Archive of SID.ir

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره اول، شماره ۷۸، بهار ۱۴۰۳

بررسی عملکرد استفاده از ناحیه انتقال چند بخشی در خطوط ریلی به روش عددی

مقاله علمی – پژوهشی

حمید رضا حیدری نوقابی *، استادیار، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
مرتضی اسماعیلی، استاد، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
جبارعلی ذاکری سردرودی، استاد، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: h_heydari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵
صفحه ۲۲۰-۲۱۱

چکیده

تغییرات سختی قائم خط در طول مسیرهای ریلی می تواند منجر به افزایش بارهای دینامیکی، ایجاد تغییر شکل‌های نامتقارن، آسیب دیدن اجزاءِ خط و در نتیجه افزایش هزینه‌های نگهداری گردد. از این رو بایستی با ایجاد ناحیه انتقال در محل‌هایی که سختی خط بطور قابل توجهی تغییر می‌نماید، مشکلات مذکور را کاهش داد. از جمله نقاطی که سختی قائم خط ریلی بصورت ناگهانی تغییر می‌یابد، محل اتصال خط بدون بالاست و خط بالاستی می‌باشد. یک روش ابتکاری جهت ساخت ناحیه انتقال در محل اتصال دالخط و خط بالاستی، استفاده ترکیبی از دال دسترسی و ریل‌های کمکی در طول ناحیه انتقال می‌باشد. در این مطالعه سعی گردیده تا رفتار دینامیکی این نوع ناحیه انتقال با ساخت مدل عددی اندرکنش خط-وسیله نقلیه مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور یک مدل سه بعدی از خط ریلی شامل دالخط، ناحیه انتقال و خط بالاستی ساخته شد. سپس به منظور بررسی رفتار دینامیکی ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی، تحلیل حساسیت‌های مختلف بر روی مدل انجام گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده ترکیبی از دال دسترسی و ریل‌های کمکی موجب گردیده تا در سرعت‌های کم و متوسط (۲۰۰، ۱۲۰کیلومتر بر ساعت) میزان افزایش تغییرات تغییرمکان ریل بطور متوسط در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی ۲۲٪ و در محل ریل‌های کمکی ۲۸٪ گردد. این در حالی است که این مقادیر برای سرعت‌های بالا (۳۰۰ کیلومتر بر ساعت) در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی-ریل های کمکی ۲۸,۵٪ و در محل ریل‌های کمکی ۳۳٪ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خطوط ریلی، تحلیل عددی، ناحیه انتقال چند بخشی، اندرکنش خط–وسیله نقلیه

۱– مقدمه

از جمله نقاط آسیب پذیر در طول خطوط ریلی، محل اتصال خط بدون بالاست به خط بالاستی می‌باشد چراکه سختی قائم خط در این نقاط بطور ناگهانی تغییر می‌کند. تغییرات ناگهانی سختی خط در این نقاط می‌تواند منجر به ایجاد تغییرشکل‌های نامتقارن، آسیب دیدن اجزاء خط و ناوگان، نارترازی ریل و در نتیجه افزایش هزینه‌های نگهداری گردد. تحقیقات نشان می‌دهد که تغییر سختی خط در طول مسیر یکی از منابع اصلی خرابی‌های هندسی خطوط راه آهن می‌باشد. در کشور هلند ۴۰ درصد از هزینه‌های تعمیر و نگهداری مربوط به تامین و حفظ شرایط هندسی خط در وضعیت استاندارد می‌باشد و هزینه‌های تعمیر و نگهداری ناحیه انتقال ۲ تا ٤ برابر بیشتر از سایر قسمت های مسیر می‌باشد. (Holscher et al., 2007) بر اساس مطالعات ساسوکا و همکاران (Sasaoka et al., 2005) سالانه در حدود۲۰۰ میلیون دلار در خطوط راه آهن

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

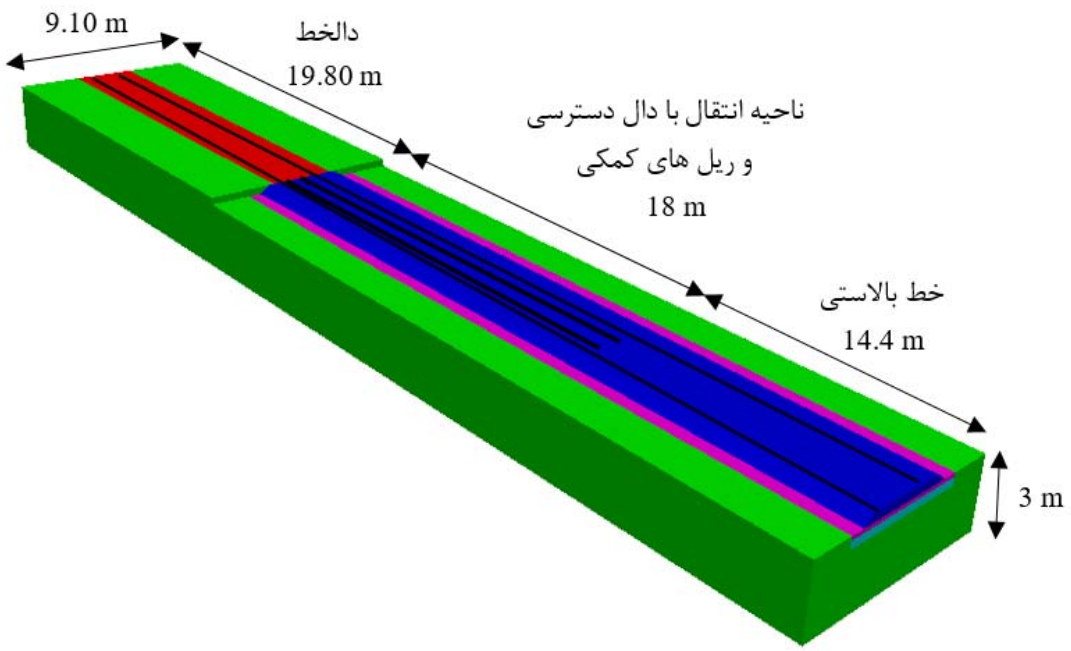
امریکا برای تعمیر و نگهداری ناحیه انتقال هزینه می‌شود و این مبلغ در در اروپا برابر ۸۵ میلیون یورو می‌باشد. (Hyslip et al., 2009) لی و همکاران خرابی‌های اصلی خط در ناحیه انتقال را به ۳ دسته خرابی‌های هندسی سریع خط، نفوذ گل و لای به سمت بالا در خط و خرابی‌های اجزای سازنده خط طبقه بندی نموده و خروج از خط را نیز یکی از پیامدهای این نوع خرابی‌ها برشمرده است. (Li et al., 2010) رفتار ضعیف خط ریلی در محل ناحیه انتقال ناشی از وجود عواملی همچون نشست نسبی بین خط بالاستی و سازه سخت، تغییرات میرایی و تغییرات ناگهانی سختی قائم خط در محل ناحیه انتقال می‌باشد. (Sasaoka et al., 2005) (Coelho et al., 2009) نتایج محاسباتی لی و همکاران (Lei et al.,2009) نشان می‌دهد که الگوی انتقال سختی خط، تاثیر بسزایی روی رفتار دینامیکی خط و قطار دارد و توزیع سختی ملایم خط، می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای نیروهای اندرکنشی چرخ وریل و شتاب قائم ریل را کاهش دهد. تاکنون به منظور تامین و ایجاد تغییرات ملایم در سختی خط ریلی در محل ناحیه انتقال، روش‌های متنوع و زیادی پیشنهاد شده و مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی خطوط ایجاد ناحیه انتقال بوسیله تقویت بستر با روش‌هایی مانند استفاده از ملات بتن آسفالتی، تزریق ملات سیمان، ستون‌های سنگی، شمع زنی، مواد ژئوسنتیتیک می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب شناخته شود. (Read et al,2006) اینسا و همکاران(Insa et al., 2012) تاثیر استفاده از پد زیر تراورس در ناحیه انتقال مجاور پل‌ها مورد بررسی قرار دادند. شان و همکاران(Shan et al., 2013) ناحیه انتقال قرار گرفته بر روی خاکریز مجاور پل‌ها را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی دو نوع ناحیه انتقال شامل مقطع ذوزنقه‌ای معکوس و مقطع خاکریز دو بخشی با مدلسازی سه بعدی بوسیله نرم افزار اجزای محدود ANSIS مورد ارزیابی قرار گرفت.(Shan et al., 2013) ایجاد ناحیه انتقال بصورت تغییر تدریجی طول تراورس‌ها (AREMA, 2005) و همچنین تغییر تدریجی فاصله تراورس‌ها (Sussman et. Al., 1998) از جمله روش‌های سنتی ایجاد ناحیه انتقال می‌باشند. در مطالعه دیگری (Brinckerhoff et al., 2000) استفاده از دال دسترسی بتنی شیب دار را به عنوان روشی برای انتقال سختی معرفی نمود. ذاکری و همکاران (Zakeri et al., 2011) رفتار ناحیه انتقال از خط بالاستی به بتنی با دال دسترسی با ضخامت متغیر را بصورت عددی مورد مطالعه قرار دادند. کوئلو و همکاران (Coelho et al., 2010, 2011) ناحیه انتقال مجاورآبرو بتنی قرار گرفته بر روی خاکریز با خاک نرم را مورد بررسی قرار داد. در این بررسی وجود تراورس آویزان در ناحیه انتقال به عنوان دلیل اصلی در عملکرد ضعیف دال دسترسی مورد ارزیابی قرار گرفت. واراندش و همکاران (Varandas et al., 2013) رفتار بلند مدت ناحیه انتقال مجاور آبرو بتنی را بصورت عددی مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه رفتار نواحی انتقال شامل دال دسترسی در اطراف سازه آبروها بتنی طی دوره‌های زمانی چند ماهه بررسی گردید. از جمله محل‌هایی که سختی خط ریلی بصورت ناگهانی تغییر می‌کند، محل اتصال خط بدون بالاست و خط بالاستی می‌باشد. همان طور که در ادبیات فنی ملاحظه می‌گردد برخی از محققین استفاده از دال دسترسی و یا استفاده از روش نصب ریل‌های کمکی را به عنوان راهکارهایی جهت استفاده در نواحی انتقال مورد توجه قرار داده اند. در این مطالعه استفاده ترکیبی از روش دال دسترسی و ریل‌های اضافی به عنوان یک راهکار ابداعی جهت ساخت در نواحی انتقال از خط بدون بالاستی به بالاستی، ارائه و پیشنهاد گردیده است. بنابراین در این مطالعه سعی گردیده تا عملکرد این نوع ناحیه انتقال با ساخت مدل عددی از خط ریلی مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد. برای این منظور مدل سه بعدی از خط-وسیله نقلیه ساخته شد. سپس جهت بررسی عملکرد ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی، تحلیل حساسیت‌های مختلف بر روی مدل انجام شد که نتایج بدست آمده از این تحلیل ها در مقاله حاضر ارائه گردیده است.

۲- مدل سازی

در مطالعه حاضر سعی گردیده است تا رفتار ناحیه انتقال از خط بدون بالاست به خط بالاستی با دال دسترسی و ریل‌های کمکی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. به منظور انجام بررسی‌های عددی، مدل اندرکنش سه بعدی از ناحیه انتقال-وسیله نقلیه ساخته شد. مدلسازی ناحیه انتقال خط ریلی مطابق شکل (۱) و بر مبنای اصول اجزای محدود انجام گرفت.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۱. مدل سه بعدی خط ریلی در محل ناحیه انتقال از دالخط به خط بالاستی

این مدلسازی از سه بخش اصلی مجزا تشکیل یافته است که شامل سیستم وسیله نقلیه، سیستم خط و سیستم زیرسازی/خاک می باشد. سیستم وسیله نقلیه با استفاده از مجموعه سیستم جرم–فنر–میراگر مدلسازی گردیده است. وسیله نقلیه با ۷ درجه آزادی شامل سه درجه آزادی انتقالی و چهار درجه آزادی دورانی شبیه سازی گردیده است. سیستم خط شامل ریل، ریل پد و تراورس (در بخش خط بالاستی) یا دال بتنی (در بخش دالخط) می باشد. در مدل حاضر ریل‌های اصل و ریل‌های کمکی با استفاده از المان‌های تیر اویلر–برنولی مدلسازی گردیده است. هر المان سه بعدی ریل دارای ۵ درجه آزادی شامل سه درجه آزادی انتقالی و دو درجه آزادی دورانی و درجه آزادی دورانی به دلیل اثرات ناچیز در نظر گرفته نشده است. فاصله بین نشیمنگاه‌های ریل ۶۰۰ میلی‌متر و طول المان های ریل ۳۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. ریل پد بصورت یک مجموعه فنر–میراگر دارای سه درجه آزادی در سه جهت انتقالی مدلسازی گردیده است. در مدل حاضر تراورس‌های بخش خط بالاستی با المان‌های تیر و دال بتنی بخش خط بدون بالاست با استفاده از المان‌های Grid Beam مدلسازی گردیده است. نوع المان مورد استفاده در مدلسازی تراورس و دال بتنی، المان اویلر–برنولی دارای ۵ درجه آزادی شامل سه درجه آزادی انتقالی و دو درجه آزادی دورانی می‌باشد. در این مدلسازی فاصله عرضی بین دو ریل (عرض خط) ۱۵۰۰ میلی‌متر، طول کل تراورس ۲۶۰۰ میلی‌متر و عرض دالخط برابر ۳۰۰۰ میلی‌متر فرض شده است. سیستم زیرسازی/خاک شامل تمام لایه‌های زیرین تراورس یا دال بتنی می‌باشد. این سیستم متشکل از دو بخش بالایی و پایینی می‌باشد. این سیستم در خط بالاستی شامل لایه بالاست و زیربالاست، بستر و خاک می‌باشد در حالی که این سیستم در خط بدون بالاست شامل لایه هیدرولیکی یا لایه محافظ یخبندان، بستر آماده، بستر و خاک می‌باشد. در مدل حاضر جهت مدلسازی لایه‌های مذکور از المان‌های Solid ۸ گرهی درجه پایین استفاده گردیده است. (Bath 1996, Hughes 2003, Bhatti 2005) خصوصیات مدل جهت انجام تحلیل حساسیت‌ها در جداول (۱) و (۲) قابل مشاهده می‌باشد. درجدول (۱) مشخصات خط درمقاطع مختلف (خط بتنی، ناحیه انتقال و خط بتنی) و در جدول (۲) مشخصات وسیله نقلیه ارائه گردیده است. در ادامه نتایج حاصل تحلیل حساسیت‌های انجام شده تشریح گردیده است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۱. مشخصات فنی و مکانیک اجزاء و لایه‌های مدل ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی

مشخصات مکانیکی اجزاء و لایه‌های دالخط					
موضوع	ضخامت نوع/ متر	ضریب پواسون ν	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال)	نوع المان
ریل	UIC 60	0.3	7850	210000	Beam
دال بتنی	0.35	0.2	2500	30000	Grid Beam
لایه بتن هیدرولیکی	0.15	0.1	2200	10000	Solid
لایه محافظ یخبندان	0.15	0.2	1900	110	Solid
لایه بستر منتخب	0.15	0.2	1900	100	Solid
لایه بستر	0.30	0.2	1700	80	Solid
لایه خاک	1.20	0.2	1600	60	Solid
مشخصات اجزا و لایه‌های خط بالاستی و ناحیه انتقال					
ریل/ریل کمکی	UIC 60	0.3	7850	210000	Beam
دال دسترسی	0.30	0.1	2200	10000	Grid Beam
تراورس	B70	0.2	2500	50000	Beam
لایه بالاست	0.30	0.2	1800	130	Ballast
لایه زیربالاست	0.15	0.2	1900	100	Solid
لایه بستر	0.30	0.2	1700	80	Solid
لایه خاک	1.20	0.2	1600	60	Solid
مشخصات سیستم اتصال ریل به تراورس					
موضوع	Cx=Cy (kN/m)	Cz (kN/mm)	Kx=Ky (kN/m)	Kz (kN/mm)	نوع المان
سیستم پابند	15	15	50	180	Spring-dashpot

جدول ۲. مشخصات فنی و مکانیکی وسیله نقلیه و اجزای آن در مدل ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی

عنوان	واحد	مقدار	علامت اختصاری
جرم چرخ–محور	t	2.200	M_w
جرم بوژی	t	10.75	M_b
ممان اینرسی جرمی چرخ–محور در راستای x	$t.m^2$	0.90	I_{wx}
ممان اینرسی جرمی بوژی در راستای x	$t.m^2$	2.10	I_{bx}
ممان اینرسی جرمی بوژی در راستای y	$t.m^2$	9.60	I_{by}
سختی سیستم تعلیق	kN/m	4360	k_1
میرایی سیستم تعلیق	kN.s/m	220	c_1
فاصله طولی بین چرخ–محورهای بوژی	m	2.50	d_w
فاصله عرضی بین سیستم‌های تعلیق بوژی	m	2.14	d_p
شعاع چرخ	m	0.445	R_w
ضریب سختی تماس چرخ/محور هرتز	$GN/m^{1.5}$	104	k_c

Archive of SID.ir

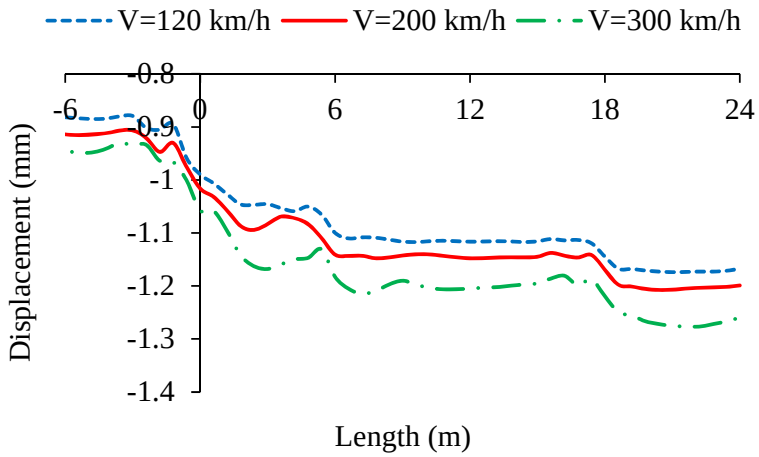
Archive of SID.ir

۳- نتایج مدلسازی

در این بخش تاثیر استفاده توام از دال دسترسی و ریل‌های کمکی بر رفتار دینامیکی نواحی انتقال از منظر تغییرات سرعت ۳۰۰، ۲۰۰، ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت)، بار محوری (۲۵۰، ۲۲۰، ۱۸۰کیلونیوتن)، تعداد ریل‌های کمکی (۲، ٤ و ٦ ریل) و تغییرات سختی ریپلد (۲۵۰، ۱۸۰، ٤٠ کیلونیوتن بر میلی‌متر) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

۳-۱- بررسی تاثیر سرعت عبوری

در این بخش رفتار خط ریلی در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی در اثر عبور وسیله نقلیه با سرعت‌های ۳۰۰، ۲۰۰، ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت مورد بررسی قرار گرفته است. در نمودارهای شکل (۲) تغییرات تغییرمکان ریل در صورت استفاده از دال دسترسی و ریل‌های کمکی در ناحیه انتقال از دالخط به خط بالاستی قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۲. تغییرمکان‌های حداکثر ریل در طول ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی برای سرعت‌های مختلف و بارمحوری ۱۸۰کیلونیوتن

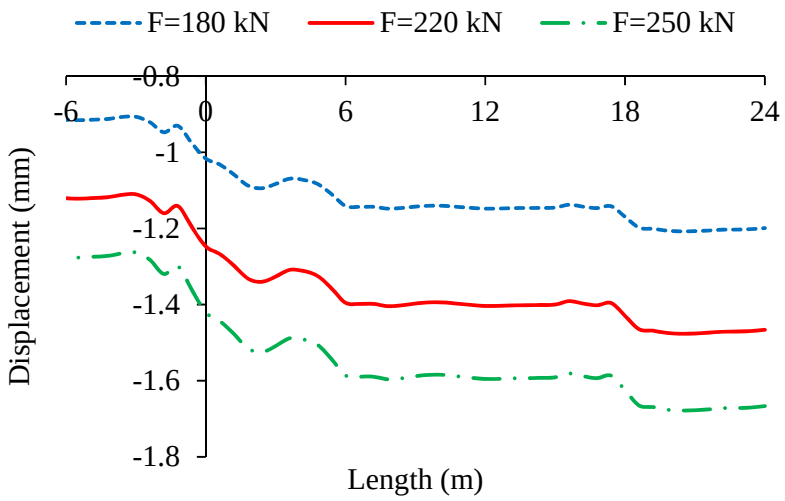
همان طورکه در نمودارهای شکل (۲) مشاهده می‌گردد، میزان افزایش تغییرات تغییرمکان ریل برای سرعت‌های کم و متوسط (۲۰۰، ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت) بطور متوسط در محل ناحیه انتقال بادال دسترسی-ریل‌های کمکی ۲۲٪ و در محل ریل‌های کمکی ۲۸٪ گردیده است. این در حالی است که این مقادیر برای سرعت‌های بالا (۳۰۰ کیلومتر بر ساعت) در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی-ریل‌های کمکی ۲۸,۵٪ و در محل ریل‌های کمکی ۳۳٪ گردیده است. بنابراین مطابق این نتایج استفاده همزمان از دال دسترسی و ریل‌های کمکی موجب گردیده تا تغییرات تغییرمکان ریل از دالخط به سمت خط بالاستی برای تمامی سرعت‌ها به صورت پلکانی و تدریجی‌تر اتفاق بیافتد.

۳-۲- بررسی تاثیر بار محوری

در این بخش تاثیر بار محوری در محدوده ۱۸۰-۲۵۰ کیلونیوتن بر رفتار خط ریلی در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی مورد بررسی قرار گرفته است. نمودارهای شکل (۳) تغییرات تغییرمکان ریل برای بارهای محوری مختلف در صورت استفاده از دال دسترسی و ریل‌های کمکی در ناحیه انتقال را نشان می دهد. همان طور که در این نمودارها مشاهده می‌گردد، میزان افزایش تغییرات تغییرمکان ریل برای بارهای محوری مختلف در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی-ریل‌های کمکی، در محل ناحیه انتقال با ریل‌های کمکی و در محل خط بالاستی بطور متوسط به ترتیب ۲۲٪، ۲۷٪ و ۳٤٪ می باشد. بنابراین وجود ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی برای بارهای محوری در محدوده ۱۸۰-۲۵۰ کیلونیوتن تاثیر نسبتاً مشابهی داشته و موجب گردیده تاتغییر مکان‌های ریل بصورت پلکانی و تدریجی تغییر نماید.

Archive of SID.ir

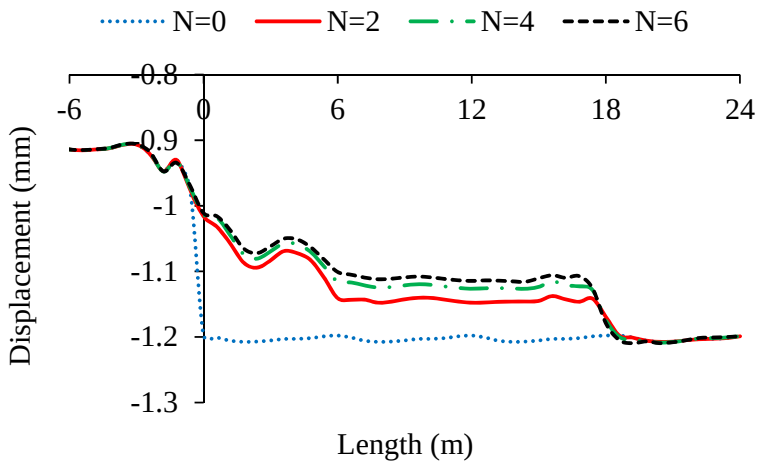
Archive of SID.ir



شکل ۳. تغییر مکان‌های حداکثر ریل در طول ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی برای بارهای مختلف و سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت

۳-۳- بررسی تاثیر تعداد ریل‌های کمکی

در این بخش تاثیر تعداد ریل‌های کمکی (تعداد ۲، ٤ و ٦ ریل کمکی) در رفتار دینامیکی ناحیه انتقال مرکب از دال دسترسی و ریل کمکی مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل (٤) تغییرات تغییرمکان ریل در طول خط برای تعداد ریل‌های کمکی مختلف ترسیم گردیده است. همان‌طور که از این نمودار مشخص می‌باشد، استفاده همزمان از دال دسترسی و ریل‌های کمکی موجب گردیده تا تغییرات تغییرمکان ریلی بصورت پلکانی صورت گیرد. ضمن اینکه در هر دو بخش ناحیه انتقال (با دال دسترسی و ریل‌های کمکی) ملاحظه می‌شود که هر چه تعداد ریل‌های کمکی افزایش یافته است، فاصله تغییرات تغییرمکان مابین خط بالاستی و دالخط کمتر گردیده است. بدین صورت که ابتدا در اثر اضافه شدن ۲ ریل کمکی سختی خط با شدت زیادی افزایش یافته است و سپس با اضافه نمودن ریل‌های کمکی از شدت تغییرات کاسته شده است. همچنین می‌توان دریافت که بطور تقریبی پس اضافه نمودن ٤ ریل کمکی، تاثیر اضافه نمودن ریل‌های کمکی در تغییرات تغییرمکان خط ناچیز گردیده است.



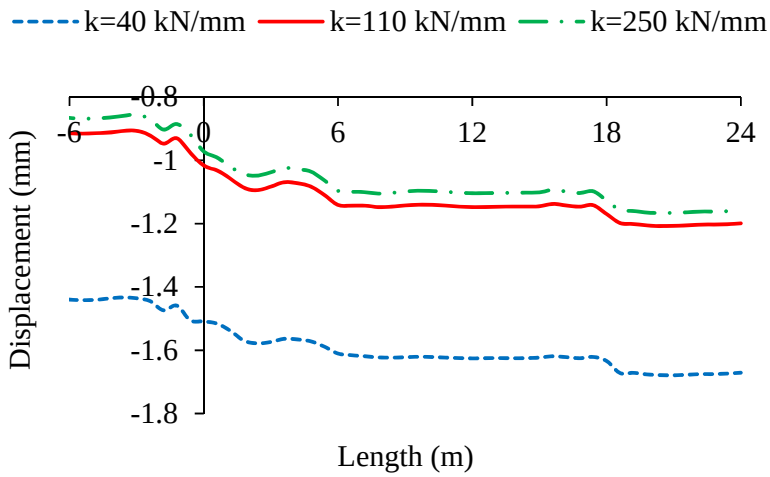
شکل ٤. تغییرات تغییرمکان ریل در طول ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل های کمکی در اثر عبور وسیله نقلیه با بار محوری ۱۸۰ کیلو نیوتن و سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت برای نواحی انتقال با تعداد ریل‌های کمکی مختلف

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۳-٤- بررسی تاثیر سختی پد زیر ریل

در این بخش تاثیر تغییرات سختی ریلپد در محدوده ۲۵۰-٤۰ کیلونیوتن بر میلی‌متر بر رفتار ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی مورد بررسی قرار گرفته است. نمودارهای شکل (۵) تغییرات تغییرمکان ریل برای سختی‌های ریلپد مختلف در صورت استفاده از دال دسترسی و ریل‌های کمکی در ناحیه انتقال را نشان می‌دهد. همان طور که در این نمودار مشاهده می‌گردد، وجود موجب گردیده تا میزان تغییرات تغییرمکان ریل برای سختی‌های ٤۰، ۱۸۰ و ۲۵۰ کیلونیوتن بر میلی‌متر در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی به ترتیب ۱۲٪، ۲٤٪ و ۲٦٪ ، در محل ناحیه انتقال با ریل‌های کمکی به ترتیب ۱۵٪، ۲۸٪ و ۳۰٪ و در محل خط بالاستی به ترتیب ۱۸٪، ۳۵٪ و ۳۸٪ باشد. بنابراین می‌توان گفت که استفاده همزمان از دال دسترسی و ریل‌های کمکی موجب می‌گردد تا تغییرات تغییرمکان‌های ریل برای تمامی حالت‌های مختلف سختی ریلپد، بصورت تدریجی و با روندی ملایم و بصورت پلکانی افزایش یابد.



شکل ۵. تغییرات تغییرمکان ریل در طول ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی در اثر عبور وسیله نقلیه با بار محوری ۱۸۰ کیلونیوتن و سرعت ۲۰۰ کیلونیوتن بر ساعت برای سختی‌های مختلف پد زیر ریل

۵- نتیجه‌گیری

از جمله نواحی تغییر ناگهانی سختی خط در خطوط ریلی، محل اتصال خط بدون بالاست و خط بالاستی می‌باشد. یکی از روش‌هایی که به عنوان راهکار ابتکاری به عنوان ناحیه انتقال از خط بدون بالاست به خط بالاستی پیشنهاد نمود، استفاده از دال دسترسی و ریل‌های کمکی می‌باشد. در این مطالعه سعی گردیده تا تاثیر ناحیه انتقال مرکب از دال دسترسی و ریل‌های کمکی بر رفتار دینامیکی خط ریلی مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور مدل عددی سه بعدی اندرکنش خط-قطار شامل دالخط، ناحیه انتقال با ریل‌های کمکی و دال دسترسی و خط بالاستی ساخته شد. سپس با انجام تحلیل حساسیت‌های مختلف تاثیر ریل‌های کمکی بر رفتار دینامیکی نواحی انتقال از منظر تغییرات سرعت، بار محوری، تعداد ریل‌های کمکی و تغییرات سختی ریپلد مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. خلاصه نتایج بدست آمده از تحلیل حساسیت‌های انجام شده بر روی مدل سه بعدی اندرکنش خط-قطار جهت بررسی رفتار دینامیکی ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی به شرح زیر می‌باشد:

-نتایج بررسی سرعت وسیله نقلیه بر روی رفتار دینامیکی ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی نشان می دهد که برای سرعت‌های کم و متوسط (۲۰۰، ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت) میزان افزایش تغییرات تغییرمکان ریل بطور متوسط در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی- ریل‌های کمکی ۲۲٪ و در محل ریل‌های کمکی ۲۸٪ گردیده است. این در حالی است که این مقادیر برای سرعت‌های بالا (۳۰۰ کیلومتر بر ساعت) در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی ۲۸,۵٪ و در محل ریل‌های کمکی ۳۳٪ می‌باشد. بنابراین مطابق این نتایج استفاده همزمان از دال دسترسی و ریل‌های کمکی موجب گردیده تا تغییرات تغییرمکان ریل از دالخط به سمت خط

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

بالاستی برای تمامی سرعت ها به صورت پلکانی و تدریجی تر اتفاق بیافتد.

-نتایج ارزیابی تغییرات بار محوری بر روی رفتار ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی بیانگر آن است که میزان افزایش تغییرمکان ریل در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی ریل‌های کمکی، در محل ناحیه انتقال با ریل‌های کمکی و در محل خط بالاستی بطور متوسط به ترتیب ۲۲٪، ۲۷٪ و ۳٤٪ می‌باشد. بنابراین وجود ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی برای بارهای محوری در محدوده ۱۸۰-۲۵۰ کیلونیوتن تاثیر نسبتاً مشابهی داشته و موجب گردیده تا تغییرمکان‌های ریل بصورت پلکانی و ملایم تغییر نماید.

-نتایج تحلیل حساسیت مدل بر روی تعداد ریل‌های کمکی مشخص می‌سازد که در هر دو بخش ناحیه انتقال (با دال دسترسی و ریل‌های کمکی) هر چه تعداد ریل‌های کمکی افزایش یافته است، فاصله تغییرات تغییرمکان مابین خط بالاستی و دالخط کمتر گردیده است. شدت این تغییرات در حالت استفاده از تعداد ریل‌های کمکی کم بیشتر بوده و پس اضافه نمودن ٤ ریل کمکی، تاثیر اضافه نمودن ریل‌های کمکی کمتر می‌گردد.

-بررسی اثرات سختی‌های مختلف ریلپد در صورت استفاده از دال دسترسی و ریل‌های کمکی در ناحیه انتقال نشان می‌دهد که میزان تغییرات تغییرمکان ریل برای سختی‌های ٤۰، ۱۸۰ و ۲۵۰ کیلونیوتن بر میلی‌متر در محل ناحیه انتقال با دال دسترسی و ریل‌های کمکی به ترتیب ۱۲٪، ۲٤٪ و ۲٦٪ ، در محل ناحیه انتقال با ریل‌های کمکی به ترتیب ۱۵٪، ۲۸٪ و ۳۰٪ و در محل خط بالاستی به ترتیب ۱۸٪، ۳۵٪ و ۳۸٪ باشد. بنابراین می‌توان گفت که استفاده همزمان از دال دسترسی و ریل‌های کمکی موجب می‌گردد تا تغییرات تغییرمکان‌های ریل برای تمامی حالت‌های مختلف سختی ریلپد، بصورت تدریجی و با روندی ملایم و بصورت پلکانی افزایش یابد.

بنابراین، بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش ریل‌های کمکی هرچند موجب کاهش اختلاف تغییرات در محل نواحی انتقال از دالخط به خط بالاستی و انتقال مناسب تغییرات سختی می‌گردد، اما به منظور انتقال تدریجی‌تر و ملایمتر سختی، استفاده ترکیبی از دال دسترسی و ریل‌های کمکی عملکرد و پاسخ های بهتری را در بر خواهد داشت.

٦-مراجع

-B.E. Zuada Coelho, (2010). Dynamics of railway transition zones in soft soils. MSc. Thesis, *Delft University of Technology*.

-B.E. Zuada Coelho, P. Hölscher, F. B. J. Barends, (2011). Dynamic behaviour of transition zones in railways. Proceedings of the 21st European Young Geotechnical Engineers' Conference, *Rotterdam*, 133-139.

-B.E. Zuada Coelho, P. Hölscher, J. Priest, W. Powrie, F. B. J. Barends, (2010). An assessment of transition zone performance. Proc. IMechE Part F. J. *Rail and Rapid Transit*, Vol. 224, 1-11.

-Brinckerhoff, Q. and Douglas, Inc., (2000). TCRP Rep- ort 57: Track Design Hand- book for Light Rail Transit. *Transportation Research Board, National Research Council*, Washington, DC.

-D. Read, D. Li, (2006). Research results digest 79-Design of Track Transitions. *Transportation Technology Center*, Inc.(TTCI), October.

-Hyslip, J. P., D. Li, and C. R. McDaniel (2009). Railway bridge transition case study. In E. Tutumluer and L. Al-Qadi (Eds.), *Proceedings of the 8th International Conference Bearing Capacity of Roads*, Railways and Airfields, 1341–1348. *CRC Press.*

-Jabbar-Ali Zakeri and Vida Ghorbani, (2011). Investigation on dynamic behavior of railway track in transition zone. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 25 (2), 287-292.

-K. J. Bathe. (1996). Finite Element Procedures. *Prentice Hall*.

-Lei, X. and B. Zhang (2009). Influence of track stiffness distribution on vehicle and track interactions in track transition. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F. *Journal of Rail and Rapid Transit 2010 224*, 592.

-M. Asghar Bhatti. (2005). Fundamental Finite Element Analysis and Applications: with Mathematica and Matlab Computations. *John Wiley & Sons*, Inc. 1 edition, February.

- Ricardo Insa, Pablo Salvador, Javier Inarejos and Alejandro Roda, (2012). Analysis of the influence of under sleeper pads on the railway vehicle/track dynamic interaction in transition zone. *Journal of Rail and Rapid Transit*, 226 (4), 409-420.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

the dynamic response. *Computers and Geotechnics*, Vol. 48, 21-28.

-AREMA, (2005). Portfolio of Track work Plans, American Railway Engineering and Maintenance of Way Association, *Plan NO*. 913-52.

-Coelho, B., J. Priest, P. Holscher, and W. Powrie (2009). Monitoring of transition zones in railways. In M. Forde (Ed.), Railway Engineering. *Engineering Technics Press.*

-Holscher, P. and P. Meijers (2007). Literature study of knowledge and experience of transition zones. *Technical Report*, GeoDelft

-Li, D., D. Otter, and G. Carr (2010). Railway Bridge approaches under heavy axle load traffic: problems, causes, and remedies. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F. *Journal of Rail and Rapid Transit 224 (5)*, 383– 390.

-Sasaoka, C. D. and D. Davies (2005). Implementing track transition solutions for heavy axle load service. *In AREMA 2005.*

-Sussman, T.R. and E.T. Selig. (1998). Track Component Contributions to Track Stiffness. *E.T. Selig, Inc. Amherst*, MA.

-T. J .R. Hughes. (2003). The Finite Element Method. *Dover Publications Inc.*, March.

-Varandas, J.N. P. Hölscher, and M.A.G. Silva. (2013). Settlement of ballasted track under traffic loading. Application to transition zones. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F. *Journal of Rail and Rapid Transit*, 228(3).

- Varandas, J.N., (2013). Long-Term Behavioure of Railway Transitions under Dynamic Loading to Soft Soil Sites. Master Thesis, *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal.

- Yao Shan, Bettina Albers, Stavros A. Savidis, (2013). Influence of different transition zones on

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Analysis of a multi-Part Transition Zone Application in Railway Track by Numerical Method

Hamidreza Heydarii, Assistant Professor, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Morteza Esmaeili, Professor, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Jabarali Zakeri Professor, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: h_heydari@iust.ac.ir

Received: September 2003 Accepted: January 2024

ABSTRACT
Abrupt track vertical stiffness variations along railway tracks can lead to increased dynamic loads, asymmetric deformations, damaged track components, and consequently, increased maintenance costs. Therefore, such problems must be reduced by constructing a transition zone which is smoothed the track stiffness change. The junction of slab track and ballasted track is one of the existing areas where vertical track stiffness can suddenly change, therefore requiring a transition zone. One of the innovative methods for constructing the transition zone at the junction of slab and ballasted tracks is implementation of the combined approach slab and auxiliary rails along the transition zone. In the present study, the dynamic behavior of this type of transition zone was evaluated by a train-track interaction model. For this purpose, a 3D model of the railway track was made, representing the slab track, the transition zone, and the ballasted track. Then, in order to study the dynamic behavior of the transition zone with combined approach slab and auxiliary rails, different sensitive analyses, such as vehicle speed, vehicle load, number of auxiliary rails and rail pad stiffness, were performed with the model. The obtained results showed that the use of combined approach slab and auxiliary rails reduced the rail deflection variations along the transition zone from 35% to 22%-28% for low and medium speeds (120, 200 km/h), and from 41% to 28.5%-33% for high speeds (300 km/h).

Keywords: Railway Track, Numerical Analysis, Multi-Part Transition Zone, Train-Track Interaction Model

Archive of SID.ir