

تأثیر کاریوگیشن ریل بر تنش‌های بین تراورس و بالاست

جبارعلی زاکری^{۱*}، مرتضی قارونی نیک^۲، مهدی معظمی گودرزی^۳

۱- دانشیار دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استادیار دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- کارشناس ارشد خط و سازه‌های ریلی، دانشگاه علم و صنعت ایران

Zakeri@iust.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۱/۳۰

چکیده- بررسی تعامل وسیله نقلیه و خط آهن به علت ماهیت پیچیده خط و ناوگان، همواره یکی از مسائل دشوار در مهندسی راه آهن بوده است. درک این تعامل نه تنها در خطوط با خرابی‌های گوناگون بلکه در خطوط بدون خرابی نیز مسئله‌ای پیچیده است. زمانی که خرابی مانند کاریوگیشن ریل در این تعامل وارد می‌شود، تخمین نیروهای وارد بر خط و ناوگان بسیار مشکل خواهد شد. هرچند تخمین دقیق این نیروها تنها از طریق آزمایش‌های میدانی ممکن است، ولی اگر مدل‌سازی رایانه‌ای دقیقی در دسترس باشد می‌توان پیش‌بینی مناسبی از این نیروها داشت.

در این مقاله سعی شده است تخمین مناسبی از نیروهای حاصل از عبور ناوگان باری و مسافری بر خط دارای خرابی کاریوگیشن ارائه شود. با داشتن این نیروها، تنش‌های وارد بر بالاست قابل محاسبه خواهند بود. در ادامه برای ناوگان باری و مسافری، نمودارهای تنش (در سطح بالاست) نسبت به طول موج کاریوگیشن رسم شده است. با استفاده از این نمودارها برای بار محوری و سرعت معین، طول موج‌هایی از کاریوگیشن که در آن تنش در سطح بالاست از مقادیر مجاز آیین‌نامه AREMA فراتر رفته معرفی شده است.

برای تخمین نیروهای وارد بر خط بالاستی مورد مطالعه، مدلی از ناوگان‌های باری و مسافری در نرم‌افزار Adams/Rail ایجاد شده و با سرعت‌های مختلف روی خط عبور داده شده‌اند.

کلیدواژگان: تنش در سطح بالاست، کاریوگیشن ریل، تحلیل دینامیکی خط، طول موج بحرانی کاریوگیشن

۱- مقدمه:

بروز رفتار غیرقابل پیش‌بینی در خط و ناوگان می‌شود.

وجود مدارکی از سال‌های ۱۸۹۰ در مورد گزارش خرابی‌های کاریوگیشن در رژیم‌های بهره‌برداری مختلف، نمایانگر اهمیت این خرابی در راه آهن است [۱]

بیشترین تنش‌های ناشی از حرکت ناوگان، در سطح ریل رخ می‌دهد بنابراین این سطح باید عاری از هرگونه ناهمواری باشد. وجود ناهمواری در سرعت‌های بالا باعث

کاریوگیشن‌ها با توجه به طول موجشان طبقه‌بندی می‌شوند. رژیم بهره‌برداری نیز به‌طور غیرمستقیم در دسته‌بندی کاریوگیشن موثر است. Ahlbeck و همکارانش تحقیقی با عنوان مروری بر فرایند کاریوگیشن ریل تحت شرایط مختلف بهره‌برداری انجام داده‌اند [۲]. در این مطالعه حجم وسیعی از مطالعات انجام شده در مورد کاریوگیشن ریل در خط متروی بالتیمور-مریلند بررسی شده است. طبق این مطالعات، کاریوگیشن با طول موج کوتاه بین ۲۰ تا ۸۰ میلی‌متر و عمق تا ۴/۰ میلی‌متر و با طول موج بلند ۱۵۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر عمق تا ۵ میلی‌متر معرفی شده است. طبق این بررسی‌ها، کاریوگیشن با طول موج کوتاه در خطوط با بار محوری سبک و در خطوط ترانزیت و مسافری و کاریوگیشن با طول موج بلند در خطوط با بار محوری زیاد دیده شده است. مطالعه‌ای نیز در موسسه Zeta-Tech در این زمینه انجام شده است [۳]. در این پژوهش کاریوگیشن با توجه به طول موج به ۳ گروه دسته‌بندی شده است:

- کاریوگیشن با طول موج‌های کوتاه که از آن تحت عنوان ریل پر سر و صدا یاد می‌شود. طول موج آن بین ۲۵ تا ۷۵ میلی‌متر است و در خطوط پر سرعت مسافری، ترانزیت و خطوط با بار محوری کم رخ می‌دهد.
- کاریوگیشن با طول موج بلند. طول موج آن بین ۷۵ تا ۶۰۰ میلی‌متر است و در خطوط باری با بار محوری زیاد دیده می‌شود.
- کاریوگیشن با طول موج خیلی بلند. با طول موجی بزرگ‌تر از ۶۰۰ میلی‌متر دارد.

مطالعه دیگری در بلژیک به‌وسیله‌ی Tom Vanhonacker انجام شده است [۴]. در این مطالعه کاریوگیشن با طول موج کوتاه در محدوده ۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر و دامنه تا ۰/۰۵ میلی‌متر معرفی شده است. مؤسسه تحقیقات فنی راه‌آهن توکیو مطالعه‌ای با عنوان

"چند موضوع عملی بر مبنای تماس چرخ و ریل" انجام داده است [۵] و چهار نوع خرابی کاریوگیشن معرفی کرده است. اولین نوع خرابی با طول موج خیلی کوتاه (بین ۳۰ تا ۸۰ میلی‌متر) است که در خطوط مستقیم و یا در قوس‌های بسیار ملایم رخ می‌دهد. نوع دوم، خرابی با طول موج نسبتاً بلند است. این نوع خرابی در ریل بیرونی قوس‌های با شعاع کم در خطوط باریک و سرعت بهره‌برداری متوسط و همچنین در خطوط با شعاع انحنا بیش از ۶۰۰ متر در خطوط مستقیم و با طول موج حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر در خطوط سریع شینکانسن گزارش شده است. خرابی دیگر که در ژاپن گزارش شده است، کاریوگیشن با طول موج نسبتاً کوتاه است. این خرابی در ریل درونی قوس‌های با شعاع کمتر از ۶۰۰ متر و اغلب در قوس‌های با شعاع ۴۰۰ متر رخ می‌دهد. طول موج این خرابی بین ۸۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر است [۶].

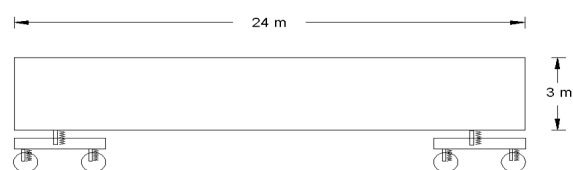
در فیش UIC712R کاریوگیشن با طول موج کوتاه با کد ۲۲۰۱ و با طول موج بلند با کد ۲۲۰۲ معرفی شده‌اند [۷]. این عیب در خطوط مستقیم و یا در خطوط قوس‌دار با شعاع بالا، و در خطوط سریع‌السیر، عادی و باری دیده شده است. طول موج کاریوگیشن با طول موج‌های کوتاه بین ۳۰ تا ۸۰ میلی‌متر و طول موج بلند بین ۸۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است. شاید دقیق‌ترین طبقه‌بندی کاریوگیشن به‌وسیله‌ی گراسی ارائه شده باشد [۱]:

- ۱- کاریوگیشن خطوط باری سنگین با طول موج ۲۰۰-۳۰۰ میلی‌متر.
- ۲- کاریوگیشن ریل‌های سبک با طول موج ۵۰۰-۱۵۰۰ میلی‌متر.
- ۳- کاریوگیشن تراورس‌های صفحه‌دار با طول موج ۵۰ میلی‌متر.
- ۴- کاریوگیشن خستگی تماسی در قوس‌ها با طول

$$Y = A \sin(2\pi/L) \quad (۱)$$

در رابطه بالا A دامنه خرابی، L طول موج و Y تابع تغییر مکان کاریوگیشن است [۹]. برای پوشش دادن به طیف‌های مختلف طول موج کاریوگیشن، مقادیر $۰/۳$ ، $۰/۶$ ، $۰/۸$ ، ۱ و $۱/۲$ متر در نظر گرفته شده است. دامنه کاریوگیشن $۰/۵$ میلی‌متر برای خطوط مسافری و ۱ میلی‌متر برای خطوط باری بوده است.

برای مدل‌سازی ناوگان از واگن استاندارد ERRI (European Rail Research Institute) استفاده شد. مشخصات واگن در جداول ۱ و ۲ آمده است. شکل زیر مدل شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد [۱۰]. فاصله محورهای بوژی‌ها از هم $۲/۵$ متر و فاصله مرکز تا مرکز بوژی‌ها ۱۸ متر است.



شکل (۱) واگن ERRI

جدول (۱) مشخصات سیستم تعلیق واگن ERRI

سیستم تعلیق ثانویه		سیستم تعلیق اولیه	
مشخصات	مشخصات	مشخصات	مشخصات
میراگرها (N.S/m)	فنرها (N/m)	میراگرها (N.S/m)	فنرها (N/m)
6×10^6	4.3×10^5	6×10^5	7.32×10^5

جدول (۲) مشخصات واگن ERRI و تغییرات انجام شده برای اعمال بار محوری مورد نظر. واحد وزن‌ها به کیلوگرم است.

نیروی محوری	وزن کل	بدنه	قاب بوژی	سر محور	چرخ و محور (جفت)
۱۵۰۰۰	۶۰۰۰۰	۵۰۵۲۴	۲۶۱۵	۱۵۵	۱۵۰۳
۱۷۵۰۰	۷۰۰۰۰	۶۰۵۲۴			
۲۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۷۰۵۲۴			
۲۲۵۰۰	۹۰۰۰۰	۸۰۵۲۴			
۲۵۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۹۰۵۲۴			
۳۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۱۱۰۵۲۴			

موج ۱۵۰ میلی‌متر.

۵- کاریوگیشن ریل شیاردار با طول موج ۴۵۰-۱۵۰ میلی‌متر.

۶- کاریوگیشن ریل پر سر و صدا با طول موج ۸۰-۲۵ میلی‌متر.

طبق مطالعات ۳۰ درصد هزینه‌های تعمیر خطوط مربوط به کاریوگیشن و تبعات آن است. این مطالعه، معیاری برای اولویت‌بندی عملیات تعمیر خرابی‌های کاریوگیشن ارائه می‌کند. تحلیل دینامیکی سیستم خط و قطار با ناهمواری موجی شکل در حوزه زمان و با استفاده از روش‌های عددی مانند المان‌های محدود به راحتی امکان‌پذیر است [۸]. در این مقاله از نرم افزارهای موجود استفاده شده است.

۲- تعریف مسئله

این مطالعه به بررسی تأثیر وجود کاریوگیشن در خطوط باری (بار محوری ۲۲/۵ و ۲۵ و ۳۰ تن) و مسافری (بار محوری ۱۵ و ۱۷/۵ و ۲۰ تن) می‌پردازد. برای هر بار محوری در خطوط باری سرعت‌های ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ و در خطوط مسافری، سرعت‌های ۲۰۰، ۱۶۰، ۱۲۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت شبیه‌سازی شده است. با توجه به شباهت هندسی کاریوگیشن با موج سینوسی، مدل نرم‌افزاری از رابطه (۱) تبعیت می‌کند:

ریل U33 و تراورس B58 بوده است. در این آزمایش مدول خط ۲۶ مگاپاسکال تعیین شد. پس از مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی خط و ناوگان، بیشینه نیروی هر چرخ به‌دست آمد. برای برقراری ارتباط داده‌های اندازه‌گیری‌شده در محل و خروجی‌های نرم‌افزار با استفاده از رابطه (۲) بار چرخشی که باعث تغییر مکان بیشینه در ریل شد، محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{2ky_{\max}}{\beta} \quad (2)$$

در این رابطه، P بار چرخ (کیلونیوتن)؛ k مدول خط (کیلونیوتن بر میلی‌متر مربع)؛ y : تغییر مکان قائم خط در اثر بار چرخ (میلی‌متر) و β "مشخصه سیستم" است که از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\beta = \left(\frac{k}{4EI} \right)^{0.25} \quad (3)$$

که در آن E و I مدول یانگ و ممان اینرسی ریل برحسب (Mpa) و (mm^4) است.

این بار، برابر $113/0386$ کیلونیوتن محاسبه شد. نیروی به‌دست آمده با خروجی نرم‌افزار مقایسه شد که با دقت ۹۲ درصد به مقدار بار محاسباتی نزدیک بود.

۵- خروجی‌های نرم‌افزار

نرم‌افزار تاریخچه زمانی نیروهای وارد بر چرخ و محور را برای هر چرخ-محور و هر آنالیز نشان می‌دهد. در شکل (۲) برای یک آنالیز دینامیکی، تاریخچه زمانی نیروهای وارد بر چرخ و محور جلو در بوژی عقب که به‌وسیله‌ی نرم‌افزار ترسیم شده نشان داده شده است:

سایر مشخصات واگن، مقادیر پیش فرض نرم‌افزار برای واگن ERRI است. خط مدل شده بالاستی مستقیم، بدون دور با ریل 60 UIC و تراورس بتنی با فاصله ۶۰ سانتی‌متر است. سختی خط ۲۰ MPa و عرض خط ۱۴۳۵ میلی‌متر است.

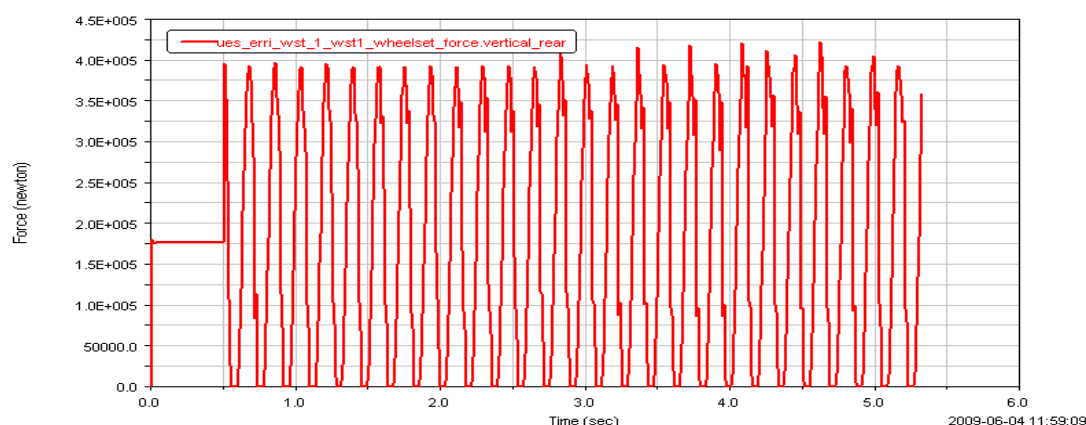
۳- روش تحلیل

مدل‌سازی خط آهن، ناوگان، تماس چرخ-ریل، تشکیل معادلات و حل آن‌ها بیشتر به‌وسیله‌ی نرم‌افزارهای تخصصی و تجاری انجام می‌شود که می‌توان به نرم‌افزارهای ارائه شده در مراجع [۱۱]، [۱۲] و [۱۳] اشاره کرد.

یکی از نرم‌افزارهای قوی در مراکز تحقیقی، مجموعه نرم‌افزاری MSC/Adams است که در دانشگاه میشیگان تهیه شده است. نرم‌افزار ADAMS/Rail یکی از بخش‌های نرم‌افزار مذکور است که در زمینه ریلی تخصصی شده است. این نرم‌افزار بر اساس فرایند Multi Body System که روشی قدرتمند برای طراحی و محاسبات کامپیوتری رفتار دینامیکی وسایط نقلیه ریلی [هنگام حرکت روی ریل] است، عمل می‌کند. در این مطالعه ۱۲۶ آنالیز برای ناوگان باری و مسافری، و سرعت‌ها و طول موج‌های مربوط انجام شد.

۴- بررسی درستی نتایج

برای کنترل درستی و اطمینان از دقت نتایج نرم‌افزار، یک مدل مطابق آزمایش انجام‌شده در محور راه آهن اهواز-خرمشهر تهیه شد [۱۴]. در این آزمایش یک لکوموتیو GT26 با بار محوری ۲۰ تن و سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت از خط بالاستی عبور کرد. بیشینه تغییر مکان مربوط به ریل حین عبور لکوموتیو، برابر ۲/۵ میلی‌متر ثبت شد. این خط دارای



شکل (۲) محیط Post processor نرم افزار Adams/Rail

(۴) را برای محاسبه فشار تماسی بین تراورس بتنی و بالاست ارائه کرد:

$$P_a = \frac{2P_s(D.F.)(1+\phi)}{B.l} \quad (۴)$$

در آن P_a فشار تماسی مجاز بین تراورس بتنی و بالاست P_s ؛ (kPa) بار استاتیکی چرخ (kN)؛ D.F. ضریب توزیع آیین نامه AREMA برای تراورس بتنی؛ ϕ ؛ ضریب ضربه که آیین نامه AREMA آن را برابر با ۱/۵ در نظر می گیرد؛ B عرض تراورس (m)؛ l طول کلی تراورس (m) طبق آیین نامه AREMA، در صورتی که تراورس از جنس بتنی و بالاست از نوع بسیار مقاوم در برابر سایش باشد، فشار تماسی متوسط بین تراورس و بالاست نباید از ۵۹۰ فراتر رود. با توجه به مطالب بالا تنش مجاز در محاسبات ۵۹۰، کیلوپاسکال در نظر گرفته شد.

۶- نمودارهای تنش - طول موج

۶-۱- ناوگان باری

پس از تعیین تنش ها در هر طول موج و بار محوری و سرعت مربوط نمودار تنش های تماسی بالاست و تراورس - طول موج قابل ترسیم خواهند بود. در ادامه

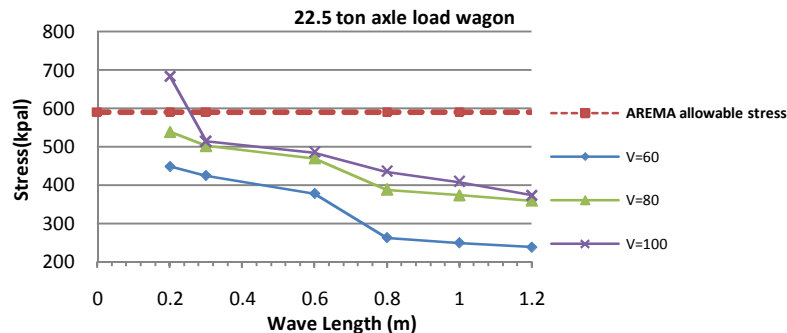
برای هر آنالیز، چهار نمودار مربوط به چهار چرخ - محور بررسی شد و بیشینه نیروی وارد بر هر محور در مدت زمان عبور ناوگان استخراج شد. سپس بیشینه نیروهای هر آنالیز (از بین نیروهای چهار محور) استخراج و برای محاسبه تنش زیر تراورس با استفاده از روش سه تراورس مجاور به تراورس ها تخصیص داده شد. در جدول (۳) مقایسه ای بین مقادیر محاسبه شده با روش های مختلف، بار وارد بر هر تراورس ارائه شده است.

جدول (۳) روش های مختلف تخصیص بار چرخ به تراورس

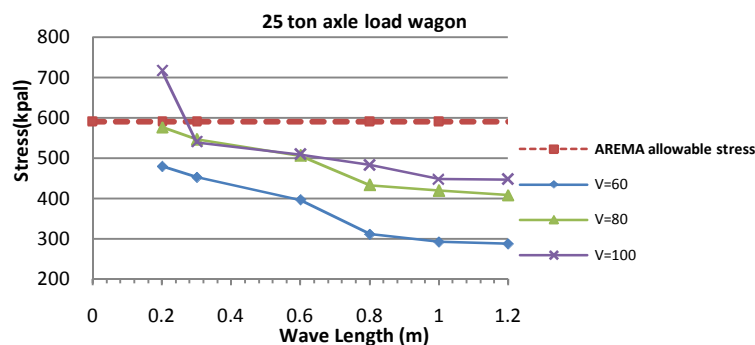
نام روش	بیشینه ی بار وارد بر تراورس در محل نشیمن گاه ریل (kN) q_r
روش سه تراورس مجاور	$q_r = 0/5 P$
رابطه (O'Rourke ۱۹۷۸) BEF	$q_r = 0/43 P$
روش آیین نامه AREMA (Birmann ۱۹۶۸)	$q_r = 0/60 P$
روش (ORE ۱۹۶۹) ORE	$q_r = 0/65 P$
روش پیشنهادی در ایران	$q_r = 0/474P(1/27S + 0/238)$

پس از تخصیص نیروها به تراورس، تنش در سطح بالاست محاسبه شد. طبق آیین نامه AREMA مقدار سطح مؤثر تراورس ۶۶/۶۶٪ تعیین شد. کمیته ویژه پژوهش AREMA در مورد تراورس های بتنی، در سال ۱۹۷۵ رابطه

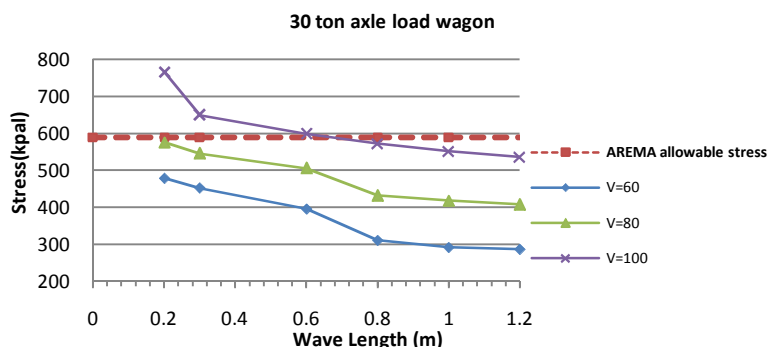
نمودارهای مربوط به ناوگان باری آمده است. در شکل (۳) نمودار مربوط به سرعت ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ کیلومتر در ساعت نشان داده شده است. تنش مجاز آیین نامه AREMA برای تراورس بتنی به صورت خط چین با مقدار ۵۹۰ Kpa مشخص است. همان گونه که مشخص است بجز در طول موج‌های کوچک‌تر از ۲۵ سانتی متر و در سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت، تنش زیر تراورس از مقدار مجاز آیین نامه‌ای فراتر نمی‌رود. در مورد ناوگان با محور ۲۵ و ۳۰ تن نمودارهای شکل (۴) و (۵) با توضیحات مشابه به دست آمده است.



شکل (۳) نمودار تنش تماسی تراورس-بلاست نسبت به طول موج کاریوگیشن برای بار محوری ۲۲/۵ تن



شکل (۴) نمودار تنش تماسی تراورس-بلاست نسبت به طول موج کاریوگیشن برای بار محوری ۲۵ تن



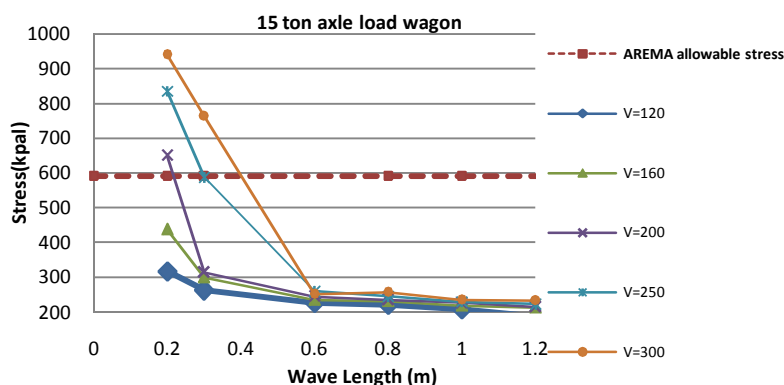
شکل (۵) نمودار تنش تماسی تراورس-بلاست نسبت به طول موج کاریوگیشن برای بار محوری ۳۰ تن

۲-۶- ناوگان مسافری

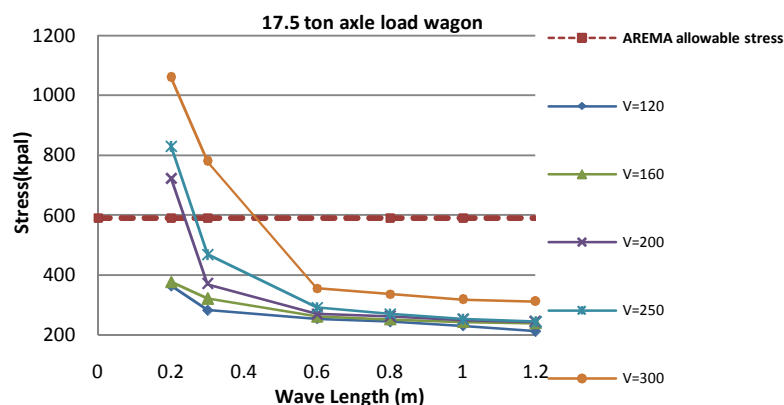
در ادامه نمودارهای ترسیم شده برای تنش تماسی تراورس - بالاست نسبت به طول موج کاریوگیشن برای ناوگان مسافری و برای دامنه ۰/۵ میلی متر آمده است. نمودار مربوط به ناوگان مسافری برای سرعت های ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت در شکل های ۶ تا ۸ نشان داده شده است:

در شکل (۶) نمودارهای مربوط به سرعت ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلومتر در ساعت نشان داده شده است. برای سرعت ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلومتر در ساعت به ازای هیچ یک از طول موج ها در اثر عبور ناوگان با بار محوری ۱۵ تن،

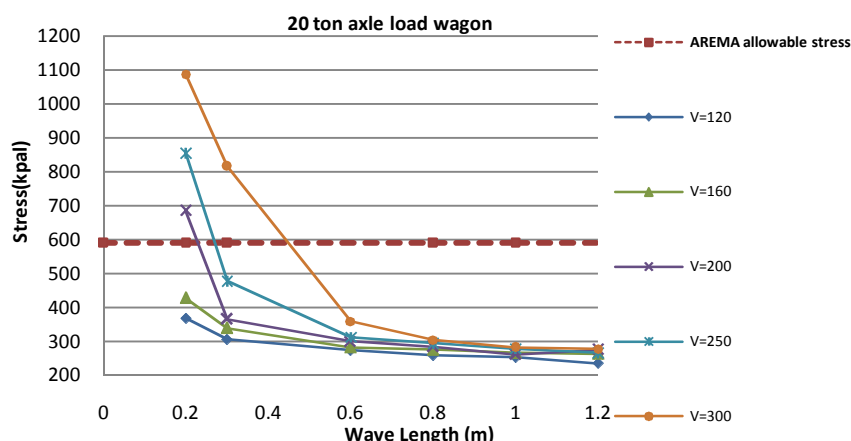
تنش زیر تراورس از مقدار مجاز آیین نامه ای فراتر نمی رود. برای سرعت ۲۰۰ کیلومتر در ساعت، برای طول موج های کوتاه تر از ۰/۲۲ سانتی متر، تنش زیر تراورس از مقدار مجاز آیین نامه ای فراتر می رود. این مقدار برای سرعت ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلومتر در ساعت ۰/۲۸ و ۰/۴۰ سانتی متر به دست آمده است. شکل (۷) نمودار مربوط به تنش تماسی تراورس - بالاست نسبت به طول موج کاریوگیشن را برای سرعت های مطالعه شده و بار محوری ۱۷/۵ تن نشان می دهد. توضیحات هر نمودار مشابه توضیحات ارائه شده در شکل (۶) است. در بخش نتیجه گیری نتایج به صورت خلاصه در جدول ۴ آمده است.



شکل (۶) نمودار تنش تماسی تراورس - بالاست نسبت به طول موج کاریوگیشن برای بار محوری ۱۵ تن و برای دامنه ۰/۵ میلی متر



شکل (۷) نمودار تنش تماسی تراورس - بالاست نسبت به طول موج کاریوگیشن برای بار محوری ۱۷/۵ تن و برای دامنه ۰/۵ میلی متر



شکل (۸) نمودار تنش تماسی تراورس-بلاست نسبت به طول موج کاریوگیشن برای بار محوری ۲۰ تن و برای دامنه ۰.۵ میلی‌متر

جدول (۴) طول موج بحرانی به‌دست‌آمده برای ناوگان مسافری و باری

ناوگان	سرعت	طول موج بحرانی برای بار محوری (سانتی‌متر):		
		۲۲/۵ تن	۲۵ تن	۳۰ تن
باری	V=60 km/h	—	—	—
	V=80 km/h	—	—	—
	V=100 km/h	۲۵	۲۸	۶۵
ناوگان مسافری	V=120 km/h	۱۵ تن	۱۷/۵ تن	۲۰ تن
	V=160 km/h	—	—	—
	V=200 km/h	۲۲	۲۳	۲۳
	V=250 km/h	۲۸	۲۹	۲۹
	V=300 km/h	۴۰	۴۴	۴۵

طول موج بحرانی کاریوگیشن به طول موجی از کاریوگیشن گفته می‌شود که به ازای مقادیر کمتر از این طول موج، تنش زیر تراورس از مقدار مجاز آیین‌نامه ای فراتر رود. در حال حاضر برنامه مدونی برای اولویت‌بندی برطرف کردن خرابی کاریوگیشن در خطوط راه‌آهن کشور وجود ندارد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند ابزاری برای انجام این اولویت‌بندی باشد. گروه نگهداری و تعمیر خطوط آهن با استفاده از گزارش‌های وجود خرابی

۷- نتیجه‌گیری

وجود کاریوگیشن باعث افزایش نیروهای وارد بر خط می‌شود که در نهایت باعث آسیب رساندن به اجزای خط و ناوگان می‌شود. در مطالعات کاریوگیشن می‌بایست دو عامل خط و ناوگان را در نظر گرفت. در این مطالعه با مدل‌سازی رایانه‌ای کاریوگیشن در خط بالاستی در نرم‌افزار ADAMS/Rail ضمن عبور ناوگان با بارهای محوری و سرعت‌های گوناگون، بیشینه نیروهای وارد بر خط به‌دست آمد و به تراورس تخصیص داده شد. سپس تنش زیر تراورس‌ها محاسبه شد. این تنش برای هر کلاس بار محوری در نمودارهای تنش تماسی تراورس-بلاست نسبت به طول موج خرابی کاریوگیشن ترسیم و با مقدار مجاز آیین‌نامه AREMA مقایسه شد.

به این ترتیب در محدوده سرعت ۶۰ تا ۳۰۰ کیلومتر در ساعت برای بار محوری ۱۵ تا ۳۰ تن و برای کاریوگیشن با طول موج ۲۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر و دامنه ۱ میلی‌متر برای ناوگان باری و مسافری و دامنه ۰/۵ میلی‌متر برای ناوگان مسافری، طول موج‌های بحرانی کاریوگیشن در خط بالاستی تعیین شد. این نتایج در جدول ۴ ارائه شده است:

- in Measurement Understanding & Treatment", 6th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Wheel/Rail System, CM2003, Sweden, 10-13 June
- [7] UIC Leaflet 712R, Appendices 2201 & 2202, Short Pitch Corrugation, Long Pitch Corrugation
- [۸] ذاکری، جبارعلی (۱۳۸۷). «اندركنش خط و قطار» جزوه درسی کارشناسی ارشد، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [9] Zakeri J. A. (2009) "Determination of "V" shaped permissible rail defect based on WLR ratio" Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 33, No. B1, pp 129-132.
- [۱۰] ذاکری، جبارعلی و شیخی (۱۳۷۸) «پدیده ناهموازی‌های موجی شکل ریل‌ها و تأثیر آن در واکنش دینامیکی اجزای خط» پنجمین همایش حمل و نقل ریلی، تهران.
- [11] Batten, R D, Meehan, P A, Daniel W J T, Belle, P A and Rob, J (2007) "The Effect of Passing Speed on Rail Corrugation Growth Rate" 5th Australasian Congress on Applied Mechanics, ACAM 2007, 10-12 December, Brisbane, Australia.
- [12] Jin Xue-Song, Wen Ze-Feng, Wang Kai-yun (2005) "Theoretical Model and Numerical Method of Rail Corrugation", Journal of Traffic and Transportation Engineering, Vol.5, No.2.
- [13] Zakeri J. A. and Xia H. (2008) "Sensitivity Analysis of Track Parameters on Train-Track Dynamic Interaction" Journal of Mechanical Science and Technology V 22 No. 7, pp. 1299-1304.
- [۱۴] اصغر سعادت‌ی راد (۱۳۸۸) «تأثیر ژئوسنتتیک بر زیرسازی خط آهن» پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی خطوط راه آهن، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- کاریوگیشن در طول خط از یک سو با در اختیار داشتن نمودارهای ارائه‌شده در این پژوهش از سوی دیگر قادر خواهند بود با توجه به طول موج و طول خرابی گزارش شده با وزن‌دهی مناسب به این خرابی‌ها اولویت‌بندی مناسبی برای اعزام گروه‌های تعمیر به محل خرابی انجام دهند. چنانچه تعدد خرابی‌ها به گونه‌ای بود که بهره‌بردار ناچار به اعزام ناوگان در این خطوط باشد، در خطوطی که در آن‌ها عملیات نگهداری و تعمیر انجام نشده‌است باید تمهیداتی از قبیل کاهش سرعت یا کاهش بار محوری اندیشیده شود.
- اولویت‌بندی برنامه نگهداری و تعمیر خطوط آهن در بخش خرابی کاریوگیشن باعث اعزام هدفمند و مؤثر ماشین‌آلات و عوامل نگهداری و تعمیر خط به محل خرابی شده و باعث بالاتر رفتن بازده گروه نگهداری و تعمیر خط خواهد شد.
- ## ۸- مراجع
- [۱] ذاکری، جبارعلی و رضا زاده زوار دهی، (۱۳۸۵)
- روش‌های نگهداری خط آهن - انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [2] Ahlbeck D R. and Daniels LE, (1990) "A Review of Rail Corrugation Processes under Different Operating Modes" Proceedings of Joint railroad conference, 13-18.
- [3] Zarembski, A M, (1984) "The Impact of Rail Surface Defects", Railway track & Structures, November.
- [4] Vanhonacker, T, (2007) "Accurate Quantification And Follow Up of Rail Corrugation on Several Rail Transit Networks".
- [5] Ishida, M (2008) Some Practical Issues Based on Wheel/Rail Rolling Contact, Symposium of Advances In Contact Mechanics, 22-24 October, Delft, The Netherlands.
- [6] Grassie, S. (2003) "Rail Corrugation: Advance

«Research Note»

Effect of Rail Corrugation on the Pressure between Sleeper and Ballast

J.A. Zakeri^{1*}, M. Gharouninik², M. Moazami³

1- Associate Professor, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

2- As Professor, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

3- MSc, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Zakeri@iust.ac.ir

Abstract:

Because of the complicated nature of track and train, investigation of interactions between them has been always an complex problem in railway engineering. Perceiving of this interaction is an complex problem only in track with various defects but also in the track without defects. Estimating of the forces exerted on track and train will be much difficult when a defect such as rail corrugation is added to this interaction. If an accurate computer model is available, we can have a good forecast of these forces. However, precise estimating of them is only reached field measurement.

In this study, we tried to present a good estimation of passenger and freight wagon forces on track with rail corrugation defect. The pressure between sleeper and ballast was calculated by these forces. Afterwards pressure (on ballast surface)-rail corrugation wavelength diagrams was determined. By using these diagrams, the rail corrugation wavelength where ballast stresses were beyond the permissible limit for each type of operation, was determined (it was named critical corrugation wavelength). A computer model was developed in ADAMS/Rail software for passenger and freight wagons with various speeds to estimate the forces exerted on the ballasted track with corrugation defect.

Keywords: Pressure on ballast surface, Rail corrugation, Track dynamic analysis, Critical corrugation wavelength.