روشی برای برآورد خطرپذیری جسم راه در برابر سیلاب

مقاله علمی – پژوهشی

مقصود پوریاری*، استادیار، مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mpooryari@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰
صفحه ۱۷۶-۱۶۵

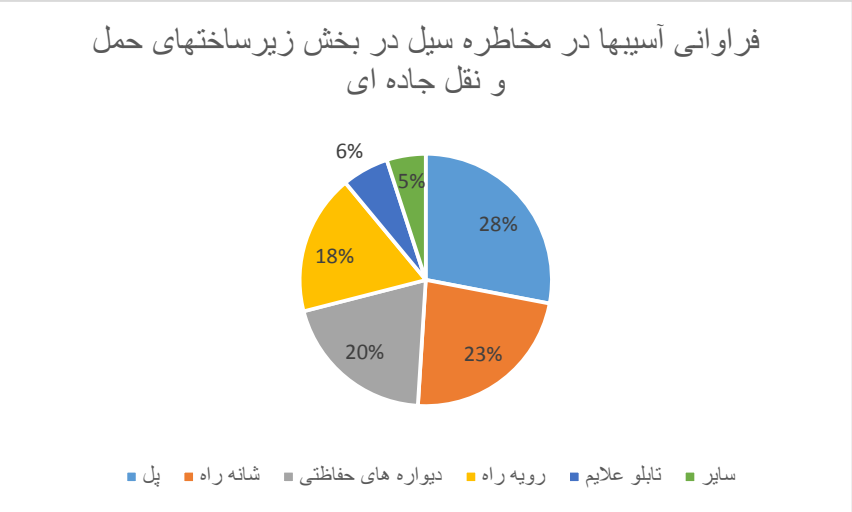
چکیده

سیلاب مهم‌ترین مخاطره بر بخش حمل و نقل زمینی در ایران است. تاکنون خطرپذیری در خصوص جسم راه در برابر سانحه سیل کمتر مورد توجه بوده است. عمده روشها بر میزان آسیب پذیری پل در برابر سیل متمرکز بوده است و سایر پارامترهای خطرپذیری مدنظر نبوده است، در حالی که جسم راه با آسیب پذیری متنوع و در نتیجه سطوح خطرپذیری مختلفی همراه است. در این روش بر اساس نتایج گزارش فنی بخش حمل و نقل ایالت لوئیزیانا آمریکا، پارامترهای موثر بر خطرپذیری مورد مطالعه و امکان برآورد آن برای ایران ارایه شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، نوع روسازی (صلب یا انعطاف پذیر)، مدول ارتجاعی لایه‌ها، ضخامت لایه رویه و شرایط زهکشی راه مهم ترین بخش آسیب پذیری را تشکیل داده اند.در خصوص احتمال خطر سیلاب،دوره بازگشت مورد نظر است و در خصوص در معرض بودن،شرایط ترافیک راه لحاظ شده است. نتایج نشان می‌دهد میزان خطرپذیری راههای کشور ما که غالبا روسازی آن آسفالتی است، در سطح بالایی است. از سویی طول قابل توجه راههای روستایی دارای لایه آسفالتی با ضخامت کم آن را در برابر سیل آسیب پذیر نموده است. از سویی پارامتر زهکشی در ساخت و بهره برداری کمتر مورد تو.جه است و این موضوع میزان خطرپذیری در برابر سیلاب را افزایش می‌دهد. با روش ارایه شده می‌توان پهنه‌بندی مناسب و جامعی از وضعیت خطرپذیری راه‌ها در برابر سیلاب صورت داد و سپس برای تخصیص بهینه منابع برای کاهش خطرپذیری و همچنین استفاده از ظرفیت بیمه در این خصوص بهره برد.

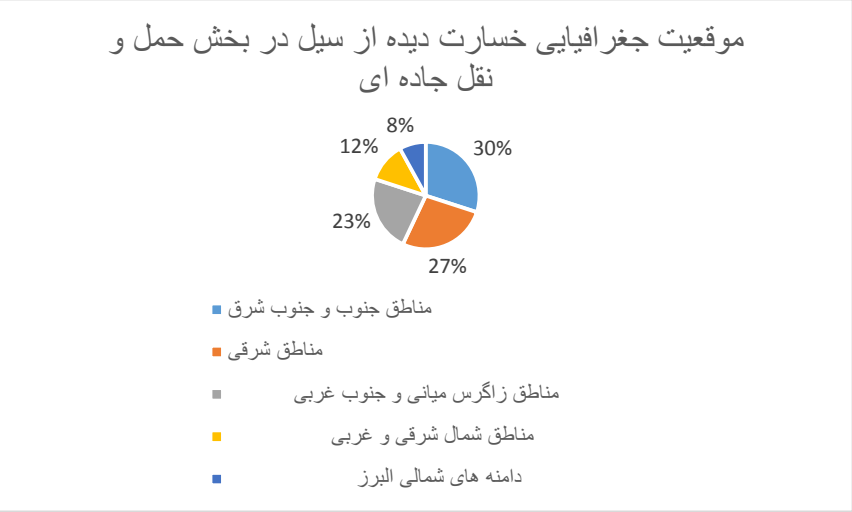
واژه‌های کلیدی: خطرپذیری، خطر سیل، راه

۱-مقدمه

در کشور ایران سالانه بالغ بر یک هزار میلیارد تومان خسارت ناشی از سیل به زیرساختهای حمل ونقل طی سالهای ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ بوده است. این مقدار در سیل سال ۱۳۹۸ بالغ بر ۳۵۰۰ میلیارد تومان رسید (دانشگاه تهران،۱۳۹۸–مرکز تحقیقات راه،مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۸). در این سال ، حدود ۲۰۰ شهر و۴۳۰۰ روستا در ۲۵ استان کشور درگیر سیلاب بوده و ۸۰ نفر از هموطنان جان باختند. همچنین تعداد ۱۲۰۵۰ دستگاه ابنیه فنی در بخش حمل و نقل جاده ای، ۱۷۸۳۲ کیلومتر راههای اصلی، ۳۲۰۷۳ کیلومترراه روستایی آسیب دید. در سال ۱۳۹۹به بخش حمل و نقل جاده‌ای، ۱۸۷۹۵۱۷۱ میلیون ریال خسارت وارد گردید. در سال۱۴۰۰، تعداد ۱۸۸۵ دستگاه ابنیه فنی در بخش حمل و نقل جاده‌ای، ۲۳۲۰ کیلومتر راههای اصلی، ۲۸۹۰ کیلومترراه روستایی آسیب دید. جمع کل خسارات سال ۱۴۰۰، معادل ۲۸۱۹۴۶۴۱ میلیون ریال بود. جمع کل خسارات سال ۱۴۰۱، معادل۲۶۰۱۴۰۰۰ میلیون ریال بود. بیشترین فراوانی آسیب‌ها به زیر ساخت جاده‌ای به ترتیب شامل: پلها، شانه راهها، دیواره های حفاظتی، رویه راه و تابلو و علایم است (شکل ۱). به لحاظ جغرافیایی بیشترین آسیبها به ترتیب در مناطق: مناطق جنوب و جنوب شرق (۳۰ درصد)، مناطق شرقی (۲۷ درصد)، مناطق زاگرس میانی و جنوب غربی (۲۳ درصد)، مناطق شمال شرقی و غربی(۱۲ درصد) ودامنه‌های شمالی البرز (۸ درصد) رخ داده است (سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای،۱۴۰۲) شکل ۲.



شکل ۱. بیشترین فراوانی آسیب‌ها به زیر ساخت جاده‌ای در اثر وقوع سیلاب طی سالهای ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۱



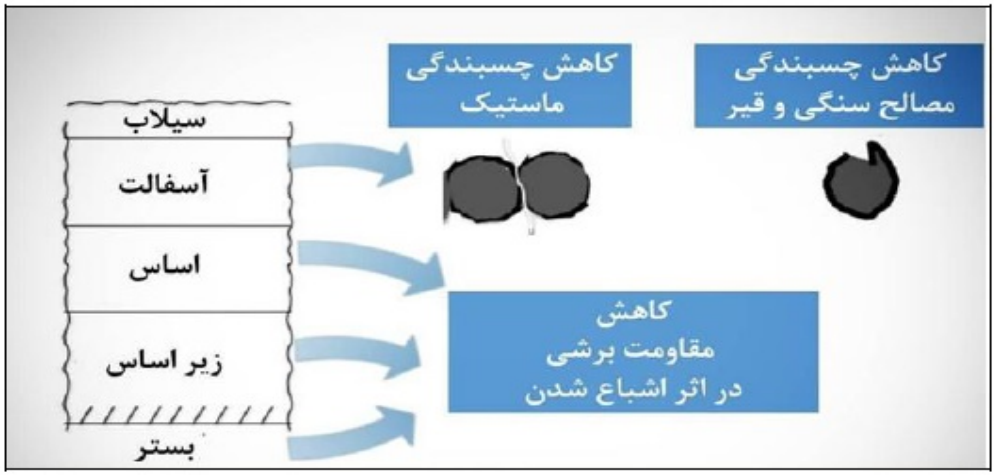
شکل ۲ موقعیت جغرافیایی آسیب‌ها به زیر ساخت جاده‌ای در اثر وقوع سیلاب طی سالهای ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۱

بر اساس پیشنهاد کمیته UNDRO در جولای ۱۹۸۰، میزان کمی خطر پذیری را بصورت حاصل ضرب میزان خطر در میزان آسیب پذیری و میزان واحد ارزش آسیب‌ها بیان کرد(UNDRO, 1980). در تعریف دیگری که توسط برنامه استراتژی برای کاهش بلایای سازمان ملل (ISDR) انجام شده است، خطرپذیری عبارتند از: احتمال تبعات ناخوشایند و یا آسیب‌های مورد انتظار (جان افراد، زخمی شدن افراد، هزینه زندگی، متوقف شدن فعالیت‌های اقتصادی و یا آسیب‌های زیست محیطی) که دراثر اندرکنش بین طبیعت و انسان بوجود می‌آید با توجه به میزان خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت برآورد می‌شود (UNISDR, 2017). بنابرین ملاحظه می‌گردد، میزان آسیب یا خسارت بخش مهمی از خطرپذیری را تشکیل می‌دهد. خسارات غیرمستقیم آثار غیر مستقیم عملکرد آن سانحه بوده و نتیجه آن، توقف"گردش" اقتصادی ناشی از خسارات مستقیم در طول زمان و یا خسارات ناشی از "عدم النفع" واحد اقتصادی بعد از زلزله می‌باشد. در اثر آسیب‌های وارده به راهها، خسارات غیر مستقیم دیگری نیز بجز خسارات اقتصادی وارد می‌شود که از جمله آن می‌توان به خسارات زیست محیطی، فرهنگی وسیاسی اشاره نمود. تاکنون خطرپذیری بخش حمل ونقل جاده ای در برابر سیلاب بیشتر بر خرابی پلها و محل گذر آب متمرکز بوده است و کمتر به جسم راه در برابر خطر سیلاب و ارایه شاخصهایی برای کمی نمودن آن صورت گرفته است که در این

مقاله بدان پرداخته می‌شود. برخی از پژوهشگران با استفاده از روش‌ها و مدل‌های علمی ساده ویا پیچیده سعی خطرپذیری ناشی از وقوع مخاطرات طبیعی و انسانی در شبکه‌های حمل ونقل جاده ای را بررسی نموده‌اند. (شریعت و کاظمی۱۳۸۹)، خطر پذیری به صورت حاصل ضرب احتمال وقوع هر حادثه، اثرات ناشی از آن وضریب اهمیت برای هر کمان شبکه معرفی گردیده است. (مومنی مژهده،ابطحی فروشانی و صفوی،۱۳۹۹) با معرفی شاخص منفعت در هر قطعه راه، به عنوان عدد اهمیت ایمن سازی آن، قطعات مختلف شبکه راه‌ها در مقابل آسیب‌های مستقیم و غیرمستقیم وقوع بحران‌های طبیعی و انسانی مورد بررسی قرار داده و قطعات دارای شاخص منفعت بیشتر به عنوان اولویت‌های اصلی ایمن‌سازی معرفی نمودند. (پوریاری، همکاران،۱۴۰۰– پوریاری، ناصر اسدی۱۴۰۳)، میزان خسارات محتمل یک راه و ابنیه موجود دراثر سانحه بر حسب میزان زمان بازیابی اولیه و زمان بازیابی نهایی مبنای محاسبه قرار گرفت. در این روش از میان پارامترهای تاثیرگذار: توپوگرافی مسیر، میزان ترافیک عبوری، اهمیت راه، وجود ابنیه مهم، فصل سانحه، اهمیت شهرهای مبدا و مقصد، وجود مراکز صنعتی مهم در مسیر، ترانزیت بودن مسیر راه، وجود مسیر جایگزین، وجود تجهیزات ویژه در راهدار خانه برای مدیریت بحران، افزایش زمان سفر محور (ساعت) در زمان بازیابی اولیه مد نظر قرار گرفت.

درجات مختلف آسیب سیل به راه و مکانیسم خرابی

سیل عامل ایجاد دامنه وسیعی از خسارت‌ها شامل هجوم جریان واریزه‌ای و مستغرق شدن جاده‌ها می‌شود. بدین صورت که سیل در مسیر خود بسیاری از اشیاء از قبیل تنه‌های درخت، دکل‌های برق، وسایل نقلیه، توده‌های سنگ و گل و لای را با خود حمل کرده و در مسیر راه‌های ارتباطی قرار می‌دهد. همین مسئله باعث انسداد یا کاهش عرضه عبوری گشته و شبکه را دچار اختلال می‌کند. سیل می تواند باعث تضعیف استحکام و سختی روسازی شود. همچنین اغلب، سیل منجر به خراب شدن یا ضعیف شدن لایه های زیرین روسازی می شود (که می‌تواند موقت یا طولانی مدت باشد) و چنین آسیبی ممکن است روی سطح قابل مشاهده نباشد. یک روسازی به شدت آسیب دیده می‌تواند باعث شود که سطح اتکای یک وسیله نقلیه نسبتاً سنگین مانند یک کامیون برای حمل آوار کاملا از بین برود و خرابی سازه‌ای در آن رخ دهد. همچنین آب می‌تواند لایه‌های دانه‌بندی نشده زیرین را فرسایش دهد، بخش‌های جاده را بشوید، به لایه‌های قیری آسیب برساند، ظرفیت باربری لایه‌های زیرین را کاهش دهد، حمایت را در روسازی‌های بتنی کاهش دهد یا ترکیبی از همه این اثرات را ایجاد کند. درنتیجه ظرفیت باربری راه به طرز قابل توجه کاهش می یابد. در شکل ۳ اثر سیلاب بر عملکرد روسازی آسفالتی به صورت شماتیک نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که سیلاب ممکن است بر رفتار خستگی و تغییرشکل ماندگار روسازی آسفالتی اثرگذار باشد. دلیل این مسئله احتمالاً تغییرات در عملکرد و پاسخ مکانیکی لایه‌های روسازی در اثر رطوبت و اشباع شدن است.



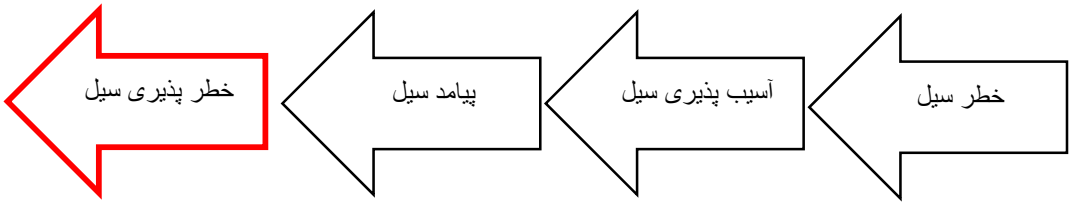
شکل ۳. اثر سیلاب بر عملکرد روسازی آسفالتی (مرکز تحقیقات راه،مسکن و شهرسازی۱۳۹۸)

یکی از دلایل اولیه زوال ظرفیت سازه ای راه در اثر سیل، ورود آب به لایه‌های زیرین، مانند اساس، زیراساس و بستر روسازی است که منجر به افزایش درجه اشباع یا رسیدن به حداکثر مقدار آن می شود. (یعنی ۱۰۰٪) و در نتیجه باعث کاهش استحکام و سفتی در این لایه‌ها می‌شود. در نتیجه، ظرفیت بارگذاری روسازی سیل‌زده با کاهش سختی و استحکام این لایه‌های روسازی در طول جاری شدن سیل تضعیف می‌شود. قرار دادن راه‌های آب‌گرفته با ظرفیت سازه‌ای ضعیف در برابر بار ترافیکی می‌تواند منجر به شیارهای زودرس، ترک‌خوردگی، کاهش عمر باقی‌مانده یا حتی خرابی سازه‌ای جاده شود. از سوی دیگر، بخش‌های آب‌گرفته جاده می‌توانند با تخلیه آب نفوذی، استحکام و سختی خود را بازیابند. با این حال، زمان مورد نیاز برای بازیابی استحکام و سختی یک جاده آب‌گرفته می‌تواند بسیار متفاوت باشد، از روزها تا سال‌ها متغیر است، که عمدتاً به نفوذپذیری هیدرولیکی لایه‌های زیرین آن و سایر شرایط هیدرولیکی بستگی دارد.

شکل ٤. تخریب بدنه راه در برابر سیلاب(مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی۱۳۹۸)

۳-ارایه روش

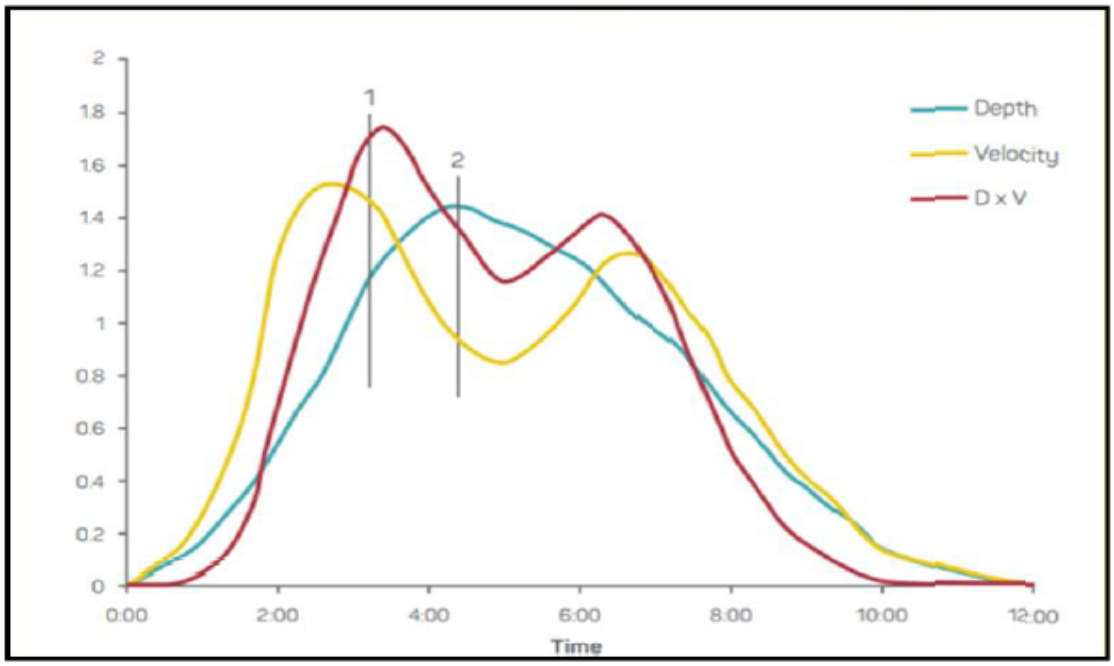
سیل بر حسب شدت و نوع آن طیف وسعی از خرابی را به بدنه راه وارد می کند و پیامدهای مختلفی با توجه به عملکرد راه می‌تواند به دنبال داشته باشد. بنابراین منطقی است که مدل براورد خطرپذیری هم شدت سیل را در نظر گیرد، هم آسیب پذیری راه و پیامد متناسب با آن را در نظر گیرد. برخی از بخش‌های جاده‌ای به دلیل احتمال زیاد سیل، شرایط هیدرولیکی نامطلوب، ساختار روسازی، نوع مصالح لایه‌های روسازی، شرایط زه‌کشی و نفوذپذیری سطح، آسیب‌پذیرتر از سایر بخش‌ها در برابر اثرات سیل هستند. علاوه بر این، پیامد خسارات ناشی از سیل با توجه به درجه عملکرد راه و حجم ترافیک، هزینه‌های مستقیم (تعمیر) و غیر مستقیم (تاخیر ترافیکی، مصرف سوخت، محیط زیست، از دست رفتن وضعیت کسب و کار و غیره) بستگی دارد. لذا یک شاخص ترکیبی مشتمل بر خطر، آسیب‌پذیری، و عوامل پیامد وفق شکل و رابطه ذیل ارائه شده است.



شکل ۵. فرآیند محاسبه خطرپذیری سیل(سازمان برنامه و بودجه،۱۳۹٤)

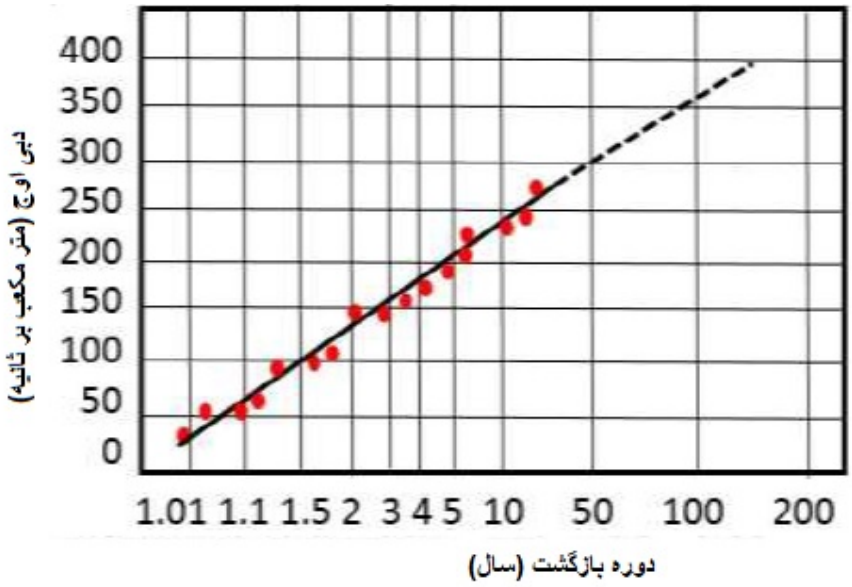
خطرپذیری(RF)= خطر(HF)×آسیب پذیری(VF)×پیامد(CF) (۱)

عامل خطر یک امتیاز است که برای تعیین کمیت یک خطر با در نظر گرفتن احتمال و بزرگی آن استفاده می‌شود. در مورد سیل، عامل خطر آن به ویژگی‌هایی مانند شدت سیل، مدت زمان و شرایط حوضه آبریز (به عنوان مثال، وسعت، شیب و غیره) بستگی دارد. در هیدرولوژی، دبی اوج، که حجم پیک آب در واحد زمان عبور از یک نقطه خاص از یک جریان است، اغلب برای تعیین کمیت اندازه یک سیلاب استفاده می‌شود. به عنوان مثال، سیل ۱۰۰ ساله برای یک جریان به این معنی است که سیل با اندازه معین (یا متناظر با دبی اوج معین) یک فاصله زمانی تکراری ۱۰۰ ساله دارد یا ۱٪ احتمال وقوع در هر سال دارد. بنابراین منطقی است که ضریب خطر یک سیل را بر اساس اندازه آن یا فاصله زمانی تکرار آن تخمین بزنیم. برای دستیابی به این پارامتر تهیه نقشه پهنه خطر سیل ضرورت دارد. در این نقشه پارامترهای دیگری نظیر عمق سیلاب، سرعت جریان، میزان پخش شدگی سیلاب و یا سرعت پخش سیلاب نیز قابل جستجو است. لیکن با توجه به نیاز و حساسیت طرح این پارامترها برداشت و ارایه می‌شود و به صورت کلی ممکن اسن به صرفه و یا داشتن اطلاعات همه آن امکان پذیر نباشد. در استرالیا ترکیبی از دو پارامتر اصلی جریان) عمق و سرعت (به عنوان معیاری برای ارزیابی خطر سیل در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که محدوده مورد مطالعه و ابعاد سیلاب کوچک باشد، حاصلضرب دو پارامتر سرعت و عمق جریان معیار خطر سیل مطرح می‌شود (سازمان برنامه و بودجه،۱۳۹٤)، شکل ٦. به صورت ساده تر معیار خطر سیل صرفا بر اساس دوره بازگشت سیل نیز وجود دارد. در ایالت لویزینا در جدول ۳ معیارهای توصیه شده برای تعیین ضریب خطر سیل را خلاصه می‌کند که از ۱ (کمترین خطر) تا ۵ (شدیدترین خطر) متغیر است(Mingjiang Tao -Rajib B. Mallick, (2020). همانطور که انتظار می‌رود، هرچه اندازه یک سیل بزرگتر باشد، بیشتر دشت سیلابی احتمالاً زیر آب می رود و بنابراین عامل خطر بیشتر است. در برای کشور المان در چهار سطح وفق جدول ذیل ارایه شده است.



شکل ٦. منحنی تغییرات پارامترهای جریان نسبت به زمان (سرعت جریان (متر بر ثانیه) و عمق جریان (متر)

(سازمان برنامه و بودجه،۱۳۹٤ و ۱۳۸٤)



شکل ۷. نمونه‌ای از ارتباط بین میزان دبی اوج و دوره بازگشت سیل برای رودخانه مشخص
Mingjiang Tao Rajib B. Mallick, (2020)

جدول ۱. معیار شاخص خطر و ارتباط آن با دوره بازگشت سیل Mingjiang Tao Rajib B. Mallick, (2020)

مشخصات سیل	فاکتور خطر
سیل ۱۰۰ ساله	۵
سیل ۵۰ ساله	۳
سیل ۱۰ ساله	۱

جدول ۲. دیگر معیار شاخص خطر و ارتباط آن با دوره بازگشت سیل(سازمان برنامه و بودجه،۱۳۹٤ و ۱۳۸٤)

مشخصات سیل	ناحیه خطر سیل
محدوده پهنه سیل۱۰ سال	٤
محدوده مابین پهنه سیل ۱۰ سال و ۵۰ سال	۳
محدوده مابین پهنه سیل ۵۰ ساله و ۲۰۰ ساله	۲
محدوده خارج از پهنه سیل با دوره بازگشت ۲۰۰ سال	۱

عامل آسیب پذیری: درجه ناتوانی یک سیستم در مقابله با تاثیر یا برخورد یک تهدید یا حادثه داخلی یا خارجی را آسیب پذیری آن سیستم نامند(Pouryari et al,2022). برای اینکه بررسی آسیب پذیری پاسخ به این سوالات لازم است.

کجا آسیب پذیر است؟ (ارزیابی محل و اجزای آسیب پذیر در شبکه)

به چه چیز آسیب پذیر است؟ (ارزیابی شرایط ویژه یا تهدیهای خارجی که احتمال وقوع آنها می‌باشد.)

چگونه آسیب پذیر است؟ (ارائه نشانی و مشخصات سناریوهای خاص و بررسی نحوه پاسخگویی شبکه به آن). موقعیت، شرایط توپوگرافی، سازه راه، وضعیت هیدرولیکی و هیدرولوژیکی یک جاده تا حد زیادی بر آسیب پذیری آن در برابر سیل حاکم است. چنین عواملی شامل ارتفاع آن، ضخامت و وضعیت لایه رویه،

حساسیت به آب لایه‌های زیرین و شرایط زهکشی تا حد زیادی بر آسیب‌پذیری آن در برابر سیل حاکم است. در مطالعه‌ای که در این زمینه انجام شده است، آسیب‌پذیری بخش جاده از سیلاب تابعی خطی خرابی سطح رویه راه، ظرفیت سازه‌ای رویه راه که خود تابعی از ضخامت لایه‌های روسازی است، حساسیت مدول ارتجاعی لایه‌های زیرین راه در برابر رطوبت و شرایط زهکشی راه است. این رابطه طبق ذیل است. مجموع وزنی پارامترهای فوق است به مقدار ۱ تا ۵ (شدت آسیب) متغیر است. مجموع ضرایب وزنی هر یک از عوامل برابر با یک است.

$$VF = W_{EC} \times EC + W_{ST} \times ST + W_{SG} \times SG + W_D \times D \quad (۲)$$

جایی که، VF عامل آسیب پذیری است. EC پارامتر مربوط به ترک‌های موجود در سطح جاده است که بر میزان نفوذ آب به داخل جاده حاکم است. wEC ضریب وزنی ترک موجود است. ST پارامتر مربوط به ظرفیت سازه‌ای راه است که مقدار آن به ضخامت لایه محدود بستگی دارد. wST ضریب وزنی ST است؛ SG پارامتر مربوط به شرایط بستر جاده است که نشان دهنده حساسیت مدول ارتجاعی لایه زیرین به افزایش رطوبت در اثر سیل است. wSG ضریب وزنی SG است. D پارامتر مربوط به شرایط زهکشی جاده است که با نفوذپذیری هیدرولیکی لایه اساس راه ارتباط دارد و wD ضریب وزنی پارامتر زهکشی D است. توجه داشته باشید که مقدار عددی VFمی توان با کمک نقشه‌های مختلف خطر سیل، تعیین می‌گردد. مقدار EC به شدت ترک خوردگی سطحی بستگی دارد و از ۵ برای شدت بالای ترک، ۳ برای سطح متوسط ترک، تا ۱ برای سطح ترک خوردگی پایین متغیر است. ضریب وزنی ۰,۲ برای EC توصیه می‌شود. معیار شدت ترک خوردگی لایه رویه را می‌توان بر اساس شاخص عملکرد روسازی مشابه (pci) تعریف نمود. مقدار ST به ضخامت لایه‌های رویه بستگی دارد، به طور خاص برای پارامتر ST، مقادیر ۵، ۳ و ۱ به ترتیب برای جاده با لایه نازک نازک (کمتراز ۲ اینچ)، لایه محدود متوسط (۴~۶ اینچ)، و لایه محدود ضخیم (بیشتر از ۶ اینچ) توصیه می‌شود. ضریب وزنی این پارامتر، ۰,۲ توصیه می‌شود.

مقدار SG به میزان کاهش مدول ارتجاعی لایه زیرین در نتیجه افزایش میزان اشباع خاک در اثر سیلاب، بستگی دارد. هرچه کاهش مدول بیشتر باشد، مقدار SG بزرگتر است. معمولاً خاک‌های درشت دانه حساسیت نسبتاً کمتری به افزایش رطوبت دارند و مقدار SG برای این خاک‌ها به ۱ نزدیک‌تر است در حالی که خاک‌های ریزدانه به طور قابل توجهی تحت تأثیر افزایش رطوبت بوده و مدول ارتجاعی آن کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است. برای خاک‌های ریزدانه، حساسیت مدول ارتجاعی به افزایش رطوبت را می‌توان با شاخص پلاسیسته وزنی (WPI) که خود از حاصلضرب مقدار ((W)، درصد ذرات عبوری از الک شماره ۲۰۰) و شاخص پلاستیسیته (PI)، بدست آورد. برای خاک درشت دانه، این مقدار تابعی از درصد ذرات عبوری از الک شماره ۶۰ است. مقادیر SG برای خاک‌هایی با WPI۰,۱ و ۵۰ به ترتیب اعداد، ۳ و ۵ توصیه شده است. وفق شکل ارتباط درصد ذرات خاک عبوری از الک شماره۶۰ (D۶۰) و مقادیر شاخص پلاسیسته وزنی با میزان کاهش مدول ارتجاعی نشان داده شده است. به علاوه ارتباط بین طبقه بندی خاک مطابق اشتو و مقادیر درصد ذرات خاک عبوری از الک شماره ۶۰ (D۶۰) و شاخص پلاسیسته وزنی در جدول نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که ضریب وزنی پارامتر SG نیز ۰,۲ توصیه شده است. پارامتر شرایط زهکشی D، بستگی به سرعت تخلیه آب نفوذی از مسیر غرقاب شده دارد که می‌تواند به نفوذپذیری هیدرولیکی لایه بستر یا زیراساس جاده مربوط باشد. هرچه سرعت تخلیه آب کمتر باشد، مقدار D بیشتر است. برای داشتن یک مقدار تقریبی این ضریب، رابطه ای ریاضی از ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع با مقدار درصد ذرات خاک عبوری از الک شماره ۶۰(D۶۰) برای خاک درشت دانه و مقادیر شاخص پلاسیسته وزنی برای خاک ریزدانه وجود دارد که در ذیل آمده است. سپس مطابق جدول ارتباط پارامتر شرایط زهکشی D با ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی شرایط اشباع برقرار است.

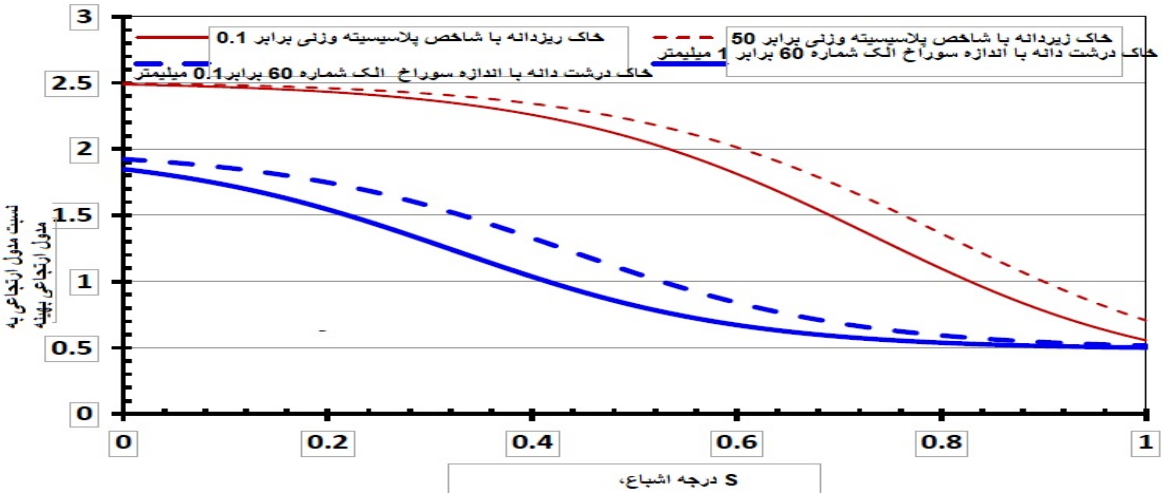
$$k_{sat} = 118.11 \times 10^{(-1.1275(\log D_{60} + 2)\text{^}2 + 7.2816(logD_{60} + 2) - 11.2891)} \quad (۳)$$

$$k_{sat} = 118.11 \times 10^{(0.0004\times)WPI^2 - 0.0929\times WPI - 6.56)}$$

که در آن، $ksat$ ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع (ft/hr) است.

درصد ذرات خاک عبوری از الک شماره ۶۰(D۶۰) در منحنی توزیع اندازه ذرات است.

با محدوده مقادیر معمول آنها ۰٫۱ تا ۱ میلی متر برای ۶۰ و ۰٫۱ و ۵۰ برای خاک‌های درشت و ریزدانه به ترتیب، نفوذپذیری هیدرولیکی تقریبی برای خاک‌های درشت و ریزدانه در جدول ۵ خلاصه شده است. فاکتور زهکشی مربوطه توصیه می‌شود.



شکل ۸. ارتباط بین نسبت مدول ارتجاعی نرمال شده و مدول ارتجاعی بهینه با درجه اشباع خاک

(Mingjiang Tao Rajib B. Mallick, 2020)

جدول ۳. تقریب اولیه برای پارامتر زهکشی بر اساس نوع خاک(Mingjiang Tao Rajib B. Mallick, 2020)

نوع خاک	D_{60}(mm)	WPI	Ks(ft/hr)	اندازه پارامتر D
درشت دانه	0.1		۰٫۰۰۰۸۷	۱
	1		۶٫۹	۱
ریزدانه		0.1	۰٫۰۰۰۰۳۲	۳
		50	۰٫۰۰۰۰۰۰۰۷۴	۵

عامل پیامد (CF) برای تعیین کمیت اثرات اقتصادی و اجتماعی آسیب به سازه راه ناشی از خطر سیل استفاده می‌شود. پیامد آسیب ناشی از سیل به یک جاده بستگی به کلاس راه، حجم ترافیک و هزینه‌های مربوط به تعمیر و محدودیت‌های خدماتی دارد. ضریب پیامد به عنوان مجموع وزنی پارامترهای مربوط به هزینه تعویض/تعمیر (RC) و محدودیت هزینه خدمات

جدول ٤. معیار پیشنهادی برای هزینه بازسازی و نوسازی راه با توجه به عملکرد آن (Mingjiang Tao Rajib B. Mallick, 2020).

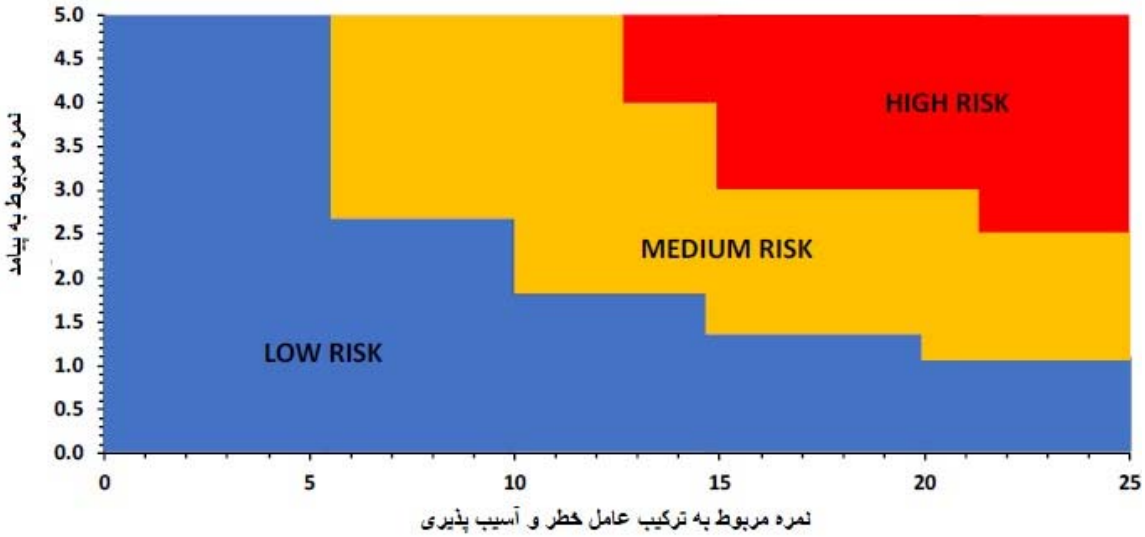
درجه عملکرد راه	هزینه تعمیر و جایگزینی
راه شریانی	۵
جمع و پخش کننده	۳
راه روستایی	۱

به رانندگان تقریب زده می‌شود، مقدار پیشنهادی برای ضریب مربوط به هزینه اقتصادی با توجه به درجه راه تعیین و برای ضریب مربوط به اثر اجتماعی یا خسارت غیرمستقیم بر اساس میزان حجم ترافیک مطابق جداول ذکر شده است.

جدول ۵ هزینه محدودیت استفاده کنندگان راه در اثر سیلاب به تفکیک میزان ترافیک.(Mingjiang Tao Rajib B. Mallick, 2020).

حجم ترافیک (متوسط ترافیک روزانه در یک سال)	هزینه محدودیت بهره برداری رانندگان
بیش از ۳۰۰۰	۵
بین ٤۰۰ تا ۳۰۰۰	۳
کمتر از ٤۰۰	۱

همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، RF در نهایت فاکتور خطرپذیری سیل پس از تعیین فاکتورهای بخش‌های مختلف مربوط به خطر، آسیب پذیری و پیامد مطابق شکل در سه پهنه خطرپذیری زیاد، متوسط و کم ارایه می‌شود. در این شکل محور افقی نمره مربوط به تلفیق نمره خطر و نمره آسیب پذیری و محور عمودی نتایج مربوط به نمره پیامد می‌باشد.



شکل ۹. پهنه بندی خطرپذیری ریسک در سه رده زیاد (وقتی حاصل ضرب نمرات عوامل دخیل در محدوده ٦٤ تا ۱۲۵ باشد)، رده متوسط (وقتی حاصل ضرب نمرات عوامل دخیل در محدوده ۲۷ تا ٦٤ باشد) و رده کم (وقتی حاصل ضرب نمرات عوامل دخیل در محدوده کمتر از ۲۷ باشد).(Mingjiang Tao Rajib B. Mallick, 2020)

باید به این نکته توجه داشت که مقادیر عددی توصیه شده برای پارامترهای فوق، معیارهای تعیین این مقادیر عددی، و پارامترهای خاص برای محاسبه ضریب خطر، ضریب آسیب‌پذیری و عامل پیامد، مطلق نبوده و بر اساس شرایط منطقه‌ای و اقلیمی و دیگر پارامترهای موثر نیاز به اصلاح دارد. با این حال، چارچوب ارزیابی کل‌نگر پیشنهادی برای کاربر آسان و قابل فهم بوده و می‌تواند بر اساس نیازهای خاص کاربر نهایی، و تجربیات موجود و داده‌های عملکرد روسازی‌های راه‌های در معرض خطر سیلاب اصلاح شود.

۵- نتیجه‌گیری

بخش حمل ونقل جاده ای بیشترین خسارت را از سیلاب متحمل می شود. متولی سیلاب در کشور وزارت نیرو و سایر دستگاه ها بوده، لیکن تاثیرپذیری وزارت راه و شهرسازی از این مخاطره قابل توجه است. جهت تهیه اطلس خطر و پهنه‌بندی سیلاب وزارت نیرو اقداماتی را انجام داده است، لیکن وزارت راه باید بر اساس پراکندگی مستحدثات و تاسیسات زیربنایی خود اقدام به تهیه خطر پذیری در برابر سیل نماید. در این راستا بر اساس آسیب پذیری و پیامد مخاطره سیل باید بخشهای مختلف وزارت راه و شهرسازی خصوصا بخش حمل ونقل جاده‌ای اقدام لازم را انجام دهد. در این راستا ابتدا باید پایگاه اطلاعاتی مربوط به پلها، وضعیت روسازی، سایر بخش‌های راه اماده شده و با اخذ داده‌های مربوط به خطر سیلاب که یا اط طریق دوره بازگشت سیل و یا از طریق سایر پارامترهای هیدرولوژی نظیر سرعت و عمق جریان آب در طی سیلاب، نسبت به تعیین پهنه‌های خطرپذیری اقدام و سپس جهت کاهش خطرپذیری مناطق پرخطر اقدام لازم را معمول نماید. در این تحقیق مشخص شد که ویژگی‌های خاک و رویه راه بر میزان آسیب پذیری و به تبع آن خطرپذیری یک قطعه راه در برابر سیلاب تاثیرگذار است. روسازی انعطاف پذیر، به ویژه آنهایی که دارای لایه‌های AC نازک هستند، در مقایسه با روسازی صلب

و روسازی‌های مرکب، در معرض آسیب‌های بیشتر ناشی از سیل هستند. بنابراین، جاده های روستایی و فرعی و کم حجم بیشترین آسیب پذیری را در برابر خسارات ناشی از سیل دارند، حتی اگر اغلب این جاده‌ها پس از سیل دست نخورده به نظر رسند. اگرچه سیل باعث خرابی لایه‌های رویه راه‌ها می شود، اما با نفوذ به سایر لایه‌ها نیز بیشترین آسیب را به ظرفیت بارگذاری سازه روسازی وارد می‌کند. بنابراین خواص فیزیکی، مکانیکی و هیدرولیکی سایر لایه‌های روسازی نقش مهمی در آسیب‌پذیری راه‌ها در برابر خطر سیل دارد. میزان هدایت هیدرولیکی لایه‌های اساس و زیر اساس نقش مهمی در تاب آوری یک جاده در برابر سیل با توجه به مدت زمان تخلیه آب نفوذ شده از جاده، ایفا می‌کند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که ظرفیت بارگذاری سازه‌ای یک جاده با لایه‌های با نفوذپذیری هیدرولیکی کم برای مدت زمان قابل توجهی پس از سیل دچار کاهش ماندگار ظرفیت سازه باقی بماند. از آنجا که ابنیه فنی پل یکی از اجزای آسیب پذیر در برابر سیل است، لزوم توجه به خطرپذیری آن به صورت جداگانه ضرورت دارد. در این خصوص دو راهنما و سند مناسب در مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی وجود دارد. یکی دستورالعمل بازرسی پل که آسیب پذیری پل را با تکیه بر پارامترهای هیدورلیک با بازرسی میسر می‌کند و به عنوان دستورالعمل در شورای عالی زیربنایی ابلاغ شده است و دیگری راهنمای بازرسی هیدرولیکی پلهای رودخانه‌ای که به تفصیل موضوع آبشستگی به عنوان مهمترین بخش آسیب پذیری پل را مورد توجه قرار داده است. در این تحقیق چارچوب جامع برای ارزیابی خطر سیل جاده‌ها با توجه به سه مقوله خطر، آسیب‌پذیری‌ها و پیامدها معرفی شده است. برای عامل خطر اقدامات و اسناد فنی قابل استفاده در کشور معرفی شده است. برای موضوع آسیب پذیری به تفکیک پل و بدنه راه، راهنمایی لازم با استفاده از نتایج این تحقیق و نتایج سایر محققان رهنمود لازم ارایه شده است و برای موضوع پیامد نیز برای بخش راه (ضرورتی برای تفکیک بین ابنیه و جسم راه نیست) راهنمایی لازم با توجه به مطالب این مقاله معرفی شده است. بدیهی است که با مطالعه موردی می‌توان تقسیم بندی مناسبی از خطر پذیری یکی از مهمترین مخاطرات بخش حمل ونقل را به عمل آورد و از روشهای مناسب نظیر استفاده از بیمه ها و همچنین مدیریت بهینه منابع مالی نسبت به کاهش خطرپذیری بخش راه و ابنیه فنی در برابر سیلاب اقدام نمود. به علاوه می‌توان پایگاه اطلاعات مناسب در بستر GIS فراهم نمود تا برنامه‌ریزی و تصمیم گیری در خصوص کاهش خطرپذیری در برابر سیلاب با زمان و هزینه انجام پذیرد.

٦-مراجع

-مجموعه گزارش‌های هیات ویژه سیلاب (۱۳۹۸). *دانشگاه تهران*.

-مجموعه گزارش‌های تخصصی سیلاب‌های فروردین (۱۳۹۸). بررسی آسیبهای راه و ابنیه فنی-گزارش کارگروه حمل و نقل وابنیه فنی، *مرکز تحقیقات زاه، مسکن و شهرسازی*.

- پوریاری، مقصود و همکاران (۱٤۰۰). تعیین خطرپذیری قابل قبول با ملاحظه خسارت غیر مستقیم قابل قبول ناشی از حادثه زلزله در شریان حیاتی (حمل و نقل جاده‌ای)، *فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل*، سال هجدهم، دوره چهارم، شماره ٦۹، زمستان، ٤۰-۲۵.

- مکاتبه شماره ۱۵۵٦۱۸/۱۷ مورخ ۱٤۰۲/۹/۱۱سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای با معاونت حمل و نقل وزارت متبوع با موضوع اولویت بندی مخاطرات،۱٤۰۲.

- محجوب، امیر (۱٤۰۱). راهنمای بازرسی هیدرولیکی پلهای رودخانه ای، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، *شماره نشر گ-۹۹۳*.

- پوریاری، مقصود، ناصراسدی کیارش (۱٤۰۳). تعیین خسارت مستقیم قابل قبول ناشی از حادثه زلزله در شریان حیاتی (حمل و نقل جاده‌ای). *فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل*، سال ۲۱، دوره سوم، شماره ۸۰، پاییز، ٥٦۷-۵۵۱.

-مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، دستورالعمل بازرسی نگهداری و تعمیر پل‌ها (۱٤۰۲). *مصوبه۱٤۷ شورای عالی زیربنایی حمل ونقل*.

-سازمان برنامه و بودجه کشور (۱۳۹۹). راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب، *ضابطه شماره ۸۲۱*.

-سازمان برنامه و بودجه کشور (۱۳۸٤). راهنمای پهنه بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها. *ضابطه شماره ۳۰۷*.

-سازمان برنامه و بودجه کشور (۱۳۹٤). راهنمای مدیریت سیلاب دشت، بخشنامه گروه سوم.

-مومنی مژده امیرحسین، ابطحی فروشانی سیدمهدی، صفوی حمیدرضا (۱۳۹۵). ارائه روشی جهت شناسایی و اولویت‌بندی نقاط مستعد مخاطرات در شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای، مطالعه موردی استان اصفهان. *پژوهشنامه حمل و نقل*. سال سیزدهم، شماره سوم، پاییز، ۲۸۷– ۲۷۱.

-شریعت مهیمنی افشین، کاظمی علی اصغر (۱۳۸۹). بکارگیری شاخص ریسک بر اساس معیار دسترسی برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه جاده ای استان کردستان. *پژوهشنامه حمل و نقل. دوره ۷، شماره ۳* .

-Mingjiang Tao Rajib B. Mallick, (2020). Best Practice for Assessing Roadway Damages Caused by Flooding, Final Report 615, *Louisiana Transportation Research Center*.

-UNDRO, (1980). Natural disasters and vulnerability analysis. Report of Experts Group Meeting of 9–12 July 1979. Geneva: *UNDRO*. Google Scholar.

-UN/ISDR (United Nations/International Strategy for Disaster Reduction), (2017), Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Genf: *United Nations*, Google Scholar.

-Pouryari,M; Mahboobi Ardakani, A.R. Hassani, N, A Multi-Criteria Vulnerability of Urban Transportation Systems Analysis Against Earthquake Considering Topological and Geographical Method: A Case Study, *Iranian Journal of Science and Technology*, Transactions of Civil Engineering, Vol. 46, Issue 3, 2147-2160.

doi: 10.1007/s40996-021-00699-4

A Method to Estimate the Road Risk against Flooding

Maghsoud Pouryari, Assistant Professor, Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran.

E-mail: mpooryari@yahoo.com

Received: August 2024- Accepted: December 2024

ABSTRACT

Flood is the most important hazard to the land transportation in Iran. Until now, the vulnerability of the road body against flood accidents has received less attention. Most of the methods have focused on the bridge vulnerability and other risk parameters have not been taken into consideration, while the road is associated with various vulnerability and as a result different levels of risk. In this method, based on the results of the technical report of the transport department of the state of Louisiana, the parameters affecting the studied risk and the possibility of its estimation for Iran have been presented. Based on the results of this research, the type of pavement, the elastic modulus of the layers, the thickness of the top layer and the road drainage conditions are the most important parts of vulnerability. Regarding the possibility of flood hazard, the return period is the case and regarding Exposure, road traffic is taken into account. The results show that the risk level of the roads in Iran, which are mostly paved with asphalt, is at a high level. Rural roads with a thin asphalt layer makes them vulnerable to floods. The drainage parameter is less important in construction and operation, and this issue increases the level of vulnerability to flooding. With the presented method, it is possible to make a proper and comprehensive zoning of the roads risk to flooding and then for the optimal allocation of resources to reduce it and also use insurance cap.

Keywords: Risk, Flood Hazard, Road