

## مطالعه میدانی جهت بهبود سیستم ترمز JZ-7 لکوموتیوهای مدل DF8Bi و تحلیل نتایج آن

مهدی ملاسمانی<sup>۱</sup>، محمدعلی رضوانی<sup>۲</sup>، حسین شاهرودی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران، ایران؛ mm.salmani@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران؛ rezvani@mail.iust.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران، ایران؛ d.shahverdi@gmail.com

### چکیده

نسل جدید لکوموتیوهای وارد شده به ایران لکوموتیوهای DF8Bi چینی می باشند که در حال حاضر ۳۱ دستگاه از این لکوموتیوها به مالکیت شرکت های راه آهن حمل و نقل و نماد ریل گستر در ناوگان حمل و نقل ریلی کشور بهره برداری می شوند. از مهم ترین تجهیزات در تامین ایمنی ضمن حرکت در یک وسیله نقلیه سامانه ترمز آن است که باید بتواند وسیله متحرک را تحت هر شرایطی در محدوده مسافت مشخصی متوقف نماید. لکوموتیوهای مدل DF8Bi مجهز به سیستم ترمز JZ-7 بوده که از نظر عملکرد سامانه ترمز هنگامیکه لکوموتیو منفرد یا بدون قطار سیر می نماید ضعیف می باشند و مسافت ترمز آن بیشتر از مقدار مجاز است. در این تحقیق با انجام تست های عملی در طول خط و اندازه برداری های میدانی سایش چرخ، اثرات تعویض جنس کفش ترمز متالورژی پودر با دو ضریب چسبندگی ۰.۲۰۵ و ۰.۲۳۶ و همچنین کفش ترمز کامپوزیت بررسی شده و اثربخش بودن این تغییر با مقایسه طول مسافت ترمز و اندازه گیری نرخ سایش چرخ در هر نوع کفش ترمز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج اندازه گیری های میدانی نشان می دهد استفاده از کفش ترمز متالورژی پودر باعث افزایش نرخ تیزی پروفیل می گردد بطوریکه ارتفاع فلنچ لکوموتیوی که مجهز به کفش ترمز کامپوزیتی بوده است بعد از طی مسافت ۷۰۰۰۰ کیلومتر برابر ۲۹.۳ میلی متر بوده در صورتیکه ارتفاع فلنچ لکوموتیوی که مجهز به کفش ترمز متالورژی پودر بوده است در همان مسافت و شرایط کاری برابر ۳۰.۱ میلی متر اندازه گیری شده است. برای دو نوع کفش ترمز متفاوت، در سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت و در شیب ۱۰ در هزار در شرایط مشابه، مسافت ترمز با کفش ترمز کامپوزیتی ۷۰۰ متر، مسافت ترمز با کفش ترمز متالورژی پودر با ضریب چسبندگی ۰.۲۰۵ برابر ۱۴۹۱ متر و مسافت ترمز با کفش ترمز متالورژی پودر با ضریب چسبندگی ۰.۲۳۶ برابر ۷۵۲ متر اندازه گیری شد که نشان دهنده بازدهی تقریباً برابر کفش ترمز متالورژی پودر با ضریب چسبندگی ۰.۲۳۶ و کفش ترمز کامپوزیت می باشد.

**کلمات کلیدی:** سیستم ترمز JZ-7، کفش ترمز متالورژی پودر، کفش ترمز کامپوزیت، مسافت ترمز، ارتفاع فلنچ

### مقدمه

وجود یک سیستم ترمز کارا و ایمن از جمله ضروریات آغاز یک سفر ریلی است. تعداد المان های حفاظتی در این بخش نیز موید این ادعاست. یکی از فاکتورهای کلیدی سیر یک قطار بر اساس آرایش لکوموتیوها و واگن ها، مسافت ترمزی آن می باشد. به طور خاص این فاکتور جهت حفظ ایمنی سیر و جلوگیری حوادث در سیستم حمل و نقل ریلی نقش حیاتی بر عهده دارد.

نسل جدید لکوموتیوهای وارد شده به ایران لکوموتیوهای DF8Bi چینی مجهز به سیستم ترمز JZ-7 می باشند که در حال حاضر ۳۱ دستگاه از این لکوموتیوها به مالکیت شرکت راه آهن حمل و نقل و شرکت نماد ریل گستر در ناوگان حمل و نقل ریلی کشور بهره برداری می شوند. متأسفانه لکوموتیوهای مذکور از نظر عملکرد سامانه ترمز هنگامیکه لکوموتیو منفرد یا بدون قطار سیر می نماید ضعیف می باشند و خط (مسافت) ترمز آن بیشتر از مقدار انتظار راه آهن جمهوری اسلامی ایران است. بدین دلیل راه آهن ایران بمنظور حفظ ایمنی در تردد ناوگان حمل و نقل ریلی کشور محدوده سرعت سیر مجاز را برای این لکوموتیو کاهش داده که از پیامدهای این موضوع می توان به کاهش سرعت سیر در خطوط مواصلاتی راه آهن، کاهش بهره روری در حمل و نقل ریلی، کاهش بازدهی شرکت خصوصی مالک لکوموتیوها و در نهایت خسارات مالی که به صنعت حمل و نقل ریلی کشور وارد خواهد شد اشاره نمود.

راه آهن جمهوری اسلامی ایران، اقدامات متعددی در رابطه با جایگزینی کفش ترمزهای کامپوزیتی به جای کفش ترمزهای چدنی انجام داده که طی تلاش های کارشناسان این مرکز، تغییراتی در سیستم ترمز لکوموتیوها و واگن های مسافری و باری صورت گرفته است. اما به دلیل اینکه ضریب

اصطکاک کامپوزیت بیشتر از چدن است در این تحقیقات سعی شده تا با تغییر در سیستم اهرم بندی ترمز لکوموتیو، اثرات این افزایش اصطکاک را جبران کرده تا به چرخ و ریل آسیبی وارد نشود. اطلاعات و نتایج این تحقیقات بطور شایسته منعکس نشده و در مجلات و همایش‌ها مورد بحث قرار نگرفته و تنها در برخی اسناد فنی، این تغییرات ثبت گردیده است. اصغر نصر و همکارانش [۱] در مقاله‌ای با عنوان: "هماهنگ‌سازی عملکرد سیستم ترمز واگن‌های روسی و کنوری در راه‌آهن ایران" بر روی زمان ترمزگیری واگن‌ها با سیستم ترمزهای متفاوت بحث نموده و با تغییراتی در سوپاپ‌های ترمز روسی اختلاف زمان ترمزگیری را به حداقل خود رسانده‌اند. حمیدرضا جاهد مطلق و همکارانش [۲] در مقاله‌ای با عنوان: "پارامترهای مؤثر بر سایش چرخ و ریل" به عوامل مؤثر بر سایش چرخ و ریل اشاره نموده و جنس کفش ترمز را یکی از عوامل مهم و تعیین کننده در سایش چرخ دانسته‌اند. چاندرا و همکاران [۳] در مقاله‌ای با عنوان: "Development of Iron Based Brake Friction Material by Hot Powder Pre-form Forging Technique used for Medium to Heavy Duty Applications" با ارائه عکس‌های متالوگرافی و تشریح فرآیند تولید کفش ترمزهای متالورژی پودر به مزایای استفاده از متالورژی پودر مانند: رفع مشکل اتصال کفش ترمز به صفحه پشتی و دانسیته پایین تر آن اشاره داشته‌اند. با ورود لکوموتیوهای مدل DF8Bi، نسل جدید کفش ترمز با عنوان متالورژی پودر به ایران وارد شده که در این تحقیق به برخی خصوصیات آن می‌پردازیم.

### بررسی روش‌های بهبود سیستم ترمز JZ-7

کاهش مسافت ترمز لکوموتیو به روش‌های زیر قابل مطالعه و اجراست [۴]:

۱. تعویض سیستم ترمز: تعویض سیستم ترمز به معنای تغییر تمام مدار ترمز از ابتدا (تولید هوای فشرده) تا انتها (سیلندر ترمز) می‌باشد. طراحی یک سیستم ترمز با توجه به مشخصات فنی شامل وزن، فاصله بین محوری، تعداد سیلندر ترمز و ... صورت می‌پذیرد. لذا تعویض سیستم ترمز، علاوه بر صرف هزینه، زمان (توقف ناوگان جهت تعویض سیستم ترمز) و ... بعلاوه نامشخص بودن نتیجه از نظر فنی و مهندسی مردود می‌باشد.
۲. تغییر اهرم‌بندی ترمز: وظیفه اهرم بندی ترمز این است که نیروهای تولید شده در سیلندر ترمز را افزایش داده و بطور یکنواخت و متعادل به کفش ترمز منتقل نماید. نوع ساخت و عملکرد اهرم‌بندی ترمز به مواردی همچون: نوع وسیله نقلیه (لکوموتیو، واگن کشش، واگن مسافری، باری و ...)، مدل ترمز (ترمز دیسکی یا کفش ترمزی) و اندازه لقی (فواصل تنظیم) بستگی دارد. [۵]
۳. تغییر جنس کفش و افزایش قدرت ترمزی: یکی از عوامل تأثیر گذار در مسافت ترمز لکوموتیو، ضریب اصطکاک و چسبندگی بین کفش ترمز و چرخ می‌باشد. موضوع ضریب اصطکاک کفش ترمز بارها در مجامع علمی مورد بحث قرار گرفته و در مجلات علمی مقالاتی در این رابطه به چاپ رسیده است. به نظر می‌رسد تغییر در جنس کفش ترمز و بالطبع تغییر در ضریب اصطکاک بین چرخ و کفش ترمز، راه حل مناسبی برای کاهش مسافت خط ترمز باشد.

### تست عملی خط ترمز لکوموتیو DF8Bi

بمنظور بهبود سیستم ترمز JZ-7 لکوموتیو DF8Bi و افزایش قدرت ترمز و بالطبع درصد وزن ترمز، و مقایسه تأثیر جنس کفش ترمز بروی مسافت ترمز، سه نوع کفش ترمز از جنس کامپوزیت، متالورژی پودر L با ضریب اصطکاک ۰.۲۰۶ و متالورژی پودر M با ضریب اصطکاک ۰.۲۳۶ بطور جداگانه بروی لکوموتیو نصب و تست ترمز بطور عملی انجام شد. بمنظور بررسی اثرات هر کدام از کفش ترمزها، ابعاد پروفیل چرخ دائماً اندازه‌برداری شد.

تست ترمز برای سه نوع کفش ترمز ذکر شده، در شرایط زیر انجام گرفت:

- ۱- سرعت تست ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت
- ۲- فشار سیلندر ترمز ۴.۵ بار (ترمز سریع)
- ۳- شیب و فراز مسیر ۱۰٪
- ۴- اندازه گیری مسافت ترمز با استفاده از متر نواری
- ۵- انجام تست در کمترین سرعت باد
- ۶- ریل و چرخ‌ها کاملاً خشک و عاری از مواد چرب (گازوئیل-روغن و ...)
- ۷- انجام تمام تست‌ها در محدوده راه‌آهن هرمزگان

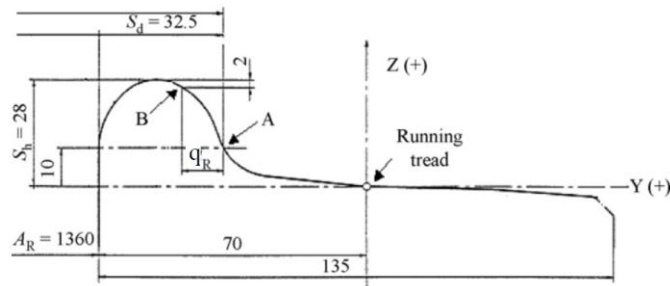
نتایج تست برای سه نوع کفش ترمز مطابق جدول ۱ می‌باشد:

جدول ۱: نتیجه تست ترمز عملی با سه نوع کفش ترمز [۴]

| کامپوزیت | متالورژی پودر M | متالورژی پودر L | جنس کفش ترمز     |
|----------|-----------------|-----------------|------------------|
| ۷۰۰      | ۷۵۲             | ۱۴۹۱            | مسافت ترمز (متر) |

## مطالعه میدانی سایش چرخ ناشی از تغییر جنس کفش ترمز

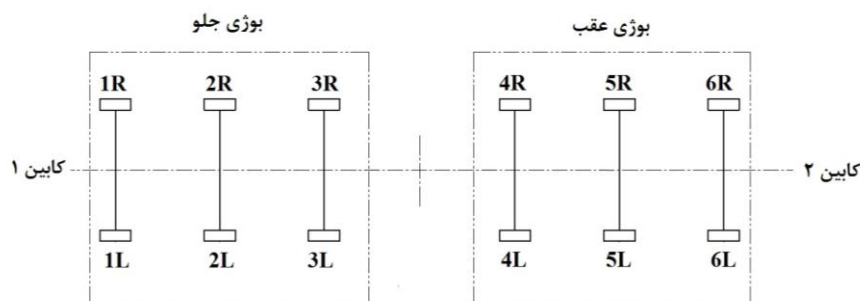
هندس (پروفیل) چرخ یکی از عوامل رفتار سایشی به ویژه در ناحیه‌های لبه و غلتشگاه بوده و در تعیین شرایط خروج از خط تأثیرگذار است [۶]. در شکل ۱ نمونه‌ای از پروفیل چرخ S1002 و پارامترهای آن نشان داده شده است.



شکل ۱: پروفیل چرخ S1002 [۷]

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است  $S_n$  ارتفاع و  $S_d$  ضخامت پروفیل چرخ می‌باشد. یکی از عوامل تأثیر گذار بر روی سایش چرخ، جنس کفش ترمز می‌باشد. کفش ترمز بر روی ارتفاع فلنج یا  $S_n$  تأثیر گذار است. بعد از انجام تست عملی و اطمینان از اثر بخش بودن روش تغییر جنس کفش ترمز جهت بهبود قدرت سیستم ترمز JZ-7، بمنظور بررسی اثرات هر کدام از کفش ترمزهای تست شده بر روی ارتفاع پروفیل چرخ، دو لکوموتیو که یکی مجهز به کفش ترمز کامپوزیت و دیگری مجهز به کفش ترمز متالورژی پودر می‌باشند بطور میدانی و مستمر از نظر سایش ارتفاع پروفیل چرخ اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند. لکوموتیو شماره ۳۰۱۱-۶۰ مجهز به کفش ترمز متالورژی پودر M و لکوموتیو شماره ۳۰۵۶-۶۰ مجهز به کفش ترمز کامپوزیتی است.

در آغاز اندازه‌برداری کیلومترها و ارتفاع اولیه پروفیل چرخ لکوموتیوها ثبت شده و برای اندازه‌گیری ارتفاع پروفیل از کولیس مرکب بهره‌گیری خواهد شد. چرخ‌های یک سمت لکوموتیو با شماره‌های 1L تا 6L و چرخ‌های سمت دیگر با شماره‌های 1R تا 6R همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده نامگذاری و ثبت شده است. بمنظور کاهش خطای اندازه‌گیری توسط کولیس مرکب، هر چرخ به چهار قسمت برابر تقسیم و در هر بار اندازه‌گیری هر چهار منطقه اندازه‌گیری شده و میانگین چهار عدد بعنوان ارتفاع پروفیل ثبت می‌شود. در شکل ۳ نحوه شماره‌گذاری چرخ در لکوموتیو ۳۰۵۶-۶۰ نشان داده شده است.



شکل ۲: نحوه نامگذاری چرخ‌های لکوموتیو بمنظور ثبت ارتفاع پروفیل [۴]



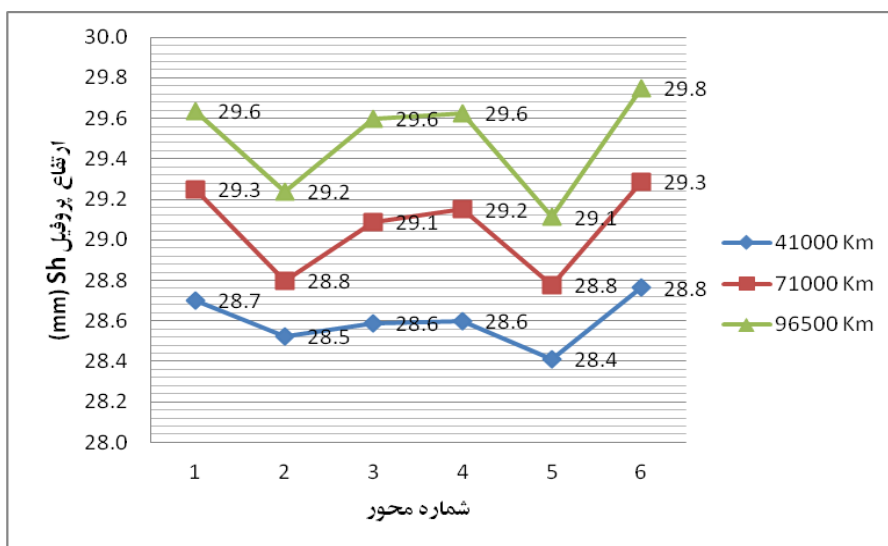
شکل ۳: شماره‌گذاری چرخ (1R) و تقسیم آن به ۴ قسمت [۴]

## نتایج اندازه‌برداری میدانی ارتفاع پروفیل

در جدول ۲ ارتفاع پروفیل چرخ با کفش ترمز کامپوزیتی و در شکل ۴ نمودار مربوط به ارتفاع پروفیل هر محور با کفش ترمز کامپوزیتی برای کیلومترهای متفاوت ذکر شده است.

جدول ۲: نتیجه اندازه‌گیری میدانی ارتفاع پروفیل چرخ، کفش ترمز کامپوزیتی [۴]

| S <sub>11</sub> کفش ترمز کامپوزیتی |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Mileage(Km)                        | 41000 | 71000 | 96500 |
| wheel No.                          |       |       |       |
| 1R                                 | 28.7  | 29.2  | 29.7  |
| 1L                                 | 28.7  | 29.3  | 29.6  |
| 2R                                 | 28.6  | 28.8  | 29.2  |
| 2L                                 | 28.5  | 28.8  | 29.3  |
| 3R                                 | 28.5  | 29.0  | 29.6  |
| 3L                                 | 28.7  | 29.2  | 29.6  |
| 4R                                 | 28.6  | 29.1  | 29.6  |
| 4L                                 | 28.7  | 29.3  | 29.7  |
| 5R                                 | 28.5  | 28.8  | 29.1  |
| 5L                                 | 28.4  | 28.8  | 29.2  |
| 6R                                 | 28.7  | 29.2  | 29.8  |
| 6L                                 | 28.8  | 29.4  | 29.7  |
| Average                            |       |       |       |
| Axle No.                           | 41000 | 71000 | 96500 |
| 1                                  | 28.7  | 29.3  | 29.6  |
| 2                                  | 28.5  | 28.8  | 29.2  |
| 3                                  | 28.6  | 29.1  | 29.6  |
| 4                                  | 28.6  | 29.2  | 29.6  |
| 5                                  | 28.4  | 28.8  | 29.1  |
| 6                                  | 28.8  | 29.3  | 29.8  |

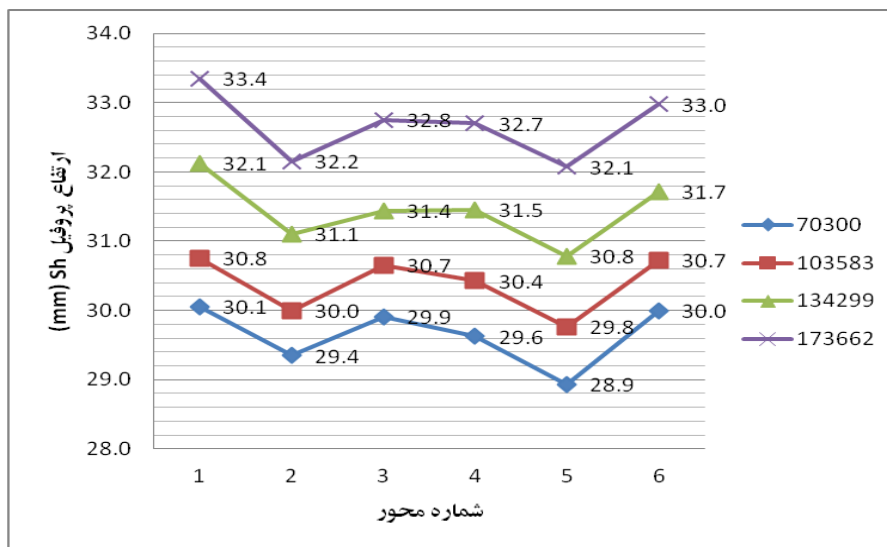


شکل ۴: ارتفاع پروفیل چرخ در هر محور، نسبت به مسافت طی شده، کفش ترمز کامپوزیتی [۴]

در جدول ۳ ارتفاع پروفیل چرخ با کفش ترمز متالورژی پودر و در شکل ۵ نمودار مربوط به ارتفاع پروفیل هر محور با کفش ترمز متالورژی پودر برای کیلومترهای متفاوت ذکر شده است.

جدول ۳: نتیجه اندازه‌گیری میدانی ارتفاع پروفیل چرخ، کفش ترمز متالورژی پودر [۴]

| Sh کفش ترمز متالورژی پودر |       |        |        |        |
|---------------------------|-------|--------|--------|--------|
| Mileage(Km)               | 70300 | 103583 | 134299 | 173662 |
| wheel No.                 |       |        |        |        |
| 1R                        | 30.0  | 30.8   | 32.2   | 33.5   |
| 1L                        | 30.1  | 30.7   | 32.1   | 33.3   |
| 2R                        | 29.3  | 30.0   | 31.1   | 32.2   |
| 2L                        | 29.4  | 30.0   | 31.1   | 32.2   |
| 3R                        | 29.9  | 30.7   | 31.5   | 32.8   |
| 3L                        | 29.9  | 30.7   | 31.4   | 32.8   |
| 4R                        | 29.6  | 30.4   | 31.4   | 32.7   |
| 4L                        | 29.7  | 30.5   | 31.6   | 32.7   |
| 5R                        | 28.9  | 29.7   | 30.8   | 32.1   |
| 5L                        | 29.0  | 29.8   | 30.8   | 32.1   |
| 6R                        | 30.0  | 30.7   | 31.7   | 32.8   |
| 6L                        | 30.0  | 30.8   | 31.8   | 33.2   |
| Average                   |       |        |        |        |
| Axle No.                  | 70300 | 103583 | 134299 | 173662 |
| 1                         | 30.1  | 30.8   | 32.1   | 33.4   |
| 2                         | 29.4  | 30.0   | 31.1   | 32.2   |
| 3                         | 29.9  | 30.7   | 31.4   | 32.8   |
| 4                         | 29.6  | 30.4   | 31.5   | 32.7   |
| 5                         | 28.9  | 29.8   | 30.8   | 32.1   |
| 6                         | 30.0  | 30.7   | 31.7   | 33.0   |



شکل ۵: ارتفاع پروفیل چرخ در هر محور، نسبت به مسافت طی شده، کفش ترمز متالورژی پودر [۴]

## بحث و نتیجه گیری:

بر اساس نتیجه تست ترمز عملی انجام شده (جدول ۱) و همچنین اندازه‌برداری‌های میدانی رفتار سایشی ارتفاع پروفیل چرخ در هر دو نوع کفش ترمز متالورژی پودر و کامپوزیت نتایج زیر قابل ذکر است:

۱. با توجه به جدول ۱، طول خط ترمز برای کفش ترمز متالورژی پودر M برابر ۷۵۰ متر و برای کفش ترمز کامپوزیتی برابر ۷۰۰ متر و برای کفش ترمز متالورژی پودر L برابر ۱۴۹۱ متر اندازه‌گیری شده است. لذا کفش ترمزهای کامپوزیتی و متالورژی پودر نوع M، نتایج نسبتاً یکسانی از نظر مسافت ترمز خواهند داشت و بمنظور بهبود مسافت ترمز سیستم ترمز JZ-7 لکوموتیو DF8Bi، می‌توان از این دو گزینه بهره‌گیری نمود.
۲. با توجه به خواص کفش ترمزهای آزمایش شده، کفش ترمز متالورژی پودر بعلاوه ضریب انتقال حرارت بالاتر از کفش ترمز کامپوزیتی، اثرات حرارتی کمتر و بالطبع ترک‌های حرارتی کمتری بروی چرخ ایجاد کرده و طول عمر چرخ را از نظر ترک‌های حرارتی افزایش می‌دهد. همچنین استفاده از کفش ترمز متالورژی پودر بعلاوه کاهش احتمال شکست چرخ ناشی از رشد ترک‌های حرارتی، ایمنی سیر قطار را نسبت به کفش ترمزهای متالورژی پودر افزایش می‌دهد [۴].
۳. با توجه به جداول ۲ و ۳ و شکل‌های ۴ و ۵، نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی نشان می‌دهد استفاده از کفش ترمز متالورژی پودر باعث افزایش نرخ سایش کف چرخ می‌گردد بطوریکه ارتفاع فلنج لکوموتیوی که مجهز به کفش ترمز کامپوزیتی است بعد از طی مسافت ۷۱۰۰۰ کیلومتر برابر ۳۰.۳ میلی‌متر بوده در صورتیکه ارتفاع فلنج لکوموتیوی که مجهز به کفش ترمز متالورژی پودر است در همان مسافت و شرایط کاری برابر ۳۰.۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است.
۴. با توجه به نرخ سایش بالا کفش ترمز متالورژی پودر نسبت به کفش ترمز کامپوزیتی، استفاده از کامپوزیت در مدت زمان طولانی موجب صرفه‌جویی اقتصادی خواهد شد [۴].
۵. ضریب اصطکاک کفش ترمزهای کامپوزیتی نسبت به رطوبت بسیار حساس بوده و در شرایط بارندگی، راندمان آن به شدت کاهش می‌یابد [۴].
۶. کفش ترمزهای کامپوزیت، بعلاوه کاهش خوردگی سطح چرخ و کاهش زبری چرخ، موجب کاهش صدای حرکت قطار بروی ریل می‌شوند [۴].

## مراجع:

- [۱] اصغر نصر، عباس ایزدی، علی نیازی، "هماهنگ‌سازی عملکرد سیستم ترمز واگن‌های روسی و کنوری در راه‌آهن ایران"، محور تحقیقاتی لکوموتیو و واگن، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، گزارش علمی-تحقیقاتی، سال ۸۵
- [۲] حمیدرضا جاهد مطلق، اصغر نصر، محمد امین اشرافی، "پارامترهای مؤثر بر سایش چرخ و ریل"، هفتمین همایش حمل و نقل ریلی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت ۸۳
- [3] Mohammad Asif, K. Chandra, P.S. Misra, "Development of Iron Based Brake Friction Material by Hot Powder Pre-form Forging Technique used for Medium to Heavy Duty Applications", Journal of Mineral & Materials Characterization & Engineering, Vol. 10, No.3, pp.231-244, 2011
- [۴] مهدی ملاسلمانی، "مطالعه میدانی جهت بهبود سیستم ترمز JZ-7 لکوموتیوهای مدل DF8Bi و تحلیل نتایج آن"، رساله مقطع کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر محمدعلی رضوانی، ۱۳۹۱
- [۵] باقر صبح خیز، "اصول و مبانی ترمز قطار"، همایش ترمز، اداره کل راه آهن اصفهان، ۱۳۸۹
- [۶] علی اسدی لاری، جواد علیزاده کاکلر، "تأثیر بهبود رفتار سایشی چرخ‌های فولادی بر ایمنی سیر قطار، مطالعه موردی: واگن مسافری مسیر تهران-میانه"، مجله مهندسی حمل و نقل، سال اول، شماره اول، پاییز ۱۳۸۸
- [7] UIC510-2 Leaflet, (1997) Trailing Stock: Wheels and Wheel sets, Condition concerning the use of Wheels of various Diameter, International Union of Railways, 2nd Ed., 10th amendment.