

توسعه روش پایدارسازی زیرسازی خطوط سنگین راه آهن با استفاده از زهکش های قائم پیش ساخته

جواد میرمحمد صادقی (مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

امیرعباس حضرتی، دستیار تحقیقاتی، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

آراز هاشمی نژاد، دستیار تحقیقاتی، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: Javad_Sadeghi@iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۳ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۱۳

چکیده:

پایدارسازی خط یکی از موضوع های اساسی در ساخت خطوط و بهره برداری از آن در ماه های ابتدایی راه اندازی خط بشمار می آید. در مناطقی که دارای خاک با ماهیت ریزدانه بوده و آب زیرزمینی در سطح بالایی قرار دارد، به علت وجود فشار آب منفذی، زمان تحکیم طولانی است. افزایش تنش های حاصل از خطوط سنگین راه آهن بر لایه های بستر در طول زمان باعث نشست های موضعی و کلی شده و پایدارسازی خط در زمان مطلوب حاصل نمی شود. این تغییر شکلهای به علت ماهیت افزایشی باعث کاهش ایمنی و پایدارسازی خط آهن شده و نتیجتاً نگهداری خط در شرایط مطلوب را با چالش مواجه می کنند. طولانی شدن زمان پایدارسازی خط باعث عدم اطمینان از پایدارسازی خط و نتیجتاً عدم امکان استفاده از حداکثر ظرفیت خط خواهد شد. در این مقاله تلاش شده تا با ارائه یک الگوی مناسب از زهکش های قائم پیش ساخته جهت نصب در بستر خطوط سنگین راه آهن، مدت زمان لازم برای دستیابی به درجه تحکیم مناسب به حداقل ممکن خود کاهش یابد. در این تحقیق پس از تحلیل روسازی و زیرسازی بستر خط آهن سنگین به کمک تئوری اجزاء محدود، پارامترهای مدت زمان تحکیم کامل بستر، درجه تحکیم بستر و نشست نهایی بستر طبیعی به دست آمده و سپس مدت زمان تحکیم برای بستر به همراه زهکش های قائم پیش ساخته مشخص شده است. با استفاده از نتایج حاصل در این تحقیق، تعداد و فاصله زهکش های پیش ساخته در واحد طول تعیین شده است. همچنین با استفاده از تحلیل حساسیت بر روی بستر خط آهن تحکیم یافته با زهکشهای دارای طول های متفاوت، طول بهینه هر زهکش مشخص شده و سرانجام یک مدل که شامل تعداد، فاصله و طول زهکش ها است، جهت نصب در واحد طول بستر خط راه آهن سنگین پیشنهاد شده است.

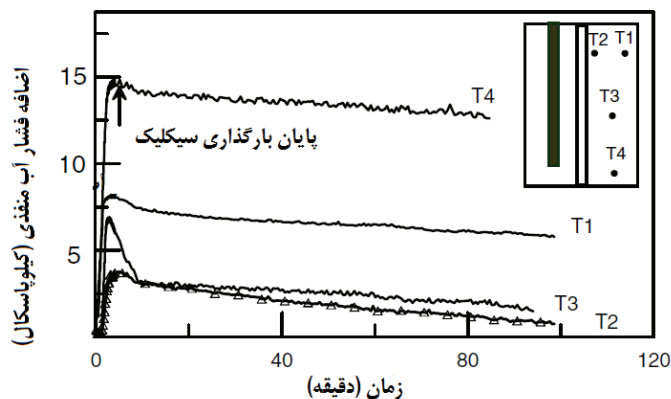
واژه های کلیدی: خطوط سنگین راه آهن، زهکش های قائم پیش ساخته، تحکیم بستر خط آهن، درجه تحکیم، مدل اجزاء محدود

۱. مقدمه

که توسط ایندرا راتنا و همکارانش در سال ۲۰۰۶ در دانشگاه ولونگونگ در جهت استفاده از این زهکشها در پی راه آهن صورت گرفته است، اشاره نمود [Shahin and Indraratna, 2006]. یکی از این آزمایشها به بررسی تاثیر استفاده از زهکشها در کاهش اضافه فشار آب منفذی می پردازد. در این آزمایش از یک نمونه خاک رس با وزن واحد ۱۷ تا ۱۷/۵۰ کیلونیوتن بر متر مکعب، ضریب نفوذپذیری برابر ۰/۶ تا ۰/۷ و مقاومت برشی زهکشی نشده کمتر از ۸ کیلو پاسکال تحت بارگذاری با فرکانس ۵ تا ۱۰ هرتز، استفاده شد. برای انجام آزمایش، نمونه ای از این خاک تحت آزمایش سه محوری تناوبی با ابعاد واقعی قرار داده شد. بار اعمالی از نوع تناوبی بوده و حسگرهای اندازه گیری کننده فشار آب منفذی در بخش پایینی نمونه و در قسمت حاوی خاک خشک فشرده شده سلول سه محوری نصب شدند. موقعیت نصب این حسگرها به شماره های T_1 ، T_2 ، T_3 و T_4 در شکل (۱) نشان داده شده است. پس از انجام آزمایش نشان داده شد که مقدار اضافه فشار آب منفذی در نواحی کنار زهکش (حسگر T_3) به طور نسبتاً مشخصی کمتر از نواحی کناری سلول خاک (حسگر T_4) است. همچنین در نواحی منتهی به نقاط خارجی سلول خاک (حسگرهای T_1 و T_2) اضافه فشار آب منفذی با سرعت کمتری نسبت به نواحی داخلی (حسگرهای T_3 و T_4) زایل می شود. ایندرا راتنا و همکارانش نتیجه گرفتند که زهکش های پیش ساخته تاثیر زیادی در کاهش فشار منفذی دارند [Sha-

درواحی که دارای خاک های ریزدانه هستند، حجم زیادی از رس های پلاستیک می توانند فشار آب منفذی اضافی را تحت اثر بارهای استاتیک و دینامیک، در خود نگهدارند. فشار آب منفذی اضافی، ظرفیت باربری زهکشی نشده خاک را به طور موثری کاهش می دهد که این امر منجر به کاهش ایمنی و پایداری خط آهن می شود. در خطوط سنگین راه آهن این مسئله بحرانی تر است. امروزه در سراسر جهان روشهای متعددی جهت بهسازی بستر خطوط مورد استفاده قرار می گیرند، از جمله تعویض کردن خاک بستر با مصالح مرغوب، استفاده از ژئوسنتتیک ها، استفاده از زهکش های سطحی و استفاده از ستون های سیمانی. اما یکی از جدیدترین و موثرترین روش ها در این زمینه استفاده از زهکش های عمقی است. زهکش های قائم پیش ساخته نوع جدیدی از زهکش های عمقی محسوب می شوند. اولین نوع زهکشهای پیش ساخته در سال ۱۹۳۴ توسط پورترز در کالیفرنیا بکار گرفته شدند که از جنس مقوایی بودند و در سال ۱۹۵۴ انواع پلیمری زهکش های پیش ساخته به بازار عرضه شدند [Aris et al. 1985]. زهکش های امروزی از مواد پلیمری تهیه می شوند [Ghandeharioon et al. 2009].

در سالهای اخیر تلاشهای متعددی برای بررسی استفاده از این نوع زهکش ها در بهسازی زمینهای دارای خاک های ریزدانه صورت گرفته است. از آن جمله می توان به آزمایش های متعددی



شکل ۱. حذف اضافه فشار آب منفذی در نواحی مختلف اطراف زهکش های قائم پیش ساخته [Indraratna et al. 2006, 2009]

۲. مدل سازی

پارامترهای سختی بستر و ضخامت بالاست، فاکتورهای موثر بر روی کارایی خط هستند و به تبع آن استفاده از روشهای مناسب برای افزایش سختی بستر به عنوان امری ضروری برای خطوطی است که بر روی خاک های با ماهیت نرم شوندگی ساخته می شوند. [Shahin and Indraratna, 2006] در این تحقیق برای نیل به این هدف، ابتدا یک مدل از بستر خط آهن براساس شرایط و ضوابط آیین نامه های موجود راه آهن شامل آئین نامه -ARE MA و استاندارد UIC ساخته شد. پارامترهای استفاده شده در مدل سازی عبارتند از: بارطراحی، ابعاد مدل بستر، مشخصات طراحی، مراحل محاسباتی و شرایط سرحدی. جهت تعیین هندسه مدل ابتدا با استفاده از تحلیل حساسیت، حداقل ابعاد لازم مدل بستر راه آهن تعیین شد. برای این منظور با تحلیل مدل های با عمق و عرض متفاوت، عمق و عرض مدل که افزایش بیش از حد آنها تاثیری در نتایج تحلیل ندارد مشخص شد. ابعاد بهینه مدل به دست آمده از تحلیل ها برابر ۲۰ متر عمق و ۳۰ متر عرض است. نوع مصالح مورد استفاده در مدل سازی بستر مطابق توصیه های UIC است. براساس استاندارد UIC بسترهای راه آهن به پنج گروه S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 و R طبقه بندی می شوند [UIC, 2006]. پارامترهای مورد استفاده در مدل سازی خاک در جدول (۱) درج شده اند.

در شکل (۲) نمایی از مقطع زهکش قائم پیش ساخته مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است. این نوع زهکش از دویخش هسته و فیلتر تشکیل شده که بخش فیلتر دارای مقطع مستطیلی بوده و در اطراف بخش هسته قرار دارد. وظیفه بخش فیلتر جداسازی جریان آب از مصالح خاکی اطراف خود و انتقال آن به داخل زهکش است. بخش هسته نیز وظیفه انتقال آب موجود در داخل زهکش به سطح را دارد.

بارگذاری به صورت بار عبوری ناوگان مطابق شکل (۳) در نظر گرفته شده است. در این شکل F_0 بار محوری ناوگان، kT زمان عبور قطار از خط و T زمان تناوبی عبور قطارهاست. برای تعیین بار طراحی اعمالی بر اساس آمار متوسط تناژ عبور بار سالانه (MGT) و نوع واگن های سنگین ایران مقادیر k, F, T به

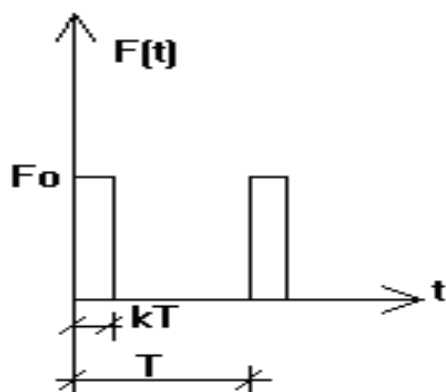
[Shahin and Indraratna, 2006, 2009] [Ni, 2012].

فرآیند تحکیم در خاک های ریزدانه اغلب اوقات، زمان زیادی را نیاز دارد، مخصوصاً زمانی که تحکیم به صورت عمقی بوده و خاک دارای مقادیر قابل ملاحظه ای از رس باشد. ایندراواتنا و همکارانش در مطالعات تکمیلی خود مشخص کردند که زهکش های پیش ساخته کوتاه در بسترهای رسی نرم، نه تنها زمان تحکیم را کوتاه می کنند بلکه می توانند تغییر مکان جانبی خط را نیز تا ۲۵ درصد کاهش دهند. [Shahin and Indraratna, 2006] علی رغم تحقیقات ارزشمند انجام شده، نتایج آنها در قالب عملی در نیامده و هیچ گونه مدلی جهت استفاده از نتایج تحقیقات صورت گرفته، ارائه نشده است. برای استفاده کاربردی از این زهکش ها در بستر خطوط آهن، پارامترهایی مانند طول، تعداد، فاصله و نوع زهکش مورد نیاز هستند که در تحقیقات قبلی بررسی نشده اند. به بیان دیگر نتایج تحقیقات انجام شده بر روی زهکشها به ارائه یک الگوی کاربردی از زهکشها جهت بهسازی بستر خطوط منتهی نمی شود. مروری بر ادبیات موجود نشان می دهد که کاربردی کردن تحقیقات انجام شده نیازمند مطالعات بیشتری بر روی شیوه بکارگیری این زهکش ها است. در این راستا، تحقیق ارائه شده در این مقاله تلاش دارد تا مدلی عملی جهت استفاده از زهکش های پیش ساخته ارائه کند. برای جوابگویی به نیاز فوق، در این تحقیق ابتدا مقطعی از خط آهن دوخطه به همراه بستر آن به صورت دوبعدی و در حالت کرنش صفحه ای مدل سازی شده و سپس با استفاده از تحلیل حساسیت و مقایسه روند تغییرات پارامترهای تحکیم خاک، یک الگوی بهینه از زهکشها جهت نصب در مقطع عرضی راه آهن دوخطه سنگین که بر روی بستری از خاک ریزدانه قرار دارد، ارائه شده است. به کمک نتایج این تحقیق می توان در مناطقی که خاک بستر ریزدانه بوده و همچنین آب زیرزمینی در سطح بالایی قرار دارد، مدت زمان دست یابی به حداکثر نشست را کاهش داده و نشست های رخداد را یکنواخت کرد.

جواد میرمحمد صادقی، امیرعباس حضرتی، آراز هاشمی نژاد

جدول ۱. مشخصات مصالح مورد استفاده در مدل سازی بستر راه آهن

	S _۱	S _۲	S _۳	S _۴	R	بالاست	زیر بالاست
نوع مدلسازی	موهرکلمب	موهرکلمب	موهرکلمب	موهرکلمب	موهرکلمب	موهرکلمب	موهرکلمب
شرایط	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده
γ_{unsat} (kN/m ³)	۱۰	۱۵	۱۶	۱۷	۲۳	۱۸	۱۷
γ_{sat} (kN/m ³)	۱۱/۵۰	۱۸	۲۰	۲۰	۲۴	۲۱	۲۲
K_x (m/s)	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۵	۰/۰۴۴	۱/۰	۱/۰	۰/۵۰
K_y (m/s)	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۵	۰/۰۴۴	۱/۰	۱/۰	۰/۵۰
E (MPa)	۳۵۰	۱۵۰۰	۲۵۰۰	۴۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
ν	۰/۳۵۰	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۳۰
c (kPa)	۵/۰	۱۵/۰	۱۰/۰	۱/۰	۱۵۰۰	۱/۰	۰/۱
ϕ	۲۰	۱۰	۲۰	۳۰	۲۰	۴۵	۳۵
ψ	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰	۳
ضریب انبساط	۱/۵	۱/۳	۱/۲	۱	۱/۲	-	-



شکل ۳. مدل بارگذاری بر روی بالاست



شکل ۲. نمای مقطع عرضی زهکش قائم پیش ساخته

توسعه روش پایدارسازی زیرسازی خطوط سنگین راه آهن با استفاده از ...

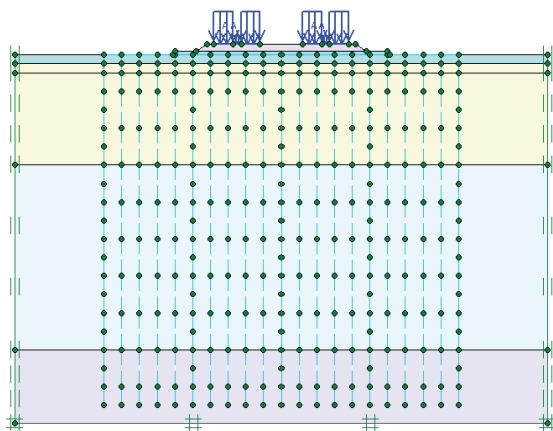
را نشان می دهد.

در این تحقیق مشخصات مدلسازی در سه دسته طبقه بندی می شوند که عبارتند از: نوع مدل، پارامترهای رفتار مصالح و ضریب نفوذ پذیری. براساس ویژگی های مصالح خط آهن بالاستی و در نظر گرفتن بعضی پارامترها، مدل موهر- کلمب برای مدل سازی مصالح برگزیده شده است. برای تعیین نوع بسترها از رده بندی کیفی و برای تحلیل بسترخط آهن از روش ساخت مرحله ای استفاده شد. لازمه استفاده از روش ساخت مرحله ای، تعیین فازهای محاسباتی است. فازهای مورد استفاده از این قرار هستند: خاکبرداری در محل احداث لایه شکل دهی، احداث لایه شکل دهی و تراکم کردن این لایه، مدت زمان وقفه که ناشی از عملیات رواداری و هم سطح کردن لایه شکل دهی است، نصب کردن زهکش های قائم پیش ساخته در بستر، احداث لایه های بالاست و زیربالات، مدت زمان وقفه که شامل مراحل ریل گذاری، رواداری و نصب ابنیه فنی است، اعمال بار قطار و تحکیم با فشار منفذی کمینه. نوع المان اجزاء محدود در این تحلیل، المان مثلث پانزده گرهی بوده و درجه مش نیز از نوع ریز است. در این تحقیق به دلیل اینکه سیستم خط آهن و بستر دارای شرایط کرنش صفحه ای هستند، از حالت دو بعدی نرم استفاده می شود. برای ایجاد شرایط مرزی در مدل ساخته شده از شرایط گیرداری استاندارد استفاده شده است. برای شبیه سازی هرچه بیشتر شرایط محیطی در مدل، در مرزهای دو طرف مدل از حالت مرز بسته شده استفاده شد. همچنین مرز پایین مدل به دلیل وجود لایه رس، باز نگه داشته شده و فشارهای آب منفذی اضافی می توانند در لایه رس حذف شوند.

فرآیند ایجاد تنش اولیه برپایه روش K_0 است که مقدارپیش فرض K_0 نیز برابر با مقدار تابع $1 - \sin \phi$ است. زمان پایان تحلیل تحکیم براساس معیار فشارحفره ای کمینه تعیین می شود. هنگامی که فشار حفره ای اضافی مطلق (P_s) کمتر از مقدار فشار حفره ای کمینه باشد، محاسبات متوقف می شود. مقدار فشار حفره ای کمینه در این تحلیل برابر با یک کیلونیوتن بر متر مربع در نظر گرفته شده است. مقدار درجه تحکیم بستر خط آهن براساس

ترتیب برابر $0.0033/16$ و 16 تن و $2/5$ ساعت منظور شد. برای تعیین بار محوری ناوگان، بار قائم چرخ به صورت تابعی از بار استاتیکی در نظر گرفته شده و در این راستا ضریب ضربه طبق رابطه انجمن راه آهن آمریکا اتخاذ شد [Sad-AREMA,2006] [eghi and Barati,2010].

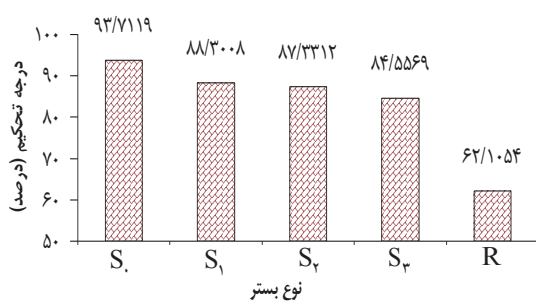
به منظور تعیین تنش ایجاد شده در زیر تراورس ها از الگوی تنش که در محل، اندازه گیری شده است، استفاده شد (شکل (۴)). طبق این الگو، تنش اعمالی در بستر به صورت دو مقدار تنش σ_1 و σ_2 بوده که با در نظر گرفتن مفروضات زیر به دست آمده اند. ریل از نوع UIC 60 بوده و نوع تراورس B 70 است (طول برابر 2600 میلیمتر، عرض برابر 250 میلیمتر و ارتفاع برابر 200 میلیمتر). سرعت طرح برابر 60 کیلومتر بر ساعت و حداکثر بار محوری با توجه به خطوط سنگین راه آهن و قطارهای موجود در ایران 25 تن در نظر گرفته شده است. خط آهن مذکور از نوع بالاستی بوده و عرض خط مطابق با عرض خط آهن استاندارد برابر 1435 میلیمتر در نظر گرفته شده است [Sadeghi,2008]. فاصله تراورس ها برابر 500 میلیمتر بوده و قطر چرخ برابر با 1000 میلیمتر است. سطح بستر به صورت افقی و بدون شیب در نظر گرفته شده است. مقدار تنشهای اعمالی بر روی زیرسازه که توسط الگوی تنش توزیعی به دست آمده است عبارتند از: σ_1 برابر با $154/40$ کیلونیوتن بر متر مربع و σ_2 برابر با $38/60$ کیلونیوتن بر متر مربع. از آنجایی که خطوط سنگین راه آهن دارای بارمحوری زیاد و سرعت کم هستند در نتیجه تنش زیادی بر روی لایه های بالاست، زیربالات و بستر اعمال می شود. بنابراین لایه بستر نقش بسزایی در پایداری سیستم خط آهن برعهده می گیرد. ابعاد لایه های موجود در روسازه خط عبارتند از: لایه بالاست به ضخامت 40 سانتی متر (شیب 1/50 : 1) و لایه زیربالات به ضخامت 15 سانتی متر (شیب 1/50 : 1). بخش بستر خط آهن عبارتند از: لایه شکل دهی به ضخامت 1 متر، بستر راه آهن که تا عمق 16 متری ادامه دارد، لایه ای از خاک رس که در عمق 16 متری قرار گرفته و 4 متر ضخامت دارد. سطح آب زیرزمینی در عمق 4 متری سطح زمین است. شکل (5) نمایی از هندسه مدل



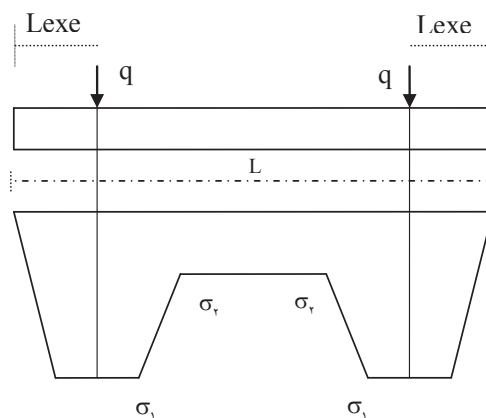
شکل ۵. نمایی از بستر مدل سازی شده

می شود که امکان وقوع تحکیم در بستر در شرایط متداول وجود ندارد. زیرا در این نوع بستر پدیده نشست در طول زمان ادامه دارد و برای بهسازی آن باید از روشهای دیگری چون جایگزینی خاک و بستر استفاده کرد. در مورد بسترهای S_p و R (بستر سنگی) نیز همانطور که در شکل (۸) مشاهده می شود، مقدار نشست نهایی این بسترها در حالت بدون استفاده از زهکش های قائم پیش ساخته در محدوده قابل قبول است و در صورت استفاده از زهکش در این بسترها فقط هزینه های سیستم خط بستر افزایش می یابد.

بنابراین در این مورد مشاهده می شود که به دلیل ساختار مناسب این بسترها نیازی به استفاده از زهکش در بهسازی آنها احساس نمی شود. در مورد بستر S_p نیز با بررسی شکل (۶) مشاهده می شود که مدت زمان لازم برای تحکیم این نوع بستر بسیار نزدیک به بستر S_p است و براساس شکل (۸) مشاهده می شود که مقدار نشست نهایی این بستر در حالت بدون استفاده از زهکش، بسیار بیشتر از بوده و در نتیجه در بهسازی این نوع بستر باید شرایط



شکل ۷. نمودار مقدار درجه تحکیم بسترهای پیشنهادی UIC_{V14}



شکل ۴. الگو توزیع تنش در لایه خاک زیر تراورس [Sadeghi,2008]

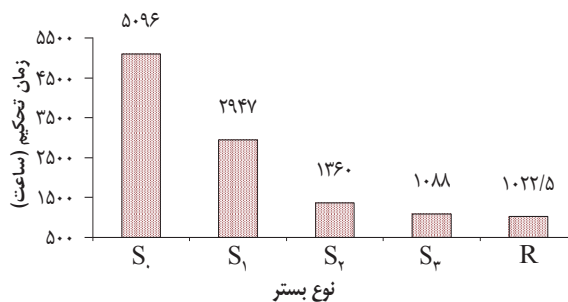
رابطه (۱) تعیین می شود، به طوریکه مقدار فشار حفره ای اضافی حداکثر برابر (P_m) است.

$$P_s = P_m * X \quad (1)$$

که در آن X ، مقدار درجه تحکیم برحسب درصد است.

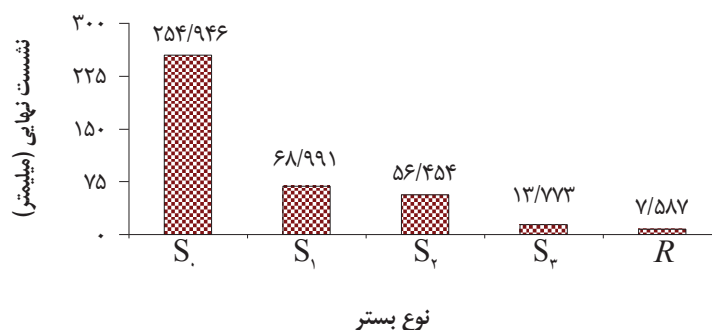
۳. تحلیل بستر خط آهن سنگین در حالت های مختلف

برای بررسی تاثیر زهکش های قائم پیش ساخته بر روی تحکیم بسترهای خطوط سنگین از سه پارامتر اصلی استفاده شد که عبارتند از: زمان تحکیم کامل بستر، درجه تحکیم نهایی بستر و نشست نهایی بستر. در ابتدا باید محدوده کاربرد بسترهای پیشنهادی UIC که برابر (S_1, S_2, S_p, S_p, R) هستند مشخص می شد. به این منظور یک سری تحلیل حساسیت بر روی پنج بستر مزبور صورت گرفت و نتایج حاصل از این تحلیل ها در قالب سه نمودار مدت زمان تحکیم (شکل (۶))، درجه تحکیم (شکل (۷)) و نشست نهایی بستر (شکل (۸)) تنظیم شد. براساس شکل (۸) مشخص



شکل ۶. نمودار مدت زمان لازم برای تحکیم بسترهای پیشنهادی UIC_{V14}

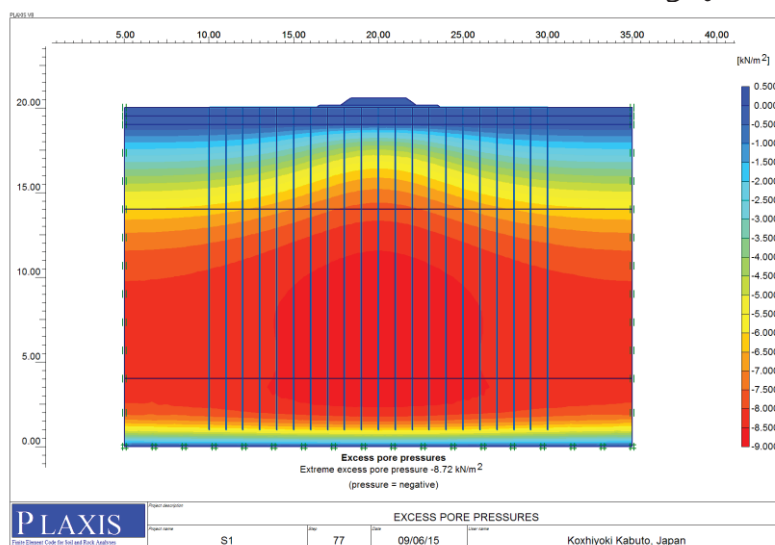
توسعه روش پایدارسازی زیرسازی خطوط سنگین راه آهن با استفاده از ...



شکل ۸. نمودار مقدار نشست نهایی به وجود آمده در بسترهای پیشنهادی UIC₇₁₄

آب منفذی در آن ها وجود دارد و مناطق آبی رنگ قسمت‌هایی هستند که اضافه فشار آب منفذی در آنها از بین رفته و پدیده تحکیم به طور کامل انجام شده است. (باتوجه به شکل (۹) مشاهده می‌شود که قسمت های واقع در مرکز مقطع عرضی خط آهن مناطقی هستند که فشار آب منفذی در آنها تا مدت زمان طولانی تری وجود دارد و زهکش ها در این قسمت ها می توانند مورد استفاده قرار گیرند. جهت تعیین تعداد و فاصله بهینه زهکش های پیش ساخته در بستر ضعیف S₁، بستر مذکور در پنج مرحله تحلیل شد. مرحله اول، زهکش ها با فاصله یک متر از یکدیگر در بستر نصب و بستر تحلیل شد. این کار تا پنج مرحله ادامه پیدا کرده و در مرحله پنجم، فاصله زهکش ها برابر پنج متر است. نتایج حاصل از این تحلیل ها در زیر بحث شده است.

اقتصادی پروژه و حجم عملیات بخش هایی از پروژه که این نوع خاک در آنها وجود دارد در نظر گرفته و سپس اقدام نمود. در شرایط عادی، بهسازی این نوع بستر با استفاده از زهکش‌های قائم پیش ساخته به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. بنابراین بستر S₁ واجد تمام شرایط برای بهسازی به وسیله زهکش‌های قائم تشخیص داده می‌شود. براساس نتایج حاصل، بستر ضعیف S₁ قابلیت بهسازی بوسیله زهکش‌های قائم پیش ساخته را دارد. شکل (۹) نمایی از مدل بستر ضعیف S₁ را در حالت طبیعی و بدون استفاده از زهکش نشان می دهد. خطوط عمودی موجود در مقطع عرضی بستر راه آهن فقط مربوط به محل قرار گیری زهکش ها هستند و بر روی نتایج تاثیری ندارند. مناطق قرمز رنگ در شکل (۹) نواحی هستند که اضافه فشار

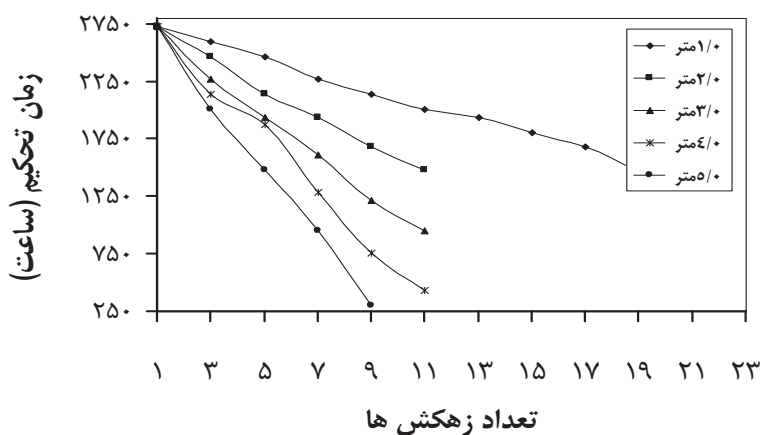


شکل ۹. بستر S₁ تحکیم یافته در حالت بدون استفاده از زهکش های قائم پیش ساخته

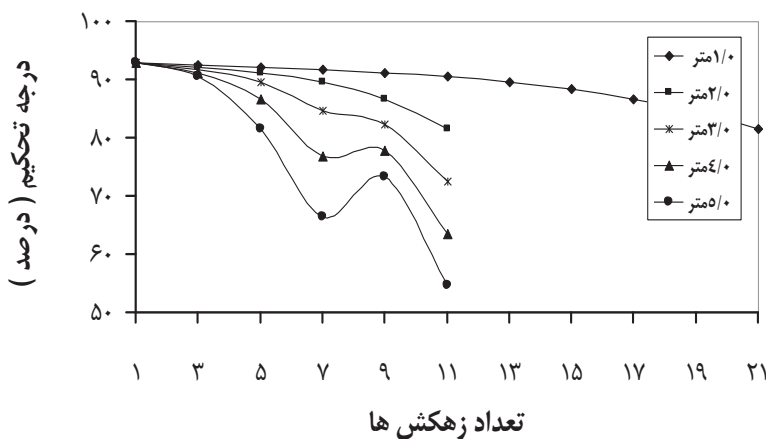
توجه به شکل (۱۲) مشاهده می‌شود که براساس پارامتر نشست نهایی بستر، مقدار نشست نهایی بستر با افزایش تعداد زهکش‌ها بیشتر می‌شود. اما افزایش تعداد زهکش‌ها باعث افزایش هزینه پروژه نیز می‌شود. بنابراین حالت استفاده از پنج عدد زهکش با فاصله نصب ۵ متر از یکدیگر بهترین گزینه از لحاظ اجرایی و اقتصادی است. با جمع بندی نتایج حاصل از سه پارامتر مدت زمان تحکیم بستر، درجه تحکیم بستر و نشست نهایی بستر مشخص می‌شود که بهترین حالت بکارگیری زهکش‌های قائم پیش ساخته برای تحکیم بستر ضعیف خطوط سنگین راه آهن، استفاده از پنج عدد زهکش قائم پیش ساخته با فاصله نصب پنج متر از یکدیگر است. جهت تعیین طول بهینه هریک از این پنج زهکش نصب شده در بستر یک سری تحلیل حساسیت انجام گرفت. برای انجام این

۴. تحلیل نتایج حاصل از مدل سازی بستر ضعیف

با توجه به شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود که حالت استفاده از ۵ عدد زهکش با فاصله نصب ۵ متر از همدیگر بهترین گزینه جهت بهسازی بستر ضعیف S_1 از لحاظ پارامتر مدت زمان لازم برای تحکیم کامل بستر است. به طوری که مدت زمان تحکیم از ۲۴۶۷ ساعت در حالت نصب با فاصله یک متر را به ۱۴۸۲ ساعت در حالت نصب با فاصله ۵ متر کاهش می‌دهد. استفاده از حالت ۹ عدد زهکش از لحاظ اجرایی مناسب نیست. زیرا مقطع عرضی سیستم خط آهن بسیار کمتر از عرض موثر زهکش‌ها در این حالت است. با توجه به شکل (۱۱) مشاهده می‌شود که از لحاظ پارامتر درجه تحکیم بستر، از میان گزینه‌های مناسب یکم الی پنجم، گزینه چهارم مناسب تر است. یعنی نصب هفت عدد زهکش با فاصله نصب یک متر از یکدیگر بهترین گزینه است. با

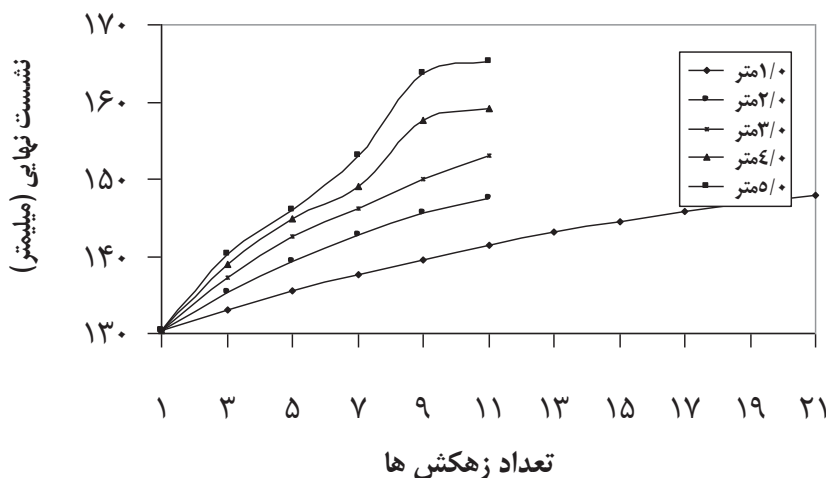


شکل ۱۰. بستر S_1 تحکیم یافته در حالت بدون استفاده از زهکش‌های قائم پیش ساخته



شکل ۱۱. نمودار مدت زمان لازم برای ایجاد تحکیم کامل در بستر S_1 در حالت استفاده از زهکش‌های قائم پیش ساخته با فاصله نصب ۱ الی ۵ متر از یکدیگر

توسعه روش پایدارسازی زیرسازی خطوط سنگین راه آهن با استفاده از ...



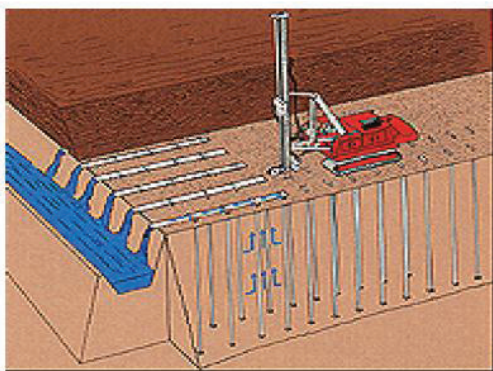
شکل ۱۲. نمودار نشست نهایی بستر S₁ در حالت استفاده از زهکش های قائم پیش ساخته با فاصله ی نصب ۱ الی ۵ متر از یکدیگر

بوده، عدد وسطی مربوط به طول زهکش های ۳ و ۲ و عدد پایینی مربوط به طول زهکش شماره یک است. این نوع دسته بندی طول زهکش ها براساس نتایج تحلیل های صورت گرفته در مدل های آزمایشی انجام شده است. پس از انجام ۱۴ مرتبه تحلیل بر روی بستر ضعیف به همراه زهکش های قائم پیش ساخته با طول های ارائه شده در جدول (۳)، نتایج در قالب سه پارامتر ارائه شده در تحلیل های قبلی دسته بندی شده و به صورت نمودارهایی در اشکال (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) نشان داده شده اند.

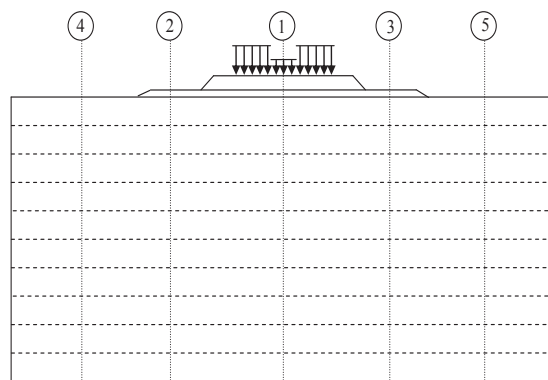
در هر مرحله، طول زهکش ها یک متر کاهش داده می شود تا طول بهینه زهکش ها مشخص شود. با توجه به نمودار (۱۵) مشاهده می شود که از لحاظ پارامتر زمان تحکیم، حالت های شماره ۷ الی ۹ مناسب هستند. زمان تحکیم در این حالت ها برابر ۱۸۷۶ ساعت است. از لحاظ پارامتر درجه تحکیم بستر (شکل ۱۶) حالت

تحلیل حساسیت ابتدا می بایست نحوه قرارگیری زهکش ها در مقطع عرضی بستر خط آهن مشخص می شد. برای این منظور مطابق شکل (۱۳) زهکش ها در بستر نصب شدند به طوری که زهکش واقع در وسط مقطع عرضی بستر دارای شماره یک بوده و دو زهکش بعدی دارای شماره های ۲ و ۳ هستند و زهکش های کناری دارای شماره های ۴ و ۵ هستند. شکل (۱۴) مدل گرافیکی مرحله نصب زهکش را نمایش می دهد. همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده می شود، این زهکش ها در قالب پلان مربعی نصب می شوند. پلان شکل (۱۳)، نمایی از مقطع عرضی خط آهن را نشان می دهد. زهکش ها به صورت عمودی در عمق بستر نصب می شوند.

در جدول شماره (۳)، در ردیف طول زهکش ها سه عدد درج شده است. عدد بالایی مربوط به طول زهکش های شماره ۴ و ۵



شکل ۱۴. پلان نصب زهکش ها در بستر خط آهن



شکل ۱۳. پلان نصب زهکش ها در بستر خط آهن

جواد میرمحمد صادقی، امیرعباس حضرتی، آراز هاشمی نژاد

جدول ۳. طول زهکش های شماره های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نصب شده در بستر S_۱ در قالب چهارده حالت مختلف (متر)

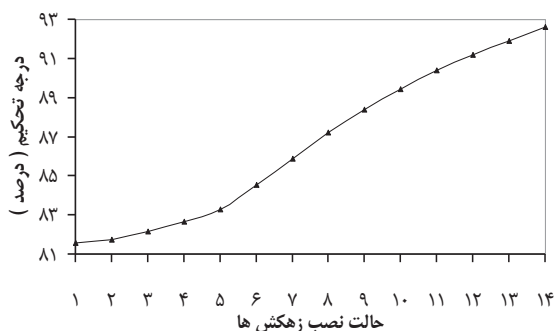
حالت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
زهکش شماره ۵و۵	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶
زهکش شماره ۳و۲	۱۹	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷
زهکش شماره ۱	۱۹	۱۹	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸

داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص شده است مجموعه زهکش ها همانند پلان عرضی بستر (شکل ۱۳) در فواصل ۵ متر از یکدیگر در طول بستر خط آهن نصب می شوند.

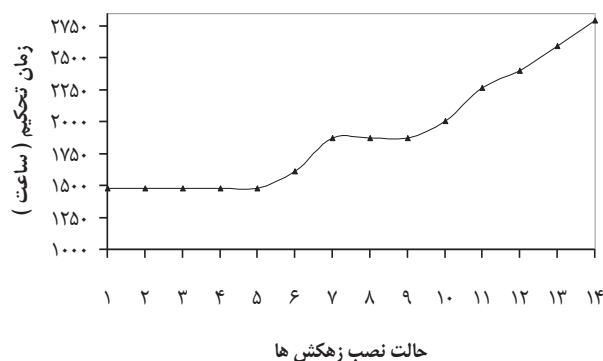
۵. نتیجه گیری

استفاده از زهکش های قائم پیش ساخته در عمق بستر راه آهن موجب کاهش مدت زمان دست یابی به حداکثر تحکیم می شود که در نتیجه آن مدت زمان تعمیر و نگهداری خط آهن به حداقل ممکن خود کاهش می یابد و از این طریق مقدار هزینه ای که صرف تهیه زهکش ها شده است برگشت داده می شود. از طرف

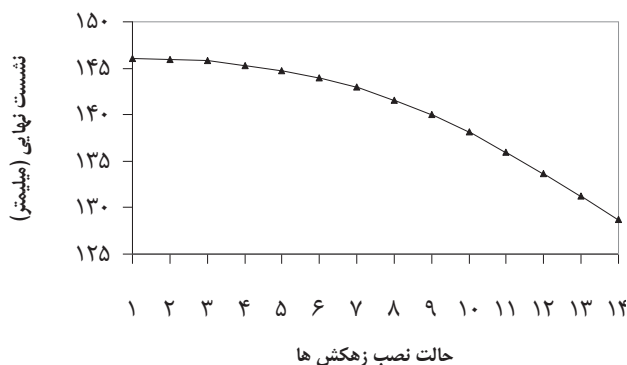
شماره ۸ مناسب تشخیص داده می شود. زیرا درجه تحکیم نسبت به حالت های قبل افزایش بیشتری دارد. از لحاظ پارامتر نشست نهایی بستر (نمودار ۱۷)، حالت های ۷ الی ۹ مناسب هستند، زیرا دارای مقدار نشست کمتری هستند. با جمع بندی این سه پارامتر تحکیم، گزینه شماره ۹ یعنی نصب زهکش های پیش ساخته با طول های (۱۱-۱۲-۱۳) مناسب تشخیص داده می شود. در شکل شماره (۱۸) نمایی از مدل بستر تحکیم یافته توسط ۵ عدد زهکش قائم پیش ساخته با فاصله نصب ۵ متر از یکدیگر در حالت (۱۱-۱۲-۱۳) نشان داده شده است. در شکل (۱۹) نمای گرافیکی از مقطع عرضی بستر خط آهن در حالت نهایی (پیشنهادی) نشان



شکل ۱۶. نمودار درجه تحکیم بستر S_۱ (استفاده از زهکش)

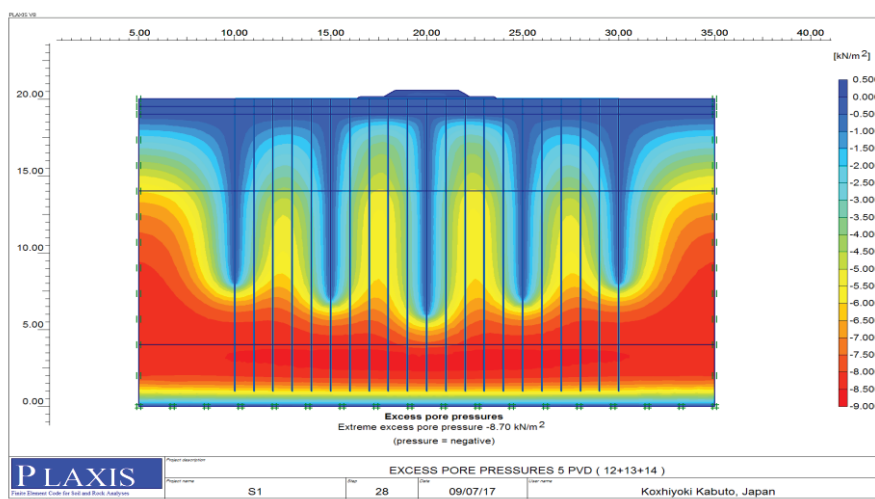


شکل ۱۵. نمودار زمان تحکیم بستر S_۱ (استفاده از زهکش)

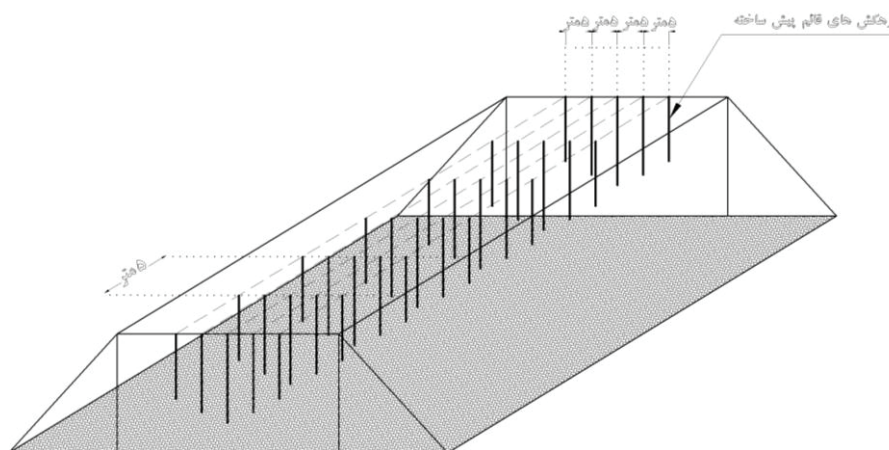


شکل ۱۷. نمودار نشست نهایی بستر S_۱ (استفاده از زهکش)

توسعه روش پایدارسازی زیرسازی خطوط سنگین راه آهن با استفاده از ...



شکل ۱۸. نمایی از بستر تحکیم یافته توسط زهکش های قائم پیش ساخته در حالت (۱۱-۱۲-۱۳)



شکل ۱۹. نمایی از بستر تحکیم یافته توسط زهکش های قائم پیش ساخته در حالت نهایی (پیشنهادی)

حاصل دارای محدودیت هایی از جمله عدم روشن سازی استفاده بهینه از این زهکشها در اجرا است. بررسی و تکمیل تحقیقات در راستای کاربردی کردن این زهکشها و ایجاد یک الگوی مناسب نصب زهکش در بستر خط آهن در این تحقیق انجام شده است. تا از این رهگذر، نتایج تحقیقات موجود قابلیت اجرایی پیدا کنند. در این مقاله با ساخت یک مدل بهینه از بستر راه، بسترهای مختلف خطوط آهن (مطابق با ضوابط) از لحاظ پارامترهای تحکیمی مورد بررسی قرار گرفت. بستر ضعیف تنها بستر مناسب جهت بهسازی بوسیله زهکش های قائم پیش ساخته تشخیص داده شد. با انجام تحلیل حساسیت بر روی مدل ساخته شده، ابعاد، تعداد و طول زهکش های قائم پیش ساخته لازم جهت نصب در بستر

دیگر پایدارسازی خط در مدت زمانی طولانی تری تضمین شده و امکان استفاده بیشتر از این سیستم خط فراهم می شود. مزیت اصلی این زهکشها در سیستم خطوط آهن جدید الحداث است. از آنجایی که یک فاصله زمانی میان مرحله احداث خط آهن و مرحله بهره برداری کامل از خط وجود دارد، این زهکشها می توانند با افزایش دادن سرعت فرآیند تحکیم، علاوه بر تامین ایمنی و پایدارسازی خط، زمان تثبیت بستر را نیز کاهش دهند که این عمل باعث کاهش هزینه های جاری خط می شود. در یک دهه اخیر تحقیقات زیادی در زمینه این زهکشها صورت گرفته است. این تحقیقات اگر چه ارزش استفاده از این زهکشها را آشکار می کنند، ولی تنها به بررسی چند پارامتر خاص پرداخته و نتایج

drains using an elliptical cavity expansion theory", International Journal of Geomechanics, Vol 10. No 2, pp.53-64.

- Holtz, R. D. (1987) "Preloading with prefabricated vertical strip drains", Geotextiles and Geomembranes, Vol 6, Issues 1-3, pp. 109-131.

- Indraratna, B. (2008) "Recent advances in the use of prefabricated vertical drains in soft soils", Faculty of Engineering, 418 pages.

- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., Ewers, B. and Adams, M. (2009) "Class A prediction of the behavior of soft estuarine soil foundation stabilized by short vertical drains beneath a rail track. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 136(5), pp.686-696.

- Indraratna, B., Sathanathan, I., Rujikiatkamjorn, C. and Balasubramaniam, A. S. (2005) "Analytical and numerical modeling of soft soil stabilized by prefabricated vertical drains incorporating vacuum preloading", International Journal of Geomechanics, Vol 5, No.2, ASCE.

- Indraratna, B., Shahin, M. A. and Rujikiatkamjorn, C. (2006) "Stabilization of rail tracks and underlying soft soil formations", Indian Geotechnical Conference, India, pp. 41-50.

- Indraratna, B., Attya, A. and Rujikiatkamjorn, C. (2009) "Experimental investigation on effectiveness of a vertical drain under cyclic loads", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(6), pp.835-839.

- International Union of Railways (2006) "UIC Leaflet" UIC No. 13-0345, France.

- Lo, S. R., Mak, J., Gnanendran, C. T., Zhang, R. and Manivannan, G. (2008) "Long-term performance of a wide embankment on soft clay improved with prefabricated vertical drains", Canadian Geotechnical Journal, Vol 45, Number 8, pp. 1073-1091(19).

-Lorenzo, G. A., Bergado, D. T., Bunthai, W., Hormdee D. and Phothiraksanon, P. (2004) "Innovations and performances of PVD and dual function geosyn-

ضعیف معین شد. براساس الگوی به دست آمده، برای بهسازی بستر ضعیف خط آهن سنگین باید از پنج عدد زهکش قائم پیش ساخته با فاصله نصب پنج متر از یکدیگر در مقطع عرضی خط آهن استفاده شود. زهکش نصب شده در مرکز خط آهن سیزده متر طول داشته و دو زهکش مجاور که در فاصله پنج متری نصب شده دوازده متر طول دارند. دو زهکش کناری بستر که از مرکز خط آهن ۱۰ متر فاصله دارند دارای طولی برابر یازده متر هستند. در این تحقیق نشان داده شد که با استفاده از الگوی پیشنهادی نصب زهکش ها، فرآیند تحکیم بستر تسریع شده و سریعتر خاتمه می پذیرد. به این صورت با افزایش دادن سرعت فرآیند تحکیم، علاوه بر تامین ایمنی و پایداری خط، زمان تثبیت بستر کاهش می یابد. از این طریق آماده سازی خط جهت بهره برداری کامل، تسریع می شود. با عنایت به امکان تولید ماده اولیه این زهکش ها (از پسماند محصولات صنایع پتروشیمی) در داخل کشور از یک سو و از سوی دیگر مزایای قابل ملاحظه استفاده از این تکنیک در تقویت مقاومت و پایداری بستر راه آهن، درنواحی بی که دارای خاک های ریزدانه رسی هستند، استفاده از الگوی پیشنهادی جهت احداث خطوط سنگین ریلی دارای توجیه فنی و اقتصادی است.

۶. مراجع

- American Railway Engineering and Maintenance of Way (AREMA) (2006) "Manual For Railway Engineering", Vol. 4, Chap.16, Part 10.

- Bo, M. W. (2004) "Discharge capacity of prefabricated vertical drain and their field measurements" Geotextiles and Geomembranes, Vol 22, Number 1, pp. 37-48

- Chu, J., Bo, M.W. and Choa, V. (2004) "Practical considerations for using vertical drains in soil improvement projects", Geotextiles and Geomembranes Pub.Service, Vol 22, Number 1, pp. 101-117

- Ghandeharioon, A., Indraratna, B. and Rujikiatkamjorn, C. (2009) "Analysis of soil disturbance associated with mandrel-driven prefabricated vertical

توسعه روش پایدارسازی زیرسازی خطوط سنگین راه آهن با استفاده از ...

conventional methods in railway analysis and design", Canadian Journal of Civil Engineering, 37(5), pp.675-683.

- Shahin, M. A. and Indraratna, B. (2006) "Parametric study on the resilient response of ballasted railway track substructure using numerical modelling", ASCE. Geotextiles and Geomembranes, Vol 22, Number 1, pp. 75-99(25).

- Stamatopoulos, Aris, C. and Kotzias, Panagiotis, C. (1985) "Soil improvement by preloading", Wiley, John and Sons Pub.Service.

- Ni, J. (2012) "Application of geosynthetic vertical drains under cyclic loads in stabilizing tracks", Ph.D. dissertation, University of Wollongong.

- Sadeghi, J. (2008) "Fundamentals of analysis and design of railway ballasted track", IUST Publication, Tehran.

- Sadeghi, J. and Barati, P. (2010) "Improvement of