بررسی نقش پروفیلهای ریل ایران در سایش و رفتار چرخهایی با پروفیل S1002 از طریق آنالیز اندرکنش پروفیلهای نو

حبیب اله ملاطفی(مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
زهرا فیروز آبادی، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، ، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail: molatefi@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۰٤/۳۰ تاریخ پذیرش:۹۱/۰۳/۲۰

چکیده

سایش چرخ و ریل در وسایل نقلیه ریلی غیر قابل اجتناب است. پژوهشگران در طول سالهای گذشته تلاشهای فراوانی برای کمینه سازی میزان سایش انجام داده‌اند. یکی از پارامترهای مهم، هماهنگی پروفیل و مشخصات چرخ با پروفیل و مشخصات ریل است. در خطوط ریلی کشور سه نوع غالب پروفیلهای ریل عبارتند از ،U33 R50 و UIC60 که با شیب زیر ریل ۱/۲۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مقاله این سه نوع پروفیل ریل با پروفیل چرخ S1002 مورد استفاده در ناوگان ریلی ایران تحلیل شده‌اند. تاثیر گیج ریل، تاثیر شیب ریل، نمودار قابلیت عبور از قوسها، نمودار ضریب معادل مخروطی و سطح مقطع تماس در حرکت جانبی چرخ و محور بررسی شده است. متاسفانه نتایج تحقیقات نشانگر عدم هماهنگی بین پروفیل چرخ و پروفیل ریل است که تاثیر بسیاری بر روی سایش چرخ و ریل و رفتار ناوگان ریلی دارد. ریلU33 که از خطوط قدیمی است، با چرخ S1002 دارای مشخصه بهتری نسبت به دو خط دیگر بوده، ولی در عین حال دارای حساسیت بالایی نسبت به تغییرات گیج و شیب ریل است. خطوط با ریل UIC60 بدترین شرایط را برای چرخ‌های S1002 اعمال می‌کنند و لازم است با توجه به ریل موجود در کشور در تعیین نوع پروفیل ناوگان ریلی اندرکنش پروفیلها در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: S1002، سایش چرخ، UIC60-U33-R50، ضریب معادل مخروطی، شیب ریل

۱. مقدمه

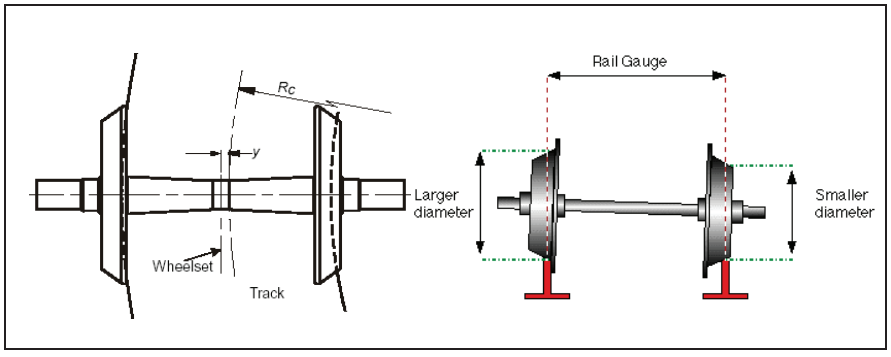
یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر روی رفتار سایشی و همچنین تعیین شرایط خروج از خط، پروفیل چرخ است. فنآوری صنعت ریلی نشان داده است که استفاده از چرخ و محورهای یکپارچه، با توجه به بار محوری بین ۱۰ تا ۳۵ تن، بهترین انتخاب برای این صنعت است. چرخ و محور یکپارچه باعث می‌شود تا مرکز هر دو چرخ محور دارای یک سرعت دورانی باشند. این امر به‌نوبه خود در عبور از قوسها به دلیل اینکه یکی از چرخها مسیر بیشتری را بایستی طی کند، مشکل ساز خواهد بود. برای اجتناب از این امر چرخها را به صورت مخروطی شکل طراحی کرده‌اند تا با جابجایی عرضی چرخ در جهت نیروی گریز از مرکز، اختلاف شعاع لازم به دست آید (شکل۱).

پژوهشهای بعدی نشان دادند که سطح مخروطی چرخها پس از اندکی سایش به یک شکل پایدار تبدیل می‌شود که دارای عمر زیادی بوده و می‌تواند جایگزین چرخهای ساده مخروطی شود. با بررسیهای مشابه بر روی ریل، برای سطح مقطع چرخ و ریل سطوح خاصی به عنوان پروفیل ارایه شده‌اند (شکل۲).

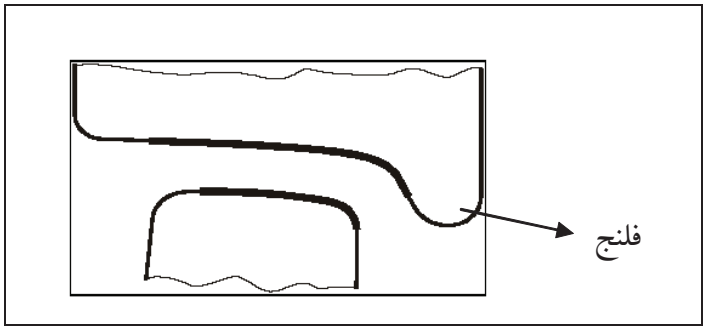
پروفیل چرخ با شکل مخروطی، عاملی است که باعث می‌شود در طی یک مسیر، اگر جابجایی جانبی ناچیزی وجود داشته باشد، یک نیرو به سمت مرکز بر مجموعه چرخ و محور اعمال شود که باعث برگشت مجموعه به مکان اولیه خود و جبران جابجایی می‌شود. همچنین اعمال این نیرو باعث سازگاری شعاعی بیشتر مجموعه چرخ و محور در منحنیها خواهد شد. طبعاً این سازگاری باعث افزایش غلتش و کاهش سرخوردن و در نهایت، کاهش سایش چرخ و ریل می‌شود.

وجود فلنج چرخ در لبهٔ داخلی مانع خروج از ریل می‌شود. در هر مورد، چه در قوسها و چه موارد دیگر، لقی بین چرخ و ریل نمی‌تواند از حد مشخصی بیشتر باشد و این مقدار حد مناسبی است که با استفاده از سازوکار بیان شده، جابجایی‌های جانبی را در حد مطلوب محدود می‌کند.

نقش هماهنگی پروفیلهای چرخ و ریل را در سایش، در عواملی چون "تاثیر مستقیم در سطح مقطع، تماس بین چرخ و ریل و



شکل۱. اختلاف شعاع دو چرخ یک محور در اثر جابجایی عرضی



شکل۲. چرخ و ریل با پروفیلهای سایشی

در نتیجه تنشهای تماسی، تاثیر مستقیم بر جهت نیروها و در نتیجه مقدار آن، تاثیر مستقیم بر وسعت نقاط تماس بین چرخ و ریل و در نتیجه عمر خستگی چرخ و ریل، تاثیر مستقیم در ناپایداری جانبی چرخ و در نتیجه سایش ناشی از نوسانات جانبی و چرخشی (هانتینگ)، تاثیر مستقیم بر روی اختلاف شعاع بین چرخ چپ و راست و در نتیجه لغزشهای نسبی بین چرخ و ریل در قوسها و در انتها، تاثیر مستقیم بر روی تعداد نقاط تماس بین چرخ و ریل و جهشهای موضعی بین این دو" دانست.

با توجه به نقش پروفیل چرخ و ریل در سایش و با در نظر گرفتن تاثیرآن بر رفتار سازه، اهمیت آن دوچندان است. از این رو تحقیقات گسترده‌ای به شیوه‌های گوناگون شامل مدلسازی، شبیه‌سازی، آزمونهای میدانی و تحلیل نظری در این زمینه صورت گرفته است. از معتبرترین مراکزی که گزارشهای متعددی در زمینه پروفیلهای چرخ و ریل ارایه کرده‌اند می‌توان به ERRI مرکز تحقیقات راه‌آهن اروپا اشاره کرد [ORE (ERRI), 1973-04-01]، [ORE (ERRI), 1973-10-01]، [ORE (ERRI), 1976-04-01].استانداردهای متعددی نیز در این زمینه ارایه شده اند از جمله: UIC510-2، UIC861-3، prEN1375، DIN5573 و Afnor nf f 01-111.

مرکز تحقیقات راه آهن روسیه، طی یک سری اندازه‌برداری بر روی پروفیلهای ریل و پروفیلهای چرخ و بررسی سازوکار سایش، به ارایه پروفیل جدیدی برای چرخها دست یافته است. در این تحقیقات که با گستره وسیعی صورت گرفته است جنس چرخ و نیروی وارد بر بوژی نیز مورد توجه بوده است [Kondrashov, Maksimov and Galperin, 1999]. در تحقیقات مشابهی از کشور اوکراین، با در نظر گرفتن پروفیلهای چرخ گوناگون از کشورهای متعدد، ابتدا به آنالیز پروفیلها پرداخته و پس از انتخاب چند پروفیل با تست میدانی، به پروفیل بهینه دست پیدا کرده‌اند [Ushkalov, 1999]. در این تحقیق پروفیلی به دست آمده است که عمر آن دو برابر پروفیلهای استاندارد است.

اِسولد از دانشگاه TU-Delft هلند، پژوهشهای دقیقی در زمینه پروفیل چرخ و ریل انجام داده است و در آخرین کارهای خود در حال ارایه برنامه‌ای جهت طراحی پروفیل چرخ، با توجه به پروفیل ریل است [Shevtsov, Markine, and Esveld, 2001]. در این تحلیل برای طراحی پروفیل چرخ، پارامترهای گوناگونی از جمله پروفیل ریل، ضریب معادل مخروطی [ORE (ERRI), 1976]، ایمنی و حداقل دور ریز مواد در تراش مجدد، مورد نظر بوده است. شوتساو نیز به طور مستقل بر اهمیت شکل هندسی پروفیل چرخ و ریل و نقش آن در سایش و ایمنی، تاکید ورزیده است [Shevtsov, 2008]. جاهد و همکاران [Jahed, Farshi, Eshraghi and Nasr, 2008]. در مطالعه عددی خود پروفیل IR1002 را به عنوان پروفیل چرخ بهینه و سازگار با خطوط ریلی ایران معرفی کردند. تاکنون بازدیدها و بازرسیهای بسیاری نیز در راه‌آهن ایران، با رویکرد کاهش اصطکاک در ناحیه فلنج چرخ، و کاهش میزان سایش و ارایه راهکارهایی جهت رفع خرابی موجود صورت پذیرفته است. اسدی لاری [Asadi Lari and Alizadeh Kaklar, 2009] تأثیر بهبود رفتار سایشی چرخهای فولادی بر ایمنی سیر قطار را با آزمونهای میدانی روی واگن مسافری مسیر تهران- میانه بررسی کرده است. آشفته [Ashofteh, 2007] نیز به بررسی عوامل موثر در تعیین عمر چرخ‌ها با دو رویکرد سایش و خستگی پرداخته است.

در این مقاله، سه نوع ریل موجود در کشور با پروفیل چرخ قطارهای مسافری به صورت الاستیک مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج بسیار پراهمیتی از نظر کاربرد پروفیلهای ریل به دست آمده و شرایط موجود با شرایط مطلوب مورد مقایسه قرار گرفته است. این تحلیلها مقدمه‌ای برای شناسایی شرایط موجود هستند.

۲. روش حل

در این پژوهش، آنالیز برخورد پروفیل چرخ با پروفیلهای ریل از چند دیدگاه توسط نرم افزار RSGEO صورت گرفته است. این نرم افزار به همراه چند نرم افزار دیگر مانند MEDYNA توسط شرکت ArgeCare ارایه شده است.

۱- تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر جابجایی جانبی چرخ و محور

۲- مقدار حساسیت در اثر تغییر گیج و شیب ریل

۳- تعداد نقاط تماس، جهش‌های موضعی و پوشش مناسب سطح چرخ و ریل

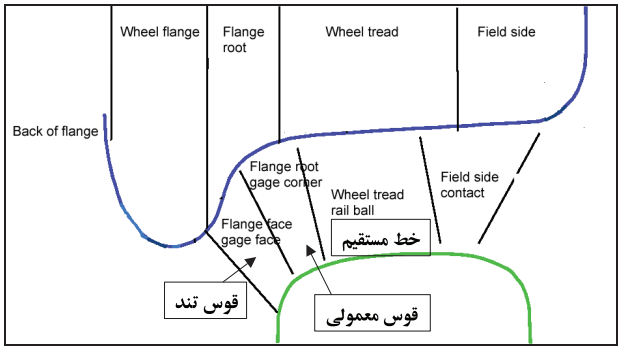
چنان که اشاره شد سطح مخروطی در پروفیل چرخ، جهت ایجاد اختلاف شعاع بین چرخ چپ و راست در اثر جابجایی جانبی محور بوده و بسیار حائز اهمیت است. پروفیلهای جدید به صورت مخروط ساده با شیب ثابت نیستند. در نتیجه ضریب معادل مخروطی به صورت نصف نسبت اختلاف شعاع غلتشی چرخهای چپ و راست یک محور به جابجایی عرضی محور تعریف می‌شود. شکل۳ ، یک نمونه طراحی ایده‌آل را برای پروفیلهای چرخ و ریل نشان می‌دهد. سه ناحیه برخورد مورد نظر است. ناحیه اول برای حرکت بر روی خطوط مستقیم است و ضریب مخروطی معادل در این ناحیه برای قطارهای مسافری معمول بین ۰/۱۵ تا ۰/۲ طراحی می‌شود. مقادیر بیشتر بسته به ساختار بوژی، باعث ناپایداری دینامیکی یا هانتینگ شده و مقادیر کمتر باعث خواهد شد تا برخورد فلنج افزایش یافته و سایش آن بسیار سریع تر شود. ناحیه دوم برای عبور از قوسهای معمولی است که بایستی ضریب مخروطی معادل در این ناحیه بین ۰/۲ تا ۰/٦ باشد و در ناحیه سوم مقادیر بیشتر، لازم خواهد بود [Shevtsov, Markine and Esveld, 2001].

شیب زیر ریل و گیج از مشخصه‌های بسیار مهم در ساخت خط است. این پارامترها در اثر بارگذاریهای متعدد و یا اشتباه در نصب، دارای تغییراتی هستند و پروفیل چرخ و ریل بایستی نسبت به تغییرات این شیب حساسیت کمی داشته و ضریب معادل مخروطی در محدوده مطلوب باقی بماند. تعداد نقاط تماس بین چرخ و ریل بستگی به وضعیت نسبی چرخ و ریل و شکل پروفیل آنها دارد. تماس در محدوده جابجاییهای چرخ و محور تا حد امکان بایستی یک نقطه‌ای باشد.

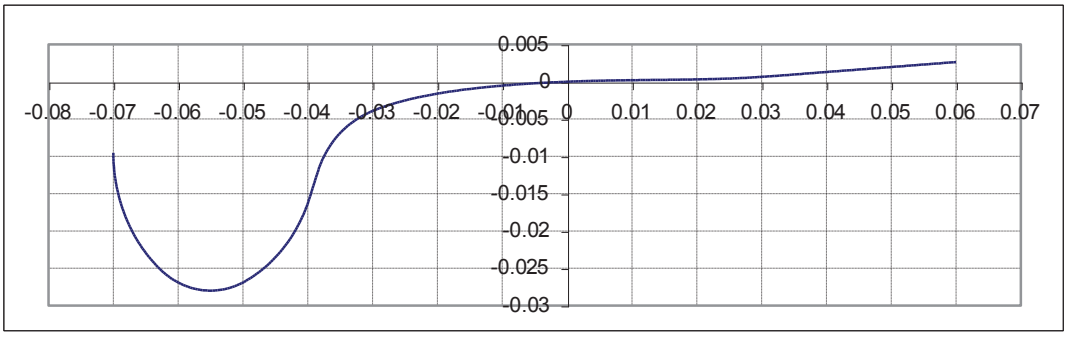
در صورتی که پروفیل چرخ و ریل در یک ناحیه شعاع انحنای یکسان داشته باشند، کوچک ترین تغییر مکان عرضی باعث جهش در نقطه تماس بین چرخ وریل خواهد شد. این جهش به صورت تکانهای دینامیکی، کل سازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هر مقطع از چرخ به صورت دائم تحت تاثیر بارهای تکراری است و شکل پروفیلها بایستی چنان طراحی شوند که از تمرکز در یک ناحیه خاص جلوگیری کنند. در صورت تمرکز، این ناحیه دچار خستگی شده و با رشد ترکهای موضعی سایش بسیار شدیدی به وجود خواهد آمد [International Heavy Haul A – sociation, 2001]. علاوه بر این، تنش سطحی بین چرخ و ریل به بار عمودی و شعاعهای انحنای چرخ و ریل در نقطه تماس نیز وابسته است. شکل پروفیلها تعیین کننده این شعاعهای انحناست. شکل ٤، پروفیل S1002 را که توسط دستگاه تراش برای چرخ واگنهای مسافری تراشیده می‌شود، نشان می‌دهد. توسط دستگاه Miniprof با اندازه‌گیری دقیق، مطابقت تراش انجام شده با نقشه های استاندارد پروفیل S1002 ثابت شده است.

شکل ۵ سه پروفیل ریل را نشان داده است. هر سه ریل برای خطوط ایران با شیب ۱/۲۰ طراحی شده‌اند. گیج استاندارد کشور نیز ۱٤۳۵mm است.

در کنار سه وضعیت موجود در خطوط ایران نمودارهای مربوط به پروفیل UIC60 با شیب ۱/٤۰ که در استاندارد UIC برای پروفیل S1002 سفارش شده نیز تحت عنوان استاندارد ارایه شده است.



شکل۳. طراحی نقاط تماس چرخ و ریل در انواع مسیرها



شکل ٤ . پروفیل چرخ S1002

۳. نمودارها

۳-۱ نمودار ضریب معادل مخروطی و اختلاف شعاع

شکل٦، نمودار ضریب معادل مخروطی را برای چهار حالت نشان می دهد. با توجه به شکل، شرایط موجود تفاوت بسیاری با شرایط استاندارد دارند.

پروفیل U33 تا جابجایی ۲ میلیمتر دارای ضریب معادل حدود ۰/۰۷ است که از حد مورد قبول(۰/۱۵-۰/۲) فاصله بسیاری دارد. در فاصله ۲ تا ۳ میلیمتر این مقدار افزایش شدیدی پیدا کرده و به‌مقدار ۰/۳۸ رسیده و ثابت می‌ماند. به عبارت دیگر مقدار ضریب معادل مخروطی در ناحیه تاج چرخ دارای مقادیری کمتر و یا بیشتر از حد مورد قبول است.

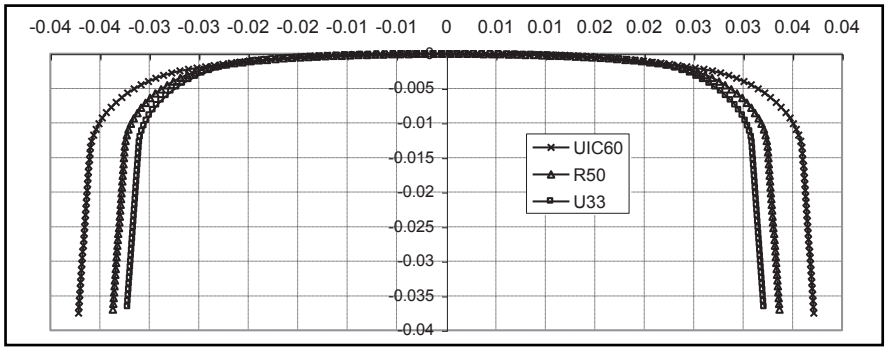
پروفیل R50 نیز دارای وضع مشابهی است، با این تفاوت که تا حدود ۳/۳ میلیمتر این ضریب حدود ۰/۰٤ بوده و پس از آن در در فاصله ۳/۳ تا ۵ میلیمتر این مقدار افزایش پیدا کرده و به مقدار ۰/۳۸ رسیده و ثابت می‌ماند. به عبارت دیگر در این پروفیل نیز مقدار ضریب معادل مخروطی در ناحیه تاج چرخ دارای مقادیری کمتر و یا بیشتر از حد مورد قبول است.

پروفیل UIC60 دارای بدترین شرایط است و ضریب معادل مخروطی در ناحیه تاج چرخ کمتر از ۰/۰۱۵ و بسیار کمتر از حد لازم است و این امر باعث خواهد شد تا برخورد فلنج به شدت افزایش پیدا کرده و فلنج به سرعت ساییده شود.

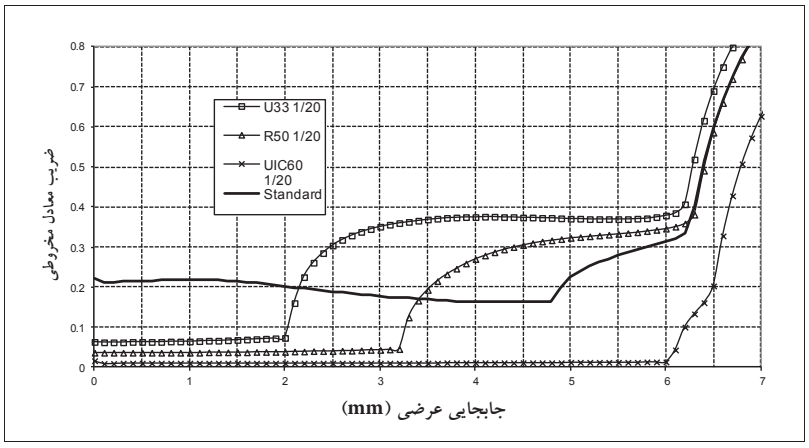
شکل ۷ نمودار تغییرات اختلاف شعاع بین چرخ چپ و راست را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، بین نمودار استاندارد مطلوب و نمودارهای شرایط موجود برای سه پروفیل ریل ایران تفاوت زیادی وجود دارد.

از نتایج بسیار مهم نمودارهای شکل ۷ این است که اگر بین چرخ چپ و راست یک محور در هنگام تراش حدود ۰/۲ میلیمتر اختلاف شعاع وجود داشته باشد، محور با پروفیل U33؛ ۱/٤٥ میلیمتر، با پروفیل R50؛ ۲/۵ میلیمتر و با پروفیل UIC60 بیش از ٦ میلیمتر نیاز به جابجایی عرضی دارد تا جبران تاثیر اختلاف شعاع چرخ چپ و راست در حرکت چرخ و محور شود. این مقدار برای حالت استاندارد ۰/٤٨ میلیمتر است.

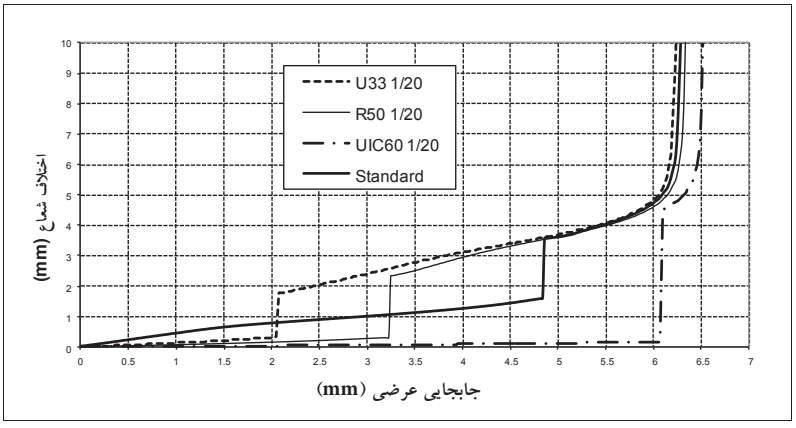
برای عبور از قوسها نیاز به اختلاف شعاع مناسب برای چرخهای یک



شکل ۵. پروفیل‌های ریل



شکل ٦. نمودارهای ضریب معادل مخروطی



شکل۷. نمودار اختلاف شعاع بین چرخ‌های چپ و راست محور در اثر جابجایی عرضی

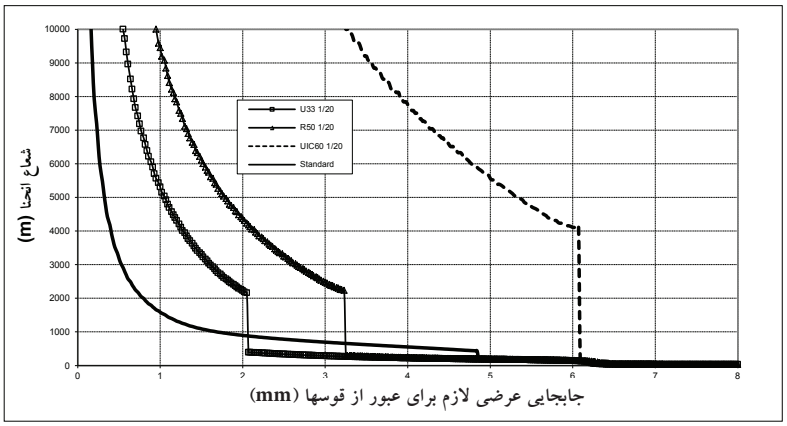
محور است و این خود نیازمند جابجایی عرضی است. شکل ۸ نشان می‌دهد که در پروفیل U33 برای قوسهای بین ۲۲۰ تا ٤۰۰ میلیمتر جابجایی عرضی چرخ و محور حدود ۲/۰۷ میلیمتر ثابت می‌ماند و به عبارتی در این ناحیه متمرکز خواهد بود. در پروفیل R50 برای قوس‌های ۲۳۰۰-۳۰۰ میلیمتر این مقدار حدود ۳/۲۵ میلیمتر است. با توجه به شکل ۸ در پروفیل UIC60 برای قوسهای ٤۰۰۰-۱٤۲ میلیمتر، حدود ٦/۰۹ جابجایی عرضی است. این تمرکز در باند وسیعی از قوسها، باعث سایش و تغییر شکل سریع در پروفیل خواهد شد. در حالت استاندارد با توجه به شکل، تمرکز تقریبا وجود ندارد و نمودار با تغییرات یکنواخت رفتار مناسبی را نشان می‌دهد.

۳-۲ نمودار حساسیت برای پروفیلها

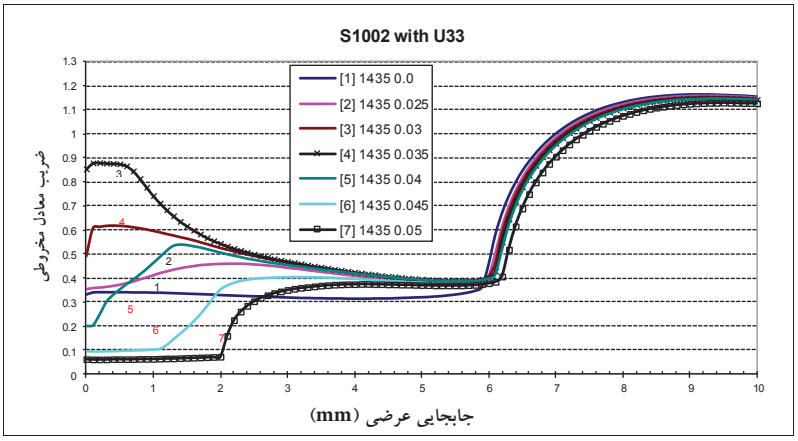
در ریل واقعی مقدار گیج و شیب ریل ثابت نیست و هنگام عبور قطار، در اثر تغییر فرم الاستیک دچار تغییر شکل می‌شود، در طول بهره‌برداری نیز تغییراتی در ساختار ریل به وجود می‌آید. پروفیل چرخ و ریل بایستی چنان انتخاب شوند تا در برابر تغییرات محدود گیج و شیب ریل دچار تغییرات شدید نشوند.

با توجه به شکل ۹ در ریل U33 با افزایش شیب از ۰/۰ (۱/∞) تا ۰/۰۵ (۱/۲۰) بیشترین تغییرات در ضریب معادل مخروطی تا جابجایی عرضی ۲ میلیمتر اتفاق می‌افتد. در این ناحیه تغییرات به صورت کاملا غیر خطی است و با افزایش شیب ریل، ضریب معادل مخروطی افزایش و سپس کاهش بسیار شدیدی پیدا می‌کند. این ضریب برای شیب ۰/۰۳۵ تا مقدار ۰/۹ افزایش پیدا کرده است که می‌تواند بسیار نامطلوب باشد. با توجه به اینکه شیب ریل در اثر بارگذاری کاهش پیدا می‌کند، این دیاگرام نشان می‌دهد که شرایط بهره‌برداری می‌تواند بسیار بحرانی باشد و سازه به شدت دچار ناپایداری شود.

شکل ۱۰ ریل R50 را مورد بررسی قرار داده است. با افزایش شیب از ۰/۰ (۱/∞) تا ۰/۰۵ (۱/۲۰) بیشترین تغییرات در ضریب معادل



شکل ۸. مقدار جابجایی عرضی لازم برای عبور یک محور از قوسهای گوناگون



شکل۹. تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر تغییر شیب ریل U33

مخروطی تا جابجایی عرضی ۳mm اتفاق می‌افتد. رفتار در این ناحیه مشابه با ریل U33 است و این ضریب برای شیب ۰/۰۲۵ (۱/٤۰) تا مقدار ۰/۰۹ افزایش پیدا کرده است که می‌تواند بسیار نامطلوب باشد. این دیاگرام نشان می‌دهد که شرایط بهره‌برداری می‌تواند بسیار بحرانی باشد و سازه به شدت دچار ناپایداری گردد. ریل UIC60 در شکل ۱۱ مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش شیب ریل، نمودار ضریب معادل مخروطی با جابجایی عرضی، بر خلاف شکل‌های ۹ و ۱۰ تغییرات شدیدی ندارد.

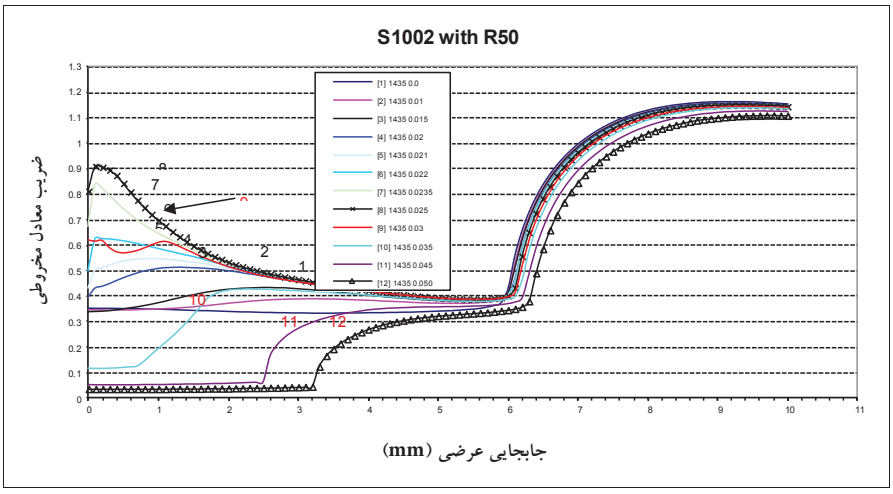
از روی شکل ۱۱ می‌توان شرایط استاندارد را با نمودار [٤] نشان داد. با توجه به کاهش شیب ریل در اثر بارگذاری، در حالت استاندارد کاهش شیب ریل باعث ایجاد شرایط بحرانی در رفتار سازه نخواهد بود و نمودار ضریب معادل مخروطی در محدوده قابل قبولی باقی مانده است.

شکلهای ۱۲، ۱۳ و ١٤ تغییرات نمودار ضریب معادل مخروطی با تغییر گیج را برای شرایط کنونی نشان می‌دهند. با توجه به این اشکال ریل U33 حساس‌تر از دو ریل دیگر است و در ناحیه تاج چرخ ضریب معادل مخروطی افزایش نسبتا زیادی از خود نشان می‌دهد. ریل UIC60 تغییری در ناحیه تاج نداشته است.

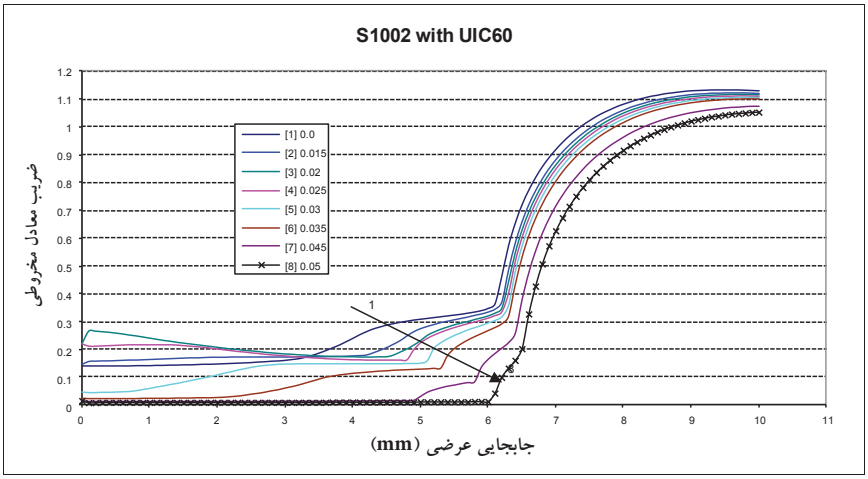
از نتایج این نمودارها جهت برآورد شرایط کنونی در خطوط ریلی می‌توان استفاده کرد و معایب هر خطی با توجه به نوع ریل دارای زوایای خاصی خواهد بود. کاهش گیج در خطوطی با پروفیل U33 به اندازه ۱/۵ میلیمتر بر روی ضریب معادل مخروطی تاثیری همانند کاهش گیج به اندازه ۲/۵ میلیمتر در خطوطی با ریل R50 دارد.

۳-۳ تعداد نقاط تماس، پوشش سطح و جهش‌های موضعی

برخورد بین چرخ و ریل کاملا الاستیک است، در نتیجه در تحلیل این پدیده بایستی که چرخ و ریل به صورت الاستیک در نظر گرفته شوند. در برخورد الاستیک بین دو جسم، نقطه تماس دچار تغییر شکل می‌شود و این خود عاملی است که باعث گسترش



شکل ۱۰. تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر تغییر شیب ریل R50



شکل ۱۱. تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر تغییر شیب ریل UIC60

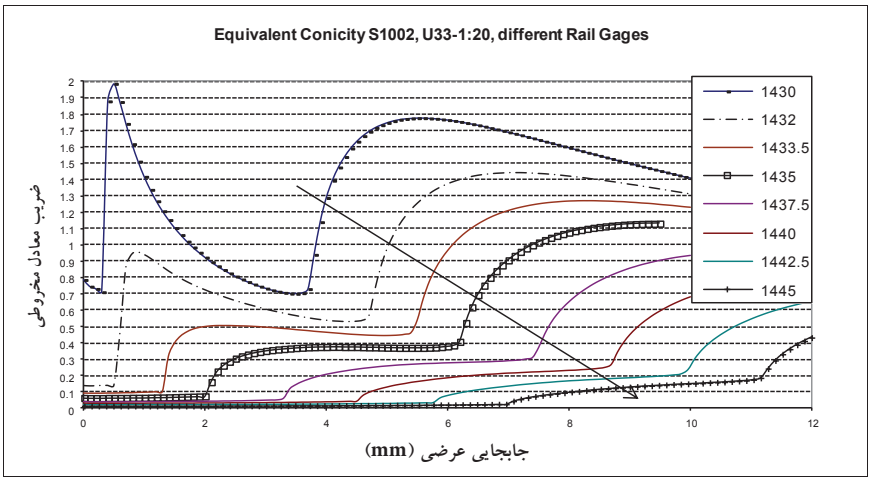
نقاط تماس خواهد شد. آزمایشها نشان داده است که بین چرخ و ریل تا سه نقطه تماس امکان پذیر است.

شکل ۱۵ ناحیه برخورد بین چرخ S1002 و ریل U۳۳ (۱/۲۰) را در جابجایی عرضی ۱۰ میلیمتر ارایه کرده است. با توجه به شکل، در جابجایی حدود ۲ میلیمتر، یک جهش موضعی اتفاق افتاده است. با توجه به نمودار شکل ۸ در ناحیه مربوط به جابجایی حدود ۲/۰۷ میلیمتر به دلیل ایجاد اختلاف شعاع زیاد تمرکز تماس اتفاق خواهد افتاد.

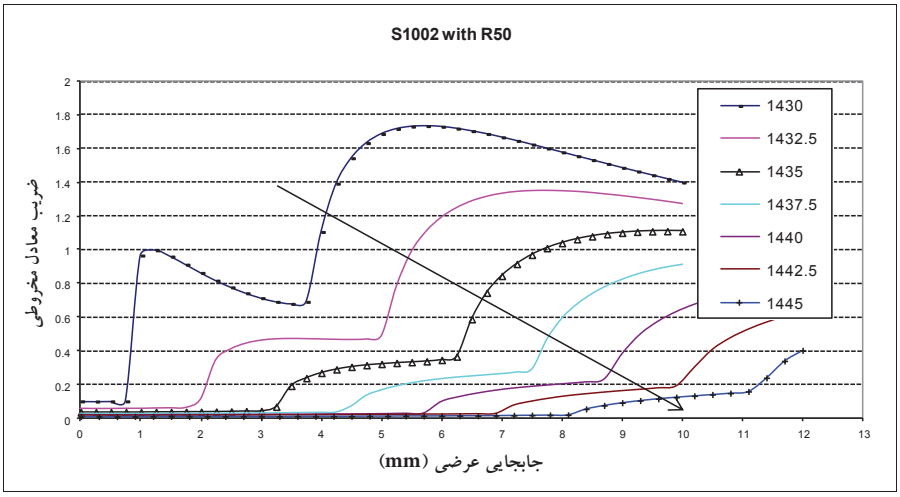
در روی شکل ناحیه‌ای از تاج پروفیل چرخ که در اثر حرکت محور به سمت چپ تحت پوشش قرار می‌گیرد با علامت مثبت و ناحیه‌ای که در اثر حرکت محور به سمت راست تحت پوشش قرار می‌گیرد با علامت منفی نشان داده شده است. در محدوده مثبت بایستی ناحیه‌ای با برخورد کم که به دلیل جهش ایجاد می‌شود را نیز در نظر گرفت که باعث کاهش عملی این محدوده می‌شود.

شکل ۱۶ ناحیه برخورد بین چرخ S1002 و ریل R50 (۱/۲۰) را در جابجایی عرضی ۱۰ میلیمتر ارایه کرده است. با توجه به شکل در جابجایی بین ۳ و ٤ میلیمتر، یک جهش موضعی اتفاق افتاده است. با توجه به نمودار شکل ۸ در ناحیه مربوط به جابجایی حدود ۳/۲۵ میلیمتر به دلیل ایجاد اختلاف شعاع زیاد تمرکز تماس اتفاق خواهد افتاد که در شکل نشان داده شده است.

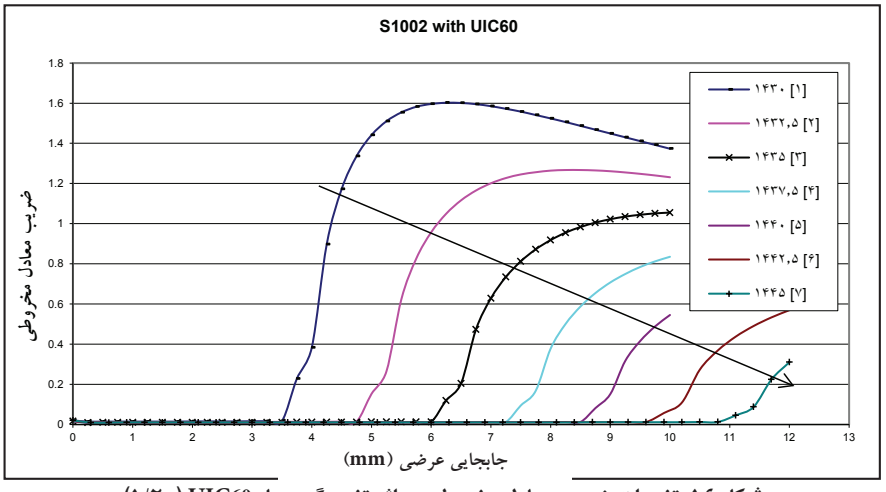
در روی این شکل نیز ناحیه‌ای از تاج پروفیل چرخ که در اثر حرکت محور به سمت چپ تحت پوشش قرار می‌گیرد با علامت



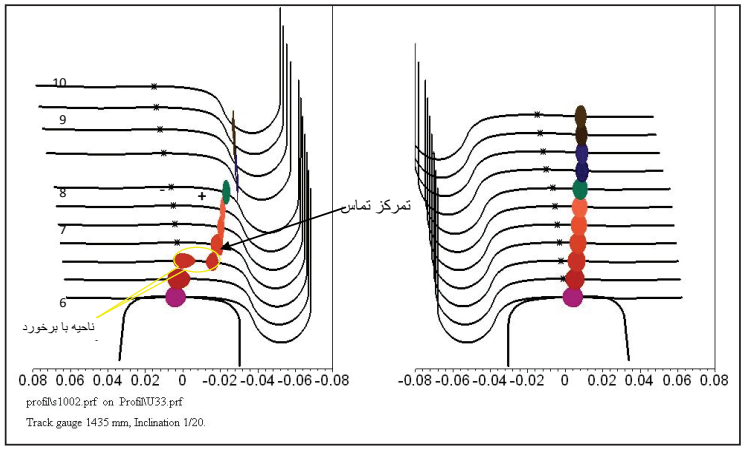
شکل ۱۲. تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر تغییر گیج ریل U33 (۱/۲۰)



شکل ۱۳. تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر تغییر گیج ریل R50 (۱/۲۰)



شکل ۱٤. تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر تغییر گیج ریل UIC60 (۱/۲۰)

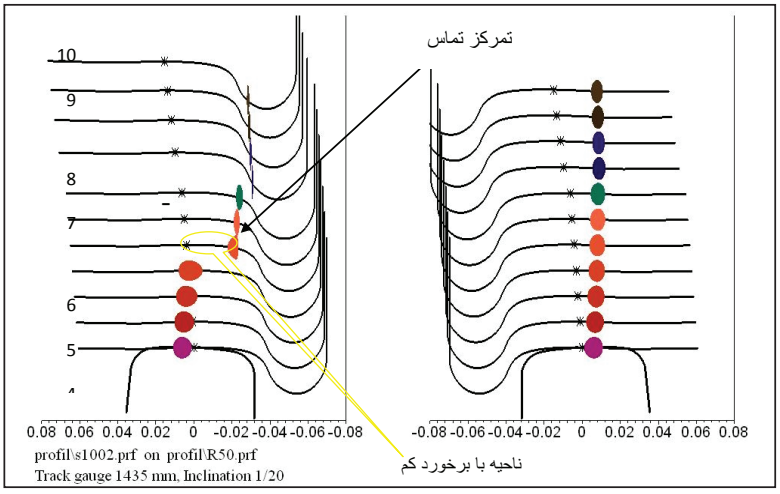


شکل۱۵. سطح تماس بین پروفیل چرخ S1002 و U33 (۱/۲۰) در اثر جابجایی ۱۰ میلیمتر

مثبت و ناحیه‌ای که در اثر حرکت محور به سمت راست تحت پوشش قرار می‌گیرد با علامت منفی نشان داده شده است. در محدوده مثبت بایستی ناحیه‌ای با برخورد کم را که به دلیل جهش ایجاد می‌شود نیز در نظر گرفت که باعث کاهش عملی این محدوده می‌شود. بنابر این پوشش سطح تاج پروفیل S1002 در ریل R50 (۱/۲۰) کمتر از U33 (۱/۲۰) است.

شکل ۱۷ ناحیه برخورد بین چرخ S1002 و ریل UIC60 (۱/۲۰) را در جابجایی عرضی ۱۰ میلیمتر کرده است. با توجه به شکل در جابجایی حدود ٦ میلیمتر یک جهش موضعی اتفاق افتاده است. با توجه به نمودار شکل ۸ در ناحیه مربوط به جابجایی حدود ٦/۰۹ میلیمتر به دلیل ایجاد اختلاف شعاع زیاد تمرکز تماس اتفاق خواهد افتاد که در شکل نشان داده شده است.

از روی شکل ۱۷ کاملا مشخص است که برخورد در دو ناحیه خاص متمرکز خواهد بود. از ناحیه تاج چرخ صرفا مرکز تاج و یا فلنج تحت برخورد خواهد بود. این موضوع تمرکز برخورد وسایش در تاج ریل و سطح جانبی ریل را به دنبال خواهد داشت. شکل ۱۸ نمونه ای از ریل ساییده شده در مسیر تهران گرمسار را نشان می‌دهد که این موضوع را ثابت می‌کند. بنابراین پوشش سطح تاج پروفیل S1002 در ریل UIC60 (۱/۲۰) کمتر از هر دو ریل U33 (۱/۲۰) و R50 (۱/۲۰) است.



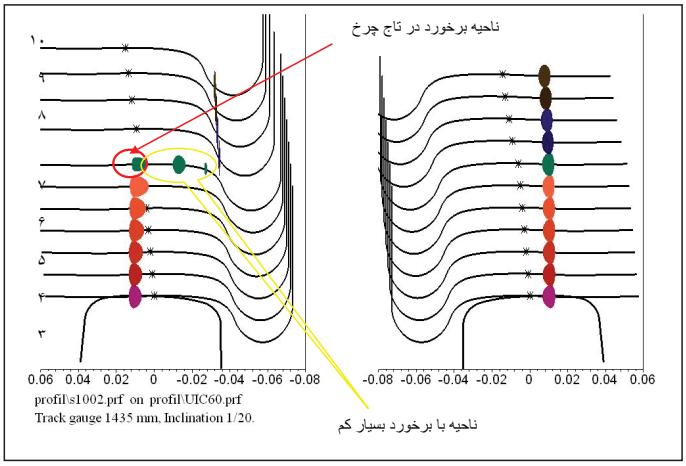
شکل۱٦. سطح تماس بین پروفیل چرخ S1002 و R50 (۱/۲۰) در اثر جابجایی ۱۰ میلیمتر

شکل ۱۸. ریل UIC60 (۱/۲۰) در مسیر مستقیم تهران گرمسار

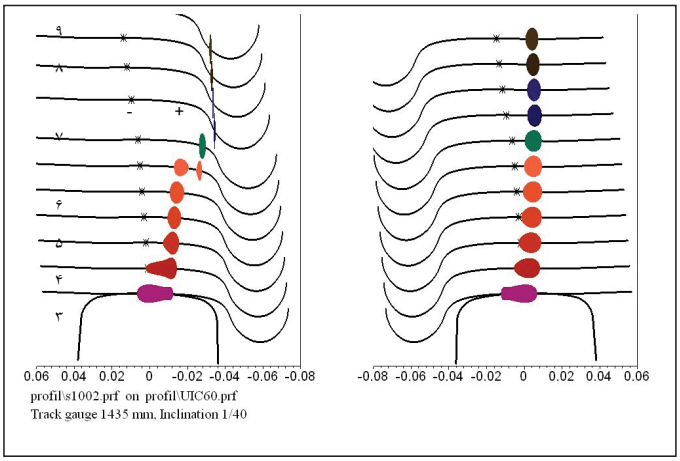
شکل ۱۹ وضعیت استاندارد را نشان داده است. با توجه به شکل، جهش موضعی در جابجایی حدود ۵ میلیمتر به صورت محدود اتفاق افتاده است. به صورت دقیق تر، با توجه به نمودار شکل ۸ در ناحیه مربوط به جابجایی حدود ٤/۸ میلیمتر مقدار اختلاف شعاع غلتشی دچار جهش شده است که در محدوده قوسهای ۲۰۰ – ٤۰۰ میلیمتر تمرکز ایجاد خواهد کرد که بسیار محدود است. در وضعیت استاندارد، بهترین پوشش سطح چرخ و ریل امکان پذیر خواهد بود. در کلیه شکلها جنس چرخ و ریل وشعاع چرخها با مشخصات محور یکسان در نظر گرفته شده‌اند و سطح مقطع تماسی بزرگ برای چرخ و ریل نشانگر تنش تماسی کمتر است که با توجه به اشکال ۱۵، ۱٦، ۱۷ و ۱۹، وضعیت استاندارد تنش بسیار کمتری را در مسیر مستقیم اعمال خواهد کرد.

٤. نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به دیاگرامهای ارایه شده، نتایج نه چندان خوبی از تحلیل وضعیت موجود در کشور به دست آمده است. از بین پروفیل‌های مورد بررسی، بدترین شرایط برای پروفیل خطوط جدید (UIC60 با شیب ۱/۲۰) است. این امر لزوم اقدامات سریع را مورد تاکید قرار می‌دهد.



شکل۱۷. سطح تماس بین پروفیل چرخ S1002 و اثر UIC60 (۱/۲۰) در جابجایی ۱۰ میلیمتر



شکل۱۹. سطح تماس بین پروفیل چرخ S1002 و UIC60 (۱/٤۰) در اثر جابجایی ۱۰ میلیمتر

با تحلیل برخورد پروفیل چرخ S1002 با سه نوع پروفیل ریل ایران که با شیب ۲۰/۱ ساخته شده‌اند نتایج زیر به دست آمده اند:

• هیچکدام از ریلهای مورد تحلیل رفتار قابل قبولی ندارند.

• پروفیل ریل U33 از نظر دیاگرام ضریب معادل مخروطی با وضعیت مطلوب هماهنگی ندارد. نسبت به تغییرات شیب و گیج بسیار حساس است. در محدوده وسیعی از قوسها دارای نقطه تماس متمرکز است.

• پروفیل ریل R50 از نظر دیاگرام ضریب معادل مخروطی باوضعیت مطلوب هماهنگی ندارد. نسبت به تغییرات شیب بسیار حساس است. در محدوده وسیعی از قوسها دارای نقطه تماس متمرکز است و پوشش مناسبی بر روی پروفیل چرخ و ریل ندارد.

• پروفیل ریل UIC60 از نظر دیاگرام ضریب معادل مخروطی با وضعیت مطلوب به هیچ عنوان هماهنگی ندارد. در محدوده وسیعی از قوسها دارای نقطه تماس متمرکز است و پوشش مناسبی بر روی پروفیل چرخ و ریل ندارد.

• متاسفانه بررسی نمودارها در هر سه ریل نشانگر این است که ریلهای جدید کاملا از نظر ساختاری متفاوت اند و ارایه پروفیل چرخ یکسان برای هر سه ریل بسیار دشوار خواهد بود.

با توجه به مجموعه نتایج فوق و در نظر گرفتن اهمیت موضوع پیشنهادات زیر ارایه می‌شوند:

– به دلیل اینکه تغییر پروفیل چرخ کم هزینه‌تر است، در اسرع وقت پروفیل چرخ مناسبی برای خطوط موجود که ترکیب متفاوتی از انواع ریل هستند، ارایه شود.

– با توجه به نمودارهای حساسیت برای پروفیلها بایستی با اندازه‌گیریهای دقیق کیفیت خطوط موجود بررسی شده و تعیین شود.

–با توجه به لزوم داشتن الگوی کلی برای توسعه خطوط، نیاز به بررسی دقیق برای یافتن بهترین طرح برای کشور کاملا مشخص است.

– تحقیقات کامل‌تر بر روی پروفیل چرخ و پروفیل ریل بهمراه جنس و سختی مناسب، نیاز به آزمایشات میدانی و اندازه–برداریهای دقیق بر روی ناوگان موجود دارد و در یک تحقیقات دامنه‌دار می‌توان شرایط مطلوب برای کشور را ارایه داد.

۵. مراجع

آشفته، رؤیا سادات (۱۳۸٦) "عوامل موثر در تعیین عمر چرخ واگنهای راه‌آهن"، نشریه پیام رجا، سال هشتم، شماره بیست و سوم، شهریور.

اسدی لاری، علی و علیزاده کاکلر، جواد (۱۳۸۸) " تأثیر بهبود رفتار سایشی چرخ های فولادی بر ایمنی سیر قطار"، فصلنامه علمی–پژوهشی مهندسی حمل و نقل، سال اول شماره اول، ص. ۱–۹

- Esveld, C. (2001) "Modern railway track", MRT-Production.

- International Heavy Haul Association (2001) "Guidelines to best practice for heavy haul railway operations: wheel and rail interface issues".

- Jahed, H., Farshi, B., Eshraghi, A. and Nasr, A. (2008) "A numerical optimization technique for design of wheel profiles", Wear, Vol. 264, No. 1-2, pp. 1-10.

- Kondrashov, V., Maksimov, I and Galperin, V. (1999) "Development of the wheel profiles of cars and locomotives for the existing railways for reduction of wear of wheel flanges and lateral surfaces of rail", International Heavy Haul Association's 1999 Moscow, Russia.

- ORE (ERRI)(1976) "Geometry of the contact between wheelset and track – equivalent conicity values for wheelsets in service", ERRI , 1976-04-01.

- ORE (ERRI) (1973) "Geometry of the contact between wheelset and track – methods of measurement and analysis", ERRI, 1973-10-01.

- ORE (ERRI) (19730) "Recommendations concerning an universal wheel profile adapted to wear valid regardless of the wheel diameter and the type of vehicle", ERRI, 1973-04-01.

- Shevtsov, I. V. , Markine, V. L. and Esveld, C. "Optimal design of wheel profile for railway vehicles", 6th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems, Sweden, 2003.

- Shevtsov, I.Y. (2008) "Wheel/rail interface optimization", Ph.D.Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.

- Ushkalov, V. F. (1999) "Effect of the wheel profile on dynamics of rail vehicle and wear of the wheel/rail contact pair", International Heavy Haul Association's 1999 Moscow, Russia.