Archive of SID

بررسی عددی استفاده از پیش دال‌های بتنی در ناحیه انتقال خطوط بالاستی به آبروهای بتنی خطوط راه آهن سریع السیر

مرتضی اسماعیلی[1*]، مهدی کمالی[2]، حمیدرضا حیدری نوقابی[3]

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۲- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

از جمله مسائل مطرح در بهره برداری از خطوط راه آهن سریع السیر، اجتناب از وقوع تغییرات ناگهانی در سختی خط می‌باشد. محل آبروها و پل ها، شایع ترین نقاط تغییر ناگهانی سختی خط در طول مسیرهای راه آهن سریع السیر می‌باشد. یکی از مهمترین روش‌های اعمال تدریجی سختی در این نقاط، ساخت پیش دال‌های بتنی به عنوان ناحیه انتقال می‌باشد. بنابراین در این مقاله سعی گردیده تا این موضوع با انجام مدل سازی عددی مورد مطالعه قرار گیرد. برای این منظور یک خط بالاستی همراه با یک آبرو بتنی مشابه با آبروهای واقع در مسیر راه آهن سریع السیر تهران- قم- اصفهان به طول ۶۰ متر مدلسازی گردیده و تاثیر وجود پیش دال‌های بتنی در حدفاصل خط بالاستی و آبرو مورد بررسی قرار گرفته است. در این مدلسازی خط بالاستی و اجزای آن شامل پد زیر ریل، تراورس، بالاست، بستر و زمین بصورت مجموعه ای از سیستم‌های جرم-فنر-میراگر مدل گردیده و ریل ها، آبرو و پیش دال‌های بتنی بصورت المان‌های تیر اویلر-برنولی شبیه سازی شده‌اند. سپس رفتار دینامیکی خط ریلی و اجزای آن با عبور دسته بار متحرک مشابه یک ناوگان سریع السیر متداول مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا بر روی پارامتر هائی از قبیل سرعت وسیله نقلیه، ضخامت دال‌خط‌ها، میرایی و سختی خط تحلیل حساسیت صورت گرفته است. نتایج تحلیل‌ها بیانگر آن است که با افزایش سختی و میرایی خط، نیروی ایجاد شده در بالاست، شتاب‌ها و نشست‌های خط بویژه در قسمت خط با پیش دال‌های بتنی کاهش می‌یابد که این تاثیر در میرایی‌های بالاتر از KNsec/m ۲۰۰ و سختی خط در محدوده ۱۲۰ MN/m تا ۱۸۰MN/m قابل توجه می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که افزایش ضخامت پیش دال ها تاثیر به سزایی بر بهبود رفتار خط در سرعت‌های بالا بویژه در سرعت ۳۴۰ کیلومتر بر ساعت دارد.

کلمات کلیدی: ناحیه انتقال، پیش دال، آبرو بتنی، خطوط سریع السیر، مدلسازی عددی

*نویسنده مسئول: مرتضی اسماعیلی.
پست الکترونیکی: m_esmaeili@iust.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۰٦/۱۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۵

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با افزایش سرعت قطارها، تقاضای سفر از طریق شبکه حمل ونقل ریلی افزایش یافته است. از سویی این افزایش سرعت قطارها در بعضی از مقاطع‌های خطوط ریلی منجر به ایجاد مشکلات متعددی می‌گردد که بایستی راهکار مناسبی جهت کاهش اثرات آن اتخاذ نمود. از جمله مهمترین این مقاطع، نواحی انتقال می‌باشد. ناحیه انتقال، محلی است که سختی خط به طور ناگهانی تغییر می‌کند. این پدیده در محلهایی نظیر محل اتصال خط بالاستی به دالخط، مجاورت پل‌ها و آبروها، ورودی و خروجی تونلها، در محل دوراهه‌ها و همچنین تقاطعات راه آهن با جاده به وجود می‌آید. رفتار خط در نواحی انتقال به علت تغییر سختی خط اثرات منفی مختلفی نظیر ایجاد نشست تفاضلی خط، به هم خوردن هندسه خط، فرار بالاست و جابجایی تراورس، اعمال نیروی زیاد بر خط، خستگی سطح ریل، خرابی و شکست تراورس و ... را موجب می‌گردد [1].

علاوه بر موراد فوق افرادی همچون کر [2]، لی و دویس [3]، وودوارد و همکاران [4-5] مشکلاتی مانند نفوذ بالاست در بستر، معلق شدن تراورس (فضای خالی ایجاد شده زیر تراورس) تغییر شکل دائمی ریل، آسیب دیدن اجزا در خط، شکست تراورس بتنی و یا دال بتنی و تغییر عرض خط را در ناحیه انتقال مشاهده کرده‌اند.

تحقیقات نشان می دهد که تغییر سختی خط در طول مسیر یکی از منابع اصلی خرابی‌های هندسی خطوط راه آهن می‌باشد. در کشور هلند ٤٠ 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 می باشد [6] بر اساس مطالعات ساسوکا و همکاران در حدود ۲۰۰ میلیون دلار سالانه در خطوط راه آهن امریکا برای تعمیر و نگهداری ناحیه انتقال هزینه می‌شود [7]. در اروپا نیز سالانه ۸۵ میلیون یورو جهت تعمیر و نگهداری نواحی انتقال هزینه می‌شود [8].

بنابراین لازم است با اجرای صحیح ناحیه انتقال به روش‌های مختلف تغییر سختی خط را بصورت تدریجی اعمال نمود. جهت ایجاد تغییرات تدریجی در ناحیه انتقال روش هایی نظیر استفاده از تراورس‌های با طول متغیر [9]، تغییر فاصله بین تراورس‌ها [10]، استفاده از ملات بتن آسفالتی [11]، نصب ریل‌های اضافی [12]، اجرای دال بتنی ورودی [13]، ساخت ستون‌های سنگی و ساخت شمع‌ها [14] موجود می‌باشد.

یکی از انواع متداول و شایع تغییر ناگهانی سختی در خطوط ریلی، مناطق نزدیک آبروها و آبراهه‌ها می‌باشد. وجود این مناطق از آنجایی حائز اهمیت می‌باشد که اولاً تعداد آن‌ها در طول مسیر ریلی زیاد بوده و ثانیاً با افزایش سرعت قطارها، نیروها و ضربات دینامیکی افزایش یافته و در نتیجه خط ریلی و ناوگان دچار مشکلات متعددی در گذشت زمان می‌گردد [15-17].

یکی از روش‌های مناسب برای حل این مشکل در خطوط بالاستی استفاده از پیش دالهای با ضخامت متغییر می‌باشد. به عنوان نمونه در این روش برای انتقال ملایم سختی از سه دال ٦ متری با ضخامت‌های متغییر (مثلاً ضخامت ۲۰cm، ۲۵ cm و ۳۰cm) استفاده می‌شود تا به جای یک تغییر ناگهانی سختی، یک تغییر کوچک رخ داده و در نتیجه تفاضل نشست، تفاضل نیرو و تفاضل شتاب بین نقاط مختلف کاهش یابد [18].

بنابراین در تحقیق حاضر بررسی رفتار دینامیکی پیش دال‌ها در مجاورت آبروهای خطوط بالاستی سریع السیر، مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور یک آبرو بتنی به طول ٦.٦ متر و ضخامت ۸۰ سانتی متر واقع در خط بالاستی سریع السیر تهران-قم-اصفهان به طول ۱۸ متر به همراه سه پیش دال (هر یک به طول ٦ متر) در نرم افزار اجزای محدود ABAQUS مدل سازی گردیده است. سپس بر روی مدل عددی ساخته شده از خط بالاستی- ناحیه انتقال (پیش دال ها)- آبرو تحلیل حساسیت و بررسی‌های لازم صورت گرفت. در آنالیز حساسیت‌های صورت گرفته در این مطالعه، سرعت ناوگان در محدوده ۱۲۰ تا ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت، سختی پد زیر ریل در محدوده

www.SID.ir

Archive of SID

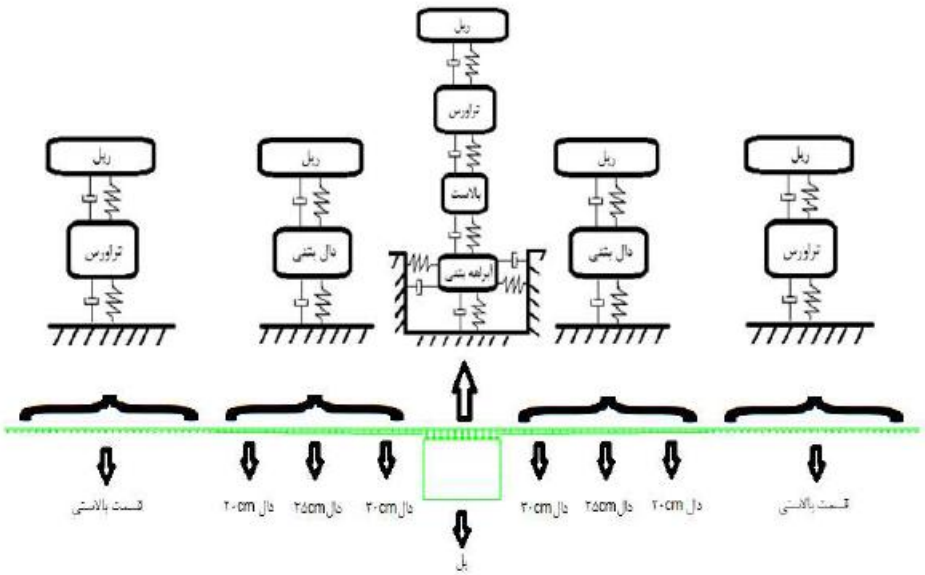
MN/m ٦٠ تا MN/m ٢٤٠ و ضخامت دال‌ها در محدوده ١٠ تا ٤٠ سانتیمتر تغییر یافته اند که نتایج حاصل از این بررسی‌ها در ادامه تشریح گردیده است.

٢- مدلسازی عددی ناحیه انتقال باپیش دال‌های بتنی

جهت بررسی رفتار دینامیکی پیش دال در نواحی انتقال مجاور آبروها، یک آبرو بتنی به طول ٦.٦ متر و ضخامت ٨٠ سانتی متر که به صورت تیپ در طول مسیر خط راه آهن سریع السیر تهران-قم- اصفهان اجرا شده، در نظر گرفته شده است. در این راستا همان طور که در شکل ١ مشاهده می‌گردد، یک خط بالاستی و اجزای آن به طول ١٨ متر به همراه سه پیش دال هر یک به طول ٦ متر قبل و بعد از آبرو در نرم افزار اجزای محدود ABAQUS مدل سازی گردیده است.

در این مدلسازی از المان تیر اویلر-برنولی جهت مدلسازی ریل، دال‌ها و آبرو استفاده گردیده است. سایر اجزای خط بالاستی نظیر تراورس، پد زیر ریل، بالاست و بستر بصورت سیستم جرم-فنر-میراگر شبیه سازی شده است. مشخصات فنی و مکانیکی مورد استفاده جهت مدلسازی آبرو، پیش دال ها، خط بالاستی و اجزای آن (شامل ریل، پد زیر ریل، تراورس بالاست و بستر) در جدول ١ ارائه گردیده است.

جهت مدلسازی بارهای متحرک دینامیکی از مشخصات قطار سریع السیر ICE3 استفاده شده است. مطابق شکل ٢ در ناوگان مدل ICE3 فاصله بین دو چرخ ٢.٥ متر، فاصله بوژی‌ها ١٩.٥ متر و بار محوری معادل ١٦ تن می‌باشد [22].



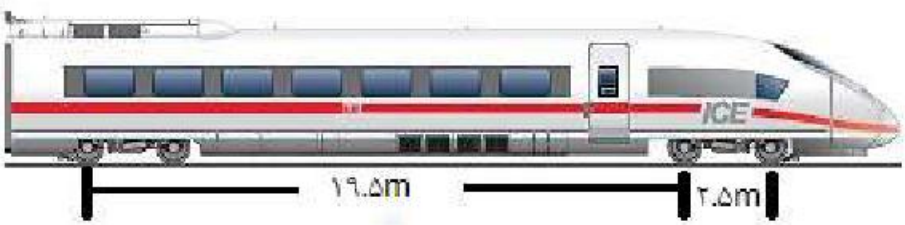
شکل ١ : مدل شماتیک ناحیه انتقال خط بالاستی در محل آبرو بتنی شامل پیش دال‌های بتنی.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱ : مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل [19-21]

عنوان کمیت	مقدار	واحد
چگالی ریل	۷۸۵۰	kg/m³
مدول یانگ ریل	۲۱۰	GPa
ضریب پواسون ریل	۰,۳	-
چگالی بتن	۲٤۰۰	kg/m³
مدول یانگ بتن	۳۰	GPa
ضریب پواسون بتن	۰,۲۰	-
وزن تراورس	۳۰۰	Kg
سختی ریلپد	۲٤۰ ٦۰	MN/m
میرایی ریلپد	۲۵۰ ٤۰	kNsec/m
ضخامت بالاست	۰,۳۰	m
چگالی بالاست	۲۰۰۰	kg/m³
سختی فنر معادل بالاست و بستر	۵۰	MN/m
میرایی معادل بالاست و بستر	۵۰	KNsec/m



شکل۲ : بارگذاری مدل بر اساس ناوگان مدل توسعه داده شده ICE3 [22]

۳- بررسی نتایج مدلسازی ناحیه انتقال باپیش دال‌های بتنی

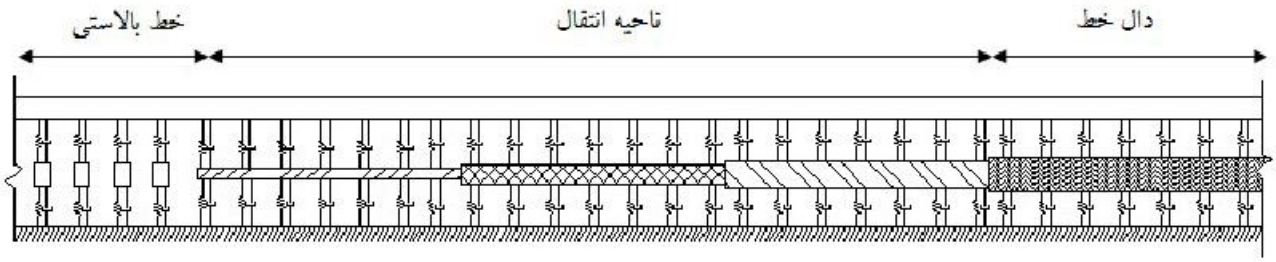
جهت بررسی رفتار دینامیکی ناحیه انتقال متشکل از پیش دال‌ها ابتدا با مقایسه نتایج تحلیل عددی با یکی از مراجع موجود موضع اعتبار سنجی مدل عددی بررسی و به اثبات رسیده است در ادامه با مدلسازی پیش دال در مجاورت آبروهای خطوط بالاستی سریع‌السیر، آنالیز حساسیت‌های متفاوتی بر روی پارامترهای تاثیر گذار بر مساله صورت گرفته است. برای این منظور سرعت حرکت قطار، سختی پد زیر ریل و ضخامت دال خطها ارزیابی گردیده است. در این آنالیز حساسیت‌ها هر بار یکی از متغیرها ثابت مانده اند و سایر پارامترها تغییر یافته و سپس نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. در تحلیل حساسیت‌های صورت گرفته سرعت ناوگان در محدوده ۱۲۰ تا ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت، سختی پد زیر ریل در محدوده ٦۰ MN/m تا ۲٤۰ MN/m و ضخامت دال‌ها در محدوده ۱۰ تا ٤۰ سانتیمتر (در دال اول از ۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر، در دال دوم از ۱۵ تا ۳۵ سانتی متر، در دال متصل به پل از ۲۰ تا ٤۰ سانتی متر) تغییر یافته‌اند. در ادامه نتایج هر یک از تحلیل حساسیت‌های صورت گرفته ارائه و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳ ۱ اعتبارسنجی مدل

به منظور اعتبار سنجی مدل، نتایج مدل عددی تحقیق حاضر با نتایج مدل عددی ناحیه انتقال خط متشکل از پیش دالهای بتنی که توسط ذاکری و همکاران (۲۰۱۱) توسعه داده شده، مقایسه گردیده است [14] این مدل مطابق شکل ۳ شامل یک قطعه خط بالاستی به طول ۱۸ متر، یک ناحیه انتقال با سه قطعه پیش دال بتنی (هر یک به طول ٦ متر و با ضخامت‌های ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتیمتر) و در نهایت یک بخش دالخط بتنی به ضخامت ٤۰ سانتیمتری و به طول ۱۸ متر می‌باشد. بنابراین جهت اعتبار سنجی، نتایج مدلسازی اجزای محدود توسعه داده شده در مقاله حاضر با نتایج مقاله مذکور مقایسه گردید. همان طور که در شکل ٤ نمایش داده شده است، بیانگر وجود اختلاف کمتر از ۵ درصدی مابین نتایج تغییرمکان ریل، شتاب خط، نیروی پد و نیروی بالاست در مقاله حاضر و مطالعه ذاکری و همکاران (۲۰۱۱) به معنای وجود اعتبار قابل قبول مدل عددی توسعه داده شده در نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS می‌باشد.



شکل۳ : مدل ناحیه انتقال با پیش دال‌های بتنی بررسی شده توسط ذاکری و همکاران [18].

با توجه به نتایج قابل قبول بدست آمده در این بخش، در ادامه مدل عددی آبراهه بتنی متشکل از پیش دال‌های بتنی قبل و بعد از آبرو توسعه داده شده و تاثیر پارامترهای مختلف روی عملکرد آن مورد بررسی قرار داده می‌شود.

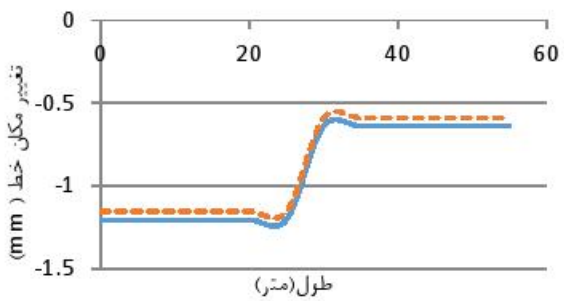
۳ ۲ بررسی تاثیر سختی خط بر رفتار ناحیه انتقال باپیش دال‌های بتنی

در این بخش تاثیر سختی خط بر رفتار دینامیکی ناحیه انتقال مجاور آبرو با پیش دال مورد بررسی قرار داده می‌شود. برای این منظور، سرعت قطار در محدوده ۱۲۰ km/h تا ۳٤۰ km/h و سختی خط در محدوده ٦۰ MN/m تا۲٤۰ MN/m تغییر یافته و تحلیل حساسیت بر روی مدل صورت گرفت. در طول تحلیل‌های این بخش سختی بستر ۵۰ MN/m و ضخامت سه پیش دال به ترتیب ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

مطابق نمودار شکل ۵ با افزایش سختی خط از ٦۰ MN/m تا۲٤۰ MN/m، شتاب وارده بر نواحی مختلف خط (خط بالاستی، ناحیه انتقال و آبرو) روندی کاهشی داشته است. مطابق این نمودار، سختی خط در محدوده ۱۲۰ MN/m تا ۱۸۰ MN/m بیشترین تاثیر را بر شتاب وارده بر خط داشته است و پس از سختی ۱۸۰MN/m نرخ تغییرات شتاب کاهش یافته است که این موضوع برای کلیه سرعت‌ها قابل مشاهده است. از طرفی دیده می‌شود که با افزایش سرعت قطار، شتاب وارد بر قسمت‌های مختلف خط (بالاستی، ناحیه انتقال و آبرو) افزایش خواهد داشت. مشاهده دقیق تر این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش سختی خط نرخ تغییرات شتاب بر روی پیش دال‌ها یکنواخت تر می‌گردد. بدین صورت که با افزایش سختی خط، کاهش روند تغییر شتاب‌ها بر حسب سرعت‌های مختلف عبارتست از: کاهش تغییرات میزان شتاب‌ها از پیش دال اول به پیش دال دوم بین ۱۲تا ۲٤ درصد، از دال دوم به دال سوم ۱۵ تا ۲۵ درصد واز دال آخر به پل در حدود ۱٦ تا ۳۰ درصد.

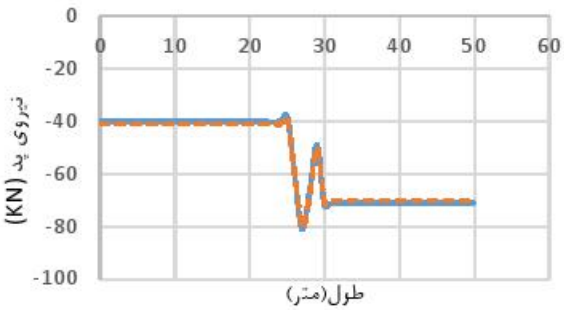
www.SID.ir

Archive of SID



ناحیه انتقال با پیش دال‌های بتنی

ناحیه انتقال بدون پیش دال‌های بتنی

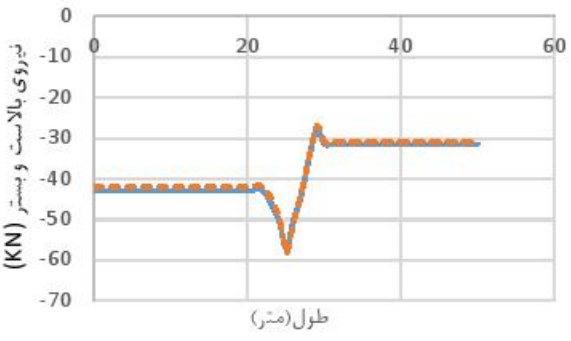


ناحیه انتقال با پیش دال‌های بتنی

ناحیه انتقال بدون پیش دال‌های بتنی

ناحیه انتقال با پیش دال‌های بتنی

ناحیه انتقال بدون پیش دال‌های بتنی



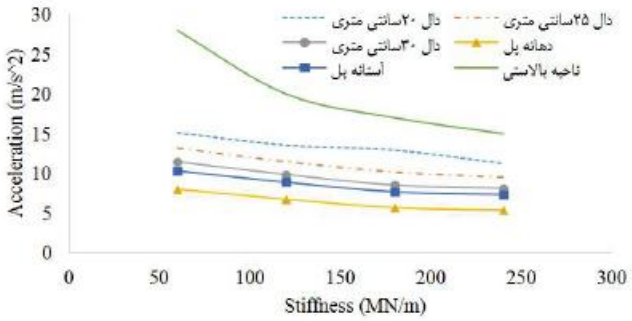
ناحیه انتقال با پیش دال‌های بتنی

ناحیه انتقال بدون پیش دال‌های بتنی

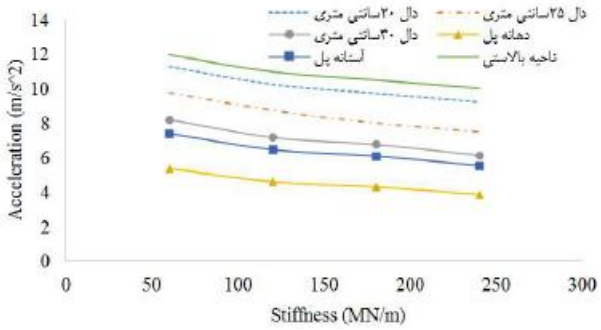
شکل٤ : مقایسه نتایج مدلسازی مقاله حاضر (—) و نتایج مدل ذاکری و همکاران (– – –).

www.SID.ir

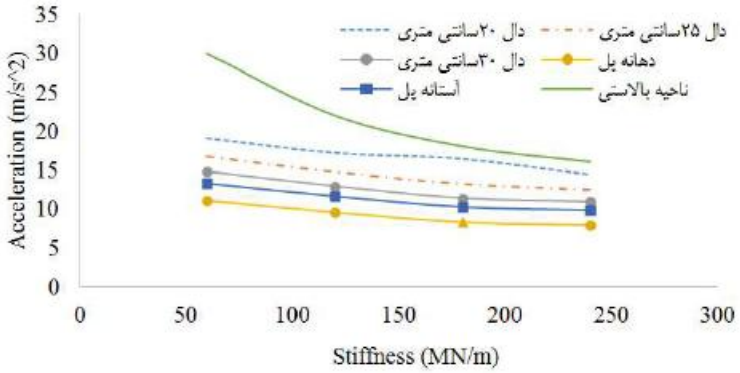
Archive of SID



سرعت ۲۴۰ کیلومتر بر ساعت



سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت



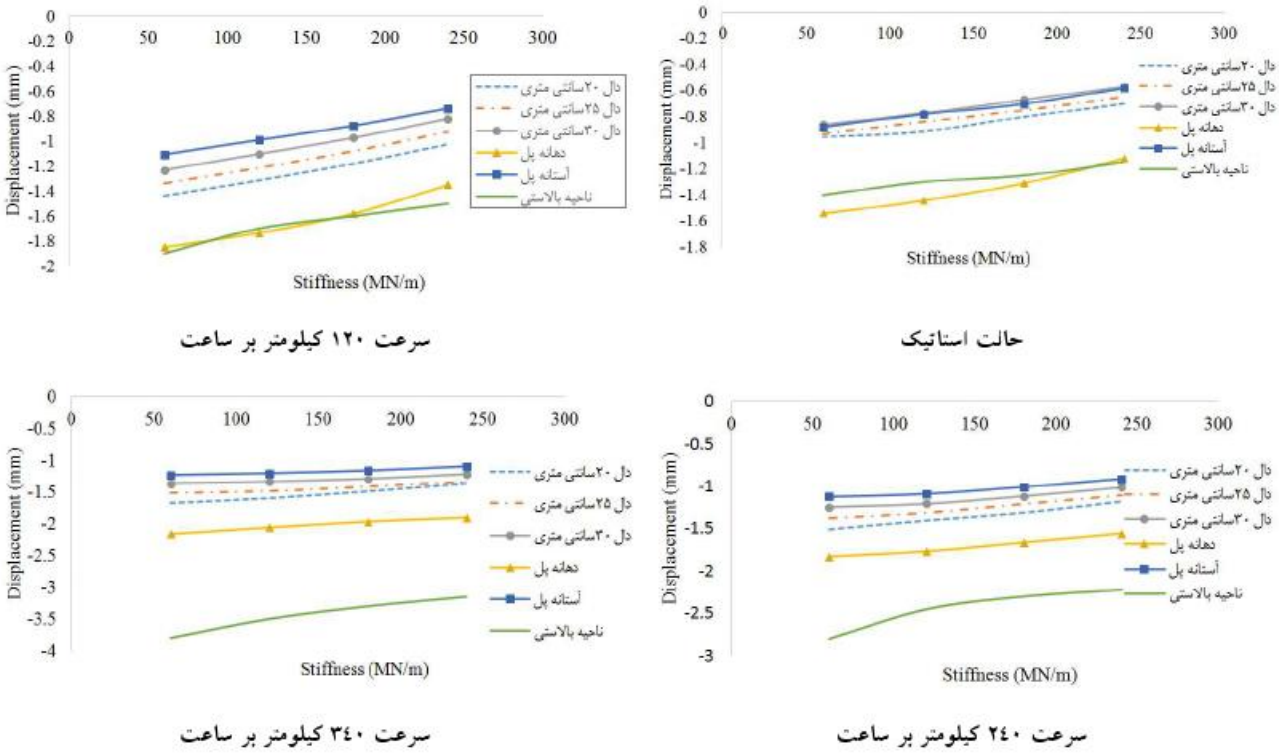
سرعت ۳۴۰ کیلومتر بر ساعت

شکل۵ : نمودار تغییرات حداکثر شتاب خط در مقایسه با تغییر سختی خط و سرعت قطار.

مطابق نمودار شکل ٦ با افزایش سختی خط، نشست‌های نواحی مختلف (خط بالاستی، ناحیه انتقال و آبرو) کاهش می‌یابد. مطابق این نمودار، سختی خط در محدوده ۱۲۰ MN/m تا ۱۸۰ MN/m بیشترین تاثیر را بر نشست خط داشته است و پس از سختی ۱۸۰MN/m نرخ تغییرات نشست کاهش یافته است. از طرف دیگر با افزایش سرعت قطار شاهد افزایش نشست در همه نقاط خط (خط بالاستی، ناحیه انتقال و آبرو) می‌باشیم. توجه به این نمودار نشان می‌دهد که نشست‌ها از خط بالاستی به سمت نواحی انتقال پیش دال اول، دوم و سوم و در نهایت دهانه پل به تدریج کاهش می‌یابد که این بیان گر آن است که ناحیه انتقال وظیفه انتقال تدریجی نشست‌ها از روی خط بالاستی تا دهانه پل را به درستی انجام می‌دهد. شایان ذکر است که در میانه پل نشست مجدداً افزایش می‌یابد که دلیل آن کاهش سختی در این نقطه می‌باشد که مطابق نمودار افزایش سختی خط می‌تواند نشست دهانه پل را تا ٤٠٪ کاهش دهد. مشاهده دقیق تر این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش سختی خط، نرخ تغییرات نشست بر روی پیش دال‌ها یکنواخت تر می‌گردد. بدین صورت که با افزایش سختی خط، تغییرات نشست‌ها بر حسب سرعت‌های مختلف از دال اول به دال دوم کاهشی حدود ۱۳ تا ۲۳ درصدی داشته و از دال دوم به سوم حدود ۱۵تا ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. این در حالی است که چنانچه در این محل از پیش دال به عنوان ناحیه انتقال استفاده نمی شد، نشست‌های دهانه پل بین ۱.۲ تا ۳ میلیمتر (بسته به سرعت حرکت قطار) بدست می‌آمد که به معنای کاهش ناگهانی نشست‌ها به میزان ۵۰ تا ٦٥ درصد می‌باشد. این مطلب نشان دهنده عملکرد مناسب پیش دال به عنوان ناحیه انتقال و بیانگر اهمیت رفتار آن در ایجاد تغییرات تدریجی خط می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



حالت استاتیک

سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۲۴۰ کیلومتر بر ساعت

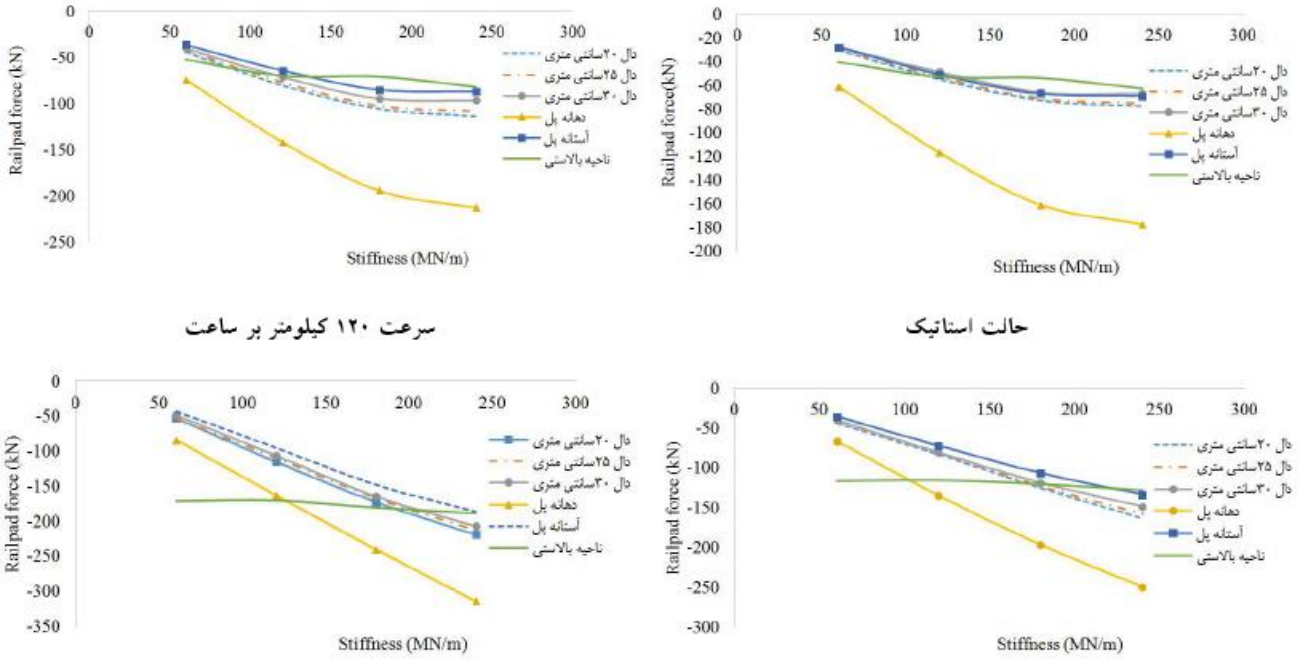
سرعت ۳۴۰ کیلومتر بر ساعت

شکل٦ : نمودار تغییرات حداکثر تغییرمکان خط در مقایسه با تغییر سختی خط و سرعت قطار.

تاثیر افزایش سختی خط بر نیروی ایجاد شده در پد زیر ریل و همچنین نیروی بالاست و بستر به ترتیب در نمودارهای اشکال ۷ و ۸ نمایش داده شده است. مطابق نمودار شکل ۷ با افزایش سختی خط در محدوده ٦٠ MN/m تا ٢٤٠MN/m نیروی وارد بر پد افزایش خواهد یافت. اگر چه میزان نیروی وارد بر پد در تمامی نواحی خط داری پیش دال به هم نزدیک هستند اما افزایش سختی خط از ٦٠ MN/m تا ٢٤٠ MN/m میزان نیروها را بسته به سرعت تا ۳ برابر افزایش می‌دهد. از طرف دیگر مطابق شکل ۸ نیروی وارد بر بالاست با افزایش سرعت قطار در تمامی نواحی مختلف خط (بالاستی، ناحیه انتقال و آبرو) افزایش می‌یابد در حالی که این نیرو با افزایش سختی خط کاهش می‌یابد. افزایش سختی خط نیروی وارد بر بالاست را در قسمت‌های مختلف خط بیش از ۳۳ درصد کاهش خواهد داد. توجه در نمودارهای تغییرات نیروهای ایجاد شده در پد زیر ریل و بالاست نشان می‌دهد که وجود ناحیه انتقال شامل پیش دال‌ها موجب گردیده تا بجای تغییر ناگهانی نیروهابین خط بالاستی و دهانه پل، تغییر این نیروها بصورت تدریجی بر روی پیش دال‌های اول، دوم و سوم اتفاق بیافتد و در نتیجه آسیب کمتری به خط و اجزای ناشی از تغییر ناگهانی نیروها اعمال گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



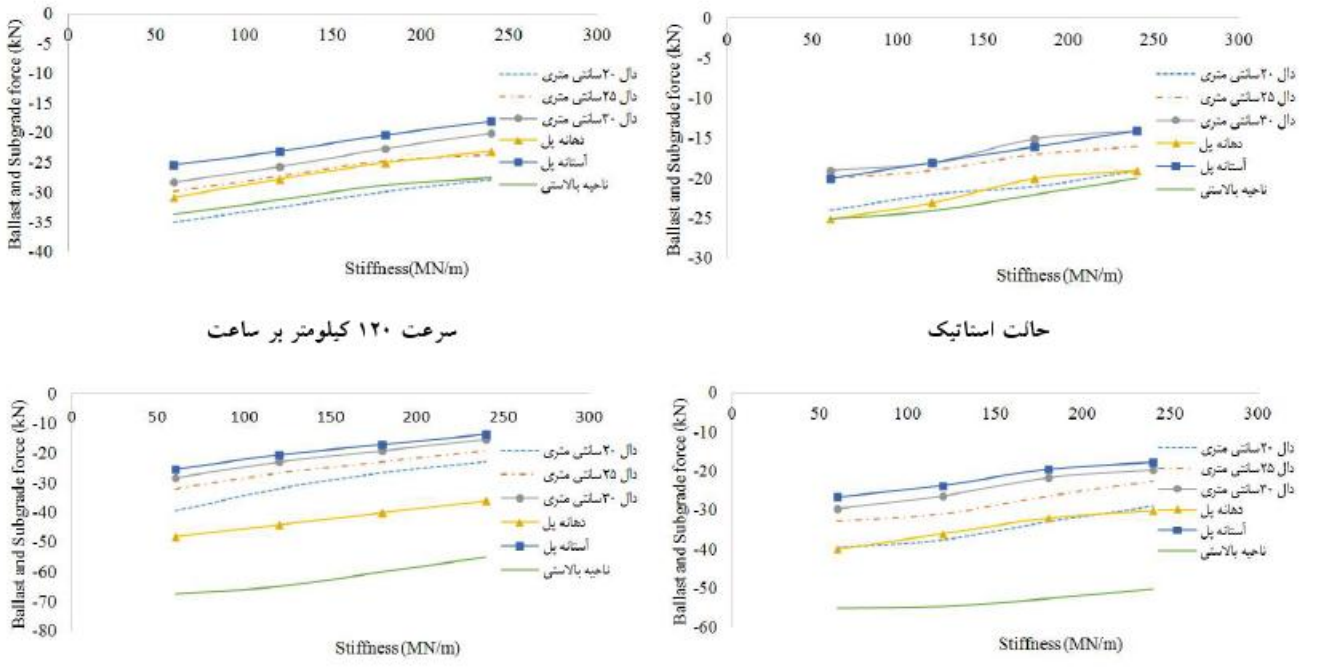
حالت استاتیک

سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۲۴۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۳۴۰ کیلومتر بر ساعت

شکل۷ : نمودار تغییرات نیروی پد زیر ریل در مقایسه با تغییر سختی خط و سرعت قطار.



حالت استاتیک

سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۲۴۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۳۴۰ کیلومتر بر ساعت

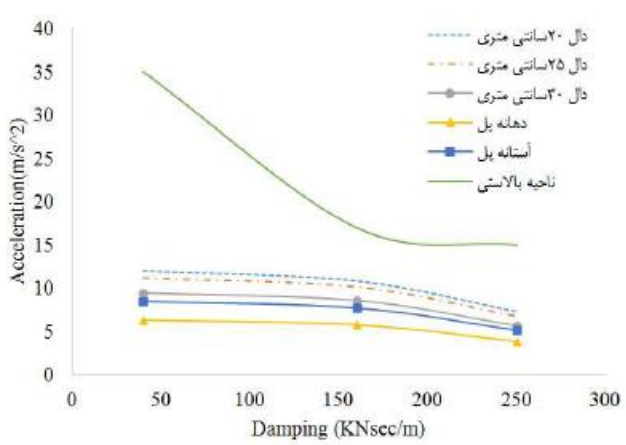
شکل۸ : نمودار تغییرات نیروی بالاست و بستر در مقایسه با تغییر سختی خط و سرعت قطار.

www.SID.ir

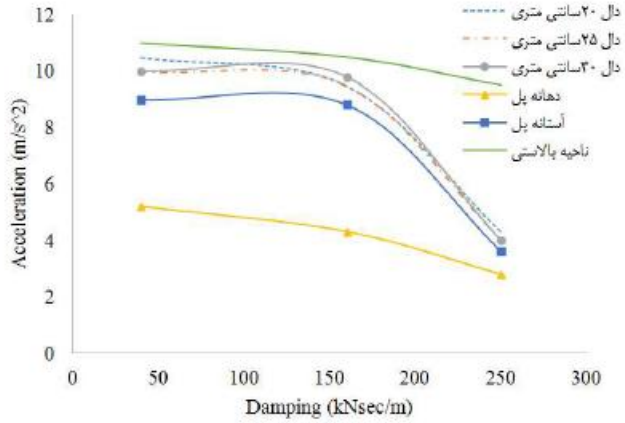
Archive of SID

۳ ۳ تاثیر میرایی خط در رفتار ناحیه انتقال باپیش دال‌های بتنی

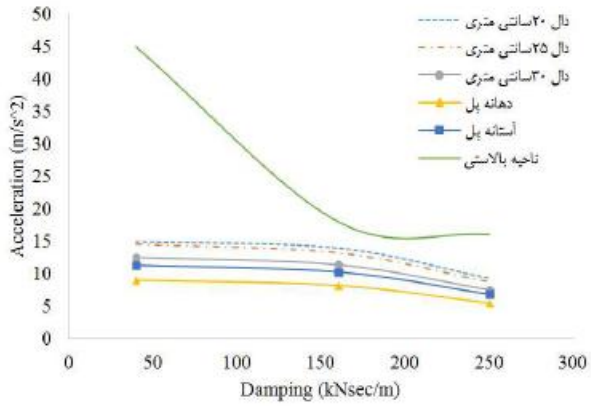
در این بخش تاثیر میرایی خط در رفتار ناحیه انتقال با پیش دال مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام آنالیز حساسیت‌های این بخش، میرایی خط در محدوده ٤٠KNsec/m تا ٢٥٠KNsec/m تغییر یافته است. در طول تحلیل‌های این بخش سختی خط ١٨٠MN/m و ضخامت سه پیش دال به ترتیب ٢٠، ٢٥ و ٣٠ سانتیمتر در نظر گرفته شده و سرعت قطار در محدوده ١٢٠ km/h تا ٣٤٠ km/h تغییر یافته است. در شکل ٩ نمودار تغییرات شتاب خط با تغییر میرایی خط و سرعت قطار قابل مشاهده می‌باشد. مطابق این نمودار با افزایش میرایی خط، شتاب‌های خط در قسمت‌های مختلف بویژه در قسمت پیش دال‌ها کاهش می‌یابد. در پیش دال های با ضخامت بیشتر، افزایش میرایی خط در کاهش شتاب ایجاد شده تاثیری بیشتری دارد که دلیل آن سخت تر بودن و میرایی کم دال‌های بتنی می باشد. مطابق این نمودار تاثیر میرایی خط در شتاب‌های ایجاد شده در میرایی‌های بالاتر از ٢٠٠ KNsec/m محسوس تر می‌باشد. تغییرات میرایی خط از ٤٠KNsec/m تا ٢٥٠KNsec/m می‌تواند در خط شامل پیش دال‌ها بطور متوسط موجب کاهش شتاب‌های ایجاد شده تا حدود ٥٥٪، ٦٠٪ و ٦٥٪ بترتیب در سرعت‌های ١٢٠، ٢٤٠ و٣٤٠ کیلومتر بر ساعت گردد. این بدان معناست که در سرعت‌های بالاتر، تاثیر کاهندگی میرایی در ایجاد شتاب در خط افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه دیگر آن است که در قسمت خط بالاستی، چنانچه میرایی خط کم و سرعت عبور قطار افزایش یابد، شتاب‌های بسیار زیادی در خط ایجاد خواهد گردید که این امر می‌تواند بیانگر وقوع پدیده رزونانس در خط باشد.



سرعت ٢٤٠ کیلومتر بر ساعت



سرعت ١٢٠ کیلومتر بر ساعت



سرعت ٣٤٠ کیلومتر بر ساعت

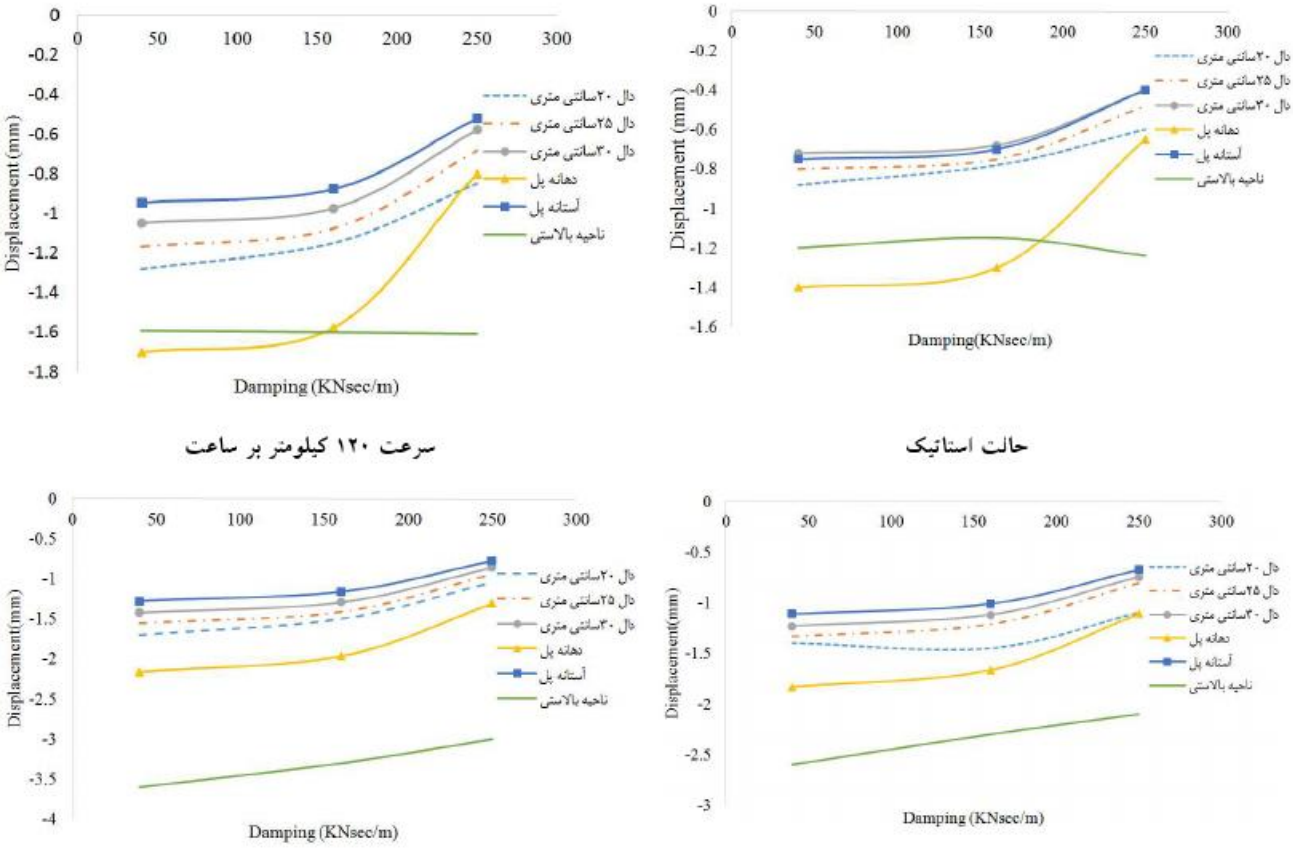
شکل٩ : نمودار تغییرات حداکثر شتاب خط در مقایسه با تغییر میرایی خط و سرعت قطار.

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات نشست خط برحسب تغییرات میرایی خط و سرعت قطار در نمودار شکل ۱۰ قابل مشاهده می‌باشد. مطابق این نمودار، افزایش میرایی خط موجب کاهش نشست‌ها بویژه در قسمت خط شامل پیش دال‌ها می‌گردد که این امر نشست تفاضلی خط را کاهش می‌دهد. تاثیر میرایی برکاهش نشست خط در میرایی‌های بالاتر از KNsec/m ۲۰۰ محسوس تر است. از طرف دیگر با افزایش سرعت قطار، نشست خط در ناحیه انتقال و آبرو با شدت کمی افزایش می‌یابد در حالی که در خط بالاستی بطور محسوسی نشست‌ها گسترش می‌یابد.

از نکات دیگر این نمودار آن است که نشست خط از سمت خط بالاستی به سمت پیش دال‌ها و سپس دهانه پل به تدریج کاهش می‌یابد هر چند که در میانه پل مجدداً نشست‌ها افزایش خواهد یافت. نشست خط از پیش دال اول به دوم ۱۲٪ تا ۲۵ ٪ و از دال دوم به دال سوم حدود ۱٤٪ تا ۲۸٪ کاهش یافته است. در حالی که در صورت نبود پیش دال ها، نشست دهانه پل بصورت ناگهانی تا حد ۱.۲ تا ۳ میلیمتر می‌رسد که موجب ایجاد ضربات دینامیکی خواهد گردید. این مطلب بیانگر صحت عملکرد پیش دال‌ها به عنوان ناحیه انتقال و تاثیرگذاری میرایی خط در این رفتار می‌باشد.



حالت استاتیک

سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۲٤۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت

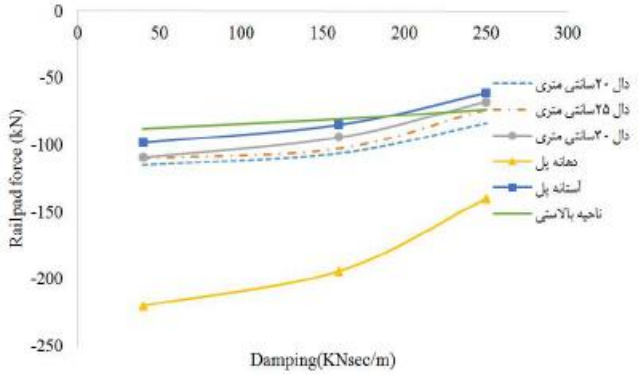
شکل ۱۰ : نمودار تغییرات حداکثر تغییرمکان خط در مقایسه با تغییر میرایی خط و سرعت قطار.

نمودار تغییرات نیروی پد زیر ریل در مقابل تغییرات سرعت قطار و میرایی خط در شکل ۱۱ قابل مشاهده می باشد. روند تغییرات نیروی پد برای قسمت های خط شامل پل و پیش دال های بتنی روند تقریباً مشابهی است، اما برای خط بالاستی نرخ تغییرات نیرو شدیدتر می باشد. روند تغییرات بدین صورت است که نیروی ایجاد شده در پد با افزایش سرعت قطار، افزایش می یابد و با افزایش میرایی خط این نیرو کاهش خواهد یافت. روند کاهش نیروی پد در میرایی های بالا از شدت بیشتری برخوردار است بطوری که در میرایی‌های بیشتر

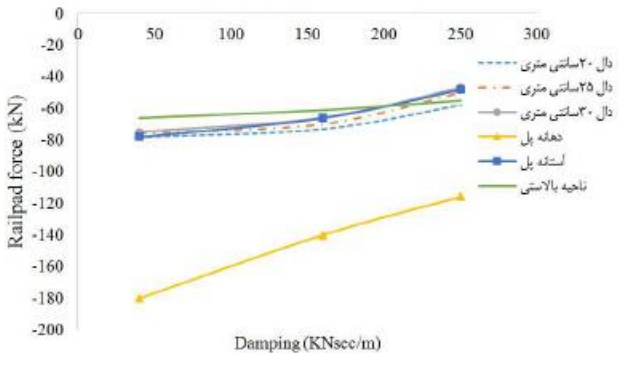
www.SID.ir

Archive of SID

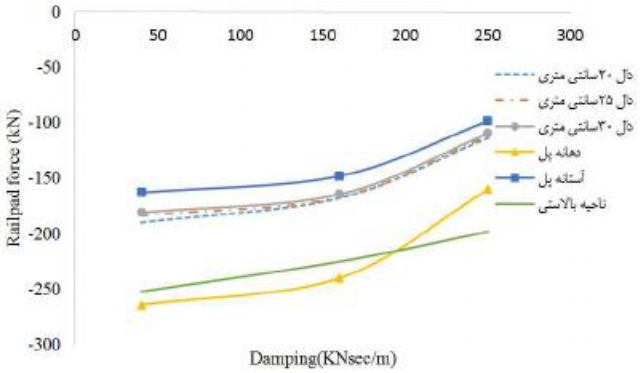
از KNsec/m ۲۰۰ کاهش نیروها کاملاً محسوس می باشد. روند تغییرات نیروها در مقاطع مختلف خط نسبتا مشابه می باشد و حتی میزان کاهش نیروی پد زیر ریل در اثر تغییرات میرایی تا ٤٥٪ نیز کاهش می یابد.



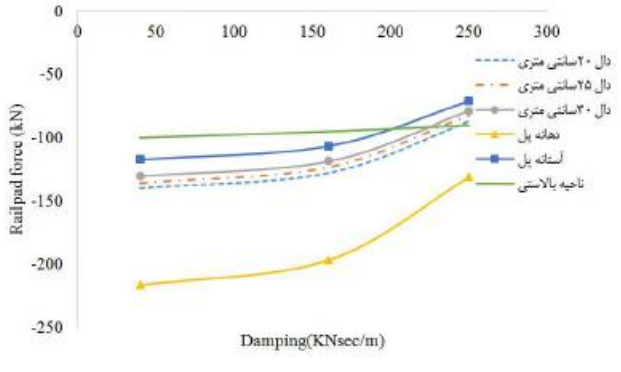
سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت



حالت استاتیک



سرعت ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت



سرعت ۲٤۰ کیلومتر بر ساعت

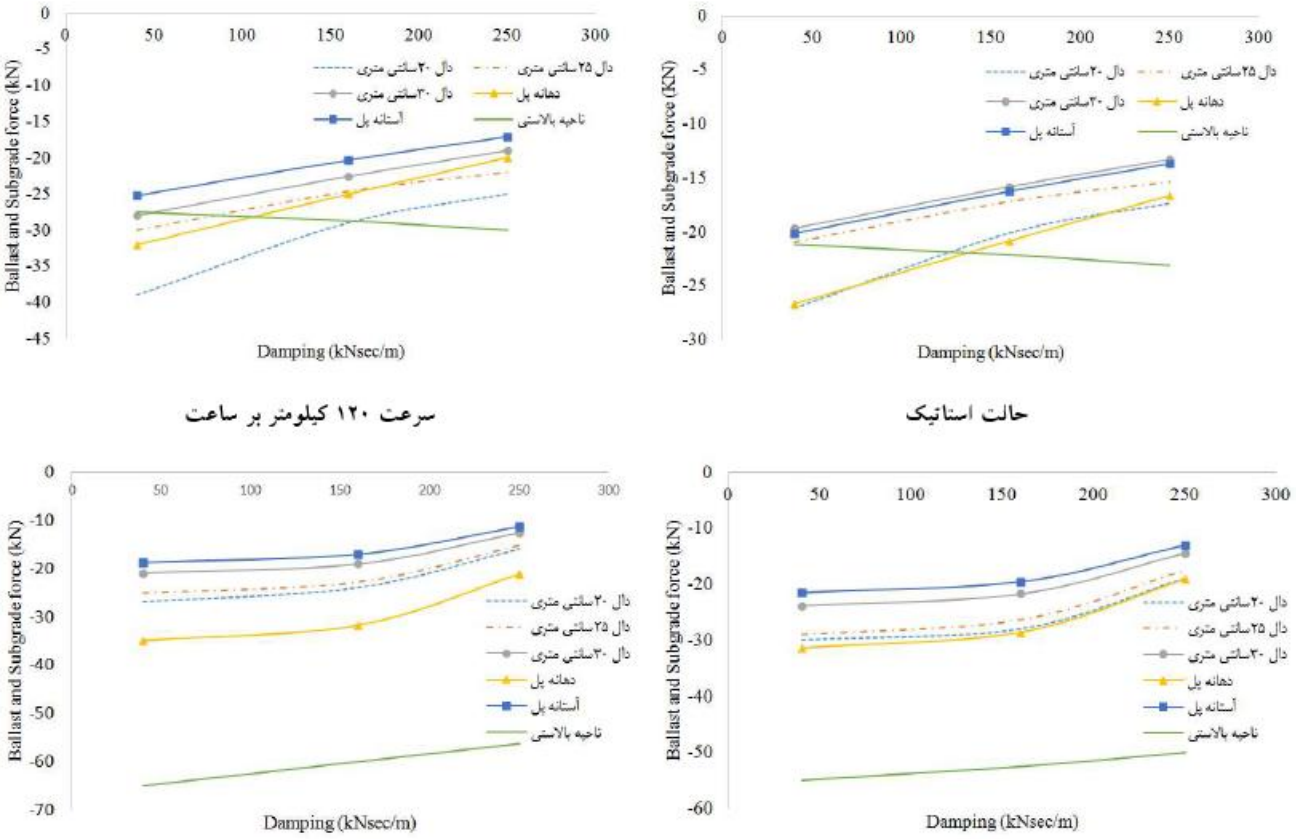
شکل ۱۱ : نمودار تغییرات حداکثر نیروی پد در مقایسه با تغییر میرایی خط و سرعت قطار.

در شکل ۱۲ نمودار تغییرات نیروی ایجاد شده در بالاست بر حسب تغییر سرعت و میرایی خط نمایش داده شده است. مطابق این نمودار در بخش هایی از خط شامل پل و یا پیش دال های بتنی، با افزایش سرعت قطار و میرایی خط، نیروی ایجاد شده در بالاست کاهش می یابد. در حالی که این موضوع برای بخش صرفاً بالاستی خط برعکس می باشد. مشاهده دقیق تر نمودار نشان می دهد که در پیش دال های با ضخامت کمتر نرخ تغییرات نیرو از شدت بیشتری برخوردار می باشد. دقت در نمودار مشخص می کند که هرچقد میرایی خط در ناحیه انتقال (خط قسمت دارای پیش دال) بیشتر باشد، تغییرات نیرو با نرخ یکنواخت تر و شیب ملایمتری تغییر می کند که بیانگر عملکرد بهتر ناحیه انتقال در صورت افزایش میرایی خط در این نقاط می باشد. ضمن آنکه بایستی توجه نمود که افزایش زیاد میرایی خط در قسمت بالاستی، اثرات نامطلوبی داشته و موجب افزایش نیروها می گردد.

مطابق این نمودار مشاهده می‌شود در پیش دال اول نیروهای وارد بر بالاست و بستر در میرایی‌های پایین حدود ٤۳ کیلو نیوتن است که این مقدار با افزایش میرایی تا ۲۵۰KNsec/m به مقدار ۲٤ کیلو نیوتن می رسد که این امر بیانگر کاهش حدود ٤٥ درصدی نیروها می باشد. این روند کاهش نیروها در سایر پیش دال‌ها نیز بصورت مشابه بوده و بطور متوسط مقدار نیروها با افزایش میرایی خط بیش از ۲۵ درصد کاهش می یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



حالت استاتیک

سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۲٤۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت

شکل۱۲: نمودار تغییرات حداکثر نیروی بالاست در مقایسه با تغییر میرایی خط و سرعت قطار.

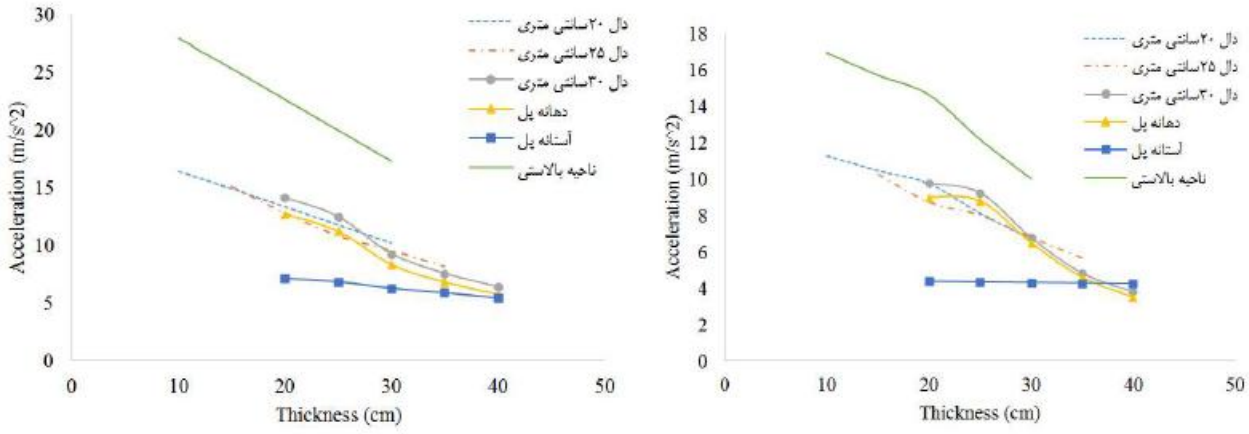
۳ ٤ بررسی تاثیر ضخامت پیش دال‌های بتنی بر رفتار ناحیه انتقال

در این بخش تاثیر تغییرات ضخامت پیش دال‌ها در رفتار ناحیه انتقال مجاور آبروهای خط بالاستی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ضخامت دال‌ها در دال اول از ۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر، در دال دوم از ۱۵ تا ۳۵ سانتی متر و در دال متصل به پل از ۲۰ تا ٤۰ سانتی متر تغییر یافته‌اند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش ضخامت پیش دال‌ها در بهبود رفتار خط در سرعت‌های بالا بالاخص در سرعت ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت تاثیر به سزایی دارد. این امر به این دلیل است که با افزایش ضخامت پیش دال‌ها شتاب وارده، نشست خط و نیروی پد زیر ریل کاهش می‌یابد و درنتیجه تفاوت مقادیر این پارامترها در محل اتصال دهانه پل و پیش دال سوم کمتر می‌گردد. نمودارهای ارائه شده در این بخش مربوط به بررسی اثرات تغییرات ضخامت پیش دال‌ها با فرض تغییر سرعت عبور قطار در محدوده ۱۲۰ تا ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت و سختی و میرایی خط به ترتیب برابر ۱۸۰ MN/m و ۱٦۰ KNsec/m می‌باشد که نتایج آن در ادامه تشریح می‌گردد.

در شکل ۱۳ نمودار تغییرات شتاب خط با تغییر ضخامت پیش دال‌ها و سرعت قطار ارائه گردیده است. مطابق این نمودار با افزایش ضخامت پیش دال ها، شتاب‌های وارد به خط کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سرعت قطارها، شتاب‌ها نیز افزایش می‌یابد و لذا استفاده از پیش دال‌های با ضخامت بیشتر در ناحیه انتقال موجب ایجاد تغییر یکنواخت تر شتاب‌ها و در نتیجه عملکرد بهتر ناحیه انتقال خواهد گردید.با افزایش ضخامت پیش دال ها،میزان شتاب‌های ایجاد شده در خط تا ۵۰٪ کاهش داشته اند که در بهبود رفتار خط به خصوص در سرعت‌های بالا موثر می‌باشد.

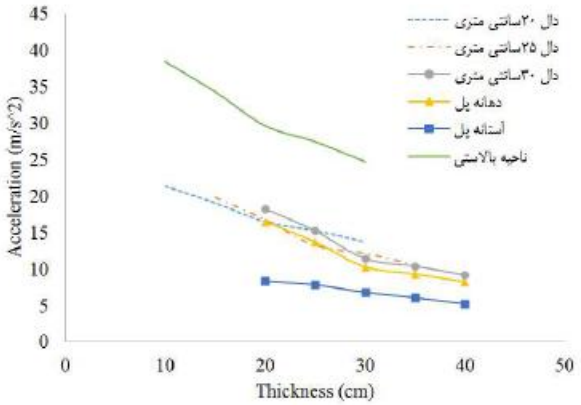
www.SID.ir

Archive of SID



سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۲۴۰ کیلومتر بر ساعت



سرعت ۳۴۰ کیلومتر بر ساعت

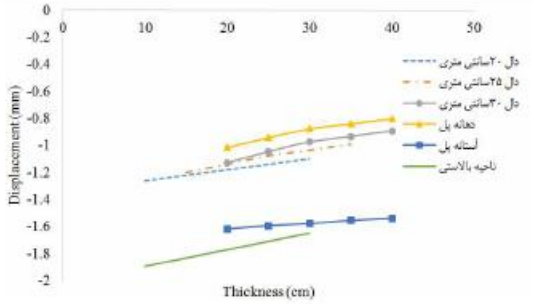
شکل۱۳ : نمودار تغییرات حداکثر شتاب خط در مقایسه با تغییر ضخامت پیش دال‌های بتنی و سرعت قطار.

از سویی مطابق شکل ۱۴ با افزایش ضخامت پیش دال، نشست خط در تمامی پیش دال‌ها کاهش می‌یابد. مطابق این نمودار با افزایش ضخامت پیش دال ها، نشست خط از پیش دال اول به سمت پیش دال دوم ۱۰ تا ۲۰ درصد، از پیش دال دوم به سمت پیش دال سوم ۱۵ تا ۳۰ درصد و از پیش دال سوم به سمت پل تا ۳۰٪ کاهش می یابد. این روند کاهش نشست‌ها موجب می گردد تا نشست های تفاضلی از خط بالاستی تا محل دهانه پل به تدریج کاهش یابد و در نتیجه با ایجاد این تغییر تدریجی رفتار خط در دراز مدت بهینه تر گردد.

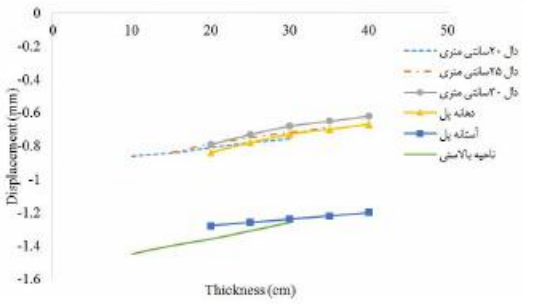
نمودار تغییرات نیروی ایجاد شده در پد زیر ریل و همچنین تغییرات نیروی ایجاد شده در بالاست و بستر در اثر افزایش ضخامت پیش دال‌ها به ترتیب در اشکال ۱۵ و ۱۶ نمایش داده شده است. همان طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌گردد نیروی ایجاد شده در پد زیر ریل در قسمت پیش دال‌ها با افزایش سرعت قطار، کاهش می یابد در حالی که این نیرو در صورت افزایش ضخامت پیش دال‌ها افزایش خواهد یافت. مطابق نمودار شکل ۱۶، با افزایش ضخامت پیش دال‌ها نیروهای وارد بر بالاست و بستر کاهش می‌یابد که این امر موجب کاهش خرابی‌های بالاست و در نتیجه بهبود رفتار خط در دراز مدت و در نتیجه کاهش هزینه‌های دوره بهره برداری خواهد گردید. بطور متوسط با افزایش ضخامت پیش دال ها، میزان نیروی های ایجاد شده در بالاست در کلیه پیش دال‌ها تا حدود ۵۰٪ کاهش می یابد.

www.SID.ir

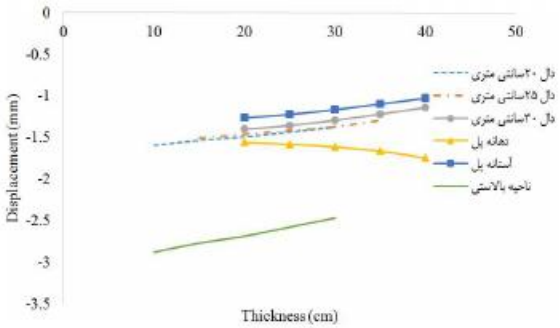
Archive of SID



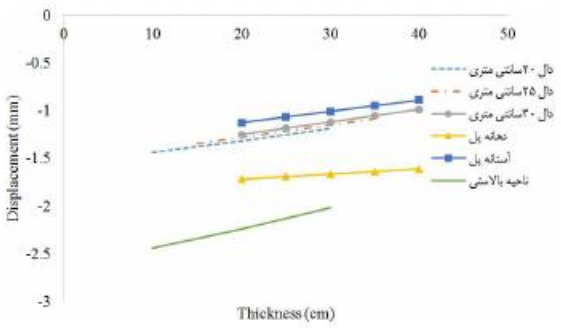
سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت



حالت استاتیک

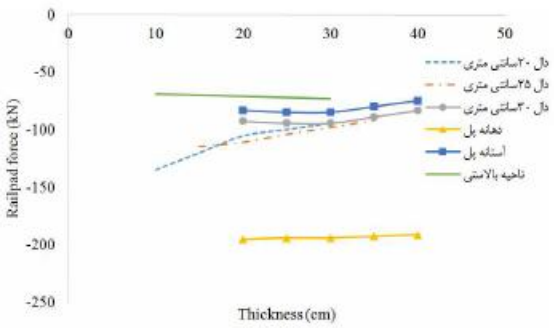


سرعت ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت

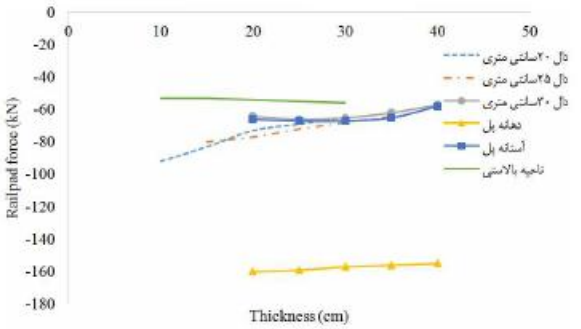


سرعت ۲٤۰ کیلومتر بر ساعت

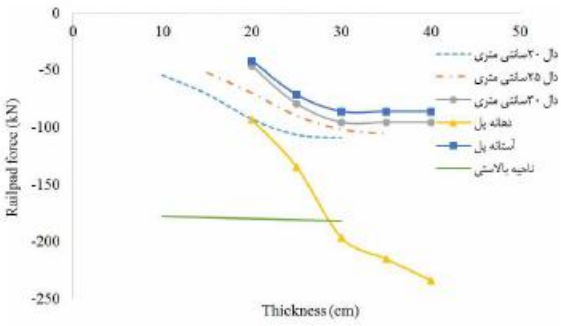
شکل۱٤ : نمودار تغییرات حداکثر تغییرمکان خط در مقایسه با تغییر ضخامت پیش دال‌های بتنی و سرعت قطار.



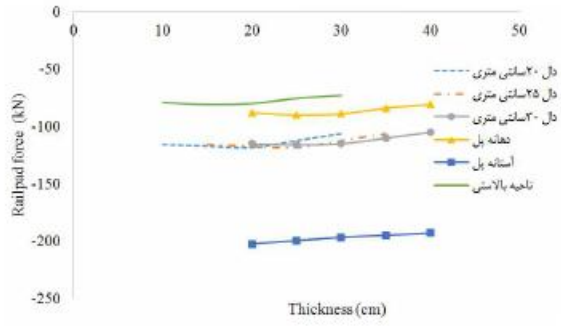
سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت



حالت استاتیک



سرعت ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت

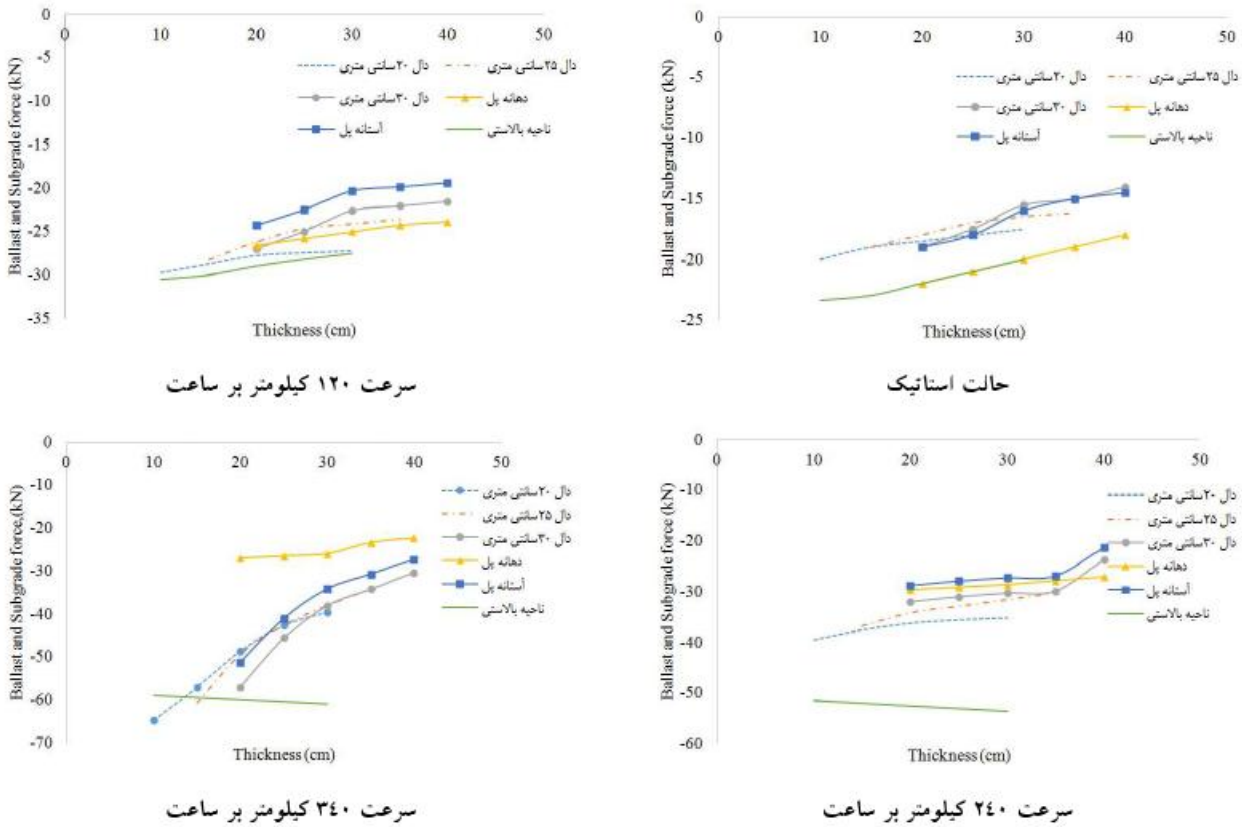


سرعت ۲٤۰ کیلومتر بر ساعت

شکل۱۵ : نمودار تغییرات حداکثر نیروی پد در مقایسه با تغییر ضخامت پیش دال‌های بتنی و سرعت قطار.

www.SID.ir

Archive of SID



حالت استاتیک

سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۲٤۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت

شکل۱٦ : نمودار تغییرات حداکثر نیروی بالاست در مقایسه با تغییر ضخامت پیش دال‌های بتنی و سرعت قطار.

٤- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله رفتار ناحیه انتقال با پیش دال‌های بتنی در مجاورت آبروهای خطوط بالاستی سریع السیر، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برای این منظور یک آبرو بتنی به طول ٦.٦ متر و ضخامت ۸۰ سانتی متر واقع در یک خط بالاستی به طول ۱۸ متر به همراه سه پیش دال (هر یک به طول ٦ متر) در نرم افزار اجزای محدود ABAQUS مدل سازی گردیده است. در این مدلسازی از المان تیر اویلر–برنولی جهت شبیه سازی ریل، دال‌ها و آبرو استفاده شده و سایر اجزای خط نظیر تراورس، پد زیر ریل، بالاست و بستر بصورت سیستم جرم–فنر–میراگر شبیه سازی گردیده‌اند. جهت مدلسازی بارهای متحرک دینامیکی از مشخصات قطار سریع السیر ICE3 با بار محوری ۱٦ تن استفاده شده است. به منظور بررسی رفتار دینامیکی ناحیه انتقال با پیش دال‌های بتنی در مجاورت آبروها، آنالیز حساسیت بر روی مدل مذکور صورت گرفت. در تحلیل حساسیت‌های صورت گرفته سرعت ناوگان در محدوده ۱۲۰ تا ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت، سختی پد زیر ریل در محدوده ٦۰ MN/m تا ۲٤۰MN/m و ضخامت دال‌ها در محدوده ۱۰ تا ٤۰ سانتیمتر (در دال اول از ۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر، در دال دوم از ۱۵ تا ۳۵ سانتی متر، در دال متصل به پل از ۲۰ تا ٤۰ سانتی متر) تغییر یافته‌اند. خلاصه نتایج بدست آمده از هر یک از تحلیل حساسیت‌های مذکور به صورت زیر می‌باشد:

- با افزایش سختی خط، نشست خط، شتاب وارده به خط و نیروی وارده بر بالاست و بستر در تمامی مقاطع شامل خط بالاستی، نواحی انتقال و آبرو کاهش می‌یابد اما با افزایش سختی خط، نیروی وارد بر پد زیر ریل افزایش خواهد یافت. مطابق نتایج بدست آمده، سختی

www.SID.ir

Archive of SID

خط در محدوده ۱۲۰ MN/m تا ۱۸۰MN/m بیشترین تاثیر را بر پارمترهای مذکور داشته و پس از سختی ۱۸۰MN/m نرخ تغییرات کاهش می‌یابد.

- با افزایش میرایی خط، نیروی ایجاد شده در پد، نیروی بالاست، شتاب‌ها و نشست‌های خط بویژه در قسمت خط با پیش دال‌های بتنی کاهش می‌یابد. تاثیر میرایی خط در مقادیر بالاتر از ۲۰۰ KNsec/m محسوس تر می‌باشد. در پیش دال‌های با ضخامت بیشتر، افزایش میرایی خط در کاهش شتاب ایجاد شده تاثیری بیشتری دارد که دلیل آن سخت تر بودن و میرایی کم دال‌های بتنی می‌باشد.
- با افزایش ضخامت پیش دال‌ها شتاب‌های وارد به خط، نشست خط در کلیه پیش دال‌ها و نیروهای وارد بر بالاست و بستر کاهش می‌یابد اما در مقابل نیروی ایجاد شده در پد زیر ریل افزایش خواهد یافت. نتایج نشان می‌دهد که افزایش ضخامت پیش دال‌ها تاثیر به سزایی در بهبود رفتار خط در سرعت‌های بالا بویژه در سرعت ۳٤۰ کیلومتر بر ساعت دارد.

مراجع

[1] Woodward, P.K. and Banimahd, M.; "*3-Dimentional finite element modeling of railway transitions*"; XiTRACK, Proceedings 9th International Conference on railway engineering London (2007).

[2] Kerr, A.D.; "*Fundamentals of Railway Track Engineering*"; Simmons-Boardman Books, Inc. (2003).

[3] Li, D. and Davis, D.; "*Transition for railroad bridge approach*"; Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 131 (2005) 1392-1398.

[4] Woodward, P.K., Boyd, P., Banimahd, M.; "*Reinforcement of tunnel railway track from floating to fixed geometry in a day*"; XiTRACK, Proceedings 9th International Conference on railway engineering London (2007).

[5] Woodward, P.K., Boyd, P., Banimahd, M. and Spiers J.; "*Reinforcement of KeadbyCanal drawbridge*", XiTRACK, Proceedings 9th International Conference on railway engineering London (2007).

[6] Holscher, P. , Meijers P.; "Literature *study of knowledge and experience of transition zones:*; Technical report, GeoDelft, (2007).

[7] Sasaoka, C. D., Davies D.; "*Implementing track transition solutions for heavy axle load service*"; AREMA (2005)..

[8] Hyslip, J. P., Li D., McDaniel C. R.; "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, CRC Press (2009) 1341–1348..

[9] AREMA; "*Portfolio of Trackwork Plans*"; American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, Plan NO. 913-52 (2005).

[10] Sussman, T. R. and Selig. E. T.; "*Track Component Contributions to Track Stiffness*"; E. T. Selig, Inc. Amherst, MA. (1998)

[11] Li, D., Rose, J., Lees, H. and Davis, D.; "*Hot-Mix Asphalt Trackbed Performance Evaluation at Alps, New Mexico*"; Association of American Railroads, Transportation Technology Center, In Technology Digest TD 01-015 (2001).

[12] Kerr, A. D. and Moroney, B. E.; "*Track Transition Problems and Remedies*"; In Bulletin 742, American Railway Engineering Association (1993) 267–298.

[13] Quade, P. B. and Douglas; "*TCRP Report 57: Track Design Handbook for Light Rail Transit*"; Transportation Research Board", National Research Council, Washington, DC (2000).

[14] Read, D. and Li, D.; "*Research results digest 79- Design of Track Transitions*"; Transportation Technology Center (TTCI), Inc (2006).

[15] Coelho, B.E., Priest, J., Hölscher, P. and Powrie, W.; "*Monitoring of transition zones in railways*"; In M. Forde (Ed.), Railway engineering Engineering Technics Press (2009).

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

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

[18] Zakeri J. Ali. and Ghorbani V.; "*Investigation on dynamic behavior of railway track in transition zone* "; Journal of Mechanical Science and Technology, 25, No. 2, (2011) 287-292.

[19] Coelho, B.E.; "*Dynamics of railway transition zones in soft soils*"; MSc. Thesis, Delft University of Technology (2010).

[20] Esmaeili M. and Heydari-Noghabi, H.; "*Investigating Seismic Behavior of Ballasted Railway Track in Earthquake Excitation Using Finite-Element Model in Three-DimensionalSpace*"; Journal of Transportation Engineering, Volume 139, Issue 7, (2013) 697–708.

[21] Insa, R., Salvador, P., Inarejos J. and Roda, A.; "Analysis of the influence of under sleeper pads on the railway vehicle/track dynamic interaction in transition zone"; Journal of Rail and Rapid Transit , Vol. 226, No.4, (2012) 409-420.

[22] Intercity-Express 3 (ICE 3), High Speed Trainset Velaro, Siemens Transportation Systems; "*http://www.siemens.com*".

www.SID.ir