

تأثیر بهبود رفتار سایشی چرخ‌های فولادی بر ایمنی سیر قطار

مطالعه موردی: واگن مسافری مسیر تهران- میانه

علی اسدی لاری، استادیار دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، نارمک ۱۶۸۴۶
جواد عزیززاده کاکلر، دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی کاربردی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

Email: asadi_1@iust.ac.ir

چکیده

سامانه بین شهری حمل‌ونقل ریلی مسافری ایران به منظور افزایش طول عمر چرخ‌های فولادی خود، در دو سال گذشته برای اولین بار اقدام به استفاده از فولاد گرید B5T نموده است. در این مقاله رفتار سایشی این چرخ‌ها با استفاده از اندازه‌گیری میدانی مورد مطالعه قرار گرفته و تأثیر آن بر تداوم سیر ایمن قطار بررسی شده است. به این منظور یک واگن مسافری در سال ۱۳۸۷ پس از آماده سازی در مسیر تهران-میانه به سیر فرستاده شد. واگن مزبور در مدت سیر پنج ماهه خود تحت نظارت بوده و پروفیل (نیمرخ) چرخ‌های آن به طور متناوب در ایستگاه تهران اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که در مقایسه با گرید فولاد B2N که در سال ۱۳۸۲ در همین مسیر مورد مطالعه قرار گرفته بود، گرید فولاد B5T در یک مسافت برابر دارای میزان سایش کمتر (۴۰٪)، متقارن (با تفاضل ۲۵٪ در یک محور) و در نتیجه ایمنی سیر بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: چرخ فولادی، سایش، ایمنی سیر قطار

۱. مقدمه

و نگهداری چرخ‌ها افزوده است. تاکنون تحقیقات زیادی به منظور مقابله با نرخ زیاد سایش در چرخ‌های قطار صورت گرفته که تا حدودی نیز توانسته به حل این مشکل کمک نماید. شیوه‌های انجام مطالعه در این زمینه متفاوت بوده و شامل مدل‌سازی و بهینه‌سازی، شبیه‌سازی، آزمون‌های میدانی و تحلیل نظری می‌باشد. جاها و همکاران [۲] در مطالعه عددی خود، پروفیل IR1002 را به عنوان پروفیل چرخ بهینه و سازگار با خطوط و شرایط ریلی ایران معرفی نمودند. کریمی و همکاران [۳] با هدف کاهش اصطکاک در ناحیه فلنج چرخ و در نتیجه کاهش میزان سایش، به بازرسی سیستم‌های روانکاری در ناحیه جنوب و راه‌کارهای رفع خرابی موجود در آن‌ها پرداختند. ملاطفی [۴] از طریق مطالعه میدانی، تأثیر بوژی‌ها در سایش چرخ و نیز کارایی پروفیل BRP8 را در سیستم ریلی ایران مورد بررسی قرار داد.

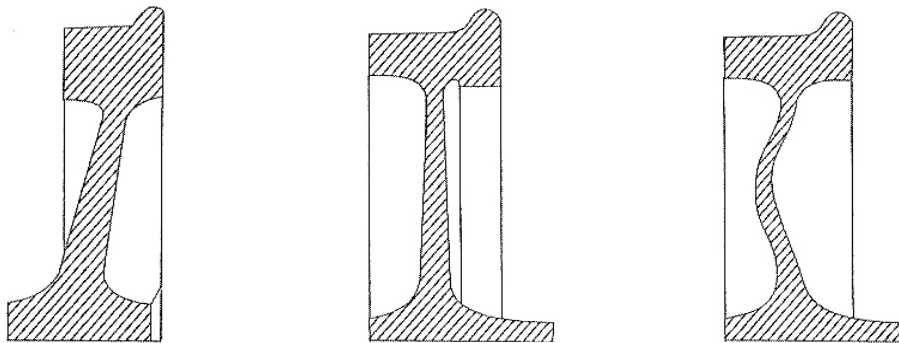
هندسه (پروفیل) چرخ یکی از عوامل رفتار سایشی به ویژه در ناحیه‌های لبه^۱ و غلتشگاه^۲ بوده و در تعیین شرایط خروج از خط تأثیرگذار است. در صورت بالا بودن میزان سایش چرخ‌ها احتمال خروج از خط واگن افزایش یافته و ایمنی سیر قطار به مخاطره می‌افتد. میزان زیاد سایش چرخ‌های قطار مسافری برای یک ناوگان محدود، یکی از مهمترین مشکلاتی است که راه‌آهن ایران همواره در سال‌های گذشته با آن روبه‌رو بوده، و عمدتاً به لحاظ اقتصادی و به ندرت از نظر ایمنی هزینه‌های هنگفتی را در پی داشته است. این میزان زیاد سایش که در برخی موارد به چند برابر نرخ سایش در خطوط ریلی اروپا می‌رسد (پنجاه هزار کیلومتر در مقایسه با یک میلیون کیلومتر کارکرد [۱])، به ویژه در مسیرهایی از شبکه ریلی مطرح است که دارای قوس‌های تند و به تعداد زیاد می‌باشد. به علاوه، سایش نامتقارن چرخ‌های دو طرف واگن نیز بر مشکلات تعمیر

باندازی به صورت چند تکه بوده و از دو قسمت اصلی طوقه^۴ (و زوار فولادی) و هسته تشکیل شده است. با سایش تدریجی طوقه و کاهش قطر، این بخش از روی هسته دمونتاز و جایگزین شده و چرخ نو مجدداً در سیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر باعث می‌گردد تا میزان ماده اسقاطی در چرخ‌های باندازی کمتر از منوبلوک باشد. انواع چرخ‌های منوبلوک و باندازی در شکل ۱ نشان داده شده است.

پارامترهای مختلفی بر سایش چرخ مؤثر بوده که بارها توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله این پارامترها می‌توان به هندسه تماس چرخ و ریل، بارگذاری استاتیکی و دینامیکی چرخ و ریل، قطر چرخ و خواص مکانیکی مواد چرخ اشاره نمود. از بین این موارد، و با توجه به تمایل شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران (رجا) به ثابت ماندن نوع پروفیل (S1002)، تمرکز این مطالعه بر تغییر جنس چرخ (طبق استانداردهای ریلی موجود) و بررسی اثر آن بر روند سایش از منظر ایمنی سیر می‌باشد.

اسدی لاری و کپور [۵] در مطالعه تجربی خود، سایش نامتقارن در چرخ‌های واقع در دو طرف قطار را نشان داده و به بررسی عوامل آن پرداختند. آن‌ها جهت رفع مشکل سایش نامتقارن و نیز دستیابی به میزان کاهش یافته سایش پروفیل، تغییر جبهه واگن در مقصد را در طول دوره آببندی^۳ چرخ پیشنهاد دادند. اسدی لاری و هاشمی [۶ و ۷ و ۸] در یک سلسله مقالات منتشره، رفتار شکست گریدهای مختلف فولادی مورد کاربرد در راه‌آهن ایران را با استفاده از آزمایش‌های منوتونیک مورد بررسی قرار دادند. از دیگر فعالیت‌های عملی انجام شده در ایران با هدف کاهش میزان سایش می‌توان به اصلاح خطوط با حذف قوس‌های تند، تعویض و تعمیر خطوط با عمر بالا و تعویض گرید فولاد ریل‌ها و چرخ‌های مورد استفاده در سیستم حمل‌ونقل ریلی ایران اشاره نمود.

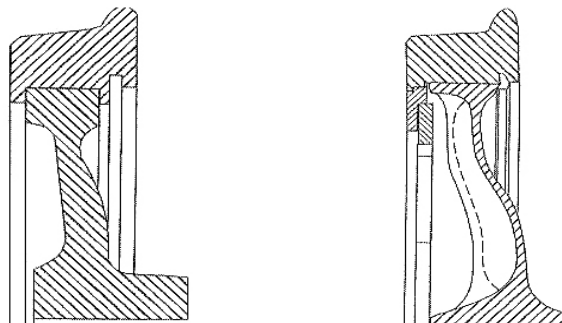
در بخش مسافری راه‌آهن ایران، دو نوع چرخ منوبلوک و باندازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع منوبلوک به صورت یک تکه بوده و با رسیدن قطر آن به یک حد مجاز در اثر سایش و تراش‌های متناوب، کل چرخ اسقاط می‌گردد. ولی نوع



چرخ مخروطی با هسته

هسته راست

چرخ مستقیم هسته S شکل



چرخ باندازی

چرخ باندازی و هسته موج‌دار

شکل ۱. نمایش انواع چرخ (الف) منوبلوک (ب) باندازی [۹]

۳. سایش و معرفی سازوکارهای آن

سایش، فرایند ناخواسته جدایش ذرات ماده ناشی از حرکت دو سطح تماس بارگذاری شده در حالت خشک است. این پدیده از چند دهه قبل تاکنون از هر دو دیدگاه متالورژیکی و مکانیکی مورد بررسی پژوهشگران متعددی قرار گرفته و علت عمده آن تحمیل هزینه هنگفت سالیانه بر بودجه مالی صنایع مختلف و از جمله راه‌آهن و نیز مخاطرات ایمنی مربوط به آن است.

سایش مطابق طبقه‌بندی کلی هاجینگز [۱۲] به چسبنده^۶، ساینده^۷ و لایه‌ای شدن^۸ تقسیم گردیده است. از دیدگاه مکانیک تماس، دو عامل تنش پسماند و میزان کرنش سختی، به مقدار استحکام تسلیم اضافه شده و قابلیت ماده را پس از اولین تماس افزایش می‌دهد. در مراجع علمی این ارتقای قابلیت، حد بهبودی الاستیک^۹ نامیده می‌شود [۵]. از همین دیدگاه به جدایش ذرات از سطح تماس ناشی از انباشتگی کرنش پلاستیک در یک راستا پس از اتمام قابلیت کشامد ماده، سایش گفته شده است. این سازوکار جدایش تدریجی ذرات سایشی یا رچتینگ^{۱۰} نام دارد. در راستای معرفی سازوکارهای سایش، مقالات متعددی توسط نویسندگان اصلی منتشر شده که می‌توان به مراجع [۱۳ و ۱۴] مراجعه نمود.

۴. آزمون میدانی میزان سایش

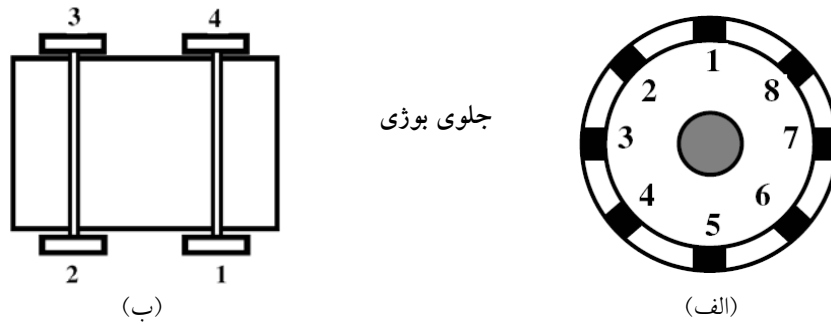
برای بررسی میدانی رفتار سایشی چرخ‌های فولادی B5T، ابتدا دو محور نو مجهز به گریدهای مورد نظر انتخاب شد. پس از آن چرخ - محورهای انتخابی با استفاده از دستگاه پروفیل تراش موجود در کارخانجات مکانیک شرکت قطارهای مسافری رجا براساس پروفیل استاندارد S1002 آماده گردید. برای حصول اطمینان از تأمین دقت مورد نظر استاندارد در مورد پروفیل به دست آمده، ابعاد هندسی چرخ‌های به قطر ۹۲۰ میلی‌متر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به منظور افزایش دقت اندازه‌گیری پروفیل در حین بهره‌برداری چرخ‌ها، محیط هر چرخ به هشت قسمت مساوی تقسیم و شماره‌گذاری شد (شکل ۱۲الف). در مورد هر چرخ، ابتدا در هر یک از هشت قسمت مشخص شده روی چرخ اندازه‌گیری پروفیل صورت گرفته و نهایتاً میانگین آن‌ها به عنوان پارامترهای مربوط به آن چرخ ثبت شد.

در چند سال اخیر، استفاده از چرخ‌هایی با گرید فولاد مرغوب‌تر به‌عنوان مهمترین راهکار کاهش نرخ سایش مدنظر قرار گرفته است. در همین راستا، از سال ۱۳۸۲ در کنار چرخ‌های با فولاد گرید B2N، چرخ‌های B3N نیز در راه‌آهن ایران مورد استفاده قرار گرفت که تغییر چندانی در میزان سایش به وجود نیاورد. به‌علاوه راه‌آهن ایران از سال ۱۳۸۵ اقدام به استفاده از چرخ‌های با فولاد گرید B5T نموده که از زمان استفاده این چرخ‌ها تاکنون، چگونگی سایش آن‌ها مورد ارزیابی جدی قرار نگرفته بود. هدف این مقاله، بررسی و تحلیل آزمون میدانی رفتار سایشی چرخ‌های گرید B5T در ایران و تأثیر آن بر سیر ایمن واگن است. بدین منظور، دو چرخ - محور^۹ نو روی یک بوژی با قاب و کلیه تجهیزات نو سوار شده و پس از نصب زیر یک دستگاه واگن در مسیر تهران - میانه که جزء مسیرهای پر قوس به حساب می‌آید، مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در طول سیر به‌طور متناوب پروفیل چرخ‌های این بوژی آزمایشی اندازه‌گیری شده و پس از جمع‌آوری و ثبت پروفیل‌ها به تحلیل آن‌ها پرداخته شده است.

۲. الزامات و شیوه‌های بررسی ایمنی سیر

به منظور اطمینان از سیر ایمن واگن، طبق استانداردهای موجود ریلی، ابعاد چرخ شامل پهنا، قطر و پروفیل باید دارای مقدار مجاز باشد که در ابتدای آماده‌سازی چرخ - محور در کارخانه مکانیک مورد سنجش قرار می‌گیرد. دو بعد آخری در پست بازدید توسط مأموران فنی به‌طور متناوب با استفاده از ابزار مناسب، فرمان ویژه (شابلن) و کولیس مرکب اندازه‌گیری می‌شود [۱۰]. در راه‌آهن ایران عمده توجه به ضخامت لبه چرخ می‌باشد که در صورت کاهش مقدار آن تا حد مجاز (۲۲ میلی‌متر طبق استاندارد ریلی)، امکان شکست لبه در حین قوس‌پیمایی به علت ایجاد نیروهای بزرگ جانب مرکز وجود دارد. در حالیکه کاهش شیب لبه (ریشه فلنج) به کمتر از ۶٫۵ میلی‌متر، چرخ امکان خروج از خط واگن را در محل قلب سوزن فراهم می‌آورد [۱۱].

عوامل دیگری نظیر هانتینگ (تشدید حرکت جانبی بوژی)، افزایش نسبت نیروهای جانبی به قائم (ضریب نادال) و نیز بی‌بار شدن چرخ ناشی از ناهمواری هندسی خط امکان خروج از خط واگن را فراهم می‌آورد. هم‌چنین کماتش خط می‌تواند به خروج از خط واگن بینجامد.



شکل ۲. (الف) نحوه تقسیم‌بندی و شماره‌گذاری محیط چرخ، اندازه‌گیری در نواحی سیاه رنگ انجام می‌شود. (ب) نحوه شماره‌گذاری چرخ‌ها نسبت به موقعیت آن‌ها روی بوژی

جدول ۱. مشخصات فنی واگن آزمایش [۵]

وزن سالن بدون (با) مسافر	حداکثر سرعت عملیاتی	فاصله مرکز تا مرکز دو بوژی	فاصله بین دو محور بوژی	کشور سازنده	ظرفیت مسافر	نوع واگن
۴۷ (۵۲) تن	۱۴۰ km/h	۱۹۰۰۰ mm	۲۵۰۰ mm	آلمان	۷۲	درجه ۱ اتوبوسی

می‌باشند. به منظور حذف عامل تماس کفشک ترمز بر روی طوقه چرخ، بوژی آزمایشی منتخب از نوع اکسپرس بوده که دارای سیستم ترمز دیسکی بر روی چرخ - محورها می‌باشند. در نهایت، بوژی تجهیز شده به وسایل نو، زیر واگن درجه یک اتوبوسی (معروف به آلمان شرقی) نصب و آماده بهره‌برداری آزمایشی در محور تهران - میانه شد. برخی مشخصات فنی واگن آزمایشی در جدول ۱ آمده است.

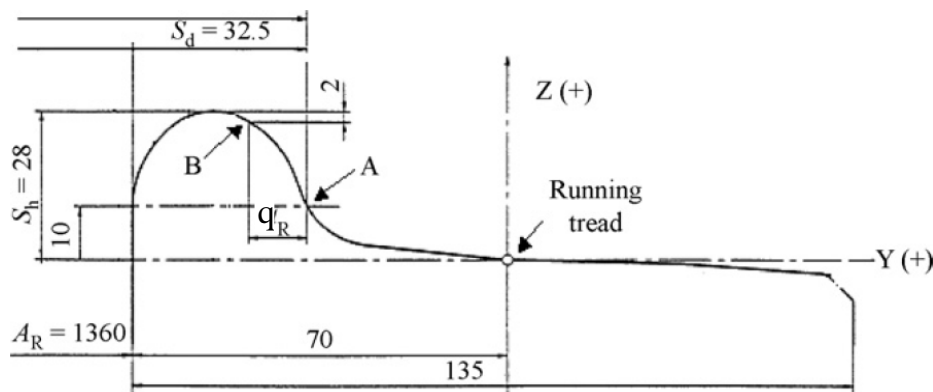
محور تهران - میانه علاوه بر دارا بودن قوس‌های زیاد برای بهره‌برداری واگن مورد مطالعه، فاقد دیوهای تعمیراتی در مسیر بوده و لذا می‌توان اطمینان داشت که هیچگونه تغییری در ساختار بوژی نوی مورد استفاده در تمام مدت انجام پروژه پیش نمی‌آید. مشخصات فنی مسیر تهران - میانه شامل طول، تعداد قوس، شعاع و طول قوس‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. حداقل و حداکثر میزان دور^{۱۱} در این مسیر ۱۷ و ۱۷۱ میلی‌متر می‌باشد. واگن مجهز شده به بوژی MD36 و چرخ‌های بانداژی B5T در تاریخ ۸۶/۱۲/۱ سیر خود را آغاز نمود. با آغاز سیر واگن، مرحله اندازه‌گیری و ثبت دوره‌ای تغییرات پروفیل چرخ‌های مورد نظر شروع شد. عملیات اندازه‌گیری پروفیل چرخ‌ها در دیپوی جلو ایستگاه تهران با استفاده از دستگاه پروفیل‌نگار^{۱۲} صورت می‌گرفت.

بوژی انتخاب شده برای این مطالعه از نوع MD36 و ساخت شرکت واگن پارس می‌باشد. برای کاهش تأثیر نقش تعمیرات بر کیفیت عملکرد بوژی و رفتار سایشی چرخ‌ها از قاب بوژی نو استفاده شد. علاوه بر این به منظور اطمینان از فقدان عیوب هندسی مانند خیز غیرمجاز و یا تابیدگی قاب (به ترتیب تیرهای طولی و عرضی اصلی در صفحات افقی و قائم)، در ابتدا قاب بوژی بر روی میز آزمایش طبق نقشه و دستورالعمل موجود، تحت اندازه‌گیری ابعادی قرار گرفت. آنالیز ابعادی، صحت اندازه‌های قاب بوژی منتخب را تأیید نمود.

در مرحله بعد، مونتاژ چرخ - محورها پس از پروفیل تراشی چرخ‌های آن‌ها روی بوژی آزمایشی انجام پذیرفت. برای مونتاژ چرخ - محور و بوژی از اجزای نو در سامانه تعلیق استفاده شد تا بتوان با حذف تأثیر لقی اجزا، خستگی فنرها و تابیدگی قاب بوژی کارکرده، با اطمینان بیشتری به نتایج مطالعه استناد نمود. همچنین با توجه به نقش یاتاقان‌ها به عنوان رابط نیروهای اعمالی از سوی بوژی به چرخ - محورها (و سپس توزیع بار روی ریل)، علاوه بر انتخاب رولر برینگ‌های نو، سعی شد تا کار مونتاژ آن‌ها نیز با نظارت دقیق صورت پذیرد. در یکی از انواع سامانه ترمزگیری، ترمزهای کفشکی با توجه به تماس مستقیم با سطح چرخ، علاوه بر تولید گرمای زیاد و احتمال ایجاد ترک‌های حرارتی، در فرایند سایش چرخ نیز مؤثر

جدول ۲. برخی مشخصات آماری قوس‌های مسیر تهران-میانه [۱۵]

درصد تفاضل طولها (%)	طول قوس‌ها (متر)	تعداد قوس راست گرد	طول قوس‌ها (متر)	تعداد قوس چپ گرد	شعاع قوس (متر)
۱۰/۰	۵۲۲۸	۲۳	۵۸۰۹	۲۶	کمتر از ۳۰۰
۸/۰	۶۰۳۶	۲۶	۶۵۸۷	۲۵	۳۰۰ تا ۵۰۰
-۵۱/۴	۴۹۹۸	۱۸	۳۳۰۰	۱۳	۵۰۰ تا ۸۰۰
-۱۴/۳	۱۳۹۹۳	۳۹	۱۲۲۳۶	۳۳	۸۰۰ تا ۲۰۰۰
۳۴/۹	۳۵۶۰	۱۳	۵۴۷۵	۱۵	۳۰۰۰
-۱/۲	۳۳۸۱۵	۱۱۹	۳۳۴۰۷	۱۱۲	مجموع



شکل ۳. پروفیل استاندارد S1002 و نمایش پارامترهای سایش، S_h ، S_d و q_R ، اندازه‌ها برحسب میلی‌مترند [۱۰]

۵. ثبت اطلاعات میدانی

دوره، در فواصل زمانی کوتاه‌تری صورت گرفت. پس از شکل‌گیری پروفیل سایشی، یعنی تقریباً از یک کیلومتر سیر بیست هزار به بعد، عملیات داده‌برداری در بازه‌های طولانی‌تری انجام پذیرفت، به طوری که بر حسب شرایط هر هفته یکبار این کار صورت گرفته و مقادیر ثبت می‌شد.

از پروفیل ثبت شده توسط دستگاه پروفیل‌نگار و مقادیر محاسبه شده توسط آن، سه پارامتر ارتفاع فلنج چرخ یا S_h ، ضخامت فلنج یا S_d و ضخامت ریشه فلنج یا q_R طبق شکل ۳ پارامترهایی هستند که برای تعیین رفتار سایشی چرخ توسط استاندارد ریلی تعیین شده‌اند [۱۰].

خلاصه‌ای از مقادیر S_h و q_R برحسب کیلومتر سیر برای هر چهار چرخ مورد مطالعه در جدول ۳ گردآوری شده است. جایگاه چرخ‌ها در محورهای اول و دوم بوژی در رفتار دینامیکی آن اهمیت دارد. همچنین موقعیت بوژی در آرایش واگن و قطار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به این توضیحات و نیز برای سهولت تشخیص علامت‌ها، نحوه شماره‌گذاری چرخ‌ها با توجه به موقعیت بوژی در شکل ۲ نشان داده شده است.

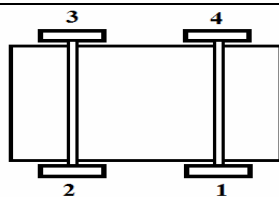
با آغاز سیر واگن مطالعاتی، اندازه‌گیری پروفیل چرخ‌ها و داده‌برداری با یک تناوب زمانی آغاز شد. با توجه به موقعیت قاب بوژی و استقرار چرخ روی ریل، بعضی از هشت نقطه مشخص شده روی هر چرخ در موقعیت‌هایی قرار می‌گرفتند که عملاً امکان دسترسی به آن‌ها وجود نداشت. لذا در هر مورد کار اندازه‌گیری در بعضی از این نقاط صورت گرفت. بنابراین تعداد نقاط اندازه‌گیری شده به تناسب دسترسی به موقعیت در هر چرخ بین سه تا پنج مورد می‌باشد.

در روزهای اولیه سیر، دوره تناوب عملیات داده‌برداری و اندازه‌گیری پروفیل چرخ‌ها کم بوده و این کار تقریباً به طور متوسط هر دو روز یکبار انجام شد. علت این امر، شکل گرفتن پروفیل سایشی چرخ در طی دوره آب‌بندی آن است. به عبارت دیگر، در کیلومترهای اولیه سیر واگن، چرخ در تماس با ریل تحت بارگذاری‌های بزرگ نرمال و مماسی به صورت پیوسته تغییر شکل می‌دهد تا به پروفیل سایشی برسد که سازگاری بیشتری با شرایط تماس دارد. این دوره از سیر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و اندازه‌گیری پروفیل چرخ‌ها در این

اسدی لاری و علیزاده کاکلر

جدول ۳. پارامترهای سایش گرید B5T برحسب کیلومتر از سیر و مقایسه با گرید B2N (الف) چرخ‌های شماره ۱ و ۲،

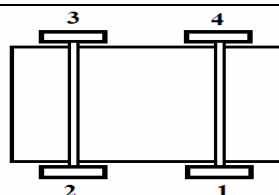
(ب) چرخ‌های شماره ۳ و ۴



(الف)

جلوی بوژی

کیلومتر از	Wheel No. 1				Wheel No. 2			
	S _d (mm)		q _R (mm)		S _d (mm)		q _R (mm)	
	B5T	B2N	B5T	B2N	B5T	B2N	B5T	B2N
۰	۳۲/۵	۳۲/۵	۱۱/۰	۱۰/۷	۳۲/۵	۳۲/۵	۱۱/۱	۱۰/۷
۷۹۲۰	۳۱/۷	۳۱/۰	۱۱/۱	۱۰/۵	۳۲/۱	۳۱/۴	۱۰/۸	۱۰/۲
۱۲۳۲۰	۳۱/۹	۳۰/۸	۱۱/۰	۱۰/۱	۳۱/۷	۳۱/۳	۱۰/۷	۱۰/۱
۱۴۰۸۰	۳۱/۴	۳۰/۶	۱۰/۹	۱۰/۱	۳۲/۲	۳۰/۷	۱۰/۸	۱۰/۱
۱۶۷۲۰	۳۱/۶	۳۰/۲	۱۱/۰	۹/۸	۳۲/۰	۳۰/۵	۱۰/۷	۹/۷
۲۴۶۴۰	۳۱/۵	۳۰/۰	۱۰/۹	۹/۴	۳۱/۶	۲۹/۸	۱۰/۵	۹/۲
۳۰۸۰۰	۳۱/۶	۳۰/۰	۱۰/۹	۹/۴	۳۱/۷	۳۰/۰	۱۰/۵	۹/۰
۳۶۹۶۰	۳۱/۷	۲۹/۸	۱۰/۹	۹/۳	۳۱/۷	۲۹/۳	۱۰/۵	۸/۹
۴۳۱۲۰	۳۱/۷	۲۹/۷	۱۰/۹	۹/۳	۳۱/۸	۲۹/۰	۱۰/۴	۸/۶
۴۹۲۸۰	۳۱/۷	۲۹/۶	۱۱/۰	۹/۴	۳۱/۷	۲۹/۱	۱۰/۳	۸/۷
۶۵۱۲۰	۳۲/۰	-	۱۱/۲	-	۳۱/۴	-	۱۰/۲	-
۸۰۹۶۰	۳۲/۱	-	۱۱/۲	-	۳۱/۵	-	۱۰/۳	-
۹۱۵۲۰	۳۲/۳	-	۱۱/۳	-	۳۱/۷	-	۱۰/۵	-
۱۰۴۷۲۰	۳۲/۴	-	۱۱/۶	-	۳۱/۷	-	۱۰/۶	-
۱۱۶۱۶۰	۳۲/۷	-	۱۱/۸	-	۳۲/۰	-	۱۰/۷	-



(ب)

جلوی بوژی

کیلومتر از	Wheel No. 3				Wheel No. 4			
	S _d (mm)		q _R (mm)		S _d (mm)		q _R (mm)	
	B5T	B2N	B5T	B2N	B5T	B2N	B5T	B2N
۰	۳۲/۱	۳۲/۵	۱۰/۸	۱۰/۷	۳۲/۱	۳۲/۵	۱۱/۱	۱۰/۷
۷۹۲۰	۳۱/۱	۲۹/۶	۹/۹	۹/۵	۳۱/۷	۲۹/۴	۱۰/۳	۹/۴
۱۲۳۲۰	۳۰/۹	۲۹/۱	۹/۷	۹/۲	۳۱/۴	۲۷/۸	۹/۹	۸/۶
۱۴۰۸۰	۳۰/۸	۲۹/۰	۹/۵	۸/۹	۳۱/۲	۲۷/۸	۹/۸	۸/۱
۱۶۷۲۰	۳۰/۶	۲۸/۷	۹/۴	۸/۸	۳۱/۱	۲۷/۲	۹/۷	۸/۰
۲۴۶۴۰	۳۰/۳	۲۷/۵	۹/۰	۷/۷	۳۱/۱	۲۶/۵	۹/۵	۶/۵
۳۰۸۰۰	۳۰/۱	۲۷/۰	۸/۷	۷/۰	۳۰/۹	۲۶/۲	۹/۴	۶/۵
۳۶۹۶۰	۲۹/۸	۲۶/۳	۸/۵	۶/۵	۳۰/۸	۲۵/۲	۹/۳	۶/۵
۴۳۱۲۰	۲۹/۳	۲۵/۸	۸/۲	۶/۵	۳۰/۷	۲۵/۰	۹/۲	۶/۵
۴۹۲۸۰	۲۹/۰	۲۵/۰	۷/۶	۷/۱	۳۰/۴	۲۴/۸	۹/۰	۶/۷ (*)
۶۵۱۲۰	۲۸/۵	-	۷/۰	-	۳۰/۲	-	۸/۶	-
۸۰۹۶۰	۲۷/۷	-	۶/۹	-	۲۹/۳	-	۷/۹	-
۹۱۵۲۰	۲۷/۱	-	۷/۲	-	۲۹/۰	-	۷/۷	-
۱۰۴۷۲۰	۲۶/۲	-	۷/۵	-	۲۸/۱	-	۷/۶	-
۱۱۶۱۶۰	۲۵/۳	-	۸/۲	-	۲۷/۵	-	۸/۲	-

* پس از رسیدن q_R چرخ شماره ۱ به حد مجاز، چرخ-محور مجهز به گرید B2N از بوژی جدا شده و پروفیل تراشی گردید. بنابراین آزمون به پایان رسید.

جدول ۴. نمایش تغییرات پارامترهای سایش گرید B5T در مسافت معین طی شده (۴۹۲۸۰ کیلومتر) و مقایسه با گرید B2N

چرخ ۴				چرخ ۳			
qR (mm)	qR (mm)	Sd (mm)	Sd (mm)	qR (mm)	qR (mm)	Sd (mm)	Sd (mm)
B2N	B5T	B2N	B5T	B2N	B5T	B2N	B5T
۶,۷۰	۹,۰۰	۲۴,۸۰	۳۰,۴۰	۷,۱۰	۷,۶۰	۲۵,۰۰	۲۹,۰۰
%۳۷	%۱۶	%۲۴	%۶	%۳۴	%۲۹	%۲۳	%۱۱

چرخ پس از بکارگیری گرید B5T است. به طور مثال کاهش ضخامت فلنج در چرخ سوم به ترتیب ۱۱ و ۲۳ درصد برای گریدهای B5T و B2N می‌باشد. علاوه بر این مزیت، ملاحظه می‌شود که روند سایش در ابتدای بهره‌برداری از وضعیت مناسبتری نسبت به گرید B2N برخوردار بوده و تغییر آن شیب کمتری دارد.

از حدود کیلومتر بیست هزار به بعد، مرحله تغییر شکل پلاستیک چرخ‌ها در یک روند پیچیده (کرنش متناوب پلاستیکی) [16] به اتمام رسیده و مود سایش به حالت شدید و فجیع^{۱۴} تبدیل می‌گردد. به علاوه تفاضل معیارهای سایشی ضخامت و ریشه لبه (qR و S_d) در چرخ‌های سمت راست و چپ بوژی آزمایشی به علت سیر بدون تغییر جهت واگن در مقصد، ازدیاد یافته و تجربه سایش نامتقارن در این آزمون میدانی با یک روند ملایم‌تر نیز تکرار شده است. مواردی که در یک بررسی مقایسه‌ای بر گرید B5T نسبت به سایر گریدهای فولادی چرخ بانداژی مترتب است، عبارتند از:

- به علت کاهش میزان سایش، از لحاظ ایمنی سیر واگن وضعیت مناسبتری نسبت به گرید B2N دارد.
- با توجه به افزایش تاب کششی و به تناسب آن استحکام برشی این گرید، شرایط ماشین‌کاری چرخ فولادی تغییر می‌کند. عمق براده‌برداری و نرخ پیشروی ابزار برش در یک توان برابر ماشین مخصوص (هگن شاید) تغییر یافته و برای پیشگیری از کاهش تعداد خروجی چرخ- محور در یک نوبت کاری دستگاه مذکور، باید از ابزار برش با کیفیت بهتر استفاده نمود. لذا هزینه‌های ماشین‌کاری افزایش و خروجی کارخانه اندکی کاهش می‌یابد. شاید علت اندکی افزایش اندازه ریشه فلنج (qR) در این گرید فولاد پس از پروفیل تراشی اولیه در این آزمایش قصور احتمالی در تعویض پارامترهای ماشین‌کاری بوده است.

در ضمن، اعداد ۸ گانه مذکور در دو چرخ یک محور در زمان شماره‌گذاری روبه‌روی هم قرار گرفتند. هر یک از مقادیر مربوط به پارامترهای سایش، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. لازم به یادآوری است که ضخامت فلنج عامل موثر در حفظ استحکام فلنج چرخ در قوس‌ها بوده و حد مجاز آن (۲۲ میلی‌متر طبق استاندارد ریلی) بر اساس قابلیت ماده و پیشگیری از شکست احتمالی ناشی از نیروهای شعاعی (Y) محاسبه می‌شود. همچنین ضخامت ریشه فلنج (qR) عامل تعیین‌کننده ایمنی وسیله نقلیه در هنگام عبور از ناحیه قلب سوزن^{۱۳} و بازدارنده از خروج از خط آن می‌باشد. بازه ابعادی این معیار سایشی چرخ ۶/۵ تا ۱۰/۷ میلی‌متر است.

۶. نتیجه آزمایش‌های میدانی

خلاصه‌ای از نتایج آزمون میدانی گرید B5T به همراه نتایج حاصل از آزمون میدانی گرید B2N در همین مسیر [۵] برای مقایسه در جدول ۳ ارائه شده است. این جدول دو معیار مهم سایشی ضخامت فلنج و ضخامت ریشه فلنج را در کیلومترهای مختلف نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت موقعیت بوژی در واگن و نیز چرخ- محورهای پیشرو و پیرو، چهار ستون به داده‌های هر بوژی طبق شکل اختصاص یافته است.

۷. بحث و نتیجه‌گیری

مشاهده رفتار سایشی چرخ‌های گرید B5T نشان‌دهنده کاهش قابل ملاحظه میزان سایش در یک طول سیر برابر در مقایسه با گرید B2N می‌باشد که در سال ۱۳۸۲ در همین مسیر مورد آزمون میدانی و تحلیل قرار گرفت [۵]. جدول ۴ دربردارنده درصد کاهش ضخامت و ریشه فلنج چرخ‌ها (محاسبه مقادیر این معیارها نسبت به حالت نو) و در نتیجه بهبود میزان سایش

- 13- Switch nose
- 14- Catastrophic mode of wear
- 15- Contact patch

۱۰. مراجع

1-Brickle, B.V, Railway vehicle dynamics, The Institute of Physics, 1986, pp181-186

2-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

۳- محمد کریمی، دانیال فرجی، وهاب فضل، (۱۳۸۵) "گزارش بازدید از خط جنوب"، معاونت فنی شرکت رجا، فروردین.

۴- حبیب ملاطفی، (۱۳۸۵) نتایج پروژه تحقیقاتی "اندازه‌گیری پروفیل چرخ سه نوع بوژی، دسته‌بندی نتایج و مقایسه سایش چرخ‌ها در مسیرهای مختلف ریلی - فاز اول: اندازه‌گیری، ثبت و دسته‌بندی نتایج"، معاونت فنی شرکت رجا.

5-Asadi Lari A., and Kapoor A., (2008) "An investigation to the influence of bogie direction reversal on equalizing rail vehicle wheel wear", *Wear*, Vol. 265, No. 1-2, pp. 65-71.

6-Asadi Lari, A., and Hashemi, S.H., (2006) "Experimental Investigation of Charpy Impact Resistance In Rail Vehicle Steel Wheels", CD Proceedings of ESDA2006, Torino, Italy.

7-Asadi Lari, A., and Hashemi, S.H., (2007) "Comparison of Toughness Test Data from Four Different Rail Vehicle Steel Wheels", CD Proceedings of Railway Engineering Conference, London.

8-Asadi Lari, A., and Hashemi, S.H., (2008) "Application of Monotonic Tests for Predicting Failure Behaviour of Rail Vehicle Steel Wheels", CD Proceedings of ISME2008, Kerman.

9-Iwnicki, S, Ed, Taylor, and Francis, (2006) Handbook of railway vehicle dynamics.

10-UIC510-2 Leaflet, (1997) Trailing Stock: Wheels and Wheelsets, Condition concerning the use of Wheels of various Diameter, International Union of Railways, 2nd Ed., 10th amendment.

11-UIC716 leaflet, (1986) Maximum permissible wear profiles for switches, International Union of Railways, 1st edition.

12- Hutchings, I.M., (2001) Tribology; Friction and wear of engineering materials, Butterworth Heinemann, Suffolk.

- از لحاظ مشخصات مکانیکی، تاب کششی و به تناسب حد تسلیم آن بالاتر است. در ابتدای بهره‌برداری از بوژی آزمایشی و چرخ‌های آن، چنانچه ناحیه تماس^{۱۰} طوقه هر چرخ و تاج ریل در حد ۱۱۵ میلیمتر مربع و بار استاتیکی هر چرخ ۶/۵ تن متریک فرض شود، فشار تماس در حدود ۵۶۰ مگاپاسکال به دست می‌آید. طبق مدارک فنی کارخانه سازنده چرخ گرید B5T، متوسط حد ارتجاعی این گرید در حدود ۵۴۰ مگاپاسکال به دست آمد که به رغم کمتر بودن از فشار تماس و قرار گرفتن در معرض ورود به مرحله پلاستیک در اولین تماس چرخ و ریل، در مقایسه با گریدهای پایین‌تر فولادی دارای وضعیت مناسبتر می‌باشد. لذا به رغم امکان تغییرشکل اولیه پلاستیک گرید B5T در اولین تماس با ریل، توانایی بارگذاری آن به تدریج افزایش یافته و دوره عملکرد آن بهبود می‌یابد.

- با توجه به افزایش درصد کشامد گرید B5T نسبت به B3N طبق مستندات فنی موجود، کاهش میزان سایش پس از دوره آب‌بندی چرخ این گرید قابل توجه است.

- به رغم کاهش میزان سایش چرخ‌ها و برای پیشگیری از سایش نامتقارن منجر به بروز ریسک خروج از خط واگن، به راهبر ریلی توصیه می‌شود که در دوره آب‌بندی چرخ‌ها در مسیر پرقوس از رویه تغییر جهن واگن در مقصد پیروی نماید.

۸. سپاسگزاری

از شرکت قطارهای مسافری رجا برای حمایت فنی از این مطالعه صمیمانه قدردانی می‌شود.

۹. پانویس‌ها

- 1- Flange
- 2- Tread
- 3- Running-in period
- 4- Rim
- 5- Wheelset
- 6- Adhesive
- 7- Abrasive
- 8- Delamination
- 9- Elastic shakedown limit
- 10- Ratchetting
- 11- Cant
- 12- Miniprof

15- Asadi Lari, A, Younesian, D, Schmid, F, Tangential force variation due to the bogie direction reversal procedure, *Vehicle System Dynamics*, Vol45, No4, 2007, pp359-373.

16- Kapoor, A., (1994) "A re-evaluation of the life to rupture of ductile metals by cyclic plastic strain", *Fatigue Fracture Engng Mater Structure*, Vol. 17, No. 2, pp. 201-219.

۱۳- علی اسدی لاری، (۱۳۸۴) "بررسی پدیده سایش در حوزه مکانیک تماس"، مجله مهندسی مکانیک، انجمن مهندسان مکانیک ایران، شماره ۴۴.

۱۴- علی اسدی لاری، (۱۳۸۵) "بررسی پدیده سایش در حوزه مکانیک تماس" (بخش دوم)، مجله مهندسی مکانیک، انجمن مهندسان مکانیک ایران، شماره ۵۰.