



## پایش وضعیت سلامت چرخ‌های ریلی با آنالیز ارتعاشات براساس پارامتر میانگین مربعات متحرک

محمد فخاری<sup>۱</sup> و مهدی صالحی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۳۰؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶

### چکیده

چرخ‌ها از مهمترین قسمت‌های تجهیزات وسایل نقلیه ریلی می‌باشند. وجود خرابی روی سطوح غلته‌شی چرخ‌ها عامل افزایش ارتعاشات در آنها و متعاقباً باعث خرابی دیگر متعلقات می‌شود. به‌طور سنتی سیستم‌های ریلی از فرآیند بازرسی پیشگیرانه پیروی می‌کنند. این بازرسی‌ها هزینه‌بر، با بازدهی پایین، زمان‌بر و در معرض خطای انسانی هستند. نگهداری و تعمیرات بر اساس پایش وضعیت مزایای بیشتری نسبت به روش‌های قدیمی دارد. در این روش‌ها ارتعاشات، نویز و یا سایر پارامترهای کارکردی اجزای وسیله نقلیه، از جمله چرخ، اندازه‌گیری و تحلیل می‌شود. در این تحقیق، روشی جهت عیب‌یابی چرخ به کمک اندازه‌گیری ارتعاشات ریل ارائه شده است. با اندازه‌گیری ارتعاشات ریل از طریق نصب تجهیزات اندازه‌گیری، ارتعاشات حاصل از عبور هر چرخ ثبت می‌شود. سپس با استفاده از پارامتر میانگین مربعات متحرک در حوزه زمان به پایش وضعیت سلامت چرخ‌های ریلی پرداخته شده است. تنظیم صحیح پارامترهای مرتبط مانند طول پنجره و میزان همپوشانی در محاسبه میانگین مربعات متحرک تاثیر مستقیمی بر نتایج دارد. روش پیشنهادی روی داده‌های اندازه‌گیری شده پیاده‌سازی شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که به کمک این روش می‌توان وجود و موقعیت آسیب در چرخ را تعیین کرد.

**کلمات کلیدی:** پایش وضعیت سلامت؛ آنالیز ارتعاشات؛ خرابی چرخ؛ میانگین مربعات متحرک.

## Health Condition Monitoring of Railway Wheels Through Vibration Analysis Using the Moving RMS

M.Fakhari<sup>1</sup>, M. Salehi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

### Abstract

Rail wheels are one of the most important parts of rail vehicles. The presence of damage on the rolling surface of the wheels causes an increase in vibrations in the wheels, and consequently, this can damage other components. Rail systems generally follow a preventive inspection process, which is costly, low-efficiency, time-consuming and prone to human error. Nowadays, condition monitoring based maintenance is preferred for this purpose. In such methods, vibrations, noise or other functional parameters of vehicle components, including wheels, are measured and analyzed. In this study, a method for wheel damage detection by measuring rail vibrations is presented. By measuring the vibrations of the rails through installation of measuring devices, the vibrations caused by the passage of each wheel are recorded. Then, using the Moving Root Mean Square in the time domain, the health condition of the vehicle is monitored. Proper adjustment of related parameters such as window length and overlap in calculating Moving RMS has a great impact on the results. The proposed method is implemented on the measured data. The presence and location of wheel damage was determined successfully.

**Keywords:** Health Condition Monitoring; Vibration Analysis; Wheel Damage; Moving RMS.

## ۱- مقدمه

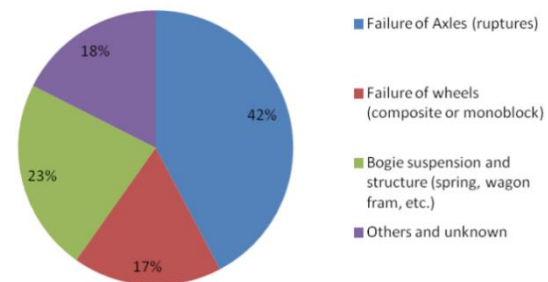
برای شناسایی نقاط ضعف و خرابی قطعات، بازرسی از چرخ‌ها در طول فرآیند تولید و همچنین تعمیر و نگهداری با استفاده از روش‌های مختلف غیر مخرب مانند بازرسی چشمی، آزمون فراصوت، بازرسی ذرات مغناطیسی، بازرسی مایع نافذ و آزمون جریان الکتریکی انجام می‌شود. به‌طور کلی، این بازرسی‌ها پرهزینه، زمان‌بر و در معرض خطای انسانی هستند [۳]. بعلاوه، برخی آسیب‌ها به کمک این روش‌ها قابل شناسایی نیستند که می‌تواند منجر به خرابی‌های فاجعه بار شود [۴].

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در زمینه ماشین‌آلات دوار در بخش‌های نفت و گاز و دریایی پیشرفت چشمگیری داشته است. این پیشرفت‌ها موجب پیاده‌سازی روش پایش پیشگیرانه شده است که عمدتاً بر پایه تحلیل سیگنال‌های ارتعاشی استوار است. در این روش، برنامه پایش هر تجهیز بر اساس حساسیت و شرایط آن تدوین شده و سیستم با اندازه‌گیری ارتعاشی دوره‌ای یا مستمر تحت پایش قرار می‌گیرد [۵]. چرخ‌ها در طول مدت بهره‌برداری، ساختار و هندسه یکسانی را حفظ نمی‌کنند و با توجه به اثرات متقابل در تماس با ریل، احتمال ایجاد عیب در چرخ بسیار زیاد است. روش‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه صنایع ریلی نیز در حال گسترش است. تجزیه و تحلیل سیگنال‌های ارتعاشی، یکی از ابزارهای اساسی در تشخیص خرابی‌های مختلف چرخ مانند تخت‌شدگی<sup>۱</sup> و ناهمواری‌های شعاعی<sup>۲</sup> چرخ همچنین آسیب‌های دیگر مانند معایب سیستم تعلیق، یاتاقان‌ها و ... به شمار می‌آید. با استفاده از این تکنیک، خرابی‌ها می‌توانند همزمان با کارکرد قطار در خط مشخص شوند که از نظر اقتصادی مزیت مهمی به شمار می‌رود.

خرابی روی سطح غلتشی چرخ‌های ریلی باعث ایجاد ضربه‌های بزرگ به ریل می‌شود که باعث به وجود آمدن نویز و ارتعاشات می‌شود. از این‌رو، اندازه‌گیری این ارتعاشات، می‌تواند روشی قابل اعتماد برای تعیین وجود خرابی‌های چرخ باشد. تعمیر و نگهداری ناکارآمد چرخ بر راحتی

با گذشت زمان ترافیک حمل و نقل مسافر و بار شبکه ریلی سنگین‌تر شده است. از مزایای این سیستم می‌توان به مصرف انرژی کمتر، جابجایی انبوه، ایمنی بالاتر و حفظ محیط‌زیست اشاره کرد. چرخ‌های ریلی در این صنعت، یکی از مهم‌ترین اجزای سیستم حرکتی است. برهم‌کنش نامناسب چرخ و ریل می‌تواند عوارض پرهزینه‌ای همچون سایش چرخ، تأثیر منفی در عملکرد دینامیکی قطار، کاهش عمر چرخ و حتی سانحه خروج از خط به ویژه در قوس‌ها را به وجود آورد. از این‌رو، استراتژی‌های دقیق‌تری به‌منظور بهینه‌سازی فرآیندهای نگهداری و تعمیرات مورد نیاز است. خرابی در چرخ‌ها می‌تواند با ایجاد بارهای ضربه‌ای باعث ایجاد ارتعاشات زیاد و متعاقباً آسیب به زیرساخت‌های سیستم ریلی شود. علاوه بر این، در صورتی که خرابی چرخ و یاتاقان محور شناسایی نشود، می‌تواند منجر به ایجاد آسیب جدی به چرخ و یا خارج شدن چرخ از خط شود. سوانح و اشکالات ریلی می‌تواند باعث اختلال قابل توجه در شبکه ریلی، هزینه‌های غیرضروری و کاهش محبوبیت حمل‌ونقل ریلی در میان عموم مردم شود [۱]. امروزه خرابی‌های چرخ‌های ریلی همچنان یک مشکل مهم در صنعت ریلی به شمار می‌روند که نیازمند توجه ویژه است؛ زیرا تراکم ترافیک و سرعت قطارها در شبکه‌های ریلی در سراسر جهان در حال افزایش است.

در مطالعه منتشر شده توسط شرکت تضمین کیفیت DNV به عنوان بخشی از پروژه D-RAIL FP7، حوادث ریلی طی سال‌های گذشته در ۲۳ کشور مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس یافته‌های این تحقیق، ۴۲ درصد از کل حوادث ریلی ناشی از خرابی محورها به‌علت بارگذاری نامناسب و ۱۷ درصد آن مربوط به خرابی چرخ‌ها بوده است. شکل ۱ این موضوع را نشان می‌دهد [۲].



شکل ۱- عوامل حوادث مربوط به وسایل حمل‌ونقل ریلی [۲]

<sup>1</sup> Flatness

<sup>2</sup> Round out

سیستم‌های بازرسی تحت سرویس به دو سیستم اندازه‌گیری روکار<sup>۱</sup> و سیستم اندازه‌گیری جانبی خط<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. در سیستم اندازه‌گیری روکار با نصب تجهیزات اندازه‌گیری روی مجموعه یاتاقان محور، ارسال داده‌ها بصورت مستقیم است که عموماً از لحاظ نصب و اجرا پیچیده است. در سیستم جانبی خط با اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم، قابلیت پوشش جامع روی کلیه وسایل نقلیه ریلی عبوری را شامل می‌شود. این کار با نصب یک یا چند سنسور روی ریل و همچنین با هزینه کم‌تر قابل پیاده‌سازی است. امروزه سیستم‌های جانبی خط جهت پایش وضعیت چرخ‌ها به‌طور گسترده مورد اقبال قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، در سوئد اولین سیستم اندازه‌گیری در سال ۱۹۹۶ نصب شد و در حال حاضر بیش از ۱۹۰ تجهیز اندازه‌گیری جانبی خط کار می‌کنند [۷]. در این تحقیق سیستم پایش وضعیت جانبی خط در نظر گرفته شده است.

## ۲-۲- خرابی تخت‌شدگی در چرخ‌های ریلی

سر خوردن چرخ می‌تواند باعث سایش و تغییر شکل در سطح تماس چرخ و ریل شود؛ بطوریکه بخشی از چرخ دچار تخت‌شدگی شود [۸]. شکل ۲ نمونه‌ایی از این خرابی چرخ نمایش داده شده است.



شکل ۲- تخت‌شدگی [۸]

مسافران نیز تأثیر گذار بوده و میزان نویز و ارتعاش در مسیر حرکت را نیز افزایش می‌دهد.

اندازه‌گیری ارتعاشات قطار می‌تواند در نقاط مشخصی روی ریل انجام شود. تحلیل این سیگنال‌های ارتعاشی و استخراج مشخصه‌ای مناسب جهت عیب‌یابی، از چالش‌های بزرگ این حوزه به شمار می‌رود.

در این تحقیق سعی شده با استفاده از ارتعاشات ثبت شده از ریل هنگام عبور چرخ، عیوب احتمالی چرخ شناسایی گردد. برای داده‌برداری از تعدادی شتاب‌سنج و کرنش‌سنج استفاده شده است. سپس پارامتر میانگین مربعات متحرک جهت شناسایی خرابی روی سطوح غلتشی چرخ مورد ارزیابی قرار داده شد. برای پردازش سیگنال‌های اندازه‌گیری شده از MATLAB استفاده شده است. نتایج حاصل از آنالیز سیگنال‌های تجربی به کمک این روش در حوزه زمان رضایت بخش بوده است.

## ۲- مبانی تئوری

در بین تکنیک‌های مختلف پایش وضعیت، تحلیل ارتعاشات از توانایی بالایی در تشخیص عیوب برخوردار است. با رشد هرگونه عیب مکانیکی در سیستم، خواص دینامیکی ماشین تغییر کرده، علاوه بر تغییر سطح ارتعاشات، خصوصیات طیف سیگنال ارتعاشی در حوزه زمان و فرکانس نیز تغییر خواهد کرد [۶]. در ادامه روش‌های جاری شناسایی عیوب چرخ ریلی قطار مورد بررسی قرار داده شده است.

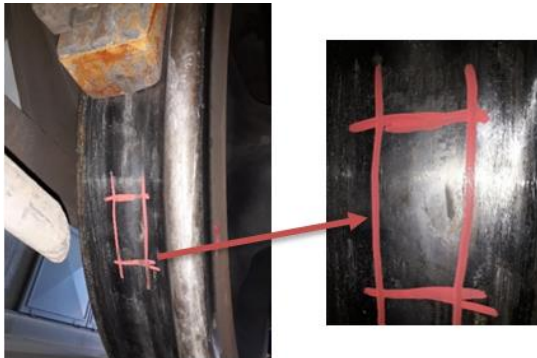
## ۲-۱- پایش سلامت چرخ‌های ریلی

خرابی در چرخ‌ها که عمدتاً ناهمواری‌های سطحی است، باعث ایجاد تغییرات چشمگیری در میزان ارتعاشات می‌شود؛ بنابراین استفاده از روشی که بتواند خرابی را در سریع‌ترین مرحله از پیشرفت آنها تشخیص دهد، ضروری تلقی می‌شود. در سیستم‌های پایش وضعیت فعلی از انواع مختلف سنسورها مانند کرنش‌سنج‌ها، شتاب‌سنج‌ها، سنسورهای مادون قرمز، دوربین تصویر برداری لیزری، صداسنج‌ها و غیره استفاده شده است. فرآیند پایش وضعیت شامل داده‌برداری، پردازش داده‌ها و شناسایی وضعیت چرخ است؛ بنابراین، رویکردهای موجود را می‌توان بر اساس مراحل فرآیند پایش وضعیت طبقه‌بندی کرد.

<sup>1</sup> On Board

<sup>2</sup> Way side

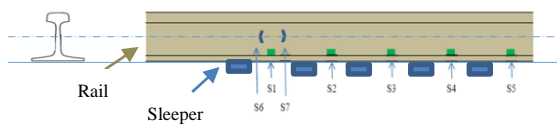
به منظور داده‌برداری از سیستم کنترل وضعیت جانبی خط استفاده شده است. مجموعه‌ای از سنسورها روی پاشنه ریل و همچنین در جان ریل نصب شده است. سنسورها به یک سیستم داده‌برداری هشت کاناله Dewsoft و یک مازول پردازنده دیتا متصل شده است. در شکل ۵ نمای کلی از محیط و تجهیزات داده‌برداری نشان داده شده است.



شکل ۳- خرابی چرخ ماشین ریلی



شکل ۴- مجموعه تجهیزات داده‌برداری سیستم جانبی خط



شکل ۵- آرایش شتاب‌سنج‌ها و کرنش‌سنج‌ها روی ریل

با به‌وجود آمدن این خرابی روی سطح چرخ، با چرخش چرخ روی ریل، نیروی ضربه‌ای ایجاد می‌شود که سطح بالایی نوپز و ارتعاشات در ریل ایجاد می‌شود. با تجزیه و تحلیل سیگنال‌های ارتعاشی می‌توان ناهنجاری‌های مختلف مربوط به چرخ مانند تخت‌شدگی، اختلاف شعاع محوری چرخ و انحرافات دیگر مانند معایب سیستم تعلیق، یاتاقان‌ها تشخیص داده شوند [۶].

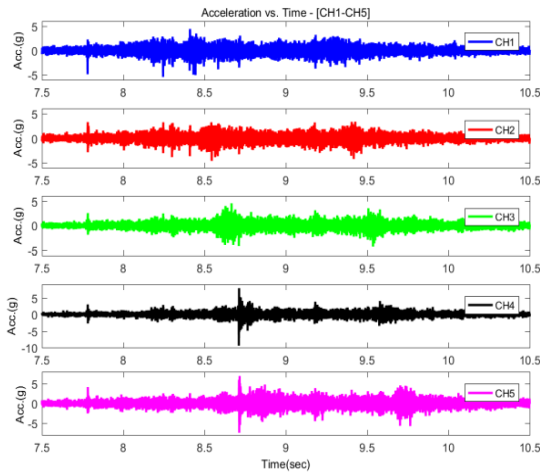
### ۲-۳- سوابق روش‌های تشخیص خرابی چرخ

برای اندازه‌گیری ارتعاشات از سنسورهای مختلفی مانند شتاب‌سنج‌ها، کرنش‌سنج‌ها و نیروسنج‌ها<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. الگوریتم‌های متعددی بر اساس نوع اندازه‌گیری توسعه داده شده است. از سیستم‌های مبتنی بر شتاب‌سنج‌ها می‌توان به سیستم مانیتورینگ چرخ<sup>۲</sup> [۹]، مانیتورینگ کنترل وضعیت بار ضربه‌ای چرخ<sup>۳</sup> (WIM) [۱۰] اشاره کرد. در برخی روش دیگر از تابع کپستروم<sup>۴</sup> برای تحلیل سیگنال‌ها استفاده شود [۱۲]. مانیتورینگ در کنترل وضعیت چرخ<sup>۵</sup> (WCM) از سنسور شتاب‌سنج و کرنش‌سنج نصب شده روی ریل استفاده می‌نماید. در برخی سیستم‌ها از لودسل‌ها برای اندازه‌گیری حداکثر بار به جای شتاب استفاده می‌شود [۱۳]. لی و لیو نشان دادند که استفاده از شتاب‌سنج برای اندازه‌گیری تخت‌شدگی چرخ مناسب است. سیگنال‌های ارتعاشی از تداخل منابع مختلف و نوپز تشکیل می‌شوند. از این رو شناسایی ویژگی‌های مربوط به خرابی از سیگنال ارتعاش اولیه دشوار است [۱۷-۱۸].

### ۳- شرایط و فرایند داده‌برداری تجربی

جهت انجام فرایند داده‌برداری تجربی، یک ماشین دیزل ریلی دو محوره با بار محوری یکسان ۱۰ تن و قطر چرخ ۸۵۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است. خرابی روی یک چرخ از محور اول است. در شکل ۳ خرابی تخت‌شدگی روی سطح چرخ از ماشین دیزل ریلی مشخص است.

<sup>1</sup> Load Cells  
<sup>2</sup> Wheel Monitoring System (WMS)  
<sup>3</sup> Wheel Impact Monitor (WIM)  
<sup>4</sup> Cepstrum  
<sup>5</sup> Wheel Condition Monitor (WCM)



شکل ۷- سیگنال‌های ارتعاشی در حوزه زمان (20Km/h)

#### ۴- تشخیص خرابی به کمک میانگین مربعات متحرک<sup>۲</sup>

تحلیل‌های حوزه زمان مستقیم مبتنی بر شکل موج زمانی است [۱۸]. تحلیل‌های سنتی حوزه زمان ویژگی‌هایی نظیر میانگین، قله، ضریب کرس<sup>۳</sup> و ممان‌های آماری مرتبه بالا نظیر چولگی<sup>۴</sup> و کورتسیس<sup>۵</sup> را شامل می‌شود. رویکردهای تحلیلی رایج در حوزه زمان نظیر میانگین‌گیری بصورت گسترده‌ای برای عیب‌یابی ماشین‌های دوار استفاده می‌شود. در این تحقیق از میانگین مربعات متحرک استفاده شده است. پاسخ اندازه‌گیری شده از ریل دارای نوسانات زیادی است که ناشی از نزدیک شدن و عبور چرخ است. برخورد ناحیه تخت‌شدگی چرخ با ریل ضربه‌ای مجزا از ضربات ناشی از عبور چرخ‌ها ایجاد می‌کند. این ضربه با فرکانس دوران چرخ تکرار می‌شود. با توجه به طیف فرکانسی گسترده ضربه، تشخیص آن به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ بنابراین سعی شد، از اثر این ضربه در افزایش دامنه ارتعاش استفاده شود. در نمودار زمانی سیگنال، به دلیل وجود منابع تحریک متعدد و پیچیدگی سیگنال، این افزایش قابل مشاهده نیست. به‌منظور کاهش نویز و آشکارسازی نواحی با دامنه بیشینه در نمودارها از میانگین مربعات متحرک استفاده شده است.

<sup>2</sup> Moving RMS

<sup>3</sup> Crest Factor

<sup>4</sup> Skewness

<sup>5</sup> Kurtosis

جهت داده‌برداری تعداد پنج عدد سنسور شتاب‌سنج (S<sub>5</sub>-S<sub>1</sub>) در نظر گرفته شده است که بین تراورس‌ها<sup>۱</sup> روی پایه ریل و در فواصل ۶۰۰ میلی‌متری نصب شده‌اند. شتاب‌سنج‌های مورد استفاده از نوع MTN با حساسیت 100 mV/g است. استفاده از این تعداد شتاب‌سنج به دلیل پوشش‌دهی کل محیط چرخ به قطر ۸۵۰ میلی‌متر است، به عبارت دیگر، اگر عیبی روی محیط چرخ وجود داشته باشد، حتما جایی میان شتاب‌سنج‌ها ریل را لمس خواهد کرد؛ همچنین جهت کنترل بار استاتیکی و زمان عبور چرخ‌ها، تعداد دو جفت کرنش‌سنج (S<sub>7</sub>,S<sub>6</sub>) مطابق شکل ۵ روی تار خنثی ریل و در ناحیه میانی بین دو تراورس و با آرایش نیم پل نصب شده است.

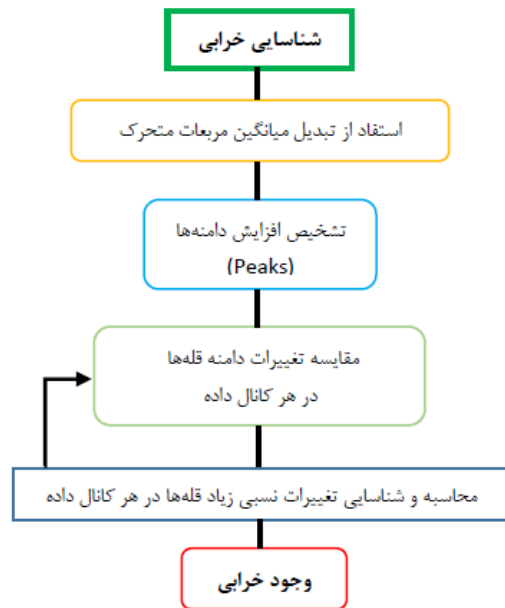
با عبور هر چرخ از موقعیت هر کرنش‌سنج، زمان عبور چرخ مشخص می‌شود و با شناخت موقعیت چرخ‌ها نسبت به یکدیگر، سرعت قطار قابل محاسبه خواهد بود. با هر بار عبور ماشین ریلی از تجهیزات اندازه‌گیری، سیگنال‌های ارتعاشی به کمک جمع‌کننده داده و نرم‌افزار مربوطه در یک فایل ذخیره می‌شود. تنظیمات مربوط به سنسورها در نرم افزار ثبت گردید و نرخ داده‌برداری ۱۰KHz در نظر گرفته شد (فاصله زمانی میان دو داده متوالی یک ده هزارم ثانیه می‌باشد). شکل ۷ نمونه‌ای از سیگنال‌های اندازه‌گیری شده در سرعت 20Km/h را نشان می‌دهد که هر ردیف بیانگر یک کانال داده است. شماره کانال‌ها به ترتیب شماره شتاب‌سنج -ها در نظر گرفته شده است.

در هر ردیف از نمودار دو پیک نشان دهنده عبور ۲ مجموعه چرخ و محور ماشین ریلی است. به دلیل پیچیدگی ساختاری سیگنال‌های خام، شناسایی خرابی‌های چرخ به کمک آن بسیار مشکل است.



شکل ۶- آرایش کرنش‌سنج‌ها روی جان ریل

<sup>1</sup> Sleeper



شکل ۸- فلوجارت فرایند جامع تحلیل و شناسایی خرابی

کرنش سنج و با داشتن محیط چرخ، سرعت را محاسبه کرد. این عملیات برای چند سرعت متفاوت انجام شد. جهت شناسایی تغییرات دامنه پیکها، محاسبات میانگین مربعات متحرک در نرم افزار متلب اعمال گردید. نتایج حاصل از سرعت ۴۰ Km/h در نمودارهای شکل ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. در شکل ۹ دو مقدار بیشینه نمایش داده شده است که بیانگر عبور دو مجموعه چرخ و محور است که به وسیله کرنش سنجها زمان دقیق عبور شناسایی شده است.

به منظور واضح بودن تصویر سیگنالها در نمودار شکل ۱۰، با استفاده از داده های کرنش سنج، سرعت و زمان دقیق عبور چرخها شناسایی شده است و با جبران اختلاف زمانی بین سنسورها، با مبنا قرار دادن سنسور اول بقیه داده ها شیفته شده اند تا شناسایی ماکزیممها و اختلافها آنها واضح تر باشند. با توجه به مقادیر بیشینه دامنه در کانال پنجم (تقریبا ۵.۷g) روی چرخ اول در زمان ۱۰ ثانیه مشهود است که به دلیل وجود خرابی، ضربه بیشتری توسط شتاب سنجها شناسایی شده است. با توجه به نمودار مشهود است که چرخ اول در کانال پنجم در مقایسه با کانالهای دیگر، تغییرات دامنه بیشتری از خود نشان داده است که بیانگر وجود خرابی روی این چرخ است.

در شکل ۸ فرایند تحلیل و شناسایی خرابی چرخ که در این پژوهش انجام شده است، بصورت کلی نمایش داده شده است.

این روش با تقسیم سیگنال به بخشهایی کوچکتر، یک منحنی واضح تر و هموارتر را ایجاد می کند. یکی از پارامترهای پرکاربرد در تحلیل های زمانی، میانگین مربعات سیگنال است. مقدار میانگین مربعات یک سیگنال شاخصی از محتوای انرژی سیگنال است. از معادله ۱ می توان برای محاسبه میانگین مربعات داده ها استفاده کرد:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2} \quad (1)$$

میانگین مربعات متحرک فرآیندی برای محاسبه مقادیر میانگین مربعات در سیگنال تقسیم شده به پنجرههایی با اندازه مشخص مانند طول دور یک چرخ است. تحلیل مجموعه داده های خام با استفاده از این روش، امکان محاسبه قله های اصلی در سیگنال را فراهم می کند.

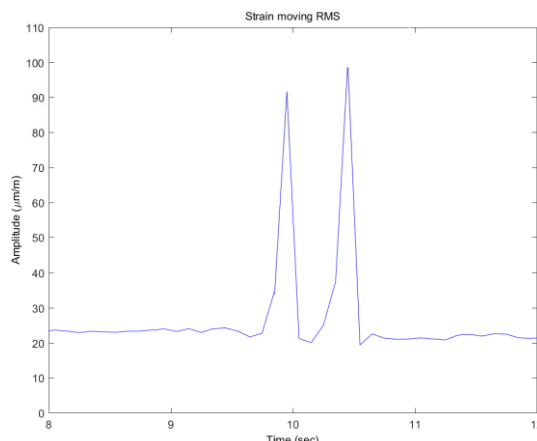
در این محاسبه، انتخاب پهنای پنجره متحرک و میزان هم پوشانی بازه های متوالی، پارامترهای تاثیرگذاری در نتایج هستند. با افزایش پهنای بازه متحرک، نمودار هموارتر و اثر نویز کم رنگ تر می شود، اما بزرگ بودن بیش از حد این پنجره، گام های زمانی نتایج افزایش می دهد. به عبارت دیگر، داده های داخلی این پنجره ها عمدتاً از دست می روند. کوچک کردن بازه نیز باعث نمایان شدن نویز در خروجی و مشکل شدن نتیجه گیری می شود.

انتخاب بهینه پارامترهای میانگین مربعات متحرک طی عملیات سعی و خطای نرم افزاری حاصل شده است. لازم به ذکر است که این مقادیر پارامترها برای هر سیگنال می تواند متفاوت باشد، زیرا سرعت وسیله مستقیم بر آنها تاثیرگذار است. با توجه به این نکته که ضربه ناشی از خرابی در یک بازه زمانی معادل چرخش یک دور چرخ در سیگنال ظاهر می شود، حداقل طول پنجره زمانی بایستی از زمان مربوط به یک دور چرخش بیشتر باشد؛ بنابراین محیط چرخ و سرعت حرکت وسیله باید محاسبه و تعیین گردد. در نمونه برداری انجام شده، سرعت وسیله نقلیه ریلی ثابت در نظر گرفته شده است. به منظور راستی آزمایی و مشخص کردن سرعت حرکت می توان به کمک تعیین بازه زمانی میان پیکهای خروجی

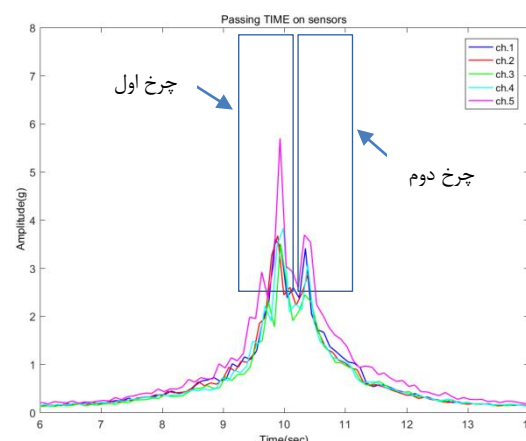
کارگیری این روش برای پایش سلامت چرخ‌های ریلی را به صورت جدی مدنظر قرار داد.

### ۶- مراجع

- [1] Rolek P, Bruni S, Carboni M (2016) Condition monitoring of railway axles based on low frequency vibrations. *Int J Fatigue* 86: 88-97.
- [2] Papaalias M, Amini A, Huang Z, Valley P, Dias DC, Kerkyras S (2016) Online condition monitoring of rolling stock wheels and axle bearings. *P I Mech Eng F-J Rai* 230(3): 709-723.
- [3] Pohl R, Erhard A, Montag HJ, Thomas HM, Wüstenberg H (2004) NDT techniques for railroad wheel and gauge corner inspection. *NDT E Int* 37(2): 89-94.
- [4] Hong M, Wang Q, Su Z, Cheng L (2014) In situ Health monitoring for bogie systems of CRH380 trainon Beijing-Shanghai high-speed railway. *Mech Syst Signal Pr* 45(2): 378-395.
- [5] SAFERAIL consortium (2008) Development of novel inspection systems for railway wheelsets. Report No. SCP7-GA 218674, SAFERAIL Consortium.
- [۶] هادیان ش، آرین م (۱۳۹۵) استفاده از منطق فازی در عیب‌یابی هوشمند ماشین آلات دوار و بررسی اثر توابع عضویت مختلف. *نشریه علمی مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها* ۶(۱): ۸۵-۹۸.
- [7] Asplund M, Palo M, Famurewa S (2014) A study of railway wheel profile parameters used as indicators of an increased risk of wheel defects. *Proc IMechE, J Rail Rapid Transit* 230: 323-334.
- [8] Masoumi H, Vermeulen F, Vanhonacker T (2018) Wheel set Condition Monitoring based on pass-by vibration signals. *J Railway Research* 5(2): 1-8.
- [9] Seco M, Sanchez E, Vinolas J (2006) Monitoring wheel defects on a metro line: system description, analysis and results. *Computers in Railways* 88: 973-982.
- [10] Lee ML, Chiu WK (2007) Determination of Railway Vertical Wheel Impact Magnitudes: Field Trials. *Struct Health Monit* 6(1): 49-65.
- [11] Skarlatos D, Karakasis K, Trochidis A (2004) Railway wheel fault diagnosis using a fuzzy logic method. *Appl Acoust* 65: 951-966.
- [12] Bracciali A, Lionetti G, Pieralli M (2002) Effective wheel flats detection through a simple device. *Proceedings of the 2002 Tctrail Workshop, Paris*.
- [13] Alemi A, Corman F, Lodewijks G (2017) Condition monitoring approaches for the detection



شکل ۹- RMS متحرک داده‌ها از کرنش سنج S7 (۴۰Km/h)



شکل ۱۰- RMS متحرک داده‌های شتاب‌سنج‌ها (۴۰Km/h)

### ۵- نتیجه گیری

خرابی چرخ‌ها از جمله تخت‌شدگی، پوسته‌شدگی و خارج محوری سطوح غلتشی موجب افزایش ارتعاشات ریل می‌شود که نشان دهنده وجود خرابی در سطح چرخ است. داده‌های خام همیشه برای تفسیر و آنالیز سیگنال‌ها کافی نیستند، بنابراین تجزیه و تحلیل بیشتر با استفاده از تحلیل آماری با شناسایی تغییرات مقادیر پیک‌ها با میانگین مربعات متحرک مدنظر قرار گرفته است.

در نتایج حاصل از میانگین مربعات متحرک، تغییرات زیاد دامنه یک کانال نسبت به کانال‌های دیگر از همان چرخ بیانگر وجود خرابی در سطح چرخ است؛ همچنین مشخص شد با افزایش سرعت چرخ، مقادیر دامنه افزایش بیشتری دارند. بر اساس نتایج این مطالعه، می‌توان پتانسیل به

- features and support vector machines. *J Sensors* 20(12): 3575
- [17] Li Y, Liu J, Wang Y (2016) Railway wheel flat detection based on improved empirical mode decomposition. *Shock and Vibration*. Article ID 4879283, 14 pages.
- [۱۸] صالحی م، اعظمی م (۱۳۹۷) تعیین موقعیت آسیب در سازه های تیرشکل به کمک تجزیه مودهای ذاتی چند متغیره پاسخ ارتعاشات تصادفی. *نشریه علمی مکانیک سازه ها و شاره ها* ۲۳۱-۲۲۱: ۸(۳).
- of railway wheel defects. *P I Mech Eng F-J Rai* 231(8): 961-981.
- [14] Palo M, Galar D, Nordmark T, Asplund M, Larsson D (2014) Condition monitoring at the wheel/ rail interface for decision-making support. *P I Mech Eng F-J Rai* 228(6): 705-715.
- [15] Ngigi RW, Pislaru C, Ball A, Gu F (2012) Modern techniques for condition monitoring of railway vehicle dynamics. *Journal of Physics: Conference Series* 364: 012016.
- [16] Gómez MJ, Castejón C, Corral E, García-Prada JC (2020) Railway axle condition monitoring technique based on wavelet packet transform