

بررسی رفتار دینامیکی بوژی مسافری میندن دویتس MD523 با استفاده از نرم افزار ادامز/ریل

محمد رضا رستم دانشجوی کارشناسی مهندسی ماشین های ریلی دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران mr_rostam@rail.iust.ac.ir	محمد علی رضوانی استادیار دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران rezvani_ma@iust.ac.ir
--	--

چکیده

در این مقاله با مدل سازی بوژی میندن دویتس مدل MD523 به بررسی رفتار دینامیکی این بوژی به هنگام حرکت بر روی خطوط مستقیم تحت تاثیر ناهنجاری های تصادفی پرداخته شده است و شاخصه های خروج از خط و عدد سایش در کلاس های متفاوت خط، مورد مقایسه قرار گرفته اند. در ضمن با انجام آنالیز مودال، فرکانس های طبیعی و مودهای نوسانی سازه استخراج شده اند.

لغات کلیدی: دینامیک بوژی، بوژی MD523، آنالیز مودال، خرابی خط

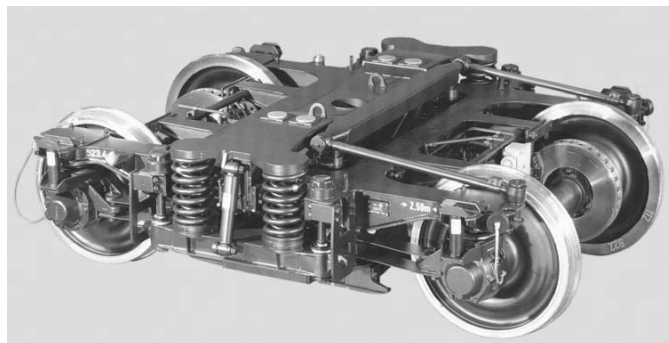
مقدمه

بوژی بخشی از واگن است که امکان حرکت آن بر روی ریل را فراهم می نماید و متشکل از مجموعه های قاب، چرخ و محور، سیستم اهرم بندی ترمز و سیستم تعلیق می باشد. کاربرد بوژی در واگن با توجه به آزادی دوران محدود بوژی نسبت به شاسی واگن، در مقایسه با محورهای منفرد، سبب تسهیل حرکت واگن ها در قوس ها می گردد. از این رو حرکت واگن های طولی، صرفاً با کاربرد بوژی میسر است. در بوژی های مسافری قاب بوژی کاملاً صلب است، سیستم تعلیق اولیه و ثانویه به نحوی طراحی شده اند که کیفیت سفر خوب، عملکرد ایمن در هنگام پیچیدن یک مسیر قوسی شکل و رفتار دینامیکی خوب را بر روی یک مسیر مستقیم داشته باشد. مجموعه چرخ و محور به قاب بوژی با عناصر تعلیق الاستیک و مستهلک کننده انرژی متصل شده اند. تعلیق اولیه به مجموعه چرخ و محور اجازه حرکت نسبی را نسبت به بدنه واگن می دهد و به کاهش ارتعاشات انتقالی به بدنه واگن کمک می کند. بدنه واگن توسط قاب های بوژی از طریق عناصر سیستم تعلیق ثانویه به طور مستقیم یا به وسیله گهواره ها تحمل می شود [۱].

بوژی MD523

بیش از ۴۰ سال است که راه آهن آلمان از بوژی های معروف MD برای واگن های خود استفاده می کند. به دلیل نیاز به سرعت های بیشتر و کیفیت سواری بهتر و نیز توان رقابت با دیگر بوژی ها، شرکت تولیدکننده با استفاده از روش های جدید طراحی و با در نظر گرفتن پارامترهایی چون راحتی حرکت و ترمز اقدام به ساخت بوژی MD52 سازگار با سرعت های بالا نمود. شاسی بوژی به شکل H است. سازه شاسی از پروفیل های ساده و جوشکاری شده از جنس فولاد St52 با قابلیت ارتجاعی بسیار خوب ساخته شده است و می تواند بارهای پیچشی بزرگ را به خوبی تحمل کند. طراحی بدنه این بوژی طوری است که در جهت طولی به فضای کمی در زیر واگن نیاز دارد.

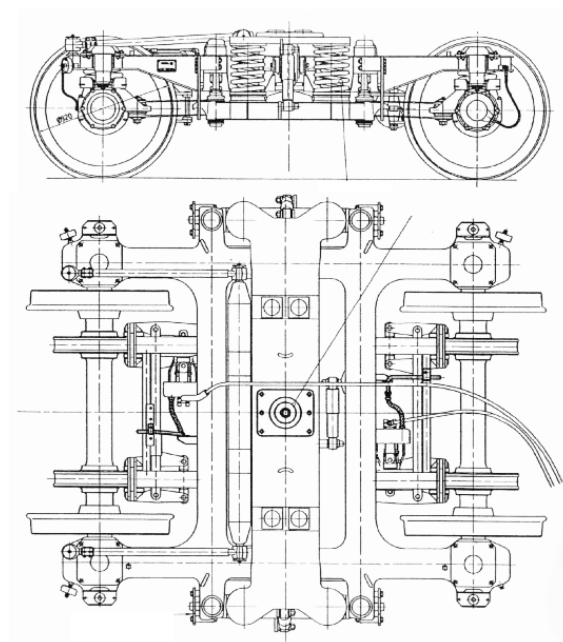
سیستم تعلیق چرخ و محور شامل دو فنر مارپیچی است که در درون یکدیگر قرار می‌گیرند. در شکل ۱ تصویری از بوژی MD523 ارائه شده است.



شکل ۱: نمایی از بوژی MD523

مدلسازی

افزایش دقت در نتایج شبیه سازی، نیازمند اطلاعات دقیق در رابطه با جرم‌ها، سیستم تعلیق اولیه و ثانویه و همچنین نوع اتصالات در این بوژی است. برای مدل‌سازی هندسی اجزای واگن و بوژی با استفاده از نقشه‌ها (شکل ۲) جهت استخراج داده‌های اولیه نظیر مراکز جرم و ممان اینرسی و ... نرم افزار سالیدورکس (Solidworks) و برای شبیه سازی دینامیکی نرم افزار آدامز ریل (ADAMS/Rail) مورد استفاده قرار گرفته است. برای فنر و دمپر ها نیز از مقادیر موجود در [2] استفاده شده است. جدول ۱ شامل اطلاعات لازم برای مدل‌سازی می‌باشد.

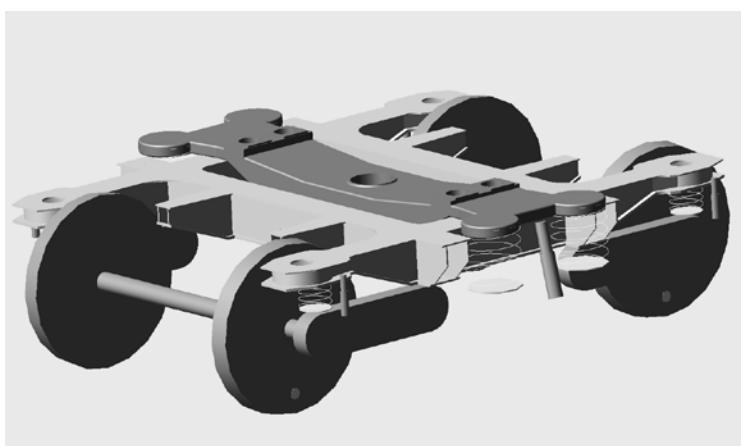


شکل ۲: نمای بالا و جانبی بوژی MD523 با متعلقات

جدول ۱: مشخصات فنی بوژی MD523 [2]

5500 Kg	وزن بوژی
507228 N/m	سختی سیستم تعلیق اولیه
9000 N.s/m	میرایی سیستم تعلیق اولیه
422690 N/m	سختی سیستم تعلیق ثانویه
23000 N.s/m	میرایی سیستم تعلیق ثانویه

با در نظر گرفتن یک سری فرضیات مانند صلب بودن قاب بوژی، ساده سازی اتصالات و ... مدل با استفاده از اطلاعات بدست آمده در نرم افزار ادامز/ریل (ADAMS/Rail) ساخته می‌شود. شکل ۳ مدل بوژی تنها را نشان می‌دهد.



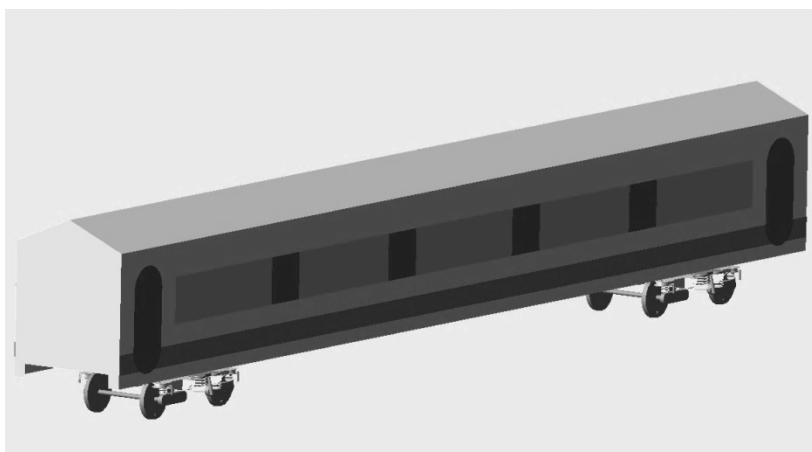
شکل ۳: نمای بوژی مدل شده در نرم افزار ادامز/ریل (ADAMS/Rail)

برای تهیه مدل واگن از اطلاعات واگن پارسی درجه یک استفاده شده است. بر اساس اطلاعات جدول ۲، مدل واگن مورد نظر به صورت صلب تهیه شده است.

جدول ۲: مشخصات فنی واگن پارسی درجه یک

26 m	طول بدنه
2.6 m	ارتفاع
2.1 m	عرض
26000 kg	جرم واگن
41177 kg.m^2	I_{xx}
1529526 kg.m^2	I_{yy}
1533700 kg.m^2	I_{zz}

با نصب ۲ بوژی در زیر واگن پارسی در فضای نرم‌افزار، مدل کامل واگن پارسی تهیه شده است. نمایی از این مدل در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: مدل نهایی واگن و بوژی

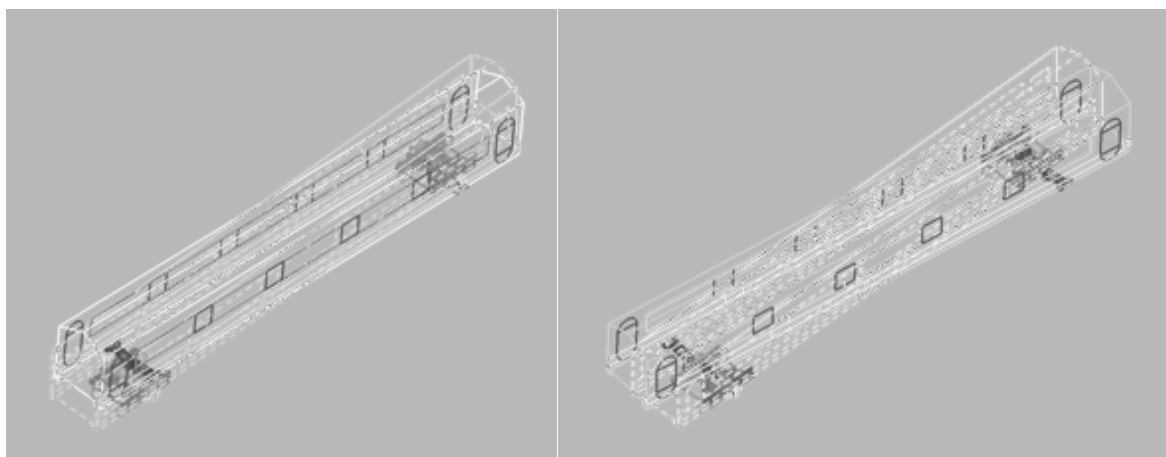
تست مودال:

برای تعیین فرکانس‌های طبیعی سیستم آنالیز مودال بوژی با استفاده از نرم‌افزار ادامز/ریل انجام شده است. نتایج بدست آمده برای چهار فرکانس طبیعی سازه مربوطه در جدول ۳ ارائه شده اند.

جدول ۳: فرکانس‌های طبیعی بوژی MD523

شماره مود ارتعاشی	اندازه مود ارتعاشی (Hz)
مود اول	۱.۴۸۹
مود دوم	۱۲.۴۹
مود سوم	۵۲.۶
مود چهارم	۱۱۰

نمونه ای از مودهای نوسانی مربوطه در شکل ۵ ارائه شده اند.



شکل ۵: دو مورد از مودهای نوسانی سازه

تست حرکت تحت ناهمواری خط آهن

با توجه به ذات تصادفی ناهمواری خط آهن، برای ارائه آن‌ها از تابع چگالی طیف توانی^۱ استفاده می‌گردد [۴]. FRA^۲ ناهمواری‌های خط را از کلاس یک (بدترین نوع) تا کلاس شش (بهترین نوع) تقسیم بندی کرده است. رابطه زیر معرف توابع چگالی طیف توانی ارائه شده توسط FRA می‌باشد. [۵]:

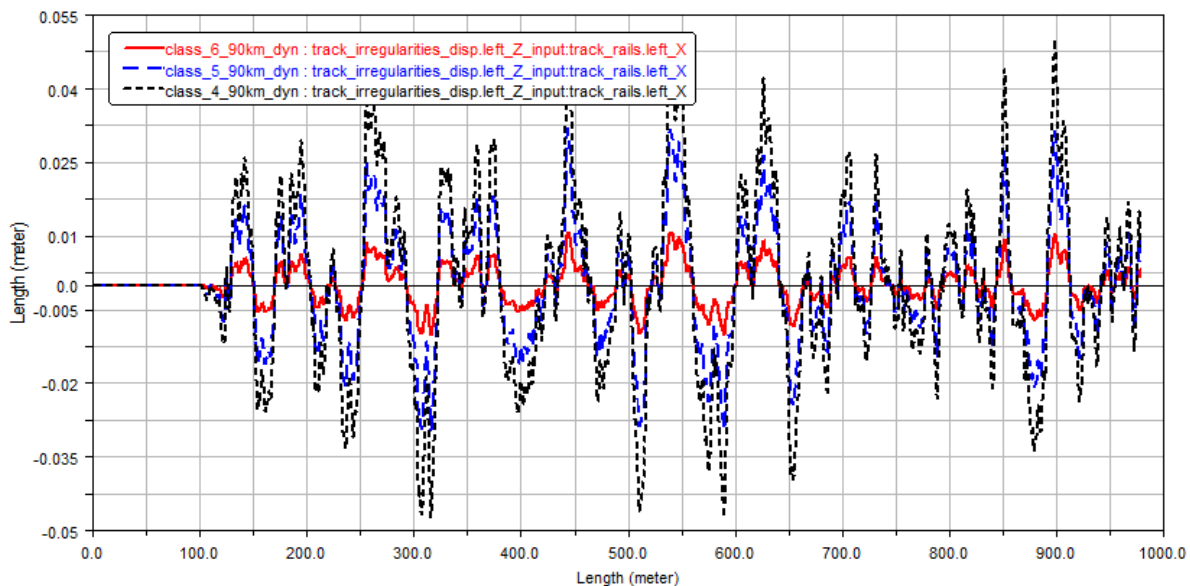
$$S_g(\Omega) = \frac{A\Omega_2^2}{(\Omega^2 + \Omega_1^2)(\Omega^2 + \Omega_2^2)} \quad (۱)$$

که در معادله فوق $S(\Omega)$ چگالی طیف توانی ناهمواری‌های ریل بر حسب طول موج، $\Omega = (\frac{2\pi}{v \times \omega})$ (۷ سرعت حرکت واگن بر روی ریل)، A ، Ω_1 و Ω_2 ضرایب ثابت هستند که مقادیر آن‌ها با توجه به کلاس ریل در جدول زیر آمده است.

جدول ۴: مشخصات هندسی ناهمواری خط در FRA [۵].

FRA Class	4	5	6
A	2.39E-5	9.35E-6	1.5E-6
Ω_1	2.06E-2	2.06E-2	2.06E-2
Ω_2	0.825	0.825	0.825

در نرم افزار هر سه کلاس خط به طول ۱ کیلومتر مدل شده و همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود ۱۰۰ متر اولیه هموار و پس از آن ناهمواری آغاز می‌گردد، ناوگان با سرعت ۹۰ کیلومتر در ساعت (حداکثر سرعت مجاز روی خطوط با کلاس ۴) بر روی آن‌ها تست و نتایج با هم مقایسه شده‌اند.



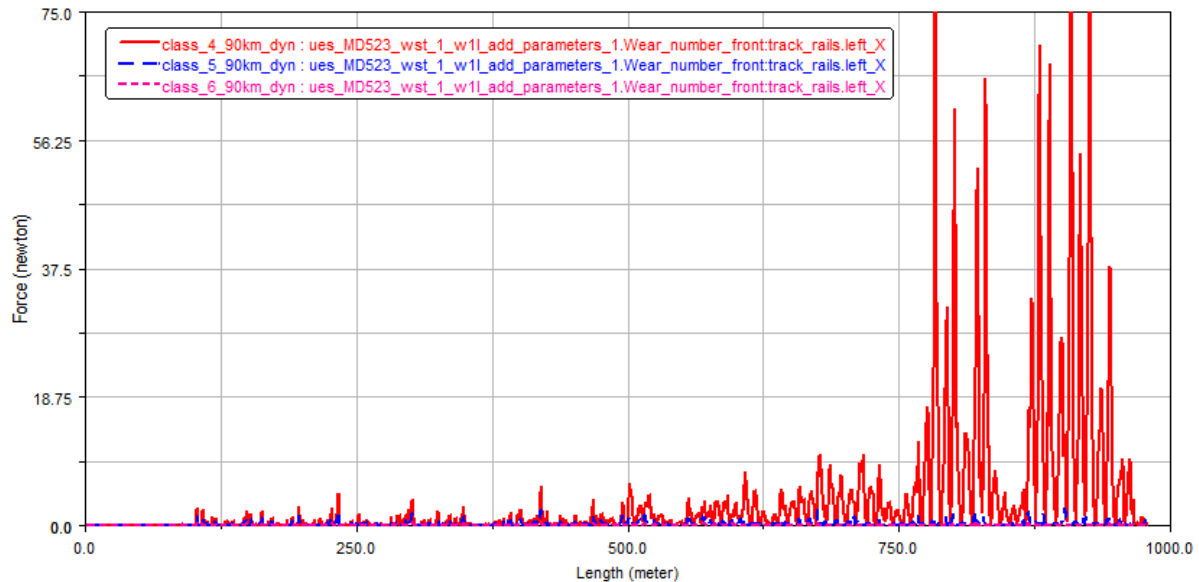
شکل ۶: ناهمواری اعمال شده به خط مطابق کلاس‌های ۴ و ۵ و ۶

¹ power spectral density (PSD) functions

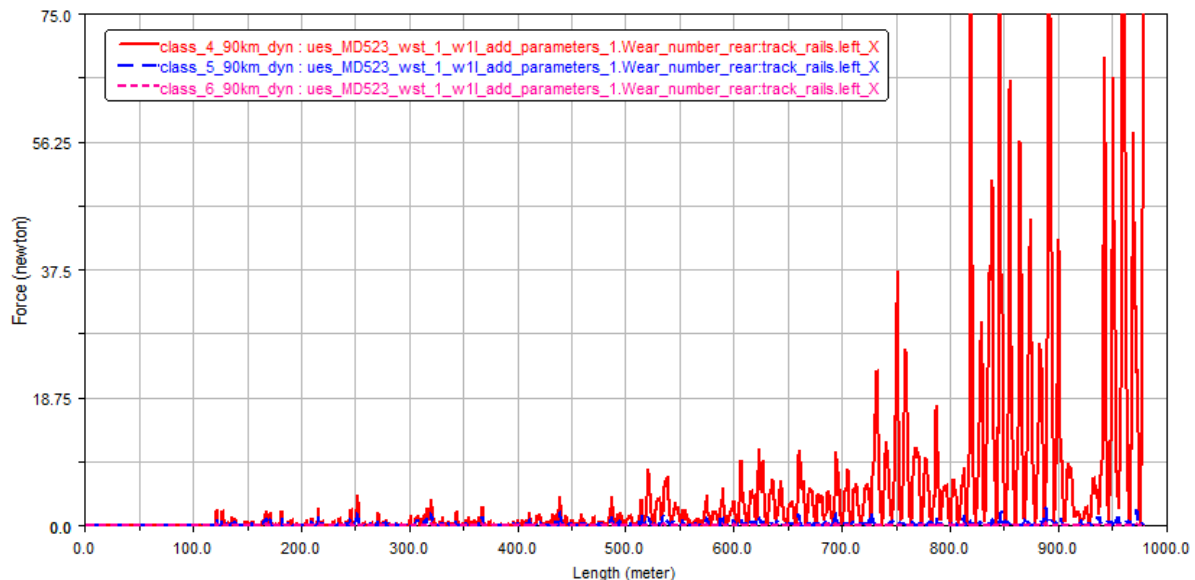
² Federal Rail-road Administration, USA

تحلیل نتایج تست حرکتی

همان گونه که انتظار می‌رفت و در شکل ۷ و ۸ برای چرخ جلو و عقب بوژی مشهود است، عدد سایش با افت کیفیت خط به شدت افزایش پیدا می‌کند. با توجه به مطالعات صورت گرفته می‌توان اظهار کرد که در بدترین حالت و بر روی کلاس خط ۴، عدد سایش کوچک و سایش در محدوده مجاز قرار دارد که این مقدار عملکرد مناسب بوژی MD523 در زمینه سایش چرخ را نشان می‌دهد.



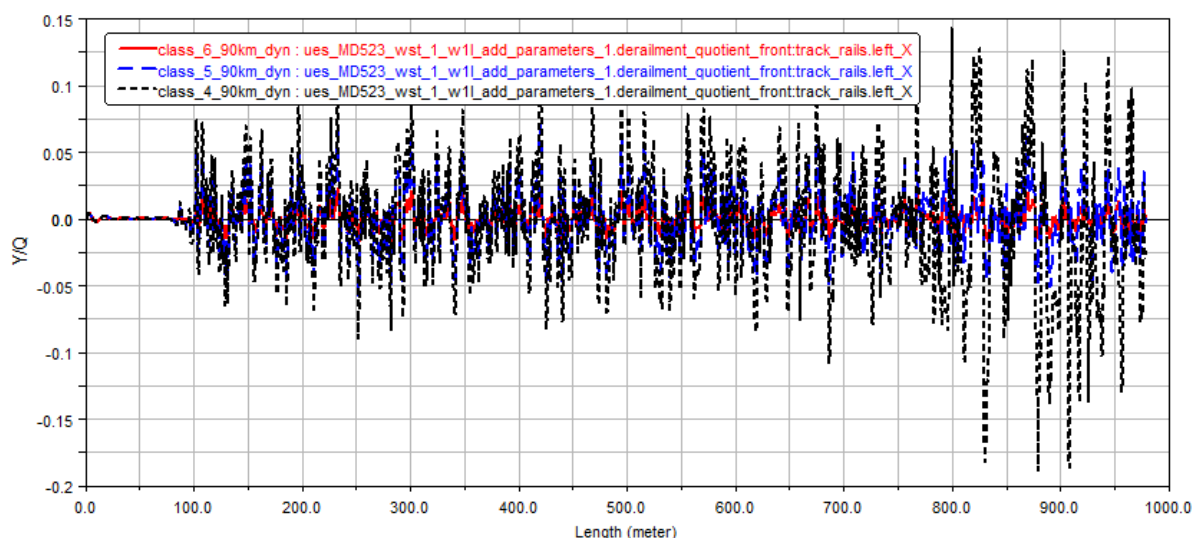
شکل ۷: عدد سایش چرخ جلو بر روی خطوط با شدت خرابی متفاوت



شکل ۸: عدد سایش چرخ عقب بر روی خطوط با شدت خرابی متفاوت

فرآیند خروج از خط وسیله نقلیه ریلی می‌تواند باعث بروز صدمات شدید جانی و مالی شود. اجتناب از فرایند خروج از ریل در خطوط آهن هم به دلایل ایمنی و هم اقتصادی موضوعی مهم است. به همین دلیل یکی از شاخصه های مهم در ارزیابی عملکرد ناوگان و بویژه بوژی، ضریب خروج از خط آن است. شاخص خروج از خط (Y/Q) باید برای جلوگیری از هر گونه خطری باید کمتر از $0/8$ باشد [۷].

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌کنید در بدترین وضعیت خط، شاخص خروج از خط به طور لحظه ای به ۰/۱۸ می‌رسد که این نشان دهنده کارایی و ایمنی این نوع بوژی ها می‌باشد.



شکل ۹: ضریب خروج از خط

نتیجه گیری

نتایج نشان دهنده عملکرد خوب و ایمن بوژی MD523 به همراه واگن پارسی درجه یک بر روی خطوط مستقیم همراه با ناهمواری و با سرعت سیر مجاز است و با توجه به عدد سایش بدست آمده عملیات تعمیر و نگه داری این نوع بوژی نیز مناسب می باشد.

منابع و مراجع

- [۱]. دکتر رضوانی، ۱۳۸۲، "مبانی طراحی بوژی"، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت
- [2]. D. Younesian, A. Solhmirzaei and A. Gachloo, Fatigue life estimation of MD36 and MD523 bogies based on damage accumulation and random fatigue theory, Journal of Mechanical Science and Technology 23, pp. 2149-2156, 2009
- [3]. Manual of MSC ADAMS/Rail Software Package, MSC
- [4]. L. Frýba, Dynamics of Railways Bridges, Thomas Telford House, Czech Republic, 1996
- [5]. YS Wu, YB Yang , Steady-state response and riding comfort of trains moving over a series of simply supported bridges , Engineering Structures, 2003
- [6]. UIC 518, Testing And Approval Of Railway Vehicles From The Point Of View Of Their Dynamic Behaviour - Safety - Track Fatigue - Ride Quality, 2005
- [7]. Y. B. Yang, J. D. Yau, Y. S. Wu, Vehicle-Bridge Interaction Dynamics: With Applications To High-Speed Railways, World Scientific, 2004