امکان‌سنجی افزایش سرعت ریل‌باس ارم و شبیه‌سازی بهره‌برداری از این محصول در مسافت‌های طولانی

نام محور مقاله: طراحی عمومی ناوگان ریلی

یعقوب محمدی[۱]

محمدجعفری نسب[۲]

چکیده

وجود شهرهای بزرگ با فاصله نسبتا زیاد در کشورایران موجب گردیده تا حمل و نقل سریع و ایمن به یکی از نیازهای اصلی سیستم حمل و نقل کشورتبدیل شود. در این میان و در بخش جابجایی مسافر، حمل و نقل ریلی به علت ایمنی بالا، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از تکنولوژی روز در محصول ریل‌باس و بومی شدن ساخت و تولیداین محصول در شرکت ایریکو این لزوم را ایجادکرده است تا به منظور پاسخ‌گویی به نیازکشور، ساخت و تولیدمحصولی جدید بر پایه محصول ریل‌باس و با سرعت سیر بالاتر، در دستور کار شرکت ایریکو قرار گیرد. در این مقاله، امکان‌سنجی افزایش سرعت ریل‌باس ارم به عنوان یکی از اصلی‌ترین پیشنیازهای بهره‌برداری از این محصول در مسافت‌های طولانی مورد بررسی قرار گرفته و سیستم‌هایی که متاثر از این تغییر می‌باشند ارزیابی گردیده است. همچنین با توجه به این که تعداد موتور این محصول در یک رام نگرانی‌هایی در خصوص قابلیت دسترسی این محصول در مسافت طولانی ایجاد می‌نماید، مسیر تهران – مشهد برای بهره‌برداری از این محصول شبیه‌سازی گردیده و نتایج حاصل از آن ارائه گردیده است. نتایج این شبیه‌سازی بهترین چیدمان برای بهره‌برداری از این محصول در مسافت طولانی را ارائه می‌نماید.

کلمات کلیدی افزایش سرعت، قطار حومه ای، شبیه سازی نیروهای مقاوم و رانش، پروفیل سرعت

۱-مقدمه

امروزه رشد سریع تکنولوژی و ظهور فن آوری‌های جدید، سرعت سیر بالا به همراه ایمنی لازم را برای مسافران در حوزه حمل و نقل ریلی به ارمغان آورده است. ترافیک بالا در شهرهای بزرگ به همراه حجم بسیار وسیع حمل و نقل، این موقعیت ممتاز را در اختیار این صنعت قرارداده است که با توجه به حجم جابجایی بالا و ایمنی بسیار مناسب، بتواند سهم قابل توجهی از حمل و نقل بار و مسافر را به خود اختصاص دهد.

در همین راستا، شرکت ایریکو در جهت تامین نیازهای کشور در تامین ناوگان ریلی و به جهت پوشش نیازهای موجود در صنعت حمل و نقل ریلی مسافری، اقدام به تولید محصول خود کشش ریل‌باس از طریق انتقال تکنولوژی از کشورکره جنوبی نموده است. این محصول که دارای سرعت سیر برابر ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت می باشد، کارایی بسیار مناسبی در مسیرهای حومه‌ای داشته و در حال حاضر در اینگونه مسیرها مشغول به سیر می باشد. سرعت سیر حداکثر این محصول این امکان را بوجود آورده است که بتواند در فواصل ایستگاهی ۵ الی ۲۰ کیلومتر و با سرعت سیر حداکثر بهینه نسبت به زمان سیر، به جابجایی مسافر اقدام نماید[۱].

با توجه به وجود نیاز در کشور جهت پوشش مسیرهای میان برد با مسافت‌های سیر ۴۰۰ الی ۸۰۰ کیلومتر، اصلاح ریل‌باس موجود بمنظور پاسخ‌گویی به این نیاز در دستور کار شرکت ایریکو قرار گرفت. به این منظور وضعیت سیستم‌های مختلف

[۱] رییس تحقیق و توسعه محصولات جدید - شرکت توسعه صنایع ریلی ایرانیان (ایریکو) –پست الکترونیکی: mohammadi.y@iri.co.ir

[۲] رییس تحقیقات تکنولوژی واگن –شرکت توسعه صنایع ریلی ایرانیان (ایریکو)– پست الکترونیکی:rdcenter@iri.co.ir

همانند سیستم ترمز، رانش، تهویه، درب و ... میبایست مورد بررسی قرار گیرند. لذا در این مقاله در بخش نخست به بررسی سیستم‌ها و متعلقات ریل باس پرداخته شده و نتایج حاصل حاصل از امکان‌سنجی افزایش سرعت محصول تا ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت ارائه گردیده است. در بخش دوم شبیه‌سازی شرایط بهره‌برداری از این محصول در حالت‌های مختلف انجام گرفته است که نتایج آن دامنه کاربرد این محصول را در شرایط سیر مسافت‌های طولانی نشان می‌دهد. بدین منظور مدلی جهت انجام شبیه‌سازی مورد نظر در مسیر تهران – مشهد با در نظر گرفتن پارامترهای خطوط مانند طول قوس، شیب و فراز ارائه شده که در آن به بررسی شرایط بهره‌برداری ترنست‌های پردیس و ریل‌باس ارم در حالت‌های دو رام کوپل و یک رام مستقل پرداخته شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی بهره‌برداری از ترنست‌های پردیس صحه‌گذاری بر مدل را امکان‌پذیر نموده و مرجع مقایسه و تحلیل نتایج بدست آمده برای ریل‌باس‌ها می‌باشد. همچنین جهت بررسی میزان تاخیرهای احتمالی به علت خرابی یکی از موتورها نتایج شبیه‌سازی‌های مربوط به سیر یک رام ریل‌باس با یک موتور و دو رام ریل‌باس با سه موتور نیز ارائه شده است.

۲-معرفی خودروی ریلی ریل‌باس ارم

ریل‌باس با سیستم محرکه دیزل برای خطوط ریلی بدون برق طراحی گردیده است. در ریل‌باس ارم، سیستم محرکه که شامل موتور دیزل و سیستم ترانس میشن هیدرولیک می‌باشد، در زیر واگن نصب و توان تولیدی موتور به یک سیستم هوشمند انتقال قدرت هیدرولیک شامل مبدل گشتاور، ریتاردر و کوپلینگ، انتقال می‌یابد. در نتیجه امکان استفاده از ترمز هیدرودینامیکی نیز فراهم شده و تنها در شرایط خاص (سرعت پایین، ترمز اضطراری) به اعمال ترمز مکانیکی قوی نیاز است. این محصول در حال حاضر با توجه به طراحی صندلی، ظرفیت سرویس‌های بهداشتی و طراحی فضاهای داخلی جهت سیر در مسافت‌های ۲۰۰ کیلومتر مناسب بوده و سرعت سیر آن ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. این در حالی است که طراحی سیستم‌های مکانیکی این محصول و ظرفیت مخازن سوخت آن برای طی مسافت بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر در روز طراحی گردیده است.در جدول شماره ۱ مشخصات فنی این محصول ارائه شده است.

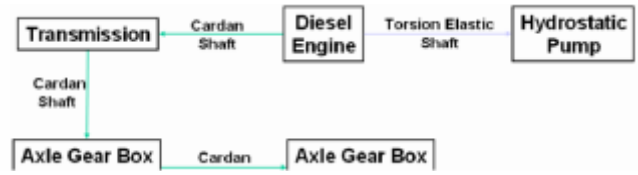
جدول شماره ۱ – مشخصات فنی ریل‌باس ارم

Train Configuration	Mc-T-T-Mc
Max. Operation Speed	۱۲۰ Km/hr
Track Gauge	۱۴۳۵mm
Min. Radius Curvature (Main Line)	۱۵۰m
Max. Gradient	۲۸‰
Loading Gauge	UIC ۵۰۵-۱
Max. and Min. Temperature	-۲۵~+۵۰□C
Max. Design Speed	۱۳۲ Km/hr
Max. running distance per a trip	۲۰۰
Max. Axle Load	۱۶.۵ ton
Passenger Capacity (Seat) ۱ Set	۳۳۶
Main Doors Width	۱۴۰۰ mm
Diesel Engine Power	۵۸۸ Kw (۸۰۰ HP) at ۲۱۰۰ rpm
Type of Transmission System	Hydrodynamic andFully Automatic
Bogie Type	Bolsterless
Bogie Frame Type	H Type
HVAC (Passenger)	Included
HVAC (Driver Cabin)	Included
No. of Toilets in each set (٤ car)	۲
Passenger Information System	PA/PIS
CCTV	Included

۳-بررسی‌هایسیستم‌های اصلی ریل‌باس جهت افزایش سرعت سیر

۳-۱-مجموعه پاورپک

مجموعه پاورپک شامل موتور اصلی، سیستم ترانسمیشن، کاردان شفت، و فاینال درایو اولیه و ثانویه می‌باشد. چگونگی ارتباط قسمت‌های مختلف در مجموعه پاورپک در شکل زیر ارائه شده است.



تصویرشماره ۱ - دیاگرام سیستم رانش

موتور استفاده شده در سیستم رانش ریل‌باس مدل D۲۸۴۲ LE۶۰۲ از نوع Turbocharged and aftercooled ساخت شرکت MAN می‌باشد. این موتور ۱۲ سیلندر، دارای توان خروجی ۵۸۸ کیلووات می‌باشد. مشخصات اصلی موتور استفاده شده در ریل‌باس ارم در جدول زیر ارائه شده است.

با توجه به وجود دو واگن موتور دار در یک رام چهار واگنه، در مجموع یک رام قطار دارای ۱۱۷۶ KW توان می‌باشد. بر اساس مشخصات فنی موجود، موتورهای فوق هیچ گونه محدودیتی برای استفاده در مسیرهای طولانی تر و با سرعت بالاتر نداشته و تنها با توجه به توان موجود در یک رام، زمان دست‌یابی به سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت در مسیر مستقیم و بدون شیب طولانی تر خواهد بود.

ترانسمیشن به کار رفته در ریل‌باس ارم مدل T۳۱۲ bre و محصول شرکت Voith بوده و از نوع ترانسمیشن سه سرعته و دارای یک مبدل گشتاور، دو کوپلینگ هیدرولیکی، سیستم ترمز هیدرودینامیک و دارای مکانیزم مکانیکی تغییر جهت می‌باشد. همانطور که مشخص می‌باشد، ترانسمیشن فوق برای استفاده در سرعت‌های بالا طراحی شده و لذا دستیابی به سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت توسط موتور و ترانسمیشن موجود امکان‌پذیر می‌باشد.

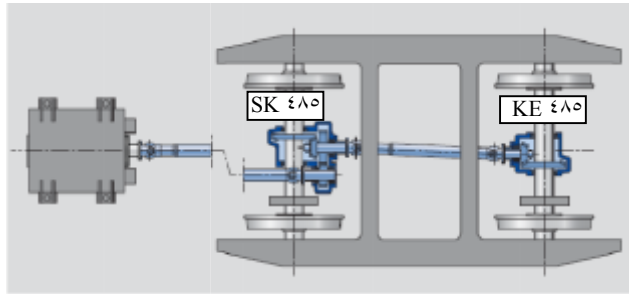
جدول شماره ۲–مشخصات فنی موتور MAN و ترانسمیشناستفاده شده در محصول ریل‌باس

Characteristics	D2842	Unit
Type designation	LE 602	
Arrangement and number of cylinders	V 12	
Engine layout		
Homologation to UIC-623	✓	
Rating	588 (800)	kW (PS/mhp)
at speed	2100	min⁻¹ / rpm
Maximum torque	3200	Nm
at speed	1150–1800	min⁻¹ / rpm
Bore/Stroke	128/142	mm
Displacement	21.9	l
Length	1470	mm
Width	1440	mm
Height	980	mm
Dry weight	1450	kg

	T 312 bre*
Max. transmission input power [kW]	600
Transmission input speed [rpm]	1800 2400
Mass without oil filling [kg]	1500
Speed [km/h]	160 220

* with hydrodynamic brake

همانطور که در دیاگرام سیستم رانش ارائه گردید، سیستم رانش دارای فاینالدرایو اولیه دو مرحله‌ایSK۴۸۵ و فاینالدرایو ثانویه تک مرحله‌ایKE۴۸۵ می‌باشد. شماتیک ارتباط فاینالدرایوها و سیستم ترانسمیشن در شکل زیر ارائه شده است.

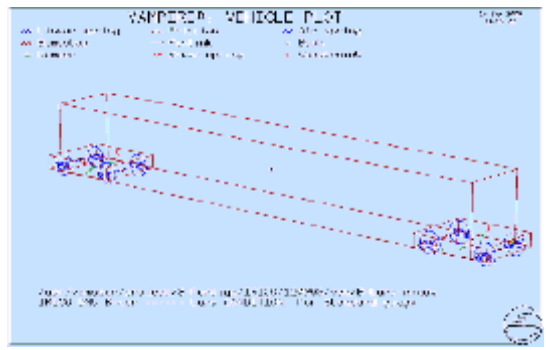


تصویرشماره۲ - شماتیک ارتباط ترانسمیشن و فاینالدرایو اولیه و ثانویه

بر اساس اطلاعات موجود، محصولی که شرکت روتم برای سوریه طراحی و تحویل نموده است، یک رام پنج واگنه با سه واگن موتور دار و با سرعت سیر ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. در طرح واگن‌های سوریه، از سه موتور ۵۶۰ کیلووات کامینز، ترانسمیشنT۳۱۲bre و فاینالدرایوهایSK-KE۴۸۵ استفاده شده است. لذا با توجه به اینکه ترانسمیشن و فاینالدرایو استفاده شده در محصول ریل‌باس و محصول پنج واگنه سوریه از یک نوع می‌باشد، امکان استفاده از فاینالدرایوهای موجود برای سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت وجود دارد. اما با توجه به تاثیر ضریب دنده‌ها در سرعت نهایی محصول، این موضوع نیازمند بررسی‌های تکمیلی توسط شرکت Voith می‌باشد.

۳-۲- بوژی

در بررسی پایداری بوژی ریل‌باس توسط شرکت روتم، پایداری واگن تریلر با استفاده از نرم افزار Vampire و برای محدوده Conicity۰.۰۵ برای چرخ نو و ۰.۴ برای چرخ ساییده شده مورد بررسی قرار گرفته است. مدل استفاده شده توسط شرکت روتم در شکل زیر ارائه شده است.



تصویرشماره۳ - مدل واگن تریلر در نرم افزار Vampire

بر اساس نتایج ارائه شده، شرایط بحرانی در حالت چرخ ساییده شده اتفاق خواهد افتاد. همچنین نتایج حاصله نشان می‌دهد که سرعت بحرانی بوژی بدون مستهلک کننده در شرایط چرخ ساییده شده برابر ۱۴۴ کیلومتر بر ساعت و با درنظرگیری مستهلک کننده پهلویی برابر ۲۳۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. جمع بندی نتایج بدست آمده در جدول زیر ارائه شده است.

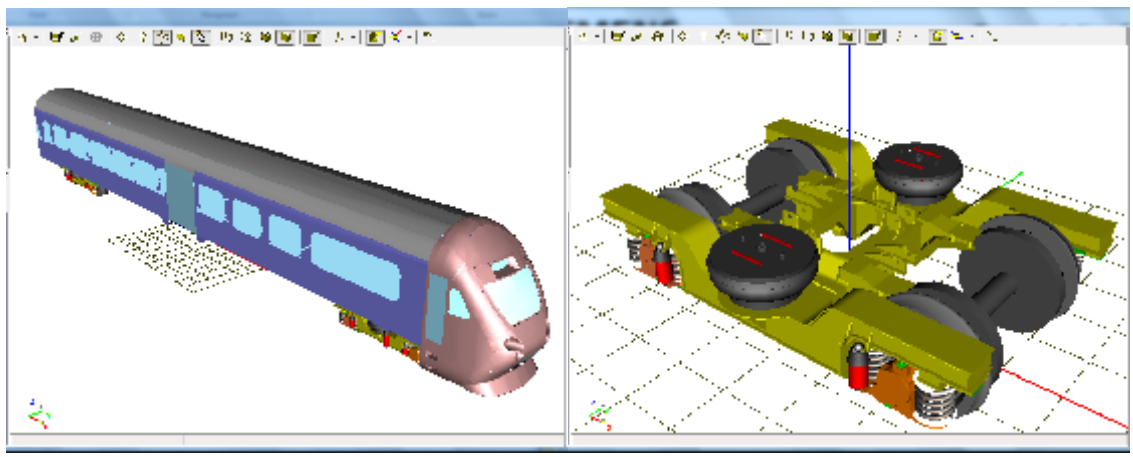
جدولشماره۳ - سرعت بحرانی بوژی ریل‌باس

	Condition	New wheel (c=0.05)	Worn wheel (c=0.4)
Critical speed	Yaw damper	414 km/h	230 km/h
	No Yaw damper	342 km/h	144 km/h

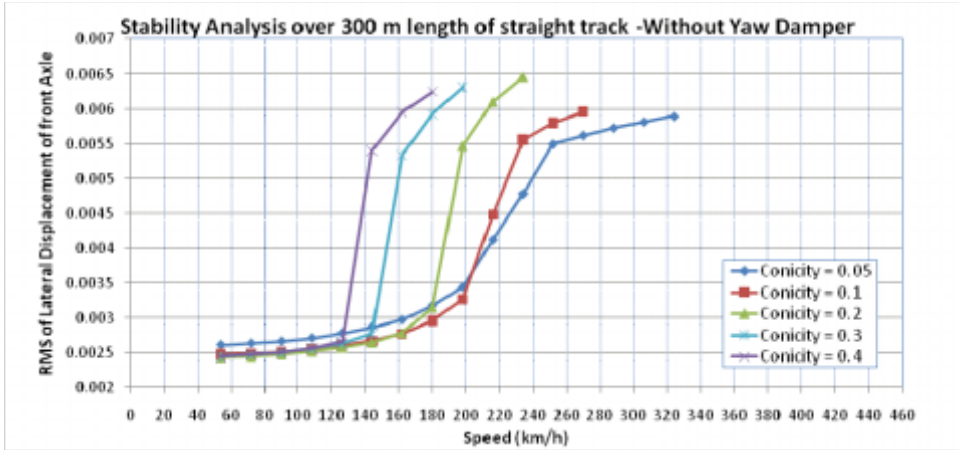
بمنظور اطمینان از بهبود عملکرد سیستم، مدل بوژی و واگن A محصول ریل‌باس توسط شرکت ایریکو در نرم افزار Universal Mechanismشبیه‌سازی گردید. شکل‌های زیر، مدل ایجاد شده در این نرم افزار را نشان می‌دهند.[۲]

در این تحلیل به منظور ارزیابی وضعیت پایداری محصول ریل‌باس، از پارامتر متوسط ریشه مربع (RMS) جابجایی عرضی محور اول به عنوان شاخص استفاده شده است. در سرعت‌های بیشتر از سرعت بحرانی، حرکت نوسانی محور اتفاق افتاده و این

حرکت نوسانی منجر به افزایش ناگهانی شاخص RMSجابجایی عرضی محور می گردد. شکل زیر، نمودار تغییرات این شاخص را در سرعت‌های مختلف و مقادیر مختلف پارامتر conicity نشان می دهد. همانطور که مشخص است با افزایش پارامتر مخروطیت، سرعت بحرانی از ۲۵۲ km/hبرای چرخ و ریل نو به ۱۴۴ km/hبرای چرخ و ریل ساییده شده کاهش می یابد. این نتایج به خوبی با نتایج ارائه شده توسط شرکت روتم همخوانی دارد.



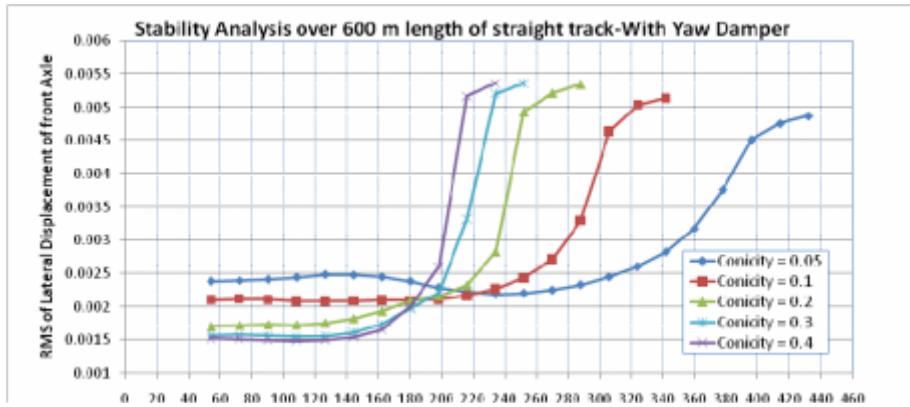
تصویرشماره۴ – مدل بوژی و واگن Aریل‌باس در نرم افزار Universal Mechanism



تصویرشماره۶ – تغییراتRMSحرکتجانبی محور اول در بوژی اول واگن A

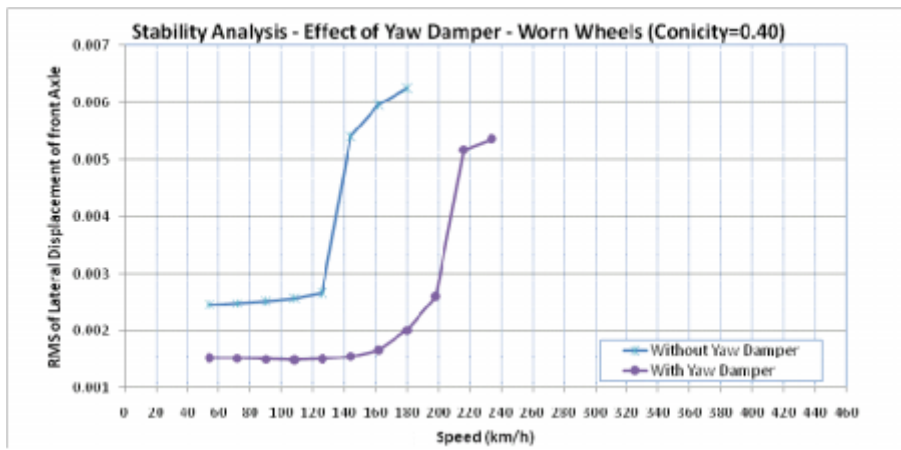
بر اساس نتایج ارائه شده در شکل فوق، درصورت افزایش سرعت سیرریل‌باس، بهره‌برداری از آن در شرایط چرخ و ریلساییده شده ایمن نخواهد بود و با افزایشسایش در چرخ و ریل، احتمال آشکار شدن پدیده هانتینگ وجود خواهد داشت. لذا به منظور بهره‌برداری ایمن از این محصول در سرعت‌های سیر بالاتر و در محدوده گسترده‌تری از ضریبconicity، محدود کردن حرکت جانبی محور با استفاده از مستهلک کننده پهلویی مورد بررسی قرار گرفت.

شکل زیر، RMSجابجایی جانبی محور اول واگن A را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، افزودن دو مستهلک کننده پهلویی به هر بوژی، منجر به تاخیر در شروع پدیده هانتینگ شده و امکان بهره‌برداری از محصول ریل‌باس را بصورت ایمن در سرعت‌های سیر بالاتر مهیا میکند.



تصویرشماره۸ - تغییراتRMSحرکتجانبی محور اول –بوژی مجهز به مستهلککنندههپلویی

شکل زیر، حرکت جانبی محور اول را در دو حالت با و بدون مستهلک کننده پهلویی، با درنظرگیری ضریبconicity برابر ۰.۴ نشان می دهد. همانطور که از این نمودار مشخص می باشد، استفاده از مستهلک کننده پهلویی در تعلیق ثانویه بوژی، باعث شده است که در شرایط چرخ و ریل ساییده شده (Conicity=۰.۴)، سرعت بحرانی و شروع پدیده هانتیگ از سرعت ۱۴۴ km/h به ۲۱۶ km/hافزایش یابد.



تصویرشماره۹ - تغییراتRMSحرکتجانبی محور اول –بوژی با و بدون مستهلککنندههپلویی

لذا بر اساس تحلیل‌های فوق، با اضافه نمودن یک مستهلک کننده جانبی در تعلیق ثانویه، امکان جلوگیری از پدیده هانتینگ در سرعت‌های نزدیک به ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت و بالاتر وجود خواهد داشت. همچنین در خصوص تعلیق اولیه و ثانویه ریل‌باس، با توجه به این که این سیستم بر اساس سرعت ۱۲۰ کیلومتر به گونه ای طراحی شده اند تا پایداری بوژی و سایش چرخ در هنگام عبور از قوس‌ها بهینه باشد لذا محاسبات مربوطه می‌بایست مجددا انجام گیرد و تغییرات لازم صورت گیرد.

۳-۳-سیستم ترمز

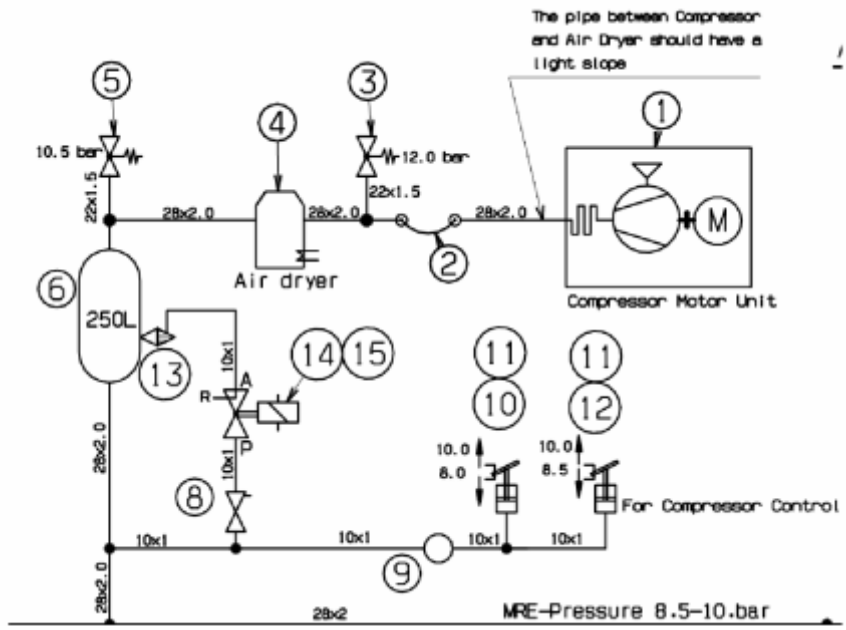
واگن‌های ریل‌باس ایریکو مجهز به ترمز نوع KBGM-P های ساخت شرکت KNORRمی‌باشند که به صورت الکتروپنوماتیکی قابل کنترل می‌باشد. این سیستم مجهز به ترمز سرویس، ترمز سرویس در زمان خرابی سیستم ترمز هیدرودینامیکی، ترمز پارک، ترمز اضطراری، ترمز اتوماتیک، ترمز توقف و ترمز مسافرین می‌باشد.

ترمز سرویس با شتاب ترمزی بزرگتر از ۰.۹ متر بر مجذور ثانیه از ترکیب ترمزهای پنوماتیکی و هیدرودینامیکی تشکیل شده و مجهز به کنترلرهای ضد لغزش در زمان ترمزگیری و شتاب‌گیری می‌باشد. همچنین واگن‌ها مجهز به سیستم ترمز پارک در

شیب ۰.۴ درصد نیز می‌باشند که با تخلیه هوای فشرده در لوله‌های ترمز به صورت اتوماتیک فعال می‌گردد. کابین راننده و سالن‌های مسافرین مطابق دستورالعمل‌های UIC مجهز به دستگیره‌های ترمز اضطراری می‌باشند. در حالت ترمز اضطراری فشار پنوماتیکیترمزی بر روی همه بوژی‌ها اعمال گردیده و حداکثر شتاب ترمزی معادل ۱.۱ متر بر مجذور ثانیه تامین می‌شود.

سیستم تامین هوای فشرده علاوه بر تامین هوای لازم برای تجهیزات و سیستم‌های کنترلی ترمز می‌بایست هوای فشرده لازم برای سیستم‌های مانند: تجهیزات پاشش شن و ضد لغزش چرخ‌ها، سیستم پاشش روغن، برف پاک‌کن‌ها، سرویس‌های بهداشتی، سیستم تعلیق ثانویه، درب‌ها و کوپلینگ‌های اتوماتیک را نیز تامین نماید. در شکل زیر دیاگرام تامین هوای فشرده سیستم ترمز ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد این سیستم مجهز به یک موتور کمپرسور مدل VV۱۲۰ و خشک کن هوای نوع LTZ۰۱۵.۰H می‌باشد.

موتور کمپرسور مذکور شامل یک کمپرسور پیستونی می‌باشد که با یک موتور الکتریکی۴۰۰ V AC, ۵۰ Hz motorکوپل شده است. این کمپرسور در دور ۹۶۰ rpm قابلیت تامین ۶۰۰ لیتر بر دقیقه هوای فشرده در فشار ۱۰ بار را خواهد داشت. با توجه به این که هوای فشرده مصرفی برای واگن‌هایریل‌باس برابر با ۳۰۳ لیتر بر دقیقه می‌باشد، با در نظر گرفتن افزایش ۳۰ درصدی برای مصرف هوای فشرده در سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت این مقدار به ۴۰۰ لیتر بر دقیقه افزایش می‌یابد. با توجه به این که ظرفیت کمپرسورهایریل‌باس تامین هوای فشرده برای سیستم‌های مختلف این محصول در سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت امکان پذیر می‌باشد.



تصویرشماره۱۰ - دیاگرام تامین هوای فشرده سیستم ترمز

بررسی‌های اولیه اجزا دیگر سیستم ترمز توسط شرکت کنور در خصوصا فزایش سرعت ریل‌باس نشان دهنده این امر است که در مسیرهایمستقیم و flat سیستم پیاده سازی شده در ریل‌باس، امکان سیر ایمن در سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت را دارا می‌باشد. لذا تایید نهایی این موضوع را منوط به مشخص نمودن یک مسیر و انجام شبیه‌سازی‌های کامل در این خصوص نموده است. مقایسه سیستم موجود با دیگر سیستم‌های واگن‌های داخلی با سرعت بالاتر، موید امکان استفاده از سیستم ترمز موجود برای سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

٤-شبیه‌سازی حرکت ریل باس ایریکو برای مسافت‌های طولانی

به منظور بررسی امکان بهره‌برداری از ریل‌باس‌های ایریکو در خطوط غیر حومه‌ای مدلی جهت شبیه‌سازی حرکت قطار در مسیر تهران – مشهد ارائه گردیده که توانایی محاسبه سرعت قطار در هر بلوک را با در نظر گرفتن شرایط خط در آن دارد. به این ترتیب زمان سیر برای عبور از هر بلوک و نهایتا زمان کل سفر با در نظر گرفتن توقفات لازم قابل ملاحظه خواهد بود. فرضیات و روابطی که در این مدل مورد استفاده قرار گرفته است به شرح زیر می‌باشد:

٤-١- فرضیات و روابط مدل

- مشخصات خط: کیلومتراژ، ایستگاه‌ها، شعاع قوس و شیب خط در مقاطع مختلف
- مشخصات ترن: نوع ترن، تعداد واگن، توان، نیروی محرکه، مشخصات شتابگیری و ترمزگیری، سرعت بهره‌برداری، وزن ترن و سطح مقطع عرضی ترن – به طور مثال وزن ریل‌باس در حالت مسافر گیری شده حدود ۲۴۳ تن و ترنست ۲۶۱ تن در نظر گرفته شده است.
- زمان توقف ترن در ایستگاه: توقف ۱۸۰ ثانیه‌ای در ایستگاه‌های سمنان، دامغان، شاهرود، نیشابور و مشهد در نظر گرفته شده است.

تذکر: این مدت زمان وابستگی شدیدی به شکل ترن، ابعاد و تعداد درب‌ها دارد به طوری که به عنوان مثال زمان پیاده و سوار شدن مسافران در واگن‌های با درب‌های دو لنگه با عرض زیاد بسیار کمتر از این زمان برای واگن‌های با درب‌های یک لنگه می‌باشد.

- برای نزدیک شدن شبیه‌سازی به واقعیت باد مخالف با سرعت ۱۲ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شده است.
- نیروی محرک و شتاب: در مدل ارائه شده توان طوری در نظر گرفته شده است که نیروی محرک در بیشترین سرعت دو برابر کل نیروهای مقاوم در آن سرعت باشد و با استفاده از توان‌های استخراج شده برای سرعت‌های مختلف مدلی برای ارتباط توان و سرعت بدست آمده است. مشخصاتی نظیر شتاب، نیروی محرکه نیز با استفاده از روابط مکانیکی حاکم محاسبه گردید و با توجه به محدودیت اعمال نیرو از چرخ به ریل و محدودیت شتاب، محدودیتی برای حداکثر نیروی محرکه و شتاب در نظر گرفته شده است.
- شتاب ترمزی: میزان حداکثر شتاب ترمزی نیز در شرایط کارکرد طبیعی ترن برای راحتی مسافرین ۰.۴ متر بر مجذور ثانیه و ثابت فرض شده است.
- نیروهای مقاوم:

نیروی مقاوم شیب $W_{grad} = \pm s.m$ که در آن s شیب خط و m جرم کل ترنمی‌باشد.

نیروی مقاوم غلطشی $W_{roll} = W_r.m$ که در آن W_r نیروی مقاوم اصطکاکی چرخ می‌باشد که برای تایرهای لاستیکی بین ۲۵ کیلوگرم بر تن و برای چرخ‌های فلزی ۲ تا ۲.۵ کیلوگرم بر تن در نظر گرفته می‌شود.

مقاومت هوا $W_{air} = 0.5.C_w.A.(\frac{v+B}{10})^2$ که در آن C_w ضریب نیروی مقاوم هوا است که تابعی از تعداد واگن‌های ترن می‌باشد. همچنین v سرعت ترن و B سرعت باد مخالف است، A نیز مساحت سطح مقطع عرضی ترن می‌باشد که برای تمامی حالات ۱۰.۵ متر مربع در نظر گرفته شده است.

نیروی مقاوم قوس $W_{cu} = \frac{650}{r-66}$ که در آن r شعاع قوس می‌باشد. لازم به ذکر است این فرمول برای خطوط اصلی صادق می‌باشد.

با توضیحاتی که در خصوص موارد بالا ارائه گردید کل نیروی مقاوم را می‌توان مطابق فرمول زیر محاسبه نمود.

$$R = (s.m + W_r.m + 0.5.C_w.A.(v+B)^2/100 + \frac{650}{r-55}.m).0.00981)$$

٤-٢- ترکیب‌های مورد بررسی از ریل‌باس

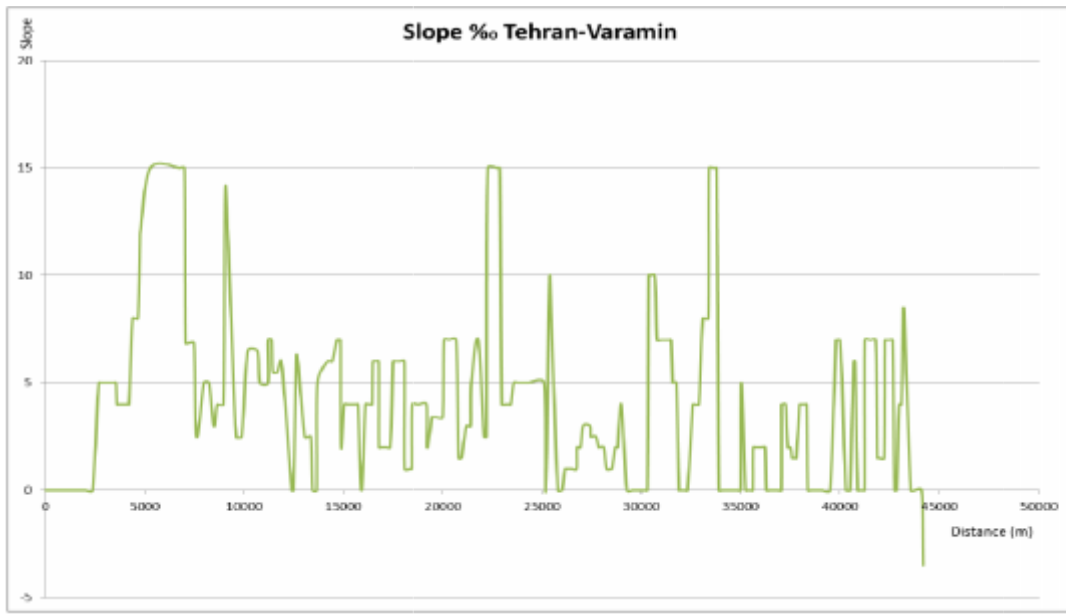
با توجه به طراحی سیستم‌های مختلف ریل‌باس ایریکو امکان دستیابی به سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت برای این محصول بررسی شده و مختصری در خصوص بررسی‌های انجام شده ارائه گردیده است. با فرض انجام برخی تغییرات جزئی در برخی سیستم‌های این محصول، بهره‌برداری از آن در سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت بلامانع خواهد بود. لذا در این بخش شبیه‌سازی‌های مربوط به این سرعت انجام به شرح زیر صورت پذیرفته است.

۱. ترنستزیمنسDH۴ با حداکثر سرعت ۱۶۰ کیلومتر در ساعت
۲. ریل‌باس چهار واگنه با حداکثر سرعت ۱۴۰ کیلومتر در ساعت
۳. ریل‌باس چهار واگنه با حداکثر سرعت ۱۴۰ کیلومتر در ساعت و یک موتور خراب
۴. ریل‌باس هشت واگنه با حداکثر سرعت ۱۴۰ کیلومتر در ساعت
۵. ریل‌باس هشت واگنه با حداکثر سرعت ۱۴۰ کیلومتر در ساعت و یک موتور خراب

همان گونه که مشاهده می‌گردد این شبیه‌سازی‌ها برای دو ترکیب ۴ واگنه و ۸ واگنه که از کوپل دو ست ریل‌باس حاصل خواهد شد برای حداکثر سرعت‌های کاربری ۱۴۰ کیلومتر در ساعت انجام پذیرفته است. همچنین حرکت این ترن‌ها در صورت خرابی بخشی از سیستم محرکه نیز شبیه‌سازی شده است. ریل‌باس شرکت ایریکو متشکل از چهار واگن می‌باشد که دو واگن ابتدا و انتها مجهز به سیستم محرکه دیزل هیدرولیک بوده و دو واگن وسط تریلر می‌باشند. لذا ریل‌باس چهار واگنه مجهز به دو سیستم محرکه و ریل‌باس هشت واگنه مجهز به چهار سیستم محرکه خواهد بود. جهت بررسی بهتر نتایج و صحه گذاری بر مدل تهیه شده نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیر ترن ست‌ها در این مسیر نیز ارائه گردیده است. ترنستزیمنس نیز متشکل از چهار واگن بوده و از بسیاری جهات از جمله سیستم محرکه بسیار شبیه ریل‌باس ایریکو می‌باشد ولی بر خلاف ریل‌باس ایریکو در آن تمامی واگن‌ها مجهز به سیستم محرکه می‌باشد و محدودیت سرعت آن ۱۶۰ کیلومتر در ساعت می‌باشد.

٤-٣- مشخصات خط

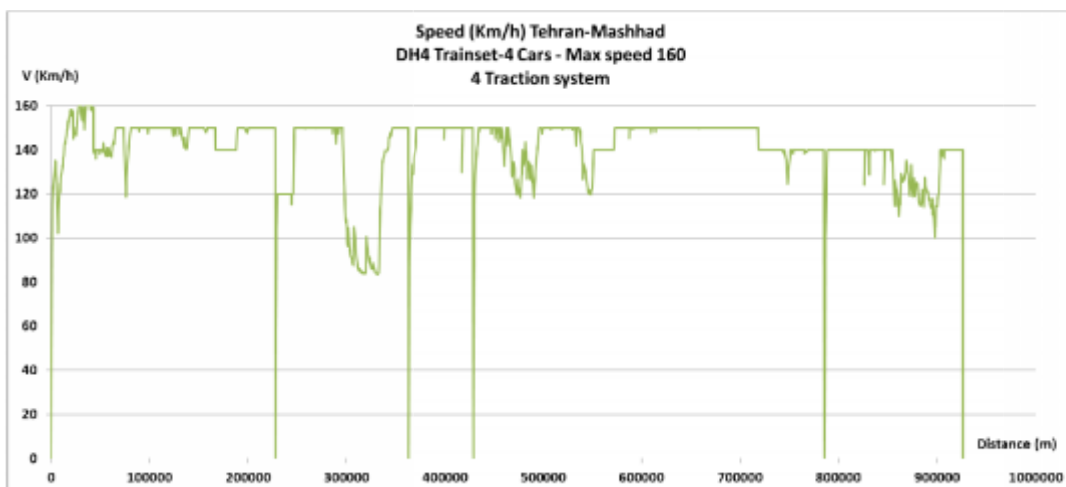
با توجه به این که نیرو مقاوم قوس و نیروی مقاوم شیب در فرمول‌های ارائه شده جهت محاسبه نیروهای مقاوم در نظر گرفته شده است لذا می‌بایست این پارامترها در کل مسیر تهران – مشهد مشخص گردد، بدین منظور جزئیات مشخصات خط برای این مسیر استخراج گردیده است. جهت نمایش بخشی از این اطلاعات در فاصله تهران تا ورامین، در تصویرشماره۱۱ شیب مسیر نشان داده شده است.



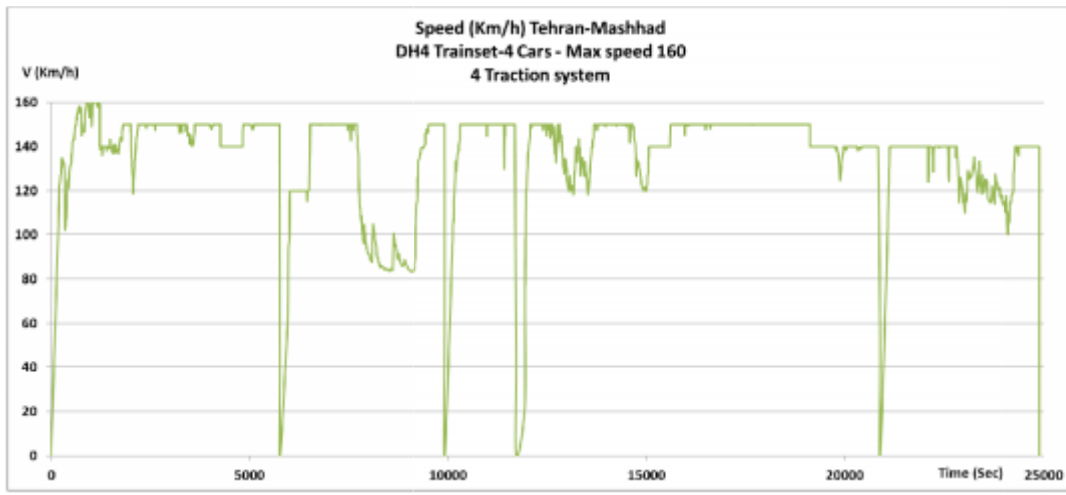
تصویرشماره۱۱ - شیب خط در مسیر تهران –ورامین

٤-٤- نتایج حاصل از شبیه‌سازی ترنست زیمنس DH٤ با حداکثر سرعت ١٦٠ کیلومتر در ساعت

به منظور صحه‌گذاری بر مدل مورد استفاده مطابق با مشخصات فنی ترنست‌هایزیمنس مدل تهیه شده مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این که سیستم محرکه این محصول مشابه سیستم محرکه ریل‌باس‌ها می‌باشد لذا در مشخصه‌های موتور و ترانسمیشن تغییری اعمال نخواهد شد و فقط تعداد موتورها برای یک رام از دو موتور به چهار موتور افزایش می‌یابد. با توجه به این که این محصول در حال حاضر در این مسیر در حال بهره‌برداری می‌باشد، از نتایج حاصل از بررسی آن می‌توان به عنوان مرجعی برای محاسبه تاخیر در شبیه‌سازی‌های دیگر استفاده نمود. تصویرشماره۱۳ نشان دهنده تغییرات سرعت در فواصل مکانی مسیر تهران مشهد می‌باشد.



تصویرشماره۱۳- نمودار سرعت – مکان برای ترنستزیمنس در مسیر تهران – مشهد

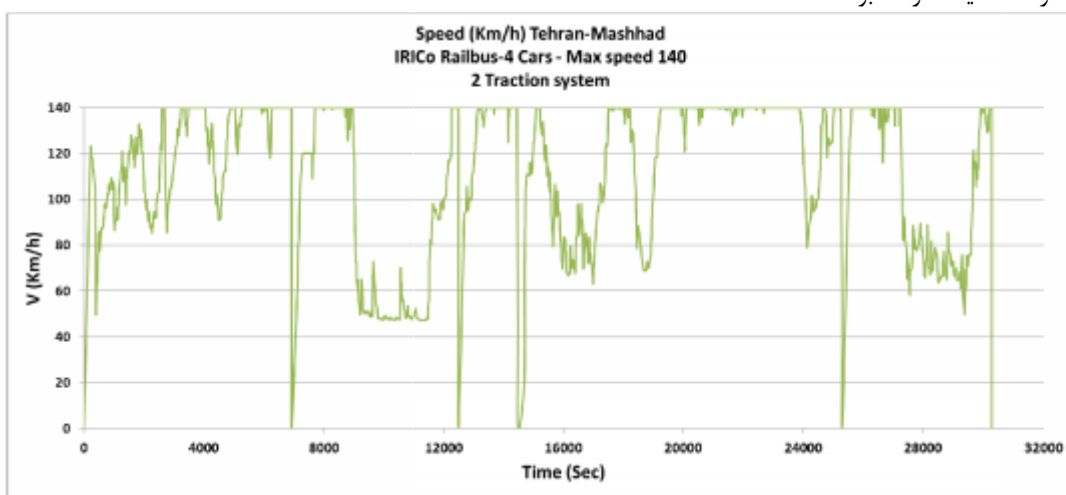


تصویرشماره۱۴– نمودار سرعت – زمان برای ترنستزیمنس در مسیر تهران – مشهد

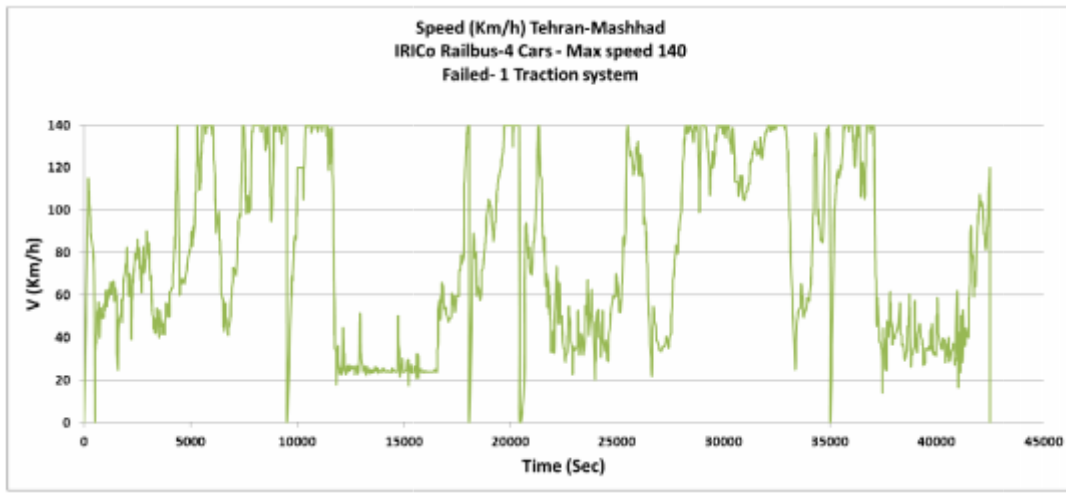
همان طور که در تصویرشماره۱۴ مشاهده می‌گرددترنستزیمنس فاصله تهران – مشهد را با در نظر گرفتن توقف‌های ذکر شده در فرضیات در مدت ۶ ساعت و ۵۵ دقیقه سیر می‌نماید.

٤-٥- نتایج حاصل از شبیه‌سازی ریل‌باس چهار واگنه با حداکثر سرعت ۱٤۰ کیلومتر در ساعت

همانطور که در تصویرشماره۱۵ مشاهده می‌گردد در صورت بهره‌برداری از ریل‌باس با سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت فاصله تهران – مشهد در زمان ۸ ساعت و ۲۵ دقیقه طی خواهد گردید که نسبت به ترنست‌های پردیس تاخیری معادل یک ساعت و نیم خواهد داشت. همچنین در تصویرشماره۱۶ خرابی یک موتور این محصول در نظر گرفته شده و زمان طی این مسیر ۱۱ ساعت و ۴۹ دقیقه خواهد بود.



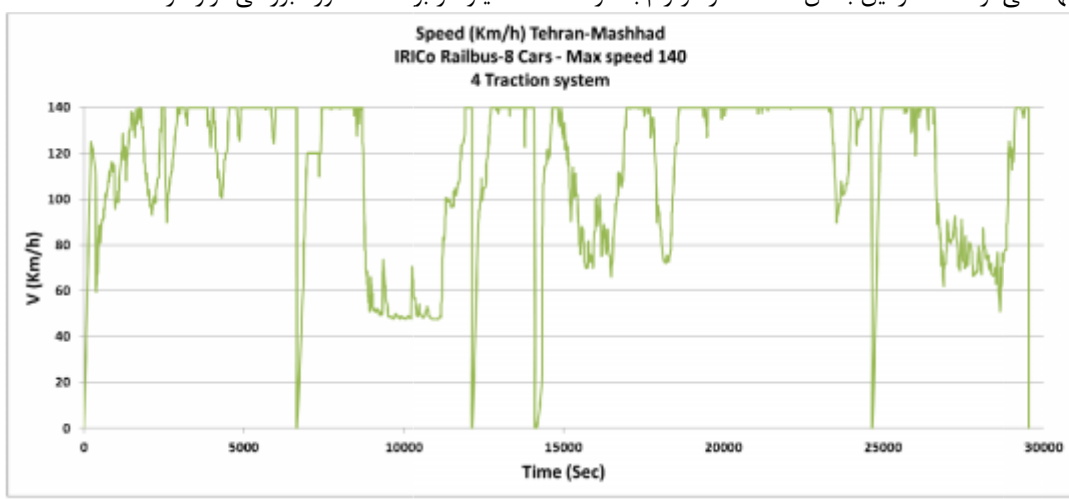
تصویرشماره۱۵– نمودار سرعت – زمان برای ریل‌باس ۴ واگنه با سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت در مسیر تهران – مشهد



تصویرشماره۱۶– نمودار سرعت – زمان برای ریل‌باس ۴ واگنه با سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت و یک موتور خراب

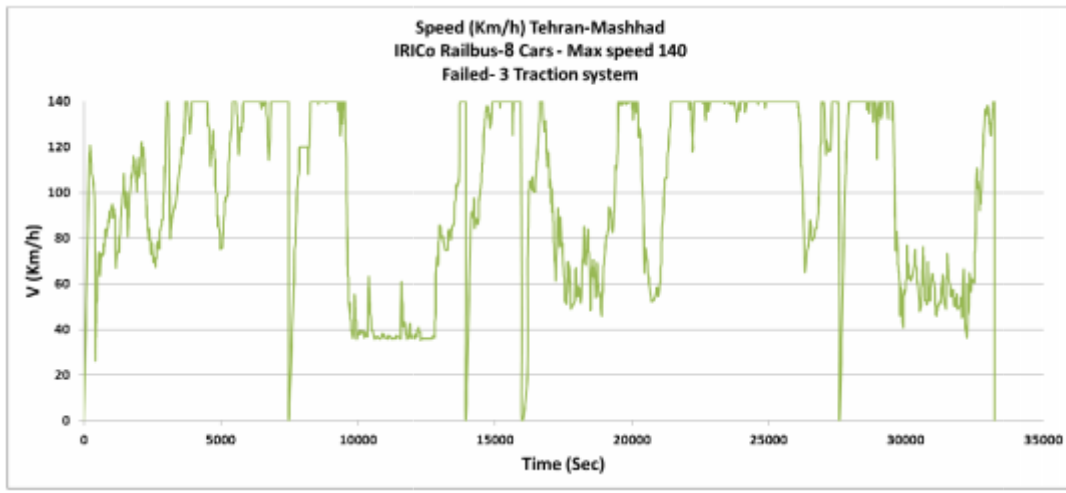
٤-٦- نتایج حاصل از شبیه‌سازی ریل‌باس هشت واگنه با حداکثر سرعت ١٤٠ کیلومتر در ساعت

استفاده از رام‌های کوپل شده جهت بهره‌برداری در مسافت‌های طولانی برای بالا بردن قابلیت اطمینان و سطح دسترسی پیشنهاد می‌گردد لذا در این بخش استفاده از دو رام با سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت مورد بررسی قرار گرفته است.



تصویرشماره۱۷– نمودار سرعت – زمان برای ریل‌باس ۸ واگنه با سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت در مسیر تهران – مشهد

همان طور که در تصویرشماره۱۷ مشاهده می‌گردد این مسافت در زمان ۸ ساعت و ۱۲ دقیقه پیموده می‌شود و نسبت به ترن ست‌های پردیس فقط تاخیر ۱ ساعت و ۱۸ دقیقه ای را تجربه خواهد نمود. این اختلاف کم به این علت است که در مسیر تهران مشهد ترن ست‌های پردیس در فواصل محدودی امکان سیر با سرعت ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت را دارند و در بیشتر مسیر محدودیت سرعت سیر ۱۵۰ کیلومتر بر ساعت اعمال شده است. همچنین در تصویرشماره۱۸ خرابی یک موتور برای این محصول مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده زمان سیر ۹ ساعت و ۱۴ دقیقه در این وضعیت می‌باشند.



تصویرشماره۱۸– نمودار سرعت – زمان برای ریل‌باس ۸ واگنه با سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت و یک موتور خراب

۵-نتیجه گیری

با توجه به امکان بهره‌برداری از ریل‌باس‌های ایریکو در سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت با تغییرات جزئی و بهینه سازی تزئینات داخلی جهت افزایش راحتی مسافرین در مسیرهای طولانی‌تر، امکان بهره‌برداری از این محصول در سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت وجود خواهد داشت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های صورت پذیرفته در جدول شماره۴ ارائه گردیده است.

جدول شماره۴– مقایسه زمان سیر ترن‌های مختلف در مسیر تهران - مشهد

	ریل‌باس-چهار واگنه	ریل‌باس چهار واگنه با یک موتور خراب	ریل‌باس هشت واگنه	ریل‌باس هشت واگنه با یک موتور خراب	ترنست زیمنس
Max Speed (KPH)	140	140	140	140	160
T total (Hr:Min)	8 hr 25 min	11 hr 49 min	8 hr 12 min	9 hr 14 min	6 hr 55 min
Total Distance (Km)	926.54	926.54	926.54	926.54	926.54
Total Power	1088	544	2176	1632	2200
Total Wight	243	243	486	486	261
Average speed	110.11	78.46	112.90	100.34	134.00
Power/Weight	4.48	2.24	4.48	3.36	8.12
Time Deference	1 hr 30 min	4 hr 54 min	1 hr 18 min	2 hr 19 min	0 hr 0 min

در این شرایط ریل‌باس ۸ واگنه با حداکثر سرعت ۱۴۰ کیلومتر در ساعت با تاخیر ۱ ساعت و ۱۸ دقیقه‌ای نسبت به ترنست به ایستگاه مشهد خواهد رسید. همچنین با فرض خرابی یکی از چهار موتور در دو رام ریل‌باسکوپل شده، با محدودیت سرعت ۱۴۰ کیلومتر در ساعت، زمان سیر از ۸ ساعت و ۱۲ دقیقه به ۹ ساعت و ۱۴ دقیقه یعنی با یک ساعت تاخیر و بدون مشکل و نیاز به لوکوموتیو و یا قطار کمکی به ایستگاه نهایی خواهد رسید. همان گونه که پیش‌تر مطرح گردید با افزایش تعداد رام‌هایکوپل شده قابلیت اطمینان به این محصول در زمان سیر مسافت‌های طولانی افزایش می‌یابد. بدین ترتیب با اعمال تغییرات جزئی مورد نیاز ریل‌باس ارم به صورت کوپل با قابلیت اعتماد بالا و سرعت ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت قابل بهره‌برداری می‌باشند.

٦-مراجع

۱. محمد جعفری نسب، یعقوبمحمدی، آبان ۱۳۸۹، "تحلیل و بررسی سرعت بهینه در قطارهای حومه ای"، دوازدهمین همایش بین المللی حمل و نقل ریلی.

۲. نادر شکوهی، محمد جعفری نسب، یعقوب محمدی، آبان ۱۳۹۱، " اصلاح سیستم تعلیق محصول ریل‌باس بمنظور افزایش سرعت بحرانی و جلوگیری از شروع پدیده هانتینگ"، چهاردهمین همایش بین المللی حمل و نقل ریلی.
۳. کاتالوگ و مدارک فنی ریل باس ارم
۴. اطلاعات پروفیل مسیر شبکه سراسری راه آهن نسخه۳، شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران
[۵] Lukaszewicz (۲۰۰۱), Energy Consumption and Running Time for Trains (Doctoral Thesis). KTHRailway Technology, Stockholm, ۲۰۰۱
[۶] Meyer, M.; M. Aeberhard (۱۹۹۷), an algorithm for the optimal control of the driving of trains.
[۷] Measurement of train traction characteristic, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Volume ۲۲۰, Number ۳ / ۲۰۰۶