

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

حبيب اله ملاطفي (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: ۹۰/۰۴/۳۰ 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 گيج 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. ریل U33 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 گيج 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 به نوبه 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 (شکل ۱).

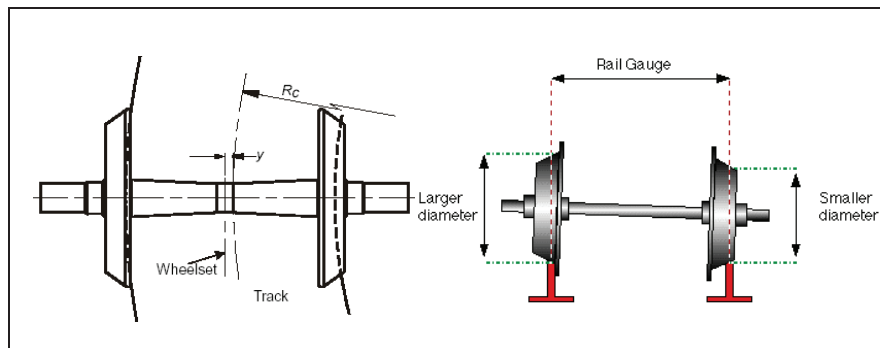
پژوهشهای بعدی نشان دادند که سطح مخروطی چرخها پس از اندکی سایش به یک شکل پایدار تبدیل می‌شود که دارای عمر زیادی بوده و می‌تواند جایگزین چرخهای ساده مخروطی شود. با بررسیهای مشابه بر روی ریل، برای سطح مقطع چرخ و ریل

سطوح خاصی به عنوان پروفیل ارایه شده‌اند (شکل ۲).

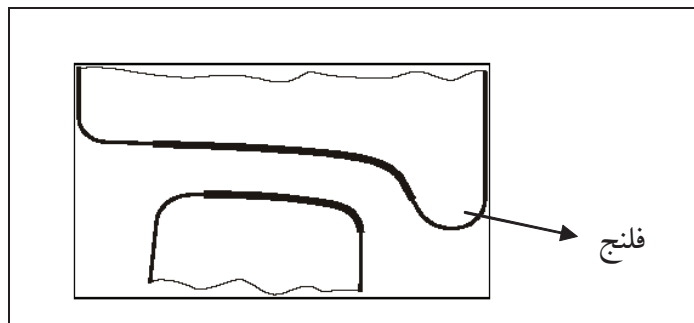
پروفیل چرخ با شکل مخروطی، عاملی است که باعث می‌شود در طی یک مسیر، اگر جابجایی جانبی ناچیزی وجود داشته باشد، یک نیرو به سمت مرکز بر مجموعه چرخ و محور اعمال شود که باعث برگشت مجموعه به مکان اولیه خود و جبران جابجایی می‌شود. همچنین اعمال این نیرو باعث سازگاری شعاعی بیشتر مجموعه چرخ و محور در منحنیها خواهد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

وجود فلنج چرخ در لبه 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 "تأثیر مستقیم در سطح مقطع، تماس بین چرخ و ریل و



شکل ۱. اختلاف شعاع دو چرخ یک محور در اثر جابجایی عرضی



شکل ۲. چرخ و ریل با پروفیلهای سایشی

در حال ارائه 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 ارائه 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 ارائه شده است.

- ۱- تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر جابجایی جانبی چرخ و محور
- ۲- مقدار حساسیت در اثر تغییر گنج و شیب ریل

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 (هانینگ)، 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 تأثیر آن 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 ارائه کرده‌اند می‌توان به ERII 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 ارائه 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 ارائه 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.

اسولد از دانشگاه TU-Delft هلند، پژوهشهای دقیقی در زمینه پروفیل چرخ و ریل انجام داده است و در آخرین کارهای خود

پروفيل آنها دارد. تماس در محدوده جابجاييهاي چرخ و محور تا حد امکان بايستي يك نقطه اي 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 و ریل خواهد شد. این جهش به صورت تکانه‌های دینامیکی، کل سازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هر مقطع از چرخ به صورت دائم تحت تاثیر بارهای تکراری است و شکل پروفیلها بايستي 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 ۴، 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.

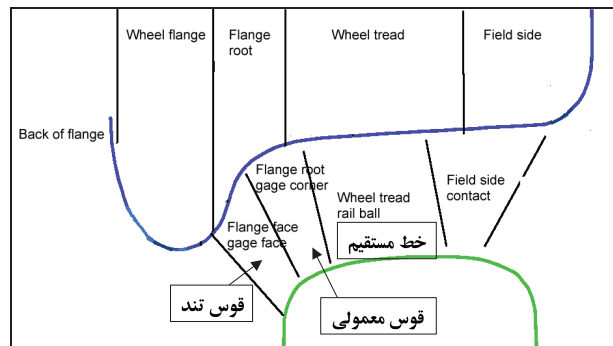
شکل ۵ سه پروفیل ریل را نشان داده است. هر سه ریل برای خطوط ایران با شیب ۱/۲۰ طراحی شده‌اند. گیبج استاندارد کشور نیز ۱۴۳۵mm است.

در کنار سه وضعیت موجود در خطوط ایران نمودارهای مربوط به پروفیل UIC60 با شیب ۱/۴۰ که در استاندارد UIC برای پروفیل S1002 سفارش شده نیز تحت عنوان استاندارد ارایه شده است.

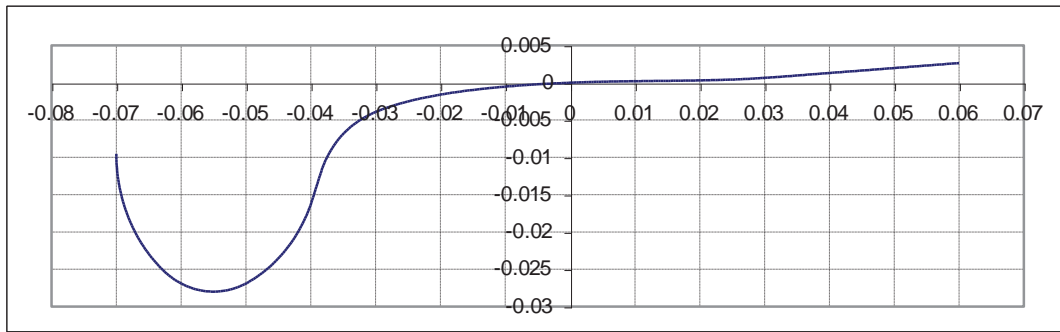
۳- تعداد نقاط تماس، جهش‌های موضعی و پوشش مناسب سطح چرخ و ریل

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. شکل ۳، 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 بايستي ضریب مخروطی معادل در این ناحیه بین ۰/۲ تا ۰/۶ باشد و در ناحیه سوم مقادیر بیشتر، لازم خواهد بود [Shevtsov, Markine and Esveld, 2001].

شیب زیر ریل و گیبج 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 بايستي 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



شکل ۳. طراحی نقاط تماس چرخ و ریل در انواع مسیرها



شکل ۴. پروفیل چرخ S1002

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 $0/15$ 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 $0/2$ میلیمتر اختلاف شعاع وجود داشته باشد، محور با پروفیل U33؛ $1/45$ میلیمتر، با پروفیل R50؛ $2/5$ میلیمتر و با پروفیل UIC60 بیش از 6 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 $0/48$ میلیمتر است.

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

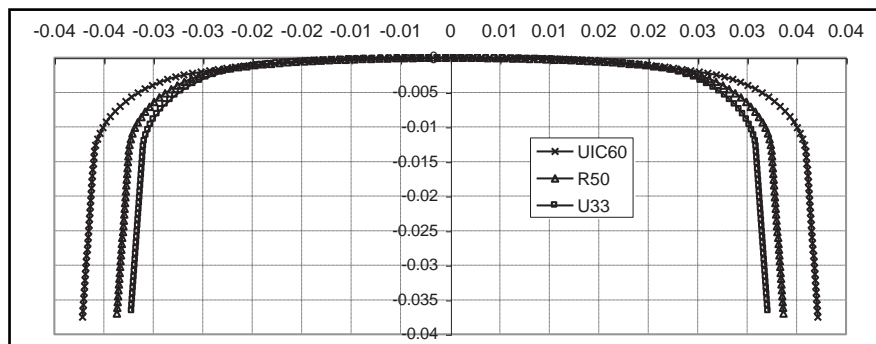
۳. نمودارها

۳-۱ نمودار ضریب معادل مخروطی و اختلاف شعاع

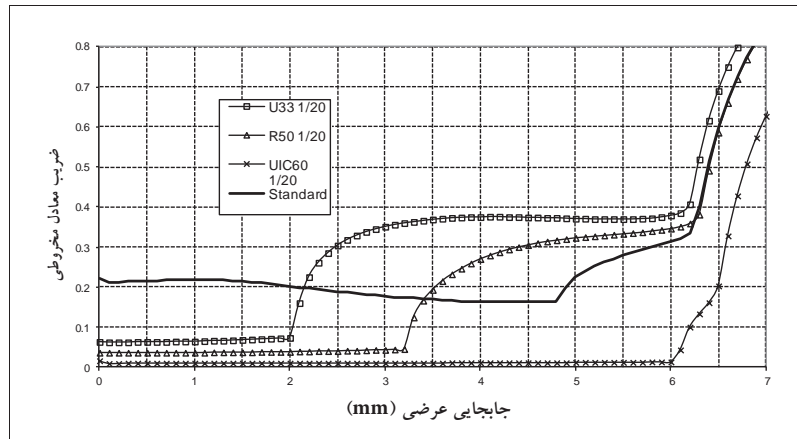
شکل ۶، نمودار ضریب معادل مخروطی را برای چهار حالت نشان می‌دهد. با توجه به شکل، شرایط موجود تفاوت بسیاری با شرایط استاندارد دارند.

پروفیل U33 تا جابجایی 2 میلیمتر دارای ضریب معادل حدود $0/07$ است که از حد مورد قبول ($0/15-0/2$) فاصله بسیاری دارد. در فاصله 2 تا 3 میلیمتر این مقدار افزایش شدیدی پیدا کرده و به مقدار $0/38$ 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.

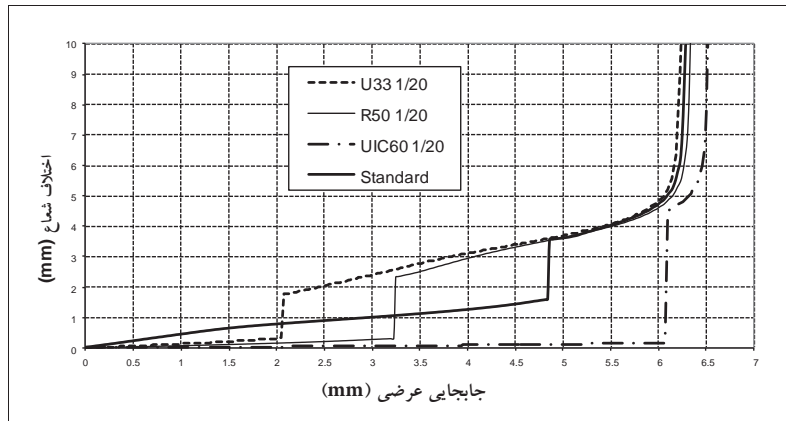
پروفیل R50 نیز دارای وضع مشابهی است، با این تفاوت که تا حدود $3/3$ میلیمتر این ضریب حدود $0/04$ بوده و پس از آن در در فاصله $3/3$ تا 5 میلیمتر این مقدار افزایش پیدا کرده و به مقدار $0/38$ رسیده و ثابت می‌ماند. به عبارت دیگر در این پروفیل نیز مقدار ضریب معادل مخروطی در ناحیه تاج چرخ دارای مقادیری



شکل ۵. پروفیل‌های ریل



شكل ٦. نمودارهای ضريب معادل مخروطي



شكل ٧. نمودار اختلاف شعاع بين چرخ‌های چپ و راست محور در اثر جابجایی عرضی

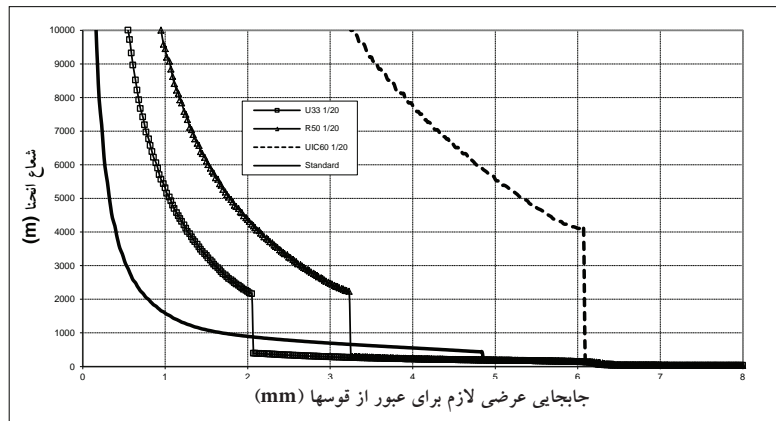
چرخ و ریل بایستی چنان انتخاب شوند تا در برابر تغییرات محدود گيج و شیب ریل دچار تغییرات شدید نشوند. با توجه به شکل ٩ در ریل U33 با افزایش شیب از $0/0$ ($1/∞$) تا $0/05$ ($1/20$) بیشترین تغییرات در ضريب معادل مخروطی تا جابجایی عرضی ٢ میلیمتر اتفاق می‌افتد. در این ناحیه تغییرات به صورت کاملاً غیر خطی است و با افزایش شیب ریل، ضريب معادل مخروطی افزایش و سپس کاهش بسیار شدیدی پیدا می‌کند. این ضريب برای شیب $0/035$ تا مقدار $0/9$ 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.

شكل ١٠ ریل R50 را مورد بررسی قرار داده است. با افزایش شیب از $0/0$ ($1/∞$) تا $0/05$ ($1/20$) بیشترین تغییرات در ضريب معادل

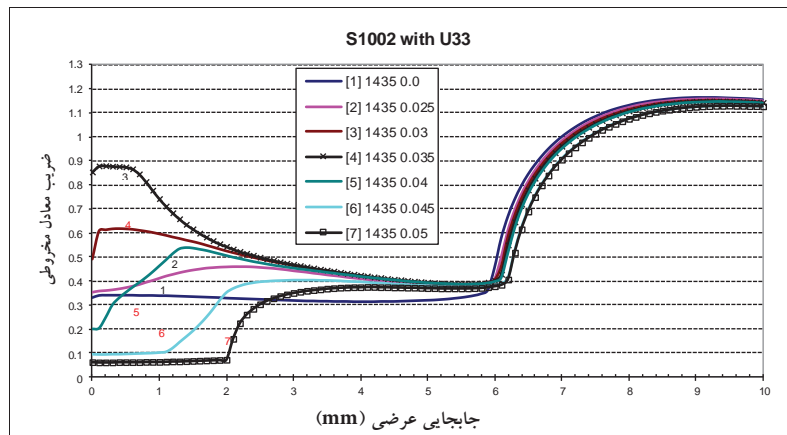
محور است و این خود نیازمند جابجایی عرضی است. شكل ٨ نشان می‌دهد که در پروفیل U33 برای قوسهای بین ٢٢٠ تا ٤٠٠ میلیمتر جابجایی عرضی چرخ و محور حدود $2/07$ میلیمتر ثابت می‌ماند و به عبارتی در این ناحیه متمرکز خواهد بود. در پروفیل R50 برای قوس‌های ٢٣٠٠-٣٠٠٠ میلیمتر این مقدار حدود $3/25$ میلیمتر است. با توجه به شكل ٨ در پروفیل UIC60 برای قوسهای ٤٠٠-١٤٢ میلیمتر، حدود $6/09$ 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 تقریباً وجود ندارد و نمودار با تغییرات یکنواخت رفتار مناسبی را نشان می‌دهد.

٣-٢ نمودار حساسیت برای پروفیلها

در ریل واقعی مقدار گيج 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



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



شکل ۹. تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر تغییر شیب ریل U33

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 نسبتاً زیادی از خود نشان می‌دهد. ریل UIC60 تغییری در ناحیه تاج نداشته است.

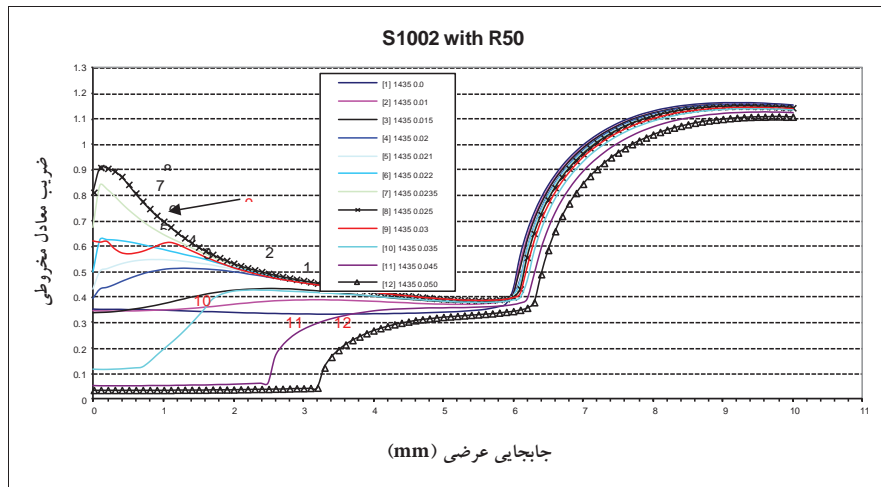
از نتایج این نمودارها جهت برآورد شرایط کنونی در خطوط ریلی می‌توان استفاده کرد و معایب هر خطی با توجه به نوع ریل دارای زوایای خاصی خواهد بود. کاهش گیج در خطوطی با پروفیل U33 به اندازه ۱/۵ میلیمتر بر روی ضریب معادل مخروطی تاثیری همانند کاهش گیج به اندازه ۲/۵ میلیمتر در خطوطی با ریل R50 دارد.

۳-۳ تعداد نقاط تماس، پوشش سطح و جهش‌های موضعی برخورد بین چرخ و ریل کاملاً 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

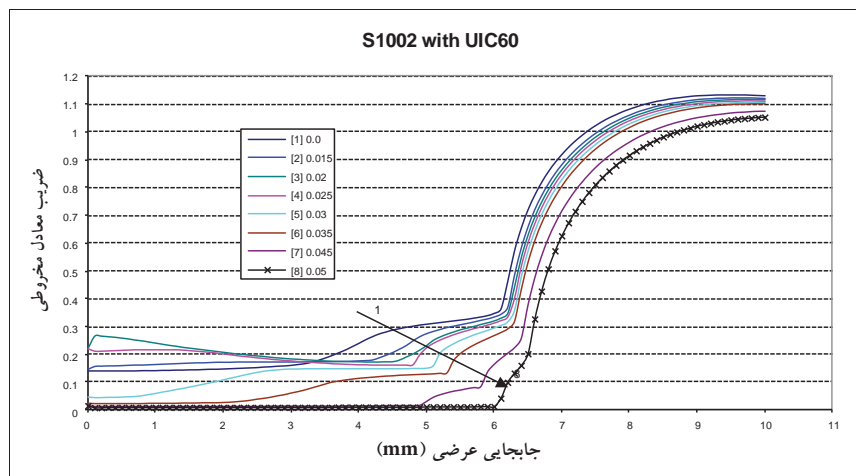
مخروطی تا جابجایی عرضی ۳mm اتفاق می‌افتد. رفتار در این ناحیه مشابه با ریل U33 است و این ضریب برای شیب ۰/۰۲۵ (۱/۴۰) تا مقدار ۰/۰۹ افزایش پیدا کرده است که می‌تواند بسیار نامطلوب باشد. این دیاگرام نشان می‌دهد که شرایط بهره‌برداری می‌تواند بسیار بحرانی باشد و سازه به شدت دچار ناپایداری گردد. ریل UIC60 در 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 [۴] 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 ۱۴ تغییرات نمودار ضریب معادل مخروطی



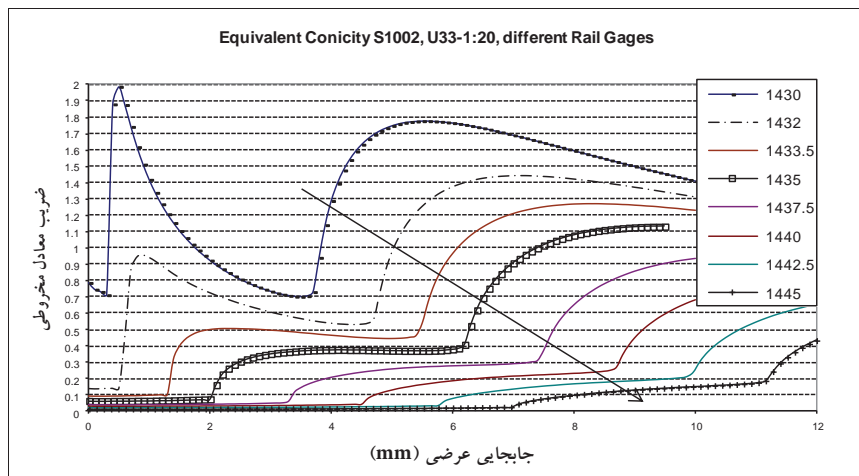
شکل ۱۰. تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر تغییر شیب ریل R50



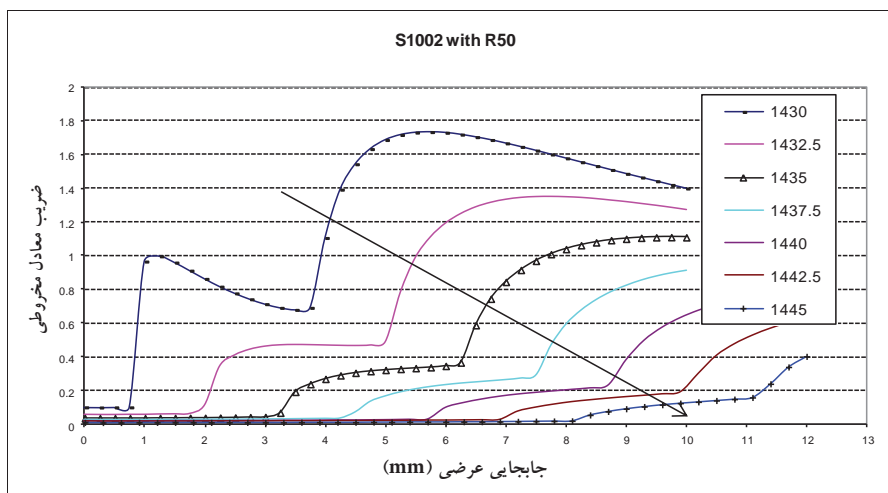
شکل ۱۱. تغییرات ضریب معادل مخروطی در اثر تغییر شیب ریل UIC60

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 ۴ 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

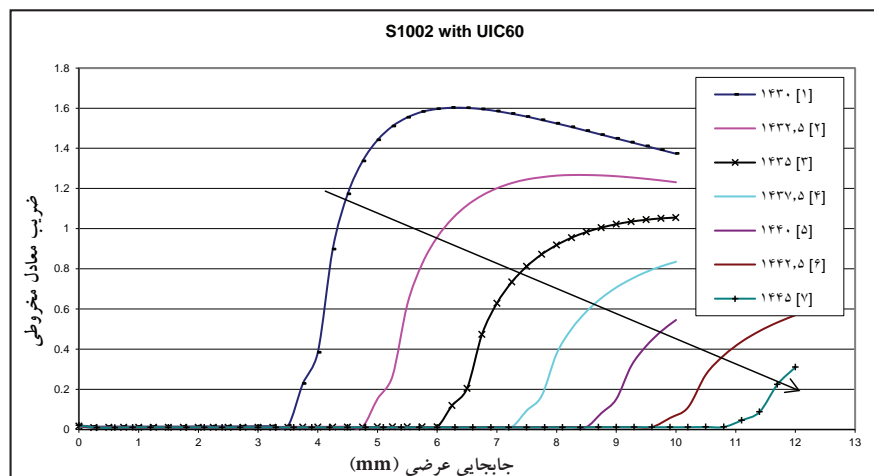
نقاط تماس خواهد شد. آزمایشها نشان داده است که بین چرخ و ریل تا سه نقطه تماس امکان پذیر است. شکل ۱۵ ناحیه برخورد بین چرخ S1002 و ریل U33 (۱/۲۰) را در جابجایی عرضی ۱۰ میلی‌متر ارایه کرده است. با توجه به شکل، در جابجایی حدود ۲ میلی‌متر، یک جهش موضعی اتفاق افتاده است. با توجه به نمودار شکل ۸ در ناحیه مربوط 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



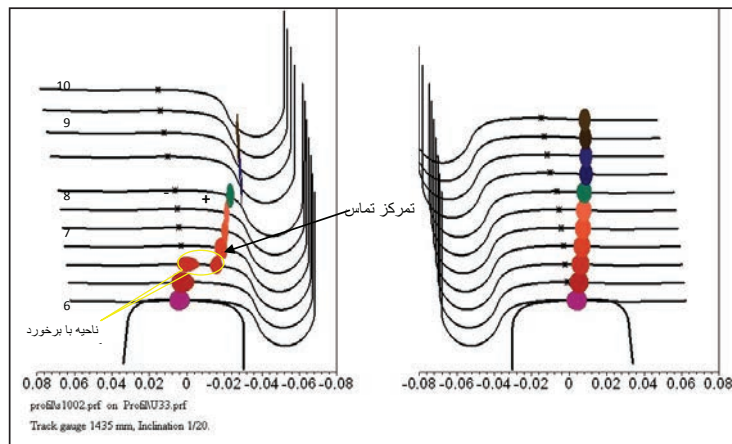
شکل ۱۲. تغییرات ضرب معادل مخروطی در اثر تغییر گیج ریل U33 (۱/۲۰)



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



شکل ۱۴. تغییرات ضرب معادل مخروطی در اثر تغییر گیج ریل UIC60 (۱/۲۰)

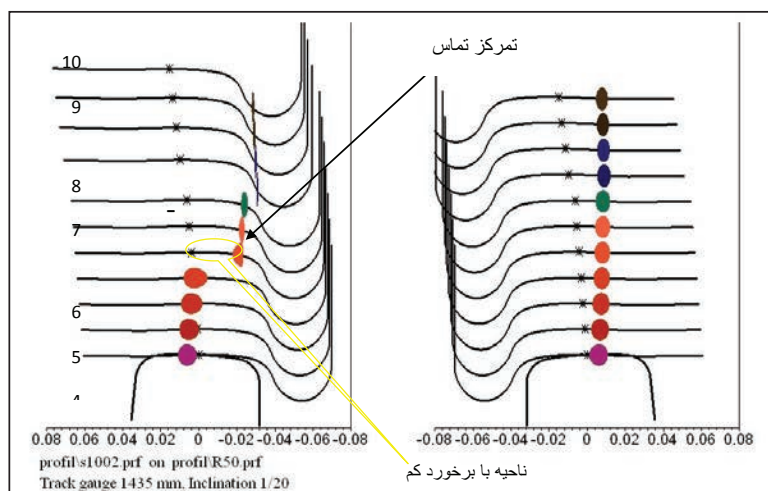


شکل ۱۵. سطح تماس بین پروفیل چرخ S1002 و U33 (۱/۲۰) در اثر جابجایی ۱۰ میلیمتر

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 ۶ میلیمتر یک جهش موضعی اتفاق افتاده است. با توجه به نمودار شکل ۸ در ناحیه مربوط به جابجایی حدود ۶/۰۹ میلیمتر به دلیل ایجاد اختلاف شعاع 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 هر دو ریل U33 (۱/۲۰) و R50 (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 ۶ میلیمتر یک جهش موضعی اتفاق افتاده است. با توجه به نمودار شکل ۸ در ناحیه مربوط به جابجایی حدود ۶/۰۹ میلیمتر به دلیل ایجاد اختلاف شعاع



شکل ۱۶. سطح تماس بین پروفیل چرخ S1002 و R50 (۱/۲۰) در اثر جابجایی ۱۰ میلیمتر

- ۴۰۰ 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، ۱۶، ۱۷ و ۱۹، وضعیت استاندارد تنش بسیار کمتری را در مسیر مستقیم اعمال خواهد کرد.

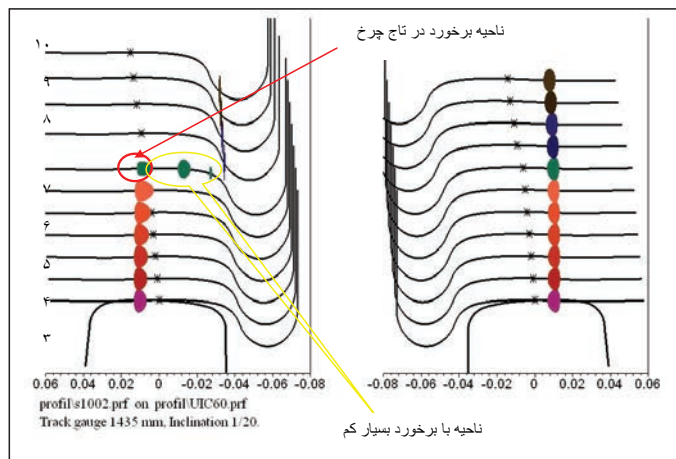


شکل ۱۸. ریل UIC60 (۱/۲۰) در مسیر مستقیم تهران گرمسار

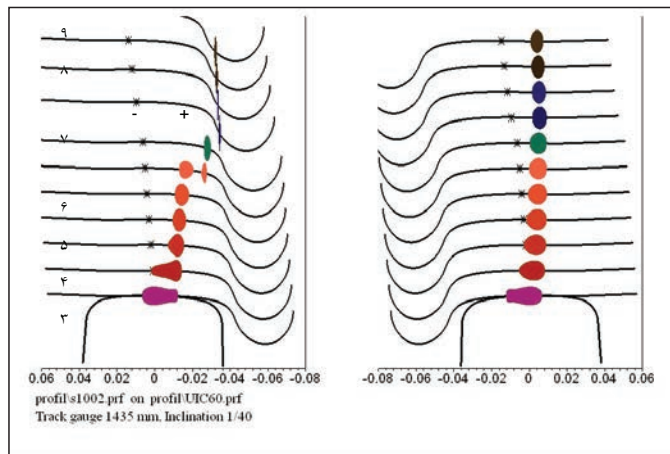
شکل ۱۹ وضعیت استاندارد را نشان داده است. با توجه به شکل، جهش موضعی در جابجایی حدود ۵ میلیمتر به صورت محدود اتفاق افتاده است. به صورت دقیق تر، با توجه به نمودار شکل ۸ در ناحیه مربوط به جابجایی حدود ۴/۸ میلیمتر مقدار اختلاف شعاع غلتشی دچار جهش شده است که در محدوده قوسهای ۲۰۰

۴. نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به دیگرامهای 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.



شکل ۱۷. سطح تماس بین پروفیل چرخ S1002 و اثر UIC60 (۱/۲۰) در جابجایی ۱۰ میلیمتر



شکل ۱۹. سطح تماس بین پروفیل چرخ S1002 و UIC60 (۱/۴۰) در اثر جابجایی ۱۰ میلیمتر

واگنهای راه آهن"، نشریه پیام رجا، سال هشتم، شماره بیست و سوم، شهریور.

اسدی لاری، علی و عزیزاده 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. ۹-۱

- 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.

با تحلیل برخورد پروفیل چرخ S1002 با سه نوع پروفیل ریل ایران که با شیب ۲۰/۱ ساخته شده اند 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 گنج بسیار حساس است. در محدوده وسیعی از قوسها دارای نقطه تماس متمرکز است.

• پروفیل ریل R50 از نظر دیاگرام ضریب معادل مخروطی با وضعیت 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 کاملاً 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 می شوند:

- به دلیل اینکه تغییر پروفیل چرخ کم هزینه تر 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 اندازه گیریهای 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 کاملاً مشخص است.

- تحقیقات کامل تر بر روی پروفیل چرخ و پروفیل ریل به همراه جنس و سختی مناسب، نیاز به آزمایشات میدانی و اندازه برداریهای دقیق بر روی ناوگان موجود دارد و در یک تحقیقات دامنه دار می توان شرایط مطلوب برای کشور را ارایه داد.

۵. مراجع

آشفته، رؤیا سادات (۱۳۸۶) "عوامل موثر در تعیین عمر چرخ