



Investigating the effect of passing retroversion heavy machinery on decreasing flood crisis relief on their pavement failure

Mohammad Mehdi Khabiri¹, Omid Ansari² & Zohreh Ghafourifard²

1. Faculty member, Associted Prefesor, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran. mkhabiri@yazd.ac.ir
2. Master science student of Highway and Transportation, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran.

Abstract

Background and Objective: Due to the fact that the desert areas of our country experience devastating floods in autumn and winter, and heavy machinery inevitably need transportation roads for relief and reconstruction in flooded areas. Pavement failure with saturated layers due to floods is considered.

Method: In this research, Everstress software has been used for modeling and fine sand with 3 different moisture has been used for the subgrade soil, because the soil of desert cities is sand soil, It is more sensitive to moisture than other soils. Also, 4 types of loaders were used in modeling because this machine is mostly used in flood conditions. To investigate this issue, two parameters of maximum horizontal strain under asphalt layer and vertical strain on subgrade soil are considered.

Findings: The results show that with increasing the percentage of sububgrade moisture and decreasing CBR, the values of vertical strain on the subgrade increase and the horizontal strain under the asphalt layer decrease. Found and with increasing weight loaders increase vertical strain and decrease horizontal strain.

Conclusion: The use of relief equipment appropriate to the existing infrastructure is justified in order to use machines with wheel weight and less total weight should be used in passages with weaker infrastructure, because according to the results, with increasing humidity, bed soil and pavement are weakened and its load-bearing capacity is reduced, and heavy machinery traffic destroys pavement. Use of appropriate materials and strengthen the subgrade of urban thoroughfares and access to time Construction can also be a preventative measure to reduce the destructive effects of natural hazards.

Keywords: Structural Strength, Flood Affected, Sandy Subgrade, Flexible Pavements, Crisis Management.

► **Citation (APA 6th ed.):** Khabiri M, Ansari O, Ghafourifard Z. (2021, Winter). Investigating the effect of passing retroversion heavy machinery on decreasing flood crisis relief on their pavement failure. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 10(4),325-338.

بررسی تاثیر عبور تجهیزات بازگشایی معابر بر تشدید خرابی روسازی آنها در امداد رسانی بحران سیلاب

محمد مهدی خیبری^۱، امید انصاری^۲ و زهره غفوری فرد^۲

۱. دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران. (نویسنده مسئول) mkhabiri@yazd.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به اینکه مناطق کویری کشور ما تجربه سیل‌های مخرب در فصول پاییز و زمستان را دارد و ماشین‌آلات سنگین ناچارند برای امور امداد رسانی و بازسازی به مناطق سیل زده تردد نمایند، نیاز به جاده‌های مواصلاتی دارند. در این شرایط موضوع اثر بارگذاری ماشین‌آلات ساختمانی بر خرابی روسازی با لایه‌های اشباع شده در اثر سیل مورد توجه قرار می‌گیرد.

روش: در این پژوهش برای مدلسازی نرم‌افزار Everstress به کار گرفته شده است و برای خاک‌بستر از ماسه ریز با سه درصد رطوبت متفاوت استفاده شده است، زیرا خاک شهرهای کویری، خاک ماسه است که در روان‌گرایی نسبت به رطوبت حساس‌تر از سایر خاک‌ها می‌باشند. همچنین در مدلسازی از ۴ نوع لودر استفاده شد، زیرا در شرایط سیل این ماشین‌ها بیشترین کاربرد را دارند. برای بررسی این موضوع دو پارامتر ماکزیمم کرنش افقی زیر آسفالت و کرنش قائم روی خاک‌بستر در نظر گرفته شده است.

یافته‌ها: با افزایش درصد رطوبت خاک‌بستر و کاهش CBR^۱، مقادیر کرنش قائم روی خاک‌بستر افزایش و کرنش افقی زیر لایه آسفالت کاهش می‌یابد. برای مثال، لودر LT953 با افزایش رطوبت و کاهش CBR، از ۵۰ به ۲۵ مقدار، کرنش قائم ۲۸۶ افزایش و کرنش افقی ۲۰/۹ کاهش یافته و با افزایش وزن لودرها، کرنش قائم افزایش و کرنش افقی کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: استفاده از تجهیزات امداد رسانی متناسب با وضعیت زیرساخت موجود، بدین جهت توجیه می‌شود که از ماشین‌آلات با وزن چرخ و وزن کل کمتری در معابر، با زیرسازی ضعیف‌تر استفاده شود، زیرا طبق نتایج با افزایش رطوبت خاک‌بستر و روسازی ضعیف شده و قدرت تحمل بار آن کاهش می‌یابد و تردد ماشین‌آلات سنگین باعث تخریب روسازی می‌شود. استفاده از مصالح مناسب و تقویت بستر مسیر معابر شهری و دسترسی در هنگام ساخت برای کاهش اثر تخریب مخاطرات طبیعی نیز می‌تواند اقدام پیشگیرانه محسوب شود.

واژگان کلیدی: استحکام ساختاری، سیلاب، بستر ماسه‌ای، روسازی قابل انعطاف، مدیریت بحران

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** خیبری، محمد مهدی، انصاری، امید، غفوری فرد، زهره. (زمستان، ۱۳۹۹). بررسی تاثیر عبور تجهیزات بازگشایی معابر بر تشدید خرابی روسازی آنها در امداد رسانی بحران سیلاب. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۱۰ (۴)، ۳۲۵-۳۳۸.

مقدمه

مناسب و هموار برای حرکت وسایل نقلیه است. شکل ۱ نشان دهنده تاثیر مخرب سیل و رطوبت زیاد بر روسازی معابر و جاده‌ها است.



(الف)



(ب)

شکل ۱: خرابی روسازی راه ناشی از رطوبت زیاد در لایه‌های زیرین (الف) خرابی ترک خستگی (ب) خرابی شیارشدگی

از طرفی با رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی، سیلاب‌های شهری اجتناب ناپذیر شده و به صورت مشکل مدیریت بحران شهری درآمده‌اند. لذا امداد رسانی و بازسازی پس از وقوع بحران رواناب‌ها با حجم زیاد، چه از لحاظ کمی و چه از لحاظ کیفی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در این حین، توجه به سطوح مناسب برای حرکت وسایل نقلیه در جابه‌جایی‌های هنگام وقوع سیلاب و نیز تجهیزات امداد رسانی، مدیریت بحران نقش اساسی دارد. لذا ضروری است، تاثیر تجهیزات امداد رسانی، آواربرداری و بازگشایی معابر شهری بر روی روسازی معابر شهری مورد مطالعه قرار گیرد.

معابر و راه‌ها، یکی از ارزش‌ترین دارایی‌های هر کشور و شهر حساب می‌گردند که نقش‌شان، برقراری ارتباط بین مناطق مختلف شهری و کشوری است. اهمیت این نقش بعد از وقوع بلایای طبیعی برای رساندن کمک فوری به بازماندگان دو چندان می‌شود. از طرفی بلایای طبیعی مانند سیل، زلزله، طوفان و... می‌توانند بر روی معابر، راه‌ها و جاده‌ها اثر بگذارند و با خرابی آنها مانع از برقراری ارتباط با مناطق آسیب‌دیده شوند و تاخیر در امداد رسانی حاصل می‌گردد.

ضرورت و هدف مطالعه

روسازی معابر و بزرگراه‌های شهری، پس از وقوع سیلاب و نفوذ رطوبت و رسیدن به درجه اشباع، عملکرد ضعیفی در برابر بارهای سنگین دارند. در این شرایط، عبور بیشتر ماشین‌آلات سنگین برای بازگشایی راه‌ها و معابر، امداد رسانی و مهار رواناب‌ها باعث تخریب بیشتر این زیرساخت‌های مهم می‌شوند. باتوجه به این مطلب، مطالعه‌ای که به صورت عددی به این موضوع بخصوص با در نظر گرفتن شرایط مصالح، ساخت و اجرای معابر در شهرهای کشور پرداخته باشد، مشاهده نشده است.

یکی از این بلایای طبیعی که عملکرد راه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، سیل است که از کل بلایای طبیعی که در جهان طی سنوات ۱۹۸۵ الی ۲۰۰۹ اتفاق افتاده، ۴۰ درصد آنها مرتبط با سیلاب‌ها بوده است که ویرانی‌های جانبی و مالی فراوانی نیز بجا گذاشته است. بین سال ۲۰۰۷ الی ۲۰۰۸، سیلاب به طور متوسط حدود ۱۰۰ میلیون نفر از جمعیت جهان را تحت تاثیر قرار داده و امنیت اجتماعی و توسعه پایدار را به چالش واداشته است (مختارپور و خدانشناس، ۱۳۹۷). همچنین طبق مطالعات انجام شده توسط میرزایی و سعدالدین (۱۳۹۸)، در ایران نیز سیل اثرات مخرب زیادی بر روی زندگی مردم داشته که از این آثار مخرب می‌توان به خسارات مالی شامل آب گرفتگی منازل، تخریب و آب شستگی زمین کشاورزی، تخریب دیوار حیاط منازل، وقفه کسب و کار، آسیب‌های جسمی و مسمومیت، مشکل ترافیکی و حمل‌ونقل را نام برد که براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از بین ۹۰ نفر، حدود ۳۷/۸ درصد افراد به علت ایجاد اختلال در ترافیک و حمل‌ونقل دچار مشکل شده‌اند. یکی از وظایف معابر شهری، ایجاد مسیر

بر کاربرد در این شرایط، در بازگشایی و هدایت آب‌های سطحی در معابر شهری (لودر) بر انواع روسازی است که به ویژه در مناطق شهری با خاک‌بستر ضعیف ساخته شده‌اند. در مطالعه پیشرو سعی شده است به پرسش‌های زیر پاسخ داده شود:

✓ نحوه وقوع خرابی روسازی پس از بارش و حرکت رواناب‌ها و با افزایش رطوبت و اشباع شدن، اساس دانه‌ای و خاک‌بستر از جنس ماسه ریزدانه در اثر سیل و عبور ماشین‌آلات سنگین راه‌سازی چگونه خواهد بود؟

✓ خاک ماسه ریزدانه که در بستر شهرهای حاشیه کویر زیاد هستند با افزایش رطوبت به عنوان خاک‌بستر روسازی معابر شهری چه رفتاری دارند؟

مرور منابع

به دلیل نوپدید بودن بارندگی‌های سیل‌آسا، منابع علمی در خصوص اثر سیل بر روی روسازی معابر کمتر وجود دارد ولی به علت اهمیت موضوع در دو دهه اخیر، مقالات و پژوهش‌ها در این خصوص بیشتر شده است. رویدادهای آب و هوایی شدید، مانند سیل و بارش بیش از حد، به خاطر تغییر آب و هوا در حال افزایش هستند. حتی سیل به عنوان شایع‌ترین خطر طبیعی شناخته شده است. در حال حاضر، روسازی‌ها براساس داده‌های آب و هوایی طراحی شده‌اند که این داده‌ها به اندازه کافی منعکس‌کننده شرایط حال و آینده نیستند. در طول چرخه عمر روسازی، ممکن است در معرض شرایط ویژه‌ای باشند که به علت گرم شدن جهانی کره زمین پیش‌بینی نشده‌اند. با این حال، بیشتر خسارات روسازی ناشی از جاری شدن سیل به احتمال زیاد شناسایی نمی‌شوند زیرا سیستم‌های داده فعلی ممکن است، قادر به شناسایی آسیب مستقیم سیل بر روسازی نباشند. درک جامع از تحلیل خسارت سیل بر روسازی، الگوهای خرابی روسازی سیل‌زده، عوامل موثر ایجاد یک روش طراحی و مدیریت روسازی انعطاف‌پذیر است. آسیب سیل بر روسازی را هم می‌توان در بلند مدت و هم در کوتاه مدت بررسی کرد (سلطان و همکاران ۲۰۱۶). برای خسارات کوتاه مدت، بارش‌های سیل و شرایط روسازی عوامل مهمی هستند که بر تغییر عملکرد روسازی تاثیر می‌گذارند. شرایط روسازی شامل سن، طراحی سازه‌ای، تاریخچه نگهداری بهسازی، آسیب‌های روسازی (ترک، وضعیت اتصال و دال‌ها) و غیره هستند.

همان‌طور که اشاره شد، تحقیق پیشرو سعی در بررسی تاثیر بارگذاری چرخ ماشین‌آلات ساختمانی بر عملکرد خرابی روسازی‌های آسفالتی با لایه‌های اشباع پس از وقوع سیل دارد. دو خرابی عمده روسازی آسفالتی که در این مطالعه مورد توجه قرار می‌گیرد، شامل شیارشدگی و ترک‌خوردگی پوست‌سوسماری می‌باشد.

خرابی شیارشدگی معابر عبارت است از یک تورفتگی سطحی در مسیر عبور چرخ‌ها. شیارشدگی از تغییر شکل دائمی یکی از لایه‌ها یا بستر روسازی، معمولا به علت جابه‌جایی تحکیم یا جانبی مصالح در اثر بار ترافیکی به وجود می‌آید. یکی از پارامترهای مهم در تعیین وضعیت روسازی و تعیین سایر شاخص‌های ارزیابی روسازی، شیارشدگی مسیر چرخ‌ها می‌باشد که علاوه بر نوع و روش اجراء روسازی، تحت تاثیر عوامل مربوط به شرایط محیطی می‌باشد. یک شیارشدگی قابل ملاحظه می‌تواند به گسیختگی سازه‌ای اساسی روسازی منجر گردد. خرابی اصلی دیگر ترک‌خوردگی، پوست‌سوسماری یا ترک خوردگی خستگی است که عبارت است از یک سری ترک‌های به هم متصل که در اثر گسیختگی ناشی از خستگی رویه‌ی بتن آسفالتی، تحت تکرار بارگذاری ترافیکی به وجود می‌آید (شاهین؛ ۲۰۰۴، خیبری، ۲۰۱۰).

زیرساخت‌های روسازی، شرایط آب و هوایی پیش‌بینی نشده را به دلیل گرم شدن جهانی کره زمین تجربه می‌کنند. رویدادهای آب و هوایی شدید، مانند بارش‌های بیش از حد، تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی با شدت و فرکانس بیشتری به وقوع می‌پیوندد که این امر خطر سیل را برای زیرساخت‌های روسازی ایجاد می‌کند. تاثیر سیل بر روی روسازی‌ها به یک نگرانی رو به افزایش تبدیل شده است، زیرا روسازی‌ها براساس داده‌های تاریخی طراحی شده‌اند که به اندازه کافی آب و هوای فعلی و آینده را منعکس نمی‌کنند. بنابراین، درک جامع اثرات سیل در روسازی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. قصد این مطالعه، تحلیل تاثیر سیل بر عملکرد روسازی است. الگوی خسارت، ویژگی‌های سیل، تحلیل عامل تاثیرگذار و یک مطالعه موردی در خصوص یک نوع خاک‌بستر ماسه‌ای انجام شد.

هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر انواع چرخ‌های ماشین‌آلات

این تحقیق نشان می‌دهد که در اثر غرقاب دائم، کاهش مقاومت در برابر سیل روند ثابتی دارد. محققین همچنین نشان دادند که پس از سیل ژانویه ۲۰۱۱، کاهش قابل توجهی در مقاومت روسازی به دلیل فشار آب وجود داشت که لایه‌های حمایتی را تخریب و تضعیف کرد. بازرسی‌های بصری نشان داد که خرابی روسازی رخ داده است. ناهمواری و میزان شیارشدگی بخش‌های تحت تاثیر سیل، به طور قابل توجهی پس از بارش سنگین و رویداد سیل، از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ افزایش یافته است. زوال و ناهمواری سطح و شیار شدگی ممکن است همیشه بلافاصله بعد از سیل قابل رویت نباشد، اما بخش‌های دیگر سیل زده، کاهش سریعی در مقاومت سازه‌ای و بستر داشتند. علاوه بر این، هنگامی که ترافیک دوباره شروع به استفاده از جاده می‌کند، روسازی‌های دارای شرایط بستر ضعیف به سرعت بدتر می‌شوند (سلطانا و همکاران ۲۰۱۶). محققین مختلف، یک روش برآورد برای از کاهش عمر روسازی انعطاف‌پذیر به خاطر سیل با در نظر گرفتن کاهش در مدول برجهنگی بستر ناشی از اشباع شدن توسعه دادند. توابع انتقال در روش طراحی روسازی M-E برای تخمین کاهش ترافیک مجاز، تحت شرایط اشباع استفاده شدند. نتایج نشان‌دهنده کاهش قابل توجه ترافیک مجاز در روسازی‌های پس از سیل است. نتایج، ترکیبی از تحلیل هیدرولیکی و سازه‌ای را نشان دادند. افت سطح با استفاده از تحلیل الاستیک لایه‌ای برای روسازی تحت شرایط هیدرولیکی مختلف تخمین زده شد (مالیک و همکاران، ۲۰۱۸). با تحلیل جریان آب از طریق لایه‌های روسازی، براساس مکانیک خاک غیر اشباع و روش اجزای محدود، رویکردی را برای تعیین مقاومت و از بین رفتن مقاومت روسازی به علت سیل‌ها ارائه کرده‌اند و سختی و شرایط سازه‌ای را به عنوان شاخص انعطاف‌پذیری معرفی کردند. نتایج نشان داد، مواد درشت دانه‌ای اساس با دانه‌بندی مناسب و یا لایه سطحی ضخیم‌تر، به اجتناب از کاهش کیفیت خدمات و از دست دادن مقاومت‌پذیری برای یک دوره طولانی کمک می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ترک در لایه‌های سطحی می‌تواند منجر به نفوذ سریع تر آب شود. چن و زانگ در پژوهش خود برای بررسی عملکرد آسفالت هنگام سیل و ترافیک سنگین، داده‌های

تغییر عملکرد آسفالت در بلند مدت نه تنها تحت تاثیر بار سیل است، بلکه دخالت انسان و رفتار آب و هوایی بعد از سیل نیز در آن موثرند. درباره‌ی دخالت انسان پس از سیل، تصمیم‌گیری در مورد زمان باز شدن جاده و همچنین تنظیم فعالیت‌های نگهداری و بازسازی برای خسارات سیل، دو نکته مهم است. بازکردن جاده قبل از تخلیه آب سیلاب تا حد مناسبی قبل از اشباع، روند زوال روسازی بعد از خطر سیل را تعیین می‌کند. از نظر طبیعت یا رفتار آب و هوایی بعد از سیل، تحقیقات نشان داد که بخش‌های روسازی سیل‌زده می‌توانند به بازیابی مقاومت بعد از سیل به دلیل دوره خشک ادامه دهند (سلطانا و همکاران ۲۰۱۶). علاوه بر این، تعداد چرخه‌های سیل در دوره تحلیل می‌تواند بر تغییر عملکرد طولانی مدت روسازی تاثیر بگذارد.

یک چارچوب مدل‌سازی برای ارزیابی خسارات ناشی از سیل از طریق معرفی زمان بحرانی اشباع ایجاد شد (مالیک و همکاران ۲۰۱۵). مدل‌های شاخص ناهمواری بین‌المللی و تخریب جاده مبتنی بر شیارافتادگی را برای مقابله با خطر سیل و راهبردهای نگهداری و بازسازی بهینه پس از سیل، برای پیشبرد سیستم مدیریت روسازی پیشنهاد کردند. محققان تاثیر چند حادثه سیل موجود بر عملکرد روسازی را بررسی کردند در حالی که برخی دیگر آسیب روسازی را مدل‌سازی کردند (خان و همکاران، ۲۰۱۴). آسیب‌های سازه‌ای روسازی ناشی از سیل کاترینا در سال ۲۰۰۵ نشان می‌دهد که سیل، روسازی‌های آسفالتی را از طریق کاهش سختی لایه بتن آسفالت، راه فرعی را تضعیف می‌کند، در حالی که تاثیر آن بر روسازی‌های صلب بسیار کم‌تر است (ژانگ و همکاران ۲۰۰۸). نتایج تاثیر سیل بر روسازی‌های استرالیا نشان می‌دهد که روسازی‌ها به جای اینکه به تدریج در معرض سیل برای یک دوره طغیان خاص قرار گیرند، به سرعت خراب می‌شوند. علاوه بر این، افزایش در ناهمواری، شیارافتادگی و ترک خوردگی در برخی بخش‌های روسازی‌های سیل زده وجود دارد، و کاهش مقدار CBR بستر و ظرفیت سازه‌ای می‌تواند به ترتیب تا ۶۷ و ۵۰ درصد باشد (سلطانا و همکاران ۲۰۱۶). برای سیل ژانویه ۲۰۱۱ در کوئینزلند، خسارات روسازی پس از سیل با استفاده از داده‌های تغییر شکل در جاده‌های متاثر از سیل ارزیابی شد. نتایج حاصل از

است که روسازی‌های تحت تأثیر سیل، سریع‌تر از حالت عادی خراب می‌شوند (خان و همکاران، ۲۰۱۷). سلطان و همکاران عملکرد و وضعیت روسازی راه را بعد و قبل از وقوع سیل در مطالعه‌ای مربوط به استرالیا، در دوره ۱۰ تا ۱۲ ساله مورد توجه قرار دادند. در مطالعه مورد اشاره، طول ۳۴۰۰ کیلومتر از معابر و جاده‌های کوئینزلند به صورت میدانی، داده‌های ناهمواری قبل و پس از سیلاب برداشته شد. به این صورت که شاخص خطر برای روسازی جاده‌ها و معابر، براساس دوره بازگشت سیلاب، حجم یا دبی رواناب، وضعیت روسازی محاسبه شد. نتایج به صورت رتبه‌بندی ریسک (خطر) برای گروه‌بندی و اولویت‌بندی معابر ارائه گردید (سلطان و همکاران، ۲۰۱۵).

یزدان دوست و مقدم در مقاله خود با اشاره به اینکه مقابله با چالش مدیریت سیلاب طوفان مستلزم یک حرکت از رویکرد مدیریت بحران محلی است و به طور کلی مورد بررسی قرار می‌گیرد، بسیاری از راه‌حل‌های مهندسی مانند بهترین روش‌های مدیریت (BMP)^۳ هستند که اجرا شده است. برای کمک به مدیریت یکپارچه آب، طوفان است از مفهومی به نام «تاب‌آوری» به معنای تاب‌آوری در مدیریت آب طوفان به عنوان ظرفیت یک سیستم برای تحمل حوادث سیلاب و بازگشت به وضعیت عادی پس از سیل و همچنین "ظرفیت بازیابی" به معنای تلاش برای کاهش پیامدهای سیل و افزایش سرعت بازیابی می‌توان نام برد. همچنین، امروزه به جای تلاش برای کاهش دفعات وقوع سیل، بر کاهش پیامدهای سیل و افزایش سرعت بازیابی متمرکز شده‌اند. با توجه به اینکه استفاده از تصمیم‌گیری کیفی به تنهایی نمی‌تواند از نظر سیستم‌های زهکشی شهری کارآمد باشد از ابزار جامع تصمیم‌گیری چند معیاره^۴ MCDM با عنوان "نرم‌افزار تصمیم" برای استفاده از معیارهای کمی و کیفی، برای اولویت‌بندی سناریوهای BMP استفاده می‌شود. نتایج حاکی از توانایی رتبه‌بندی سناریوها براساس جنبه‌های فنی، اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی در نتیجه ابزاری مؤثر برای توسعه دهندگان و مدیران شهری برای اتخاذ تصمیمات با مقاومت بیشتر در مناطق شهری است (یزدان دوست و مقدم، ۲۰۱۳).

سیستم عملکرد روسازی (PMS) برای منطقه ۰۲ (که به طور جدی تحت تأثیر طوفان‌ها و سیلاب قرار گرفته است) جمع‌آوری کردند که داده‌های PMS نشان دهنده خسارت زیاد به بزرگراه‌ها در نتیجه حمل‌ونقل سنگین وسایل نقلیه مورد نیاز پس از وقوع طوفان‌ها است (نویدیا و همکارانش، ۲۰۱۸).

خان و همکاران در مقاله خود به این مطلب اشاره می‌کنند که هیچ یک از مقامات جاده‌ای، مدل‌های خراب شدن جاده در اثر سیل را در نظر نمی‌گیرند. در نتیجه، عملیات تعمیر و نگهداری پس از سیل ممکن است بهینه نباشد. همچنین آنها، یک رویکرد جدید برای توسعه یک استراتژی نگهداری پس از سیل ارائه می‌دهند و سپس مدل‌های RD^۱ و HDM^۲ را شرح می‌دهند که مدل‌های RD، اخیراً توسعه داده شده است و از ناهمواری و برآمدگی مبتنی بر شیارشدگی به عنوان ورودی برای پیش‌بینی وخامت و خرابی روسازی پس از سیل استفاده می‌شود. مدل HDM-۴ برای به دست آوردن استراتژی نگهداری پس از سیل با بودجه محدود و غیرقابل استفاده، جایی که توانبخشی پس از سیل از سال دوم آغاز می‌شود، استفاده شده است. در مقاله ایشان دو استراتژی دیگر در مورد حداکثر رساندن منافع اقتصادی و بهینه‌سازی بودجه مورد بحث قرار گرفت و پیش‌بینی می‌کنند که یک اداره راه قبل از اجرای عملیات، جاده‌های آسیب‌دیده سیل خود را به درستی بررسی کند. همچنین در مقاله ایشان اجراهای آسفالت با استراتژی پس از سیل نشان داده شده است. نیاز به یک مدل RD برای پیش‌بینی وخامت پس از سیل و برای انتخاب رفتار قبل از سیل نیز مورد توجه قرار گرفته است (خان و همکاران، ۲۰۱۷).

خان و همکاران عملکرد ساختاری و عملکردی سنگ‌فرش‌های انعطاف‌پذیر تحت تأثیر سیل را با استفاده از افت فشار وزن در حال سقوط (FWD) و داده‌های وضعیت سطح برگرفته از شورای شهر بریزبن و راه و خدمات دریایی نیو ساوت ولز استرالیا را مورد بررسی قرار دادند. در مقاله ایشان یافته‌های مربوط به عملکرد ساختاری و عملکردی روسازی‌های انعطاف‌پذیر تحت تأثیر سیل در استرالیا و مقایسه‌ای از داده‌های قبل و بعد از سیل در بخش‌های سیل و غیر سیل آسفالت‌ها، ارائه شده است. نتایج حاکی از آن

3. Best Management Practices
4. Multiple Criteria Decision Making

1. Rut Depth
2. Highway Development and Management

(چانگ و همکاران، ۲۰۱۶). برخی روش‌ها برای ارزیابی خطر جاری شدن سیل در شبکه‌های جاده‌ای از نظر قطع ترافیک و عواقب آن توسعه داده شده‌اند. بررسی‌های صورت گرفته براساس متون تخصصی و تجارب، کاهش آسیب‌پذیری روسازی پس از بارش‌های سیل‌آسا در ایران و جهان، منجر به دستیابی به شاخص‌های خرابی روسازی و نیز انتخاب روش تحلیل روسازی شد، که در ادامه مطالعه به آن پرداخته می‌شود.

روش

انتخاب وزن چرخ ماشین‌آلات امدادی و راهداری

یکی از پر کاربردترین و موثرترین ماشین‌آلات در هدایت رواناب‌ها، سیلاب و بازگشایی معابر برای امدادسانی، لودر است که اصولاً از انعطاف‌پذیرترین ماشین‌آلات در کارهای عمرانی محسوب می‌شود. در این پژوهش ۴ نوع لودر رایج برای بارگذاری بر روی لایه‌های اشباع روسازی به کار گرفته شده که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است.

محدوده مورد مطالعه

خاک مورد استفاده در این پژوهش از شهرستان یزد واقع در استان یزد، در ۶۷۷ کیلومتری تهران در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۱۲۱۶ متر از سطح دریا استخراج شده است که بارندگی در این منطقه بسیار محدود و به طور میانگین برابر ۵۳ میلی‌متر در سال است. برای اینکه مدل‌سازی آزمایشگاهی و عددی به واقعیت نزدیک‌تر باشد، ابتداء رطوبت نمونه خاک تهیه شده کاملاً در آون خشک شده ($w = 0\%$) و سپس در رطوبت‌های (w) متناسب با شدت‌های بارندگی در درصدهای ۱۹، ۱۷ و ۲۲ که معادل بارندگی‌ها با شدت کم، متوسط، شدید است، آزمایش‌های عملکرد مکانیکی خاک‌بستر انجام گرفت. به دلیل کم اهمیت داشتن سیستم زهکشی در مناطق کویر مرکزی به علت بارش‌های اندک و با شدت کم، معمولاً بدون انطباق با استانداردهای بین‌المللی بنا می‌شوند. لذا عدم عملکرد صحیح این سیستم در بارندگی، حتی در بارندگی متوسط، نفوذ آب و اشباع شدن خاک‌های بستر ماسه‌ای دور از انتظار نیست. به علاوه این نوع

با توجه به اینکه کمک‌های فوری به بازماندگان یک فاجعه طبیعی، مهم‌ترین نکته برای مدیریت بحران است، تأمین دسترسی موقت از مهم‌ترین اصول امدادسانی فوری است. اما در شرایط پس از فاجعه امکان استفاده از ماشین‌آلات راه‌سازی بخصوص در مناطق روستایی وجود ندارد. علی‌آبادی زاده و شرفی در مطالعه خود، امکان‌سنجی استفاده از روسازی موقت با امکان ساخت سریع، که به دنبال توپوگرافی طبیعی محل است، مورد بررسی قرار داده‌اند و یک سیستم که شامل یک هسته فوم پلی‌اورتان با چگالی بالا و همچنین دو لایه مداوم از جنس پلی‌اتیلن با چگالی بالا است را پیشنهاد می‌دهند و برای این منظور، خصوصیات مکانیکی مواد و روکش کامپوزیت با یک سری آزمایشات آزمایشگاهی مشخص گردید. سپس عملکرد مکانیکی و رفتار تحمل یک عنصر از سیستم روسازی ارائه شده عددی، تحت بارگذاری استاندارد انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که این سیستم می‌تواند در شرایط پس از فاجعه به خوبی مورد استفاده قرار گیرد تا جاده‌ای سریع، ایمن و در عین حال مستحکم و بدون تغییر شکل دائمی فراهم شود (علی‌آبادی زاده و شرفی، ۲۰۲۰).

باز کردن یک جاده پر از سیل یا پست به سمت ترافیک ممکن است منجر به آسیب سازه‌ای شود. گاهی اوقات بستن جاده و باز کردن آن وقتی که آماده است، مقرون به صرفه است. با این حال، ممکن است تصمیم سختی باشد وقتی که بسته شدن جاده ممکن است منجر به زیان اقتصادی قابل توجهی از تاخیرهای ترافیکی شود. عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری برای باز یا بسته کردن جاده بعد از سیل شامل بزرگی سیل، مقاومت سازه‌ای روسازی، مدول بستر، حجم ترافیک و درصد کامیون است (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸). برخی محققین، پس از طغیان از روش درخت تصمیم بیزین^۱ برای عملیات اضطراری بزرگراه استفاده کردند. عدم قطعیت در وضعیت سازه‌ای روسازی پس از سیل و هزینه‌های مربوط به شبیه‌سازی توصیه‌هایی مبنی بر انجام آزمایش FWD^۲ در جاده پس از سیلاب نیز ارائه می‌شود (کایو و همکاران، ۲۰۱۷). تحقیقات در مورد اثرات سیل بر روی شبکه‌های روسازی عمدتاً بر روی قطع ارتباط شبکه، اختلال ترافیک و نتیجه آن متمرکز شده‌است

1. Bayesian

2. Falling weight Deflection



جدول ۱: مشخصات انواع لودر پر کاربرد در کشور

(سایت <http://af.litengma.com>)

LT968	LT958	LT956	LT953	ویژگی مدل
۱۷۵	۱۶۲	۱۶۲	۱۶۲	قدرت موتور $22002 / \text{min} / \text{KW}$
$8250 \times 3210 \times 3640$	$7970 \times 3000 \times 3540$	$7600 \times 3000 \times 3380$	$7600 \times 3000 \times 3500$	ابعاد کلی LXWXH (mm)
۱۹۵۰۰	۱۷۴۰۰	۱۶۸۰۰	۱۶۵۰۰	وزن عملیاتی (kg)
۶۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	ظرفیت بارگذاری نامحدود (kg)
۴	۳	۳	۳	ظرفیت سطل (m^3)
۳۲۱۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	عرض سطل (mm)
۳۲۰۰	۳۲۰۰	۲۸۷۰	۲۷۶۰	فاصله دوچرخ (mm)
۲۴۷۰	۲۲۸۰	۲۲۵۰	۲۲۵۰	عرض چرخ (mm)
۱۷۵	۱۶۷	۱۴۵	۱۴۵	حداکثر نیروی تخریب (KN)
۲۵-۲۶/۵	۲۵-۲۳/۵	۲۵-۲۳/۵	۲۵-۲۳/۵	مشخصات تایر

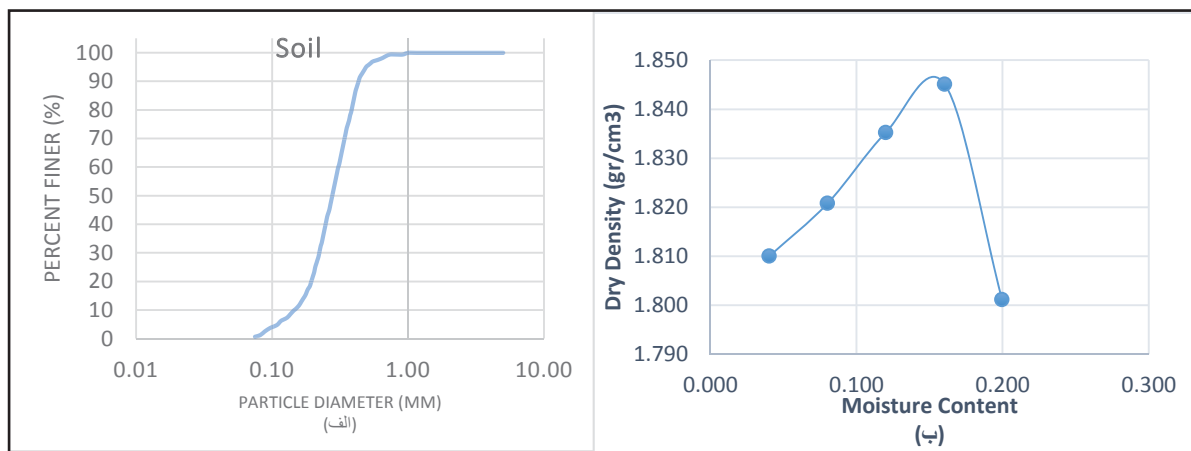
از ماسه استفاده شده و وجود این نوع خاک‌های ماسه‌ای در کنار معابر و مسیرهای شهری در مناطق کویری را نشان می‌دهد. آزمایش تراکم بر روی نمونه خاک پنج مرتبه تکرار و در هر مرحله چگالی خشک و رطوبت محاسبه گردید. با رسم نمودار چگالی خشک بر حسب رطوبت در شکل ۳، چگالی خشک بیشینه و رطوبت بهینه از آزمایش محاسبه گردید که در جدول ۲ آورده شده است.

همچنین مشخصات لایه اساس استفاده شده در این تحقیق مطابق نشریه ۲۳۴ روسازی راه‌های ایران به دست آمده که در جدول ۳ مشخصات آن ارائه شده است.

شهرها برای غلبه بر مشکلات گردوغبار محیطی معمولاً جاده‌ها و مسیرها دارای رویه روسازی شده است که خود باعث تجمع آب و تشکیل سیلاب می‌شود.

ویژگی لایه‌های روسازی

خاک مورد استفاده در این پژوهش براساس دسته‌بندی آشتو خاک (AASHTO)، در دسته‌ی ماسه ریز (A-3) و براساس طبقه‌بندی یونیفاید در دسته (SP) قرار گرفت. پس از انجام آزمایش‌های شناسایی خاک، نمودار دانه‌بندی و برخی از ویژگی‌های مکانیکی خاک آزمایش شده، به ترتیب در شکل ۲ و جدول ۲ آورده شده است. شکل ۳ تصویری



شکل ۲: (الف) نمودار دانه‌بندی و (ب) منحنی تراکم خاک استفاده شده در پژوهش

جدول ۲: مشخصات خاک استفاده شده در پژوهش

پارامتر	مقدار	واحد	استاندارد مورد استفاده
Soil classification	۳-A	-	AASHTO
G_s	۲/۷		ASTM D-854
CBR	۲۸/۵	(%)	ASTM D-1883
C	۰/۱	(kPa)	ASTM D-3080
φ	۴۶	(degree)	ASTM D-3080
ω_{out}	۱۶	(%)	ASTM D-698
λ_{max}	۱/۸۴۵	(gr/cm ^۳)	ASTM D-698



(ب)

(الف)

شکل ۳: (الف)، محل برداشت نمونه ماسه استفاده شده در این تحقیق (ب) نمونه‌ای از ماسه

جدول ۳: مشخصات مصالح لایه‌های روسازی مورد استفاده در تحلیل نرم‌افزاری

لایه ها	ضخامت (cm)	مدول الاستیسیته (MPa)	نسبت پواسون
آسفالت	۵	۲۰۸۱	۰/۴
اساس	۱۵	CBR=80	۰/۳۵
۱۷٪	۱۵	CBR=50	۰/۳
۱۹٪ خاک‌بستر		CBR=40	
۲۲٪		CBR=25	

مخلوط همگن و یکنواخت حاصل گردد. ترکیب حاصل در قالب ریخته و متراکم می‌گردد. شکل ۴ تصویری از نمونه‌های استفاده شده در آزمایش برای خاک‌بستر ماسه‌ای را نشان داده‌است.

تعیین مقاومت لایه‌های روسازی با آزمایش ظرفیت باربری خاک برای ساخت نمونه، ماسه ریزدانه و لایه اساس معابر شهری، با توجه به حجم قالب مورد نظر و چگالی محاسبه شده در آزمایش تراکم، آب در درصد‌های وزنی مشخص شده نسبت به وزن خشک خاک توزین شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد و با یکدیگر ترکیب شده تا یک



شکل ۴: نمونه خاک ماسه در آزمایشگاه در حالت آزمایش تعیین مقاومت CBR اشباع

مدل سازی روسازی و نتایج

مختلف تماس تایرها با استفاده از رابط کاربری گرافیکی
 ۳- امکان ترکیب و تجسم بارهای سفارشی ایجاد شده در خارج از محیط
 ۴- امکان مشاهده نتایج به صورت دو بعدی یا سه بعدی و امکان مشاهده مقادیر پاسخ بحرانی
 در این مطالعه مدلسازی با نرم افزار EverStress1.0 در مقیاس سه بعدی انتخاب شد که طول و عرض همه لایه ها ۲۰۰ سانتی متر در نظر گرفته شده و مشخصات و ضخامت لایه ها، مطابق جدول ۳ انجام گرفت. این مقطع تحت تاثیر بار محوری استاندارد با فشار سطح تماس برابر با ماکزیمم فشار چرخ جلو و عقب برای لاستیک های ۲۳،۵R۲۵ و ۲۶،۵R۲۵ مطابق جدول ۴ در نظر گرفته شده است. ابعاد مش ها طوری انتخاب شده اند که در نواحی نزدیک بارگذاری مش ها ریزتر بوده و از مرکز بارگذاری که دورتر می شود، ابعاد آنها نیز بزرگ تر می گردد. شکل ۷ نمونه ای از مدل ساخته شده به همراه نحوه مش بندی و نتایج نرم افزار مدل روسازی را نمایش می دهد.

جدول ۴: فشار باد لاستیک ماشین آلات (سیمین تابر، ۱۳۹۸)

سایز لاستیک	فشار باد چرخ جلو psi	فشار باد چرخ عقب psi
20.5R25	۵۵	۳۵
23.5R25	۶۰	۴۰
26.5R25	۶۰	۴۰
29.5R25	۸۰	۴۰
29.5R29	۸۵	۴۵
35.65R33	۷۵	۶۵
45.65R45	۹۰	۵۰

پس از تعیین مشخصات مصالح در فرآیند آزمایشگاهی می توان با استفاده از نرم افزار به ساخت مدل نهایی با ویژگی روسازی های معمول پرداخت. در انجام مطالعات، انتخاب نرم افزار مناسب یکی از مهم ترین مراحل پژوهش است. نرم افزارهای مختلفی در زمینه مدل سازی بارگذاری مصالح نظیر آباکوس وجود دارد (صابریان، خبیری، ۲۰۱۷) اما توانایی نرم افزارهای سه بعدی و امکان دسترسی به برخی نرم افزارهای تخصصی با کاربرد ویژه در روسازی بسیار بالا است. از آن جمله نرم افزار EverStress1.0 با دسترسی آزاد که برای تحلیل عددی روسازی ها به کار می رود و در آن رفتار روسازی به شیوه های مختلف شبیه سازی و برای تجزیه و تحلیل سه بعدی تغییر شکل ها و کرنش ها در مهندسی روسازی مورد استفاده قرار می گیرد.

همان طور که اشاره شد، در این پژوهش نرم افزار EverStress1.0 به کار گرفته شده که یک ابزار تجزیه و تحلیل سه بعدی روسازی انعطاف پذیر یا آسفالتی در معرض بارهای چرخ ماشین آلات است. این نرم افزار هم برای محققان و هم طراحان روسازی انعطاف پذیر که به دنبال تحلیل پیچیده از سیستم های روکش دار آسفالت انعطاف پذیر هستند، مفید است. این نرم افزار توسط دانشگاه ماین^۱ با بودجه وزارت حمل و نقل واشنگتن توسعه یافت. از امکانات این نرم افزار می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ۱- امکان مدل سازی سیستم های روسازی از ۱ لایه تا ۴ لایه و امکان مدل سازی شرایط مرزی ثابت یا نامحدود
- ۲- امکان مدل سازی سیستم های چند چرخ با سطح تماس مختلف و همچنین امکان ایجاد بارهای تعریف شده توسط کاربر با فشارهای

یافته‌ها

تحلیل نتایج نرم‌افزار

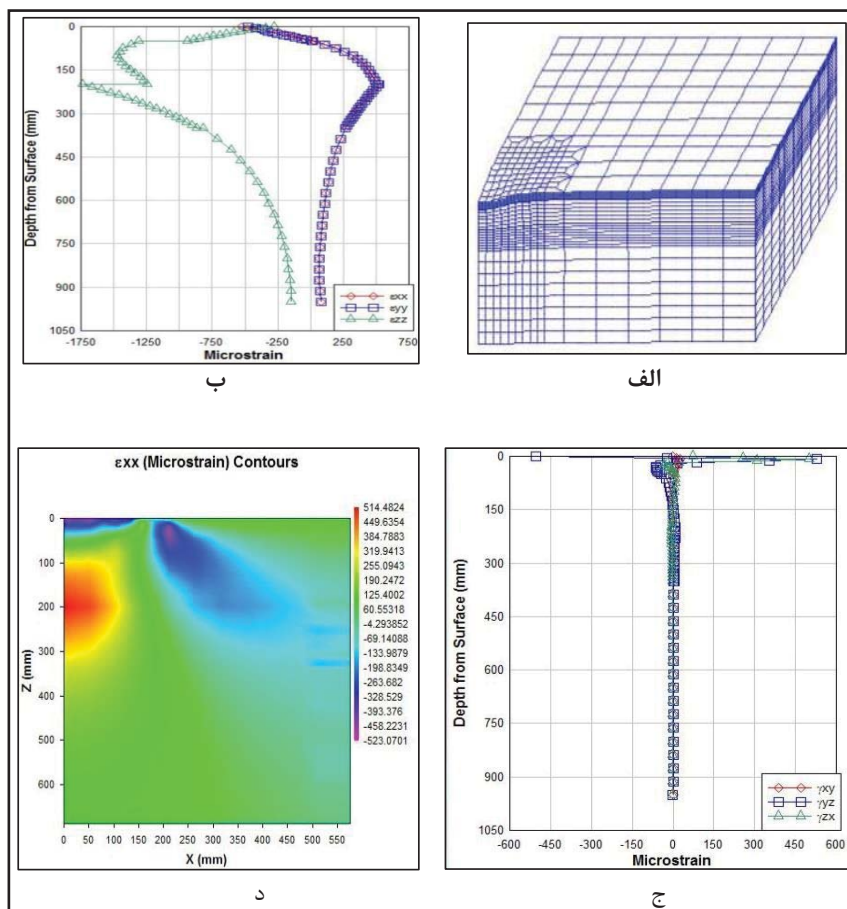
باتوجه به نتایج نرم‌افزار که در جدول ۵ و شکل ۶ ارائه شده است، می‌توان مشاهده کرد که با افزایش درصد رطوبت، مقدار کرنش روی خاک‌بستر افزایش می‌یابد و مقدار ماکزیمم کرنش افقی زیر لایه آسفالت کاهش می‌یابد. ضمن اینکه با افزایش وزن لودر مقدار کرنش روی خاک‌بستر افزایش می‌یابد و مقدار ماکزیمم کرنش افقی زیر لایه آسفالت کاهش می‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد که بیشترین کرنش قائم روی خاک‌بستر مربوط به لودر LT۹۶۸ با ۲۲ درصد رطوبت خاک‌بستر و کمترین کرنش قائم مربوط به لودر LT۹۵۳ با ۱۷ درصد رطوبت است. همچنین لودر LT۹۵۳ با ۱۷ درصد رطوبت دارای بیشترین کرنش افقی و در لودر LT۹۶۸ در تمامی درصد رطوبت‌های خاک‌بستر و لودر LT۹۵۸ و LT۹۵۶ در درصد رطوبت ۲۲ درصد رطوبت خاک‌بستر، مقدار کرنش افقی برابر صفر است. همان‌گونه که در جدول ۵ ملاحظه

می‌شود، میانگین کرنش‌های فشاری روی خاک‌بستر ۱۷/۱۴۲۳- و کرنش کششی زیر لایه آسفالت ۶/۴۷ است. لذا می‌توان شدت تغییر شکل ناشی از تنش‌های قائم به وقوع پیوسته در لایه‌های روسازی را در مقایسه با کرنش‌های افقی بیشتر دانست.

بحث

همانطور که اشاره شد، هدف این پژوهش بررسی عملکرد لایه‌های روسازی با درصد رطوبت‌های متفاوت در اثر بارگذاری است. در نمودار شکل ۶-الف، تاثیر تغییرات وزن محوری بر توزیع کرنش کششی زیر سطح لایه آسفالتی در مقطع عرضی نشان داده شده است. وزن چرخ حدود ۵ تن ناحیه بحرانی، در ناحیه لایه زیرین خواهد بود. بنابراین می‌توان بیان کرد، وزن محوری لودر LT۹۵۳ در مسیر حرکت چرخ باعث ترک‌های خستگی سریع‌تری خواهند شد. اثر افزایش وزن بر تشدید عملکرد خستگی روسازی آسفالت در مطالعات پیشین نیز مورد توجه قرار گرفته است (کیو و همکاران، ۲۰۱۸).

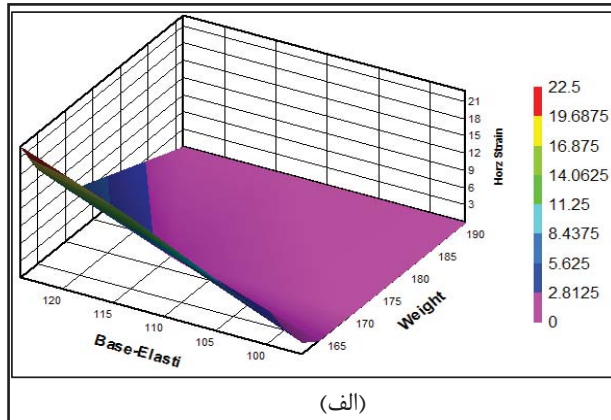


شکل ۵: الف) مش‌بندی لایه‌های روسازی، ب) توزیع تنش قائم، ج) توزیع کرنش افقی، د) توزیع کرنش قائم

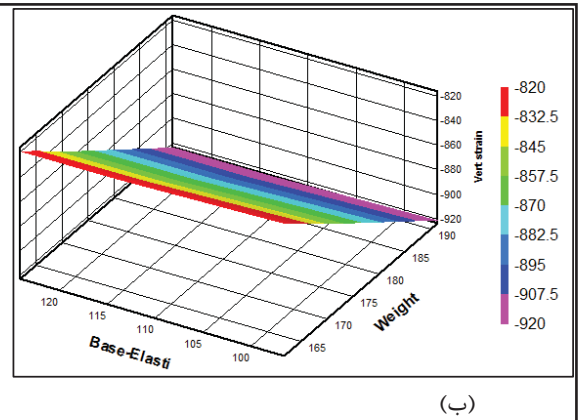
در شکل ۶-ب، همان گونه که انتظار می رود، مقدار کرنش های روی خاک بستر ماسه ای با افزایش وزن چرخ، تاثیر زیادی بر خرابی ها دارد، به طوری که با افزایش حدود ۲۰ درصدی وزن چرخ و استفاده از لودر سنگین تر، میزان خرابی را تا ۱۰ درصد افزایش می دهد. نتایج این مطالعه با بررسی مراجع پیشین مورد تایید قرار می گیرد (راحیل و همکاران، ۲۰۱۸). به طور کلی افزایش رطوبت خاک بستر و در نتیجه ضعف به وقوع پیوسته در لایه های زیرین، تشدید خرابی ها را به دنبال دارد، زیرا با افزایش رطوبت بیش از رطوبت بهینه در خاک های غیر چسبنده و چسبنده به ترتیب، زاویه اصطکاک مؤثر و چسبندگی کاهش می یابد و در نتیجه، ظرفیت باربری هر دو نوع خاک کاهش یافته، افزایش رطوبت حدود ۱۰ درصد باعث کاهش کرنش افقی حدود ۴۰ درصد و افزایش کرنش کششی حدود ۷ درصد می شود.

جدول ۵: نتایج پاسخ روسازی در حالات مختلف بارگذاری حاصل از نرم افزار

وزن	مدول الاستیسیته ((mpa	کرنش قائم	کرنش افقی
۱۶۱/۸۶۵	۱۲۴/۱	-۱۲۴۸/۸	۲۲/۹
۱۶۱/۸۶۵	۱۱۳/۷۶	-۱۳۴۲/۵	۱۶
۱۶۱/۸۶۵	۹۶/۵۶	-۱۵۳۴/۸	۲
۱۶۴/۸۰۸	۱۲۴/۱	-۱۲۶۰/۲	۱۶/۸
۱۶۴/۸۰۸	۱۱۳/۷۶	-۱۳۵۱/۹	۱۰/۱
۱۶۴/۸۰۸	۹۶/۵۶	-۱۵۴۴/۵	۰
۱۷۰/۶۹۴	۱۲۴/۱	-۱۲۸۷/۵	۸/۴
۱۷۰/۶۹۴	۱۱۳/۷۶	-۱۳۸۴/۵	۱/۴
۱۷۰/۶۹۴	۹۶/۵۶	-۱۵۸۳/۸	-
۱۹۱/۲۹۵	۱۲۴/۱	-۱۳۷۱/۹	-
۱۹۱/۲۹۵	۱۱۳/۷۶	-۱۴۷۶/۳	-
۱۹۱/۲۹۵	۹۶/۵۶	-۱۶۹۱/۳	-



(الف)



(ب)

شکل ۶: (الف) تغییرات کرنش زیر لایه آسفالتی (ب) کرنش فشاری روی خاک بستر تحت اثر شرایط رطوبت خاک بستر و وزن ماشین آلات مختلف

با توجه به نتایج تحلیل های عددی و تغییرات مشخصات خاک بستر ماسه ای در اثر نفوذ رطوبت و کاهش CBR و ضعف آن می توان عنوان کرد، علی رغم استفاده از تجهیزات بازگشایی راه ها و استفاده از لودر با توان و حجم جام های بزرگتر ممکن است تسریع برقراری عبور و مرور و آواربرداری پیش آید، ولی محدوده آسیب رسانی به روسازی و زیرساخت های مرتبط از جمله کانال های تاسیسات شهری را بالا می برد که میزان تاب آوری آنها در ادامه زندگی عادی جمعیت آسیب دیده نیز افزایش می یابد. بنابراین پیشنهاد های ادامه جهت کاهش آسیب های احتمالی در طی فرآیند امداد رسانی عرضه می گردد.

به منظور بررسی معنی داری تفاوت بین ویژگی های بارگذاری و نیز رطوبت مورد بررسی در این مطالعه، تحلیل واریانس یک طرفه^۱ از نتایج به دست آمده از کرنش کششی زیر لایه رویه آسفالتی و کرنش فشاری روی خاک بستر، با استفاده از نرم افزار SPSS^۲ انجام گرفت. نتایج این تحلیل ها در جدول ۶ ارائه گردید، که سطح معنی داری (sig)^۳ در خصوصیات مختلف که کوچک تر از ۵ درصد است، می توان نتیجه گرفت که برای تمامی حالات بارگذاری و رطوبت پاسخ روسازی به طور معنا داری متفاوت است.

1. Ony-way ANOVA
2. Statistical Package for the Social Sciences
3. Significant Value

جدول ۶: تحلیل واریانس یک طرفه - معنی‌داری اثرگذاری متغیرهای تحقیق (دبی سیلاب-وزن ماشین‌آلات بازگشایی معابر)

رطوبت (دبی و حجم سیلاب)					
Sig(%)	F	Mean Square	df	Sum of Squares	
.000	22.946	91455.453	2	182910.907	Between Groups
		3985.702	9	35871.320	Within Groups
			11	218782.227	Total
					VerStr
.134	2.538	133.326	2	266.652	Between Groups
		52.524	9	472.715	Within Groups
			11	739.367	Total
					HorStr
وزن ماشین‌آلات بازگشایی مسیر (وزن لودر)					
Sig(%)	F	Mean Square	df	Sum of Squares	
.683	.516	11821.962	3	35465.887	Between Groups
		22914.542	8	183316.340	Within Groups
			11	218782.227	Total
					VerStr
.174	2.138	109.669	3	329.007	Between Groups
		51.295	8	410.360	Within Groups
			11	739.367	Total
					HorStr

با حجم بارش و دبی سیلاب کمتر، نظیر نقاط با کد ارتفاعی بالاتر، از تجهیزات با وزن بیشتر و بار محوری سنگین‌تر نیز می‌توان بهره گرفت. این موضوع را زیر عنوان مدیریت و انتخاب تجهیزات و ماشین‌آلات امداد و نجات در مواجهه با مخاطرات طبیعی می‌توان در مطالعات بعدی مورد توجه بیشتر قرار داد.

متنوع ساختن تجهیزات و ماشین‌آلات ساختمانی در دسترس در موقع مخاطرات سیلاب و به ویژه انتخاب لودرهایی با قدرت و وزن مختلف باعث می‌شود، انتخاب و مدیریت آنها و توجه به برخی مسائل که به نظر جزئی می‌رسد، از تحمیل هزینه‌های مضاعف و تشدید در خرابی‌ها کمک شایان نماید.

نتیجه‌گیری

همانگونه که ذکر شد، این پژوهش به دنبال تاثیر بار انواع لودر بعد از وقوع سیل و اشباع بودن لایه‌های روسازی در مناطق کویری است که نتایج آن شامل موارد زیر است:

۱. نتایج نرم‌افزار نشان می‌دهد، با افزایش رطوبت خاک بستر ماسه‌ای کرنش قائم روی بستر افزایش پیدا می‌کند که نشان دهنده تاثیر مخرب سیل بر روی روسازی و خرابی زود هنگام آن می‌شود.

- استفاده از تجهیزات امداد رسانی متناسب با وضعیت زیرساخت موجود، بدین جهت توجه می‌شود که از ماشین‌آلات با وزن چرخ و وزن کل کمتری در معابر بازسازی ضعیف‌تر استفاده شود.

- استفاده از مصالح مناسب و تقویت بستر مسیر معابر شهری و دسترسی در هنگام ساخت برای کاهش اثر تخریب مخاطرات طبیعی نیز می‌تواند اقدام پیشگیرانه محسوب شود.

- با توجه به اثر تخریبی بیشتر شیارشدگی و ضعف در نشست بستر، پیشنهاد می‌شود تقویت زیرسازی و خاک‌بستر به ویژه مسیرهای واقع در بسترهای ماسه‌ای و لای دار مورد توجه قرار گیرد. به عبارت دیگر، افزایش تعداد و ضخامت لایه‌های روسازی در مقایسه با تقویت بستر در این نوع خرابی‌ها تاثیر کمتری دارد.

- انتخاب نوع ماشین‌آلات امداد و نجات و حذف ضایعات ناشی از سیلاب متناسب با شدت و حجم و دبی سیلاب باشد. به طوری که با افزایش دبی سیلاب و احتمال نفوذ و نشست بیشتر آب به بستر ماسه‌ای، احتمال تشدید خرابی در اثر عبور تجهیزات بازگشایی مسیرها پیش خواهد آمد که با این شرایط، مناسب‌تر است در مناطق با شدت بیشتر لودرها و تجهیزات سبک‌تر و مناطق



- Aliabadizadeh, Y., Tahmoorian, F., Nemati, S., Samali, B., & Sharafi, P. (2020). A creative rapid assembly modular free form pavement for post-disaster temporary roads and sidewalks. *Engineering Solid Mechanics*, 8(3), 245-252. <http://growing-science.com/beta/esm/3714-roads-and-sidewalks.html>
- Chen, X., Zhang, G., Z. (2014). Effects of Hurricanes Katrina and Rita Flooding on Louisiana Pavement Performance. *Pavement Materials, Structures and Performances*, ASCE, USA, 212-221. <https://trid.trb.org/view/1310191>, doi: <https://doi.org/10.1061/9780784413418.022>
- Cui, P., Xiao, Y., Fang, M., Chen, Z., Yi, M., Li, M. (2018). Residual Fatigue Properties of Asphalt Pavement after Long-Term Field Service. *Materials*, 1, 245-252. <https://www.mdpi.com/1996-1944/11/6/892>
- Gao, J., Guo, C., & Liu, Y. (2015, February). Measurement of pore water pressure in asphalt pavement and its effects on permeability. *Measurement*, 62, 81-87. Retrieved 2019-11-17. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.11.013>
- Helali, K., Robson, M., Nicholson, R. & Bekheet, W. (2008). Importance of a Pavement Management System in Assessing Pavement Damage from Natural Disasters: A Case Study to Assess the Damage from Hurricanes Katrina and Rita in Jefferson Parish, Louisiana. 7th International Conference on Managing Pavement Assets. Alberta, Canada 177. <https://trid.trb.org/view/1213686>
- Khabiri, M. M. (2010). The effect of stabilized subbase containing waste construction materials on reduction of pavement rutting depth. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 15, 1211-1219. www.ejge.com/Ppr10.095.pdf
- Khan, M. U., Mesbah, M., Ferreira, L., & Williams, D. J. (2017). Development of a post-flood road maintenance strategy: Case study Queensland, Australia. *International Journal of Pavement Engineering*, 18(8), 702-713. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298436.2015.1121781>
- Lu, D., Tighe, S. L., & Xie, W. C. (2018). Impact of flood hazards on pavement performance. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-7. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298436.2018.1508844>
- Mallick, R. B., Tao, M., Daniel, J. S., Jacobs, J., & Veeraragavan, A. (2017). Development of a methodology and a tool for the assessment of vulnerability of roadways to flood-induced damage. *Journal of Flood Risk Management*, 10(3), 301-313. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jfr.12135>
- Nivedya, M. K., Tao, M., Mallick, R. B., Daniel, J. S., & Jacobs, J. M. (2018). A framework for the assessment of contribution of base layer performance towards resilience of flexible

۲. این مطالعه ویژگی‌های سیل، الگوهای خرابی روسازی و عوامل موثر بر آن را مورد تحلیل قرار داد. یک مطالعه موردی برای شبیه‌سازی تاثیر وقایع سیل بر عملکرد روسازی انجام شد. حوادث شدید می‌تواند به طور بالقوه منجر به از دست دادن عمر روسازی شود که نشان‌دهنده خسارت‌هایی بر ارزش دارایی‌های روسازی است.

۳. استفاده از تجهیزات امداد رسانی متناسب با وضعیت زیرساخت موجود، بدین جهت توجیه می‌شود که از ماشین‌آلات با وزن چرخ و وزن کل کمتری در معابر با زیرساخت ضعیف‌تر استفاده شود. زیرا طبق نتایج، با افزایش رطوبت خاک بستر و روسازی ضعیف شده و قدرت تحمل بار آن کاهش می‌یابد و تردد ماشین‌آلات سنگین باعث تخریب روسازی می‌شود.

علاوه بر این، شبیه‌سازی براساس بارش شدید است که می‌تواند پتانسیل سیل در یک مکان خاص را منعکس کند اما نه سیل واقعی. با این وجود، این مقاله چارچوب تحلیل جامع خطر سیل روسازی را برای ارزیابی پتانسیل آسیب روسازی ارائه نمی‌دهد. همان‌طور که مشاهده شد، اطلاعات مربوط به خسارات را می‌توان در آینده جمع‌آوری کرد و تاثیر سیل بر زیرساخت‌های روسازی را واضح‌تر کرد که تصمیم‌گیری بهتری را برای ساخت دارایی‌های روسازی مقاوم در برابر خطرات طبیعی ارائه داد.

منابع

- شاهین، م.، (۲۰۰۴)، مدیریت روسازی برای راه‌ها، فرودگاه‌ها و پارکینگ‌ها، ترجمه محمود عامری و سید فرهاد افتخارزاده، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۲۳۰ صفحه. <https://www.gisoom.com/book/1157817D8%A7/>
- شرکت تایر سیمین. (بی‌تا). فشار باد انواع چرخ‌ها، www.simintire.com [دسترسی: ۱۳۹۹، ۱۲، ۱۵]
- مختارپور، ا.، خداشناس، س. روداوری، ک. (۱۳۹۷)، بررسی تغییرات دبی سیلاب شهری با روش روسازی متخلخل و ترانته نفوذ، مطالعه موردی، منطقه ۴ تهران، نشریه آبیاری و آب ایران، دوره ۸، شماره ۴، شماره پیاپی ۳۲، صفحه ۱۸-۲۹. http://www.waterjournal.ir/article_76881.html
- میرزایی، ش. ز. و سعدالدین، ا.، (۱۳۹۵)، چهارچوب ارزیابی جامع خسارت‌های اقتصادی سیل (مستقیم، غیرمستقیم، ملموس و ناملموس): رخداد سیل ۲۹ فروردین ۱۳۹۵ نوده خاندوز، حوضه رودخانه گرگان رود، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره نهم، چاپ چهارم، صفحه ۳۸۳-۳۸۹ <http://dpmk.ir/article-1-304-fa.html>



- pavement to flooding. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-12.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10298436.2018.15336journalCode=gpav20>
- Raheel, M., Khan, R., Khan, A., Khan, M. T., Ali, I., Alam, B., & Wali, B. (2018). Impact of axle overload, asphalt pavement thickness and subgrade modulus on load equivalency factor using modified ESALs equation. *Cogent Engineering*, 5(1), 1528044.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2018.1528044>
- Saberian, M., & Khabiri, M. M. (2017). Experimental and numerical study of the effects of coal on pavement performance in mine haul road. *Geotechnical and Geological Engineering*, 35(5), 2467-2478.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10706-017-0235-7>
- Sultana, M., Chai, G., Martin, T., & Chowdhury, S. (2016). Modeling the Postflood Short-Term Behavior of Flexible Pavements. *Journal of Transportation Engineering, ASCE, USA*, 142.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000873](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000873)
- WANG, F., ZHANG, Z. & MACHEMEHL, R. 2003. Decision-making Problem for Managing Pavement Maintenance and Rehabilitation Projects. *Transportation Research record*, 1853, pp. 21-28.
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/1853-03>
- Yazdandoost, F., Tahmasebi Birgani, Y., & Moghadam, M. (2013). Resilient risk management strategies in urban drainage systems. In *IAHR World Congress*.
https://www.researchgate.net/publication/263336644_Resilient_Risk_Management_Strategies_in_Urban_Drainage_Systems
- ZhanGg, Z., WU, Z., Martinez, M. & GASPARD, K. (2008). Pavement Structures Damage Caused by Hurricane Katrina Flooding. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 134, 633-643.
<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/ASCE>