تحلیل دینامیکی خاکریزهای بلند راه‌آهن بهسازی شده با ریزشمع

حامد استوار
کارشناسی‌ارشد خاک و پی، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران
محمدرضا مطهری*
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
m-motahari@araku.ac.ir

چکیده:
یکی از مسائل مهم در مدیریت تعمیر و نگهداری خطوط ریلی، پایدارسازی بستر و خاکریز راه‌آهن تحت تاثیر بارهای بهره‌برداری و محیطی است. این موضوع به ویژه در خاکریزهای بلند متکی بر بسترهای سست و با ظرفیت باربری ناچیز و همچنین مستعد نشست از اهمیت زیادی برخوردار است. در بین روش‌های موجود جهت بهسازی مشخصات خاکریز و بستر در خطوط ریلی در حال بهره‌برداری، استفاده از ریزشمع جهت تثبیت خاکریز و بستر که موجب انسداد خط و قطع ترافیک نمی‌شود، ارجحیت بیشتری دارد. در مقاله حاضر با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS یک مطالعه پارامتریک بر روی خاکریزهای بلند تسلیح شده با ریزشمع با آرایش‌های مختلف در برابر بارهای عملیاتی، ریل، وزن دائم شبکه راه‌آهن و زمین‌لرزه‌های شدید انجام شده و آرایش بهینه ریزشمع‌ها برای تقویت خاکریز شبکه ریلی با بهره‌گیری از استاندارد بارگذاری LM71 مشخص گردیده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که عوامل مؤثر در طرح چیدمان ریزشمع‌ها به طور کلی شامل نحوه توزیع و مقدار بارهای گسترده و متمرکز، پارامترهای مقاومتی و ظرفیت باربری خاک، عمق نفوذ ریزشمع‌ها و مشخصات هندسی خاکریز می‌باشد. لازم به ذکر است که آرایش بهینه ریزشمع‌ها به منظور بهسازی خاکریزهای بلند بین پاشنه و $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{4}$ طول شیروانی می‌باشد و این امر موجب کاهش هزینه‌های تعمیر، نگهداری و نیز بهربرداری می‌شود.

کلید واژگان: ریزشمع ، بهسازی خاکریزهای راه آهن، ABAQUS، خطوط ریلی.

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

با گسترش روزافزون حجم جابه‌جایی‌ها و مبادلات اعم از جا به‌جایی‌های انسانی و کالایی، اهمیت خطوط ریلی بیش از پیش مشخص می‌شود. از آنجا که امروزه خطوط ریلی سهم سازنده‌ای در نبض اقتصادی هر کشوری دارد، پایداری و استفاده بهینه از زیر ساخت‌های این خطوط اهمیت زیادی می‌یابد. خاکریزهای راه آهن در واقع بستر گسترش ریل‌های قطار را فراهم کرده و از این رو مراحل طراحی و ساخت این خاکریزها ضوابط ویژه‌ای را می‌طلب و نیز با توجه به زیرسازی خطوط ریلی در ایمنی حمل و نقل، همچنین ناهمواری فراوان در پروفیل طولی مسیر پایدارسازی خاکریزهای بلند راه‌آهن از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است.

۲-تاریخچه و ادبیات فنی

اهمیت ویژه پایداری خاکریز راه‌آهن در تامین کیفیت خطوط برای رسیدن به استاندارد مورد نیاز به منظور حرکت ایمن و راحت قطارها می‌باشد. مسائل و مشکلات بستر راه‌آهن در مسیر خطوط موجود و یا جدید به طرق مختلف بروز می‌کند. از یک طرف در مسیرهای جدید، طراحی بستر تابع بارهای پیش‌بینی شده (بار محوری و تناژ خط)، نوع تراورس وضخامت بالاست می‌باشد. از طرف دیگر در مسیرهای موجود، سیاستهای جدید شبکه‌های راه‌آهن، سرعتهای بالاتر، بارهای محوری بیشتر، افزایش تنشهای بستر را به دنبال می‌آورد. در مسیرهای موجود سطح تحتانی زیر بالاست و سطح فوقانی بستر یک ناحیه فشرده و متراکم را تشکیل می دهند که باید تا حد امکان دستکاری گردد، همچنین امکان دستکاری در بستر نیز بسیار کم است. هر گونه دستکاری در بستر باید به سطوحی محدود شود که در آنها مشکلات خاص وجود دارد، و باید طوری برنامه ریزی گردد که تا حد ممکن در طی تعمیرات دوره‌ای خط انجام شود. تصمیم‌گیری بین تقویت و توسعه یا افزایش ضخامت لایه بالاست، باید از نظر فنی و اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد و تعیین آن از پیش،کار دشواری می‌باشد. تاریخچه ابداع ریزشمع‌ها به اوایل دهه پنجاه میلادی، زمانی که اروپا با خیل عظیمی از ساختمانهای در معرض خرابی ناشی از صدمات وارده در جنگ جهانی دوم روبرو بوده است، برمی‌گردد. در این دوره ابداع یک روش بهسازی بستر که علاوه بر کارایی و قابلیت اجرا در بین ساختمانهای تخریب شده، سریع و اقتصادی نیز باشد، بسیار ضروری بود. در آغاز استفاده از ریز شمع‌ها تنها در بهسازی بسترهای ضعیف ساختمان‌ها مورد توجه قرار داشت. لیکن رفته رفته و با توسعه و اجرای این روش در کشورهای مختلف، دامنه کاربرد آنها به دیگر عرصه‌های مهندسی ژئوتکنیک نظیر پایدارسازی شیب‌ها، مقابله با روانگرایی و ... نیز کشیده شد[۱]. در میان روش‌های متنوع بهسازی خاک به منظور پایدار سازی بستر خطوط ریلی که امکان اصلاح خطوط ریلی در حال بهره‌برداری را فراهم می‌آورند، می‌توان به استفاده از ستون‌های سنگی در بسترهای رسی و سیلیتی، روش اختلاط عمیق خاک، تزریق دوغاب با فشار بالا و همچنین استفاده از ریز شمع‌ها به صورت تکی و گروهی اشاره کرد. در بین مطالعات انجام شده، استفاده از ریزشمع‌ها جهت بهسازی در مطالعات و پروژه‌های راه‌آهن به منظور پایدار سازی بستر خاکریز در برابر گسیختگی، همچنین کنترل نشست آنها تحت اثر بارهای بهره‌برداری و محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است[۲و۳]. یانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۵ به بررسی نقش ریز شمع‌ها در چگونگی انتقال و مقاومت این المان‌ها در مورد نیروی ایستگاهی و برشی زلزله با استفاده از شن و ماسه خشک در یک مخزن دوار با ۲۰ تا ۵۰ چرخه بارگذاری سینوسی پرداختند. آنها با بررسی ریزشمع‌ها در حالات مختلف به این نتیجه رسیدند ریز شمع‌ها نقش موثری در بهسازی و افزایش مقاومت برشی خاکریز ایفا می‌کنند[۴]. یان توماس در سال ۲۰۱۰ در جریان باز سازی و بهسازی خاکریز یک خط راه‌آهن با استفاده از ریزشمع ها در جنوب کانادا، و نیز برای جلوگیری از قطع درختان و ایمنی خاکریز راه‌آهن در مجاورت مناطق مسکونی، طرح مدلسازی و بهسازی خاکریز راه‌آهن با استفاده از ریزشمع‌ها را با استفاده از نرم افزار FLAC انجام دادند. خاکریزها در برخی مناطق شهری به مقدار ۱/۵ متر نشست کرده بودند که بعد از بهسازی از طریق ریز شمع تا حدود ۱۸ در صد بهبود پایداری نسبت به سایر روش‌ها در آن‌ها مشاهده گردید[۵]. چانگو چی و همکارانش در سال ۲۰۱۲ بعد از سقوط دیوار موقت ۳۸ متری ایستگاه راه‌آهن گاجا[14] با بررسی تاریخچه زمین‌شناسی و بررسی بارش سالیانه به این نتیجه رسیدند تنها راه افزایش مقاومت برشی توده خاک و جلوگیری از آب شستگی در حین بارش، استفاده از ریز شمع‌ها برای بهسازی خاکریزهای ایستگاه راه می‌باشد[۶].

[14] Gaja

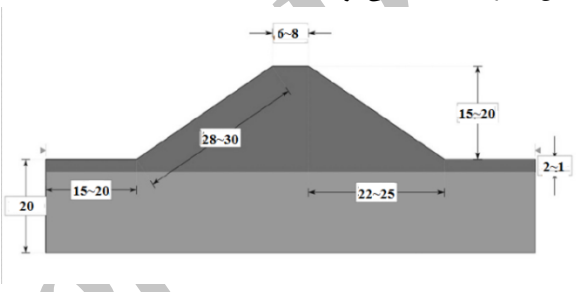
Archive of SID

www.SID.ir

۳-مطالعه پارامتریک

۳-۱-خصوصیات مصالح و ابعاد خاکریز

در این مقاله سعی بر آن است که مدلسازی بر اساس بحرانی‌ترین شرایط انجام گیرد. بنابراین خاک بستر از سست‌ترین مصالح با کمترین مقاومت برشی (شن بد دانه‌بندی شده، GP) در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور مدل‌سازی خاکریز و لایه بالایی از خاک SC استفاده می‌شود. شرایط فوق، شرایط بستر خطوط ریلی ایران از سال ۱۹۷۸ میلادی به بعد می‌باشد. خصوصیات مصالح انتخابی و ابعاد خاکریز به ترتیب در جدول و شکل شماره ۱ مشاهده می‌شوند.



شکل ۱-ابعاد خاکریز انتخابی

۳-۲- ترکیب بارگذاری

بارهای اعمالی در مدل سازی خاکریز توسط نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS بر اساس وزن بارمرده ریل و وزن عملیات آن می‌باشند. همچنین به منظور در نظر گرفتن بار ناشی از زمین‌لرزه، ضریب ارتعاش (افقی) برابر با ۰/۳ فرض شده است. بارهای عمودی اعمالی بر خاکریز بر اساس نیروهای محوری بین ۲۰ تا ۳۷/۵ تن و بر اساس معادله شماره ۱ مشخص می‌شوند. لازم به یادآوری است که اثرات بار ضربه نیز در بارهای عمودی توسط معادلات ۲ تا ۵ قابل تعیین می‌باشد.

جدول ۱-مشخصات مصالح خاکریز و بستر

نوع توده	$^{0}\varphi$	c (KN/m^2)	E (kN/m^2)	$_{sat}\gamma$ (KN/m^3)	γ (KN/m^3)
بستر (ماسه)	27	1	17000	18	15.6
خاکریز	32	25	48991	20	17.6

جدول ۲-مشخصات فنی ریز شمع‌ها

D(cm)	$R_{grouting\ zone}$ (cm)	cm)(L	θ	L spacing
30	10	10-14	10-15	0.5
E_{grout} MPa)(	E_{steel} (MPa)	w/c	$f'c$ (MPa)	F_v (kN)
3000	20000	0.45	34.5	21.561

۳-۳-مشخصات فنی ریزشمع ها

نسبت آب به سیمان و مشخصات فولاد تقویت‌کننده را می‌توان از مهمترین ویژگی‌های ریزشمع‌ها در نظرگرفت. بر اساس آیین نامهFHWA نسبت آب به سیمان بین ۰/۴۵ تا ۰/۶۰ می‌باشد. سایر پارامترهای مورد نیاز نظیر ضریب الاستیسیته دوغاب و فولاد تقویت کننده مطابق جدول ۲ در نظر گرفته می‌شود[۷].

۳-۴-ترکیب بارگذاری

بارهای اعمالی در مدل سازی خاکریز توسط نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS بر اساس وزن بارمرده ریل و وزن عملیات آن محاسبه می‌شوند. همچنین به منظور در نظر گرفتن بار ناشی از زمین‌لرزه ضریب ارتعاش (افقی) برابر با ۰/۳ فرض می‌شود. بارهای عمودی اعمالی بر خاکریز بر اساس معادله شماره ۱ و بر اساس نیرو های محوری ما بین ۲۰ تا ۳۷/۵۰ تن اعمال می‌شود. همچنین اثر بار ضربه نیز در بارهای عمودی توسط معادلات ۲ تا ۵ مشخص خواهد شد[۸].

$$Q = \frac{P}{(L \times B)} \quad (۱)$$

$$Q_L = \frac{P}{(L \times B)} = \frac{4 \times 37.5}{6.4 \times 6} = 3.91\ (t.m)/m^2$$

$$Q_D = \frac{P}{(L \times B)} = \frac{0.3 \times 1.9 \times 3.65}{6} = 0.347\ (t.m)/m^2$$

$$Q_{D2} = \frac{P}{(L \times B)} = \frac{0.15 \times 1.9 \times 6}{6} = 0.285\ (t.m)/m^2$$

$$\delta = 1 + \beta + \alpha + \gamma \quad (۲)$$

$$\alpha = 0.04\left(\frac{V}{100}\right)^2 \quad (۳)$$

$$\beta = 0.2$$

$$\gamma = \gamma^0 \alpha \beta \quad (۴)$$

Archive of SID
www.SID.ir

$$\gamma^0 = 0.1 + 0.17 \times \left(\frac{V}{100}\right)^2 \quad (۵)$$

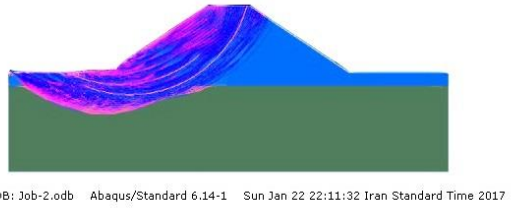
V=200 km/h

$$\delta = 1 + 0.16 + 0.2 + 0.025 = 1.385$$

۴- مدلسازی و تجزیه تحلیل نتایج

۴-۱- آنالیز خاکریزهای تقویت نشده به ارتفاع ۲۵ متر

پس از مدلسازی خاکریز شکل ۱ به ارتفاع ۲۵ متر در شرایط تسلیح نشده آنالیز پایداری بر روی آن انجام می‌شود. همانطور که انتظار داریم ترکیب بارگذاری حالت ۳ از ترکیبات حالات ۱ و ۲ بحرانی‌تر بوده و دلایل این امر را می‌توان در وجود بارهای جانبی مانند بار ناشی از زمین لرزه که در ایجاد نیروهای محرک رانشی در سطح خاکریز موثرتر می‌باشند، جستجو نمود. لازم به ذکر می‌باشد که بار جانبی ناشی از نیروی دینامیکی قطار و زلزله در خاکریزهای مرتفع موثرتر می‌باشند. بنابراین مطابق شکل ۲ ریزش خاکریز تنها در برابر مجموع بارگذاری مورد سوم اتفاق می‌افتد. بنابر این تمام مدلسازی‌های آتی بر اساس این نوع ترکیب بار گذاری انجام می‌شود.

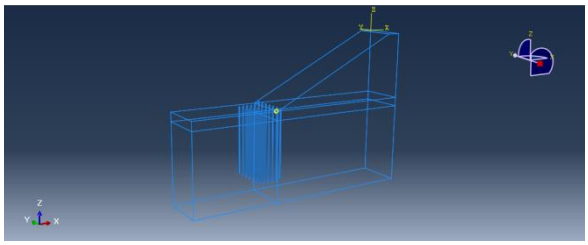


شکل ۲-خاکریز مسلح نشده

۴-۲-نتایج آنالیز عددی بروی خاکریز به ارتفاع ۱۰ تا ۱۸ متر

بعد از آنالیز خاکریز با ارتفاع ۱۰ تا ۱۸ متر که ریزشمع‌ها دقیقاً در پای خاکریز و در طول شیب خاکریز با تمرکز بر $\frac{1}{4}$ طول شیب مدل شده بودند نتایج زیر به دست می‌آیند(شکل ۳):

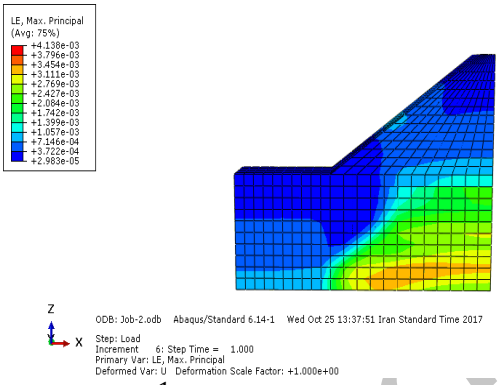
۱- به علت وجود نیروی جانبی و نیروی دینامیکی همزمان حرکت قطار با سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت، استفاده از ریزشمع‌ها دقیقا در پای شیب خاکریز ۱۰ تا ۱۸ متری به منظور ممانعت از ریزش به علت ارتفاع زیاد خاکریزها مناسب نبوده و در قسمت‌های بالایی خاکریز ریزش اتفاق می‌افتد.



شکل ۳- جانمایی ریزشمع‌ها در پاشنه خاکریز

۲-توزیع ریز شمع‌ها در تمام طول شیب خاکریز با ارتفاع ۱۰ تا ۱۸ متر تنها در صورتی موثر می‌باشند که از ریزشمع‌هایی با طول خیلی زیاد و غیر استاندارد استفاده کنیم تا از سطح ریزش عبور نمایند.

۳- توزیع ریز شمع‌ها بین پایه و $\frac{1}{4}$ طول شیب بهترین و پربازده ترین مکان به منظور تقویت شیب خاکریزها به ارتفاع ۱۰ تا ۱۸ متر خواهد بود (شکل ۴).



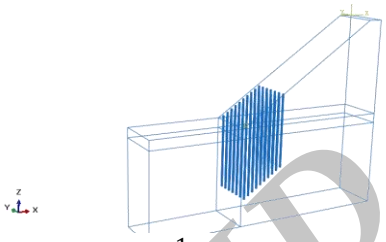
شکل ۴- نتایج وجود ریزشمع‌ها در پایه و $\frac{1}{4}$ طول خاکریز

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۳-نتایج تحلیل عددی برروی خاکریز به طول ۱۸ تا ۳۰ متر

بعد از مدلسازی خاکریز به ارتفاع ۱۸ تا ۳۰ متر و آرایش ریزشمع در پای خاکریز و تمرکز بر $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{4}$ طول شیب خاکریز اقدام به تحلیل خاکریز می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵-مدل سازی ریزشمع‌ها در $\frac{1}{4}$ پاشنه خاکریز

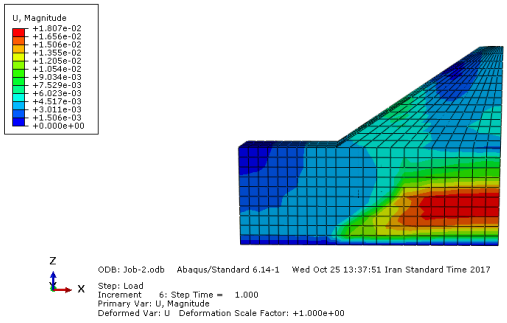
نتایج حاصل از تحلیل به شرح ذیل می‌باشد:

۱) استفاده از ریزشمع‌ها در پای خاکریز ۱۸ تا ۳۰ متر حتی اگر دارای طول بلند باشند تاثیری در پایداری خاکریز ندارد زیرا نیروی گسیختی باعث برش در ریز شمع ها خواهد و ریز شمع‌ها عملاً کارایی خود را از دست می‌دهد.

۲) توزیع ریز شمع‌ها در تمام طول شیب خاکریزهایی با ارتفاع ۱۸ تا ۳۰ متر تنها در صورت استفاده از ریز شمع‌هایی به طول بسیار بلند و غیر استاندارد بازدهی دارد تا به این وسیله از سطح ریزش عبور کند.

۳) توزیع ریزشمع‌ها بین پایه و $\frac{1}{4}$ طول شیب بهترین و موثرترین مکان برای تقویت شیب خاکریز با ارتفاع ۱۸ تا ۳۰ متر می‌باشد.

۴) بر اساس نتایج آنالیز و بررسی آیین نامه مشاهده می‌شود که آرایش بهینه ریزشمع‌ها برای تقویت خاکریزها با ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ متر می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶- جابجایی ناشی از وجود ریزشمع در پای خاکریز

۵- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر خاکریزهای طویل ریلی واقع بر بستر سست در برابر بارگذاری وارده توسط نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS مدل‌سازی شدند تا به این وسیله بهترین چیدمان ریزشمع ها را بیابیم.

۱- برای این منظور در اولین قدم خاکریز مرتفع تسلیح نشده بروری بسترهای سست شبیه‌سازی شد. تا پایداری شیب خاکریز ها بررسی گردد، سپس خاکریزها به وسیله آرایش‌های متفاوت ریزشمع ها به منظور سنجش بازدهی این روش بررسی شدند. و در نهایت آرایش بهینه ریزشمع‌ها مشخص گردید.

۲-بر اساس نتایج به دست آمده، بهترین مکان ریزشمع‌ها برای تسلیح خاکریز راه‌آهن بین پایه و وسط طول شیب می‌باشد علاوه بر این با افزایش قطر ریزشمع‌ها به حد بیشنه می‌توان از تعداد کمتری ریزشمع استفاده کرده و هزینه‌ها را کاهش داد.

۳- توزیع ریز شمع‌ها در تمام طول شیب خاکریز راه‌آهن با ارتفاع ۱۰ تا ۱۸ متر تنها در صورتی موثر می‌باشد که از ریزشمع‌های با طول خیلی زیاد و غیر اقتصادی استفاده کنیم تا از سطح گوه گسیختگی عبور نماید.

۴-توزیع ریز شمع‌ها بین پایه در بین پایه و $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{4}$ بهترین و موثرترین مکان برای تقویت شیب خاکریز با ارتفاع ۱۵ تا ۳۰ متر می‌باشد که تقویت خاکریز با استفاده از چیدمان بهینه تغییر شکل نقاط مختلف آن را نزدیک به ۳۵ تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد.

۵-با استفاده از چیدمان بهینه باربری خاکریز از نظر استاتیکی نزدیک به ۵۰٪ افزایش می‌یابد.

Archive of SID
www.SID.ir

۶-مراجع

1- Micropile Design and Construction, Federal Highway Administration (FHWA), Implementation Manual, 2012, pp 130-148.

2- Bhosle S. P., Vaishampayan V. V., Stabilization of 7th Deep Soil Cut Using Micropiles and Soil Nailing, International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 29th Apr – 4th May, Chicago, 2013, pp 1-5.

3- Borthakur N., Kanti Dey S., Experimental Investigation on Load Carrying Capacity of Micropiles in Soft Clay, Arabian Journal for Science and Engineering, 2017, Vol. 8, No. 78, pp 1-13.

4- Young E. J., Han J. T., Development on the Micropile for Applying to Artificial Ground above Railroad Site, Engineering Geology, 2005, Vol. 32, No, 1, pp 180-190.

5- Jan T., Manuel R., Study of Micro Pile for Ground Reinforcement Embankment at Sebastopol, Computers and Geotechnics, 2010, Vol. 12, No. 2, pp 57-63.

6- Changho Choi., Hoon-jae Lee., Ki-Hwan Lee., Sam-Deokcho, Study of Micro-piling for Ground Reinforcement, Ground improvement, 2012, Vol. 10, No. 15, pp 18-28.

7-Shu-Wei Sun., Ben-Zhu., Jia-Chen Wang., Design method for stabilization of earth slopes with Micropile, Faculty of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, 2012.

8- UIC719-R., Earthworks and Track-Bed Layers for Railway Lines, Second Edition, International Union of Railways, 1994, pp 85-100.

Archive of SID

www.SID.ir

Dynamic Analysis of Improved High-Rise Railway Embankments by Micropiles

Hamed Ostovar
MSc of Geotechnical Engineering, Islamic Azad University, Khomein Branch, Khomein, Iran
Mohammadreza Motahari*
Assistant Prof of Geotechnical Engineering, Dept. of Civil Engineering, Faculty Of Engineering, Arak University, Arak, Iran
m-motahari@araku.ac.ir

Abstract:

One of the most important issues in the management of railways maintenance is the stabilization of the bed and railroad tracks under the influence of environmental loads. This issue is of particular importance, especially in tall embankments, based on loose platforms with little or no bearing capacity. Among the existing methods to improve the embankment and the bedding in the railway lines, installation of micropiles for fixing the embankment and the bed, which does not block the line and stop the traffic, is preferable. In the present paper, a parametric study was carried out; using ABAQUS, for high rise embankment improved by micropiles with different patterns, operational loads, railroad traffic and severe earthquakes, using the LM71 loading standard. The results indicate that the factors affecting the pattern of the microplots generally include the distribution of loads, shear parameters and bearing capacity, depth of the micropiles and geometric characteristics of the embankment. It should be noted that the optimum arrangement of micropiles for improvement, is the length between the toe and 0.25 to 0.5 percent of the slope length, which reduces the maintenance and handling cost.

Keywords: Micropiles, Improved High-Rise Embankments, ABAQUS, Railways

www.SID.ir