Archive of SID

بررسی تأثیر سرعت بر نشست خط در راه آهن‌های سریع‌السیر

سیدجواد میرمحمد صادقی*، دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
سیدفرشاد هاشمی رضوانی، دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
E-mail: javad_sadeghi@iust.ac.ir
دریافت: ۱۳۹۰/۰٤/۰۱- پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۰٦

چکیده

توسعه راه آهن‌های سریع‌السیر در سال‌های اخیر، نیاز به تحقیقات برای ایجاد درک جامع‌تری از خصوصیات و رفتار سیستم راه آهن در اثر افزایش سرعت را ضروری کرده است. یکی از پارامترهای اساسی تأثیرگذار بر خروج از خط در راه آهن‌های سریع‌السیر، تغییرشکل روسازی خط در اثر افزایش سرعت است. در این تحقیق، اثر افزایش سرعت بر نشست خط، به‌عنوان مهم‌ترین معیار طراحی و بهره‌برداری از راه آهن های سریع‌السیر مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این تحقیق، ابتدا مدل عددی از سیستم راه آهن بر اساس روش اجزای محدود ساخته شده است. اعتبارسنجی مدل با مقایسه نتایج حاصل از تحلیل مدل عددی در شرایط رفتار خطی و غیر خطی لایه‌های سیستم حائل ریل و داده‌های به‌دست آمده از بررسی‌های میدانی در مواجهه با عبور قطارها با سرعت‌های مختلف، صورت گرفته است. در این تحقیق نشان داده شد که رفتار خط با فرض رفتار غیر خطی سیستم حائل ریل به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به فرض الاستیک خطی آن واقعی‌تر پیش‌بینی می‌گردد. با انجام این تحقیق، بازه بحرانی اختلاف نتایج منطبق بر دو فرض رفتاری اشاره شده خاک تعیین شده و مشخص گردید که در بازه سرعت ۱۲۰ تا ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت، نتایج حاصل از تحلیل غیر خطی سیستم ریلی (نشست حقیقی) به میزان ۶۵/۹۸ درصد با نتایج حاصل از تحلیل مدل الاستیک خطی اختلاف داشته است. پس از اعتبار سنجی مدل ساخته شده، با آنالیز حساسیت مدل، تأثیر سرعت قطارهای عبوری بر نشست خط مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج این تحقیق، سرعت بحرانی قطار برمبنای پارامتر نشست خط به‌دست آمد. نتایج حاکی از آن است که به طور کلی با افزایش سرعت تا ۱٤۰ کیلومتر بر ساعت، نشست خط افزایش یافته و پس از آن به طور کلی افزایش سرعت منجر به کاهش نشست می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سیستم ریلی، قطار سریع‌السیر، تحلیل دینامیکی، تاریخچه زمانی، غیر خطی

۱- مقدمه

یکی از مهمترین مسائل پیش روی طراحان، مسئله احداث خطوط ریلی سریع السیر بر روی بستر هایی با مقاومت نسبی پایین می‌باشد. در این نوع بسترها، سیکل‌های بارگذاری و باربرداری ناشی از عبور قطارهای سریع‌السیر، باعث نشست غیر مجاز زیرسازی خط شده و این امر منجر به خارج شدن خط از تراز ارتفاعی اولیه می‌گردد. این نشست غیر یکنواخت می‌تواند به مهمترین عامل خروج از خط قطارهای سریع السیر تبدیل گردد (نشریه ۳۵۵، ۱۳۸٦) و نشریه ۳۹٤، ۱۳۸٦) و به همین علت راه آهن‌های مختلف در سراسر دنیا سالانه هزینه‌های هنگفتی را صرف تعمیر و نگهداری خطوط ریلی خود می‌نمایند. طبق برآوردهای صورت گرفته، نیمی از این هزینه‌ها مستقیم یا غیرمستقیم به منظور حفظ تراز ارتفاعی و تمیزی بالاست صرف شده است که نشانه‌ای از اهمیت بالاست در خطوط ریلی می‌باشد (میرمحمد صادقی، ۱۳۸۷). سرند و تعویض (به عنوان

* نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت‌های نگهداری دوره‌ای)، بهبود سیستم زهکشی و زیر کوبی از جمله راه‌کارهایی هستند که هرساله به منظور حفظ و ارتقای کیفیت بالاست در راه آهن‌های گوناگون صورت می‌پذیرند (Profillidis, 2000).

تحلیل سیستم ریلی با توجه به نقش لایه‌های خاکریزی در زیرسازی و روسازی، در آیین‌نامه‌های مختلف در اصول دارای ساختار یکسان و در موارد حاشیه‌ای دارای تفاوت‌های سلیقه‌ای می‌باشد. به طور کلی در کلیه آیین‌نامه‌ها رفتار لایه‌های خاکریزی در سیستم ریلی، الاستیک و خطی منظور شده و تحلیل سیستم براساس تئوری بوسینسک یا تئوری الاستیسیته در فضای نیمه متناهی خاک، روش نیمه تجربی ـ نیمه تئوری و یا روش‌های کاملاً تجربی صورت می‌پذیرد (میرمحمد صادقی، ۱۳۸۷).

بر اساس تجارب حاصله در ادبیات مهندسی راه آهن، بارگذاری سیستم ریلی با فرض بار استاتیکی در روش‌های طراحی، زمانی قابلیت اعتماد دارد که ریل و چرخ عاری از هر گونه خرابی باشند یا سرعت سیر کم باشد (Auerch 2005, 2008)، اما در واقعیت این حالت وجود نداشته و نواقص و خرابی‌ها باعث تحریک سیستم شده و تأثیر طبیعت دینامیکی بارهای وارده نمایان می‌گردد. اختلاف این دو نوع در مواردی منجر به بروز بحران می‌شود و هنگامی که سرعت قطار افزایش می‌یابد، این اختلاف اهمیت بیشتری نیز پیدا خواهد کرد. در سال‌های گذشته محققان مختلفی روی نشست خطوط ریلی و تأثیر عوامل گوناگون از جمله سختی بستر، سطح آب زیرزمینی، شرایط تحکیم و ... بر آن مطالعه کرده‌اند (Madshus, 2000, Hwang, 1981, Kalstrom, 2006 and Sheng, 2003). اما تا کنون تأثیر سرعت با توجه به مدل‌سازی دقیق رفتار خاک مطالعه نشده و علاوه بر آن، سرعت بحرانی برای خطوط اشاره شده مورد بررسی قرار نگرفته است.

در تعیین نشست خطوط ریلی، استفاده از روش‌های تقریبی، مانند روش چند لایه‌ای بوسینسک یا هر روش تقریبی دیگری تخمینی مناسب و سریع را امکان‌پذیر می‌کند، اما اختلاف معنادار نتایج حاصل از این‌گونه تحلیل‌های تئوری و یا نیمه تجربی با نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی نشانه ضعف آنها در محاسبه مهم‌ترین پارامتر مربوط به طراحی و بهره‌برداری از خطوط سریع‌السیر می‌باشد. از این رو تحلیل دقیق رفتار دینامیکی سیستم خط و بستر با توجه به واقعیت‌های موضوع از جمله رفتار دقیق خاک ضروری می‌باشد. یکی از روش‌هایی که تحلیل دقیق این پدیده را امکان‌پذیر می‌سازد، روش اجزای محدود می‌باشد. این روش، امکان مطالعه دقیق سیستم را بدون ساده‌سازی‌های بیش از حد و با درنظر گرفتن شرایط حدی و رفتار حقیقی ماده فراهم می‌سازد. با توجه به موارد مذکور، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر سرعت قطارهای عبوری بر رفتار دینامیکی و فراآیین‌نامه‌ای سیستم ریلی و نشست خط در زیر تراورس به‌عنوان معیار اصلی در طراحی و بهره‌برداری از خطوط ریلی سریع‌السیر با در نظر گرفتن ماهیت واقعی خاک می‌باشد. به این منظور، در این مقاله ابتدا با استفاده از روش اجزای محدود، سیستم ریلی با دو فرض رفتار الاستیک خطی و غیر خطی (موهر – کولمب) مدل شده و پس از اعتبارسنجی آنها با استفاده از نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی، به‌وسیله آنالیز حساسیت تأثیر سرعت بر رفتار دینامیکی سیستم ریلی مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از نتایج این تحقیق، علاوه بر بررسی خطای محاسبه نشست خط در مدل‌های منطبق بر رفتار خطی مصالح خاک، با مدل‌های در برگیرنده رفتار غیر خطی آنها می‌توان به صورت کمّی به مطالعه تأثیر سرعت قطار بر نشست خط و تعیین سرعت بحرانی در مورد سیستم ریلی مورد بررسی پرداخت.

۲- مدل‌سازی و فرضیات

به منظور مدل‌سازی سیستم ریلی در این تحقیق، از نرم‌افزار اجزای محدود Plaxis (Plaxis Manual, 2002) استفاده شده است. مدل ایجاد شده شامل تراورس بتنی B70 (نشریه ۳۰۱، ۱۳۸٤)، لایه‌های مختلف خاک، شرایط مرزی و بارگذاری دینامیکی می‌باشد. همچنین به علت رفتار کرنش مسطح سیستم ریلی، از مدل دوبعدی استفاده شده است (Bo, 2004).

در مدل عددی ایجاد شده، بار دینامیکی قطار به طور مستقیم بر تراورس و با در نظر گرفتن عرض خط استاندارد (نشریه ۳۰۱، ۱۳۸٤) وارد شده است. این نوع بار با توجه به آرایش هندسی قطار X2000، فاصله بوژی‌ها و همچنین سرعت عبور قطار بر مدل عددی اعمال شده است. مشخصات قطار اشاره شده و تابع بار دینامیکی اعمالی در شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است. در شکل اخیر، t_i فاصله زمانی اعمال بار محوری هر بوژی عبوری می‌باشد که مطابق رابطه ۱ محاسبه شده است.

www.SID.ir

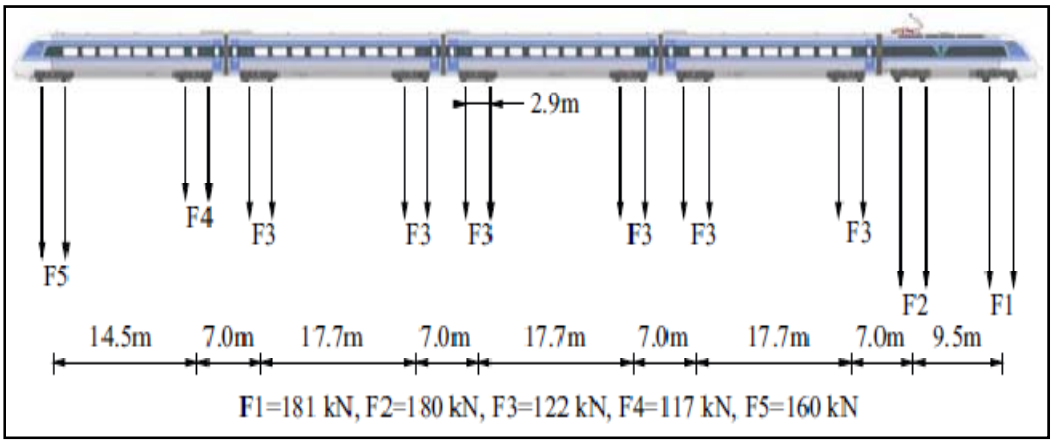
Archive of SID

$$t_i = \frac{L_i}{V} \qquad (۱)$$

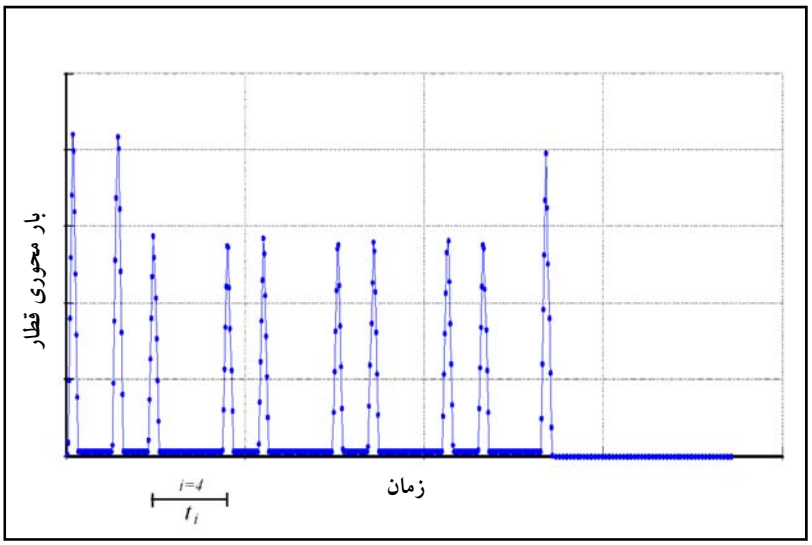
در رابطه ۱، t_i فاصله زمانی میان اعمال بار محوری بوژی i ام و بار محوری بوژی قبل از آن بر حسب ثانیه، L_i فاصله محوری بوژی i ام و بوژی قبل از آن بر حسب متر و V، سرعت عبور قطار بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد.

در سیستم ریلی مورد مطالعه در این تحقیق، فرض بر رفتار الاستیک و خطی تراورس و عملکرد خطی و غیرخطی بستر می‌باشد. به این منظور رفتار خطی خاک با استفاده از مدل الاستیک خطی و رفتار غیر خطی آن با استفاده از مدل موهر- کولمب که به‌صورت الاستیک - کاملاً پلاستیک، همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، مورد بررسی قرار گرفته است.

در شکل ٤ نمودار شماتیک معیار تسلیم موهر – کولمب به‌صورت یک مخروط شش وجهی برای خاک فاقد چسبندگی نمایش داده شده است. در این اشکال ε^e کرنش الاستیک، ε^p کرنش پلاستیک، σ' تنش موثر خاک و σ_i تنش‌های اصلی خاک هستند. مشخصات مصالح مورد استفاده در مدل عددی مربوط به هر دو نوع رفتاری خاک در جدول ۱ ارایه شده است. در این جدول V_s، سرعت موج برشی و V_p، سرعت موج فشاری در لایه خاک مورد نظر بوده که تابعی از مشخصات لایه خاک می‌باشد. همچنین در این جدول β_0، مؤلفه مربوط به میرایی رایلی، C چسبندگی خاک، $\emptyset$ زاویه اصطکاک داخلی خاک و ψ زاویه اتساع خاک می‌باشد.



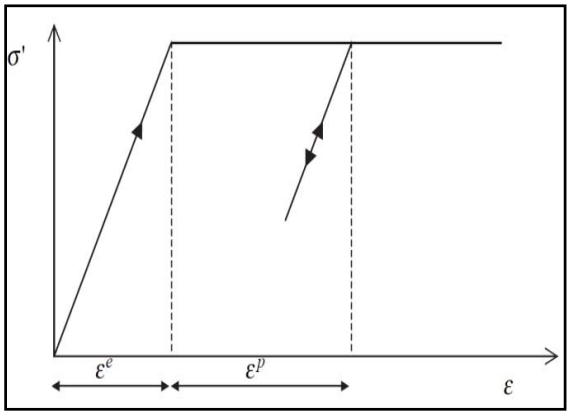
شکل ۱. آرایش محورها و بار محوری (Costa et al., 2010)



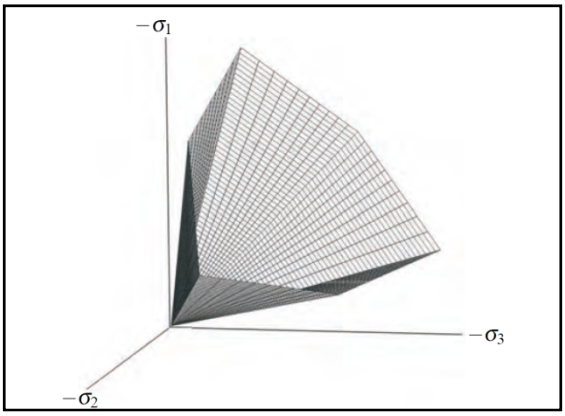
شکل ۲. نمودار شماتیک بار دینامیکی اعمالی بر خط

www.SID.ir

Archive of SID



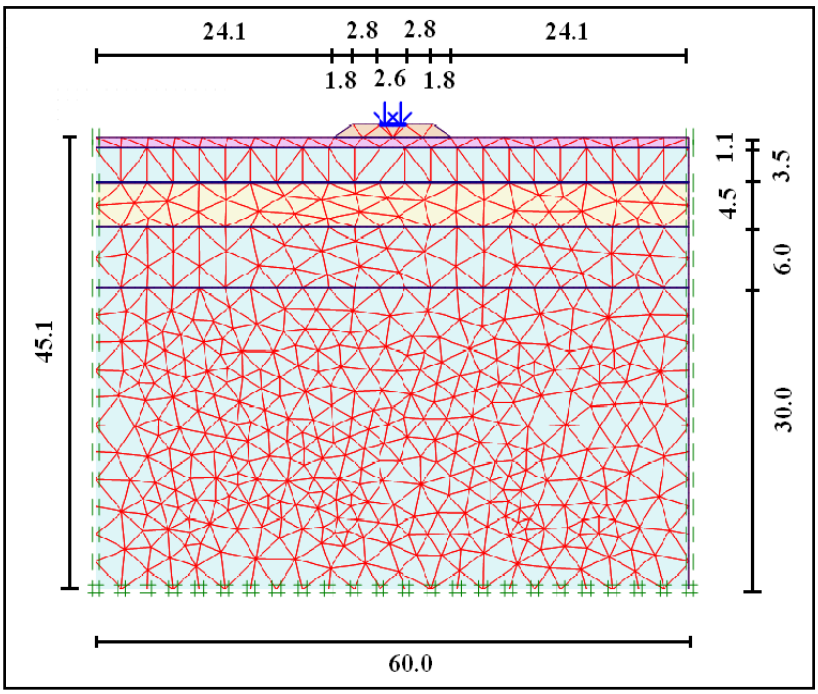
شکل ۳. رفتار مصالح الاستیک – کاملاً پلاستیک



شکل ٤. سطح تسلیم معیار موهر – کولمب

جدول ۱. مشخصات لایه‌ها (Costa et al., 2010)

لایه	ضخامت (m)	جرم حجمی $(\frac{kg}{m^3})$	$V_s\ (\frac{m}{s})$	$V_p\ (\frac{m}{s})$	β_0	$C\ (\frac{kN}{m^2})$	$\emptyset$	ψ
خاکریز	۱/۲	۱۸۰۰	۲۱۰	۳٤۰	۰/۰٤	۲/۰	۳٤	٤
لایه سطحی خاک	۱/۱	۱۵۰۰	٦۳	۵۰۰	۰/۰٤	۲/۰	۳٤	٤
رس ارگانیک	۳/۵	۱۲٦۰	٤۱	۵۰۰	۰/۰۲	۵/۵	۲٤	۰
رس ۱	٤/۵	۱٤۷۵	٦۰	۱۵۰۰	۰/۰۵	۲/۰	۲٤	۰
رس ۲	٦/۰	۱٤۷۵	۸۷	۱۵۰۰	۰/۰۵	۵/۰	۲٤	۰
رس ۳	۳۰/۰	۱٤۷۵	۱۰۰	۱۵۰۰	۰/۰۵	۲/۰	۲٤	۰



شکل ۵. مشخصات هندسی مدل اجزا محدود (ابعاد بر حسب متر)

www.SID.ir

Archive of SID

به علاوه در مدل اشاره شده، تراز آب‌های زیر زمینی در مرز لایه سخت لحاظ شده و اجازه تحکیم فقط از بالا برای دامنه منظور شده است. برای شبیه‌سازی هرچه بیشتر شرایط محیطی در مرزهای دو طرف مدل، حالت مرز بسته مورد استفاده قرار گرفته است (Indraratna et al., 2005). به علاوه، شرایط ویژه‌ای برای ابعاد و مرزهای مدل به منظور در نظر گرفتن این واقعیت که خاک یک محیط نیمه بی‌نهایت می‌باشد، در نظر گرفته شده است. بدون در نظر گرفتن این شرایط مرزی ویژه، موج‌ها روی مرزهای مدل به علت ارتعاش بازتاب کرده و منجر به ناهنجاری‌هایی می‌شود که نتایج تحلیل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به این منظور در مدل ایجاد شده از مرزهای جاذب و در فاصله ۳۰ متری از محور خط استفاده شده است. همچنین مش‌بندی مدل به‌صورت بسیار ریز و با استفاده از اجزای مثلثی ۱۵ گرهی صورت گرفته است که از درون‌یابی مرتبه چهار تغییر مکان و انتگرال‌گیری عددی از ۱۲ نقطه گاوسی (نقاط تنش) به‌دست می‌آید. در شکل ۵، ابعاد هندسی مدل اجزا محدود ایجاد شده نمایش داده شده است.

۳-اعتبارسنجی مدل

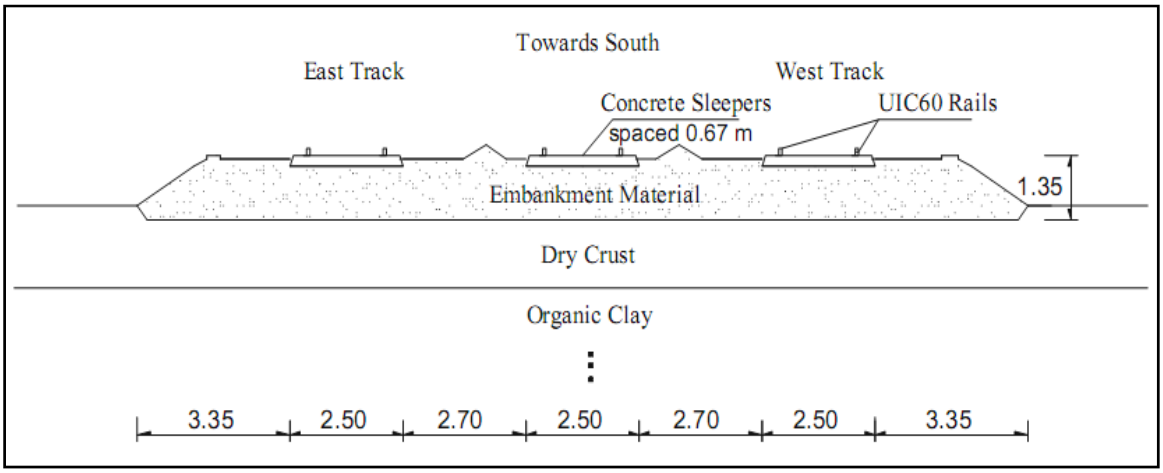
به منظور اعتبارسنجی مدل اجزای محدود ایجاد شده در این تحقیق، از بررسی‌های میدانی صورت گرفته توسط کاستا و همکاران (Costa et al., 2010) استفاده شده است. در این بررسی نشست خط لدسگارد در مواجهه با عبور قطارهای سریع‌السیر مورد بررسی قرارگرفته است. این خط در ۲۵ کیلومتری جنوب گوتنبرگ واقع شده و در سال ۱۹۹۷ با عبور قطارهای X2000 مورد بهره‌برداری قرار گرفت و پس از مدت کوتاهی به علت ارتعاشات فراوان، بارها توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ٦، مقطع عرضی خط اشاره شده، ارایه گردیده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، این محور داری سه خط ریلی بوده اما تنها خط غربی تحت عبور قطار X2000 بوده است. تعیین نشست خط به‌عنوان پارامتر اعتبارسنجی مدل ایجاد شده به وسیله محاسبه تغییر مکان میله‌ای صورت گرفته که یک سر آن در عمق ۱۲ متری خاک مهار شده و سر دیگر آن به میان دو تراورس متصل شده است.

نتایج مربوط به نشست خط در زیر تراورس در مدل اجزای محدود ایجاد شده تحت عبور قطار X2000 با سرعت ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت با فرض رفتار الاستیک خطی و غیر خطی (موهر- کولمب) به منظور مقایسه با نتایج بررسی میدانی در این بخش ارایه شده است. در شکل‌های ۷ و ۸ نتایج مربوط به تحلیل تاریخچه زمانی نشست خط در زیر تراورس با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی خاک (مدل موهر- کولمب) و رفتار الاستیک خطی نمایش داده شده است. با توجه به این نمودارها ملاحظه می‌شود که حداکثر این تغییر مکان در مدل موهر- کولمب ۱۰/۵ میلی‌متر و در مدل الاستیک خطی ۸/٤ میلی‌متر می‌باشد که به میزان ۲۰/۰ درصد از نتیجه رفتار غیرخطی خاک کمتر است. در شکل ۹ مقایسه نتایج حاصل از مدل عددی با نتایج حاصل از بررسی میدانی ارایه شده است. با توجه به این نمودار، می‌توان ملاحظه کرد که نتیجه حاصل از فرض رفتار غیر خطی خاک با نتیجه بررسی میدانی ۷/۰۷ درصد اختلاف داشته، حال آنکه اختلاف نشست خط در مدل مبتنی بر رفتار کشسان خاک با نشست تعیین شده در بررسی میدانی برابر ۲۵/٦٦ درصد می‌باشد. از این رو با استفاده از مدل اجزای محدود ایجاد شده با فرض رفتار غیر خطی خاک، می‌توان با دقت بالایی نشست خط را محاسبه کرد. بنابراین، در ادامه این تحقیق و در قسمت مربوط به بحث در مورد نتایج، به منظور بررسی تأثیر سرعت قطارهای عبوری بر نشست خط تنها از مدل رفتاری موهر – کولمب استفاده و نتایج مربوط به تحلیل خط با فرض رفتار الاستیک خطی تنها برای مقایسه ارایه شده است.

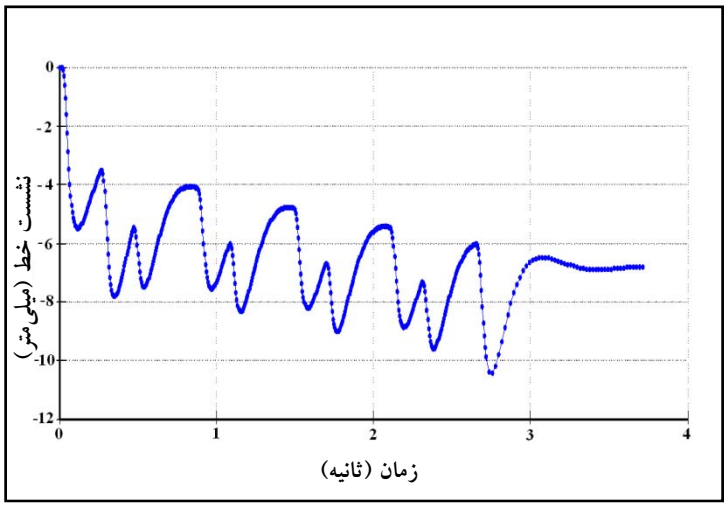
علاوه بر این، به منظور در نظر گرفتن تأثیر سرعت بر دقت نتایج حاصل از تحقیق و اعتبارسنجی مدل با احتساب سرعت قطارهای عبوری نشست خط در سرعت‌های ۱۲۰ و ۱٦۰ کیلومتر بر ساعت نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. در شکل ۱۰، نمودار مربوط به مقایسه نشست خط در تحلیل مدل منطبق بر رفتار غیرخطی خاک و نتایج حاصل از بررسی میدانی در سرعت‌های گوناگون ارایه شده است. با توجه به این نمودار، ملاحظه گردید که نتایج نشست خط ریلی در بازه سرعت عبوری ۱۲۰ تا ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت که به‌عنوان کاربردی‌ترین سرعت‌ها در خطوط سریع‌السیر به‌کار می‌روند، در تحلیل مدل عددی منطبق بر رفتار غیرخطی خاک و بررسی میدانی به‌طور میانگین ۵/۵۸ درصد اختلاف داشته‌اند که این امر نشان‌دهنده دقت بالای مدل عددی ایجاد شده با در نظر گرفتن تأثیر سرعت عبور قطار نیز می‌باشد.

www.SID.ir

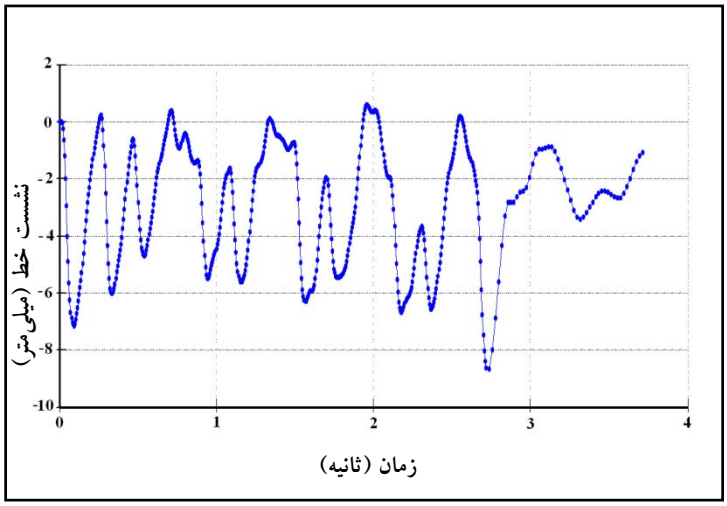
Archive of SID



شکل ٦. مقطع عرضی خط لدسگارد (ابعاد بر حسب متر) **(Adolfsson, et al., 1999)**



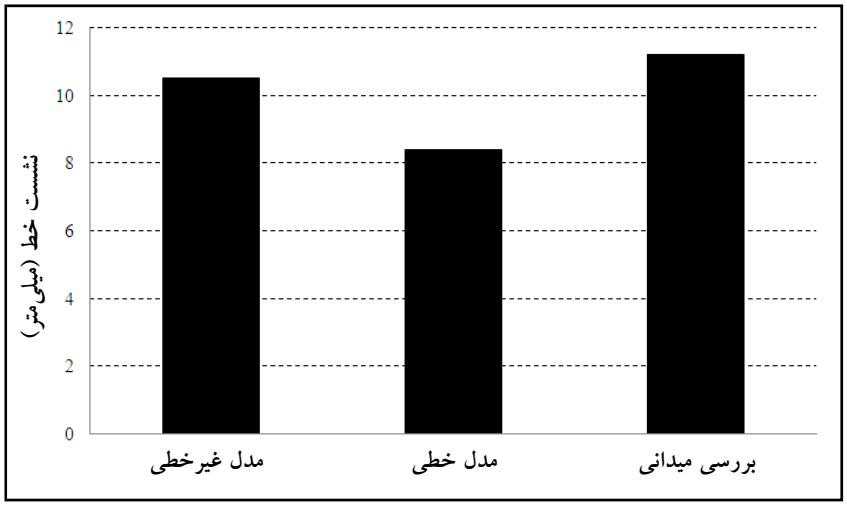
شکل ۷. تاریخچه زمانی نشست خط در زیر تراورس با فرض رفتار غیرخطی خاک در سرعت ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت



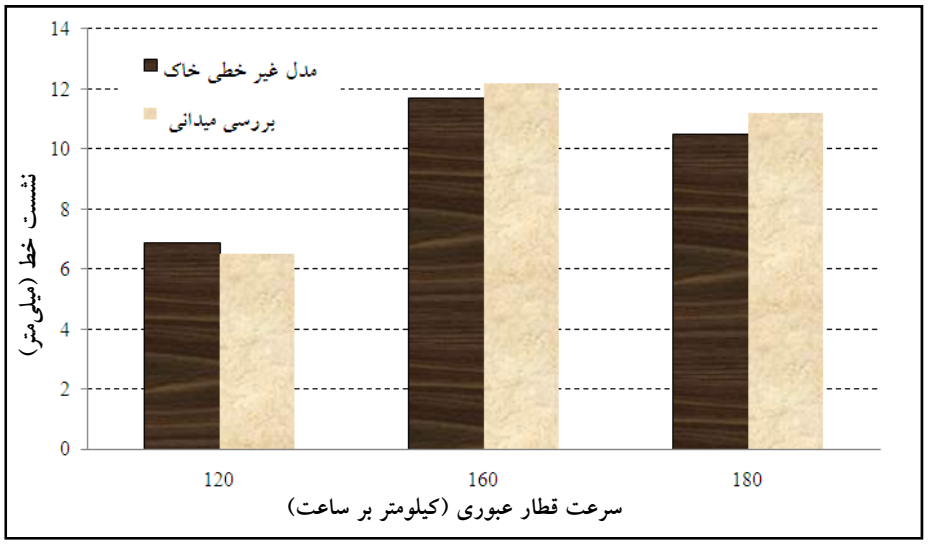
شکل ۸. تاریخچه زمانی نشست خط در زیر تراورس با فرض رفتار خطی خاک در سرعت ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. مقایسه نتایج حاصل از تحلیل مدل عددی با نتایج حاصل از بررسی میدانی در سرعت ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۱۰. مقایسه نشست خط در تحلیل مدل منطبق بر رفتار غیرخطی خاک و نتایج حاصل از بررسی میدانی (Costa et al., 2010) در سرعت‌های مختلف

٤-بررسی تأثیر سرعت و مدل‌سازی رفتار خاک بر نشست خط

به منظور بررسی تأثیر سرعت عبور قطار روی نشست خطوط ریلی در این بخش به تحلیل حساسیت مدل عددی ایجاد شده پرداخته شده است. به این منظور نشست خط در اثر عبور قطارهایی با سرعت ٤٠ تا ٢٦٠ کیلومتر بر ساعت با در نظر گرفتن مدل رفتاری غیر خطی خاک مورد بررسی قرار گرفته است؛ زیرا همان‌گونه که در بخش گذشته اشاره شد، تحلیل مدل منطبق بر فرض رفتار الاستیک خطی خاک منجر به نتایج غیر قابل اطمینان در مورد رفتار دینامیکی خط می‌گردد.

همچنین شرایط در نظر گرفته شده برای خط مطابق قسمت پیشین بوده است. در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ به‌عنوان نمونه نتایج مربوط به تحلیل تاریخچه زمانی سیستم ریلی تحت عبور قطار X2000 با سرعت‌های ١٤٠ (الف) و ٢٠٠ (ب) نمایش داده شده است. در این نمودارها نتایج حاصل از تحلیل مدل عددی شامل نمودار تاریخچه زمانی تغییر مکان زیر تراورس و منحنی تنش – کرنش و نقاط موهر – کولمب (تسلیم شده بر اساس معیار موهر- کولمب) نشان داده شده است.

در شکل ١٤، حداکثر نشست خط ریلی در زیر تراورس تحت عبور قطار با سرعت‌های گوناگون و با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی خاک ارایه شده است. با توجه به نمودار نشست خط

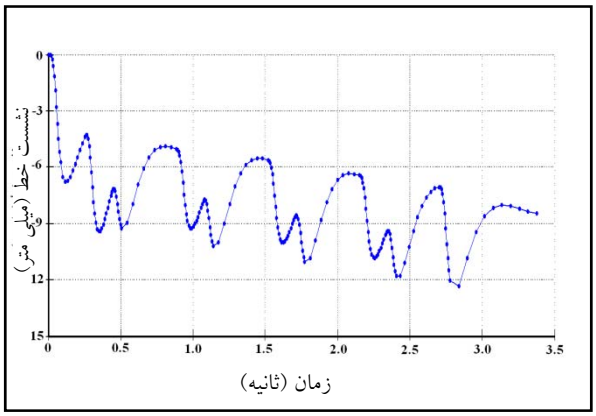
www.SID.ir

Archive of SID

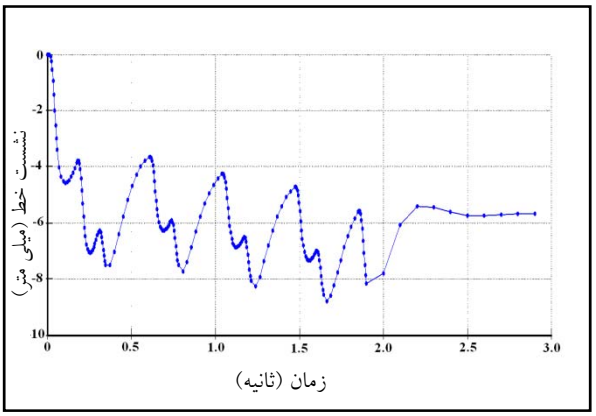
می‌توان ملاحظه کرد که حداکثر این مؤلفه ۱۲/۳ میلی‌متر می‌باشد که در سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت رخ داده است.

علاوه بر این، ملاحظه می‌گردد که با افزایش سرعت از ۱۲۰ به ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت، نشست خط به میزان ۷۸/۲۶ درصد افزایش یافته حال آنکه با افزایش سرعت از ۱۴۰ به ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت، این نشست به میزان ۴/۸۷ درصد کاهش می‌یابد. به استثنای سرعت ۲۲۰ کیلومتر بر ساعت که نسبت به سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت افزایش نشستی معادل ۴/۹۸ درصد را تجربه کرده است، پس از عبور از سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت به طور کلی حداکثر نشست خط، روندی نزولی داشته است و بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در خط مورد مطالعه سرعت بحرانی و نقطه بازگشت برابر ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

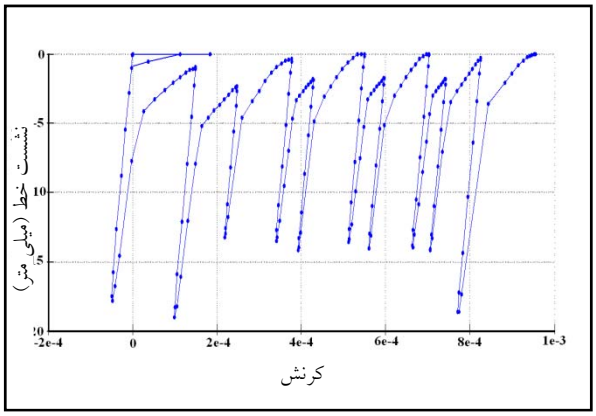
(الف)

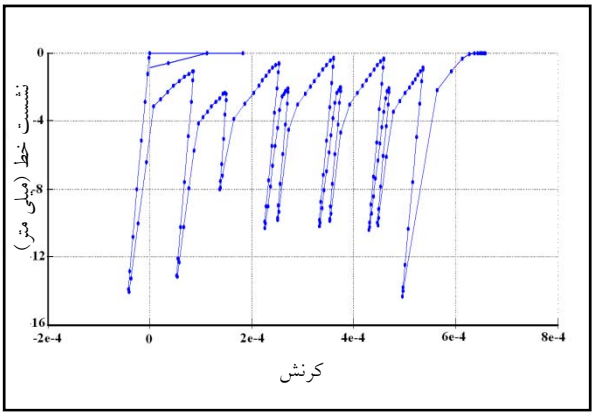


(ب)

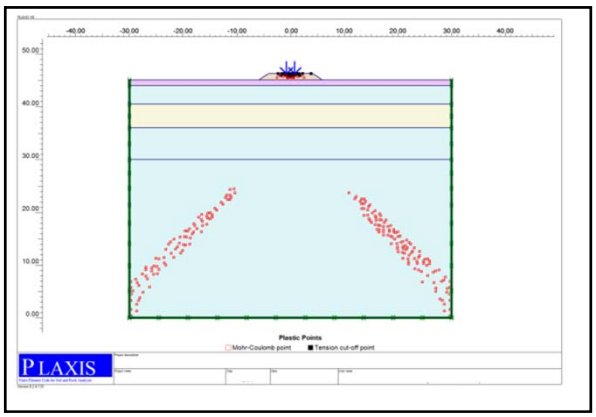


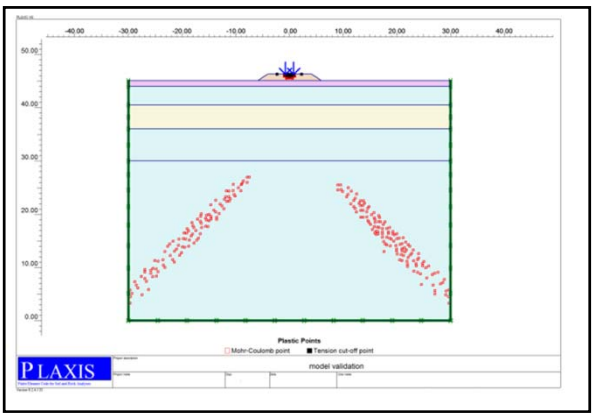
شکل ۱۱. نمودار تاریخچه زمانی تغییر مکان نقطه زیر تراورس، الف) سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت، ب) سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت





شکل ۱۲. نمودار سیکل تنش – کرنش در عمق ۰/۳ متری زیر تراورس، الف) سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت، ب) سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت

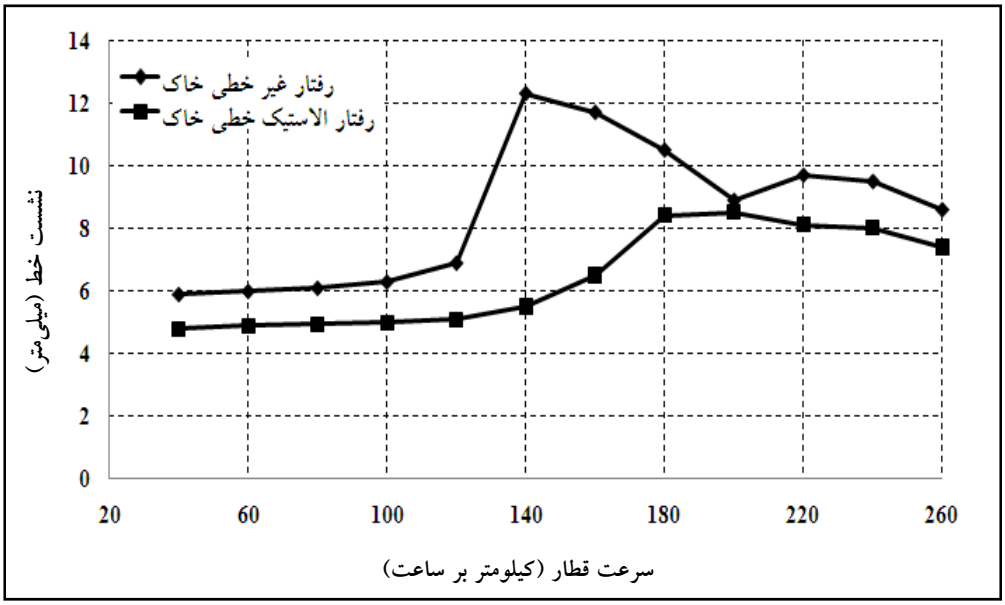




شکل ۱۳. نقاط موهر-کولمب تشکیل شده، الف) سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت، ب) سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ١٤. حداکثر نشست خط ریلی با در نظر گرفتن رفتار خطی و غیر خطی خاک

مقایسه این روند در شکل ١٢ نیز قابل ملاحظه می‌باشد. همان‌طور که در این نمودار ملاحظه می‌گردد، حداکثر تنش قائم در فاصله ٣٠ سانتی‌متری زیر تراورس در حالت عبور قطار با سرعت ١٤٠ کیلومتر بر ساعت، برابر ١٩/١ کیلونیوتن بر متر مربع بوده، حال آنکه این مقدار در حالت عبور قطار با سرعت ٢٠٠ کیلومتر بر ساعت برابر با ١٤/٤ کیلونیوتن بر متر مربع می‌باشد که نشانگر بحرانی بودن سرعت ١٤٠ کیلومتر بر ساعت به میزان ٣٢/٦٣ درصد نسبت به سرعت ٢٠٠ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

همچنین با توجه به شکل ١٣ ملاحظه می‌گردد که در سرعت ١٤٠ کیلومتر بر ساعت تعداد نقاط موهر- کولمب (تسلیم شده مطابق معیار تسلیم موهر – کولمب) بیشتری در خاکریز سیستم حائل ریل در مقایسه با سرعت ٢٠٠ کیلومتر بر ساعت ایجاد شده است. به علاوه مشاهده می‌گردد که در بازه سرعت عبوری ١٢٠ تا ١٨٠ کیلومتر بر ساعت بیشترین اختلاف در محاسبه نشست خط در مدل‌های منطبق بر رفتار خطی و غیر خطی خاک ایجاد شده است و از آنجا که این بازه به عنوان بازه عملیاتی در اکثر خطوط ریلی به‌کار می‌رود، بررسی و تحلیل غیر خطی سیستم حائل ریل به‌منظور تعیین دقیق نشست خط، رسیدن به ضریب اطمینان مطلوب و حقیقی و همچنین کاهش هزینه‌های آتی تعمیر و نگهداری ضروری می‌نماید.

٥- نتیجه‌گیری

با توجه به توسعه خطوط سریع‌السیر در جهان و نیز در ایران، توجه به تأثیر افزایش سرعت در پارامترهای مهم طراحی خط حیاتی می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر افزایش سرعت قطارهای عبوری بر رفتار دینامیکی و مهم‌ترین پارامتر آیین‌نامه‌ای در تحلیل سیستم راه آهن سریع‌السیر است. در این راستا میزان تغییر نشست خط به عنوان معیار اصلی در طراحی و بهره‌برداری از این خطوط تحت اثر افزایش سرعت مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور در این مقاله ابتدا با استفاده از روش اجزای محدود، سیستم راه آهن مدل شده است. در این مدل، ضمن در نظر گرفتن ریل و سیستم حائل آن در دو حالت خطی و غیرخطی، بار وارده به‌صورت عبور یک قطار راه آهن در نظر گرفته شده است. برای اعتبارسنجی مدل ساخته شده، نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی انجام شده در ادبیات راه آهن استفاده شده است. نتایج اعتبارسنجی مؤید آن بود که در سرعت‌های مختلف نتایج مربوط به مدل عددی ایجاد شده با فرض رفتار غیر خطی خاک به طور میانگین به میزان ٥/٥٨ درصد با نتایج حاصل از بررسی میدانی اختلاف داشته است. در ادامه با استفاده از آنالیز حساسیت مدل ایجاد شده، تأثیر افزایش سرعت بر رفتار دینامیکی سیستم ریلی مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر این، در این تحقیق تأثیر رفتار خاک بر میزان نشست با در نظر گرفتن مدل‌های رفتاری الاستیک خطی و

www.SID.ir

Archive of SID

موهر- کولمب (غیرخطی) برای مسیر راه آهن مورد مطالعه قرار گرفته و اختلاف محاسبه نشست خط در هر دو حالت در سرعت‌های مختلف بررسی شده است. نتایج حاکی از آن است که به منظور محاسبه نشست خط، مدل الاستیک خطی از دقت کافی برخوردار نبوده و به منظور بررسی دینامیکی سیستم ریلی مدل مبتنی بر رفتار موهر – کولمب خط از دقت مطلوبی برخوردار است. این اختلاف به طور ملموس‌تری در بازه سرعت‌های ۱۲۰ تا ۱۸۰ کیلومتر بر ساعت ملاحظه شد و بر اساس یافته‌های این تحقیق در نظر گرفتن رفتار غیر خطی سیستم حائل ریل در تحلیل روسازی خط منتج به بهبود ٦٥/٩٨ درصد در نتایج تئوری می‌گردد (رسیدن به حداکثر دقت در محاسبات) و این امر لزوم در نظر گرفتن رفتار حقیقی خاک را در تحلیل و طراحی خطوط سریع‌السیر بیش از پیش روشن می‌کند.

پس از اعتبارسازی مدل، به کمک آنالیز حساسیت، تأثیر افزایش سرعت بر نشست خط به‌عنوان پارامتر مهم طراحی راه آهن سریع‌السیر و عامل اصلی در خروج خط در سرعت‌های بالای قطار مورد مطالعه قرار گرفته و شیب افزایش تغییر شکل نسبت به افزایش سرعت به‌دست آمده است. نتایج حاصل مبین آن است که سرعت بحرانی برابر ١٤٠ کیلومتر بر ساعت است که در آن بیشترین میزان تغییر شکل ریل و خط به وقوع می‌پیوندد؛ به‌طوری‌که بعد از این سرعت، نشست خط کاهش می‌یابد. نتایج فوق، نشانگر اهمیت توجه به سرعت بحرانی فوق در طراحی راه آهن سریع‌السیر (با تعریف سرعت عبور بالاتر از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت در مناطق خاص و با بستر ضعیف) می‌باشد.

٦- مراجع

- دستورالعمل نظارت بر اجرای روسازی راه آهن، نشریه شماره ۳۵۵، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، سال ١٣٨٦.
- دستورالعمل طراحی و نظارت بر روسازی راه آهن سریع‌السیر، نشریه شماره ٣٩٤، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، سال ١٣٨٦.
- مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن، نشریه ۳۰۱، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، سال ١٣٨٤.
- میرمحمدصادقی، سیدجواد(۱۳۸۷) "آنالیز و طراحی روسازی بالاستی راه‌آهن"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- Auersch L. (2008) "The effect of critically moving loads on vibrations of soft soils and isolated railway tracks." Journal of Sound and Vibration 2008, pp. 587–607.
- Auersch L. (2005) "The excitation of ground vibration by rail traffic: theory of vehicle– track–soil interaction and measurements on high-speed lines." Journal of Sound and Vibration 2005, pp. 103–32.
- Bo, M. W. (2004) "Discharge Capacity of Prefabricated Vertical Drain and Their Field Measurements." Geotextiles and Geomembranes, 2004, Vol. 22, No. 1, pp. 37-48(12).
- Costa, P A. and Calçada, R. and Cardoso, A S. and Bodare, A. (2010) "Influence of soil non-linearity on the dynamic response of high-speed railway tracks". Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2010; 30: pp. 221-235.
- Hwang R, Lysmer J. (1981) "Response of buried structures to travelling waves." Journal of Geotechnical Engineering Division 1981, pp. 107.
- Indraratna, B. and Sathananthan, I. and 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, pp. 114–124.
- Karlstrom A, Bostrom B. (2006) "An analytical model for train-induced ground vibrations from trains." Journal of Sound and Vibration 2006; pp. 292:221–41.
- Madshus C, Kaynia M. (2000) "High-speed railway lines on soft ground: dynamic behaviour at critical train speed." Journal of Sound and Vibration 2000; 231(3): pp. 689–701.
- Plaxis Manual Refernce. Plaxis V8. (2002).
- Profillidis, V A. (2000) "Railway Engineering". 2nd Edition. Ashgat Pub LTD.
- Sheng X, Jones C, Thompson D. (2003) "A comparison of a theoretical model for quasi-statically and dynamically induced environmental vibration from trains with measurements." Journal of Sound and Vibration 2003; 267(3):pp.621–635.

www.SID.ir

Archive of SID

Investigation on the Influence of Train Speed on Track Deflections in High Speed Railways

S. J. Mir Mohammad Sadeghi, Associate Professor, Department of Railway Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran.

S. F. Hashemi Rezvani, M. Sc. Grad., Department of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

E-mail: javad_sadeghi@iust.ac.ir

ABSTRACT

Construction of high speed railways is booming in the world. One of the main issues related to high speed railway is the non-uniform deflection of the rail along the track due to increases in train speed. This study focuses on investigations of the influences of strain speeds on track defections. For this propose, a model of railway track was developed. This model was then calibrated using field results available in the literature. The results of model calibration indicate that the consideration of the track support system nonlinearity has substantially effects on the theoretical results, concluding that the incorporation of the support system non-linearity is a need in track modeling. From sensitivity analyses of the calibrated model, the effects of increases in train speeds on track deflections were investigated. It is shown that track deflections increase as the train speed increases up to the speed of 140 km/h. However, after this speed, the deflections of the track slightly reduce. It indicates that the critical speed of the track from the deflection point of view is 140 km/h. Research findings here indicate the necessity of further consideration of the critical speed in the design of high speed tracks.

Keywords: Railway System, High Speed Trains, Dynamic Analysis, Time History, Sleeper

www.SID.ir