

ارزیابی آزمایشگاهی- عددی رویه بلوکی نیمه-پیش ساخته بر بستر ماسه‌ای و سست در بارگذاری سبک (طرح ملی-کاربردی)

مقاله پژوهشی

محمد مهدی خیبری^{*}، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

پویا افخمی میبیدی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

احسان مولایی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، مدیر تحقیق و توسعه شرکت راهسازی پ.بل، کرمان، کرمان، ایران

^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mkhabiri@yazd.ac.ir

دریافت: ۹۹/۱۰/۲۷- پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

صفحه ۱۱۲-۱۰۱

چکیده

آماده‌سازی معابر در اولین زمان پس از سوانح و تقویت آنها در مقابل عوامل مخرب طبیعی، حفظ سرمایه‌های ملی است. مسیرهای با ترافیک کم و معابر حاشیه کویر و سواحل در هنگام وقوع جریان آب، بشدت مقاومت خود را از دست داده و امکان برقراری جریان ترافیک را ندارند. از طرفی در مواقع معمول پیاده‌روی در این فضاها به عنوان اصلی‌ترین الگوی ورزشی و تفریحی در این نواحی محسوب می‌شوند. بستر روسازی در این مناطق اغلب از جنس ماسه می‌باشد دارای ظرفیت باربری پایین می‌باشد. لذا ارائه یک روسازی مناسب برای این مناطق از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد. در این تحقیق از نرم افزار آباکوس جهت تحلیل بلوک‌های بتنی پیش ساخته بر روی بسترهای ماسه‌ای مرطوب استفاده گردیده است. از مدل رفتاری موهر-کولمب جهت مدل‌سازی رفتار پلاستیک خاک استفاده شده است. علاوه بر تماس میان سطح فونداسیون و خاک شامل دو نوع رفتار عمودی (*Normal behavior*) و مماسی (*Tangential behavior*) تعریف گردیده است. همچنین در مقیاس آزمایشگاهی تعدادی نمونه رویه بلوکی بر بسترهای ماسه‌ای تحت بارگذاری فشاری قرار گرفتند. مدل‌سازی بررسی حالات مختلف هندسی بلوکهای پیش ساخته نشان می‌دهد، که فواصل زائده‌های زیر دال با افزایش فاصله نرخ تغییر شکل به طور متوسط ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. درحالی که با افزایش این فواصل از رفتار ترد و شکنندگی ناگهانی دال جلوگیری می‌شود. بنابراین فاصله بهینه برای بارگذاری‌های سبک مانند بار پیاده‌روها می‌تواند با افزایش فاصله و برای بارهای سنگین و فوق سنگین با کاهش فواصل همراه باشد. در مدل‌سازی آزمایشگاهی نشان داده شد که افزایش رطوبت بستر به شدت نشست رویه‌های بلوکی مقاومت را کاهش و میزان نشست را افزایش می‌دهد. تحلیل عددی بر روی تغییر شکل مدل اجزاء محدود نشان داد که فاصله بین زائده‌های زیرین میزان تغییر شکل سطحی و امکان شکست را کاهش می‌دهد و در نهایت باعث ایجاد روسازی مناسب در مواقع بحرانی برای جریان ترافیک فوق العاده در هنگام امداد رسانی مواقع بحرانی به ویژه در حالت رواناب‌های نفوذپذیر در بسترهای ماسه‌ای در مناطق حاشیه کویر و ساحل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بستر ماسه‌ای، بلوک بتنی پیش ساخته، تثبیت بستر، المان محدود، بارگذاری سبک

۱- مقدمه

خود را از دست بدهد. بنابراین باید در چنین مناطقی از روسازی‌هایی استفاده کرد که علاوه بر داشتن پایداری نسبتاً خوب، بتوان در کمترین زمان ممکن آنها را اجرا کرد. در سال‌های اخیر روسازی‌های بلوکی بتنی پیش ساخته، مورد توجه زیادی قرار گرفته است. مسیرهای با ترافیک کم

اثرات مخرب تغییرات آب و هوایی مخصوصاً سیل در مناطق ساحلی و مناطق حاشیه کویر می‌تواند دو چندان باشد. در این مناطق جنس بستر از نوع ماسه می‌باشد که از مقاومت کمی برخوردار است. احداث راهها بر روی این نوع بسترها در هنگام وقوع سیل و بلاهای طبیعی ممکن است کارآمدی

(Pregolato, ۲۰۱۷). تغییرات آب و هوایی تاثیر گسترده‌ای بر روی سیستم حمل و نقلی جاده‌ای می‌گذارد (Lu, ۲۰۲۰). سیل یک تهدید مهم برای جاده‌ها است و می‌تواند منجر به انسداد عظیم ترافیک و آسیب به سازه‌های جاده‌ای با اثرات طولانی‌مدت شود. سیل منجر به هزینه‌های تعمیر قابل توجهی برای سازمان‌ها، مشکلات دسترسی به خدمات اضطراری و اختلال در کاربران جاده و در کل جامعه می‌شود (Bles, ۲۰۱۲). هنگامی که شبکه‌های جاده‌ای توسط یک رویداد خطرناک مانند سیل مختل می‌شوند، اثرات آن می‌تواند برای مدیریت بحران مشکل ساز باشد. شریان‌های حیاتی حمل و نقل به دلیل نقش حیاتی آن‌ها در بازسازی همه شریان‌های حیاتی دیگر، به طور کلی در شرایط اضطراری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (Cova, ۲۰۰۴). اختلال در شبکه جاده می‌تواند ارائه مراقبت‌های پزشکی و سایر خدمات حیاتی را تهدید کند (Jenelius, ۲۰۱۵). روسازی‌های بلوکی سازه‌هایی هستند که از روکش‌های پیش ساخته تشکیل شده از آجر یا بتن تشکیل شده‌اند که در سراسر جهان به طور موفقیت آمیزی برای جاده‌های با ترافیک کم حجم استفاده شده است. در دو دهه اخیر، استفاده از این نوع سازه‌ها بویژه برای مناطق عابر پیاده، مسیرهای چرخه، مسیرهای مسکونی، پارکینگ‌ها، مناطق صنعتی و مراکز تاریخی افزایش یافته است. روسازی‌های پیش ساخته هم عملکرد خوب فنی و هم اقتصادی و همچنین هزینه‌های پایین چرخه عمر را از خود نشان داده‌اند. این روسازی‌ها معمولاً شامل یک بستر از جنس شن و ماسه و یک لایه اساس می‌باشند. شکل ۱ یک سطح مقطع معمولی از این نوع روکش‌ها را نشان می‌دهد (Zoccali و همکاران، ۲۰۱۸).

وپارکهای حاشیه کویر و دریا از قابلیت پیاده مداری بالایی برخوردار هستند و پیاده روی در این فضاها به عنوان اصلی‌ترین الگوی ورزشی و تفریحی در این نواحی محسوب می‌شوند. با توسعه ماشین و صنعتی شدن، موضوع پیاده‌روی و حضور ورزش‌های نرم پیاده‌روی در شهرها رنگ باخته و در فضای پارک‌ها بیشتر به ظهور نشسته است. این امر در مناطق حاشیه کویر با زیبایی‌های طبیعی و سواحل، بسیاری از مشکلات حرکتی و جسمی و حتی مشکلات روحی ساکنین شهرها را کاهش می‌دهد. یکی از منابع آلوده کننده محیط و به خصوص مناطق محلی، معادن و صنایع تولید کننده مصالح عمرانی و ساخت و ساز می‌باشد. از این رو برای کاهش خطرات زیست محیطی بایستی چرخه استفاده از مصالح از مرحله استخراج تا کاربرد را در مناطق محلی محدود نمود. لذا استفاده از مصالح بومی و بسترهای موجود نقش اساسی در حفاظت از محیط زیست ایفا می‌کنند. از منظری دیگر، زیرساخت شبکه راه‌ها اغلب به عنوان ستون فقرات شهرها در نظر گرفته می‌شوند. اطمینان از پایدار بودن آن‌ها، به یک جنبه حیاتی برای مدیریت یک شهر از نظر اقتصادی و قابل سکونت تبدیل شده‌است. به طور خاص، شبکه‌های حمل و نقل از امنیت و ثروت جوامع حمایت می‌کنند، به خصوص در زمینه اقتصاد جهانی که به طور فزاینده‌ای متکی بر تحرک کالاها، اطلاعات و مردم است، و در نهایت تاثیرگذاری مسائل زیست محیطی در جهت کاربرد و توسعه زیرساختهای حمل و نقل به ویژه بستر و پایه آنها زیاد است (Khabiri&Saberian, ۲۰۱۷). از دیدگاه دیگر شبکه‌های جاده‌ای به دلایل اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و امنیتی ضروری هستند. بنابراین شبکه‌های جاده‌ای در حالت‌های بحرانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند



شکل ۱. مقطع عرضی معمولی از روسازی بلوکی با بسترهای تسلیح شده (Zoccali و همکاران، ۲۰۱۸)

۲- پیشینه تحقیق

یکی از فعالیت‌های اصلی سازمان‌های مدیریت راه، بازسازی و بهسازی روسازی راه‌هاست. تکامل فناوریهای تثبیت و بهسازی انواع بسترها همیشه رویکردی پرجاذبه برای محققین بوده است (Khabiri, ۲۰۱۰). این نوع فعالیت‌ها تاثیر قابل توجهی در ایجاد و حتی کاهش راه‌بندان‌های طولانی در سطح وسیعی از راه و ایجاد تراکم ترافیکی است. بازسازی راه‌ها در مناطق شهری یک چالش مهم به حساب می‌آید چرا که امور ساخت ساز اثر مستقیم بر شرایط ترافیکی و ایمنی دارد. تصمیم‌گیری بین انتخاب روش‌های بازسازی و بهسازی روسازی با دوره عمر بیشتر و تاخیر بیشتر در مقابل روش‌های بازسازی و بهسازی روسازی با دوره عمر کمتر و تاخیر کمتر از دغدغه‌های سازمان‌های مدیریت راه‌ها بوده است (Hall و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین سیاستمداران حوزه راه به دنبال روش‌های نوآورانه‌ای مانند روسازی بتنی پیش ساخته، که باعث کاهش زمان بسته شدن خطوط ترافیکی، صرفه جویی اقتصادی، طول عمر زیاد و عدم نیاز به تعمیر و نگهداری و بازسازی اساسی در طول عمرشان هستند. طی ۱۰ سال اخیر از تکنولوژی روسازی بتن پیش ساخته به خوبی توسعه یافته و تمامی پروژه‌ها به لحاظ اقتصادی توجه پذیر بودند (Yue و همکاران، ۲۰۰۳).

هدف از این مطالعه افزایش استفاده از بسترهای ماسه‌ای که در این دو نوع منطقه (ساحلی-کویری) مشترک است، تا با بازگشت به طبیعت کمترین اثر آلودگی بر محیط زیست پدید آید، الگوی قرارگیری پانل‌های بتنی و تایل‌های پیش ساخته و استقرار آنها بر روی بسترهای موجود، پیشنهادی برای بهره برداری هرچه بیشتر از مصالح بومی است. با بررسی و مقایسه مصالح محلی مشخص می‌شود که استفاده از مصالح در دسترس عدم تخریب هرچه بیشتر طبیعت را در پی دارد. آلودگی کمتری در تولید و جا به جایی و صرفه جویی در انرژی حمل و نقل و کاهش هزینه‌های تمام شده و نیز بازگشت به طبیعت و عدم تخریب طبیعت از مزایای کاربرد بسترهای ماسه‌ای در محوطه سازی و پیاده روسازی‌ها به شمار می‌رود. در این مطالعه بر سه عامل زیر تاکید شده است:

- ۱- وجود بسترهای ماسه‌ای و امکان‌سنجی تقویت آن با سیمان (وجه نیمه پیش‌ساختگی این نوع رویه در تثبیت بستر با سیمان است)
- ۲- ساخت تایل‌ها یا پانل‌های تقویت شده بتنی جهت استقرار بر بسترهای تقویت شده (پیش‌ساخته)

۳- امکان اجرا و بهره برداری از روسازی‌های بلوکی بر روی بسترهای اصلاحی برای ترافیک سبک یا محوطه سازی

در گام اول بر مرور منابع در خصوص قطعات پیش ساخته رویه‌های بتنی پرداخته است و در نهایت توجه به ساخت رویه‌های بلوکی و انواع روش‌ها و طراحی‌های موجود آن مورد توجه قرار گرفته است. در گام بعدی پیشنهاد رویه بتنی با بسترهای ماسه‌ای تثبیت شده با سیمان آورده شده است که نمونه ای در مقیاس آزمایشگاهی ساخته می‌شود و مورد بارگذاری قرار می‌گیرد. در نهایت با مدلسازی عددی تعیین ضخامت بهینه تثبیت مورد توجه قرار خواهد گرفت و در نهایت ارائه جزئیات اجرایی متناسب در برنامه نهایی مطالعه آمده است.

در پژوهش حاضر، مسئله جایگزینی مصالح بومی و در دسترس با کمترین آسیب به محیط زیست اطراف مورد توجه قرار خواهد گرفت. با شناخت شرایط مکانیکی و مشخصات فنی بسترهای ماسه‌ای، مقطعی پیشنهادی برای بررسی عملکرد نوعی بلوک بتنی پیش ساخته در ایجاد مسیرهای دسترسی در مواقع بحرانی و نیز معابر پیاده مدار ارائه می‌گردد. مسلماً با شناخت و بررسی نتایج بارگذاری نمونه‌ها و بررسی عوامل تاثیرگذار بر مصالح در دسترس و محلی در ساخت بناها و پیاده روها و محوطه سازی باعث کاهش صدمات زیست محیطی شده و البته حداقل‌های مشخصات فنی را نیز تامین خواهد نمود. در روسازی‌های بتنی پیش‌ساخته از پانل‌های بتنی پیش‌ساخته برای اصلاح و بازسازی سریع روسازی‌های بتنی و برای بازسازی روسازی‌های آسفالتی و بتنی استفاده می‌کنند. روسازی‌های بتنی پیش ساخته را می‌توان برای بازسازی یا به عنوان یک روکش استفاده نمود. کاربردهای روسازی بتنی پیش‌ساخته عبارتند از: تعمیرات بخش‌های خاص از روسازی، بازسازی تقاطع‌ها و رمپ‌ها، بازسازی خیابان‌های شهری. سیستم‌های روسازی بتنی پیش‌ساخته خارج از محل ساخته و مونتاژ شده، به محل پروژه انتقال داده شده، و بر روی فنداسیون آماده (روسازی موجود یا فنداسیون آسیب‌دیده)، نصب می‌شوند. ویژگی اصلی این نوع روسازی به حداقل رساندن زمان عمل‌آوری آماده‌سازی بستر یا زمان دستیابی به مقاومت لازم پیش از آزاد سازی ترافیک است (Mishra و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به وجود درزهای متعدد، روسازی بلوکی بتنی، حد میانه‌ای بین روسازی‌های صلب و روسازی‌های انعطاف‌پذیر می‌باشد. از این رو در دسته روسازی‌های نیمه صلب قرار می‌گیرند. بدین صورت که تحت بارهای ترافیکی مصالح اساس با اندکی نشست، لایه رویی را با خود تطبیق داده و بنابراین ترکی در سطح به وجود نمی‌آید (همانند

۱- بلوک‌های نوع A: این گروه شامل بلوک‌های دنداندار می‌باشد که در کلیه سطوح قائم به یکدیگر قفل می‌شوند. بنابراین پدیده قفل شدگی در آنها هم در جهت محور طولی و هم در جهت محور عرضی به وقوع می‌پیوندد. با توجه به اینکه بلوک‌های این دسته پایدارترین نوع بلوک‌ها هستند کاربرد اصلی آنها در روسازی‌های صنعتی با بارهای محوری سنگین از قبیل بنادر و فرودگاه‌ها است.

۲- بلوک‌های نوع B: این دسته شامل بلوک‌های دنداندار می‌باشند که تنها در یک سطح قائم به یکدیگر قفل شده اند و سطح قائم دیگر فاقد قفل شدگی است. بنابراین پدیده قفل شدگی فقط در جهت طولی صورت می‌گیرد و محدودیت حرکت در جهت عرضی تنها ناشی از آرایش و تعبیه بلوک‌ها در کنار یکدیگر است. کاربرد این بلوک‌ها در روسازی‌های با بارهای محوری سبک، پارکینگ‌ها و ... می‌باشد.

۳- بلوک‌های نوع C: این دسته شامل بلوک‌هایی است که سطوح پیرامونی آنها کاملاً صاف بوده و هیچ گونه قفل و بستنی در آنها به وقوع نمی‌پیوندد. بنابراین محدودیت حرکت آنها تنها می‌تواند با ایجاد الگوهای مختلف قرارگیری تامین شود. کاربرد این بلوک‌ها عمدتاً در محوطه‌های عبور عابر پیاده و مسیرهای کم ترافیک است.

بلوک‌های مورد استفاده بسته به میزان بار ترافیکی که به سطح روسازی اعمال خواهد شد می‌توانند ضخامت‌های متفاوتی داشته باشند. با توجه به یافته‌های تجربی، مقدار ضخامت مناسب برای مناطق عبور عابر پیاده از قبیل محوطه‌های مسکونی، پیاده‌روها، حیاط و پیرامون ساختمان، برابر ۵۰ میلیمتر، برای اماکن با ترافیک خیلی سبک نظیر ورودی پارکینگ‌ها، پمپ بنزین‌ها و پیاده‌روهای فوق العاده شلوغ برابر ۶۰ میلیمتر، برای مسیرهای سنگین نظیر پارکینگ‌ها و خیابان‌ها بین ۷۰ تا ۹۰ میلیمتر، و سرانجام برای محوطه‌های صنعتی تحت بارهای محوری سنگین از قبیل بنادر، فرودگاه‌ها و سوله‌های صنعتی، بیش از ۱۰۰ میلیمتر می‌باشد (منجم و همکاران، ۱۳۹۰). از مزایای استفاده از پتل‌های (بلوک‌های بتنی) پیش ساخته می‌توان افزایش ظرفیت باربری بسترهای ماسه‌ای با توزیع تنش در سطح گسترده تر اشاره کرد. البته با افزایش درصد سیمان مقاومت بستر تثبیت شده بیشتر خواهد شد، لذا، با استفاده از سیمان مناسب یا قیر امولسیون می‌توان شکل‌پذیری بستر پیاده روها را بهبود بخشید و عملکرد کلی رویه بلوکی بر روی بسترهای تقویت شده ماسه‌ای را مناسب نمود. شکل (۲) یک نمونه از دال‌های پیش ساخته را نشان می‌دهد. گرچه این نوع دال بتنی پیش ساخته برای راه‌های اصلی و بالاتر می‌باشد، اما می‌توان در ابعاد کوچکتر بر روی بستر ماسه‌ای تثبیت شده استفاده نمود. شکاف‌هایی در انتهای وجود دارد که برای جاسازی و استقرار در بستر تعبیه می‌شود.

روسازی انعطاف پذیر). همچنین به دلیل وجود بلوک‌های بتنی این نوع روسازی‌ها مزایای روسازی‌های صلب را دارا می‌باشند، در نتیجه به عنوان یک روسازی پربازده به ویژه برای محوطه‌های مخصوص تجهیزات سنگین مانند بنادر و فرودگاه‌ها شده است (منجم و همکاران، ۱۳۹۰).

در روسازی بلوکی هزینه‌های کمتری صرف روسازی می‌شود، به دلیل قفل شدن بلوک‌ها در یکدیگر با عبور ترافیک بر روی آن مدول سختی افزایش می‌یابد، به شکل پیش ساخته قابل اجرا بوده و پس از اجرا می‌توان بلافاصله ترافیک را بر روی آن عبور داد و در صورت خرابی، تعمیر و بازسازی آن راحت‌تر و کم هزینه‌تر خواهد بود. اگرچه این روسازی نیز دارای معایبی از جمله نیاز به بستر سازی، عدم تحمل بارهای متمرکز آبی، حساسیت نسبت به بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و آب شستگی بستر و زمانبر بودن اجرای آن بدلیل اندازه کوچک بلوک‌ها می‌باشد (آجرلو و همکاران، ۱۳۹۴). بلوک‌های مورد استفاده در روسازی بلوکی بایستی تمام خواص مهندسی را از دیدگاه مقاومت و تراکم پوشش دهد و همچنین اسلامپ بتن مصرفی برای ساخت بلوک‌های روسازی تحت بارهای سنگین باید صفر باشد. بلوک‌های بتنی یکی از اجزاء اصلی رویه در این سیستم روسازی می‌باشد که می‌تواند شکل‌های متنوعی داشته باشد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۸). طراحی روسازی‌های بلوکی شامل مراحل مختلفی از قبیل طراحی شکل و چیدمان بلوک‌ها، در نظر گرفتن شرایط محیطی، طراحی نوع و وضعیت زهکشی، تعیین میزان لغزش، تامین اصطکاک مورد نیاز، وضعیت آب و هوا، شکل پیرامونی بلوک‌ها، مهار کناره‌ها، وضعیت یخبندان و کنترل سرو صدای ترافیک، بافت سطح، زاویه پخ گوشه بلوک‌ها و ... می‌شود. هر چند که تامین ضخامت لایه‌ها و جنس و مشخصات مورد نیاز لایه‌ها بر اساس ترافیک موجود از اصلی‌ترین بخش‌های طراحی به شمار می‌رود که به طراحی سازه ای موسوم است اما در کنار آن باید روسازی بلوکی بگونه ای طراحی شود که بتواند آبهای سطحی و روان آب‌ها را بدرستی هدایت کرده و از سطح خود خارج نماید (محمد، ۱۳۸۸). رویه‌های بلوکی در ابتدا به عنوان یک جایگزین ارزان تر برای انواع دیگر رویه‌ها از قبیل آجری و سنگی بوجود آمدند. سپس ابداع بلوک‌های دنداندار باعث ایجاد قفل و بست بهتر بین بلوک‌های مجاور و نیز تسهیل جایگذاری بلوک‌ها شد. بلوک‌های جدید علاوه بر آنکه رفتار بلوک را زیر بار ترافیک بهینه نمودند زمینه را برای اجرای ماشینی روسازی فراهم ساختند. بلوک‌ها از نظر شکل ظاهری به سه دسته تقسیم می‌شوند (Shackle, ۱۹۹۱).



شکل ۲. نحوه استقرار دال بتنی در روسازی بتنی پیش ساخته درز دار (Tayabji و همکاران، ۲۰۱۳)

از قبیل مکانیزم انتقال بار بین بلوک‌ها، مدول گسیختگی و نیز تغییر مکان رویه بتنی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بلوک‌های دندان‌داری که از چهار جهت قفل می‌شوند بالاترین میزان قفل و بست و در نتیجه بهترین رفتار سازه‌ای را از خود نشان می‌دهد. همچنین مشخص شد که الگوی جناغ ماهی با زاویه ۴۵ درجه نسبت به امتداد عبور ترافیک باعث افزایش سطح عملکرد سازه‌ای رویه بلوکی خواهد شد (منجم و همکاران ۱۳۹۰). در تحقیقی دیگر با استفاده از نرم افزار المان محدود ANSYS مدل سه بعدی روسازی بلوکی بتنی شامل کلیه اجزاء اصلی آن ساخته شده و سپس صحت نتایج مدل ساخته شده با نتایج حاصل از فرآیند آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت. در مرحله بعد برای طراحی روسازی برای ترکیب ترافیک واقعی حاصل از مطالعات ترافیکی از مفهوم خرابی ماینر و نیز نتایج حاصل از تحلیل المان محدود استفاده شد. نتایج حاصل شده به صورت منحنیهای طراحی ارائه گردید. نتایج نشان داد عملکرد روسازیهای بلوکی بتنی مستقل از مقدار مقاومت فشاری بلوک‌ها می‌باشد که علت آن را می‌توان به وجود نیامدن تنش‌های خمشی در آنها به علت ابعاد کوچکتر و مدول الاستیک بزرگتر نسبت به سایر اعضای روسازی و عملکرد آن بیان کرد. همچنین تحلیل بر روی شکل تغییر شکل یافته مدل اجزاء محدود نشان داد در الگوی جناغ ماهی میزان درگیری فی مابین بلوک‌ها در اثر چرخش بلوک‌های تحت بارگذاری بیشتر بوده و در نهایت باعث به وجود آمدن چفت و بست بهتری در لایه بلوکی بتنی می‌شود (مقدس نژاد ۱۳۹۸). در تحقیقی که در سال ۲۰۱۸ صورت گرفت بلوک سنگی طبیعی به عنوان روسازی در نواحی شهری مورد آنالیز و تحلیل صورت گرفت. در این تحقیق از بلوک‌های سنگی از جنس بازالت که به صورت شش ضلعی بوده‌اند استفاده

خصوصیات هندسی بلوکها روی بارگذاری روسازی از لحاظ شرایط تنش-کرنش تأثیر دارند. شکل نمونه‌های پیش ساخته می‌تواند در قفل کردن آنها (اتصال محکم‌تر آنها) در نتیجه توزیع بهتر تنش های کشش ناشی از بارهای اعمال شده نقش داشته باشد (سوت و همکاران، ۲۰۱۱).

تاکنون چندین روش برای تحلیل روسازیهای بلوکی ارائه شده است که عبارتند از:

الف: تحلیل پیوسته- اصلاح شده دال ها

ب: تحلیل ارتجاعی لایه ای

ج: تحلیل اجزاء محدود

با توجه به ناپیوستگی بین بلوک‌ها روش المان‌های محدود تنها روش دقیق در تحلیل این نوع روسازیها می‌باشد. تعدادی مطالعات اجزاء محدود روی روسازیهای بلوکی بتنی در ژاپن و هلند انجام شده است. مطالعات انجام شده در ژاپن فقط رویه بلوکی را در نظر گرفته است. تحقیقی که در سال ۱۹۸۴ انجام گردید تحلیل المان محدود را به صورت کاملاً محدود شده فقط با یک لایه بلوک انجام گرفت (مقدس نژاد، ۱۳۹۸). محققین نشان دادند که استفاده از تحلیل المان محدود، نیروها و تغییر مکان‌ها را با دقت بسیار بیشتری نسبت به تئوری الاستیک لایه می‌دهد. در تحقیقی دیگر تحلیل عددی صورت گرفت و نتایج تحقیق بیانگر توانمندی روش المان‌های محدود در تحلیل این نوع روسازیها می‌باشد (مقدس نژاد، ۲۰۰۳). با توسعه روز افزون استفاده از روسازیهای بلوکی بتنی در سراسر جهان شکل‌ها و الگوهای متنوع برای نصب بلوک‌های بتنی به وجود آمده است که این امر با هدف بهبود قابلیت های مکانیک رویه‌ها و همچنین افزایش دوام و پایداری آنها صورت گرفته است. در یک تحقیقی اثر شکل و الگوی چیدمان بلوک‌ها بر عملکرد سازه‌ای روسازیهای بلوکی بتنی

توسط نرم افزار آباکوس و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی صورت گرفته است. در ادامه ابتدا روش مطالعه، فرضیات و سپس نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳- روش مطالعه و مدل سازی

در این تحقیق تحلیل رویه‌های بلوکی نیمه پیش‌ساخته بر روی بسترهای ماسه‌ای و سست بوجود آمده در اثر عوامل محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. پس از تعیین مشخصات مصالح در فرآیند آزمایشگاهی می‌توان با استفاده از نرم‌افزار به ساخت مدل نهایی با ویژگی‌های روسازی‌های معمول پرداخت. در انجام مطالعات انتخاب نرم افزار مناسب یکی از مهم ترین مراحل پژوهش است، نرم افزارهای مختلفی در زمینه مدل‌سازی بارگذاری مصالح نظیر آباکوس وجود دارد (صابریان، خبیری، ۲۰۱۷). این نرم افزار هم برای محققان و هم طراحان روسازی که به دنبال تحلیل پیچیده از سیستم‌های روسازی هستند مفید است. در این مطالعه مدل‌سازی رویه‌های بلوکی نیمه پیش ساخته با نرم‌افزار آباکوس در مقیاس سه بعدی انجام شد.

۳-۱- مشخصات خاک و دال رویه بتنی

در این تحقیق خاک ماسه‌ای با چگالی ۱۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و خاک با مدول الاستیسته ۲۸۰ مگاپاسکال و نسبت پواسون ۰/۳ مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل آن که خاک مورد نظر ماسه بوده و در خاک‌های ماسه‌ای به علت چسبندگی ناچیز، رفتار الاستیک بعید است، از مدل رفتاری موهر-کولمب جهت مدل‌سازی رفتار پلاستیک خاک استفاده شده است. در این مدل زاویه اصطکاک داخلی خاک ۴۰ درجه، زاویه اتساع ۱۰ درجه (در خاکهای دانه ای در صورتی که زاویه اصطکاک داخلی خاک از ۳۰ درجه بزرگتر باشد، مقدار زاویه اتساع از اختلاف زاویه اصطکاک داخلی با مقدار ۳۰ درجه به دست می‌آید) و چسبندگی خاک برابر با مقداری کم، نظیر مگاپاسکال $C=10^{-4}$ در نظر گرفته شده است (وارد کردن مقدار غیر صفر برای چسبندگی بهممنظور جلوگیری از مشکلات همگرایی در مراحل تحلیل است). چگالی دال بتنی رویه‌ی بلوکی برابر چگالی بتن غیر مسلح، ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر و مدول الاستیسته برابر مگاپاسکال ۲۰۰۰۰ و نسبت پواسون در حدود ۰/۱۵ در نظر گرفته شده است.

گردید. سه حالت بارگذاری (بارگذاری وسط، گوشه و لبه) بر بلوک سنگی اعمال گردید. از نرم افزار آباکوس جهت بررسی رفتار این بلوک سنگی در حالت‌های مختلف بارگذاری و همچنین از نرم افزار KENLAYER جهت بررسی شیارشدگی و خستگی در لایه روسازی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که موقعیت بار به طور چشمگیری بر روی ماکزیمم تنش کششی تاثیر نمی‌گذارد (Zoccali و همکاران، ۲۰۱۸).

در تحقیقی اثر پاسخ در برابر بارگذاری مکانیکی مصالح اساس بر عملکرد خستگی روسازی بلوک بتنی مورد بررسی قرار گرفت (خبیری و همکاران ۱۳۹۸). در این تحقیق نوع و جنس لایه اساس تغییر داده شد تا عملکرد روسازی بتنی مورد تحلیل قرار بگیرد. نتایج نشان داد که با افزایش کرنش کششی لایه اساس شنی، تعداد تکرار مجاز کاهش می‌یابد، به طوری که وقتی کرنش کششی از مقدار ۰/۰۰۱ میکرون به ۰/۰۰۲ افزایش می‌یابد تکرار مجاز روسازی بلوک بتنی ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین تاثیر مدول الاستیسته لایه اساس تثبیت شده با سیمان در تعداد تکرار بارگذاری مجاز بسیار اندک است و اصلاح مشخصات فنی این لایه متاثر از ضخامت و مقاومت فشاری این لایه است.

در سال ۱۳۹۸ طی یک کار آزمایشگاهی، الگوی پیشرفته روسازی بتنی پیش تنیده بلوکی نفوذپذیر به عنوان یک مدل روسازی جدید معابر معرفی گردید (عابدینی و همکاران ۱۳۹۸). نمونه بلوکی ساخته شده در این تحقیق ترکیبی از سه نوع روسازی متخلخل، پیش تنیده و روسازی بلوک بتنی استفاده شد. نتایج نشان داد که در طراحی این نوع روسازی ضخامت باید ۲۵ درصد بیشتر لحاظ گردد. این مقدار می‌تواند فضای مناسب برای نگه داشتن آب و همچنین زهکشی را فراهم کند. بتن متخلخل به دلیل دارا بودن اسلامپ صفر کارایی آن بسیار پایین و سخت می‌باشد در صورتی که همین بتن در کارگاه با شرایط پیش تنیده و استفاده از ویرنه و پرس می‌تواند در عملیات اجرا بسیار مفید و کارایی آن را بالا برد.

هدف از این تحقیق بررسی و ارزیابی عملکرد روسازی‌های بلوکی بتنی پیش ساخته بر روی بستر ماسه‌ای برای ایجاد بستری برای عبور سریع و دسترسی در مواقع بحرانی می‌باشد. در این مقاله آنالیز سه بعدی این نوع روسازی‌ها

۳-۲- مطالعه آزمایشگاهی تماس دال با بستر ماسه‌ای

دو نوع رفتار برای سطح تماس میان خاک و فونداسیون محتمل است:

الف) سطح فونداسیون نسبت به سطح خاک هیچگونه تغییر مکان نسبی نداشته و گویا دو سطح به هم چسبیده‌اند (در این حالت در نرم افزار از قید Tie استفاده می‌شود).

ب) تماسی میان سطح فونداسیون و خاک تعریف کنیم که شامل دو نوع رفتار عمودی (Normal behavior) و مماسی (Tangential behavior) است. رفتار نرمال به

صورت تماس سخت تعریف می‌شود که از فرورفتن دو سطح در یکدیگر جلوگیری می‌کند و رفتار مماسی مطابق با مدل اصطکاک کولمب و فرض ضریب اصطکاک 0.4 (ضریب اصطکاک در سطح مشترک به تکنیک‌های حفاری، نحوه نصب فونداسیون و همچنین داده‌های صحرایی وابسته است) در سطح مشترک خاک و دال رویه‌ی بتنی تعریف می‌شود. در این تحقیق مدل رفتاری دوم یعنی در مدل سازی استفاده شده است. شکل ۳ نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته‌شده را نشان می‌دهد.



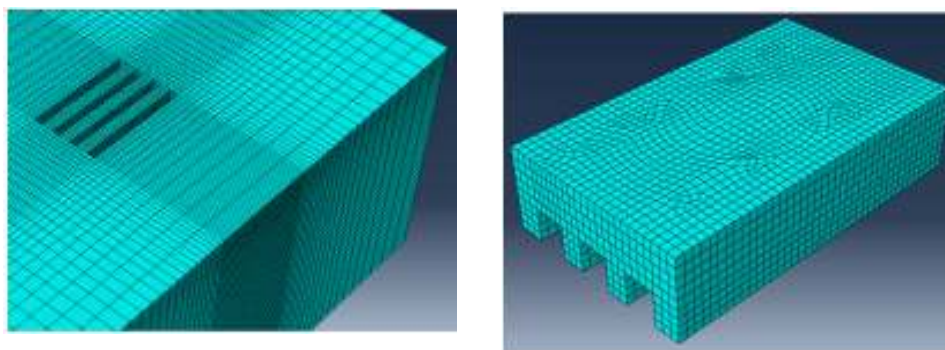
شکل ۳. نمونه آزمایشگاهی دال آزمایشگاهی بر بستر ماسه‌ای مرطوب ($P=300\text{kg}$) (راست).

رویه بلوکی تخریب‌شده بر بستر ماسه تثبیت‌شده (چپ)

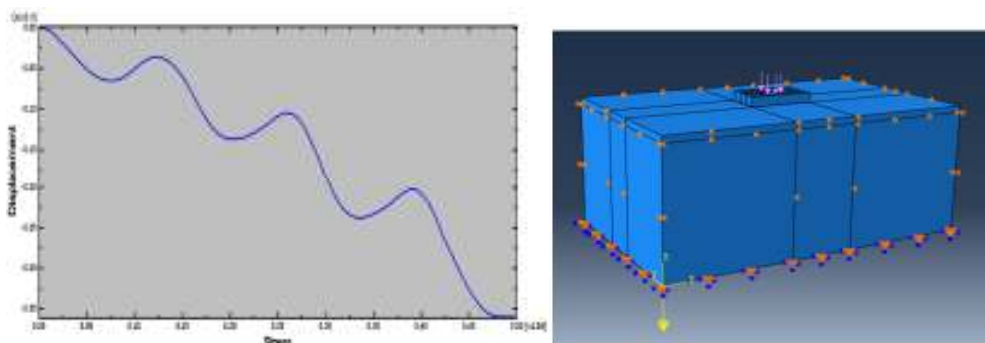
۳-۴- بارگذاری

در مدل عددی، فشاری در برابر 5 کیلوگرم بر متر مربع بر سطح دایره‌ای به شعاع 10 سانتیمتر وارد گردید که این بار در مدت زمان تقریبی 0.3 ثانیه به سطح دال مدل شده، وارد شد. در برنامه آباکوس ابتدا پارت‌هایی دال پیش ساخته (بلوک روسازی) ایجاد گردید. سپس مشخصات مصالح (خاک و بستر ماسه‌ای و دال رویه‌ی بتنی) وارد گردید. سپس نوع تحلیل و زمان آنالیز و تماس میان خاک و فونداسیون همانند آنچه قبلاً گفته شد وارد گردید. لازم به ذکر است که ابعاد مش در قطعه فونداسیون تقریباً برابر $1/5$ سانیمتر بوده و

در قطعه خاک از $1/5$ تا 10 سانیمتر متغیر است (شکل ۴). ابعاد مش‌ها طوری انتخاب شده‌اند که در نواحی نزدیک بارگذاری مش‌ها ریزتر بوده و از مرکز بارگذاری که دورتر می‌شود ابعاد آن‌ها بزرگ‌تر می‌شود. شرایط مرزی در تحلیل سه بعدی شامل بستن مرزهای جانبی در جهت افق و بستن مرز پایینی در تمام جهات می‌باشد. شکل (۵) شرایط مرزی اعمال شده و نیز صحت سنجی بامدل تنش- تغییر شکل (مدل اجزاء شده) در این تحقیق بر روی نمونه بلوکی را نشان می‌دهد.



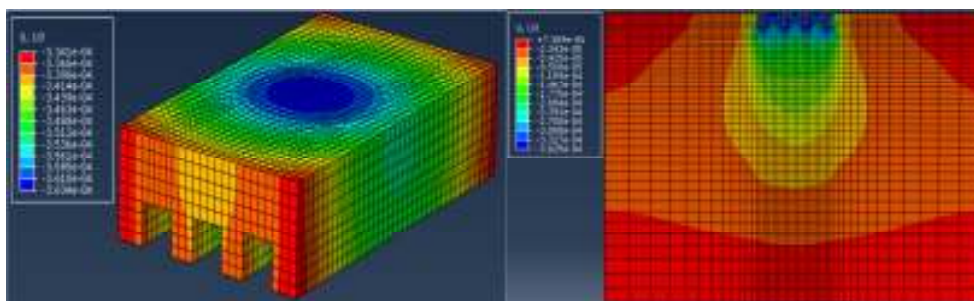
شکل ۴. مش بندی در نرم افزار آباکوس: اجزاء اصلی دال بلوکی (سمت راست) و ریزمش‌های ناحیه بارگذاری (سمت چپ)



شکل ۵. شرایط مرزی شکل سه بعدی (راست)، نمودار جابجایی عمودی-تنش نقطه‌ی مرکزی بسترماسه‌ای مرطوب (چپ)

۴- نتایج و بحث

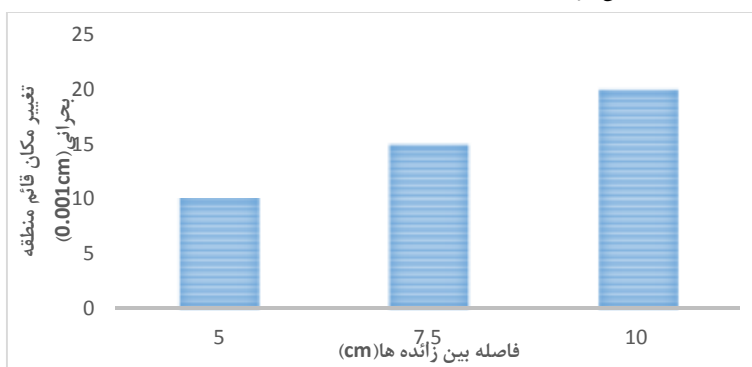
مقایسه بین نتایج حاصل از تحلیل سه بعدی رویه‌های بلوکی (دالهای پیش ساخته) سه بعدی به صورت مدل‌های بارگذاری شده، در شکل (۶) نمایش داده می‌شود.



شکل ۶. تغییر شکل مایزس در بسترماسه‌ای (راست) و در دال پیش ساخته یا رویه بلوکی (چپ)

تمامی موارد زائده‌ها در جهت طولی رویه قرار گرفته است. شکل (۷) نمودار تغییر شکل قائم را برای حالت‌های مختلف بین زائده‌ها نمایش می‌دهد.

با توجه به بررسی‌های مختلف انجام شده، در این قسمت تاثیر فاصله‌ی بین زائده‌های زیرین دال بتنی بر روی نحوه عملکرد کل رویه در شرایط بحران در سه تیپ مقایسه می‌شود. این فواصل ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر بوده است و در



شکل ۷. تغییرات قائم منطقه‌ی مرکزی (بحرانی) دال در اثر تغییرات فواصل زائده‌های زیرین رویه بلوکی

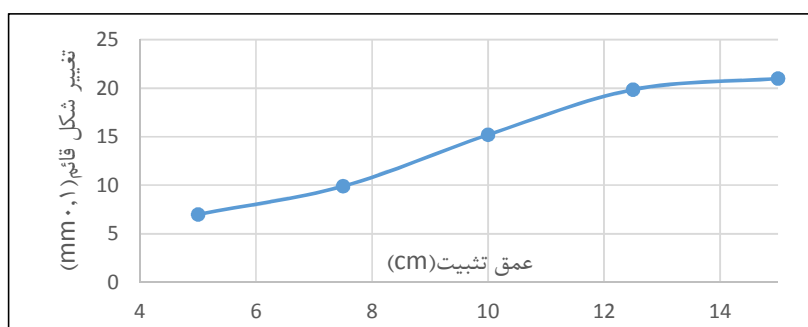
۴-۱-تاثیر زیرسازی و تقویت بستر ماسه‌ای (تثبیت شده)

جنبه نیمه‌پیش-ساختگی این نوع رویه بلوکی آماده‌سازی بستر ماسه‌ای با اضافه نمودن سیمان (برای تثبیت) است، مسلماً ضخامت اندک این تثبیت در سرعت عمل (در مواقع بحرانی)، کاهش هزینه‌ها تاثیر می‌گذارد. بررسی اثر عمق ماسه روان تثبیت و تقویت شده بر پاسخ قائم رویه بلوکی پیش ساخته در شکل (۸) ملاحظه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که اگر عمق تثبیت (مالات ماسه‌ای یا همان بستر تثبیت شده) عمقی بین ۷/۵ تا ۱۰ سانتی متر داشته باشند، میزان تغییر شکل قائم به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و افزایش این ضخامت، به غیر از افزایش هزینه تاثیر قابل

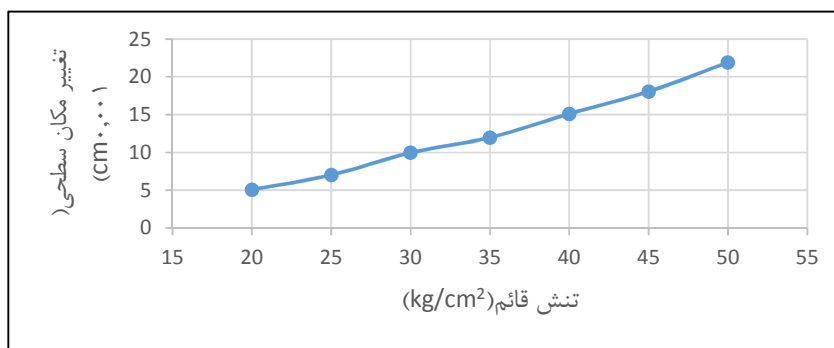
توجهی بر افزایش مقاومت و کاهش نشست رویه بلوکی ندارد.

۴-۲-نتایج بارگذاری نمونه بلوکی پیش ساخته در آزمایشگاه

نتایج آزمایش بارگذاری بلوکهای بتنی و نمودار تغییرات بار- تغییر مکان در شرایط تنشی مختلف بستر (میزان بارگذاری مختلف انواع وسایل نقلیه عبوری در مواقع بحرانی) برای نمونه رویه بلوکی در شکل ۹ و ۱۰ نمایش داده می‌شود.



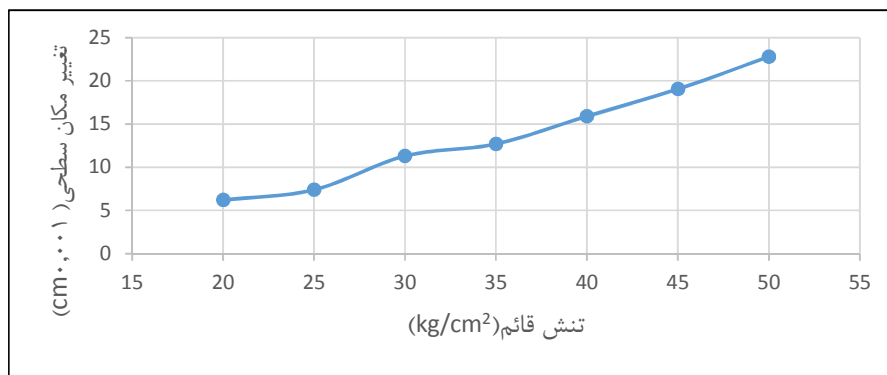
شکل ۸. تغییرات نشست سطحی دال رویه بلوکی پیش ساخته بر اثر افزایش ضخامت زیر سازه ماسه‌ای



شکل ۹. نمودار تغییر مکان سطحی - بارگذاری قائم در رویه بلوکی (فاصله زائده زیرین ۵ سانتی‌متر)

به طوریکه به دو برابر بیشتر افزایش می‌یابد. مساحت زیر منحنی تنش-تغییر شکل که معمولاً به عنوان انرژی شکست (چقرمگی) شناخته می‌شود، که در حالتی که دال رویه‌ی بتنی دارای زائده‌های با فواصل ۷/۵ سانتی‌متر، ۱/۱۵ برابر نسبت به فاصله بین زائده‌های ۵/۰ سانتی‌متر است.

همانگونه که مشاهده می‌شود وقتی زوائد زیرین در تماس با بستر ماسه‌ای هنگامی که از ۵ سانتی‌متر به ۷/۵ سانتی‌متر افزایش می‌یابد به مقدار تغییر شکل در لحظه شکست ۱/۲۳ برابر افزایش می‌یابد به عبارتی رویه‌های منعطف‌تر می‌شوند. البته مقدار بار در لحظه شکست در حالتی که فاصله بین زائده‌های زیرین کمتر است، به شدت افزایش می‌یابد



شکل ۱۰. نمودار تغییر مکان سطحی- بارگذاری قائم در رویه بلوکی (فواصل زائده زیرین ۷/۵ سانتی متر)

۵- نتیجه گیری

(درمحل بستر ماسه‌ای) افزایش ۵۰ درصدی فواصل، به ۲۳ درصد، افزایش می‌یابد. - تاثیر افزایش رطوبت نفوذ کرده در بستر ماسه‌ای (در اثر جریان شدیدتر بارندگی و سیل و ماندگاری آب) می‌تواند نتایج این پژوهش را تحت تاثیر قرار دهد، یا ابعاد بلوک‌های رویه بر روی بستر ماسه‌ای نیز مقدار نشست سطحی را تغییر می‌دهد. در مجموع نتایج مطالعه نشان می‌دهد، که استفاده از رویه بلوکی پیش ساخته با بسترهای تثبیت شده در عمق اندک هم، انعطاف‌پذیری و مقاومت مناسبی دارد ولی زمان اجراء و زهکشی، برای کاهش نفوذ آب در بستر راه نیز اهمیت بسزایی دارد.

۶- سپاسگزاری

این نوشتار مستخرج از گزارش طرح پژوهشی کاربردی با عنوان "امکان‌سنجی کاربرد رویه‌های بلوکی نیمه پیش ساخته بر روی بسترهای ماسه روان تثبیت شده با سیمان" که در مرکز پژوهشی حمل و نقل پایدار به شماره قرارداد ۹۹/۱۰۶۱۵ در آذرماه ۱۳۹۹ پایان رسید، می‌باشد، که لازمست از تلاشها آقای دکتر فلاح تفتی مدیریت مرکز و از آقای غلامرضا مولایی مدیریت شرکت راهسازی پ.بل که با فراهم آوردن فضای این همکاری در به بارنشتن این مطالعه ملی نقش اساسی داشتند سپاسگزاری شود. بخشی از مدلسازی توسط خانم مهندس کاروانپور و قناعتیان توسعه و تکمیل یافت، که از ایشان نیز تقدیر به عمل می‌آید.

آزمایشگاهی بر روی آن، هفتمین کنفرانس ملی بتن ایران"، تهران، ص. ۱.

سیل یک تهدید مهم برای جاده‌ها دسترسی است و می‌تواند منجر به انسداد عظیم ترافیک و آسیب به جوامع نیازمند به خدمات با اثرات طولانی‌مدت شود. در این پژوهش مسئله ایجاد مسیرهای موقت و دسترسی سریع در تامین امکانات امدادرسانی در هنگام اشباع شدن بسترهای ماسه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. کلیه عواملی که در انتخاب رویه‌های بلوکی قابل نصب سریع مطالعه شدند. با شناخت شرایط بحرانی با رطوبت فراوان در مسیرهای با بستر ماسه‌ای مدلسازی عددی و آزمایشگاهی برای بررسی امکان‌سنجی استفاده از بلوکهای پیش‌ساخته (با اشکال مختلف هندسی) بررسی گردید و نتایج زیر حاصل شد.

- در مدلسازی با تحلیل سه بعدی، تاثیر کاهش فاصله بین زائده‌های زیرین بر روی افزایش انعطاف‌پذیری سطح رویه دیده می‌شود.

- در اثر افزایش فاصله بین زائده‌ها از ۵ سانتی‌متر به ۷/۵ سانتی‌متر ملاحظه می‌شود که مقدار بار مجاز برای یک تغییر شکل ثابت تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد، به واسطه کاهش فاصله، حجم مصالح مصرفی در ساخت و نیز افزایش وزن دال رویه بلوکی افزایش می‌یابد که هزینه‌های تولید و اجراء افزایش می‌یابد که تحلیل چرخه عمر برای تعیین گزینه‌های اقتصادی-شرایط مخاطرات طبیعی- ضروری است.

- از مزایای افزایش عمق بستر ماسه‌ای تثبیت و تقویت شده ملاحظه می‌شود، هر چند شکست بلوک‌های رویه دیرتر اتفاق می‌افتد ولی شکست به صورت ترد و ناگهانی است. همچنین طبق نتایج مقاومت فشاری محوری عمق تثبیت

۷- مراجع

- آجرلو، ع. م، حجتی، ر، احمدی، ف.، (۱۳۹۴)، "طراحی روسازی بلوکی بتن مسلح به روش مکانیستیک و مطالعات

- <https://www.researchgate.net/publication/228646267-T>
- Lu, D., (2020), "Pavement Flooding Risk Assessment and Management in the Changing Climate, ReportNo.8743, pp.1. <http://hdl.handle.net/10012/15474>.
- Mishra, T., French, P., & Sakkal, Z., (2011), "Engineering a Better Road—Use of 2-Way Pretensioned Precast Concrete Pavement for Rapid Rehabilitation", In Proceedings of the 57th Annual PCI Convention and National Bridge Conference, October, Salt Lake City, pp.22–26. <https://trid.trb.org/view/1259520>.
- MoqadasNejad, F. M., (2003), "Finite element analysis of concrete block paving", In 7th international conference on concrete block paving", Iranian Concrete Association Quarterly Ar.No.21.pp.1.12. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:198946203>.
- Pregolato, M., Ford, A., Wilkinson, S. M., & Dawson, R. J., (2017), "The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function", Transportation research part D: transport and environment, 55, pp.67-81. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.020>.
- 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), pp.2467-2478. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0235-7>.
- Shackel, B., (1991), "Design and construction of interlocking concrete block pavements", Elsevier Applied Science, In 7th International Conference on Concrete Block Paving, Tel Aviv.No.1 pp.1. <https://trid.trb.org/view/152691>.
- Soutsos, M. N., Tang, K., Khalid, H. A., & Millard, S. G., (2011), "The effect of construction pattern and unit interlock on the structural behaviour of block pavements", Construction and Building Materials, 25(10), pp.3832-3840.
- Tayabji, S., Ye, D., & Buch, N., (2013), "Precast concrete pavement technology", Transportation Research Board. <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/167788.aspx>
- Yue, S. C., Murrel, S., & Larrazabal, E., (2003), "Precast Concrete Pavement Tests on Taxiway DD at La-Guardia Airport", Airfield Pavements: Challenges and New Technologies. [https://doi.org/10.1061/40711\(141\)30](https://doi.org/10.1061/40711(141)30).
- Zoccali, P., Moretti, L., Di Mascio, P., Loprencipe, G., D'Andrea, A., Bonin, G., & Caro, S. (2018), "Analysis of natural stone block pavements in urban shared areas", Case Studies in Construction Materials, 8, pp.498-506. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.04.004>.
- خبییری، م. م. و بلوچ سیرگانی، پ.، (۱۳۹۸)، "اثر پاسخ در برابر بارگذاری و مشخصات مکانیکی مصالح اساس بر عملکرد خستگی روسازی بلوکی بتنی"، سومین کنفرانس ملی رویه‌های بتنی، ۳ و ۴ اردیبهشت، دانشگاه علم و صنعت، ص.۸-
- عبادینی، م.، ارغشی، م. ر.، (۱۳۹۸)، "ارائه الگوی پیشرفته روسازی پیش تنیده بلوکی بتنی نفوذپذیر"، سومین کنفرانس ملی رویه‌های بتنی، ۳ و ۴ اردیبهشت ماه، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران، ص.۲-
- محمدیان، س.، (۱۳۸۸)، "تعیین معیار طراحی برای نفوذ آبهای سطحی در روسازی بلوکی بتنی با استفاده از مدل‌های عددی و آزمایشگاهی"، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ص.۱۵۳-
- مقدس نژاد، ف.، (۱۳۹۸)، "تحلیل و طراحی روسازی‌های بلوکی بتنی بنادر با استفاده از روش المان‌های محدود سه بعدی، سومین کنفرانس ملی رویه‌های بتنی"، ۴ اردیبهشت، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران، ص.۱-
- منجم، م.س. و طاری بخش، م.، (۱۳۹۰)، "بررسی اثر شکل و الگوی چیدمان بلوک‌ها بر عملکرد روسازی‌های بلوکی بتنی، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران"، ۶ اردیبهشت، دانشگاه سمنان، سمنان، ص.۲-
- Bles, T. J., van der Doef, M. R., van Buren, R., Buma, J. T., Brolsma, R. J., Venmans, A. A. M., & van Meerten, J. J., (2012), "Investigation of the blue spots in the Netherlands National Highway Network", Deltares rapport, 1205568-000. https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_139820_31.
- Cova, T. J., & Conger, S., (2004), "Transportation hazards, Handbook of transportation engineering", No.12, pp. 17-1.
- Hall, K., & Tayabji, S., (2008), "Precast Concrete Panels for Repair and Rehabilitation of Jointed Concrete Pavements TechBrief FHWA-IF-09-003, Washington, DC: Federal Highway Administration, Research Report No.H-18734, pp.63. https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=628.
- Jenelius, E., & Mattsson, L. G., (2015), "Road network vulnerability analysis: Conceptualization, implementation and application, Computers, Environment and Urban Systems", 49, pp.136-147. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.02.003>.
- 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, pp.1211-1219.

Laboratory-Numerical Evaluation of Semi-Prefabricated Block Pavement on Sandy and Weak Subgrade (National-Applied Plan)

*Mohammad Mehdi Khabiri, Associate Professor, Faculty of Civil Engineering,
Yazd University, Yazd, Iran.*

*Pouya Afkhami Meybodi, Ph.D., Student, Faculty of Civil Engineering, Yazd University,
Yazd, Iran.*

*Ehsan Molaee, M.Sc., Grad., Research and Development Manager of P. Bell Road
Construction Company, Kerman, Iran.*

E-mail: mkhabiri@yazd.ac.ir

Received: March 2021-Accepted: July 2021

ABSTRACT

Preparing the roads in the first period after the events and strengthening them against natural destructive factors is the preservation of national assets. Roads with low traffic and passages along the desert and beaches lose their resistance when water currents occur and it is not possible to establish traffic flow. On the other hand, in normal times, walking in these spaces is considered as the main model of sports and recreation in these areas. Pavement subgrade in these areas is often made of sand with low bearing capacity. Therefore, providing a suitable pavement for these areas is of special importance. In this research, Abaqus software has been used to analyze prefabricated concrete blocks on wet sand subgrade. The Mohr-Coulomb behavioral model has been used to model soil plastic behavior. Also, the contact between the surface of the foundation and the soil includes two types of vertical behavior (Normal behavior) and tangential behavior. Also, on a laboratory scale, a number of block pavement samples were subjected to compressive loading on sandy subgrade. Modeling the study of different geometric states of prefabricated blocks shows that the distances of the appendages below the slab increase by an average of 15% with increasing surface deformation. While increasing these distances, the sudden brittle behavior of the slab is prevented. Therefore, the optimal distance for light loads such as pedestrian load can be increased distance and for heavy and super heavy loads with reduced distances. In laboratory modeling, it was shown that increasing the bed moisture sharply reduces the settling of block pavement and increases the settling rate. Numerical analysis on finite element model deformation showed that the distance between the golden appendages reduces the surface deformation and the possibility of failure. Creating a suitable pavement in critical situations for the flow of heavy traffic during emergency relief, especially in the case of permeable runoff in sandy subgrade in the desert and sea areas.

Keywords: Sand Subgrade, Prefabricated Concrete Block, Sandy Stabilization, Finite Element, Low Volume Loading