

بررسی تاثیر المان سازه‌ای عمود بر صفحه دال بر جلوگیری از خرابی ناشی از

پدیده پامپینگ در رویه‌های بتنی راه

سید فرزین فائزی (مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه علمی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

E-mail: F.faezi@pnu.ac.ir

هوشنگ قاسمی ده چشمه، کارشناسی ارشد، گروه علمی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳

چکیده

پدیده پامپینگ یکی از مهمترین عوامل مخرب رویه‌های بتنی راه‌ها و فرودگاه‌ها می‌باشد. در این تحقیق با طراحی یک المان سازه‌ای هم جنس با دال رویه و متصل و عمود بر صفحه دال، اثر آن را بر چگونگی تغییر شکل قائم رویه بتنی بخصوص در گوشه دال و نیز چگونگی تاثیر آن بر جلوگیری از جابجایی افقی مواد ریز دانه خاک اشباع (بستر یا اساس) در زیر دال بتنی رویه راه در مجاورت درزها مورد بررسی قرار می‌گیرد. تحلیل تنش‌ها و تغییر شکل‌ها به وسیله مدل‌سازی سیستم «دال - خاک» تحت اثر بارهای استاتیکی و دینامیکی ناشی از بار وارده از وسایل نقلیه در نرم‌افزار آباکوس صورت گرفت. نتایج و تحلیل‌های تنش و تغییر شکل در دال بدون زائده و دال دارای زائده (المان عمود بر صفحه دال) بیانگر تاثیر مثبت المان عمودی متصل بر دال بر کاهش تغییر شکل عمودی دال و تاثیر مثبت بر کاهش تغییر شکل خاک زیر دال در جهت موازی و عمود بر مسیر حرکت وسایل نقلیه می‌باشد. جابجایی گوشه دال ساده ۱/۵ و دال زائده‌دار ۰/۹۸ محاسبه شد. حداکثر جابجایی قائم دال بتنی در مدل دال ساده و بارگذاری استاتیک بیشترین مقدار را داشته است (۰/۴۲). سپس مقدار جابجایی قائم دال رویه راه در دال زائده‌دار در حالت بارگذاری استاتیک مقدار بیشتری را دارا می‌باشد (۰/۳). همچنین نتایج حاصل از خروجی نرم‌افزار، تاثیر مثبت این المان عمودی را بر کاهش تنش در دال رویه بتنی و خاک زیر آن را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: دال بتنی، خرابی، پامپینگ، مکش، آباکوس

۱. مقدمه

آن را تقلیل داد؛ هزینه‌های تعمیر و نگهداری رویه‌های بتنی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا خواهد کرد.

هدف اصلی این پژوهش بررسی چگونگی تاثیر یک المان سازه‌ای^۲ عمود بر انتهای صفحه دال بتنی روسازی و در مجاورت با درز انبساطی بر جلوگیری از پدیده پامپینگ و مکش می‌باشد. به عبارتی چگونگی تاثیر یک المان سازه‌ای متصل به دال، از جنس خود دال، بر نشست و تغییر مکان عمودی دال، بخصوص در گوشه آن که عامل اصلی و شاخص تعیین کننده در خرابی تجمعی^۳ ناشی از فرسایش است، مورد بررسی و کنکاش قرار گیرد. همچنین تاثیر این المان بر تغییر مکان خاک بستر (اساس) زیر دال در جهت موازی و عمود بر مسیر حرکت وسایل نقلیه به عنوان عامل نشان دهنده جابجایی افقی خاک بستر (اساس) و همچنین تنش‌ها در تمام جهات هم در دال بتنی هم در خاک زیر آن مورد توجه و بررسی قرار گرفته است.

افزودن زائده‌ای هم جنس دال بتنی و متصل به آن به منظور جلوگیری از پدیده پامپینگ در این تحقیق برای اولین بار مورد استفاده قرار گرفته است. هر چند در مؤسسه رویه‌های بتنی آمریکا^۴ به نمونه‌هایی از لبه ضخیم شده دال در مجاورت درز و همچنین استفاده از دال خوابیده در زیر درز اشاره شده است ولی مورد استفاده هر دو مورد بالا افزایش ضریب انتقال بار در درزهای بدون میلگرد داوول می‌باشد. ولی در این پژوهش از جنبه‌ای دیگر به این زائده نگریسته شده است و همچنین فرم و نحوه و راستای اتصال این زائده به دال رویه جنبه تازگی و نوآورانه دارد.

۲. مبانی نظری تحقیق و پیشینه پژوهش

پامپینگ و مکش عبارتست از جابجایی و حرکت مواد ریز دانه خاک اشباع به سمت درزها یا به سمت دال مجاور به علت حرکت رو به پایین دال ناشی از عبور بار محور خودرو از روی روسازی (Kumar et al, 2018). از آثار زیانبار پدیده پامپینگ می‌توان به شکست دال بتنی روسازی بر اثر از دست دادن تکیه گاه بخصوص در نزدیکی درزهای انبساطی، پدیده مکش و جمع

یکی از انواع روسازی‌های متداول در جهان روسازی‌های بتنی می‌باشند. هرچند در ایران این نوع روسازی به علت عدم شناخت کافی مسئولان و دست اندرکاران و همچنین در دسترس بودن قیر کمتر توجه قرار گرفته است (gharapazuki, 2017, Aghajanlu 2019). اما برخی خصوصیات منحصر به فرد آن و ضعف روسازی‌های آسفالتی در جاده‌های واقع در مناطق گرمسیر با حجم ترافیک سنگین بخصوص در شیبهای تند و گردنه‌ها، در قسمتهایی از مسیر راه یا باند فرودگاه که مقاومت بستر آن ضعیف است، در تقاطع‌ها و میادین و عوارضی آزادراه‌ها که نیروی شدید برشی ناشی از ترمز به روسازی راه وارد می‌شود (Cai et al, 2020, Li et al, 2020) و همچنین در ابتدا و انتهای باندهای فرودگاه، تاکسیروها و پرونها استفاده از رویه بتنی ارجحیت دارد (Zhu et al, 2020, Long et al, 2019).

روسازی‌های بتنی با تمام مزایایی که دارند دارای نقطه ضعفهایی هم هستند که یکی از مهمترین ضعفهای آنها، سگمندی بودن بعضی از انواع روسازیهای بتنی و وجود درزها به عنوان عامل جدا کننده قطعات آنها می‌باشد (Mateos Harvey, Bolander, Wu, Paniagua, Paniagua, 2020, Xiaoa, Wu, 2018, Zhao Jiang, Yang, Tang, Liu, 2020). وجود درز و ترک به تبع خود مشکلاتی در روسازیهای بتنی به وجود می‌آورد. از میان ضعفها پدیده پامپینگ^۱ و مکش یکی از عوامل مهم و متاثر از زمان در تخریب رویه‌های بتنی می‌باشد (Alsaif et al, 2019 shamsi 2014). این پدیده مخرب با وجود گستردگی درزها در این روسازی و هزینه بالای تعمیرات ناشی از این پدیده مخارج سنگینی را بر دوش ارگانهای مرتبط با حوزه راه و ترابری می‌گذارد (gholizade&aghyan 2017). اگر بتوان با ارائه راهکارهایی جلوی این پدیده مخرب را گرفت و یا آثار زیانبار

بررسی تاثیر المان سازه‌ای عمود بر صفحه دال بر جلوگیری از خرابی ناشی از پدیده پامپینگ در رویه‌های بتنی راه

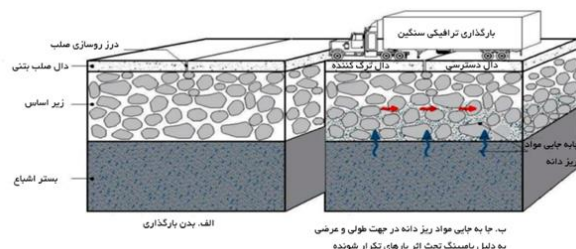
RPAS نشان داد. همچنین در مقدار جابجایی عمودی، نرم‌افزار آباکوس به مقدار $0.8/10$ درصد بیشتر از نرم‌افزار RPAS مقادیر را محاسبه نمود ولی در تنش‌های فشاری در بالای دال رویه نرم‌افزار RPAS نتایج محافظه کارانه‌تری را نسبت به نرم‌افزار آباکوس در تنش‌ها نشان داد و در تغییر مکان عمودی باز هم نرم‌افزار آباکوس با درصد کمی نتایج محافظه کارانه‌تری را نشان داد (Bakhsh, Zollinger, 2014).

در سال ۲۰۱۸ تحقیقی با استفاده از مدلسازی نمونه‌های مقیاس کوچک از روسازیهای انعطاف پذیر و صلب و با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز حرکت وسایل نقلیه، کاربرد و تاثیر ژئوتکتستایل‌ها^{۱۱} را بر پدیده پامپینگ مورد آزمایش و تحقیق قرار داد. نتایج حاصل از تحقیق بیانگر تاثیر مثبت استفاده از ژئوتکتستایل‌ها بر کاهش پامپینگ و جلوگیری از حرکت مواد ریز دانه خاک بستر اشباع به سمت لایه اساس است (Chawla, Shahu, 2017). در سال ۲۰۱۷ لی ون، و همکاران پژوهشی در مورد چگونگی تشکیل حفرات و خلل و فرج در زیر رویه‌های بتنی انجام دادند. طبق پژوهش آنها: نشستهای مختلف در طول عمر بهره‌برداری روسازی-توزیع غیرخطی درجه حرارت محیط-آب شستگی و اثر حفره‌زایی آب و بارهای سیکلیک وسایل نقلیه دلایل اصلی تغییر شکل و شکل‌گیری حفرات زیر دال‌ها هستند. همچنین حفرات ابتدا در گوشه دال‌ها شکل می‌گیرند سپس با گذر زمان در لبه درزهای عرضی حفرات شکل می‌گیرند. در نهایت در چهار طرف دال‌ها حفرات بوجود می‌آیند. ناحیه حفره‌ای در جلوی دال بزرگتر از عقب دال می‌باشد (Li., Guoxin, 2017).

نتایج تحقیقی در سال ۲۰۱۸ نشان داد که بتن مگر صلب (RLC)^{۱۲} نتیجه بهتری را در مقایسه با بتن مگر خشک و بتن مگر نیمه صلب در مقاومت و استحکام نشان داد. همچنین بتن مگر صلب نتیجه خوبی در مقابله با تشکیل حفرات و جلوگیری از پامپینگ داشت (Wen, Zhu, Zhu, 2017). زکائی و همکاران با استفاده از نرم‌افزار آباکوس پارامترهای رویه‌های ساده

شدن مصالح ریزدانه در زیر دال دسترسی در نتیجه حرکت افقی این مصالح از دال عقب^{۱۰} به سمت دال دسترسی^{۱۱} و پله‌ای شدن مسیر راه یا فرودگاه (Dong et al, 2020, Kermani, et al, 2018) و آسیب دیدگی بخش آب بندی درزها و انباشت مواد تراکم ناپذیر در میان درزها و جلوگیری از منبسط شدن که ممکن است به کماتش و خوردشدگی دال منجر شود اشاره نمود (Tosti, Benedetto, 2012).

پدیده پامپینگ هم در روسازی‌های انعطاف‌پذیر و هم در روسازی‌های صلب بوجود می‌آید (شکل ۱). در روسازی‌های انعطاف پذیر حرکت ذرات ریز دانه بستر تحت بارهای سیکلی^{۱۳} به سمت لایه اساس را پامپینگ نامند. اما در روسازی‌های صلب پدیده پامپینگ پیچیده‌تر از روسازی‌های انعطاف پذیر می‌باشد که به صورت جابه‌جایی عمودی^{۱۴} مواد ریزدانه خاک بستر به سمت لایه اساس (جابه‌جایی عمودی) و باز توزیع و تغییر مکان ذرات خاک (جابه‌جایی افقی)^{۱۵} لایه اساس تعریف می‌شود. جابه‌جایی افقی مواد ریزدانه حرکتی خلاف جهت حرکت ترافیک دارد (Li et al, 2020).



شکل ۱. مکانیزم شروع و گسترش پدیده پامپینگ در اثر بار

سایکلک چرخ‌ها

پژوهش و تحقیقات زیادی در مورد پدیده پامپینگ، مکانیزم بوجود آمدن آن و راه‌های کنترل و پیشگیری از آن صورت گرفته است. نتایج تحقیق بخش و دیگر همکارانش که در سال ۲۰۱۴ در مورد تنش‌های طولی و عرضی در وسط دال رویه بیانگر نتایج محافظه کارانه نرم‌افزار آباکوس^{۱۶} نسبت به نرم‌افزار RPAS می‌باشد به گونه‌ای که نرم‌افزار آباکوس تنش‌های طولی را ۲۴ درصد و تنش‌های عرضی را ۱۵ درصد بیشتر نسبت به نرم‌افزار

تعیین تنش و کرنش در گوشه دال نیز استفاده شد. در مدل‌سازی از نرم‌افزار آباکوس استفاده شد. از دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی بتنی راه‌ها (ضابطه شماره ۷۳۱) جهت دسترسی به اطلاعات کلی و مرجع بعضی از پارامترها کمک گرفته شده است (Instructions for designing, implementing and maintaining concrete pavements, 2018).

در روش طراحی روسازی به روش PCA دو مکانیزم خستگی^{۱۵} و فرسایش^{۱۶} (جابجایی) در نظر گرفته می‌شود. با انجام تحلیل خستگی مشخص می‌شود که روسازی بتنی در اثر خستگی چه زمانی از وضعیت خدمت دهی خارج می‌شود و در تحلیل فرسایش تحمل روسازی بتنی در برابر وقوع خرابی فرسایش پی (زیر اساس یا بستر) مکنندگی پامپینگ و یا پلکانی شدن بررسی می‌شود (Sangiorgi et al, 2018). در تحلیل خستگی بر اساس تنش خمشی رویه بتنی بحرانی‌ترین حالت در موقعی روی می‌دهد که چرخهای کامیون در لبه یا نزدیک لبه و در نیمه وسطی دال قرار می‌گیرند. در تحلیل فرسایش (جابجایی) که عواملی همچون مکش پامپینگ و پلکانی شدن درزها مورد توجه قرار می‌گیرند، تغییر شکل (جابجایی) روسازی عامل تعیین کننده است نه تنشهای خمشی. بحرانی‌ترین حالت در طراحی فرسایش زمانی روی می‌دهد که بار محوری در محل درز و چرخ‌های آن در گوشه یا نزدیک گوشه قرار دارند. در این وضعیت فاصله درزهای عرضی تأثیر چندانی روی مقدار جابجایی در گوشه ندارند ولی نوع مکانیزم انتقال بار اثر تعیین کننده خواهد داشت.

در این پژوهش با مدل‌سازی یک دال رویه بتنی راه با بارگذاری مشخص و ناحیه بارگذاری در گوشه دال (طبق تحلیل فرسایش PCA) در دو حالت دال ساده و دال با زائده با دو نوع بارگذاری استاتیکی (شبه استاتیک) و بارگذاری دینامیکی، مقدار w (جابجایی در راستای قائم دال) که فاکتور اصلی خرابی ناشی از فرسایش است با یکدیگر مقایسه شده و تأثیر زائده و نوع بارگذاری برای خرابی ناشی از فرسایش و همچنین کرنش‌ها فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال چهاردهم / شماره دوم (۵۵) / زمستان ۱۴۰۱

درزدار را مورد مطالعه قرار دادند. آنها با مدل‌سازی این رویه در نرم‌افزار تنش‌ها و کرنش‌ها را در چهار نقطه از دال رویه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد قفل و بست سنگدانه‌ای، کرنش افقی را در پایین دال در درزهای عرضی افزایش داد (Zokaei, Fakhri, Rahiminezhad, 2017). کی‌منش و همکاران با تحقیقی بر روی عملکرد دال بارها در رویه‌های بتن سیمانی راه‌ها با استفاده از مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس بر چگونگی تأثیر دال بارها بر انتقال بار در درزها پرداختند. نتایج نشان داد که ضریب انتقال بار هنگامی که فاصله دال بارها ۳۰۰ میلی‌متر بود در حدود ۱/۵ درصد، ۳/۶ درصد، ۶/۸ درصد، و ۱۵ درصد بزرگتر از زمانی بود که فواصل دال بارها ۵۰، ۶۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰ میلی‌متر بود (Keymanesh Mirshekarian, Shahriari, Pirhadi, 2018). مطالعات آگوری نشان داده که تنش‌های قائم وارد بر روسازی بر اثر بارهای استاتیکی^{۱۳} بیشتر از اثر بارهای دینامیکی^{۱۴} می‌باشد (Aguirre, 2020).

تحلیل نتایج حسنی و همکاران نشان می‌دهد که هم در روش تحلیل و هم در روشهای عددی با افزایش ضخامت دال، تغییرات تنش و تغییر شکل کم شده است و با افزایش مقاومت بستر، تغییرات تنش و تغییر شکل ناچیز بوده است (Hasani, shafipour, mirshekarian 2016). در پژوهش توسط پورلنبر و شکرچی زاده به بررسی دو روش انتقال بار یعنی قفل و بست سنگدانه‌ای و میلگردهای دال پرداختند. انتقال مؤثر بار در درزها به طور قابل ملاحظه‌ای مقدار تنش‌ها و تغییر شکلها را در لبه روسازی کاهش می‌دهد و در نتیجه منجر به کاهش یا ممانعت از خرابیهای نظیر پلکانی شدن پامپینگ، شکست گوشه و ناهمواری ایجاد شده در اثر این خرابی‌ها می‌شود (Hossein, Purlenbar, Shekarchizadeh, 2017).

۳. روش انجام تحقیق

در این تحقیق برای نیل به اهداف مورد نظر، ضوابط کلی از روش PCA اقتباس شده است. همچنین از روابط و سترگارد در

بررسی تاثیر المان سازه‌ای عمود بر صفحه دال بر جلوگیری از خرابی ناشی از پدیده پامپینگ در رویه‌های بتنی راه

جدول ۱. ابعاد مدل استفاده شده در نرم‌افزار

نوع لایه	طول (m)	عرض (m)	ضخامت (m)
رویه بتنی	۵	۳/۶۵	۰/۲
خاک بستر متراکم	۵	۳/۶۵	۲

جدول ۲. مشخصات مصالح در حالت الاستیک بارگذاری استاتیک

نوع لایه	مدل الاستیسیته (E)	ضریب پواسون (U)	وزن مخصوص (ρ)
رویه بتنی	۲۸ GPA	۰/۱۵	۲۴۰۰ kg/m ³
خاک بستر متراکم	۶۰ MPA	۰/۳۵	۱۹۰۰ kg/m ³

جدول ۳. مشخصات مصالح رویه بتنی در حالت پلاستیک - بارگذاری دینامیک

مدول الاستیسیته (E)	ضریب پواسون (U)	وزن مخصوص
۲۸ GPA	۰/۱۵	۲۴۰۰ Kg/m ²

جدول ۴. مشخصات مصالح خاک بستر در حالت پلاستیک

مدول الاستیسیته (E)	ضریب پواسون (U)	وزن مخصوص (ρ)	زاویه اصطکاک داخلی (φ)	چسبندگی (C)
۶۰ MPA	۰/۳۵	۱۹۰۰ kg/m ³	۵°	۲۰ KN/m ²

۲-۳ مقادیر بار وارده و فاصله بین سطوح بارگذاری

در این تحقیق مقدار بار یک محور زوج تاندوم که برابر با KN در ۲۰۰ تعریف شده است بر چهار مستطیل به ابعاد ۳۰×۴۰ سانتی متر وارد شده است. بار وارده در هر دو حالت بارگذاری دینامیکی و استاتیکی بر هر مستطیل ۵۰ KN تعریف شده است. فاصله مرکز به مرکز هر محور ۱۱۰ سانتی‌متر و فاصله مرکز تا مرکز هر زوج تاپر در دو طرف یک محور ۲۰۰ سانتی‌متر تعریف شده است. ابعاد زائده عبارتست از مقطع ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و

(جابجایی) خاک بستر زیر دال در چهار حالت بالا بررسی می‌شود.

در بارگذاری استاتیکی مشخصات مصالح دال رویه بتنی و پی (خاک لایه بستر) هر دو الاستیک در نظر گرفته شده است ولی در بارگذاری دینامیکی مشخصات مصالح دال بتنی الاستیک و مشخصات مصالح پی (خاک لایه بستر) پلاستیک در نظر گرفته شده است.

۱-۳ آنالیز وسترگارد

وسترگارد در سال ۱۹۲۶ روابطی را برای تعیین تنش در داخل دال زیر یک بار دایره‌ای به شعاع a و همچنین روابطی برای تغییر شکل (جابجایی) صفحه دال در سه حالت: بارگذاری در وسط دال، بارگذاری در لبه دال و بارگذاری در گوشه دال ارائه کرد.

هدف اصلی از مدل‌سازی این تحقیق در نرم‌افزار آباکوس تعیین مقدار جابجایی گوشه دال تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی می‌باشد (Al-Ghafri, Javid, 2018). اهداف دیگری نیز که در بیان جابجایی خاک زیر دال موثر بودند نیز مورد توجه قرار گرفت از جمله جابجایی خاک در راستای موازی مسیر راه و جابجایی خاک در جهت عمود بر راستای مسیر راه. محل قرارگیری سطح بارگذاری مطابق بار بحرانی ذکر شده در PCA و دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی بتنی راه‌ها تعبیه گردید. برای تبیین کامل‌تر موضوع مورد تحقیق مدل‌سازی هم با بار استاتیکی و هم بار دینامیکی انجام گرفت. ابعاد مدل به شرح جدول ۱ می‌باشد. همچنین مشخصات مصالح در دو حالت الف: حالت الاستیک-بارگذاری استاتیک، ب: حالت پلاستیک-بارگذاری دینامیک طبق جدول ۲ تا ۴ می‌باشد. دیگر مشخصات مدل به شرح زیر است:

- ضریب اصطکاک بین دال و خاک ۰/۱ می‌باشد.
- دال از چهار وجه جانبی غیر مقید و از پایین تماس سطح به سطح با خاک تعریف شده است.
- خاک از چهار وجه جانبی غیر مقید، از بالا تماس سطح به سطح با دال بتنی و از پایین کاملاً مقید تعریف شده است.

گوشه دال می‌باشد. با استفاده از روابط PCA و با توجه به نشست گوشه دال هم می‌توان تعداد تکرار مجاز بار و هم درصد خرابی ناشی از فرسایش را بدست آورد. در این تحقیق علاوه بر محاسبه دو عامل فوق و مقایسه آن در دال ساده و دال زائده‌دار، در تحلیل دینامیکی جابجایی در راستای موازی مسیر و عمود بر مسیر در خاک هم مورد توجه قرار می‌گیرد. برای حل این مسئله در حالت استاتیک روش تحلیل استاتیک و حلگر استاندارد و در حالت بار دینامیکی روش تحلیل دینامیک و حلگر استاندارد^{۱۷} می‌باشد.

۴-۱ بررسی تعداد تکرار مجاز بار و درصد خرابی

ناشی از فرسایش

در این تحقیق با این فرض که تکرار بار پیش‌بینی شده (ni) برابر $10^6 \times 1$ و روسازی فاقد شانه بتنی و فاقد زیر اساس تثبیت شده است، نتایج تحلیل و بررسی شده‌اند. جدول ۵ و اشکال ۴ و ۵، تغییر گوشه دال و همچنین تعداد تکرار بار مجاز و خرابی ناشی از فرسایش طبق روابط PCA را نشان می‌دهد. به دلیل تغییر شکل دال در بارگذاری استاتیک بیشتر از بارگذاری دینامیک است برای تعیین مقادیر جدول ۵ از نتایج تحلیل استاتیک استفاده شده است. می‌توان نتیجه گرفت جهت بررسی حرکت خاک چه در جهت موازی مسیر راه و چه در جهت عمود بر مسیر از تحلیل دینامیک که خاک با فرض داشتن خاصیت پلاستیسیته مدل شده بود، استفاده شده است. در جهت موازی مسیر اگر چه مقدار جابجایی افقی خاک تفاوت محسوسی در دو مدل نداشته ولی در لایه‌های بالاتر خاک این تفاوت کاملاً محسوس می‌باشد به گونه‌ای که در ضخامت بیست سانتیمتری لایه خاک زیر دال به حد نهائی خود رسیده است. هر چه به سمت لایه‌های پائین‌تر خاک حرکت کنیم اثر زائده بر جلوگیری از حرکت افقی خاک در جهت موازی مسیر کاهش می‌یابد.

طول زائده‌های طولی (جانبی) ۱۵۰ سانتیمتر تعریف گردیده که با لچکی 45° به صفحه دال اصلی متصل شده است.

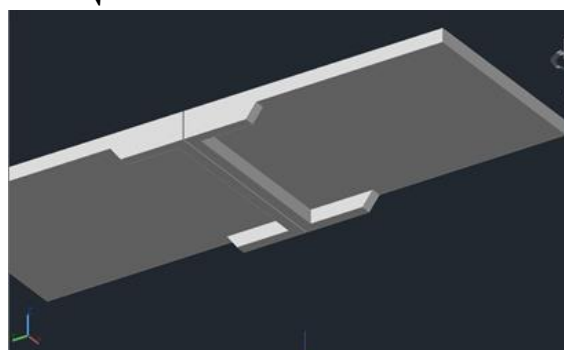
۳-۳ ابعاد سطح بارگذاری

وسترگارد سطح تماس (سطح بارگذاری) را در روابط خود به صورت دایره تعریف کرد ولی در واقعیت شعاع سطح تماس به صورت بیضی می‌باشد. در روش تحلیل انجمن سیمان پرتلند آمریکا (PCA) از مستطیل معادل بارگذاری استفاده شده است (شکل‌های ۳ و ۲). ابعاد مستطیل بارگذاری $L \times 0.6L$ است (۸۷۱۲/۰ می‌باشد که L از رابطه ۱ مشخص می‌شود):

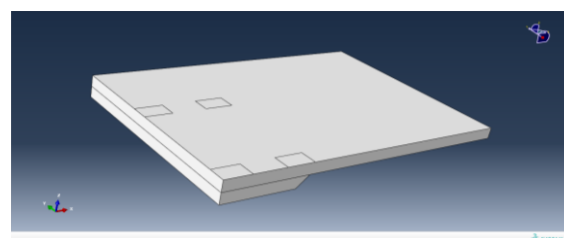
$$A = 2 \times \left[\frac{1}{2} \pi (0.3L)^2 \right] + (0.4L \times 0.6L) \quad (1)$$

$$P_d = A \cdot q$$

$$L = \sqrt{\frac{A}{0.5227}}$$



شکل ۲. پرسپکتیو مدل رویه بتنی مورد استفاده در این تحقیق



شکل ۳. نحوه قرارگیری مستطیل‌های بارگذاری شده روی دال

رویه راه

۴. نتایج

عامل اصلی در تحلیل فرسایش در روش انجمن سیمان پرتلند (PCA) تغییر شکل (جابجایی) دال بتنی رویه راه بخصوص در

بررسی تاثیر المان سازه‌ای عمود بر صفحه دال بر جلوگیری از خرابی ناشی از پدیده پامپینگ در رویه‌های بتنی راه

جدول ۵. مقایسه و تحلیل نتایج در جابجایی گوشه دال ساده و

دال زائده‌دار

نوع دال	تغییر شکل گوشه دال (mm)	تعداد تکرار بار مجاز (Ni)	خرابی ناشی از فرسایش (درصد)
ساده	(۱/۵۰)	۱۳۱/۸۲۵	۴۵/۵۰
زائده‌دار	(۰/۹۸)	۳/۵۴۸/۱۳۳	۱/۷۰

۲-۴ بررسی تنش در دال بتنی رویه

بررسی کانتورهای مربوط به تنش در تحلیل استاتیکی بیانگر این موضوع است که حداکثر تنش در پایین زائده و نیز در قسمت تلاقی زائده طولی و عرضی رخ می‌دهد که با تعبیه ماهیچه بتنی و آرماتورگذاری زائده و انتهای دال، می‌توان از گسیختگی ناشی از بارگذاری در این قسمت‌ها جلوگیری کرد. نتایج نشان می‌دهد مقدار تنش‌های بوجود آمده در دال زائده‌دار بیشتر از دال ساده می‌باشد (شکل‌های ۸-۶). می‌توان نتیجه گرفت که:

- افزودن این زائده بر زیر دال باعث افزایش تعداد تکرار بار مجاز و کاهش درصد خرابی ناشی از فرسایش شد و مقادیر این دو پارامتر تفاوت فاحشی با مقادیر بدست آمده از دال بدون زائده داشتند. از آنجا که در روش تحلیل خستگی PCA تعداد تکرار بار مجاز و همچنین درصد خرابی ناشی از فرسایش به جابجایی قائم دال بتنی بستگی دارد، با تحلیل مدل زائده دار و مدل دال ساده تفاوت بیش از ۵۰ درصدی در مقدار جابجایی قائم دال رویه راه مشاهده می‌شود. همین مقدار تفاوت در جابجایی قائم دال، اثر قابل ملاحظه‌ای بر نتایج تعداد تکرار بار مجاز و اثر به مراتب بالاتری بر خرابی جمعی ناشی از فرسایش داشته است.

- مقادیر تنش در دال زائده‌دار، بخصوص در زیر زائده بیشتر از مقادیر تنش در دال بدون زائده بود. به دلیل تغییر ناگهانی ضخامت دال در محل اتصال زائده به دال اصلی، تمرکز تنش کششی در محل اتصال زائده به دال بخصوص در گوشه آن و

همچنین تمرکز تنش کششی در قسمت پایین زائده مشاهده می‌شود.

- حداکثر تنش اصلی در حالت بارگذاری استاتیک بیشتر از حداکثر مقدار تنش اصلی در حالت بارگذاری دینامیک می‌باشد. تفاوت مقدار تنش در دال زائده دار نسبت به دال ساده به مقدار زیادی افزایش داشته است.

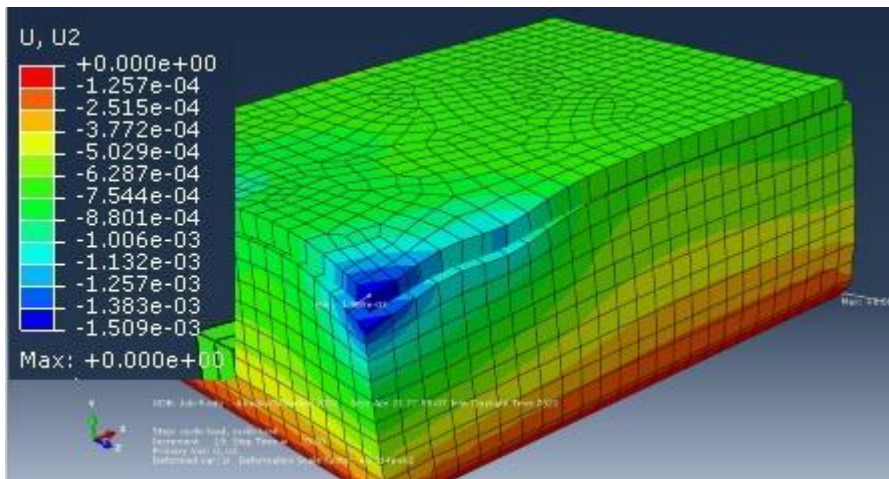
۳-۴ بررسی جابجایی خاک در جهت موازی مسیر

برای بررسی جابجایی خاک از تحلیل دینامیک استفاده شده است. مشخصات بارگذاری دینامیکی به شرح جدول ۶ است. نتایج تحلیل بیانگر این است که زائده تأثیر مثبت بر جلوگیری از جابجایی افقی خاک در جهت موازی مسیر حرکت و در نزدیکی دال رویه دارد و زائده نقش بازدارنده در جابجایی افقی خاک در نزدیکی دال دارد. این بازدارندگی در قسمتی از خاک بستر (اساس) که در پشت زائده محبوس شده است محسوس تر است (شکل‌های ۹ و ۱۰). می‌توان نتیجه گرفت که:

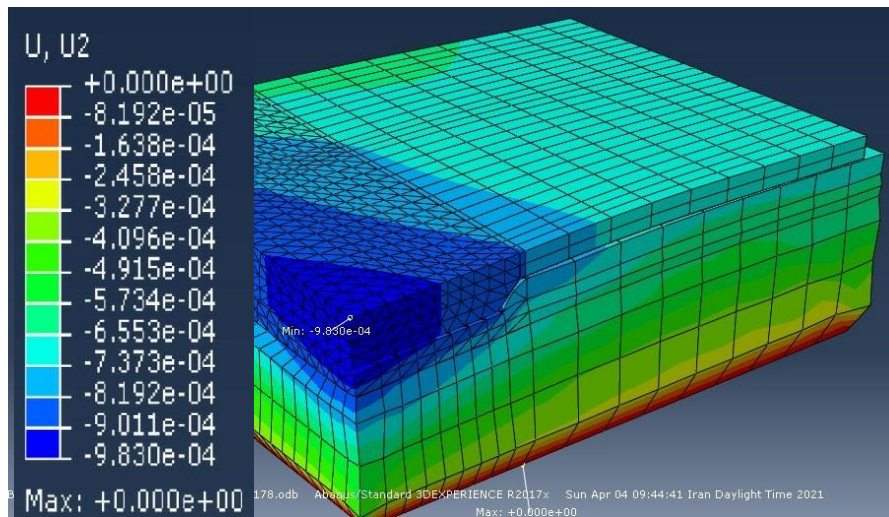
- با تحلیل دینامیکی و بررسی جابجایی خاک زیر دال، تأثیر کاهشی این زائده بر جابجایی افقی خاک در جهت موازی و عمود بر مسیر حرکت مشهود بود. حداکثر مقدار جابجایی خاک در راستای موازی مسیر راه در مدل دال ساده مقدار بیشتری نسبت به دال زائده دار از خود نشان داده است.

جدول ۶. مشخصات بارگذاری دینامیکی

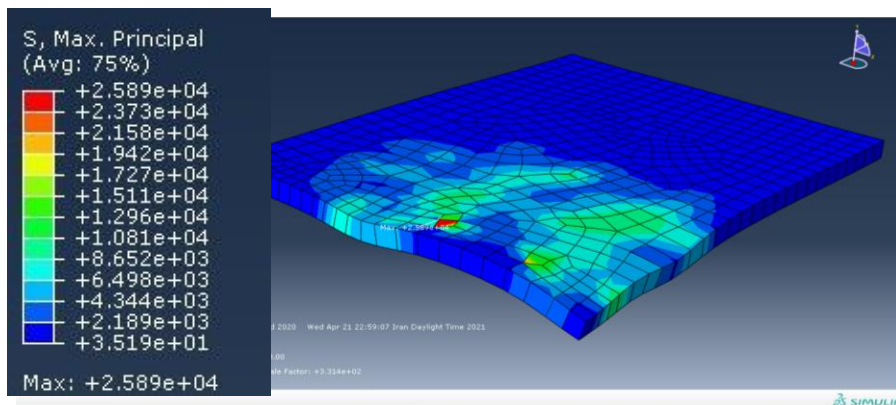
مدت زمان	تعداد دوره	نوع تناوب	مقدار بار (N)	سیکل بارگذاری
کل بارگذاری (sec)	۶۰	تناوب (sec)	۵۰۰۰	۴*۵۰۰۰
۳۰۰۰۰۰	tabular			



شکل ۴. جابجایی قائم در مدل دال ساده

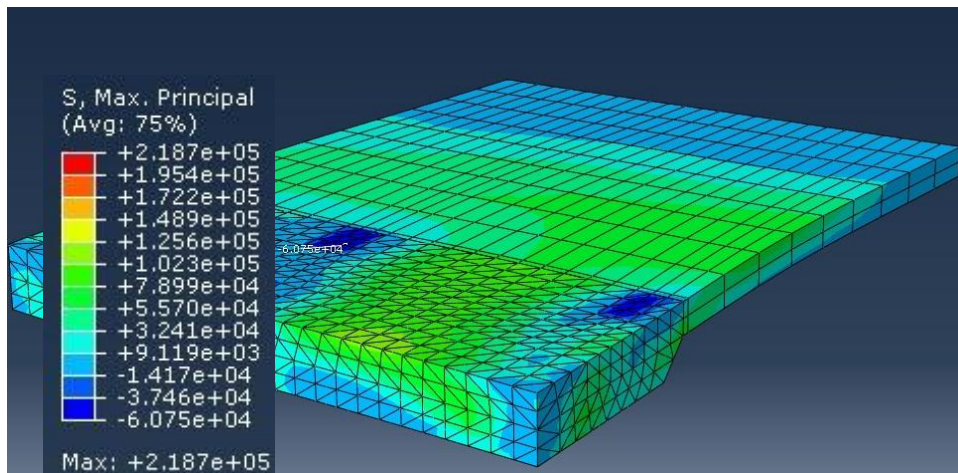


شکل ۵. جابجایی قائم در مدل دال زائده دار

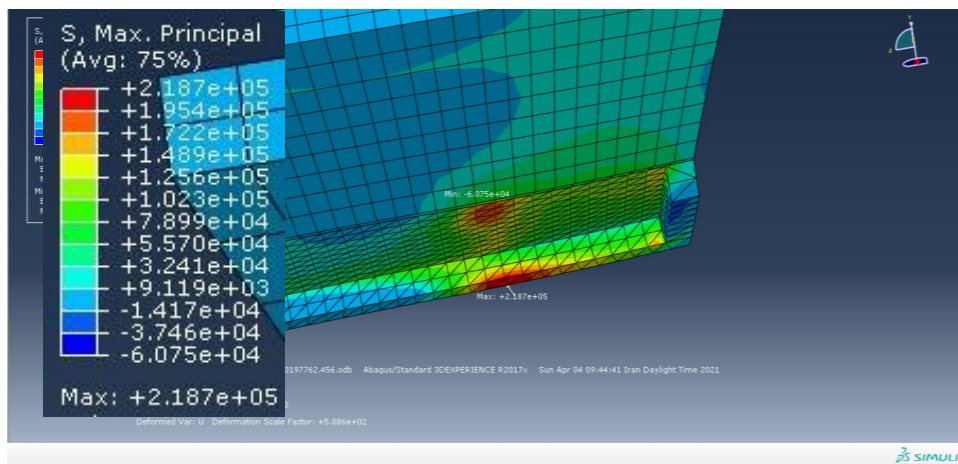


شکل ۶. تنش اصلی در دال بتنی رویه راه مدل ساده

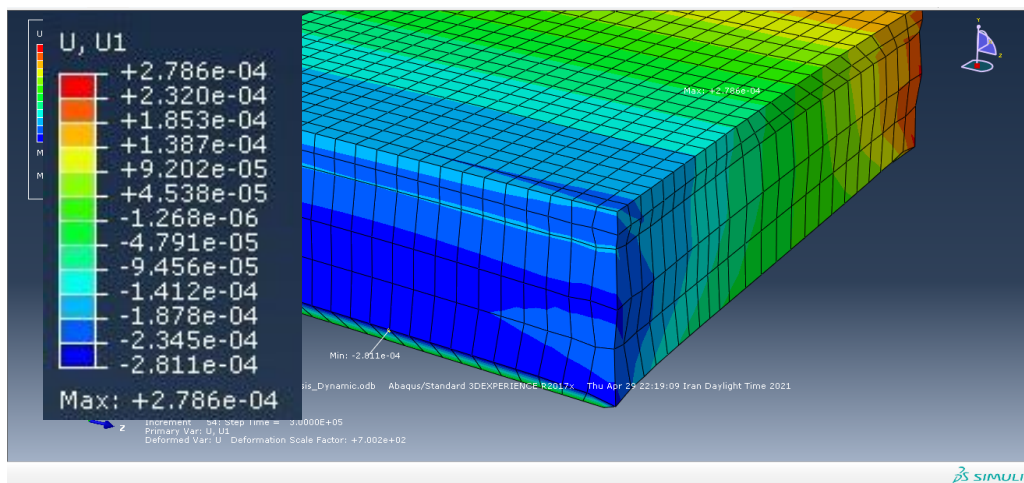
بررسی تاثیر المان سازه‌ای عمود بر صفحه دال بر جلوگیری از خرابی ناشی از پدیده پامپینگ در رویه‌های بتنی راه



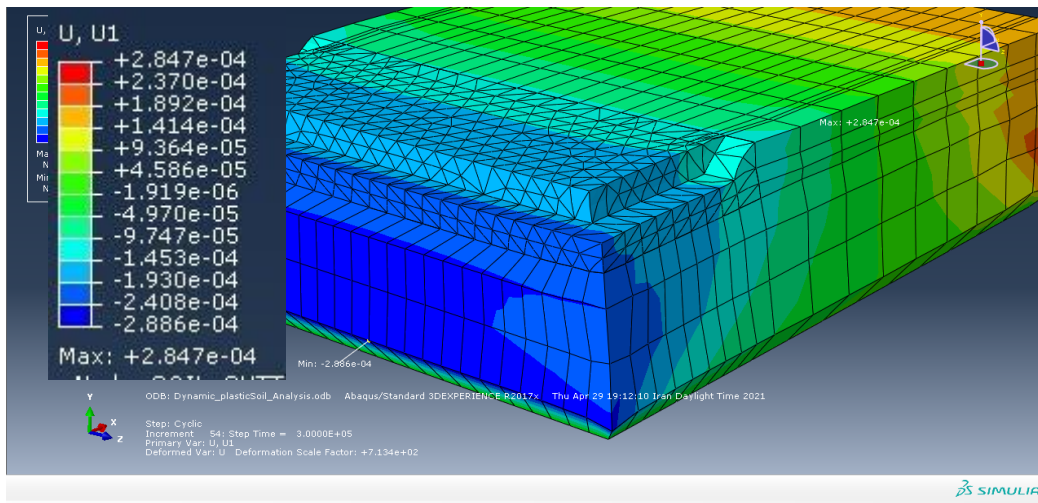
شکل ۷. تنش اصلی در دال بتنی رویه راه مدل زائده دار



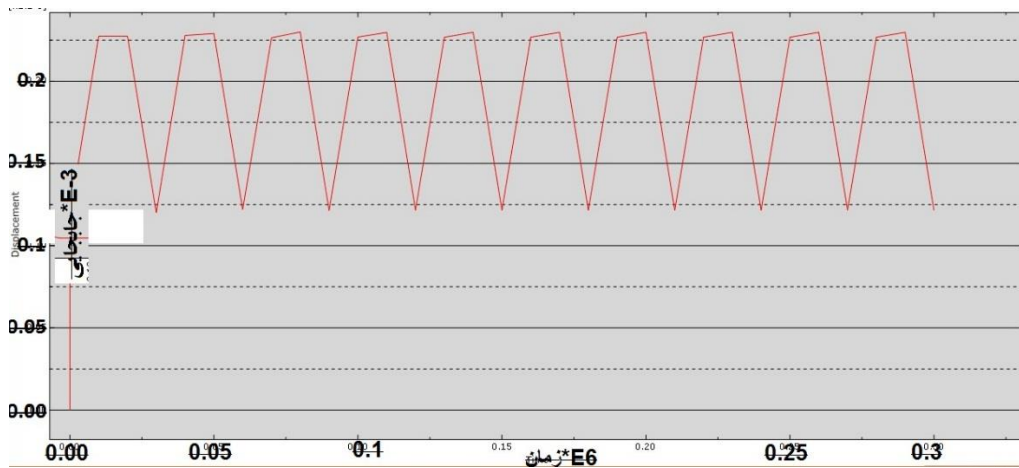
شکل ۸. تنش اصلی در دال بتنی رویه راه مدل زائده‌دار



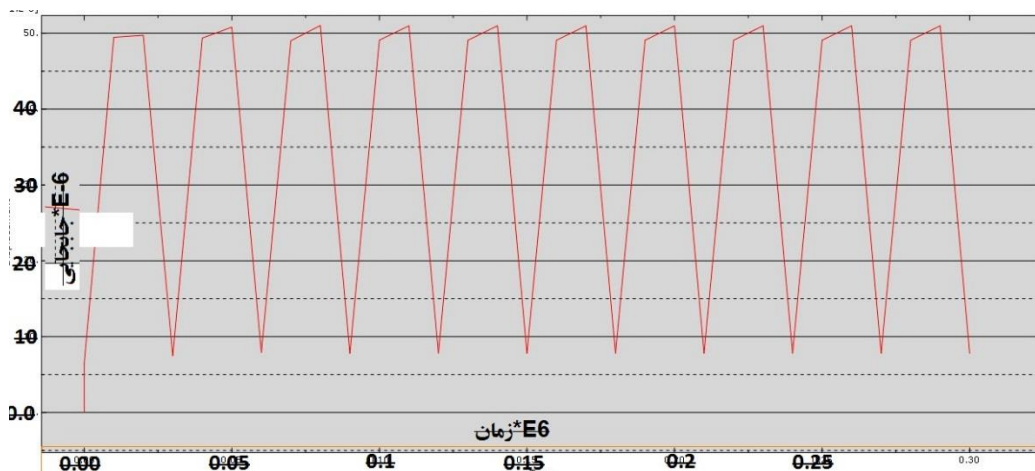
شکل ۹. جابجایی افقی خاک در جهت موازی با مسیر (دال ساده)



شکل ۱۰. جابجایی افقی خاک در جهت موازی با مسیر (دال زائده دار)

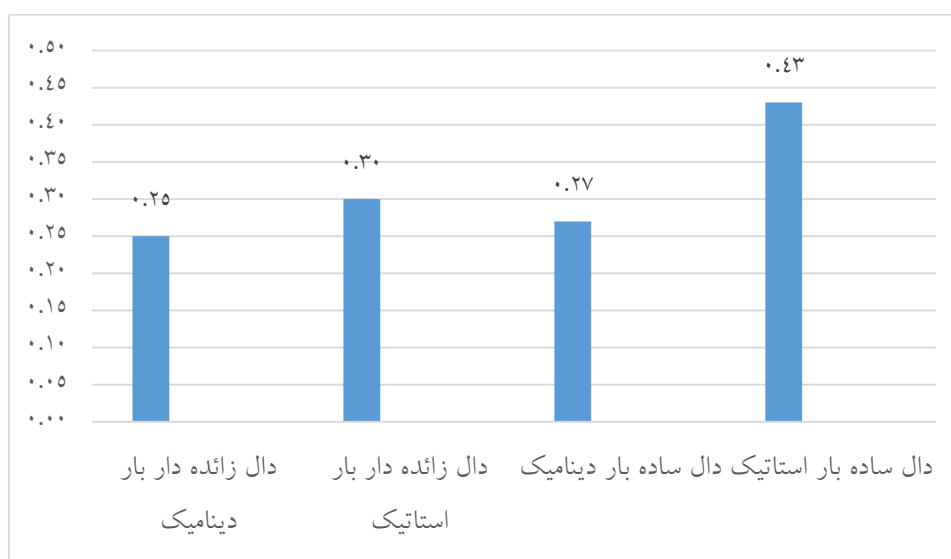


شکل ۱۱. جابجایی در گوشه خاک عمود بر مسیر حرکت (دال ساده)

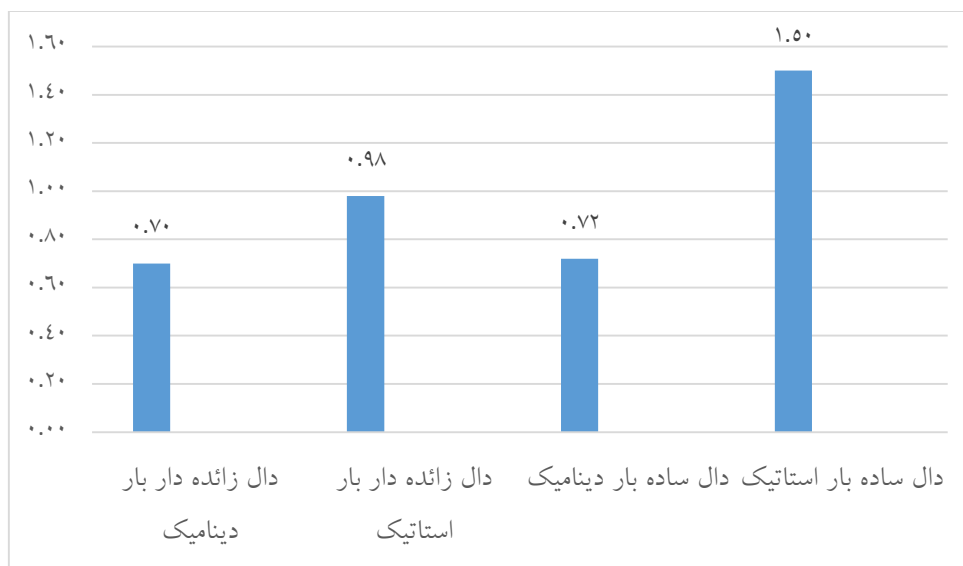


شکل ۱۲. جابجایی در گوشه خاک عمود بر مسیر حرکت (دال زائده دار)

بررسی تاثیر المان سازه‌ای عمود بر صفحه دال بر جلوگیری از خرابی ناشی از پدیده پامپینگ در رویه‌های بتنی راه



شکل ۱۳. حداکثر مقدار جابجایی خاک در راستای عمود بر مسیر راه (میلیمتر)



شکل ۱۴. حداکثر جابجایی قائم دال بتنی رویه راه (میلیمتر)

۴-۴ بررسی جابجایی خاک در جهت عمود بر مسیر حرکت

حرکت

نتایج تحلیل بیانگر تأثیر مثبت زائده بر جلوگیری از جابجایی افقی خاک لایه بستر (اساس) در جهت عمود بر مسیر حرکت می‌باشد و این بازدارندگی هرچه به سمت رویه بتنی و سطوح بالاتر خاک بستر نزدیک می‌شویم محسوس‌تر است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). می‌توان نتیجه گرفت که:

- با اضافه نمودن یک زائده از جنس دال رویه که عمود بر صفحه دال می‌باشد و موازی با درز و نیز در امتداد طولی دال می‌باشد، جابجایی قائم دال در لبه درز و گوشه‌ها به مقدار قابل توجهی کاهش یافت (شکل ۱۳).
- حداکثر جابجایی قائم دال بتنی در مدل دال ساده و بارگذاری استاتیک بیشترین مقدار را داشته است، سپس مقدار جابجایی قائم دال رویه راه در دال زائده دار در حالت بارگذاری استاتیک مقدار بیشتری را دارا می‌باشد (شکل ۱۴).

- مقدار نشست های (جابجایی) قائم دال ساده و دال زائده دار در حالت بارگذاری دینامیک تفاوت محسوسی با هم نداشته اند.

۵. نتیجه گیری

پدیده پامپینگ یک پدیده مخرب در رویه های بتنی درزدار می باشد که به مرور زمان با فرسایش و جابجایی خاک زیر دال بخصوص در مجاورت درزها، موجب گسیختگی و از دست رفتن کارایی رویه بتنی راه می شود. راه حل های زیادی برای کنترل و کاهش این پدیده مخرب وجود دارد که اغلب پرهزینه و زمانبر هستند. در این پژوهش سعی شده است با طرح یک المان بتنی متصل و عمود بر صفحه دال اصلی، اثر آن بر کاهش پدیده پامپینگ بررسی شود و نتایج دال ساده و دال زائده دار رویه راه با هم مقایسه شود. ۱- کاهش آثار خرابی ناشی از پامپینگ و مکش با استفاده از یک المان بتنی و همجنس از مصالح دال ۲- افزایش سختی خمشی دال در انتهای آن با افزایش مدول مقطع دال رویه بتنی، از نتایج استفاده از این المان است.

با تجزیه و تحلیل مدل سه بعدی روسازی بتنی در نرم افزار آباکوس و بدست آوردن نمودارها و مقادیر تنش ها و جابجایی ها در دال رویه و خاک تکیه گاه دال می توان نتیجه گرفت:

- در بررسی تأثیر زائده بر جلوگیری از حرکت افقی خاک عمود بر مسیر، تفاوت خیلی بیشتری در مقادیر جابجایی خاک بدست آمده است. همانند نتایج جابجایی افقی خاک در جهت موازی مسیر، اثر زائده بر جابجایی افقی خاک عمود بر مسیر نیز هر چه به سمت لایه های پایین تر خاک بستر حرکت کنیم کاهش پیدا می کند.

- اثر زائده بر جلوگیری از جابجایی افقی خاک عمود بر مسیر راه بسیار محسوس تر از اثر زائده بر جلوگیری از حرکت افقی خاک موازی مسیر راه می باشد، به گونه ای که زائده دال بتنی علاوه بر جلوگیری از حرکت افقی خاک پشت زائده، بر لایه های زیرین نیز اثر داشته و حرکت افقی خاک در این لایه ها را هم به خوبی مهار نموده است.

- اثر جلوگیری کننده زائده بر حرکت افقی خاک عمود بر مسیر راه به طور نسبتاً محسوسی در طول مدل مشاهده می شود. با بررسی نتایج ناشی از جابجایی خاک، تأثیر زائده بر حداکثر مقدار جابجایی بی تأثیر می باشد.

بنابراین با ساخت و اجرای دال های زائده دار بتوان تا حد زیادی تأثیر مخرب پدیده پامپینگ و مکش را در درزهای عرضی و طولی کاهش داده شد. طراحی این زائده به گونه ای صورت گرفته است که از حرکت خاک در دو جهت عمود برهم (موازی مسیر و عمود بر مسیر) جلوگیری کند. از آنجایی که روال پیشرفت حفرة زایی در زیر دال از گوشه آن شروع شده و سپس در امتداد درز عرضی گسترش می یابد، طراحی این زائده نیز به صورتی است که اثر حفرة زایی را در دو ناحیه فوق الذکر کاهش می دهد. با توجه به برخورد دو زائده به همدیگر در گوشه دال که آسیب پذیرترین قسمت یک دال رویه بتنی درز دار محسوب می شود باعث افزایش سختی دال و افزایش مقاومت خمشی در این ناحیه از دال رویه می شود.

- افزودن این زائده علاوه بر افزایش سختی خمشی دال، نقش یک مانع را در جلوگیری از جابجایی افقی و تا حد کمی جابجایی قائم خاک و مقابله با فشار هیدرودینامیکی خاک اشباع زیر دال ایفا می کند.

۶. پی نوشت

1. Pumping
2. Structural Element
3. Cumulative Damage
4. American Concrete Pavement Association(ACPA)
5. Leave Slab
6. Approach Slab
7. Cyclice Loads
8. Vertical Migration
9. Horizontal Migration
10. ABAQUS
11. Geotextiles
12. Rigid Lean Concrete
13. Static Loads

-Bakhsh, K. N., and Zollinger, D. (2014) "Faulting Prediction Model for Design of Concrete Pavement Structures" *Pavement Materials, Structures, and Performance*. pp. 327- 342.

- Cai, Z.; LI, S.; Xu, X.; Wu, C. (2020) "Comparative study on construction technology of airport road surface and cement concrete pavement ". *Highw. Eng*, 45, pp. 167–174.

-Chawla, S., & Shahu, J. T. (2016) "Reinforcement and mud-pumping benefits of geosynthetics in railway tracks: Numerical analysis." *Geotextiles and Geomembranes*, 44(3), pp.344-357

-Dong W, Liu C, Bao X, Xiang T, Chen D, (2020) "Advances in the Deformation and Failure of Concrete Pavement under Coupling Action of Moisture, Temperature and Wheel Load ", *Materials*, 13, 5530; doi:10.3390/ma13235530

-Gharapazouki, M., (2019) Laboratory of the effect of fiber microsilica gel on the bearing capacity and thermal capacity of roller concrete pavement, Arian Institute of Higher Education, Faculty of Civil Engineering, Master Thesis, Supervisor: Rezvan Babagoli (in Persian).

-Gholizadeh, M., Aghayan, Iman. (2017) "3D Modeling of Slab Track to Study Track Frequency Response", *Transportation Infrastructure Engineering*, vol.3, No. 10. (In Persian). (DOI): 10.22075 / jtie.2017.10751.1198

-Hassani, A., Fakhri, M., Golmohammadi, A., (2010) "Technical analysis of software methods in the design of seamless unreinforced concrete pavement", *Journal of Concrete Research*, Third Year, No. 1, pp. 73-87 (in Persian).

-Hassani, A., Shafipour, Abuzar, Mirshkarian, M. (2016) "Study of the effect of design

14. Dynamic Loads
15. Fatigue
16. Erosion
17. implicit

۷. مراجع

-Abdi, A., and Yazdani, H. (2014) "Comparison of continuous reinforced concrete pavement design of Bronshahri road by AASHTO method with PCA method". *Conference on New Materials and Structures in Civil Engineering (in Persian)*.

-Agha. Janlu, K. (2017) "Investigation of the combined effect of polypropylene fibers on the mechanical properties of concrete pavement" *JPCP*, Master Thesis, Azad University, Zanjan Branch (in Persian).

-Aguirre, N, (2020) "RPAS: an enhanced finite element code for the mechanistic analysis of rigid pavements ", *Dissertation of university of texas El Paso*. https://scholarworks.utep.edu/open_etd/2918.

-Al-Ghafri, H.H., Javid M, (2018) "Comparative Analysis of Rigid Pavement Using Westergaard Method and Computer Program ", *Volume 2, No 2 - Serial Number 4*, pp. 19-30 DOI: 10.22115/SCCE.2018.110910.1040

-Alsaif, A.; Garcia, R.; Figueiredo, F.P.; Neocleous, K.; Christofe, A.; Guadagnini, M.; Pilakoutas, K. (2019) "Fatigue performance of flexible steel fibre reinforced rubberised concrete pavements". *Eng. Struct*, 193, pp. 170–183

-Ashuri, Z, Raesol vaezin, M., Ramazanpour, A. (2017) "Advantages and Disadvantages of Concrete Pavements", *The Second National Conference on Concrete Procedures in Tehran (in Persian)*.

Volume 18 No 6 pp. 352-363, DOI
<https://doi.org/10.3151/jact.18.352>

-Li, M.; Xu, W.; Wang, Y.J.; Tian, Q.; Liu, J.P. (2020) Shrinkage crack inhibiting of cast in situ tunnel concrete by double regulation on temperature and deformation of concrete at early age. *Constr. Build. Mater.*, 240, 117834

-Li, W., Guoxin, Z. (2017) "Cause analysis on the void under slabs of Cement concrete Pavement ", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 205, The 2nd International Conference on Materials Engineering and Nanotechnology 12–14 May 2017, Kuala Lumpur, Malaysia.

-Long, X.; Cai, L.; Li, W. (2019) RSM-based assessment of pavement concrete mechanical properties under joint action of corrosion, fatigue, and fiber content. *Constr. Build. Mater.*, 197, pp. 406–420

-Mateos, A.; Harvey, J.; Bolander, J.; Wu, R.; Paniagua, J.; Paniagua, F. (2020) "Structural response of concrete pavement slabs under hygrothermal actions ". *Constr. Build. Mater.*, 243, 118261.

-Sangiorgi C, Settini C, Tataranni P, Lantieri C, Adomako S, (2018) "Thermal Analysis of Asphalt Concrete Pavements Heated with Amorphous Metal Technology ", *Advances in Materials Science and Engineering*, (24): pp.1-8 .DOI: 10.1155/2018/6382874

-Shafabakhsh, Gh., Naderpour, H., Norouzi, R. (2011) Optimized ANN Algorithm for Analyzing the Road Rigid Pavements, *Transportation Engineering*, Volume 3, No. 1 Serial Number 1, pp. 43-54 (in Persian).

-Shamsi, H. (2014) "Analysis of longitudinal, angular and transverse cracks in concrete pavement (JPCP)"; the first national conference

parameters on the stress distribution of concrete pavements using analytical methods and finite element method", Department of Civil Engineering, Payame Noor University, North Tehran Branch (in Persian).

-Hossein Purlenbar, M., Shekarchizadeh, M. (2017) "Study of load transfer in transverse joints of concrete pavement", The Second National Conference on Concrete Procedures - Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran (In Persian).

-Instructions for designing, implementing and maintaining concrete pavements. (2018) Criterion No. 731 of the Country Program and Budget (in Persian).

-Kermani, B. Stoffels, S.M, Xiao, M, Qiu, T (2018) "Experimental Simulation and Quantification of Migration of Subgrade Soil into Subbase under Rigid Pavement Using Model Mobile Load Simulator ", *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, Volume 144 No 4. <https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000078>

-Keymanesh, M. Mirshekarian Babaki M, Shahriari N, pirhadi A, (2018) "Evaluation the performance of dowel in pec Pavement of roads using ABAQUS finite element software ", *international Journal of transportation engineering*, Volume 5, No 4: pp 349-365. DOI: 10.22119/IJTE.2018.47765

-Kumar, P., Reddy, Y. Harinath S, Sreenatha M, (2018) "Prevention of mud pumping in rigid Pavement base course due to change in moisture content along the joints ", *international of applied engineering research*. Volume 13, Number 7, pp. 198-202.

-Li H, Sun D, Wang Zh, Huang F, Yi Zh, Yang Zh, Zhang Y, (2020) "A Review on the Pumping Behavior of Modern Concrete " *Journal of Advanced Concrete Technology*,

on civil engineering, urban planning and sustainable development, Tehran (in Persian).

-Tosti. F, Benedetto, A. (2012) "Pavement pumping prediction using ground penetrating Radar ". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 53, 3, pp. 1044-1053. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.954>

-Wen L, Zhu G, Zhu B (2017) "Cause Analysis on the Void under Slabs of Cement Concrete Pavement ", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 205, 012011 [doi:10.1088/1757-899X/205/1/012011](https://doi.org/10.1088/1757-899X/205/1/012011)

-Xiaoa D, Wu Zh, (2018) "Longitudinal cracking of jointed plain concrete pavements in Louisiana: Field investigation and numerical simulation ", *International Journal of Pavement Research and Technology*, Volume 11, No 5, pp. 417-426

-Zhao, H.T.; Jiang, K.D.; Yang, R.; Tang, Y.M.; Liu, J.P. (2020) "Experimental and theoretical analysis on coupled effect of hydration, temperature and humidity in early-age cement-based materials". *Int. J. Heat Mass Transf*, 146, 118784

-Zhu, H.; Hu, Y.; Li, Q.B.; Ma, R. (2020) "Restrained cracking failure behavior of concrete due to temperature and shrinkage". *Constr. Build. Mater*, 244, 10

-Zokaei, M. Fakhri M, Rahiminezhad M, (2017) "Parametric study of jointed Plain concrete Pavement using finite element modeling", *Modern applied science Canadian Center of science and education*. DOI:10.5539/mas.v11n11p75.

