کانون سراسری انجمن های صنفی مهندسان معمارایران
همایش بین المللی معماری،عمران و شهرسازی در هزاره سوم
تهران - تیر ماه ۹۴

بررسی وتحلیل کاهش نشست خاکریزهای احداثی با ژئوگریدها در خطوط ریلی با سرعت بالا

هادی کاربخش راوری [۱]*، حامد کاربخش راوری

۱- مدرس مدعو دانشگاه ازاد اسلامی واحد کرمان،ایران ومدرس دانشگاه های علمی کاربردی استان کرمان
۲-کارشناس ارشد زمین شناسی تکتونیک

چکیده

امروزه حمل ونقل یکی از دغدغه های اساسی در جابه جایی کالا ومسافر محسوب می شود.لذا یکی از عوامل اصلی ،سرعت در جابه جایی ،زیرساخت وسیله نقلیه عمومی می باشد.در این مقاله ابتدا یک مدل از اجزای محدود توسط نرم افزارPLAXIS برای خطوط بالاستی ارایه و با توجه به لایه سابگرید منتخب گونه ای منحصر به فرد که استفاده ازژیوگریدها ست در مدلسازی دخیلونتایج حاصل بانمونه اولیه مقایسه و کاهش نشست آنها مورد بررسی قرار گزفت این نتایج حاکی از آن استکه درصورت استفاده ازدو لایه ژیوگرید درلایه سابگرید کاهش نشستی تا ۵/۵ درصد درحالت استاندار و بهینه خواهیم داشت.

واژه‌های کلیدی: : کاهش نشست، تثبیت، خطوط ریلی ،خاکریز

۱- مقدمه

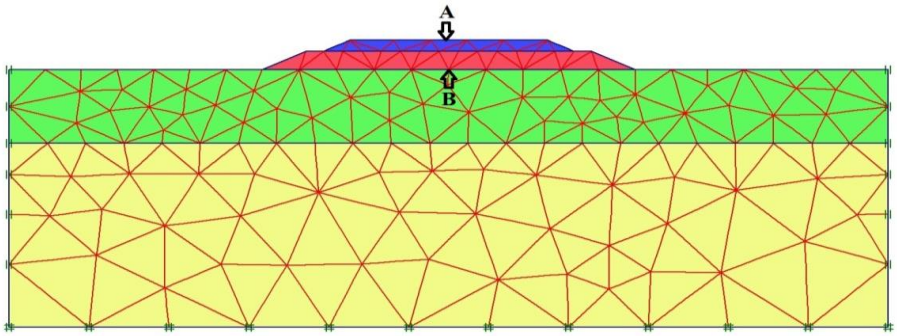
امروزه با پیشرفت تکنولوژی بشر به دنبال دستیابی به ابزارهای جابه جایی برای دسترسی اسانتر وایمن تر می باشد. دراین میان به نظر می رسد تحقیق در زمینهٔ خطوط ریلی بحث خاکریزها و بستر راه‌آهن از اهمیت بسزایی برخوردار است، زیرا روسازی راه‌آهن اغلب از استانداردهای بین‌المللی پیروی می‌کند و چندان تغییرپذیر نیست، اما زیرسازی و بستر خطوط ریلی است که تفاوت در طراحی‌ها را آشکار می‌سازد. در اینجاست که مهندسان ژئوتکنیک به‌دنبال طراحی‌های هوشمندانه ودر نتیجه افزایش مقاومت، کاهش نشست‌ها و ارائهٔ طراحی اقتصادی هستند. کشور ایران نیز با قرار گرفتن در فلات ایران، بستر بسیار مناسبی برای بهره‌گیری هر چه بهتر از خطوط ریلی با سرعت بالاتر است. حال با آگاهی از اهمیت موضوع و نیاز هر چه بیشتر به پژوهش در این زمینه، در تحقیق فوق به بررسی رفتار خطوط ریلی پرداخته شده است.

۲- مروری بر پیشینه تحقیق

خطوط ریلی به‌صورت عمده از دو بخش اصلی روسازی و زیرسازی تشکیل شده‌اند. خطوط ریلی با روسازی بالاستی[۱] (گزینه مورد تحقیق) در قسمت روسازی متشکل از ریل، تراورس، پایبندها و بالاست یا دیگر عناصر جایگزین این موارد هستند. در قسمت زیرسازی که به‌طور عمده به دو بخش خاکریزی و خاکبرداری‌ها تقسیم می‌شوند، خاکریزها اهمیت ویژه‌ای دارند که توجه اصلی این مقاله نیز به بخشی از همین قسمت معطوف شده است. جسم خاکریز از چند بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: بدنهٔ باربر خاکریز، بخش سابگرید، سطح آماده‌شدهٔ و لایهٔ زیربالاست. نوع مصالح قابل استفاده و میزان تراکم مورد نیاز در هر یک از این بخش‌ها متفاوتند. از این میان نقش لایهٔ سابگرید در طراحی‌ها بسیار شایان توجه است. نقش این لایه، به حداقل رساندن مقادیر تنش منتقل‌شده از لایهٔ زیربالاست به بستر، کنترل تغییر شکل بدنهٔ خاکریز و تحمل ارتعاشات حاصل از عبور قطار سریع‌السیر و مقاومت در مقابل عمق نفوذ یخبندان است. این لایه در واقع قسمتی از خاکریز است وضخامت آن (بسته به مقدار سرعت طرح، نوع روسازی، جنس مصالح در دسترس و شرایط آب و هوایی) تفاوت دارد. قسمت سطحی لایهٔ سابگرید را (که از مشخصات بهتری در مقایسهٔ با بخش زیرین آن برخوردار است) لایهٔ سابگرید منتخب می‌نامند [۱]. به یقیین می توان گفت که یکی از اساسی‌ترین و ضروری‌ترین قدم‌ها برای ارایه یک پژوهش علمی، آشنایی و بررسی تحقیقات و مقالات پیشین مرتبط با آن موضوع است. این کار موجب آگاهی از بسیاری از جوانب مربوط به موضوع می‌شود، همچنین این امکان رافراهم می‌کند که نتایج حاصل با پژوهش‌های پیشین مقایسه شوند که خود ملاک مناسبی برای صحت‌سنجی و اعتبار یک تحقیق علمی است. از این میان می‌توان به پایان‌نامهٔ هندری اشاره کرد. در این پایان‌نامه به روش تحلیلی ارائه‌شده توسط وینکلر توجه بسزایی شده است و با تحقیقات میدانی بر روی راه‌آهن ایرلند شمالی با نگرش ویژه به نشست، اثرات تغییر در ارتفاع لایهٔ بالاست و همچنین تقویت لایهٔ سابگرید بررسی شده است [۲]. همچنین در مقاله و پایان‌نامهٔ ارائه‌شده توسط اِگلی و اوسون رفتار لایهٔ سابگرید منتخب در زیر قطارهای سریع‌السیر مورد بررسی قرار گرفته‌است. در این تحقیقات لایهٔ سابگرید با استفاده از درصدهای متفاوت سیمان تقویت و با افزایش مدول الاستیسیتهٔ خاک، تأثیر این سابگریدهای تقویت‌شده بر نشست مطالعه در نتیجه با استفاده از این سابگریدهای تقویت‌شده با سیمان، امکان استفاده از سابگرید با ارتفاع کمتر و نشست پذیرفتنی به اثبات رسیده‌است [۳]. در مقالهٔ ارائه‌شده توسط لسود وکوتیچی با بهره‌گیری از مدلسازی طولی یک مسیر ریلی، نشست خاک بررسی شد و در نتیجه تأثیرات لایهٔ ساب‌بالاست و اثرات مخرب حذف یا کاهش ارتفاع آن در خطوط بالاستی به اثبات رسید [۴]. آلوز کاستا و دیگران در مقاله‌ای با توجه به رسیدن سرعت قطارهای سریع‌السیر حتی به بیش از ۵۰۰ کیلومتر در ساعت، به بررسی نظری فرمول‌های مربوط به این حرکت دینامیکی بر بستر پرداخته‌اند و همچنین مدلی ۲/۵ بعدی از خاکریزهای خطوط ریلی با لایه‌های متفاوت ارائه کرده اند [۵]. از میان

[۱] Ballasted

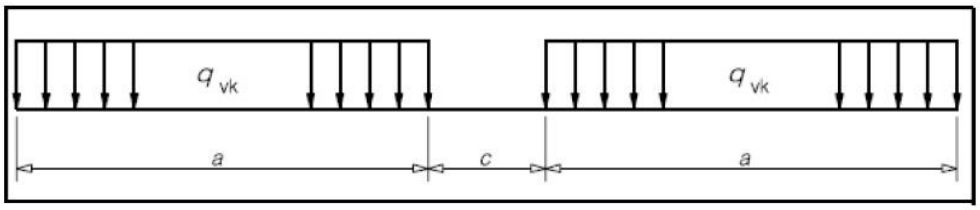
پژوهش‌های آزمایشگاهی می‌توان به تحقیقات آل شایر اشاره کرد که در آن یک مدل آزمایشگاهی با مقیاس کوچک‌تر از واقعیت، از یک خط ریلی بالاستی تهیه شد و با جک‌های هیدرولیکی قوی تحت بارگذاری‌های سیلکی قرار گرفت و نشست و تنش اندازه‌گیری شد، نویسندگان مقاله برای به‌دست آوردن روابطی در زمینهٔ تأثیرات بارهای دینامیکی بر خطوط ریلی بالاستی و تأثیر سرعت و شتاب بر نشست و تنش، تلاش شایان توجهی کردند [۶]. در زمینهٔ تثبیت خطوط ریلی می‌توان به پژوهش‌های وودوارد و دیگران اشاره کرد که با توجه به میل اکثر سازندگان خطوط ریلی سریع‌السیر به استفاده از دال‌خط‌ها به‌جای خطوط بالاستی، تلاش شده است تا راه‌حلی برای افزایش مقاومت و کاهش نشست خطوط بالادستی به‌وسیلهٔ



ژئوکامپوزیت‌های پلیمری ارائه شود [۷]. این تثبیت منحصر به‌فرد بعدها در مقالهٔ دیگری از وودوارد و همکارانش [۸] و کندی و همکارانش [۹] ادامه پیدا کرده است.تاریخچهٔ مروری نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقات و مدلسازی‌های انجام‌شده مربوط به روسازی خطوط ریلی بوده و کمتر به پژوهش و مدلسازی در زمینهٔ بستر راه پرداخته شده است، علت این امر، شاید جدا بودن این دو گرایش مهم مهندسی عمران در بسیاری از کشورهاست که مهندسان ژئوتکنیک کمتر به مسائل مربوط به خطوط ریلی می‌پردازند، از سوی دیگر مهندسان راه‌آهن بیشتر تحقیقات خود را به مسائل لایه‌های فوقانی خطوط ریلی معطوف کرده‌اند و به بستر این خطوط توجه اندکی شده است. بنابراین برای درک بهتر نکتهٔ مزبور، در این مقاله برای مدلسازی خاکریز خطوط ریلی در یکی از نرم‌افزارهای معتبر مهندسی ژئوتکنیک تلاش و از منظر ژئوتکنیک رفتار بستر راه‌آهن و گونه‌ای از تثبیت آن بررسی شده است.

۳- مد لسازی تحقیق

امروزه با پیچیدگی تحلیل برخی از مسائل ژئوتکنیک و افزایش قدرت پردازش نرم‌افزارها، مدلسازی رایانه‌ای مسائل، از رایج‌ترین و مطمئن‌ترین روش‌های بررسی و پیش‌بینی رفتار خاک است. از آنجا که بسیاری از آیین‌نامه‌ها نیز (در مواردی که امکان ارائهٔ روابط تحلیلی و پارامتریک پذیرفتنی برای حل مسائل را نداشته‌اند) استفاده از روش‌های عددی را توصیه کرده‌اند، این روش‌ها بسیار گسترده شدند و پیشرفت کرده‌اند. از میان این روش‌های عددی، اجزای محدود با برتری‌های فراوان، بسیار مورد توجه بوده است. یکی از نرم‌افزارهایی که از روش اجزای محدود برای تحلیل عددی مسائل ژئوتکنیکی استفاده می‌کند، نرم‌افزار PLAXIS است. از مزایای این نرم‌افزار می‌توان به تحلیل مرحله‌ای مدل و همچنین امکان فعالسازی برخی از المان‌های تعریف‌شده در صورت عدم فعالیت دیگر المان‌ها نام برد که برای مقایسهٔ حالت معمولی و تثبیت‌شدهٔ خاکریزها در صورت فعالیت ژئوگریدها، بسیار مفید و کاربردی است.برای مدلسازی یک خاکریز خطوط ریلی در نرم‌افزار PLAXIS از مشخصات یک مدل تیپ طراحی برای قطارهای سریع‌السیر استفاده شده‌است. هندسهٔ مدل و مش‌بندی اجزای محدود آن با المان‌های مثلثی ۱۲ گرهی در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. هندسه و مش‌بندی مدل خاکریز خطوط ریلی با روسازی بالاستی

در شکل (۱) عرض مدل ۱۵ متر، ضخامت لایهٔ بالاست ۰/۳ متر، لایهٔ زیر بالاست ۰/۵ متر، سابگرید منتخب ۲ متر و سابگرید ۵ متر است. خصوصیات ژئوتکنیکی لایه‌های خاکریز نیز در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱. خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح در مدلسازی انجام شده در نرم‌افزار PLAXIS

در این مدلسازی از تأثیر و نقص‌های موجود در اجزای غیرخاکی روسازی (ریل، تراورس، پایبندها و ...) چشم‌پوشی و رفتار خاک در زیر بارهای ناشی از قطار بررسی شده است؛ مدل رفتاری خاک‌ها در تمامی لایه‌ها، موهرکولمب فرض شده است؛ تأثیرات آب و فشار آب منفذی، لحاظ نشده و تمامی خاک‌ها زهکشی‌شده مدل شده‌اند و چسبندگی بالاست خط ریلی برای جلوگیری از گسیختگی، مقدار حداقل و بسیار اندکی لحاظ شده است. بارگذاری مدل بر اساس استاندارد SW/۰ و در جهت اطمینان نسبت به بارگذاری‌های معمول بوده است که آرایش بارگذاری بر اساس این استاندارد در شکل ۲ و مقدار بار عمودی در آن در جدول ۲ ارائه شده است.

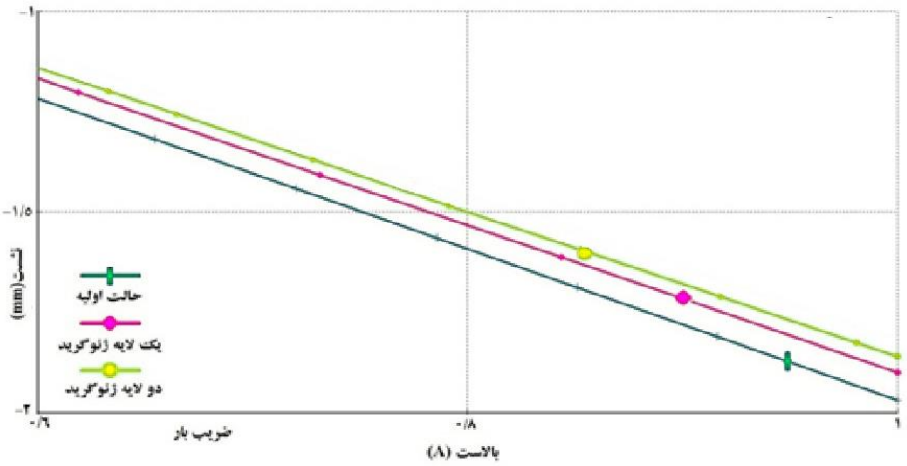
	γ (kN/m³)	E (kN/m²)	ν	C (kN/m²)	Φ (deg.)
بالاست	۱۹	۳۰۰۰۰۰	۰/۴۵	۱	۴۰
ساب بالاست	۱۸	۱۲۰۰۰۰	۰/۴۱	۱/۵	۳۸
سابگرید منتخب	۱۷	۸۰۰۰۰	۰/۳۵	۷	۳۷
سابگرید	۱۶	۶۰۰۰۰	۰/۲	۵	۳۵

شکل ۲. آرایش بارگذاری بر اساس استاندارد SW/۰

جدول ۲. مقادیر بار عمودی در استاندارد SW/۰

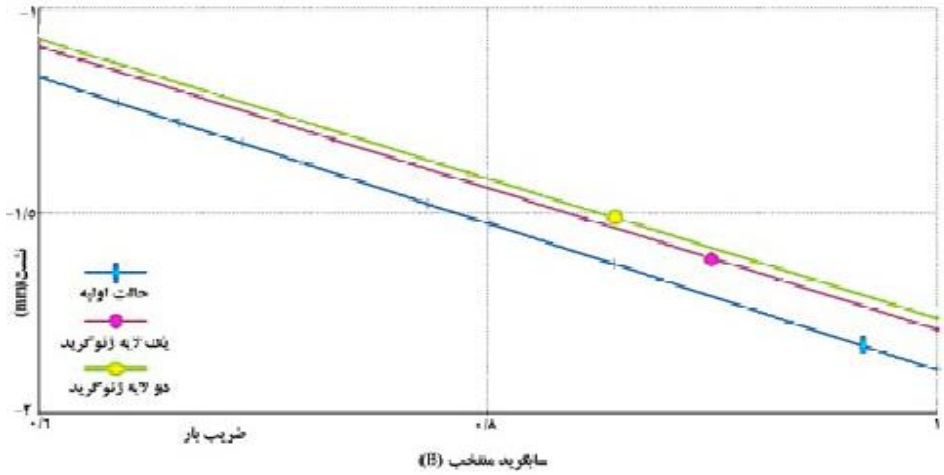
مدل بار	q_{vk} (kN/m)	a (m)	c (m)
SW/۰	۱۳۳	۱۵	۵/۳

پس از اجرای آنالیز اجزای محدود، حالت اولیهٔ مدلسازی فراهم شده و میزان نشست در لایهٔ بالاست ۱/۹۷ میلی‌متر، در لایهٔ ساب‌بالاست ۱/۹۷ میلی‌متر و در لایهٔ سابگرید ۱/۸۴۹ میلی‌متر به‌دست آمده‌است. شایان ذکر است که نشست در لایهٔ ساب‌بالاست به‌علت اختلاف بسیار اندک و تشابه بسیار زیاد با لایهٔ بالاست، در دیگر مدلسازی‌های مطرح نخواهد شد و همان میزان اختلاف به‌دست آمده برای بالاست، برای ساب‌بالاست نیز صدق می‌کند، بنابراین، در این بخش توجه اصلی به دو نقطهٔ اساسی A در بالای لایهٔ بالاست و B در بالای لایهٔ سابگرید منتخب معطوف می‌شود که در شکل ۱ با علامت پیکان مشخص شده‌اند. حال با استفاده از ژئوگریدها در لایهٔ سابگرید منتخب، تلاش شده‌است تا تأثیر استفاده از این‌گونهٔ تثبیت خاک در نشست حاصل از حرکت قطارهای سریع‌السیر بر روی خاکریزهای خطوط ریلی بررسی شود. استفاده از ژئوگریدها در بسیاری از پروژه‌های احداث خطوط ریلی برای جداسازی و جلوگیری از پدیدهٔ مکندگی[۲] یا زهکشی بستر مرسوم بوده، اما تأثیر استفاده از ژئوگرید با سختی محوری پیشنهادی نرم‌افزار(که ۲۰۰ مگاپاسگال است) در نشست، نکتهٔ مدنظر این مقاله است. پس در ابتدا استفاده از یک لایه، سپس دو لایه از ژئوگریدها در لایهٔ سابگرید منتخب بررسی گردیده و پس از آنالیز اجزای محدود با نرم‌افزار PLAXIS، نتایج مربوط به نشست ارائه می‌شود.



شکل ۳. کاهش نشست در نقطهٔ A در صورت استفاده از ژئوگریدها

[۲] Pumping



شکل ۴. کاهش نشست در نقطهٔ B در صورت استفاده از ژئوگریدها

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

در ابتدا به‌منظور بررسی حالت بهینه برای استفاده از یک لایهٔ ژئوگرید، با مدلسازی ۱۱ لایه از ژئوگرید در سابگرید منتخب با فاصلهٔ ۰/۲ متر از یکدیگر و مش‌بندی اجزای محدود، حالت اولیهٔ مشابه برای تمامی مدلسازی‌ها فراهم و با استفاده از برتری شایان توجه نرم‌افزار برای فعال کردن یا غیرفعال کردن المان‌ها، هر یک از ژئوگریدها در آنالیزی مجزا فعال و در حالت عدم فعالیت دیگر لایه‌ها، تأثیر آن لایهٔ ژئوگرید بررسی شد. نتایج حاصل حاکی از آن است که کمترین مقدار نشست در صورت استفاده از یک لایه ژئوگرید، در پایین‌ترین قسمت لایهٔ سابگرید منتخب و مرز میان این لایه و خاک سابگرید زیرین ایجاد می‌شود. پس از کسب این نتیجه، شاید منطقی جلوه کند که استفاده از دو لایه ژئوگرید نیز در همین ارتفاع، بهترین و کمترین نشست را به‌دنبال خواهد داشت، اما به این فرضیه و نتایج حاصل از مدلسازی قبل اکتفا نشد و استفاده از دو لایهٔ ژئوگرید در مرکز سابگرید منتخب، قسمت فوقانی، قسمت تحتانی و یک‌سوم ارتفاع با فواصل متفاوت نیز بررسی شدند. نتایج حاصل نشانگر کاهش بیشتر نشست در صورت استفاده از هر دو لایهٔ ژئوگرید در نیمهٔ تحتانی سابگرید و با بیشترین فاصله از یکدیگر است، به این معنا که اگر از یک لایه ژئوگرید در پایین‌ترین قسمت و از لایهٔ دیگر در میان لایهٔ سابگرید منتخب استفاده شود، نشست مقداری بهینه خواهد داشت برای نشان دادن تأثیر ژئوگریدها بر نشست، از ارائهٔ نتایج متفرقه پرهیز و صرفاً نتایج حالت بهینه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. مقادیر کاهش نشست در صورت استفاده از ژئوگریدها

	نشست (میلیمتر)		کاهش نشست (٪)	
مقاوم سازی با	بالاست	سابگرید منتخب	بالاست	سابگرید منتخب
یک لایه ژئوگرید	۱/۹۰۱	۱/۷۸۵	۳/۵۱	۳/۴۷
دو لایه ژئوگرید	۱/۸۶۱	۱/۷۵۶	۵/۵۴	۵/۰۳

همچنین با یادآوری دو نقطهٔ A و B در بالای بالاست و سابگرید، شکلهای ۳ و ۴ روند کاهش نشست از حالت اولیه تا استفاده از سه لایهٔ ژئوگرید در این دو نقطه را نشان می‌دهد.

۵- نتایج تحقیق

۵-۱- استفاده از ژئوگریدها در لایهٔ سابگرید منتخب در خاکریزهای خطوط ریلی موجب کاهش نشست شده‌است.

۵-۲- در خطوط ریلی با روسازی بالاستی، ارتفاع بهینه برای استفاده از ژئوگریدها در پایین‌ترین قسمت لایهٔ سابگرید منتخب و مرز میان این لایه و خاک سابگرید زیرین است که نشست را به میزان ۳/۵ درصد کاهش می‌دهد.

۵-۳-در صورت استفاده از دو لایهٔ ژئوگرید در لایهٔ سابگرید منتخب در خطوط ریلی با روسازی بالاستی، آرایش بهینه، استفاده ازیک لایه ژئوگرید در پایین‌ترین قسمت و لایهٔ دیگر در میانه لایهٔ سابگرید است، که این امر نشست را تا بیش از ۵/۵ درصد کاهش می‌دهد.

۵-۴- اگرچه استفاده از ژئوگریدها در لایهٔ سابگرید منتخب، موجب کاهش بسیار چشمگیر نشست در خطوط ریلی با روسازی بالاستی نمی‌شود، با توجه به اندک بودن نشست‌های اولیه و قیاس میان این‌گونه از تثبیت خاک و دیگر روش‌های مقاوم سازی می‌توان تأثیر پذیرفتنی این روش را انتظار داشت.

۶-مراجع

[۱] نشریهٔ شمارهٔ ۳۹۴، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه‌آهن سریع‌السیر.

[۲] Hendry M, (۲۰۰۷). Measurement and Analysis of the Train-induced Dynamic Response of Railway Track and Embankments Constructed over Soft Peaty Foundations. Master Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon.

[۳] Usun H, (۲۰۱۰). Laboratory Study for Determining Geotechnical Engineering Properties of Cement-Treated and–Untreated Backfill Soils used in High Speed Railway Embankments, M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Izmir Institute of Technology, Izmir.

[۴] Lassoued R, Guettiche A, (۲۰۱۱), Mechanical behaviour of railway track. Physics Procedia ۲۱ (۲۰۱۱) ۱۶۶ – ۱۷۳.

[۵] Alves costa P, Colaco A, Calcada R, Cardoso AS, (۲۰۱۴). Critical speed of railway tracks. detailed and simplified approaches. To appear in: Transportation Geotechnics (۲۰۱۴).

[۶] Al Shaer A, Duhamel D, Sab K, Foret G, Schmitt L (۲۰۰۸). Experimental settlement and dynamic behavior of a portion of ballasted railway track under high speed trains. Journal of Sound and Vibration ۳۱۶ (۲۰۰۸) ۲۱۱–۲۳۳.

[۷] Woodward PK, El kacimi A, Laghrouche O, Medero G, Banimahd M, (۲۰۱۲). Application of polyurethane geocomposites to help maintain track geometry for high-speed ballasted railway tracks. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering) (۱۱):۸۳۶-۸۴۹.

[۸] Woodward PK, Kennedy J, Laghrouchr O, Connolly DP, Medro G, (۲۰۱۴). Study of railway track stiffness modification by polyurethane reinforcement of the ballast, To appear in: Transportation Geotechnics (۲۰۱۴).

[۹] Kennedy J, Woodward PK, Medero G, (۲۰۱۳) . Reducing railway track settlement using polyurethane polymer reinforcement of the ballast. Construction and Building Materials ۴۴ (۲۰۱۳) ۶۱۵–۶۲۵.