

تأثیر استفاده از مستهلک کننده ضد یاو بر نرخ سایش چرخ و شاخص خروج از خط

(محور همایش: ناوگان)

وهاب فضلی کچیدی^۱

چکیده

در این مقاله سعی شده است تأثیر استفاده از مستهلک کننده ضد یاو بر شاخصهای مهم مانند خروج از خط و نرخ سایش چرخ بررسی گردد. بدین منظور واگن ریل باس ارم ساخت شرکت صنایع ریلی ایران خودرو در نرم افزار Adams-Rail مدل سازی و در شرایط دینامیکی مختلف و مشخص شبیه سازی گردید. نتایج شبیه سازی های انجام شده نشان داد که وجود مستهلک کننده ضد یاو در سیستم تعلیق ثانویه خودروی ریلی، ضمن پایدار بودن خودرو و کاهش احتمال خروج از خط در هنگام حرکت در مسیر مستقیم، در سرعتهای بحرانی و در حرکت در قوس، باعث بروز مشکلاتی می شود.

کلمات کلیدی: مستهلک کننده ضد یاو، نرخ سایش در چرخ، خروج از خط

۱- مهندسی ماشینهای ریلی دانشگاه علم و صنعت ایران - کارشناس کنترل کیفیت، شرکت صنایع ریلی ایران خودرو تهران - کیلومتر ۱۴ اتوبان کرج - ابتدای آزادشهر - ساختمان سریر - شرکت صنایع ریلی ایران خودرو (ایریکو)، تلفن: ۰۹۱۵-۱۰۴۳۶۷۳

مقدمه

استفاده از تکنولوژی های مختلف در صنایع ریلی باعث بهبود شرایط بهره برداری و کاهش هزینه های تعمیراتی می شود. یکی از مشکلاتی که در حمل نقل ریلی وجود دارد، پدیده هانتینگ یا ناپایداری دینامیکی واگن در مسیر مستقیم می باشد که در سرعت های بحرانی منجر به خروج از خط واگن می گردد، این مشکل معمولاً با استفاده مستهلک کننده ضد یاو برطرف گردیده همچنین با استفاده از این نوع مستهلک کننده در مسیر مستقیم تا حدودی سایش در چرخ را کاهش می دهد. در حال حاضر در اکثر قطارهای سرعت بالا مانند TGV و شینکانسن از دمپر آنتی یاو برای پایداری استفاده می شود و از دیدگاه پایداری تحقیقات و مقالات زیادی ارائه شده است.

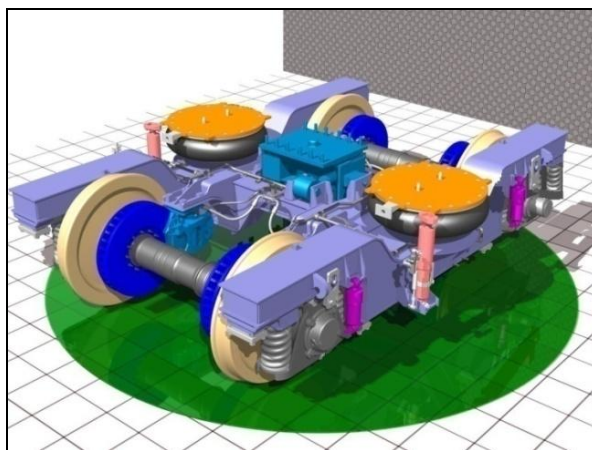
سایش منظم یا نامنظم چرخ تاثیر زیادی در ایمنی و عملکرد دینامیکی وسیله نقلیه ریلی دارد. همچنین افزایش سایش چرخ باعث افزایش هزینه نگهداری و تعمیرات وسیله نقلیه ریلی و کاهش LCC آن می شود.

خروج از خط وسیله نقلیه ریلی از ریل نیز از مشکلات مهم در بهره برداری راه آهن می باشد. از عوامل مهم خروج از خط می توان به خرابی خط و ریل، عدم تنظیم درست تعلیق بوژی در زمان ساخت یا تعمیرات و خرابی چرخ می توان اشاره کرد.

استفاده از مستهلک کننده ضد یاو در مسیرهای کوهستانی دارای قوسهای با شعاع کم باعث افزایش سایش چرخ و خطر خروج از خط می شود. این مقاله به بررسی تاثیر استفاده از مستهلک کننده ضد یاو در مسیر مستقیم و مسیر دارای قوس می پردازد.

۱- مدلسازی

مدلسازی برای واگن ریل باس ارم ساخت شرکت صنایع ریلی ایرانخودرو و برای عرض خط استاندارد UIC و با ۴۲ درجه آزادی انجام شده است. این واگن بدون گهواره، دارای تعلیق اولیه (فتر ماریپیچ و مستهلک کننده قائم) تعلیق ثانویه (فتر هوایی، و مستهلک کننده قائم و عرضی) می باشد. اتصال واگن به بوژی به صورت مفصلی و چرخش در راستای یاو داراست، شماتیک بوژی به صورت شکل (۱) می باشد. [۴]



شکل (۱) تصویر بوژی ریل باس ارم [۴]

برای شبیه سازی دو نوع واگن یکی بدون مستهلک کننده ضد یاو و دیگری با مستهلک کننده ضد یاو با مقدار مستهلک کننده مختلف در نظر گرفته شد. فرضیات مدلسازی به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

- چرخ و محور، بوژی و بدنه واگن جسم صلب فرض شدند و تنها سیستم تعلیق به عنوان جسم انعطافپذیر در نظر گرفته شده است.
- بارگذاری در راستای قائم، عرضی و طولی به صورت متقارن در نظر گرفته شده است.
- چرخ و محور در طول حرکت چسبیده به ریل نیستند و جدایی اتفاق می افتد.
- فنر و مستهلک کننده به صورت خطی تعریف می شوند.
- ضریب مخروطیت وابسته به حرکت عرضی چرخ می باشد.

۱-۱ - آماده سازی مدل در نرم افزار Adams-Rail

بدنه واگن به عنوان جسم صلب در نظر گرفته شده است و مشخصات ابعادی و اینرسی آن به صورت جدول (۱) می باشد.

جدول (۱) مشخصات ابعادی و اینرسی بدنه واگن [۴]

اندازه	پارامتر
۲۶	طول واگن (متر)
۳	ارتفاع واگن (متر)
۲/۸	عرض واگن (متر)
۳۳۳۸۰	جرم واگن (کیلوگرم)
۲۳۳۹۴	اینرسی دورانی رول ^۱ (کیلوگرم در مجذور متر)
۱۸۵۱۵۸۹	اینرسی دورانی یاو ^۲ (کیلوگرم در مجذور متر)
۱۸۵۱۵۸۹	اینرسی دورانی پیچ ^۳ (کیلوگرم در مجذور متر)

چرخ دارای پروفیل S1002 می باشد و مشخصات چرخ و محور مدل شده به صورت جدول (۲) می باشد.

Roll (Ixx) - ۱
 Yaw (Iyy) - ۲
 Pitch (Izz) - ۳

جدول (۲) مشخصات ابعادی و اینرسی چرخ و محور [۴]

اندازه	پارامتر
۲/۵	فاصله دو محور (متر)
۱/۴۹۹	فاصله دو دایره تماسی (متر)
۲/۱۷۰	طول محور (متر)
۰/۴۶	شعاع چرخ (متر)
۱۵۰۰	جرم چرخ و محور (کیلوگرم)
۷۰۰	اینرسی دورانی رول (کیلوگرم در مجذور متر)
۷۰۰	اینرسی دورانی یاو (کیلوگرم در مجذور متر)
۸۰	اینرسی دورانی پیچ (کیلوگرم در مجذور متر)

فریم بوژی شامل دو تیر طولی که توسط تیر عرضی موسوم به ترنسوم به صورت H مدل می شود مشخصات فریم مدل شده به صورت جدول (۳) می باشد.

جدول (۳) مشخصات اینرسی فریم [۴]

اندازه	پارامتر
۱۷۵۰	جرم فریم (کیلوگرم)
۴۰۰	اینرسی دورانی رول (کیلوگرم در مجذور متر)
۱۵۰۰	اینرسی دورانی یاو (کیلوگرم در مجذور متر)
۱۲۰۰	اینرسی دورانی پیچ (کیلوگرم در مجذور متر)

برای مدلسازی جعبه یاتاقان از مشخصات جدول (۴) استفاده می شود.

جدول (۴) مشخصات اینرسی جعبه یاتاقان [۴]

اندازه	پارامتر
۱۲۵	جرم جعبه یاتاقان (کیلوگرم)
۲	اینرسی دورانی رول (کیلوگرم در مجذور متر)
۵	اینرسی دورانی یاو (کیلوگرم در مجذور متر)
۵	اینرسی دورانی پیچ (کیلوگرم در مجذور متر)

سیستم تعلیق اولیه به عنوان راهنمای محور، تحمل کننده وزن واگن و جاذب نیروهای وارده از خط، شامل فنر مارپیچ، مستهلک کننده عمودی و Leaf Spring می باشد. مطابق واقعیت Leaf Spring به صورت جسم صلب ولی دارای انعطاف پذیری مشخص در بوشها مدل می شود و وظیفه محدود کردن حرکت طولی و زاویه یاو چرخ نسبت به فریم را دارد. مشخصات سیستم تعلیق اولیه مطابق جدول (۵) می باشد.

جدول (۵) مشخصات فیزیکی تعلیق اولیه [۴]

اندازه	پارامتر
۶۹۰۰۰۰	سختی قائم (نیوتن بر متر)
۳۶۰۰۰۰	سختی طولی (نیوتن بر متر)
۳۶۰۰۰۰	سختی عرضی (نیوتن بر متر)
۴۰۰۰۰	مستهلك کننده (نیوتن ثانیه بر متر)

سیستم تعلیق ثانویه وظیفه اصلی آن تامین راحتی سفر مناسب برای مسافر می باشد شامل فنر هوایی، مستهلک کننده عمودی و مستهلک کننده عرضی می باشد ضمن اینکه مستهلک کننده ضد یابو برای واگن تست دوم نیز اضافه می شود. مشخصات سیستم تعلیق ثانویه مطابق جدول (۶) می باشد.

جدول (۶) مشخصات فیزیکی تعلیق ثانویه [۴] [3]

اندازه	پارامتر
Nishimura	مدل فنر هوایی
۰/۲۵	سطح موثر (متر مربع)
۰/۰۲۵	حجم اولیه (متر مکعب)
۱/۳۲	ضریب پلی تروپیک
۱۰۰۰۰۰	سختی عرضی (نیوتن بر متر)
۱۰۰۰۰۰	سختی طولی (نیوتن بر متر)
۴۰۰۰۰	مستهلك کننده قائم (نیوتن ثانیه بر متر)
۴۰۰۰۰	مستهلك کننده عرضی (نیوتن ثانیه بر متر)

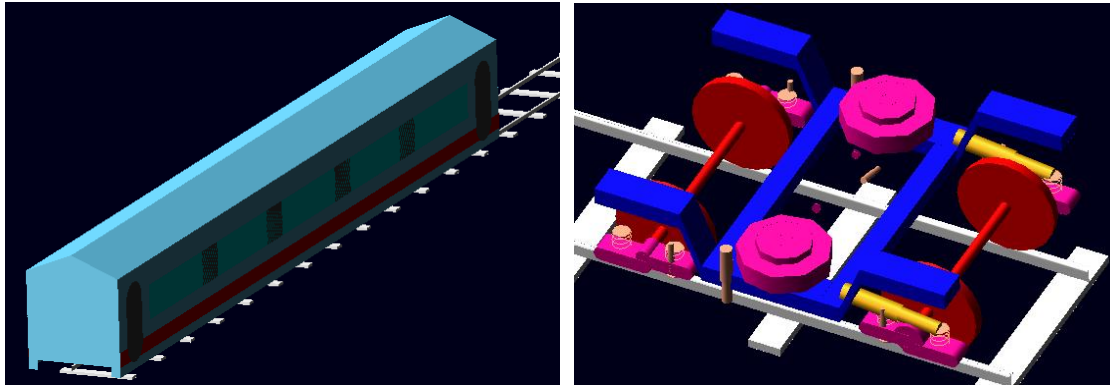
شبه سازی برای دو مسیر، خط دارای قوس و خط مستقیم، با مشخصات جدول (۷) انجام می شود.

جدول (۷) مشخصات ابعادی و فیزیکی مسیر [۴] [۱]

نوع یا اندازه	پارامتر
۴۰۰ متر	طول خط (متر)
خط مستقیم	از ۰ تا ۵۰ متر
قوس پیوندی با دور نهایی ۰/۱ متر	از ۵۰ تا ۱۰۰ متر
قوس با شعاع ۳۲۰ متر و با دور ۰/۱ متر	از ۱۰۰ تا ۴۰۰ متر
UIC 60	ریل
۱/۲۰	شیب ریل
۱۰۰۰۰۰۰۰۰	سختی قائم بستر (نیوتن بر متر مربع)
۱۰۰۰۰۰۰۰۰	سختی عرضی بستر (نیوتن بر متر مربع)
۱۰۰۰۰	مستهلك کننده قائم بستر (نیوتن ثانیه بر متر)
۱۰۰۰۰	مستهلك کننده عرضی بستر (نیوتن ثانیه بر متر)

مسیر مستقیم با طول ۱۰۰۰ متر و سایر مشخصات مانند نوع ریل، شیب ریل، سختی و مستهلک کننده بستر بر اساس جدول (۷) می باشد.

تصویر واگن، بوژی و مسیر مدل شده در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲) تصویر واگن و بوژی مدل شده در نرم افزار Adams

۲-۱- شاخص سایش چرخ^۱

یکی از مشکلاتی که در راه آهن و به خصوص در بخش ناوگان وجود دارد بحث سایش چرخ است که هزینه زیادی از بخش تعمیرات و نگهداری در این بخش صرف میشود. لذا شرکتهای مرتبط با این صنعت سعی می کنند تا با راه حلهای مختلف از این هزینه ها بکاهند. بعضا هم دیده می شود که با تکنیکهای شبیه سازی، تست واقعی و با محاسبات پیچیده پروفیلهای بهینه برای کاهش سایش چرخ پیشنهاد می شود و یا در آلیاژهای به کار رفته در بانداژ چرخ اصلاحاتی صورت می گیرد.

برای مقایسه سایش در چرخها شاخص سایش متناسب با مجموع حاصل ضرب نیروی عرضی در خزش عرضی و نیروی طولی در خزش طولی می باشد [۲]:

$$W_n \propto [T_y \gamma_y + T_x \gamma_x] \quad (1)$$

در این رابطه T_z, T_y نیروهای عرضی و قائم γ_z, γ_y خزشهای عرضی و قائم می باشند. در نرم افزار Adams-Rail برای محاسبه نیروهای تماسی از تئوریهای کالکر و جانسون استفاده شده است. بعد از انجام تحلیل دینامیکی این شاخص به صورت نمودار بر حسب زمان قابل بررسی می باشد.

۳-۱- شاخص خروج از خط^۲

تحلیل خروج از خط برای پیشبینی ایمنی وسیله نقلیه امری لازم و ضروری می باشد و شاهد موارد زیادی از این پدیده در راه آهنهای دنیا هستیم که ضرورت توجه به این بخش را توجیه می کند.

۱- Wear Number

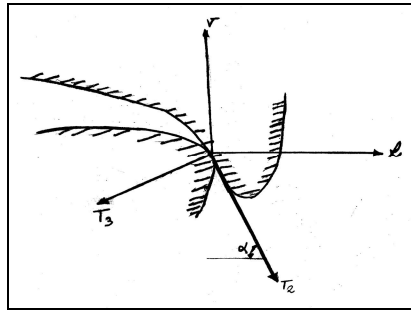
۲- Derailment

مکانیک پدیده خروج از خط به چندین عامل غیر خطی شامل تغییرات در محل تماس چرخ، زاویه تماس، هندسه محل تماس و نیروهای خزشی وابسته است. به همین منظور فرمولهای مختلفی برای پدیده خروج از خط وجود دارند که نسبت بین نیروهای جانبی و عمودی بین چرخ را می دهند.

نسبت خروج از خط یعنی $\frac{L}{V}$ که L و V مطابق شکل (۳) به ترتیب بار جانبی و بار عمودی بین چرخ است به عنوان شاخص در نظر گرفته می شود که باید در محدوده تعریف شده زیر باشد [۵]:

$$\frac{L}{V} < 1.2 \quad (۱)$$

تئوریهای مختلفی در این ارتباط وجود دارد برای آشنایی با چگونگی محاسبات این شاخص به معرفی تئوری Nadal پرداخته می شود.



شکل (۳) نیروهای عمل کننده در تماس چرخ بر اساس تئوری نادال [۲]

نیروهای عمل کننده در این تئوری در محل تماس چرخ را که در شکل (۳) نشان داده شده است در نظر بگیرید. L و V به ترتیب نیروهای جانبی و قائم میباشند T_2 و T_3 به ترتیب نیروهای صفحه ای و عمود به ناحیه تماس می باشند. زاویه فلنج و μ ضریب اصطکاک می باشد، بنابراین [۸]:

$$\begin{aligned} L &= T_2 \cos(\alpha) - T_3 \sin(\alpha) \\ -V &= T_2 \sin(\alpha) + T_3 \cos(\alpha) \end{aligned} \quad (۲)$$

با فرض $T_2 = \mu T_3$ در معادلات بالا نسبت $\frac{L}{V}$ به صورت (۳) بدست می آید.

$$\frac{L}{V} = \frac{\tan(\alpha) - \mu}{1 + \tan(\alpha)} \quad (۳)$$

همانطور که در قسمت قبل ذکر شد نرم افزار Adams-Rail نیروهای تماسی را با استفاده از تئوری کالکر و جانسون محاسبه سپس شاخص Nb که نسبت نیروی جانبی به نیروی قائم است بدست می آورد.

۲- شبیه سازی

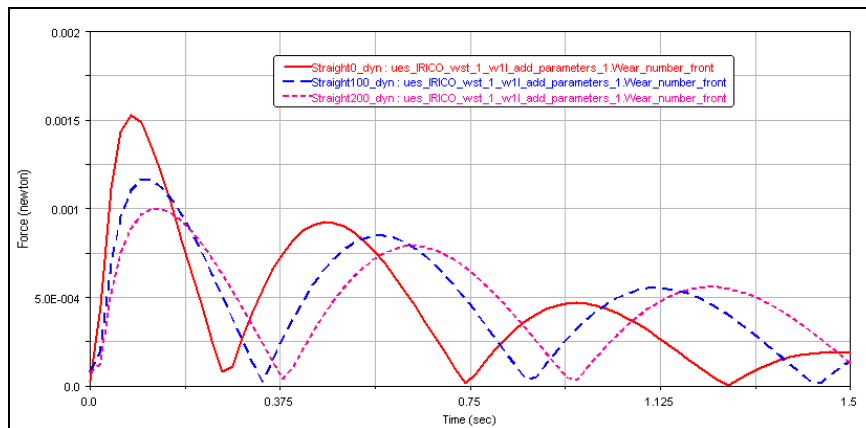
بعد از مدل سازی واگن و خط شبیه سازی انجام می شود. برای انجام شبیه سازی ابتدا آنالیز پیش بار انجام می شود تا کلیه بارهای استاتیکی تحت وزن واگن، بوژی و سایر متعلقات اعمال می شود، محاسبه شوند. بعد از انجام این آنالیز می توان توزیع بارهای استاتیکی را در تعلیق اولیه و ثانویه مشاهده نمود و بر حسب انتظار نیروها به صورت متقارن توزیع شدند.

در ادامه آنالیز دینامیکی با انتخاب مسیر و شرایط تماسی ذکر شده برای سرعت ۲۰ متر بر ثانیه و برای ۱۰۰۰ بازه زمانی اجرا می شود. آنالیز دینامیکی برای واگن بدون مستهلک کننده ضد یارو و برای حالت با مستهلک کننده ضد یارو اجرا می شود. در حالت با مستهلک کننده ضد یارو آنالیز دینامیکی برای دو حالت، یک بار با ضریب مستهلک کننده ۲۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر و بار دیگر با ضریب مستهلک کننده ۳۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر انجام می شود و در نهایت نتایج در قسمت Postprocessor با نمودارهای مختلف برای شاخصها و پارامترهای خاص و همچنین انیمیشن شبیه سازی بررسی می شود.

۳- بررسی نتایج

۳-۱- بررسی سایش چرخ

در قسمت Postprocessor نرم افزار نمودارهای شاخص سایش چرخ به صورت شکل (۴) و (۵) به ترتیب در مسیر مستقیم و قوسدار برای بررسی سه حالت ذکر شده در قسمت شبیه سازی، استخراج می شود.

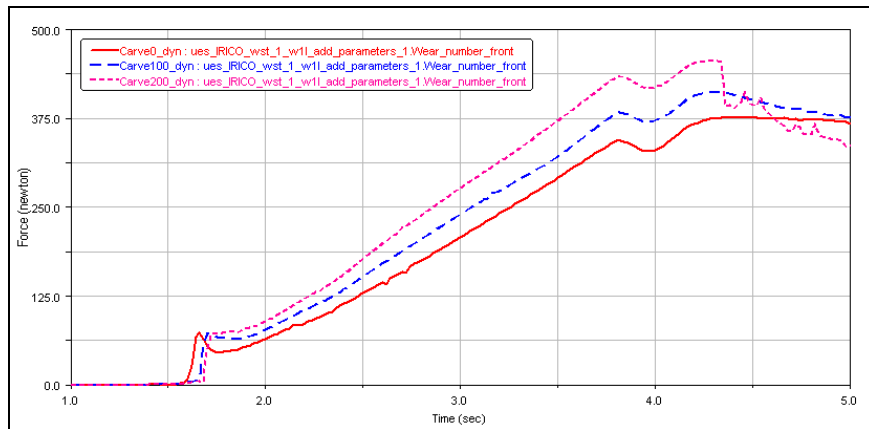


شکل (۴) نمودار تغییرات شاخص سایش بر حسب زمان در مسیر مستقیم

(رنگ قرمز توپر برای واگن بدون مستهلک کننده ضد یارو، رنگ آبی خط چین برای واگن با مستهلک کننده ضد یارو و با ضریب مستهلک کننده ۲۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر و رنگ صورتی نقطه چین برای واگن با مستهلک کننده ضد یارو و با ضریب مستهلک کننده ۳۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر)

ضمن پایدار بودن هردو واگن در این شبیه سازی با توجه به نمودار شکل (۴) می بینیم که در مسیر مستقیم واگن معمولی، مقدار سایش بالاتری نسبت به واگن با مستهلک کننده ضد یارو دارد، ضمن اینکه با افزایش مقدار ضریب مستهلک کننده یارو این وضعیت بهتر هم می شود. ولی این نتیجه در مسیر دارای قوس مطابق نمودار شکل (۵) دقیقاً عکس مواردی است که در حالت مسیر مستقیم مشاهده شد، یعنی استفاده از مستهلک کننده ضد یارو باعث افزایش مقدار سایش در مسیر قوسدار و

هرچه ضریب مستهلک کننده بیشتر شود این وضعیت بدتر می شود. لازم به ذکر است این وضعیت در قوس پیوندی به دلیل تغییر انحنای آن و پاسخ گذرای مستهلک کننده ضد یاو به این تغییرات، نسبت به قوس اصلی بدتر است.

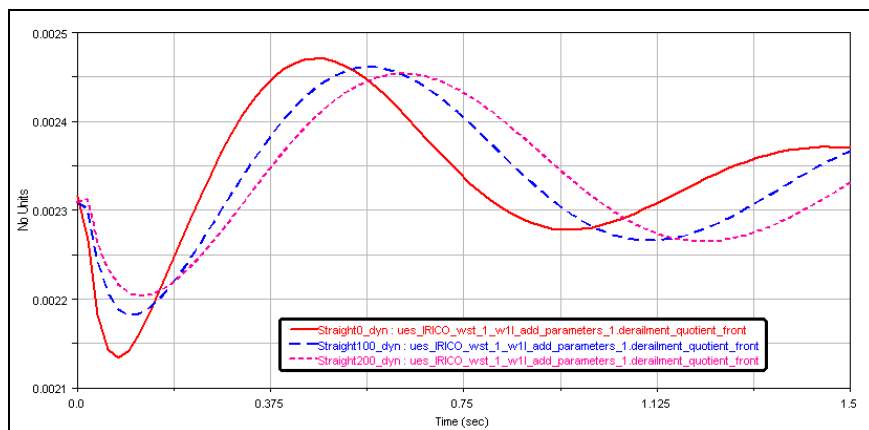


شکل (۵) نمودار تغییرات شاخص سایش بر حسب زمان در مسیر دارای قوس

(رنگ قرمز توپر برای واگن بدون مستهلک کننده ضد یاو، رنگ آبی خط چین برای واگن با مستهلک کننده ضد یاو و با ضریب مستهلک کننده ۲۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر و رنگ صورتی نقطه چین برای واگن با مستهلک کننده ضد یاو و با ضریب مستهلک کننده ۳۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر)

۳-۲- بررسی خروج از خط چرخ و محور [۲] [۵] [۸]

در قسمت Postprocessor نرم افزار نمودار های شاخص خروج از خط به صورت شکل (۶) و (۷) به ترتیب در مسیر مستقیم و قوسدار برای بررسی سه حالت ذکر شده در قسمت شبیه سازی، استخراج می شود.

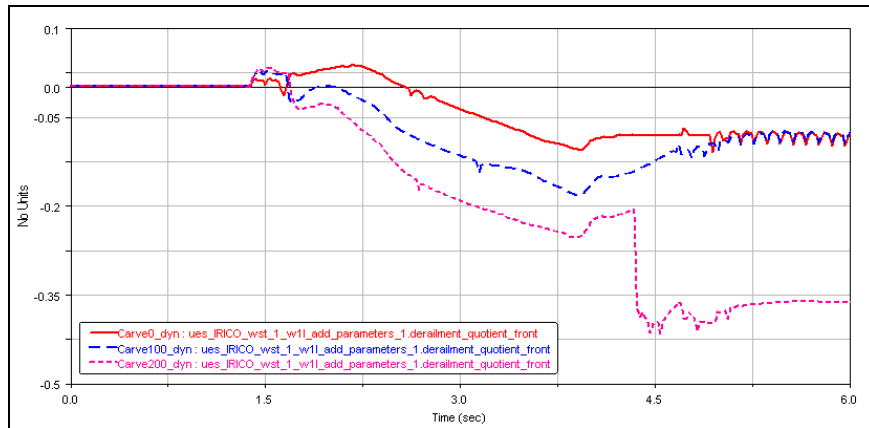


شکل (۶) نمودار تغییرات شاخص خروج از خط بر حسب زمان در مسیر مستقیم

(رنگ قرمز توپر برای واگن بدون مستهلک کننده ضد یاو، رنگ آبی خط چین برای واگن با مستهلک کننده ضد یاو و با ضریب مستهلک کننده ۲۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر و رنگ صورتی نقطه چین برای واگن با مستهلک کننده ضد یاو و با ضریب مستهلک کننده ۳۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر)

با توجه به نمودار شکل (۶) واگن معمولی در مسیر مستقیم دارای عدد خروج از خط بالاتر و واگن دارای مستهلک کننده ضد یاو دارای عدد خروج از خط پایین تر و با افزایش ضریب مستهلک کننده این مقدار بهبود می یابد. ولی در مسیر قوسدار با توجه به شکل (۷) این نتایج عکس می شود یعنی شاخص خروج از خط برای واگن معمولی بهتر از واگن با مستهلک کننده

ضد یاو می باشد و با افزایش ضریب مستهلک کننده این شرایط بحرانی تر می شود. این وضعیت در قوس پیوندی به دلیل پاسخ گذرای مستهلک کننده به تغییرات انحنای قوس پیوندی نسبت به قوس اصلی بدتر است.



شکل (۷) نمودار تغییرات شاخص خروج از خط بر حسب زمان در مسیر دارای قوس

(رنگ قرمز توپر برای واگن بدون مستهلک کننده ضد یاو، رنگ آبی خط چین برای واگن با مستهلک کننده ضد یاو و با ضریب مستهلک کننده ۲۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر و رنگ صورتی نقطه چین برای واگن با مستهلک کننده ضد یاو و با ضریب مستهلک کننده ۳۰۰۰ کیلو نیوتن ثانیه بر متر)

در هردو شاخص یعنی خروج از خط و سایش می توان گفت در مسیر قوسدار استفاده از مستهلک کننده ضد یاو باعث صلب شدن واگن در درجه آزادی یاو می شود در نتیجه هر دو شاخص شرایط بدتر پیدا می کنند.

۴- بحث و نتیجه گیری

بر اساس شبیه سازی انجام شده می توان نتایج زیر را استنتاج کرد:

- ۱- استفاده از مستهلک کننده ضد یاو فقط در مسیر مستقیم باعث بهبود شاخصهایی مثل خروج از خط و سایش می شود و در مسیر قوسدار به خصوص در قوس پیوندی شرایط را در موارد ذکر شده بدتر می کند. لذا در صورت امکان و ارضای پایداری واگن در محدوده سرعت طراحی باید از استفاده مستهلک کننده ضد یاو پرهیز کرد. در این خصوص می توان به واگن ریل باس ارم ساخت شرکت صنایع ریلی ایران خودرو اشاره کرد. با توجه به تحلیل‌های انجام شده با استفاده از نرم افزار Vampire توسط شرکت روتم کره جنوبی، سرعت بحرانی واگن بدون مستهلک کننده ضد یاو بالاتر از ماکزیمم سرعت طراحی می باشد و نیازی به استفاده از این نوع مستهلک کننده نیست. [9]
- ۲- همانطور که می دانیم خطوط ایران غیر از خط تهران مشهد، دارای قوسهای تند می باشد. در مسیرهای کوهستانی با قوسهای زیاد و تند معمولا کاهش سایش و افزایش سرعت در نتیجه کاهش شاخص خروج از خط بسیار اهمیت دارد لذا در انتخاب و ساخت ناوگان برای مسیرهای مختلف کاملا بررسی شود تا بهینه ترین حالت برای استفاده یا عدم استفاده از مستهلک کننده ضد یاو مد نظر قرار گیرد.

۵- مراجع

[۱]- و.ا. پروفیلیدس ، "مهندسی راه آهن (تئوری و کاربرد)" ترجمه و تدوین: دکتر حسین قهرمانی، مهندس محسن حسینقلیان ، پاییز ۱۳۷۷.

[۲]- پروژه پایانی، شبیه سازی قطارهای تیلتینگ، و.فضلی، دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۴

[3]- MSC Software, Adams/Rail12, 2005

[4]- Process Sheet & Other Document of **IRICO** Rail Bus, 2008

[5]- UIC 518, 2003

[6]- On Derailment-Worthiness in Rail Vehicle Design, Dan Brabie, Doctoral Thesis, 2007

[7]- Design Development of Meter Gauge Bogie, Sanjeev Sharma & Ajit Singh, India Rail Coach Factory, 16th European Mechanical Dynamic User's Conference, 2001

[8]- Matsu, M. "Quasi-Static Derailment of a Wheelset", Quarterly Report of RTRI, Vol. 27, No. 3, 1986

[9]- "Study of Yaw Damper for IRICO", REDE504592, IRICO Rail Bus, 2005