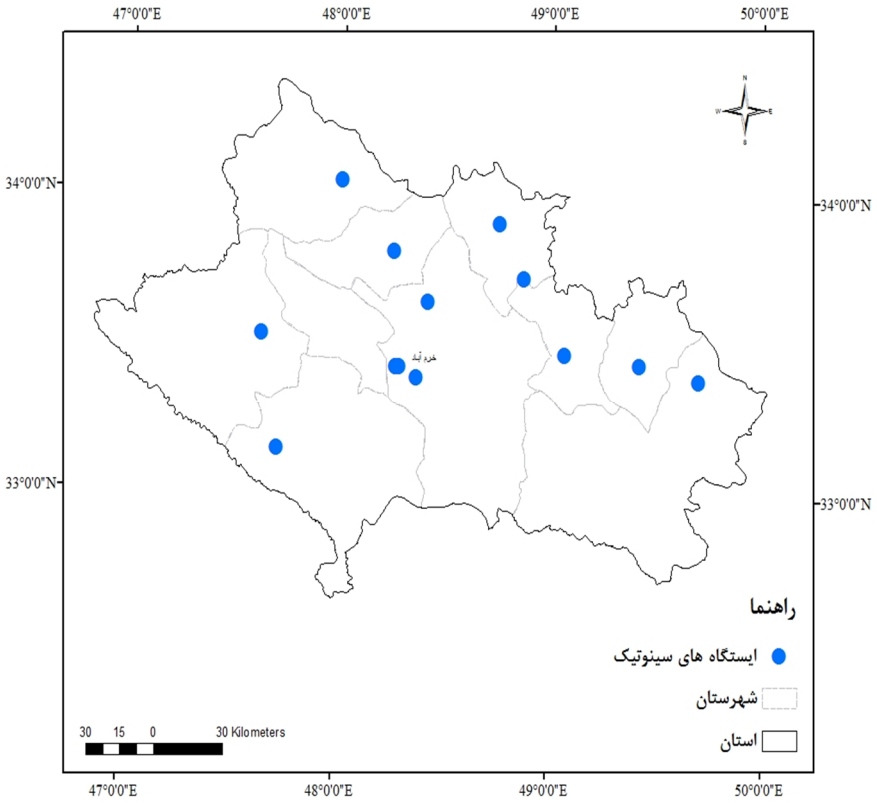
استان لرستان، با وسعت حدود (۲۸۵۵۹) کیلومترمربع در غرب ایران قرار گرفته است. این استان، از شمال به استان‌های مرکزی و همدان؛ از جنوب به استان خوزستان؛ از شرق به استان اصفهان و از غرب به استان‌های کرمانشاه و ایلام محدود است. اشترانکوه با چهار هزار و پنجاه متر ارتفاع، بلندترین نقطه استان لرستان است (شکل شماره ۱) (مریدی، ۱۳۹۹، ص ۳۲).

شکل شماره (۱). حدود قلمرو پژوهش (منبع. مریدی، ۱۳۹۹).

آماده‌سازی داده‌ها

شبکه ایستگاهی منتخب

با توجه به اینکه ایستگاه‌های «سینوپتیک» قلمرو پژوهش فعال هستند و همچنین این ایستگاه‌ها تمام عناصر اقلیمی موردنظر پروژه را (بارش، دما، باد، رطوبت نسبی، تبخیر و تعرق، دمای شبنم و روزهای همراه با گردوغبار) به‌صورت هم‌زمان اندازه‌گیری می‌کنند؛ شبکه ایستگاهی «سینوپتیک» به‌عنوان مبنای بررسی‌های این بخش از پروژه قرار گرفت. شکل شماره (۲) شبکه ایستگاهی منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه (۵۱) ایستگاه «سینوپتیک» در منطقه وجود دارد.



شکل شماره (۲). موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک قلمرو پژوهش.

جدول شماره (۱). مشخصات ایستگاه‌های انتخابی.

ردیف	کد	نام ایستگاه	ارتفاع	X	Y	سال تأسیس
۱	۴۰۷۷۴	بروجرد	۱۶۲۹	۴۸/۷۵	۳۳/۹۱۶۶۷	۱۹۸۹
۲	۴۰۷۸۲	خرم‌آباد	۱۱۴۷/۸	۴۸/۲۸۳۳۳	۳۳/۴۳۳۳۳	۱۹۵۱
۳	۴۰۷۸۳	الیگودرز	۲۰۲۲	۴۹/۷	۳۳/۴	۱۹۸۶

روش‌شناسی

روش مورداستفاده در پژوهش حاضر «آزمون جرم مضاعف» است که برای بررسی درستی و همگنی داده‌ها و کنترل کیفیت آمار مورداستفاده قرار می‌گیرد.

در این روش مقادیر تجمعی آمار و اطلاعات یک ایستگاه در مقابل مقادیر تجمعی آمار ایستگاه دیگر که همگن‌بودن آمار آن مورداطمینان است (مانند ایستگاه‌های سینوپتیک) روی محور مختصات منتقل می‌شود. همچنین می‌توان از مقادیر میانگین تجمعی چند ایستگاه نیز استفاده کرد. چنانچه از نقطه حاصله بتوان یک خط مستقیم عبور داد، آمار همگنی کافی را دارا است و چنانچه به‌صورت یک خط شکسته درآید نشان‌دهنده عدم پیوستگی یا همگنی در آمار موجود است. باید در استفاده از این روش دقت کرد که انحرافات جزئی نمی‌تواند نشان‌دهنده عدم پیوستگی یا همگنی باشد و تنها در حالتی که چنین انحرافاتی از مسیر قبلی نقاط، پیوسته بوده، دست‌کم چندین بار به‌طور متوالی ادامه یابد، نشان‌دهنده ناهمگن بودن آمار است. لازم به ذکر است که این روش برای بازسازی آمارهای ناقص کاربرد دارد.

آزمون جرم مضاعف

به‌عنوان نمونه در آزمون جرم مضاعف مقادیر بارش سالانه (۵) ایستگاه هواشناسی طی یک دوره (۶۱) ساله آورده شده است. برای انجام آزمون همگنی ایستگاه A به روش جرم مضاعف به ترتیب زیر عمل می‌شود: الف) مقادیر بارش متوسط (۴) ایستگاه E,D,C,B برای سال‌های مختلف محاسبه و در جدول آزمون جرم مضاعف آمده است. ب) مقادیر بارش تجمعی بارش

ایستگاه A و ستون شماره (۷) به ترتیب در ستون‌های (۸ و ۹) محاسبه می‌شود. ج) مقادیر مندرج در ستون‌های (۸ و ۹) نیز در جدول آمده است. همان‌گونه که دیده می‌شود از سال (۱۳۵۹) در امتداد خط شکستگی به وجود آمده است. د) با فرض صحیح بودن آمار در سال‌های جدید، نسبت شیب شاخه صحیح به شیب شاخه مشکوک به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$K = Sc$ شیب شاخه صحیح Se شیب شاخه مشکوک ه) در این مرحله مقادیر بارش سالانه ایستگاه A در سال‌های قبل از شکستگی در ضریب تصحیح K ضرب می‌شود.

روش رگرسیون:

در این روش که بر اساس معادله رگرسیون صورت می‌گیرد سری زمانی داده‌ها رسم شده و با ترسیم خط روند با روش حداقل مربعات، وجود پایداری و یا همگنی در داده‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد. درصورتی‌که تغییرات شدیدی در شکل نمودار روند مشاهده شود بیانگر این موضوع است که حالت پایداری در داده‌ها وجود ندارد.

تحلیل منحنی جرم مضاعف[1]

معمولی‌ترین روش گرافیکی که برای اطمینان از یکنواختی و همگنی داده‌ها استفاده می‌شود، روش به‌اصطلاح «جرم مضاعف» است. این روش معمولاً برای آزمون همگنی داده‌های مربوط به بارندگی و رواناب استفاده می‌شود.

آزمون ران[2]

روش‌های گرافیکی ازاین‌جهت که معیار کمی برای بیان حالت همگنی یا غیرهمگنی در آن‌ها وجود ندارد، روش‌های کاملی به شمار نمی‌روند. روش ساده غیرگرافیکی که برای این منظور به‌کاربرده می‌شود، آزمون همگنی یا «ران تست» است.

1 -double-mass curves
2 - run test

اثرات تغییر اقلیم بر زیرساخت‌های جاده‌ای

حمل‌ونقل جاده‌ای نقش اصلی در جابجایی بار و مسافر در استان لرستان دارد. زیرساخت‌های این نوع از سیستم حمل‌ونقل با توجه به اقلیم منطقه موردمطالعه در برابر رخدادهای حدی آب‌وهوایی به‌شدت آسیب‌پذیر است. در این بخش از پژوهش نتایج به‌دست‌آمده در این مورد به‌تفصیل شرح داده می‌شود.

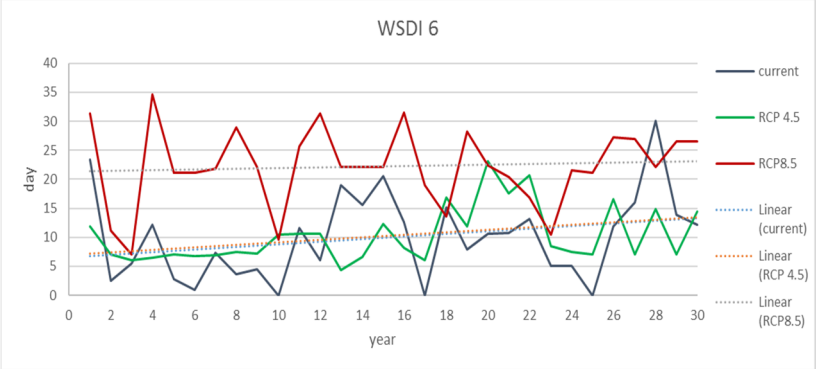
تغییرات شاخص‌های اقلیم

در ادامه سه گروه اصلی از شاخص‌های حدی شامل شاخص‌های دوره گرم، دوره سرد و بارش‌های شدید بررسی می‌شود. این بخش بر روی جاده‌های آسفالته متمرکز است که بیشترین سهم شبکه راه را در استان لرستان نشان می‌دهد.

شاخص‌های دمایی دوره گرم

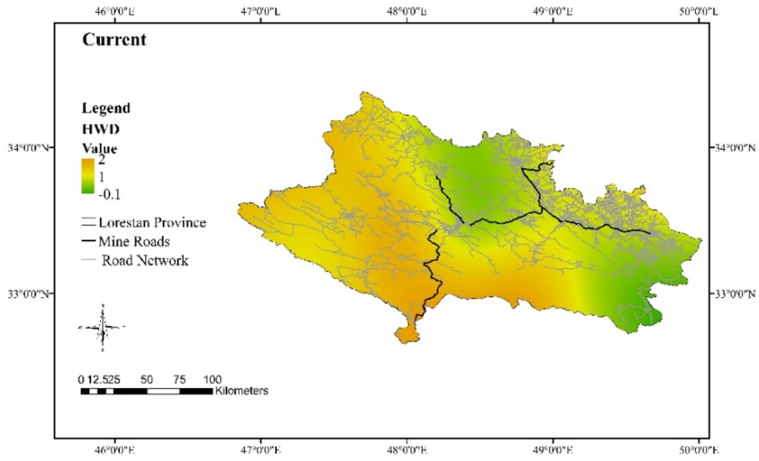
تداوم دوره گرم[1]: با توجه به اینکه شاخص «دبلیو اس دی آی»، تعداد روزهای با دماهای حدی را برای (۶) روز متوالی و بیشتر نشان می‌دهد، یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر حمل‌ونقل جاده است (دمیرال[2]، ۲۰۱۲). نمودارهای شماره (۱-۴) روند تغییرات این شاخص را برای (۳۰) سال دوره وضعیت موجود و آینده نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، روند تغییرات در وضعیت موجود افزایشی است. شیب تغییرات سناریوی «آر.سی.پی ۴/۵» با وضعیت موجود مشابه و در سناریوی بدبینانه «آر.سی.پی ۸/۵» شدت روند افزایشی تغییرات چشمگیر است (عزیزی، ۱۳۸۳، ص ۱۳۵).

1 - Warm Spell Duration *Index*
2 - Nemry & Demirel



نمودار شماره (۱). روند تغییرات شاخص «دبلیو اس دی آی» در دوره آماری وضعیت موجود و آینده (۱۴۰۰-۱۳۷۰).

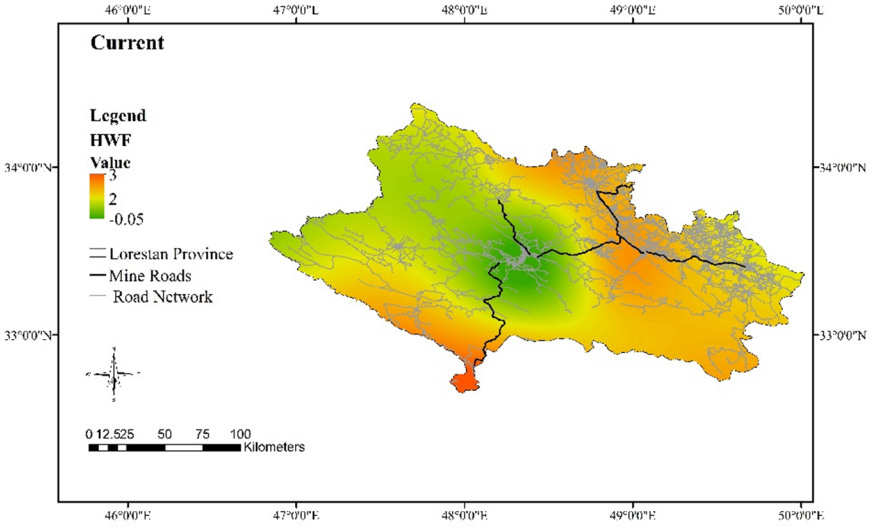
شکل شماره (۳)، تغییرات مکانی این شاخص را در وضعیت موجود[1] نشان می‌دهد. بر اساس این شکل در نواحی مرکزی، جنوب‌شرقی و شرقی استان در طول دوره آماری شاخص «دبلیو اس دی آی» بین (۲ تا ۶) روز افزایش یافته است و نواحی غربی و شمال‌شرقی روند کاهشی حدود (۱) روز داشته‌اند.



شکل شماره (۳). تغییرات مکانی موجود شاخص «دبلیو اس دی آی» در وضعیت ۱۳۹۷-۱۳۶۸ خورشیدی.

1 - Current

شکل شماره (۴) تغییرات مکانی شاخص «اچ دبلیو اف» را در وضعیت موجود نشان می‌دهد. بر اساس این شکل نواحی شرقی و جنوب‌غربی استان در طول دوره آماری بین (۲ تا ۳) روز افزایش یافته است و نواحی مرکزی و شمال‌غربی تقریباً تغییراتی نداشته‌اند.

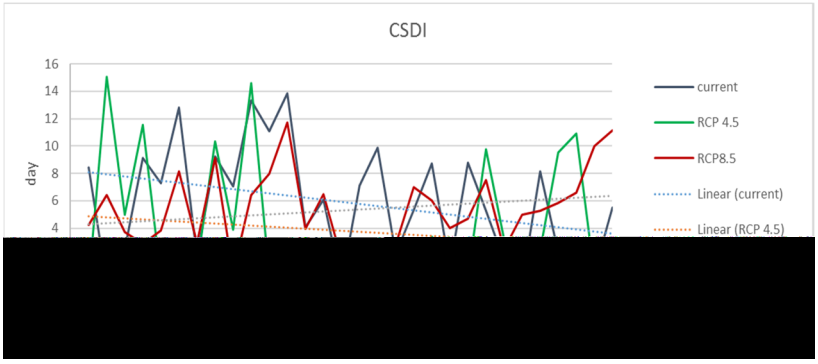


شکل شماره (۴). تغییرات مکانی شاخص «اچ دبلیو اف» در وضعیت موجود ۱۳۶۸-۱۳۹۷ خورشیدی.

- شاخص‌های دمایی دوره سرد

تداوم دوره سرد[1]: نمودار شماره (۲) روند تغییرات این شاخص را برای (۳۰) سال دوره وضعیت موجود و آینده نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، روند تغییرات در وضعیت موجود کاهشی است. شیب تغییرات سناریوی «آر.سی.پی ۴/۵» تقریباً با وضعیت موجود مشابه و سناریوی بدبینانه «آر.سی.پی ۸/۵» روند معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

1 - CSDI



نمودار شماره (۲). روند تغییرات شاخص «سی اس دی آی» در دوره آماری وضعیت موجود و آینده.

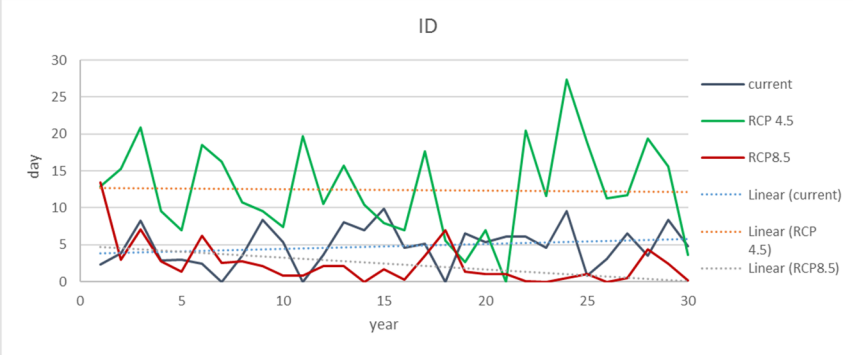
شکل شماره (۵) تغییرات مکانی شاخص «سی اس دی آی» را در وضعیت موجود نشان می‌دهد. بر اساس این شکل نواحی غربی و جنوبی استان در طول دوره آماری بین (۳ تا ۶) روز کاهش یافته است و نواحی شرقی و شمال‌غربی تغییرات معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

شکل شماره (۵). تغییرات مکانی شاخص «سی اس دی آی» در وضعیت موجود ۱۳۶۸-۱۳۹۷ خورشیدی.

روزهای یخی[1]: نمودار شماره (۲) روند تغییرات این شاخص را برای (۳۰) سال دوره وضعیت موجود و آینده نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده نشان

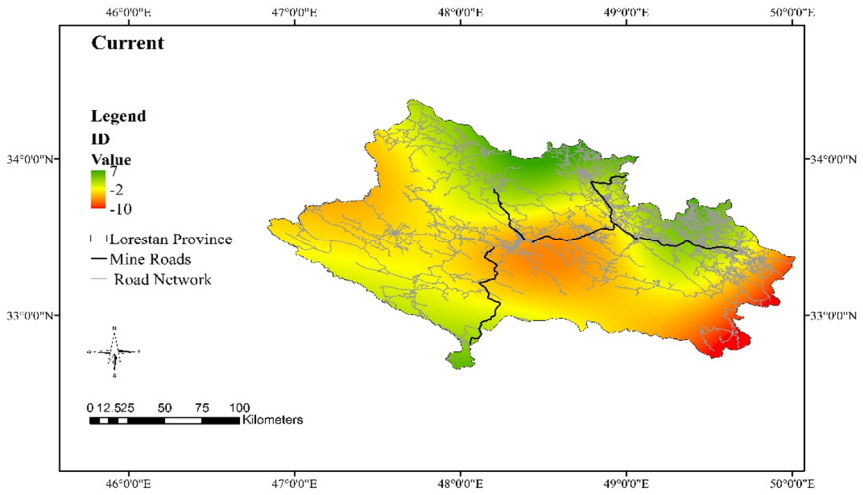
1 - ID

می‌دهد، روند تغییرات در وضعیت موجود معنی‌دار نیست. شیب تغییرات سناریوهای «آر.سی.پی ۴/۵» و «آر.سی.پی ۸/۵» کاهشی است؛ ولی میزان آن معنی‌دار نیست.



نمودار شماره (۲). روند تغییرات شاخص روزهای یخی در دوره آماری وضعیت موجود و آینده.

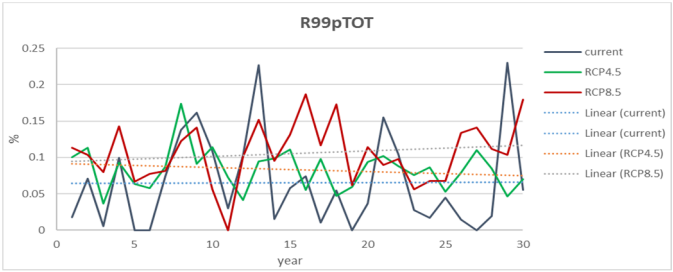
شکل شماره (۶) تغییرات مکانی شاخص روزهای یخی را در وضعیت موجود نشان می‌دهد. این شاخص بر اساس این شکل نواحی غربی، مرکزی و جنوب‌شرقی استان در طول دوره آماری بین (۲ تا ۱۰) روز کاهش یافته است و نواحی شمالی و بخش‌های محدودی در جنوب تا (۷) روز افزایش نشان می‌دهد.



شکل شماره (۶). تغییرات مکانی شاخص روزهای یخی در وضعیت موجود ۱۳۶۸-۱۳۹۷ خورشیدی.

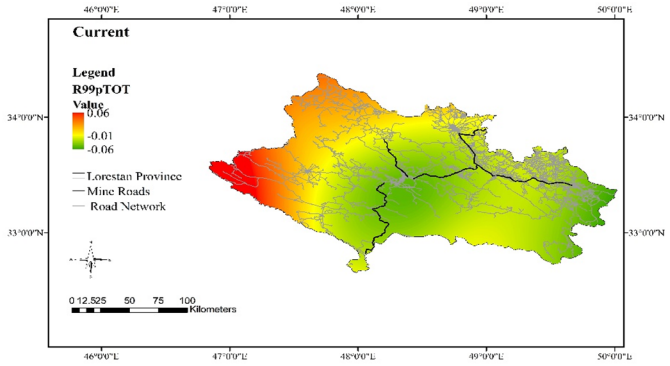
شاخص بارشی

شاخص درصد روزهای بسیار مرطوب[1]: نمودار شماره (۳) روند تغییرات این شاخص را برای (۳۰) سال دوره وضعیت موجود و آینده نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد روند تغییرات در وضعیت موجود معنی‌دار نیست. شیب تغییرات در سناریوی «آر.سی.پی ۴/۵» تقریباً کاهشی و در سناریوی «آر.سی.پی ۸/۵» افزایشی است.



نمودار شماره (۳). روند تغییرات شاخص درصد روزهای بسیار مرطوب در دوره آماری وضعیت موجود و آینده.

شکل شماره (۷) تغییرات مکانی شاخص درصد روزهای بسیار مرطوب را در وضعیت موجود نشان می‌دهد. این شاخص در نواحی غربی تقریباً (۰/۶) درصد افزایش و در نواحی دیگر حدود (۰/۱ تا ۰/۶) درصد کاهش داشته است.



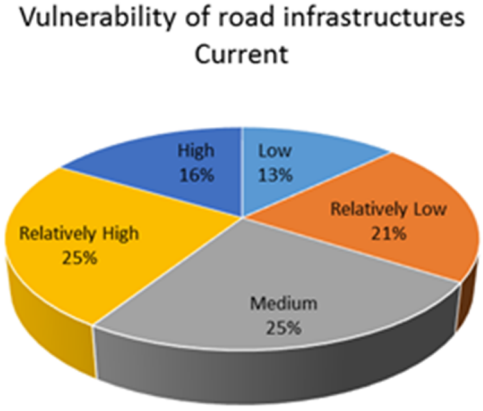
شکل شماره (۷). تغییرات مکانی شاخص درصد روزهای بسیار مرطوب در وضعیت موجود ۱۳۶۸-۱۳۹۷ خورشیدی.

1 - **R۹۹pTOT**

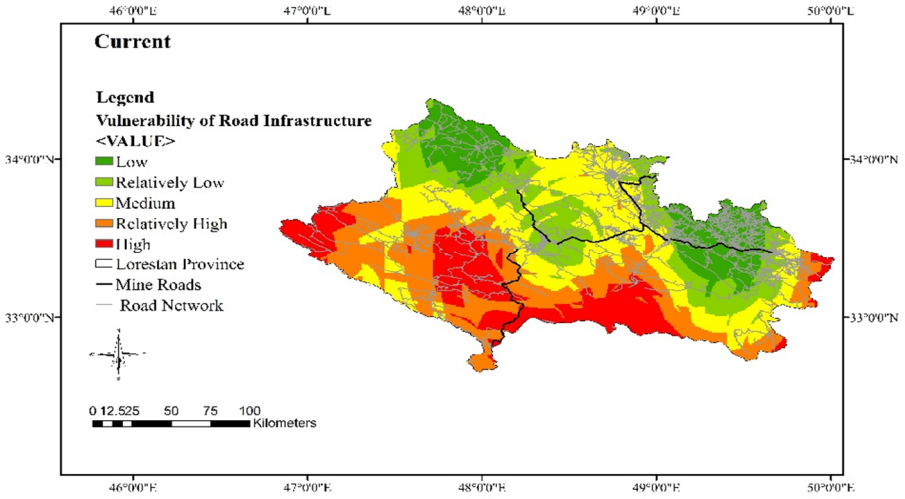
آسیب‌پذیری زیرساخت‌های جاده‌ای

تغییرات ایجادشده در شاخص‌های حدی دما و بارش اثرات متفاوتی بر زیرساخت‌های جاده‌ای و هزینه‌های نگهداری آن‌ها می‌گذارد. در این بخش اثرات تغییر اقلیم بر زیرساخت‌های جاده‌ای با استفاده از تحلیل یکپارچه (۶) شاخص حدی اقلیمی در (۵) سطح آسیب‌پذیری کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً متوسط و زیاد ارائه می‌شود.

وضعیت موجود: نتایج به‌دست‌آمده در نمودار شماره (۴) و شکل شماره (۸) نشان داده است، مناطق با آسیب‌پذیری زیاد و نسبتاً زیاد به ترتیب (۱۶) و (۲۵) درصد از استان لرستان را دربر می‌گیرد که عمدتاً نواحی جنوبی و بخش‌هایی از غرب و شرق استان را دربر می‌گیرند. نواحی با آسیب‌پذیری کم در نواحی شمال‌شرقی و شمال‌غربی با (۱۳) درصد از سطح استان را شامل می‌شود. نواحی با آسیب‌پذیری نسبتاً کم (۲۱) درصد از استان را پوشش می‌دهد و عمدتاً در نواحی مرکزی، شمالی و شمال‌شرقی هستند. دیگر نواحی آسیب‌پذیر که با اولویت متوسط هستند از شرق استان به سمت غرب آن و عمدتاً در مرکز استان پراکنده‌شده‌اند.



نمودار شماره (۴). نسبت آسیب‌پذیری زیرساخت‌های جاده‌ای از تغییر اقلیم استان لرستان در وضعیت موجود.

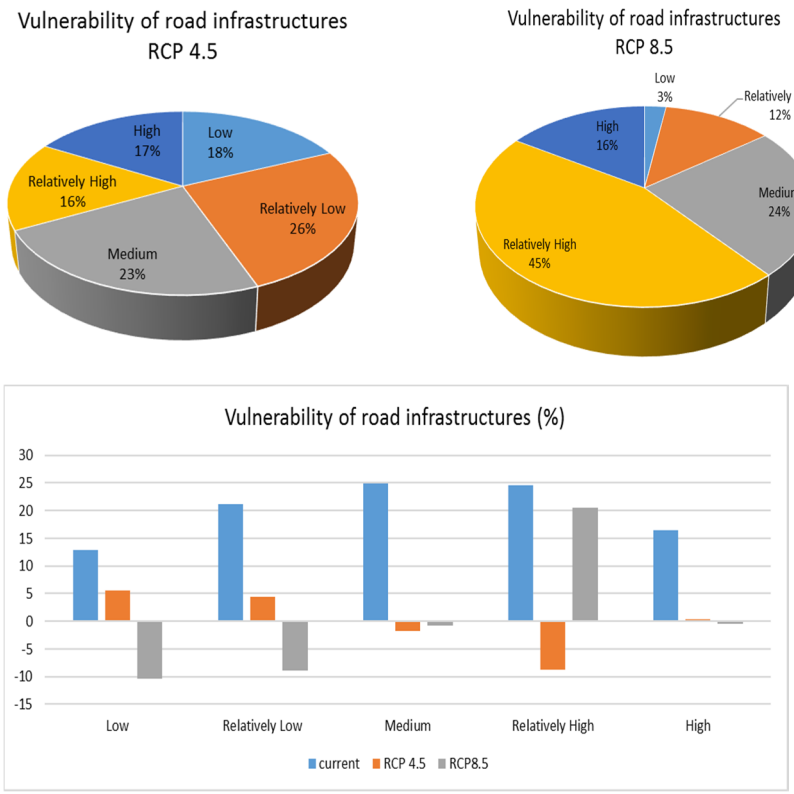


شکل شماره (۸). توزیع مکانی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های جاده‌ای از تغییر اقلیم استان لرستان در وضعیت موجود ۱۳۶۸-۱۳۹۷ خورشیدی.

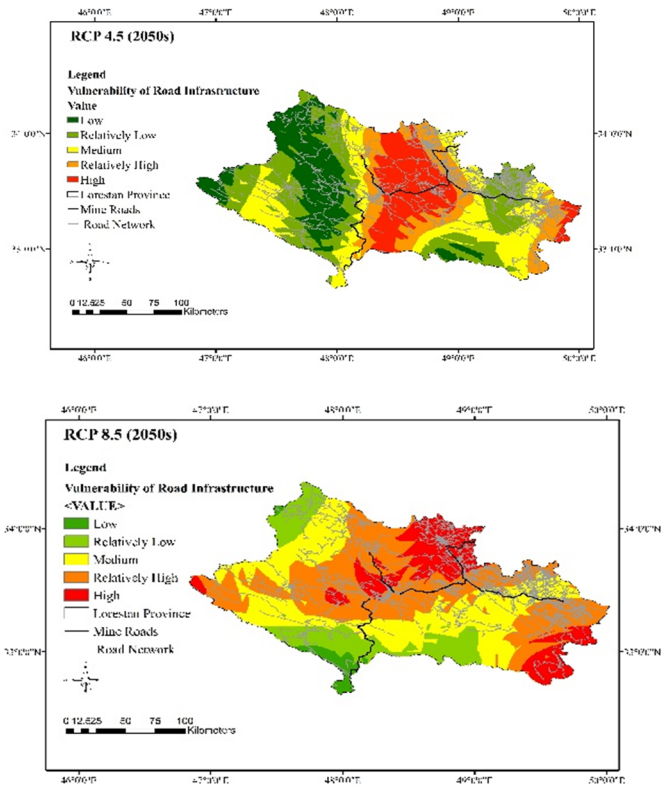
آینده: نمودار شماره (۵) و شکل تغییرات میزان آسیب‌پذیری زیرساخت‌های جاده‌ای را در دوره (۲۰۵۰) نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داده است، در آینده در صورت اعمال راهکارهای سازگاری و اقدامات کنترلی در سناریو «آر.سی.پی ۴/۵»، نواحی با آسیب‌پذیری کم و نسبتاً کم افزایش می‌یابند و به ترتیب حدود (۱۸ و ۲۴) درصد از سطح استان را پوشش می‌دهند. این نواحی عمدتاً در غرب استان و بخش‌های محدودی از شرق آن را تشکیل می‌دهند. نواحی با آسیب‌پذیری متوسط و نسبتاً زیاد به ترتیب (۲ و ۹) درصد نسبت به وضع موجود کاهش خواهند یافت و در نواحی مرکزی و شرقی گسترده خواهند بود. نواحی با حساسیت و آسیب‌پذیری زیاد در مرکز استان به‌صورت شمالی-جنوبی گسترش می‌یابد و (۱۷) درصد از سطح استان را پوشش می‌دهد.

متقابلاً، سناریوی «آر.سی.پی ۸/۵» شرایط بدون اقدامات کنترلی و سازگاری را لحاظ می‌کند. در چنین شرایطی نواحی به آسیب‌پذیری زیاد و نسبتاً زیاد درمجموع (۶۱) درصد از سطح استان را پوشش خواهند داد. این نواحی به‌صورت پهنه‌ای گسترده در نواحی مرکزی به سمت شمال و بخش‌هایی

از نواحی شرقی و غربی را پوشش خواهد. نواحی با آسیب‌پذیری کم، (۳) درصد کاهش خواهد یافت و عمدتاً در نواحی جنوبی و شمال‌غربی به‌طور بسیار محدود وجود خواهد داشت. نواحی با اولویت نسبتاً کم تا سطح (۱۲) درصد کاهش می‌یابد و مانند نواحی با اولویت کم در نواحی جنوبی و شمال‌غربی خواهند بود. در پایان نواحی با آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند که عمدتاً در نواحی شرقی و غربی استان واقع خواهند شد.



نمودار شماره (۵). نسبت آسیب‌پذیری زیرساخت‌های جاده‌ای از تغییر اقلیم استان لرستان در سناریوهای مختلف (نمودارهای بالا) و مقایسه تغییرات آن‌ها با وضعیت موجود (نمودار پایین).



شکل شماره (۹). توزیع مکانی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های جاده‌ای از تغییر اقلیم استان لرستان در سناریوهای مختلف.

آزمون فرضیه‌ها

فرض ۱- تغییر اقلیم بر عناصر اقلیمی مؤثر بر حمل‌ونقل جاده‌ای تأثیر گذاشته و در آینده تغییرات آن بیشتر می‌شود.

هدف: شناسایی ارتباط عناصر اقلیمی با مخاطرات جاده‌های در شرایط تغییر اقلیم

برای آزمون این فرض، معنی‌داری روند تمام شاخص‌ها از رگرسیون خطی در محدوده(P value= ۰/۰۵) در وضعیت موجود بررسی شد. نتایج نشان داد روند

تغییرات در شاخص‌های دما و بارش در وضعیت موجود و آینده معنی‌دار بوده است. با توجه به معنی‌داری نتایج به‌دست‌آمده، فرض یک مورد تأیید است.

به دلیل نرمال‌بودن توزیع شاخص‌ها برای تأیید آن‌ها از تحلیل واریانس استفاده گردید. نتایج به شرح زیر است.

شاخص‌های مؤثر بر زیرساخت‌های جاده‌ای

۱. تداوم دوره گرم

جدول شماره (۲). شاخص های مؤثر بر زیرساخت‌های جاده‌ای (تداوم دوره گرم).

* [1]	درجه آزادی	مجموع مجذورات	واریانس	آماره	سطح معنی‌داری
عامل (مقدار)	۲	۲۹۱۶/۴	۱۴۵۸/۲	۳۵/۳۴	۰/۰۰۰
خطای استاندارد	۸۷	۷/۳۵۸۹	۴۱/۳		
جمع	۸۹	۶۵۰۶/۱			

منبع.یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹.

۲. تداوم دوره سرد

جدول شماره (۳). شاخص های مؤثر بر زیرساخت‌های جاده‌ای (تداوم دوره سرد).

* [2]	درجه آزادی	مجموع مجذورات	واریانس	آماره	سطح معنی‌داری
عامل (مقدار)	۲	۷۰/۴	۳۵/۲	۲/۱۹	۰/۱۱۸
خطای استاندارد	۸۸	۸۱۴۱/۳	۱۶/۱		
جمع	۹۰	۱۴۸۴/۲			

منبع.یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹.

۳. روزهای یخی

جدول شماره (۴). شاخص های مؤثر بر زیرساخت‌های جاده‌ای (تداوم روزهای یخی).

* [3]	درجه آزادی	مجموع مجذورات	واریانس	آماره	سطح معنی‌داری
عامل (مقدار)	۲	۱۷۵۲/۳	۸۶۷/۲	۵۲/۰۳	۰/۰۰۰
خطای استاندارد	۸۶	۱۴۴۸/۲	۱۶/۸		
جمع	۸۸	۳۲۰۰/۵			

منبع.یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹.

1 - S = ٦.٤٢٣ R-Sq = ٤٤.٨٣% R-Sq(adj) = ٤٣.٥٦%
2 - S = ۴.۰۰۸ R-Sq = ۴.۷۴% R-Sq(adj) = ۲.۵۸%
3 - S = ۴.۱۰۴ R-Sq = ۵۴.۷۵% R-Sq(adj) = ۵۳.۷%

شاخص‌های مؤثر بر زیرساخت تصادفات جاده‌ای

۴. روزهای گرم[1]

جدول شماره (۵). شاخص های مؤثر بر زیرساخت تصادفات جاده‌ای (تداوم روزهای گرم).

* [2]	درجه آزادی	مجموع مجذورات	واریانس	آماره	سطح معنی‌داری
عامل (مقدار)	۲	۱۷۹/۲	۸۹/۶	۳/۰۱	۰/۰۵۴
خطای استاندارد	۸۸	۲۶۲۰/۷	۲۹/۸		
جمع	۹۰	۲۷۹۹/۹			

منبع.یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹.

۵. روزهای سرد[3]

جدول شماره (۶). شاخص های مؤثر بر زیرساخت تصادفات جاده‌ای (تداوم روزهای سرد).

* [4]	درجه آزادی	مجموع مجذورات	واریانس	آماره	سطح معنی‌داری
عامل (مقدار)	۲	۲۱۹/۵	۱۰۹/۸	۹۷/۴	۰/۰۰۹
خطای استاندارد	۹۱	۲۰۱۰/۶	۲۲/۱		
جمع	۹۳	۲۲۳۰/۱			

منبع.یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹.

۶. حداکثر بارش روزانه در ماه[5]

جدول شماره (۷). شاخص های مؤثر بر زیرساخت تصادفات جاده‌ای (حداکثر بارش روزانه در ماه).

* [6]	درجه آزادی	مجموع مجذورات	واریانس	آماره	سطح معنی‌داری
عامل (مقدار)	۲	۸۲۳۷	۴۱۱۸/۵	۷۶/۸۷	۰/۰۰۰
خطای استاندارد	۸۹	۴۱۷۶/۹	۴۶/۹		
جمع	۹۱	۱۲۴۱۳/۹			

منبع.یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹.

فرض ۲- تغییر اقلیم عامل اصلی آسیب‌پذیری شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای است.

اهداف: شناسایی اثرات تغییر اقلیم بر حمل‌ونقل جاده‌ای و شناسایی و اولویت‌بندی نواحی با درجه خطرپذیری مختلف.

---

1 - TX۹۰p
2 - S = ۵.۴۵۷ R-Sq = ۶.۴% R-Sq(adj) = ۴.۲۷%
3 - Tx۱۰p
4 - S = ٤.٧ R-Sq = ٩.٨٤% R-Sq(adj) = ٧.٨٦%
5 - Rx۱day
6 - S = ٦.٨٥١ R-Sq = ٦٦.٣٥% R-Sq(adj) = ٦٥.٦%

با توجه به اینکه تحلیل آسیب‌پذیری حمل‌ونقل جاده‌ای استان لرستان بر اساس میزان تغییر در شاخص‌های اقلیمی انجام‌شده است؛ و ازآنجایی‌که روند تغییرات شاخص‌های مؤثر بر حمل‌ونقل معنی‌دار بوده است، می‌توان نتیجه گرفت فرض دوم هم پذیرفته می‌شود.

نتیجه‌گیری

اهداف اصلی این پژوهش شناسایی اثرات تغییر اقلیم بر حمل‌ونقل جاده‌ای، شناسایی ارتباط عناصر اقلیمی با مخاطرات جاده‌ها در شرایط تغییر اقلیم و شناسایی و اولویت‌بندی نواحی با درجه خطرپذیری مختلف است. برای دستیابی به این اهداف دو فرضیه تغییر اقلیم بر عناصر اقلیمی مؤثر بر حمل‌ونقل جاده‌ای تأثیر گذاشته و در آینده تغییرات آن بیشتر و تغییر اقلیم عامل اصلی آسیب‌پذیری شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای، تعریف می‌شود. برای اثبات این دو فرضیه چارچوب مفهومی روش‌شناسی پژوهش در دو بخش، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر زیرساخت‌های حمل‌ونقل و تصادفات جاده‌ای تدوین و اجرا شد. در ادامه نتیجه‌گیری هریک از این دو بخش شرح داده می‌شود.

اثرات تغییر اقلیم بر زیرساخت‌های جاده‌ای

این بخش از پژوهش با تحلیل زمانی-مکانی (۶) شاخص حدی اقلیمی مؤثر بر زیرساخت‌های حمل‌ونقل در وضعیت موجود (۱۹۸۹-۲۰۱۸) و دو سناریوی «آر.سی.پی ۴/۵» و «آر.سی.پی ۸/۵» تغییر شرایط اقلیمی استان لرستان را پایش و شبیه‌سازی کرده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد شاخص‌های دوره گرم سال در وضعیت موجود در نواحی مختلف استان روندهای متفاوتی داشته است؛ اما میانگین کلی منطقه افزایشی است. این روند در برای آینده نیز مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که در سناریوی «آر.سی.پی ۸/۵» روند تمام مناطق استان مشابه و روند آن افزایشی خواهد شد. به‌طورکلی نتایج به‌دست‌آمده در این بخش نشان داده است امواج گرمایی در آینده نسبت به وضعیت موجود شدیدتر، ماندگارتر و بیشتر خواهند بود. این امر منجر به ایجاد فشار اضافی بر زیرساخت‌های جاده‌ای، کاهش عمر مفید آن‌ها و افزایش نیازهای نگهداری

می‌شود که نتایج حاصله با پژوهش‌های انجام‌شده توسط «همفری»، «ورنر»، «میلر و همکاران» (مندرج در پیشینه پژوهش) همسو است.

در ارتباط با آسیب‌پذیری زیرساخت‌های جاده‌ای نتایج نشان داد، نواحی با آسیب‌پذیری زیاد در آینده به‌شدت افزایش خواهد یافت؛ به‌طوری‌که نواحی با آسیب‌پذیری کم تا (۳) درصد کاهش می‌یابد. این موضوع اهمیت توجه به اثرات تغییر اقلیم و ارائه راهکارهای سازگاری با آن را دوچندان می‌کند؛ زیرا تغییر در آستانه‌های اقلیمی دما و بارش یک منطقه تمام عملیات توسعه، حفظ و نگهداری زیرساخت‌های جاده‌ای یک منطقه را متأثر می‌سازد. از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم بر زیرساخت‌های جاده‌ای مناطق ذکرشده، می‌توان به مواردی از قبیل تخریب زودرس زیرساخت‌ها و افزایش هزینه نگهداری آن‌ها، فشارهای اضافی بر پل‌ها از طریق انبساط حرارتی و افزایش، کاهش ایمنی برای کارگران بزرگراه‌ها، بسته شدن راه‌ها و تونل‌ها به دلیل جاری شدن سیل و رانش گل‌ولای و غیره اشاره کرد و به‌طورکلی می‌توان پیش‌بینی کرد این مشکلات عمدتاً در نواحی مرکزی، شمالی و بخش‌هایی از شرق استان در آینده بیشتر خواهد شد. قابل‌ذکر است شبکه اصلی حمل‌ونقل استان برای ارتباط با مرکز کشور، در این نواحی وجود دارد.

اثرات تغییر اقلیم بر تصادفات جاده‌ای

به‌طورکلی نتایج به‌دست‌آمده ارزیابی از ترکیب شاخص‌های مختلف اقلیمی بر اساس دوره سرد، دوره گرم و بارشی بر میزان تصادفات بوده است. بررسی‌ها نشان داد شاخص‌های اقلیمی در مدل رگرسیون با توجه میزان تصادفات در نواحی مختلف استان وزن‌های مختلفی دریافت کردند؛ در نتیجه میزان تأثیرپذیری متفاوتی داشتند. در بیشتر نواحی مؤثرترین شاخص در بین (۵) شاخص تعیین‌شده، حداکثر بارش یک‌روزه در ماه بود به‌جز محور جنوبی استان که شاخص شب‌های گرم تأثیر بیشتری داشت. آنچه در روند تغییرات درصد تصادفات به‌وضوح مشخص بود، مطابقت روند فصلی شاخص‌ها و درصد تصادفات و معنی‌داری همبستگی میان آن‌ها بود؛ که نتایج حاصل با

پـژوهش‌هـای صـورت گرفتـه توسـط «اسـتوکر»، «میلـر»، «هوگـان»، «رایـت»، «سوارز و همکاران» در یک راستا و همسو است.

در پـیش‌بینـی میـزان تصـادفات آینـده، رونـد تغییـرات تصـادفات در محورهـای استان متفاوت بـوده اسـت. بـه‌طـوری‌کـه درصـد تصـادفات در نـواحی جنـوبی (هـر دو سـناریو)، بخـش غربـی محـور الیگـودرز-درود (هـر دو سـناریو)، محـور خـرم‌آبـاد-ملاوی (سـناریوی «آر.سـی.پی ۴/۵») و سـه بخـش محـور خـرم‌آبـاد-بروجـرد تـا دوره (۲۰۵۰) مـیلادی افزایشـی و دیگـر نـواحی کاهشـی خواهـدبود. رونـد سـه شـاخص مـؤثر حـداکثر بـارش روزانـه در مـاه، شـب‌هـای گـرم و روزهـای سـرد در بیشـتر محورهـا کاهشـی بـوده اسـت؛ امـا در ترکیـب بـا یکـدیگر و بـا توجـه بـه وزن‌هـای مختلفی کـه در مـدل رگرسـیون نسـبت شـرایط مکـانی محـور داشـته‌انـد، تقریبـاً اثـر مثبت بر درصد تصادفات در آینده گذاشته‌اند.

محدودیت‌ها و پیشنهادها

محـدودیت‌هـای شناسـایی‌شـده در طـی انجـام پـژوهش بـه دو گـروه اصـلی تقسـیم می‌شود:

۱. محدودیت‌های دسترسی داده؛

فقدان یک بانـک اطلاعـات مناسـب شـامل مـوارد زیـر کـه واجـد حـداقل کیفیـت لازم برای مقاصد کاربردی در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم حمل‌ونقل باشد:

- هزینه‌های اقتصادی-اجتماعی
- زیرساخت‌ها
- تصادفات و سلامت

۲. عدم وجود منـابع فارسـی و لاتـین بـه‌طـور محـدود در ارتبـاط بـا اثـرات تغییـر اقلیم بر سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای؛

دیگر چالش مهـم پژوهشـگران در ایـن زمینـه، نبـود تجربیـات ملـی و بـین‌المللـی (به‌صورت محدود) در ارتباط با اثر تغییر اقلیم بر حمل‌ونقل جاده‌ای بود.

با توجه به محدودیت‌های ارائه‌شده پیشنهادهایی برای کمک به حل آن‌ها به شرح زیر بیان می‌شود:

- لزوم توسعه و اصلاح (حذف نقاط پرخطر) زیرساخت‌ها و بازسازی آسفالت محورهای الشتر، پلدختر و بروجرد به خرم‌آباد بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده؛
- انجام پژوهش‌های بیشتر در ارتباط با اثر تغییر اقلیم بر سیستم حمل‌ونقل و بررسی هزینه‌های اقتصادی-اجتماعی برای هر محور.

منابع

- عزیزی، قاسم (۱۳۸۳). تغییر اقلیم. تهران: قومس دانشگاه تهران.
- مریدی، ولی (۱۳۹۹). جغرافیای انتظامی استان لرستان. خرم‌آباد: تراوا.
- Markolf, S. A., Hoehne, C., Fraser, A., Chester, M. V., & Underwood, B. S. (2019). Transportation resilience to climate change and extreme weather events–Beyond risk and robustness. Transport policy, 74, 174-186.
- Oforah, A. N., Emenike, G. C., & Ogbuji, C. E. Impact Of Climate Change On Road Transport Infrastructure In Port Harcourt City, Rivers State, Nigeria.
- Douglas, E., Jacobs, J., Hayhoe, K., Silka, L., Daniel, J., Collins, M., ... & Mallick, R. (2017). Progress and challenges in incorporating climate change information into transportation research and design. Journal of Infrastructure Systems, 23(4), 04017018.
- Meyer, M., Flood, M., Keller, J., Lennon, J., McVoy, G., Dorney, C., ... & Smith, J. (2014). Strategic Issues Facing Transportation, Volume 2: Climate Change, Extreme Weather Events, and the Highway System: Practitioner's Guide and Research Report (No. Project 20-83 (5)).
- Leard, B., & Roth, K. (2015). Weather, traffic accidents, and climate change. Resource for the future.
- Hammad, H. M., Ashraf, M., Abbas, F., Bakhat, H. F., Qaisrani, S. A., Mubeen, M., ... & Awais, M. (2019). Environmental factors affecting the frequency of road traffic accidents: a case study of sub-urban area of Pakistan. Environmental Science and Pollution Research, 26(12), 11674-11685.
- Corcuera Hotz, I., & Hajat, S. (2020). The effects of temperature on accident and emergency department attendances in London: a time-series regression analysis. International journal of environmental research and public health, 17(6), 1957.
- Markolf, S. A., Hoehne, C., Fraser, A., Chester, M. V., & Underwood, B. S. (2019). Transportation resilience to climate change and extreme weather events–Beyond risk and robustness. Transport policy, 74, 174-186.
- Strauch, R. L., Raymond, C. L., Rochefort, R. M., Hamlet, A. F., & Lauver, C. (2015). Adapting transportation to climate change on federal lands in Washington State, USA. Climatic Change, 130(2), 185-199.
- Rowland, B. D., Davey, J. D., Freeman, J. E., & Wishart, D. E. (2007). Road transport sensitivities to weather and climate change in Australia.
- Nemry, F., & Demirel, H. (2012). Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures. European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), 93.

- National Research Council. (2008). Transportation Research Board Special Report 209. Highway Capacity Manual, 3.
- National Research Council, Committee on Climate Change, US Transportation, Transportation Research Board, Division on Earth, & Life Studies. (2008). Potential impacts of climate change on US transportation: Special report 290 (Vol. 290). Transportation Research Board.
- Regmi, M. B., & Hanaoka, S. (2009). Impacts of climate change on transport and adaptation in Asia. In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 7 (The 8th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2009) (pp. 206-206). Eastern Asia Society for Transportation Studies.
- Forzieri, G., Bianchi, A., e Silva, F. B., Herrera, M. A. M., Leblois, A., Lavalle, C., ... & Feyen, L. (2018). Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. Global environmental change, 48, 97-107.
- Catto, N. (2010). A review of academic literature related to climate change impacts and adaptation in Newfoundland and Labrador. Department of Geography, Memorial University.
- Koetse, M. J., & Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14(3), 205-221.
- Arent, D. J., Tol, R. S., Faust, E., Hella, J. P., Kumar, S., Strzepek, K. M., ... & Xu, H. (2015). Key economic sectors and services. In Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects (pp. 659-708). Cambridge University Press 2010.
- Keggenhoff, I. (2015). Temperature Extremes Over Georgia: Changes, Patterns and Driving Forces. Justus-Liebig-Universität.
- Goyol, S. S., & Pathirage, C. (2017). Climate change impacts on transport infrastructure in agrarian communities and policy implications for agricultural trade and food security in nigeria.
- Kahn Ribeiro, S., S. Kobayashi, M. Beuthe, J. Gasca, D. Greene, D. S. Lee, Y. Muromachi, P. J. Newton, S. Plotkin, D. Sperling, R. Wit, P. J. Zhou, 2007: Transport and its infrastructure. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Posey, J. (2012). Climate change impacts on transportation in the Midwest. US national climate assessment midwest technical input report. [Winkler J, Andresen J, Hatfield J, Bidwell D, Brown D, coordinators].

- Springer, K. (1999). Climate Change, Transport and Environmental Policy: Empirical Applications in a Federal System.
- Hands, S., & Hudson, M. D. (2016). Incorporating climate change mitigation and adaptation into environmental impact assessment: a review of current practice within transport projects in England. Impact Assessment and Project Appraisal, 34(4), 330-345.
- Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. Journal of transport geography, 15(5), 354-367.
- Eisenack, K., Stecker, R., Reckien, D., & Hoffmann, E. (2012). Adaptation to climate change in the transport sector: a review of actions and actors. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 17(5), 451-469.
- Koks, E. E., Rozenberg, J., Zorn, C., Tariverdi, M., Vousdoukas, M., Fraser, S. A., ... & Hallegatte, S. (2019). A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets. Nature communications, 10(1), 1-11.
- Wang, T., Qu, Z., Yang, Z., Nichol, T., Dimitriu, D., Clarke, G., & Bowden, D. (2019). How can the UK road system be adapted to the impacts posed by climate change? By creating a climate adaptation framework. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 77, 403-424.
- Taylor, M. A., & Philp, M. (2010). Adapting to climate change-implications for transport infrastructure, transport systems and travel behaviour. Road & Transport Research: A Journal of Australian and New Zealand Research and Practice, 19(4), 66.