ارزیابی سه بعدی رفتار خطوط ریلی به روش عددی در تحریک زلزله

مرتضی اسماعیلی، استادیار، دانشکدهٔ مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران حمیدرضا حیدری نوقابی*، دانشجوی کارشناسیارشد، دانشکدهٔ مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

> E-mail: heydari_hr@rail.iust.ac.ir دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۵ – یذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۰۳

شبکه حمل و نقل ریلی یکی از شریانهای حیاتی در حمل و نقل مسافری و باری هر کشور به حساب می آید. وقوع زلزله در منطقه محل احداث خط ریلی موجب خارج شدن هندسه خط از وضعیت استاندارد می شود که با توجه به حساسیت سیر ایمن قطار روی خطی دارای هندسه استاندارد، در عمل بعد از وقوع زلزله بهرهبرداری از خط امکانپذیر نخواهـد بود. با توجه به این مسئله لزوم ارزیابی لرزهای خطوط ریلی ضروری به نظر می رسد. در این مطالعه برای انجام تحلیل الرزهای ابتدا مدلی سه بعدی از خط، توسعه داده شده است. در این مدل اجزای محدود، ریلها و تراورسها با استفاده از المانهای تیر خمشی به عنوان روسازه خط و بالاست و زیربالاست با استفاده از المانهای جرم-فنـر -میراگـر به عنوان زیرسازه خط، مدل سازی گردیده و اثر مقاومتهای خط در راستای طولی و جانبی نیـز در نظـر گرفتـه شده است. در مرحله بعد به دلیل حساس بودن نتایج تحلیل لرزهای بـه طـول مـدل خط، سعی شـده است طـولی از خط کـه در آن مرحله بعد به دلیل حساس بودن نتایج تحلیل لرزهای بـه طـول مـدل خط، سعی شـده است طـولی از خط کـه در آن برانی ترین شرایط سازه ای و بهرهبرداری برای خط ایجاد می کردد، تعیین شود. برای این منظور تغییر شکلهای حداکنز بعرانی رین شرایط سازه ای و بهرهبرداری برای خط ایجاد می کردد، تعیین شود. برای این منظور تغییر شکلهای حداکنز برانی رین شرایط سازه ای و بهرهبرداری برای خط ایجاد می کردد، تعیین شود. برای این منظور تغییر شکلهای حداکنز بعرانی این زلزله روی خطوط با سختی مختلف مورد بررسی قراز گرفته است. نتایج تحلیل لرزهای برای زلزله کوب در براین مخته ایمان شده بر خط، نشان می دهد که حداقل طول موثر از تحریکات لرزهای خرای برای زلزله کوب در در اجزای دفته شود و سخت شدن خط موجب کاهش تغییر شکلهای ناشی از زلزله می گردد. اما در نیروهای ایجاد شده

واژههای کلیدی: تحلیل لرزهای، خطوط ریلی، مقاومتهای طولی و جانبی خط، مدلهای تحلیل دینامیکی خط

۱– مقدمه

چکیدہ

شبکه حمل و نقل هر کشور از جمله زیرساختهای حیاتی آن میباشد که باید وظیفه خود را که برقراری دسترسی سریع، ایمن، ارزان، راحت و متناسب با حجم و نوع ترافیک (باری و مسافری) است، به بهترین شکل ممکن ایفا کند. از جمله ویژگیهای یک شبکه حمل و نقل مفید و کارا آن است که در مواجهه با حوادث طبیعی و غیرطبیعی مختل نشود و حتی در صورت لزوم، برای امدادرسانی و دسترسی سریع و ایمن به محل حادثه، قابل استفاده باشد. از جمله مهمترین شریانهای حیاتی در یک سیستم

حمل و نقل کارا، شبکههای ریلی و خطوط راه آهن هستند. با توجه به ویژگیهای منحصر به فرد شبکه راه آهن در حمل و نقل بار و مسافر، گسترش شبکههای ریلی و استفاده از آنها روز به روز در حال افزایش میباشد، بهطوری که امروزه مختل شدن سرویسدهی خطوط ریلی حتی برای مدت زمانی کوتاه، موجب وارد آمدن هزینههای اقتصادی و اجتماعی فراوانی بهخصوص در بخش حمل و نقل باری میشود. با توجه به این که سیر ایمن قطار روی خطوط ریلی به تغییرات پارامترهای هندسی خط از جمله

* نویسنده مسئول

عرض خط، تراز افقی و قائم خط و... بسیار حساس میباشد، محافظت از سازههای ریلی بهطوریکه کارایی خود را بعد از وقوع حوادث، بهویژه حوادثی نظیر زلزله، سیل، طوفان و... حفظ کند، بسیار حائز اهمیت است.

تجربیات گذشته نشان میدهد که شبکه ریلی بعد از وقوع زلزله عملاً کارایی خود را از دست داده است و بهرهبرداری از آنها با مشکل روبهرو می گردد. بهطوریکه بعد از وقوع زلزلههای با شدت بالا مشاهده شده است، شبكه ريلي بهدليل انجام عمليات بهسازی و تعمیر خط تا مدتها بعد از وقوع حادثه نیـز مسـدود بوده است. بهعنوان مثال در اثر وقوع زلزله تانگ شان چین با شدت ۷/٦ ریشتر در سال ۱۹۷۶ که منجر به کشته شدن بیش از ۲۵۰۰۰۰ نفر گردید، شبکه راه آهن این منطقه بهطور کامل مختل شد. چهار خط اصلی راه آهن چین و بیش از ۱۰۰ خط فرعی که از این ناحیه عبور میکردند، دچار آسیبهای جدی شدند. تنها در خطوط بیجینگ- شانگهای و تانگژیان- توزیتـو بـیش از ٦٣ کیلومتر از خط دچار آسیب جدی شد. در اثر وقوع ایـن زلزلـه ۷ قطار باری و ۲ قطار مسافربری از خط خارج شدند و ریا ها در بسیاری از نقاط دچار خمیدگی و اعوجاج و تغییر مکان،ای بیش از حد شدند. بیشتر پل،ها آسیب دیدند و پایههای آنها دچار تغییر شکلهای زیاد و گاه شکستگی شدند. خاکریز و بستر خط در بسیاری از نقاط آسیب دید، بهطوری که برای بازسازی خط بـیش از ۱۰۰۰۰ متر مکعب بالاست جایگزین شد (Housner and) Xie Lili, 2002).

در زلزله دیگری که در اکتبر ۲۰۰٤ در نیگاتای ژاپن به بزرگی ۸/۲ ریشتر رخ داد، بیشترین خرابی ها و خسارات به راه آهن شرق ژاپن^۲ از ابتدای زمان تأسیس آن وارد آمد. در اثر این زلزله بود که اولین خروج از خط برای قطارهای خطوط شینکانسن اتفاق افتاد. همچنین این زلزله موجب آسیب دیدن پنج خط^۳ از خطوط راه آهن بالاستی نیز شد. این زلزله بر خطوط ریلی ژاپن هزینه ای بالغ بر ۲۰/۳ میلیارد ین وارد کرد که این هزینه ها از یک طرف ناشی از هزینه های بازسازی خرابی های ایجاد شده در طرف ناشی از هزینه های بازسازی خرابی های ایجاد شده در و از سوی دیگر به علت زیان هایی بود که در اثر عدم امکان بهره برداری و مسدود بودن خط و جایگزینی سیستم های دیگر مانند اتوبوس های برقی در مدت مسدودی بر شرکت دره آزها مین شرق ژاپن وارد شد کرانه عظیم هانشین ³نیز که راه آهن شرق ژاپن وارد شد کوبه یا زلزله عظیم هانشین ³نیز که

پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱

در سال ۱۹۹۵ با بزرگی ۲/۸ در مقیاس ریشتر در کوبه ژاپن رخ داد و باعث مرگ حدود ۲۵۰ نفر و خسارتی معادل بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار شد. بیشتر خطوط راه آهن این ناحیه تخریب گردیـد بهطوری که تنها ۳۰ درصد از خط راه آهـن کوبـه-اساکا[°] قابـل بهـرهبـرداری بـود. وقـوع زلزلـه همچنـین موجـب خـروج از خط قطار در ایستگاه سامییوشی واقع در خط اصلی هان شین و خرابـی کلـی حـداقل ۵۰۰ متـر از خـط بـین ایسـتگاههـای شوکوگاوا و نیشینومیا و کیتاگوچی واقع در خط اصلی هـانکـو شد (Bardet et al., 1995).

به لحاظ لرزه خیزی، ایران روی کمربند زلزله آسیا- اروپا قرار گرفته و جزء نقاط با خطر لرزه خیزی زیاد به شمار می رود و از نظر شبکه ریلی دارای ۹۷٤٦ کیلومتر خط بین شهری موجود و ۱۲۳۸۵ در حال احداث و یا در دست مطالعه می باشد. با توجه به رشد چمشگیر استفاده از خطوط ریلی به عنوان یک شریان مواصلاتی ایمن، راحت و ارزان و با توجه به این که اکثر این خطوط از نظر لرزه خیزی روی پهنه لرزه خیزی با خط نسبی زیاد قرار دارند، باید اقدامات لازم برای مقاوم سازی شبکه ریلی در مقابل خطر زلزله صورت گیرد تا با وقوع زلزله، شبکه مختل نشده و حتی به عنوان یک وسیله دسترسی سریع برای امدادرسانی به مناطق آسیب دیده بتوان از آن استفاده کرد.

- بهطور کلی در اثر وقوع زلزله چهار دسته از سازههای ریلی تحت تأثیر قرار می گیرند که عبارتند از:
- ساختمانهای موجود در شبکه راه آهن نظیر پایانههای انتظار مسافران، ایستگاهها، ساختمانهای اداری و ...؛
 - پل،های راه آهن؛
 - تونلھا؛

- سازه خط شامل روسازه و زیر سازه. برای داشتن یک شبکه حمل و نقل ریلی کارا، نه تنها لازم است این سازهها در اثر وقوع زلزله بهلحاظ سازهای آسیب جدی نبینند بلکه میبایست بهلحاظ بهرهبرداری نیز قابل استفاده بوده و جواب گوی نیازهای شبکه باشد. در مورد تأثیر زلزله روی سازههای سه دسته نخست، کارهای بسیاری جهت افزایش مقاوم سازی لرزهای آنها صورت گرفته است اما در مورد سازه نظ مطالعات بسیار اندک بوده و میتوان گفت در عمل اقدام خاصی برای بررسی اثر زلزله بر سازه خط صورت نگرفته است. (Sekine and Ishikawa, ۲۰۰۵ با ساخت چند میزلرزه اثر تحریکات زلزله (2005، بهطور تجربی با ساخت چند میزلرزه اثر تحریکات زلزله

را در خطوط بالاستی مورد بررسی قرار دادند. آنها تغییر شکل های ایجاد شده در خط را با تغییر مشخصات دانه های بالاست ارزیابی کردنـد. فومیکا و همکاران (Fumiaki and Kimiro, 2005) تحریکات لرزهای را روی پلهای بالاستی خطوط ریلی مطالعه کردند.

در سال ۲۰۰۷ ژیانگ و همکاران (Jiang et al., 2007) اثر وقوع زلزله در یک خاکریز از راه آهان سریعالسیر بیجینگ-شانگهای^۲ که روی یک بستر سیلتی اشباع قرار گرفته بود را بهوسیله مدلسازی ارتعاش زلزله با یک موج سینوسی به کمک آزمایش میزلرزه و ساختن یک مدل ۱:۱۰ از خط، مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی، آنها اثر استفاده از شمعهای شامل شن متراکم و شمعهای شامل شن همراه با خاکستر بادی و سیمان را در کاهش وقوع روانگرایی و کاهش تغییر مکانهای برشی و نشستهای بستر مطالعه کردند.

در سال ۲۰۱۰ ناکامورا و همکاران (Nakamura et al., 2010)، عملکرد لرزهای خطوط بالاستی را با ساختن یک مدل تمام مقیاس و انجام آزمایش میزلرزه بررسی کردند. برای این منظ ور مقاومت جانبی خط در مقابل زلزله با در نظر گرفتن حالتهای مختلفی از خط مورد بررسی قرار گرفت. افزایش سطح تماس اصطکاک بالاست و بستر، استفاده از موانع ایجاد حرکت جانبی در انتهای شانه خط و استفاده از صفحات گیردار در بالاست در دو سر انتهایی تراورسها، راهکارهایی بودند که برای افزایش مقاومت جانبی خط در برابر زلزله مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

در ارزیابی لرزهای دیگری نیز که در سال ۲۰۱۰ روی خطوط بالاستی با استفاده از میزلرزه توسط کوماکورا و همکاران (Kumakura et al., 2010) انجام گرفت سعی شد میزان مقاومت جانبی و رفتار بالاست در شتابها و فرکانسهای ارتعاشی مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

کارهای اندکی که تاکنون صورت گرفته است بیشتر با استفاده از آزمایش میزلرزه و در یک طول محدود از خط انجام شده است و تاکنون هیچ گونه کار تحلیلی مشخصی روی اثر زلزله در خطوط ریلی صورت نگرفته است و از سوی دیگر عملکرد سازهای و بهرهبرداری اجزای خط شامل ریلها، تراورسها و بالاست و بستر بهطور مشخص مورد بررسی قرار نگرفتهاند. در حالی که میدانیم زلزله نه تنها بهصورت عرضی بلکه بهصورت طولی بر خط وارد می شود و مشاهدات اثر زلزلههای واقعی بر خط بیانگر

ایجاد تغییر شکلهای طولی و جانبی در خط میباشد که امکان بهرهبرداری از خط پس از وقوع زلزله را با مشکل همراه میسازد و از سوی دیگر حتی بهلحاظ سازهای اجزای خط بهخصوص ریل ها کارایی خود را از دست داده و گاه دچار شکستگی شدهاند. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع، انجام مطالعات در این زمینه بیش از پیش احساس میشود.

از این رو در این مقاله ابتدا سعی بر این بوده تا مدلی سه بعدی از خط را که بتواند ویژگیهای مقاومت طولی و جانبی خطوط بالاستی در مقابل زلزله را دارا باشد، ارایه گردد. برای این منظـور مدل سه بعدی با در نظر گرفتن المان های ریل و تراورس بـ مصورت المان تير، فرض كردن بالاست و زير بالاست بهصورت توده جرمهایی که مشخصات آنها با استفاده از روش هرمی (Zhai et al., 2004) مشخص می شود و فرض کردن صفحه لاستیکی زیر ریل و بستر بهصورت مجموعهای از فنرها و میراگرها مدل شد. برای وارد کردن مقاومتهای طولی و جانبی خط، بین بلوکهای بالاست و زیر بالاست در جهات طولی و عرضي و نيز بين تراورسها در جهـت طـولي و همچنـين در دو سمت انتهایی تراورس ها در جهت عرضی خط، از المان های شامل فنر و میراگر که بیانگر این مقاومتها باشند، استفاده شد. در مرحله بعدى با توجه به تأثير طول خط در نيروها و تغییر شکل های ایجاد شده بر خط در اثر زلزله، سعی شد با اعمال زلزله کوبه بر خط و تغییر طول خط، طولی را که در آن در اثـر اعمال زلزله بیشترین مقادیر نیرو و تغییر شکل در اجـزای خـط ایجاد می گردد، مشخص شود. مشاهده شد که برای زلزله کوبه در یک طول حدود ٤٠ متری از خط، بیشترین نیروها و تغییر شکلها در خط ایجاد می گردد و در انتها روی خطوط با سـختی مختلـف خط تحليل حساسيت انجام شد تا مشخص شود مقادير نيروهـا و تغییر شکل های حداکثر ایجاد شده در خط با تغییر سطح سختی خط چه تغییری میکند. نتایج بیانگر این موضوع بود که با افزایش صلبیت خط در اثـر اعمـال زلزلـه، مقـادیر نیروهـا و تغییرشکل کاهش مییابد اما در نیروهای ایجاد شده در اجزای خط تغيير محسوسي ايجاد نميشود.

۲- پیشنهاد مدل تحلیل مناسب تحلیل لرزهای

برای تحلیل دینامیکی خط آهن مدل های بسیاری پیشنهاد شده است که از آن جمله می توان به مدل تودههای بررسی حرکت دینامیکی قطار در شرایط مختلف مناسب می باشد و برای تحلیل لرزهای نمی توان از این مدل ها استفاده کرد. از آنجایی که در اثر حرکت قطار به طور غالب ار تعاشات قائم بر خط وارد می شود و به خصوص در خطوط مستقیم ارتعاشات طولی و جانبی محسوسی به وجود نمی آید، می توان از ارتعاشات طولی و جانبی صرفنظر کرد و مقاومت های طولی و جانبی خط را در محاسبات وارد نکرد. اما در اثر اعمال زلزله، ارتعاشات عرضی و طولی نیز در خط به وجود می آید که بایستی مدل تحلیل لرزه ای جواب گوی این نقص مدل های موجود باشد. برای رفع این نقص مدلی سه بعدی با در نظر گرفتن مقاومت های طولی و عرضی به صورت شکل ۱ پیشنهاد شده است. جرمی (Ahlbeck et al., 1978)، مدل تیر روی بستر ارتجاعی و (Frderick and Newton, 1977)، (Jenkins et al., 1974) (Frderick and Newton, 1977)، (Jenkins et al., 1974) (Frderick and Newton, گسسته با توده جرمهای بالاست (1977)، مدل تیر روی تکیهگاه گسسته با توده جرمهای بالاست (1977)، مدل تیر روی تکیهگاه گسسته با توده جرمهای بالاست طولی برای مدلسازی ریل و تراورس (Sato et al., 1988))، مدل تیر روی تکیهگاه های گسسته روی نیم فضای الاستیک مدل تیر روی تکیهگاه های گسسته روی نیم فضای الاستیک تکیهگاه های گسسته با در نظر گرفتن قفل و بستهای بین دانه ای در راستای قائم (Sun and Dhanasekar, 2002) اشاره کرد که در جدول ۱ به طور خلاصه آورده شده اند. همان طور که مشخص است مدلهای تحلیل دینامیکی یاد شده در جدول ۱ همگی برای



شکل ۱. مدل پیشنهادی سه بعدی مناسب برای انجام تحلیل لرزهای خطوط ریلی: الف) نمای طولی، ب) نمای عرضی، ج) نمای سه بعدی

1 ...

مدل تودههای جرمی (Ahlbeck, Meacham and Prause, 1986)							
در این مدل خط بهصورت ساده به عنوان جرمی که روی فنری که سختی کلی خـط را نشـان میدهد، مدلسازی شده است. این مدل تنها میتواند رفتار خط را در فرکـانس.هـای پـایین بیـان کند و برای شبیهسازی ریل و چرخ با فرکانس بالا مناسب نیست.							
مدل تیر روی بستر ارتجاعی (Frderick and Newton, 1977), (Jenkins et al., 1974), (Frderick and Newton, 1977)							
در این مدل ریل توسط یک تیر بینهایت اویلر–برنولی (یا تیموشنکو) روی یک بستر الاسـتیک پیوسته شبیهسازی و تحلیل میگردد. جرم تراورس بهصورت یکنواخت پخش و بـه جـرم ریـل اضافه شده است تا جرم تیر را ایجاد کند و بالاست نیز بهعنوان یک بستر الاستیک با فنـر و تیـر نشان داده شده است تا خاصت ارتجاعی و میراگری آن بیان شود.							
تکبهگاههای گسسته (Fredrick and Newton, 1977)	مدل تبر روی						
د این مدل، ریل بهعنوان یک تیر ساده عمل میکند و روی تراورس با تکیه گاه مجزا بـا پـدهای							
میانی قرار گرفته است، به این ترتیب این مدل نسبت به مدل تیر روی تکیهگاههای پیوسته مـدلی واقعی تر برای بررسی رفتار خط آهن تحت اثر بار دینـامیکی خواهـد بـود و بـرای بررسـی اثـر وجود کاریوگشن ریل با موج کوتاه در پاسخ خط نیز قابل استفاده است.							
مدل تیر روی تکیهگاه گسسته با توده جرمهای بالاست (و زیربالاست) (Sato et al., 1988)							
این مدل سیستم خط شامل سه لایه از اجرام و سه لایه فنر و میراگر است که هر لایه بــا اســتفاده از فنر و میراگرهایی که نشاندهنده خاصیت ارتجاعی و میراگری ریل پد، بالاست و بستر هستند به یکدیگر متصل شدهاند. این مدل برای شبیهسازی ارتعاشی خط در سرعتها و فرکـانسهـای بالا پیشنهاد گردید.							
استفاده از دو المان تیر طولی برای مدلسازی ریل و تراورس (Grassie et al., 1982)							
در این مدل تراورس شبیه ریل بهصورت یک المان تیری مدل می شود کـه مـی تـوان آن را تیـر تیموشینکو یا برنولی فرض کرد و پد و بالاست بهصورت لایههای پیوسته با خاصیت الاستیک با میرایی در نظر گرفته می شوند.	در این مدل تراورس شبیه ریل به تیموشینکو یا برنولی فرض کرد و میرایی در نظر گرفته می شوند.						
سته روى نيم فضاى الاستيک (Vostroukhov and Metrikinie, 2003)	مدل تیر روی تکیهگاههای گس						
در این مدل ریل بهصورت تیری روی تکیهگاههای گسسته (تراورس و پـد) قـرار مـیگیرنـد و بالاست و بستر بهصورت لایه الاستیک در نظر گرفتـه شـده و معـادلات حـاکم بـر فضـای نـیم الاستیک برای اَنها نوشته میشود. از این مدل میتوان برای تحلیل دینامیکی خطوط سـریعالسـیر راه آهن استفاده کرد.							
رگرفتن قفل و بستهای بین دانه ای در راستای قائم (Sun and Dhanasekar, 2002)	مدل تیر روی تکیهگاههای گسسته با در نظرگرفتن قفل و بستهای بین دانهای در راستای قائم(Sun and Dhanasekar, 2002)						
در این مدل برای در نظر گرفتن قفل و بستهای بین دانههای توده جـرمهـای بالاسـت مجـاور هم، بین بلوکهای بالاست المانهای شامل سـختی و میرایـی در راسـتای قـائم، در نظـر گرفتـه میشود که برای بررسی ارتعاشات قائم خط و واگن میتوان از این مدل استفاده کرد.							

جدول ۱. مدل،های تحلیل دینامیکی خطوط ریلی

در این مدل سعی شده است از آنجایی که زلزله در راستای طولی و عرضی خط موجب ارتعاش خط می شود، مقاومت های طولی و عرضی خط بهنحو مناسبی در مدل وارد گردد. مقاومت طولی خط بیشتر تحت تأثیر سختی محوری ریل، گیرداری پابند و ریل، سختی بالاست ناحیه آخوری (بالاست بین تراورس ها) و اندرکنش بین دانه های بالاست و زیر بالاست موجود در زیر تراورس و نیز اصطکاک آنها با تراورس و بستر می باشد. برای در نظر گرفتن این اثرات، بین تراورس ها و نیز بین بلوک های بالاست و زیر بالاست مجاور هم در راستای طولی از المان های سختی و میرایی استفاده شده است تا در مجموع بیانگر مقاومت طولی خط باشد.

از سوی دیگر مقاومت جانبی خط ناشی از مقاومت بالاست ناحیه شانه، مقاومت بالاست ناحیه آخوری (فضای بین تراورس ها)، اصطکاک دانه های بالاست با تراورس، اصطکاک دانه های زیر بالاست با بستر، گیرداری پابند و ریل و اندرکنش بین دانه های بالاست و زیر بالاست می باشد. جزییات قرار گرفتن این مقاومت ها در شکل ۱ آمده است.

جرییات قرار لونس ایس معاومت می از شمیل ۱ استان است. همان طور که از این شکل پیداست، بین بلوکهای بالاست چپ و راست و نیز بین بلوکهای زیربالاست چپ و راست در راستای طولی و عرضی، بین تراورسها در جهت طولی، در دو سر انتهایی تراورسها در جهت عرضی و همچنین در محل پابندها در جهت عرضی، فنر و میراگرهایی که بیانگر مقاومتهای طولی و جانبی هر یک از بخشها می باشد، اعمال شده است.

و ۲ . یی روید و . س ی ی بعد می ی ی ی محدود سه بعدی، ریل ها یادآوری می شود که در این مدل اجزای محدود سه بعدی، ریل ها و تراورس ها با استفاده از المان های تیر خمشی به عنوان روسازه، و لایه های بلاست و زیربالاست به صورت مجموعه ای از توده های جرم – فنر – میراگر به عنوان زیرسازه مدل شده اند و شرایط مرزی مسئله به همان صورتی که در شکل ۱ نشان داده شده است و با فرض گیرداری ریل ها در دو سمت انتهایی در نظر گرفته شده است.

بنابراین، با استفاده از مدل ارایه شده امکان تحلیل لـرزهای در دو مرحله طراحی و بهرهبرداری امکانپذیر خواهد بـود کـه اهمیـت این موضوع بهطور مشروح در ادامه تبیین شده است:

 از جمله مسایل مطرح در روند طراحی روسازی خطوط ریلی بررسی ملاحظات لرزهای منطبق با شرایط منطقه طرح میباشد. سؤال اصلی در این بخش از مطالعات طراحی آن است که آیا اجزای روسازی اعم از ریل، تراورس و ادوات

اتصال توانایی تحمل بارهای لرزهای را خواهند داشت یا خیر؟ نکته دیگر تغییر شکلهای ایجاد شده در خط پس از اعمال زلزله می باشد. از آنجا که هندسه تغییر یافته خط بر بهره برداری اثر مستقیم خواهد داشت، مسئله دیگر آن است که این هندسه امکان بهره برداری ایمن به دور از مسایلی همچون واژگونی و خروج از خط را فراهم خواهد کرد یا خیر؟ بنابراین، در مجموع می توان گفت استفاده از چنین مدلی می تواند پاسخ به دو سؤال اساسی یاد شده را فراهم آورد.

 در خصوص یک خط موجود در حال بهرهبرداری با توجه به تغییر هندسه و مشخصات مکانیکی خط در روند عبور ترافیک، دوباره دو سؤال اصلی مطرح شده در بند یک قابل تکرار خواهند بود. ولی تفاوت در حالت جدید تغییر در شرایط اولیه مدل، اعم از هندسه و مشخصات مکانیکی اجزا می باشد. بنابراین، دوباره وجود مدلی تحلیلی برای ارزیابی لرزهای خط در این شرایط الزامی خواهد بود.

۳- تعیین مشخصات مکانیکی اجزای خط

با توجه به نقش و تأثیر هر یک از اجزای خط بالاستی بـر رفتـار لرزهای آن، در این قسـمت روش انتخـاب پارامترهـای مکـانیکی مناسب برای هر یک از این اجزا بیان میشود.

۳–۱– روش هرمی بـرای تعیـین مشخصـات بالاسـت و زیربالاست

برای انجام تحلیل لرزهای مدل پیشنهادی لازم است پارامترهای جرم، سختی و میرایی اجزای خط مشخص شود. برای تعیین مشخصات بالاست، زیربالاست و بستر می توان از مدل هرمی استفاده کرد. مدل هرمی از جمله مدل هایی است که برای توزیع بار در بالاست زیر تراورس توسط آلبک و همکاران (Ahlbeck et al., 1978) پیشنهاد شده است. ژای و همکاران (Ahlbeck et al., 2004) پیشنهاد شده است. مشخصات ارتعاشی بالاست استفاده نمودند. آنها فرض کردند جرم مؤثر ارتعاشی بالاست، جرم بالاست ناحیه هرمی است که مطابق شکل ۲- الف و شکل ۲- ب در زیر تراورس در نظر تراورس ها و زاویه توزیع تنش در بالاست چقدر باشد، بلوکهای بالاست مجاور هم می توانند با یکدیگر همپوشانی داشته باشند و

پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱

یا اینکه فاقد همپوشانی باشند. با توجه به مشخصات هندسی خطوط بالاستی در اکثر خطوط بین بلوکهای بالاست، همپوشانی رخ میدهد. بنابراین، از روابطی که در ادامه بیان میشود برای محاسبه مشخصات ارتعاشی بالاست و بستر استفاده شده است (Zhai et al., 2004).

جرم مؤثر بالاست را میتوان بهصورت ناحیه هاشور خورده در شکل۲- ج نشان داد. بنابراین، عمق ناحیه همپوشانی دو مخروط از رابطه ۱ قابل محاسبه میباشد:

$$h_0 = h_b - \frac{l_s - l_b}{2\tan\alpha} \tag{1}$$

که در رابطه فوق، l_s فاصله بین تراورس ها، l_b عرض تراورس، α مناحیه همپوشانی و α زاویه توزیع تنش در بالاست است. بنابراین، جرم ارتعاشی بالاست از رابطه زیر به دست خواهد آمد: $M_b = \rho_b \begin{bmatrix} l_b h_b (l_e + h_b \tan \alpha) + l_e (h_b^2 - h_0^2) \tan \alpha \\ + \frac{4}{3} (h_b^3 - h_0^3) \tan^2 \alpha \end{bmatrix}$ (۲)

در این رابطه ρ_b چگالی سنگدانههای بالاست، h_b ضخامت لایه بالاست، h_b عمق ناحیه همپوشانی، l_e طول مؤثر ناحیه تکیهگاهی نصف تراورس، l_b عرض تراورس، α زاویه توزیع تنش در بالاست و M_b جرم مؤثر ارتعاشی بالاست میباشد. سختی بالاست نیز از ترکیب سری سختیهای دو ناحیه به صورت رابطه ۳ به دست می آید:

$$\begin{cases} K_{b1} = \frac{2(l_e - l_b)\tan\alpha}{\ln\left[\frac{l_e l_s}{\ln(l_b(l_e + l_s - l_b))}\right]} E_b \\ K_{b2} = \frac{l_s(l_s - l_b + 2l_e + 2h_b\tan\alpha)\tan\alpha}{l_b - l_s + 2h_b\tan\alpha} E_b \end{cases}$$
(7)
$$\Rightarrow K_b = \frac{K_{b1}K_{b2}}{K_{b1} + K_{b2}}$$

$$K_f = l_s (l_e + 2h_b \tan \alpha) E_f$$
^(E)

$$E_{f}$$
 مدول الاستیسیته بالاست می باشد، E_{b} E_{f} مدول الاستیسیته بالاست می باشد، K_{30} مدول بستر زمین است که مقدار آن را می توان از روی K_{30} یا مدول بستر به دست آمده از آزمایش بارگذاری صفحه (روی صفحهای دایرهای به قطر ۳۰ سانتی متر) به دست آورد و K_{b} و مفحهای دایر بسختی معادل بلوک بالاست و بستر هستند.

برای انجام تحلیل لرزهای مدل پیشنهادی، لازم است مقادیری منطقی برای یارامترهای سختی، جرم و میرایی اجزای خط در نظر گرفته شود. با نگاهی به مطالعات انجام گرفته روی خطوط ریلی و مقادیری که در مقالات مختلف برای تحلیل های دینامیکی در نظر گرفتهاند، متوجه می شویم که محققان مختلف با توجـه بـه در نظر گرفتن تعداد جرمهای مختلف در مدلسازی های خود، مقادیر مختلفی را ارایه دادهاند. در این بررسی مشخصات اجـزای خط برای بررسی اثر زلزله در مدلسازی به صورت جدول ۲ در نظر گرفته شده است (Zhai, Wang and Lin, 2004). مطالعات انجام گرفته روی سختیها و میراییهای افقی قسمتهای مختلف خط بهویژه سختی های طولی و جانبی اجزای خط بسیار اندک بوده است. تعیین دقیق این مقادیر نیاز به انجام مطالعات بیشتر و انجام تستهای آزمایشگاهی و میدانی دارد. بنابراین، در این مقاله فرض شده است برای همه بخشهایی که سختی و میرایی افقی آنها به قفل و بست بین سنگدانهها مربوط می شود، مقادیر سختی و میرایی که ژای و همکاران بهمنظور در نظر گرفتن قفل و بست دانهای سنگدانهها در انجام ارزیابی رفتار ارتعاشی قائم بالاست در نظر گرفتهاند، استفاده شود و چنین فرض شده است که سختی و ميرايي بستر نيز در تمام جهات قائم و افقي يكسان است.

۳–۳– انتخاب زلزله وارد بر خط

برای انجام تحلیل لرزهای، زلزله کوبه بر مدل ساخته شده از خط اعمال شد. این زلزله دارای عمق ۱۶ کیلومتر است که ارتعاشات ناشی از آن برای مدت ۲ دقیقه بر زمین وارد شده که در حدود (PGA) ۲ ثانیه شدت زیادی داشته است. حداکثر شتاب زمین (PGA) زلزله کوبه در راستای افقی حدود (۸/۳۰ متر بر مجذور ثانیه) معام ۸۳۰ و در راستای قائم حدود (۳/۳۰ متر بر مجذور ثانیه) معام ۳۰۰ و در راستای قائم حدود (۳/۳۰ متر بر محذور ثانیه) کوبه در جهات طولی و عرضی ترسیم شده است. به منظور بررسی اثر زلزله بر خط در راستای طولی و عرضی، زلزله کوبه در هر دو جهت بر مدل خط پیشنهادی اعمال شده و تأثیر آن مورد بررسی قرار گرفته است.

پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱

1.4

www.SID.ir





شکل ۳. نمودار شتاب نگاشتهای زلزله کوبه: الف) در راستای طولی خط (Kobel)، ب) راستای عرضی خط (Kobe2) جدول ۲. مشخصات اجزای خط برای بررسی اثر زلزله در مدلسازی (Zhai et al., 2004)

مقدار	واحد	عنوان پارامتر	علامت اختصاري
-	-	نوع ريل	<i>UIC</i> 60
-	-	نوع تراورس	<i>B</i> 70
•/٦•	متر (m)	فاصله بين تراورسها	S
٦٠/٣٤	کیلوگرم بر متر (Kg/m)	جرم واحد طول ريل	M_r
۳۰۰	کیلوگرم (Kg)	جرم تراورس	M_{s}
٧٨/٤	مگانیوتن بر متر (MN/m)	سختی طولی و عرضی بالاست بین تراورس،ها	K_{Hs}
٨.	کیلونیوتن ثانیه بر متر (KN.s/m)	میرایی طولی و عرضی بالاست بین تراورس،ها	C_{Hs}
۲٤.	مگانیوتن بر متر (MN/m)	سختي صفحه لاستيكي زير ريل	K_p
۲٤٨	کیلونیوتن ثانیه بر متر (KN.s/m)	میرایی صفحه لاستیکی زیر ریل	C_p
٧٨/٤	مگانیوتن بر متر (MN/m)	سختي طولي وعرضي بالاست شانه	K_{Hsh}
٨٠	کیلونیوتن ثانیه بر متر (KN.s/m)	ميرايي طولي وعرضي بالاست شانه	$C_{{\it Hsh}}$
200	کیلوگرم (Kg)	جرم توده بالاست و زیر بالاست	M_{b} & M_{sb}
٧.	مگانیوتن بر متر (MN/m)	سختی قائم بالاست و زیر بالاست	$K_b \& K_{sb}$
۱۸۰	کیلونیوتن ثانیه بر متر (KN.s/m)	میرایی قائم بالاست و زیر بالاست	C_b & C_{sb}
٧٨/٤	مگانیوتن بر متر (MN/m)	سختیهای طولی و عرضی بین بلوکهای بالاست و زیر بالاست	K_{Hb} & K_{Hsb}
٨.	کیلونیوتن ثانیه بر متر (KN.s/m)	میراییهای طولی و عرضی بین بلوکهای بالاست و زیر بالاست	C_{Hb} & C_{Hsb}
13.	مگانیوتن بر متر (MN/m)	سختى قائم بستر	K_{f}
٦٢/٣	کیلونیوتن ثانیه بر متر (KN.s/m)	میرایی قائم بستر	C_{f}
14.	مگانیوتن بر متر (MN/m)	سختیهای طولی و عرضی بستر	K_{Hf}
٦٢/٣	کیلونیوتن ثانیه برمتر (KN.s/m)	میراییهای طولی و عرضی بستر	C_{Hf}

پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱

www.SID.ir

1.5

3- نتایج تحلیل دینامیکی خط در شرایط زلزله در این قسمت سعی شده است عملکرد خط وط ریلی در مقابل زلزله با استفاده از مدل پیشنهادی مورد بررسی قرار گیرد. برای این کار در مرحله نخست تأثیر طول خط بر مقادیر نیروها و تغییر شکلهای ایجاد شده در خط در اثر اعمال زلزله بررسی گردیده و در مرحله بعدی برای بحرانی ترین طول خط مرحله نخست، تأثیر تفاوت در سختیهای اجزای خط بر نتایج تحلیل لرزهای مورد ارزیابی قرار گرفته است.



٤-١- اعتبارسنجي مدل

برای اعتبارسنجی مدل سعی شد نتایج بهدست آمده از مدل تحت شرایط زلزله با نتایج حاصل از یک آزمایش عملی مقایسه شود. در سال ۲۰۱۰ ناکامورا و همکاران (Nakamura et al., 2010) عملکرد لرزهای خطوط بالاستی را با ساختن یک مدل تمام مقیاس و انجام آزمایش میزلرزه مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش خطی به طول ۵ متر و عرض ۷ متر که دارای ریل از نوع سدده کوشیرو – اکی (Roshiro-Oki) قرار گرفت. برای اعتبارسنجی مدل ارایه شده، خطی با مشخصات خط آزمایش میزلرزه نام برده مدل سازی گردید و تحت تحریک زلزله مانده کوشیرو – اکی قرار گرفت. نتایج دامنه تغییر مکان های باقی مانده خط برای مدل و آزمایش میزلرزه در مقابل تغییرات شتاب حداکثر زمین در نمودار شکل ٤ ارایه و با یکدیگر مقایسه شده است. همان طور که از این نمودارها مشخص است، نتایج

بهدست آمده از مدل و آزمایش میزلرزه اختلاف اندکی با یکدیگر داشته که به معنای مناسب بودن مدل برای تحلیل لرزهای میباشد.

٤-٢- اثر طول مدل خط بر نتایج تحلیل لرزهای

مشاهده وضعیت خطوط ریلی پس از وقـوع زلزلـه بیـانگر ایـن موضوع است که در اثر یک زلزله معین و در یک خط مشخص وضعیت خط بهلحاظ سطح بهرهبرداری و میزان آسیبدیـدگی در طول خط متفاوت میباشد. از آنجا کے خط ریلے یک شبکہ حمل و نقل یک بعدی است، بدین معنا که با آسیبدیـدگی یـک قسمت از خط، کل خط غیرقابل بهرهبرداری خواهد بود، باید طراحی سازہ خط ریلی در برابر زلزلہ برای بحرانی ترین اثری کے زلزله می تواند بر خط داشته باشد، صورت گیرد. بنابراین، در این بخش سعی شدہ است طولی از خط را کے موجب ایجاد بحرانی ترین شرایط سازهای و بهرهبرداری در خط می گردد مشخص شود. در واقع هنگامی که زلزله به خط وارد می شود. انتظار میرود که یکی از فرکانسهای زلزله با فرکانس خط برابر شده و بیشترین اثرات را در خط ایجاد کند. از آنجا که سازه خط یک سازه طویل خطی است، این که در چه طولی از خط بحرانی ترین شرایط رخ میدهد، محل سؤال است. چرا که طول های مختلف خط دارای جرم و سختی های متفاوت می باشند و یا به عبارت دقیقتر در هر طول یکی از فرکانس های غالب زلزله با فرکانس طبیعی خط همخوانی داشته و بیشترین اثرات را بهوجود می آورد. از این رو در طول های مختلف با توجه به این که فرکانس طبیعی خط چقدر بوده و با کدامیک از فرکانس های غالب زلزله برابر است، اثرات متفاوتی در مقادیر تغییرشکلها و نیروهای حداکثر ایجاد شده در خط به وجود می آید. بنابراین، در این مقاله برای یافتن این طول بحرانی مدل های خط بـا طـولهـاى ٣، ٦، ١٢، ١٨، ٣٣، ٤٢، ٤٨، ٥٤، ٢٠، ٢٦، ٢٧، ۱۰۲، ۱٤٤ و ۲۰٤ متر در تحلیل لرزهای مورد استفاده قرار گرفتـه و برای بررسی خط بهلحاظ سازهای و بهرهبرداری، مقادیر حداکثر زير ملاک ارزيابي وضعيت خط بعد از زلزله قرار گرفته است: – مقادیر تغییرشکل های حداکثر خط (تغییرمکان های طولی

معادیر تعییرمندن های محادث محط (تعییرمحان های طونی V2 و دوران خط حول محور V1 قائم R)،

- مقادیر حداکثر نیروهای محوری (P) در ریلها و تراورسها،
- مقادیر حداکثر نیروهای برشی (V) در ریلها و تراورسها،
- مقادیر حداکثر لنگرهای خمشی (M) در ریلها و تراورسها.
- برای تعیین طولی از خط که باعث ایجاد بحرانی ترین
 شرایط در خط می گردد، زلزله کوبه را در سه حالت زیر
 اعمال می کنیم:
 - اعمال زلزله تنها در جهت طولى بر مدل خط (Kobel)،
 - اعمال زلزله تنها در جهت جانبی بر مدل خط (Kobe2)،
- تأثیر همزمان زلزله در راستای طولی و جانبی بر مدل خط (Kobe12).

٤-۲-۱- اثر طول خط بر مقادیر تغییر شکل های حداکثر تغییرات تغییر شکل های حداکثر خط با تغییر طول مدل خط در اثر اعمال زلزله در شکل های ۵، ٦ و ۷ ارایه شده است. از بررسی اشکال نامبرده می توان نکات زیر را به دست آورد:

- تغییرمکانهای حداکثر خط در راستای طولی خط بهطور قابل توجهی تنها تحت تأثیر مؤلفه طولی زلزله قرار میگیرد و تأثیر مؤلفه جانبی زلزله بر تغییرمکانهای طولی خط ناچیز می باشد.
- تغییرمکانهای حداکثر خط در راستای عرضی خط تحت تأثیر مؤلفه جانبی زلزله قرار دارد و اثر مؤلفه طولی زلزلـه بـر تغییرمکانهای جانبی خط قابل چشمپوشی میباشد.
- دورانهای ایجاد شده در خط به طور قابل توجهی تحت تأثیر مؤلفه جانبی زلزله قرار دارند و تأثیر مؤلف طولی زلزل در دورانهای ایجاد شده در خط قابل چشمپوشی می باشد.
- طول خط بر مقادیر تغییرشکلهای حداکثر خط (تغییرمکانها و دورانها) مؤثر میباشد و برای مدلهای با طولهای مختلف، در مقادیر تغییرمکانهای حداکثر طولی، تغییرمکانهای حداکثر جانبی و دوران خط حول محور قائم، تغییر محسوسی ایجاد می شود.
- تغییرمکانهای طولی خط در یک طول در حدود ۱٤۰ متری از خط و مقادیر تغییرمکانهای حداکثر جانبی و دوران حداکثر خط در یک طول ٤٠-٥٠ متری از خط بحرانی ترین حالت را برای خط ایجاد کردهاند.

- روند کلی تغییرات تغییرشکلهای حداکثر خط در مقابل تغییرات طول مدل خط در شرایط زلزله به این صورت بوده است که با افزایش طول مدل خط این مقادیر افزایش یافته تا این که در طولهایی مشخص به مقدار حداکثر خود رسیده و سپس کاهش یافته است. با رسیدن به این مقدار مشخص که شیب تغییرات بسیار کاهش یافته، به طوریکه می توان گفت ثابت شده است.
- میتوان مهمترین اثر زلزله در تغییر شکل های ایجاد شده در خط را، تغییر مکان های جانبی نسبتاً زیادی دانست که باید برای مقابله با آن راهکاری اندیشید.

٤-۲-۲ اثر طول مدل خط بر مقادیر نیروهای حداکثر ریل

در اشکال ۸، ۹ و ۱۰ نمودار تغییرات نیروهای حداکثر ایجاد شده در ریل (نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی) برای مدلهایی با طول خطهای مختلف ترسیم شده است. با دقت در این نمودارها، نکات زیر را برداشت می شود:

- نیروهای حداکثر ایجاد شده در ریل، بیشتر تحت تأثیر مؤلفه جانبی زلزله هستند. تأثیر مؤلفه طولی زلزله به خصوص در مقادیر حداکثر نیروهای برشی و لنگر ایجاد شده در ریل قابل چشم پوشی است ولی تأثیر آن در مقادیر نیروهای محوری ایجاد شده در ریل باید در نظر گرفته شود و قابل چشم پوشی نیست.
- مقادیر نیروهای محوری ایجاد شده در ریل در یک طول
 حدود ٤٨ متری و مقادیر نیروهای برشی و لنگر ایجاد شده
 در ریل در یک طول حدود ٤٦ متری بحرانی ترین شرایط را
 برای خط ایجاد کردهاند.
- روند کلی تغییرات نیروهای حداکثر ایجاد شده در ریل در مقابل تغییرات طول مدل خط در شرایط زلزله به این صورت بوده است که با افزایش طول مدل خط این مقادیر افزایش یافته تا این که در یک طول حدود ٥٠-٤ متری به مقدار حداکثر خود رسیده و سپس کاهش یافته است و با رسیدن به یک مقدار مشخص، شیب تغییرات بسیار کم شده، به طوری که می توان گفت ثابت شده است.

پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱

1.7



شکل ۸. اثر طول خط بر مقادیر نیروهای محوری حداکثر ایجاد شده در ریلها



شکل ۱۲. اثر طول خط بر مقادیر نیروهای برشی حداکثر ایجاد شده در تراورسها



شکل ۱۳. اثر طول خط بر مقادیر لنگرهای خمشی حداکثر ایجاد شده در تراورسها

٤-۲-۳ تــأثیر طــول مــدل خــط بــر مقــادیر نیروهــای حداکثر تراورس

روند تغییرات نیروهای حداکثر ایجاد شده در تراورسها (نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی) برای مدلهای با طول خطهای مختلف تا حدودی شبیه تغییرات یادشده در ریل میباشد. با بررسی نمودارهای اشکال ۱۱، ۱۲ و ۱۳ که مربوط به تغییرات نیروهای حداکثر ایجاد شده در تراورسها در مقابل طول مدلهای مختلف است، نتایج زیر بهدست می آید:

- نیروهای محوری حداکثر ایجاد شده در تراورس ها در اثر اعمال زلزله، بسیار ناچیز و قابل چشمپوشی می باشند.
- نیروهای حداکثر برشی و لنگرهای خمشی حداکثر ایجاد شده در تراورسها بیشتر تحت تأثیر مؤلفه جانبی زلزله هستند و تأثیر مؤلفه طولی زلزله در این مقادیر قابل صرفنظر کردن است.
- مقادیر نیروهای محوری ایجاد شده در تراورس با تغییر طول مدل خط، تغییر چندانی نمی کنند و قابل چشم پوشی هستند، اما مقادیر حداکثر نیروهای برشی و لنگرهای ایجاد شده در تراورس در یک طول حدود ٤٢ متری بحرانی ترین شرایط را برای خط ایجاد می کنند.
- روند کلی تغییرات نیروهای حداکثر ایجاد شده در تراورسها در مقابل تغییرات طول مدل خط در شرایط زلزله مشابه آنچه در ریلها به وجود می آید، می باشد، به این صورت که با افزایش طول مدل خط این مقادیر افزایش یافته و در یک طول حدود ۲۲ متری به مقدار بیشینه خود رسیده است. پس

از آن تغییرات روند نزولی پیدا کرده تا اینکه با رسیدن به یک مقدار معین روند تغییرات ثابت شده است.

٤-٣- تأثير زلزله بر خطوط با سختي مختلف

در این بخش سعی شده است تأثیر نوع و شرایط خط بهلحاظ سختی اجزای آن روی نتایج تغییرشکلها و نیروهای حداکثر بهوجود آمده در اجزای مختلف خط مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور از مدل ٤٢ متری که بحرانی ترین شرایط را برای خط ایجاد می نماید، استفاده شده است. روشن است که خط وط ریلی بەلحاظ سختی های طولی، عرضی و قائم اجزا می توانند دارای شرایط مختلفی باشند که این امر باعث ایجاد صلبیت های مختلف در خط می گردد. بنابراین، با توجه به محدودهای که مشخصات اجزای مختلف خط می توانند به لحاظ منطقی در آن محدوده متغیر باشند (جدول ۳) خطوط ریلی به ۵ دسته (جـدول ٤) تقسیم شدهاند. در این تقسیمبندی که از دید میزان صلبیت خطوط انجام گرفته است، اولین دسته، نماینده خط بسیار نرم و دستههای بالاتر نماینده خطوط سخت تر می باشند. سعی شده است مشخصات اجزای خط در محدوده های منطقی که متناسب با شرایط واقعی و اجرایی خطوط هستند، انتخاب شـود. (Ishida et al., 2005) (Sun and Dhanasekar, 2002) (Grassie et al., 1982)، (Zhai et al., 2004)، بنابراین، به هر یک از مدل های ساخته شده منطبق با شرایط خطوط جدول ٤، زلزله کوبه اعمال و تحلیل لرزهای انجام شد که در ادامه نتایج بەدست آمدە بيان مى گردد.

3-۳-۱- اثر زلزله بر تغییر شکل های حداکثر خطوط نتایج حاصل از تحلیل لرزهای نشان میدهد که سختی خطوط روی تغییر مکانهای حداکثر ایجاد شده در خط مؤثر میباشد. در اشکال ۱۶ و ۱۵ نمودار تغییرات تغییر مکانه ای طولی و جانبی خط در خطوط با سختی مختلف در اثر اعمال زلزله در جهات طولی، عرضی و هر دو جهت بر خط آورده شده است که مهمترین نتایج به دست آمده در ادامه بیان می شود:

- با بالا رفتن درجه سختی خط تغییرمکانهای حداکثر طولی و جانبی در اثر اعمال زلزله در جهات طولی، عرضی و هر دو جهت بر خط کاهش مییابد.
- روند تغییرمکانهای طولی با سختی خط، از تغییرمکانهای جانبی خط کمتر است که ناشی از بالا بودن مقاومتهای طولی خط نسبت به مقاومتهای عرضی خط می باشد.

تغییرات تغییر مکانهای طولی و جانبی خط با تغییر صلبیت
 خط را می توان تقریباً خطی فرض کرد.

٤-۳-۲ اثر زلزله بر نیروهای حداکثر خطوط

تأثیر زلزله بر نیروهای حداکثر به وجود آمده در خطوط با سختی های مختلف در نمودارهای اشکال ۱۹ و ۱۷ ترسیم شده است. از این نمودارها می توان دریافت که:

- سختی خطوط روی نیروهای حداکثر محوری، برشی و لنگر
 خمشی به وجود آمده در قسمتهای مختلف خط (ریل و
 تراورس) تأثیر محسوسی ندارد.
- بەلحاظ كمى هر چند با افزايش سختى خطوط و صلبتر شدن آنها نيروهاى ايجاد شده در اجزاى خط تا حدودى افزايش مىيابد اما اين ميزان تغيير، قابل ملاحظه نيست.

(15) (15) (15) (15) (15) (15) (15) (15)						
واحد	محدوده تغييرات	عنوان پارامتر	علامت اختصارى			
کیلوگرم بر متر (kg / m)	٦.	جرم واحد طول ريل	M_r			
کیلوگرم (kg)	۳.,	جرم تراورس	M_{s}			
مگانیوتن بر متر (MN / m)	7-72.	سختی ریل پد	K_{p}			
کیلونیوتن ثانیه بر متر (KNs / m)	٤٠-٢٥٠	میرایی ریل پد	C_p			
متر (m)	•/٣-•/٦	ضخامت بالاست	h_{b}			
مگاپاسکال (MPa)	110.	مدول الاستيسيته بالاست	E_{b}			
کیلونیو تن ثانیه بر متر (KNs / m)	0 • - 7 • •	میرایی بالاست	C_b			
مگاپاسکال (<i>MPa</i>)	71	مدول الاستيسيته بستر	E_{f}			
کیلونیوتن ثانیه بر متر (KNs / m)	۳۰-۱۰۰	میرایی بستر	C_{f}			
مگانیوتن بر متر (MN / m)	٧٨/٤	سختی افقی اجزا (در راستای طولی یا عرضی)	K _H			
کیلونیوتن ثانیه بر متر (KNs / m)	٨.	میرایی افقی اجزا (در راستای طولی یا عرضی)	C_{H}			

(Sun	and	Dhanas	ekar, 200	خط ,(2	، اجزای	مشخصات	، تغييرات ا	محدوده	جدول ۳.
	(Isł	nida et al	., 2005), (Grassi	e et al	1982). (Zhai et a	al., 2004	4)

P

پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱

11.

ارزیابی سه بعدی رفتار خطوط ریلی به روش عددی در تحریک زلزله

(Kg/III)	Ċ
٦٠	I
٦٠	II
٦٠	Ш
٦٠	IV
٦.	V
	٦. ٦. ٦. ٦. ٦. ٦.

جدول ٤. دستهبندی خطوط با توجه به میزان سختی های اجزا







شکل ۱۵. اثر سختی خط بر حداکثر تغییر مکانهای جانبی خط ناشی از زلزله

اسماعیلی و حیدری نوقابی









شکل ۱٦. اثر زلزله بر نیروهای ایجاد شده در ریل در خطوط با سختی مختلف؛ الف) نیروی محوری، ب) نیروی برشی، ج) لنگرخمشی

۱۱۲

پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱

www.SID.ir











شکل ۱۷. اثر زلزله بر نیروهای ایجاد شده در تراورس در خطوط با سختی مختلف؛ الف) نیروی محوری، ب) نیروی برشی، ج) لنگر خمشی

٤-نتيجه گيري

هدف ارزیابی لرزهای خطوط ریلی رسیدن به شبکه حمل و نقلی است که بتواند بعد از وقوع زلزله نیز قابل بهرهبرداری بوده و پاسخ گوی نیازهای استفادهکنندگان از آن باشد. بنابراین، در این مقاله سعی بر آن بوده است در گما اول با بررسی مدلهای موجود تحلیل دینامیکی خطوط ریلی، مدلی معرفی شود که بتواند ارزیابی نزدیک به واقعیتی از رفتار خط در اثر وقوع زلزله را ارایه کند. از این رو به دلیل آنکه در زلزله ارتعاشات طولی و جانبی خط بیشترین اثرات را در خرابی خط دارند، مدلی سه بعدی که بتواند مقاومتهای طولی و جانبی خط را در نظر بگیرد، برای بررسی رفتار لرزهای خط ریلی ارایه شد.

در گام بعدی، از آنجایی که رفتار اجزای خط در اثر اعمال زلزله به طولی از مدل خط که تحت تأثیر زلزله قرار می گیرد حساس میباشد، سعی شده طولی از خط که در اثر اعمال زلزله بحرانی ترین شرایط را برای اجزا به وجود می آورد، تعیین گردد و در گام آخر تأثیر زلزله روی خطوط با سختی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. اغلب نتایج به دست آمده از این مطالعه به صورت زیر می باشد:

- تغییرمکانهای حداکثر خط در راستای طولی به طور قابل توجهی تنها تحت تأثیر مؤلفه طولی زلزله قرار می گیرد و تأثیر مؤلفه جانبی زلزله بر تغییرمکانهای طولی خط ناچیز می باشد. از سوی دیگر تغییرمکانهای حداکثر خط و دورانهای ایجاد شده در خط تحت تأثیر مؤلفه جانبی زلزله قرار دارد و اثر مؤلفه طولی زلزله بر آنها قابل چشمپوشی می باشد.
- بهجز در مقادیر نیروهای محوری ایجاد شده در ریل و تغییر مکانهای طولی خط، میتوان از اثر مؤلفه طولی زلزله صرفنظر نمود و تنها اثر مؤلفه جانبی زلزله را بهمنظور ارزیابی رفتار اجزای خط مد نظر قرار داد.
- طول خط بر مقادیر تغییر شکل های حداکثر خط (تغییر مکانها و دورانها) مؤثر می با مکانها و دورانها) مؤثر می با طولی خط در یک طول خط در یک طول حدوداً ۱۶۰ متری از خط، و مقادیر تغییر مکانهای حداکثر جانبی و دوران حداکثر خط در یک طول ۲۰-۰۰ متری از خط، بحرانی ترین حالت را برای خط ایجاد کردهاند.
 - پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱

- نیروهای حداکثر ایجاد شده در ریلها و تراورسها (نیروهای محوری، نیروهای برشی و لنگرهای خمشی) بهشدت به طول مدل خط وابسته میباشند و برای زلزله کوبه در یک طول ۵۰-٤۰ متری بحرانی ترین شرایط را دارد.
- روند کلی تغییرات نیروها و تغییر شکل های حداکثر ایجاد شده در اجزای خط در مقابل تغییرات طول مدل خط در شرایط زلزله به این صورت بوده است که با افزایش طول مدل خط این مقادیر افزایش یافته تا این که در یک طول حدود ٥٠-٤٠ متری به مقدار حداکثر خود رسیده و سپس رو به کاهش رفته است و با رسیدن به یک مقدار مشخص شیب تغییرات بسیار کاهش یافته، به طوری که می توان گفت ثابت شده است.
- تغییرمکان های طولی و جانبی خط با افزایش سختی خط
 کاهش می یابد. این تغییرات را می توان خطی فرض کرد.
- سختی خطوط روی نیروهای حداکثر (نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی) به وجود آمده در قسمتهای مختلف خط (ریل و تراورس) تأثیر محسوسی ندارد، هر چند می توان اظهار داشت با افزایش سختی خطوط و صلب تر شدن آنها نیروهای ایجاد شده در اجزای خط تا حدودی افزایش می یابد.

٥- پىنوشتھا

- 1. Beiging-Shanhiguan, Tianjin-Pukou, Tongxian-Tuozitou, Tangshan-Zunhua
- 2. East Japan Railway
- 3. Joetsu, Shinetsu, Echigo, Liyama and Tadami Lines
- 4. The Great Hanshin Earthquake or Kobe Earthquake
- 5. Kobe-Osaka
- 6. Beijing-Shanghai

٦- مراجع

 Ahlbeck, D. R., Kish, A. and Sluz, A. (1986) "An assessment of design criteria for continuouswelded rail on elevated transit structures", Transportation Research Record 1071, Transportation Research Board, Washington, D.C.

www.SID.ir

- Ishida, M., Suzuki, T., Koro, K. and ABE, K. (2005) "Measurement on dynamic behavior of track near rail joints and prediction of track settlement", QR of RTRI, Vol. 64, No. 2.
- Jenkins, H. H., Stephenson, J.E., Clatton, G.A., Morland, J. W., and Lyon, D. (1974) "The effect of track and vehicle parameters on wheel/rail vertical dynamic forces", Railway Eng.J., Jan. Issue, pp. 2-16.
- Jiang, G., Liu, X., Zhang, J. and Zhao, R. (2007) "Shaking table test of composite foundation reinforcement of saturated silty soil for high speed railway", Journal of Southwest Jiaotong University (Natural Science Edition), 41(2), pp.190–199.
- Kumakura, T., Ishii, H. and Konishi, T. (2010)
 "Seismic assessment of ballasted tracks in large-scale earthquakes", JR EAST Technical Review, Japan, No. 17, pp. 25-28.
- Reports of Railway Technical Research Institute (1988) Japan, Vol. 29(1), pp. 30-32.
- Sato, Y., Odaka, T. and Takai, H. (1988) "Theoretical analyses on vibration of ballasted track". Quarterly.
- Sekine, E. and Ishikawa, T. (2005) "Deformation characteristics of ballasted track during earthquake", RTRI Report, Japan.
- Sun, Y. Q. and Dhanasekar, M. (2002)"A dynamic model for the vertical interaction of the rail track and wagon system", International Journal of Solids and Structures, 39(5), pp. 1337-1359.
- Vostroukhov, A. V. and Metrikine, A. V. (2003) "Periodically supported beam on a visco-elastic layer as a model for dynamic analysis of a highspeed railway track", International Journal of Solids and Structures, Vol. 40, pp.5723–5752.
- Nakamura, T., Sekine, E., Shirae, Y. (2010) "Assessment of aseismic performance of ballasted track for large-scale shaking table test", RTRI Report, 24(12), pp. 23-29.
- Zhai, W. M., Wang, K. Y. and Lin, J. H. (2004) "Modeling and experiment of railway ballast vibrations", Journal of sound and vibration, 270(4-5), pp.673-683.

- Ahlbeck, D. R., Meacham, H. C. and Prause, R. H. (1978) "The development of analytical models for railroad track dynamics", in: A.D. Kerr (Ed.), Railroad Track Mechanics & Technology, Pergamon Press, Oxford.
- Bardet, J. P., Oka, F., Sugito, M. and Yashima, A. (1995) "The great Hanshin earthquake disaster South Hyogo prefecture earthquake", Department of Civil Engineering, University of Southern California with cooperation Gifu University (Japan), Preliminary Investigation Report.
- Cai, Z. (1992) "Modelling of rail track dynamics and Wheel/Rail Interaction", Thesis (PHD). Department of Civil Engineering, Queen's University.
- Chen, Y. H., Huang, Y. H. and Shih, C. T. (2001) "Response of an infinite Timoshenko beam on a viscoelastic foundation to a harmonic load", Journal of Sound and Vibration, 241(5), pp. 809-824.
- East Japan Railway Company (2005) "Annual Report 2005", Report on Niigata Chuetsu Earthquake.
- Frderick, C. O. and Newton, S. G. (1977) "The relationship between traffic and track damage-the effect of vertical loads". British Railways Boards Research and Development Division Technical Note TN.T.2.
- Fumiaki, U. and Kimiro, M. (2005) "Fundamental study on seismic response of railway viaduct with ballasted track", Journal of Railway Technical Research Institute, Japan, Vol. 19, No. 9, pp. 47-50.
- Grassie, S. L., Gregory, R. W. and Johnson, K. L. (1982) "The dynamic response of railway track to high frequency lateral excitation", Journal of Mechanical Engineering Science.
- Housner, G. W. and Xie Lili (2002) "Report on the great Tangshan earthquake of 1967", California Institute of Technology, Earthquake Engineering research Laboratory, Volume III, Chapter1: Railway Engineering, pp. 1-60.
- Ishida, M. and Suzuki, T. (2005) "Effect on track settlement of interaction excited by leading and trailing axles", QR of RTRI, Vol. 64, No. 1.