

طراحی و ساخت دستگاه تست استاتیک بدنه واگن

نام محور مقاله: طراحی عمومی ناوگان ریلی

محمد جعفری نسب^۱

یعقوب محمدی^۲

چکیده

صنعت حمل و نقل ریلی یکی از امن ترین سیستم های حمل و نقل به شمار می رود که این امر مدیون استانداردهای سخت گیرانه این صنعت می باشد. استانداردها و آئین نامه هایی که در بخش ناوگان طراحی و سازندگان ریلی را ملزم به انجام تست های پیچیده ای می نماید. مطابق این استانداردهایی از تست هایی که لازم است بر روی کلیه واگن های طراحی شده انجام گیرد تست استاتیک بدنه می باشد. با توجه به پیچیدگی های سیستم داده برداری و تعدد بارهای اعمالی بر روی بدنه امکان انجام این تست برای واگن های مسافری، قطارهای خودکشش و لوکوموتیو در کشورهای محدودی وجود دارد. جهت انجام این تست دستگاهی با تکیه بر توان مهندسان ایرانی طراحی و با قابلیت های ویژه ای از قبیل عدم نیاز به فونداسیون و تدارک فضای اختصاصی دائم، قابلیت تست انواع واگن از طول ۵ متر تا ۳۰ متر و امکان تست واگن ها بر اساس استانداردهای مختلف در حال ساخت می باشد. در این مقاله مشخصات فنی این دستگاه معرفی شده و سپس بررسی های اقتصادی انجام گرفته در خصوص میزان ارزآوری این پروژه از دو دیدگاه مورد بررسی قرار گرفته است. در دیدگاه اول میزان صرفه جویی ارزی پروژه در صورت خرید دستگاه از سازنده کره ای تحلیل شده و در دیدگاه دوم شرایط ارسال واگن های طراحی شده به کشورهای خارجی جهت انجام تست و صدور گواهینامه تأیید بررسی گردیده است که نتایج نشان دهنده توجیه فنی اقتصادی بومی سازی این دستگاه می باشد.

کلمات کلیدی

دستگاه تست استاتیک بدنه واگن، UIC 566، DIN EN 12663، JIS E 7105، صرفه جویی ارزی

۱. مقدمه

با توجه به بومی نبودن دانش طراحی و ساخت وسایل نقلیه ریلی در شرکت های سازنده داخلی معمولاً ناوگان ریلی در شرکت های خارجی طراحی، نمونه سازی و تست شده و پس از تایید طرح در شرکت های داخلی تولید می گردد. به این لحاظ شاید بتوان گفت در پروژه های ریلی که تا کنون در کشور کلید خورده است تست ها در خارج از کشور صورت پذیرفته است. همچنین با توجه به استراتژیک بودن تکنولوژی های مربوط به تست وسایل نقلیه ریلی، اغلب شرکت های بزرگ تولید کننده محصولات ریلی در جهان که مجهز به مراکز تست مدرن بوده از انتقال اطلاعات به شرکت های دیگر خودداری کرده و این فن آوری ها به صورت انحصاری در اختیار شرکت های بزرگی از جمله آستوم، بمباردیر، زیمنس، روتم و ... می باشد. در سال های

۱ رییس تحقیقات تکنولوژی واگن - شرکت توسعه صنایع ریلی ایرانیان (ایریکو) - آدرس: تهران، فلکه دوم صادقیه، خیابان آیت ... کاشانی، پلاک ۹۱ - تلفن: ۰۲۱-۴۴۰۳۳۶۷۷ پست الکترونیکی: rdcenter@iri.co.ir

۲ رییس تحقیق و توسعه محصولات جدید - شرکت توسعه صنایع ریلی ایرانیان (ایریکو) - آدرس: تهران، فلکه دوم صادقیه، خیابان آیت ... کاشانی، پلاک ۹۱ - تلفن: ۰۲۱-۴۴۰۳۳۶۷۷ پست الکترونیکی: mohammadi.y@iri.co.ir

اخیر با توجه به تغییر دیدگاه‌های کلان در خصوص بومی‌سازی و استفاده از امکانات فنی و مهندسی داخلی جهت طراحی و ساخت انواع واگن انجام تست‌های الزامی بر طبق استانداردهای جهانی در داخل کشور به یک ضرورت برای تولیدکنندگان محصولات ریلی تبدیل شده است.

یکی از اساسی‌ترین تست‌ها پس از طراحی و ساخت واگن نمونه، تست استاتیک بدنه می‌باشد. این تست یکی از پرهزینه‌ترین تست‌های مورد نیاز پس از ساخت واگن نمونه بوده و به لحاظ فن‌آوری منحصر بفرد می‌باشد. ارسال واگن جهت تست به کشورهای دارای این تکنولوژی، به دلایل هزینه بالای انجام تست و خروج فن‌آوری‌های طراحی بکار رفته در ساخت واگن به کشور مقصد، دور از مصالح نظام بوده و وابستگی کشور را به دنبال خواهد داشت. با بررسی‌های انجام شده و بازدید از نمونه‌های خارجی این دستگاه در کشورهای توسعه یافته، این نتیجه حاصل گردید که در حال حاضر امکان طراحی و ساخت این تجهیز به پشتوانه دانش فنی متخصصین داخلی وجود دارد. این موضوع علاوه بر پیشرفت فنی باعث جلوگیری از خروج سرمایه‌های ملی به خارج از کشور گردیده و با ارائه خدمات تست برای کشورهای منطقه امکان ارزآوری را نیز بوجود خواهد آورد. در این مقاله مشخصات فنی دستگاه تست استاتیک بدنه واگن که با توجه به محدودیت‌ها و ویژگی‌های مورد نظر مانند عدم نیاز به فونداسیون، قابلیت تست انواع واگن از طول ۵ متر تا ۳۰ متر و امکان تست واگن‌ها بر اساس استانداردهای مختلف طراحی گردیده است ارائه شده است. همچنین توجیه اقتصادی این طرح و میزان ارز آوری آن از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

۲. الزامات تست استاتیک بدنه

بدنه واگن بایستی توانایی تحمل حداکثر بارهایی که در حین بهره‌برداری بر آن اعمال می‌شود را بدون تغییر شکل دائمی یا شکست داشته باشد. بنابراین نمونه اولین واگن طراحی و ساخته شده، تحت حداکثرهای بارهای وارده بر آن مورد آزمایش قرار گرفته و تنش‌ها و تغییرشکل‌های ایجاد شده در نقاط مختلف آن، بویژه نواحی که در آنالیز تحلیل تنش کامپیوتری (FEA)، بحرانی شناخته شده‌اند مانند تیرهای اصلی، گوشه‌های محل‌های بریده شده برای پنجره و درب‌ها اندازه‌گیری شود. در صورتیکه این مقادیر اندازه‌گیری شده در محدوده مجاز طراحی باشد می‌توان از صحت طراحی انجام شده اطمینان حاصل نمود.

مطابق استانداردهای DIN EN 12663، UIC 566، و JIS E 7105 نیروهایی جهت انجام تست استاتیک بدنه واگن مشخص گردیده که می‌بایست در نواحی اشاره شده اعمال گردد. بر این اساس دو سیستم هیدرولیک به همراه تعدادی سیلندر هیدرولیک جهت اعمال این نیروها در نظر گرفته شده است. جهت افزایش کارایی دستگاه مورد نظر و کاهش هزینه‌های اجرای این طرح دستگاه مورد نظر به صورت قابل حمل و بدون فونداسیون طراحی گردیده است.

با توجه به تعدد استانداردهای طراحی و تست مورد استفاده در کشورهای مختلف طراحی دستگاه تست شرکت ایریکو به گونه‌ای صورت پذیرفته که این دستگاه قابلیت انجام تمامی بارگذاری‌های استاتیک استانداردهای مختلف را دارا می‌باشد که این موضوع باعث تمایز و برتری این دستگاه می‌باشد. لذا سازه فلزی این طرح می‌تواند نیروهای اعمال شده بر واگن را به صورت نیروی داخلی تحمل نماید. بخش دیگر این دستگاه سیستم داده برداری می‌باشد که اطلاعات مربوط به میزان نیروها، کرنش‌ها و تغییر شکل‌های نواحی مشخص گردیده در تحلیل کامپیوتری المان محدود واگن را در طول تست با سرعت نمونه‌برداری بالا ثبت می‌نماید. در ادامه ابتدا بارگذاری‌های مورد نظر استاندارد بر روی انواع واگن تشریح گردیده و سپس سه بخش اصلی این دستگاه به اختصار توضیح داده می‌شود.

۲.۱. تست‌های بدنه واگن بر اساس استانداردهای UIC 566، DIN EN 12663 و JIS E 7105

طراحی بدنه فلزی واگن‌ها به بارهای اعمالی بر بدنه و جنس موادی که بدنه از آنها ساخته می‌شود، بستگی دارد. بدنه فلزی واگن باید توانایی تحمل حداکثر بارهای وارده در شرایط کاری را داشته باشد و تحت شرایط نرمال برای عمری که طراحی شده است کار کند. هدف از این استانداردها ارائه مبنای واحدی جهت طراحی بدنه فلزی واگن‌ها می‌باشد.

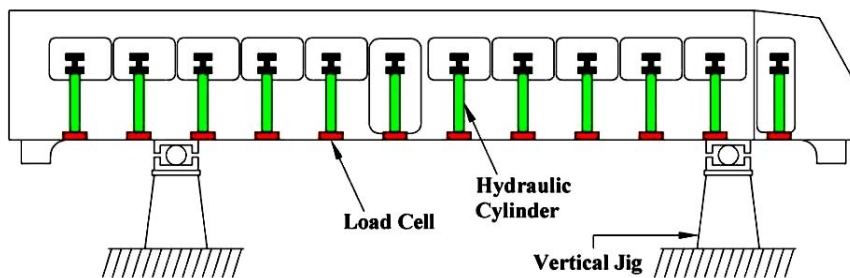
استانداردهای UIC 566، DIN EN 12663، و JIS E 7105 به منظور طراحی و تست بدنه واگن به کار می روند، در این استانداردها بارهای استاتیک و دینامیکی که جهت تست بدنه واگن و اجزاء آن به کار می روند معرفی شده اند. علی رغم تفاوت های موجود بین این دو استاندارد، دستگاه تست استاتیک بر اساس توانایی اعمال حداکثر نیروها طراحی گردیده و لذا قادر به انجام کلیه تست های استاتیک مورد نیاز این دو استاندارد می باشد. در این تست ها، پارامترهای مربوط به وزن اجسام مطابق جدول زیر می باشد.

m1:	وزن بدنه واگن در شرایط کاری که شامل وزن بدنه واگن کامل شده همراه با کلیه تجهیزات نصب شده بر روی آن که شامل وزن آب، سوخت، مواد غذایی و خدمه نیز می شود.
m2:	حداکثر بار مفید که در قطارهای مسافری به ظرفیت حمل مسافر بصورت نشسته و ایستاده و بار همراه وی بستگی دارد. مقادیر نوعی عبارتند از: وزن مسافر در مسیرهای طولانی + بار همراه وی = ۸۰ کیلوگرم وزن مسافر در مسیرهای کوتاه = ۷۰ کیلوگرم تراکم مسافر ایستاده در مسیرهای طولانی = ۲ تا ۴ نفر در متر مربع تراکم مسافر ایستاده در مسیرهای کوتاه = ۵ تا ۱۰ نفر در متر مربع وزن بار = ۳۰۰ کیلوگرم در هر متر مربع از سطح محل قرار دادن بار
m3:	وزن یک بوژی کامل با کلیه متعلقات آن

جدول شماره ۱- پارامترهای مربوط به وزن اجزای واگن

۲.۲. تست بار عمودی

این تست به منظور شبیه سازی و ارزیابی توانایی تحمل وزن مسافران و کلیه تجهیزات واگن توسط بدنه فلزی واگن انجام می پذیرد. مطابق شکل زیر واگن بر روی چهار عدد جیگ عمودی در محل نشیمنگاه بدنه بر روی بوژی (جاییکه وزن بدنه به بوژی منتقل می شود) قرار گرفته و بار عمودی به میزان $1.3g(m1+m2)$ بصورت گسترده بر کف واگن اعمال می شود. بمنظور اعمال نیرو می توان از ۳۰ عدد سیلندر هیدرولیکی ۱۰ تن استفاده می شود.

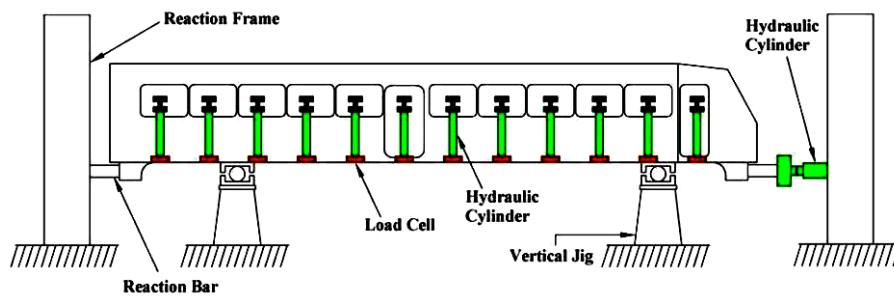


شکل شماره ۱ - تست بار عمودی

۲.۳. تست بار فشاری در ناحیه کوپلر

این تست به منظور شبیه سازی و ارزیابی توانایی تحمل نیروهای عمل و عکس العمل بین واگن ها در ناحیه کوپلر انجام می پذیرد. مطابق شکل زیر واگن بر روی چهار عدد جیگ عمودی در محل نشیمنگاه بدنه بر روی بوژی (جاییکه وزن بدنه به بوژی منتقل می شود) قرار گرفته و فریم های اعمال بار در دو انتهای بدنه مستقر می شوند. یکی از این فریم ها دارای سیلندر هیدرولیکی و لودسل جهت اعمال نیرو بوده و فریم دیگر نیروی عکس العمل را اعمال می کند. در این تست ابتدا نیروی عمودی $1.3g(m1+m2)$ اعمال شده و سپس نیروی فشاری در محل نصب کوپلر بر روی بدنه بصورت تدریجی اعمال می شود.

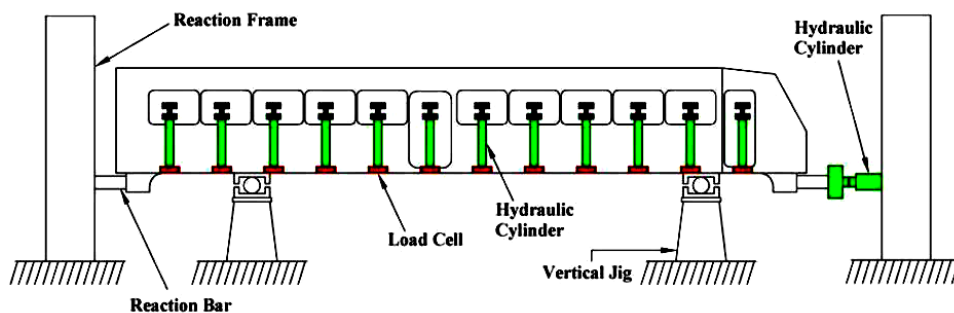
نیروی عکس العمل نیز در محل نصب کوپلر در انتهای دیگر بدنه اعمال می گردد. جهت اعمال این نیروها یک عدد سیلندر هیدرولیک با توانایی اعمال بار حداکثر ۵۰۰ تن در نظر گرفته شده است.



شکل شماره ۲ - تست بار فشاری در ناحیه کوپلر

۲.۴. تست بار کششی در ناحیه کوپلر

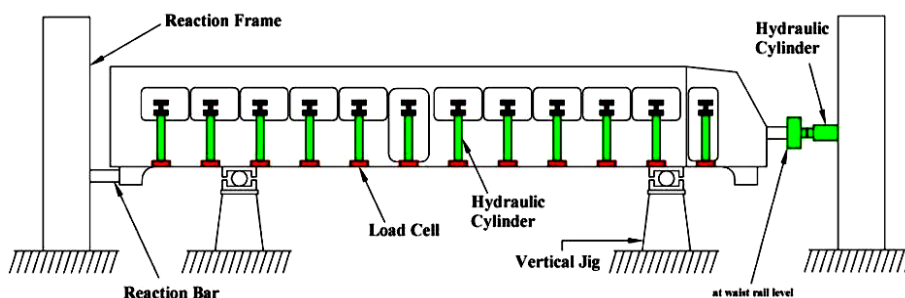
این بارگذاری مشابه بارگذاری قبل جهت شبیه سازی و ارزیابی توانایی تحمل نیروهای عمل و عکس العمل بین واگن‌ها در ناحیه کوپلر انجام می پذیرد و تفاوت آن در جایگزین شدن نیروی فشاری با نیروی کششی می باشد. نیروی کششی در محل نصب کوپلر بر روی بدنه بصورت تدریجی اعمال می شود. این نیرو توسط همان سیلندر هیدرولیکی و در حالت کششی اعمال می گردد که حداکثر نیروی قابل اعمال توسط این سیلندر در حالت کشش ۲۰۰ تن می باشد.



شکل شماره ۳ - تست بار کششی در ناحیه کوپلر

۲.۵. تست بار فشاری در سطح Cant Rail و Waist Rail

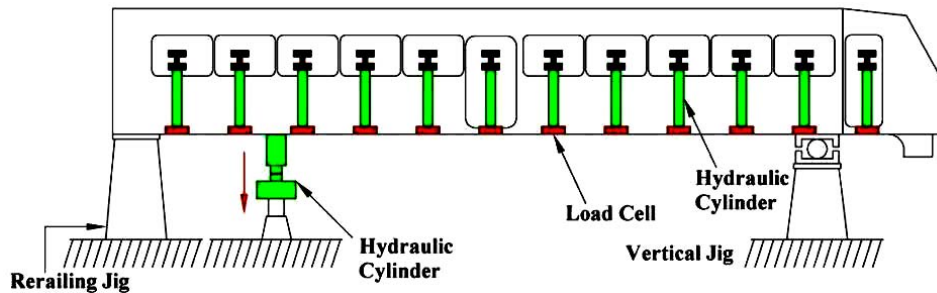
مطابق شکل زیر واگن بر روی چهار عدد جیگ در محل نشیمنگاه بدنه بر روی بوژی (جاییکه وزن بدنه به بوژی منتقل می شود) قرار گرفته و فریم‌های اعمال بار در دو انتهای بدنه مستقر می شوند. یکی از این فریم‌ها دارای سیلندرهای هیدرولیکی و لودسل جهت اعمال نیرو بوده و فریم دیگر نیروی عکس العمل را اعمال می کند. در این تست ابتدا نیروی عمودی $1.3g(m1+m2)$ اعمال شده و سپس نیروی فشاری در سطح Cant Rail و Waist Rail، بصورت تدریجی اعمال می شود. این نیروها توسط دو عدد سیلندر هیدرولیکی با قابلیت اعمال بار حداکثر ۱۰۰ تن اعمال می گردد.



شکل شماره ۴ - تست بار فشاری در سطح Cant Rail و Waist Rail

۲.۶. تست بار Re-railing

این تست به منظور شبیه سازی نیروهای اعمال شده به بدنه هنگام بازگرداندن به روی ریل پس از خروج از ریل انجام می پذیرد. مطابق شکل زیر واگن در سمت کابین دار بر روی دو عدد جیگ عمودی در محل نشیمنگاه بدنه بر روی بوژی (جاییکه وزن بدنه به بوژی منتقل می شود) و در انتهای دیگر بر روی دو جیگ Re-railing قرار می گیرد. در این تست ابتدا نیروی عمودی برابر با 1g بصورت گسترده بر کف واگن اعمال شده و سپس نیروی وزن بوژی برابر با 3g در محل اتصال بوژی به بدنه توسط سیلندر هیدرولیکی اعمال می گردد. جهت اعمال نیروی وزن بوژی یک عدد سیلندر هیدرولیکی با ظرفیت اعمال بار حداکثر ۳۰ تن در نظر گرفته شده است.



شکل شماره ۵ - تست بار Re-railing

در کلیه تست‌ها، کرنش‌سنج‌ها در نقاط بحرانی از پیش تعیین شده بر اساس تحلیل‌های المان محدود نصب گردیده و پس از اعمال بار میزان کرنش‌ها توسط دستگاه داده برداری، جمع آوری شده و در محاسبه تنش‌ها بکار می روند.

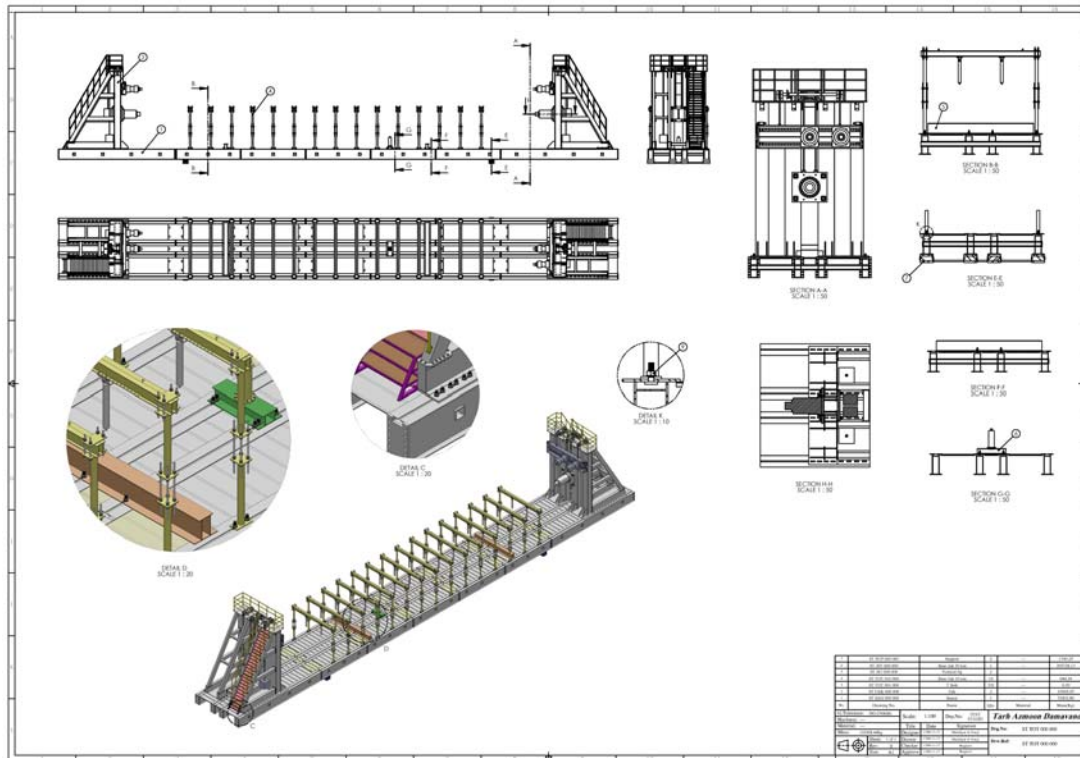
۳. مشخصات کلی دستگاه تست استاتیک بدنه واگن

۳.۱. سازه فلزی

این سازه از سه بخش اصلی بستر، فک‌ها، و مکانیزم‌ها تشکیل گردیده است. بستر این سازه شامل دو ماژول ۹ متری و ۵ ماژول ۵ متری می‌باشد که در ۱۶ نقطه به وسیله نئوپرن‌هایی که جهت تحمل وزن سازه و واگن نمونه طراحی شده است بر روی زمین قرار می‌گیرند. فک‌ها ی این سازه جهت انتقال نیروی سیلندرهای ۵۰۰ تن و ۱۰۰ تن به بستر سازه طراحی شده و همچنین شامل مکانیزم‌هایی جهت تنظیم ارتفاع و موقعیت این سیلندرها می‌باشد. برخی از ویژگی‌های سازه طراحی شده بدین شرح می‌باشد.

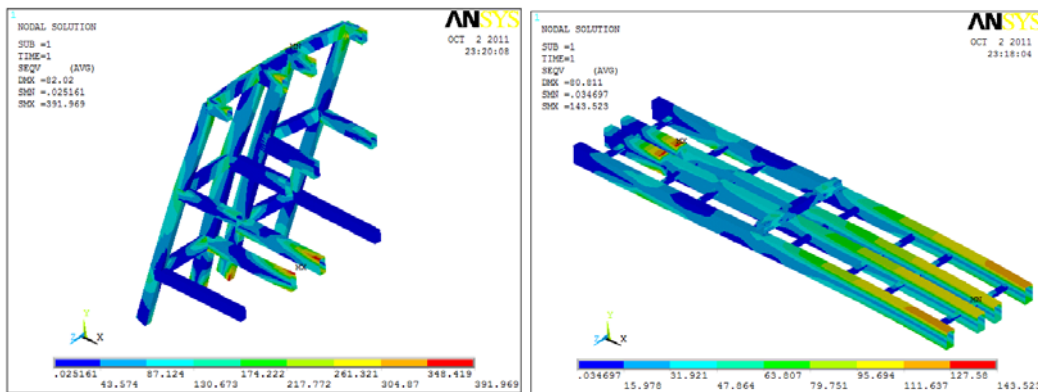
- از آنجائیکه فقط نمونه اول یک واگن طراحی شده، مورد تست واقع می شود بنابراین جهت جلوگیری از اشغال دائمی بخشی از سالن، دستگاه باید متحرک بوده و نیاز به فونداسیون خاصی نداشته باشد، بگونه ای که در هنگام نیاز به تست در محلی نصب شده و پس از پایان تست، جمع آوری و در انبار نگهداری شود. لذا طراحی بستر سازه به گونه‌ای می‌باشد که تنها وزن دستگاه به زمین منتقل گردد.
- جهت انعطاف پذیری بیشتر سازه اتصالات ماژول‌های اصلی به صورت پیچی در نظر گرفته شده است.
- سیستم به گونه ای طراحی شده است که توانایی تست انواع واگن‌ها نظیر مترو، قطارهای بین شهری، قطارهای حومه ای، واگن باری، قطار سبک شهری، مونوریل و لوکوموتیو را داشته باشد. واگن‌های مورد تست می‌تواند از حداقل ابعاد ۵ متر طول، ۲/۴ متر عرض و ۳/۲ متر ارتفاع را تا حداکثر ۳۰ متر طول، ۳/۲ متر عرض و ۵ متر ارتفاع را داشته باشد.
- سازه به گونه ای طراحی گردیده است که در برابر کلیه نیروهای اعمال شده بر واگن به میزان مجاز تغییر فرم الاستیک داده و نیروها را به صورت داخلی تحمل می‌نماید.
- مکانیزم‌ها و جیگ‌های مناسبی جهت اعمال بار بر روی انواع واگن در ارتفاع‌های مختلف مطابق استانداردهای ریلی طراحی شده است.

- جهت افزایش انعطاف پذیری محل اعمال نیروی سیلندره‌های ۱۰ تن، بر روی بستر این سازه ریل‌هایی طراحی شده که اتصالات مختلف به صورت T-slot در این ریل‌ها قرار گرفته و به راحتی می‌توان محل اعمال نیروی آن‌ها را تغییر داد.



شکل شماره ۶ - نمای سازه فلزی دستگاه تست استاتیک بدنه

- اجزای مختلف این سازه به کمک نرم افزار ANSYS تحلیل شده که نتایج آن برای بارگذاری ترکیبی بارهای عمودی و ۵۰۰ تن فشاری در محل کوپلر ارائه گردیده است.



شکل شماره ۷ - نتایج تحلیل سازه در بارگذاری ترکیبی ۵۰۰ تن فشاری و بار عمودی

۲- نیروی فشاری جک وسط	200 tons (S.F=3)	تنش حداکثر در بستر = 83 MPa (SF=4.2) تنش حداکثر در قسمت پشتیبان فک = 174 MPa (SF=2) تنش حداکثر در تیرهای وسط ستون فک < 100 MPa (SF=3.5) کشش حداکثری اعمالی در کابلها = 24 tons	+40 mm خیز عمودی در وسط بستر -12 mm خیز افقی بالای فک
	500 tons (S.F=1.2)	تنش حداکثر در بستر (ناحیه اتصال به ستون) = 143 MPa (SF=2.4) تنش حداکثر در بستر (ناحیه وسط بستر) = 113 MPa (SF=3) تنش حداکثر در قسمت پشتیبان فک = 391 MPa (SF=0.9) تنش حداکثر در تیرهای وسط ستون فک = 231 MPa (SF=1.5) کشش حداکثری اعمالی در کابلها = 45 tons	+52 mm خیز عمودی در وسط بستر -45 mm خیز افقی بالای فک

جدول شماره ۲ - نتایج تحلیل سازه در بارگذاری ترکیبی ۵۰۰ تن فشاری و بار عمودی

۳.۲. سیستم هیدرولیک

ظرفیت و تعداد سیلندرهای هیدرولیک مورد استفاده مطابق جدول زیر بوده و برخی از ویژگی‌های این سیستم بدین شرح می‌باشد.

تعداد	ظرفیت	نوع بار	محل اعمال نیرو	تجهیزات اعمال نیرو
1	500 ton	فشاری	کوپلر	سیلندر هیدرولیک
	200 ton	کششی		
2	100 ton	فشاری	Cantrail/Waistrail	
30	10 ton	فشاری	بار عمودی	
1	30 ton	کششی	Rerail	

جدول شماره ۳ - ظرفیت و تعداد سیلندرهای هیدرولیک

- تمامی سیلندرها مجهز به لودسل الکترونیکی برای بارهای مشخص شده در جدول فوق می‌باشند و نیروی تمامی سیلندرها قابل تنظیم و کنترل بوده و امکان داده‌برداری و ثبت نیروها وجود دارد. همچنین نیروی اعمالی توسط سیلندرها کاملاً یکنواخت و بدون هیچگونه اغتشاشی در طول مدت زمان اعمال نیرو، به قطعه وارد گردد.
- تمامی تجهیزات از جمله پاور یونیت و سیلندرها مجهز به اتصالات هیدرولیک سریع بوده و سیستم بگونه‌ای طراحی و ساخته شده که از نفوذ مواد خارجی و رطوبت به تجهیزات جلوگیری گردد. لذا امکان دمونتاز و نگهداری کلیه تجهیزات سیستم هیدرولیک در انبار در نظر گرفته شده است.
- سیستم پاور یونیت با توجه به شرایط اقلیمی شهر ابهر مجهز به کولر و هیتر الکتریکی اتوماتیک می‌باشد به نحوی که دمای روغن هیدرولیک به صورت اتوماتیک کنترل شده و در موقع لزوم هیتر و یا کولر وارد مدار می‌گردد.
- سیستم کنترل پاور یونیت قابلیت تنظیم فشار و نیرو برای هر سیلندر را به صورت مستقل داشته و امکان داده‌برداری از فشارها و نیروهای وارده برای تمامی سیلندرها نیز در نظر گرفته شده است.
- پاور یونیت مجهز به تجهیزات ایمنی، هشداردهنده و نمایشگرهای عملکرد تجهیزات نظیر نمایشگر سطح، دما و فشار روغن، گرفتگی فیلتر و سایر آیتم‌های بحرانی می‌باشد.

۳,۳. سیستم جمع آوری داده‌ها

قبل از انجام تست استاتیک بدنه، آنالیز تحلیل تنش کامپیوتری بر روی مدل سه بعدی واگن انجام شده و نقاط بحرانی آن شناسایی می‌شود. در حین تست، تعدادی کرنش سنج در نقاط بحرانی نصب شده و تغییر طولها در آن نواحی اندازه گیری می‌شوند که نهایتاً با پردازش این اطلاعات مقادیر تنش در این نواحی محاسبه می‌گردد. جهت خواندن، ذخیره در یک حافظه داخلی و انتقال این اطلاعات به کامپیوتر از دیتالاگر استفاده خواهد شد که در واقع یک سیستم جمع آوری داده می‌باشد. تجهیزات این سیستم به اختصار بدین شرح می‌باشد.

Item	Instrument	Specification	Q'ty	Remarks
1	DAQ system	جهت اندازه گیری , statistic strain(150 strain gage), Force(34 Load cells), Displacement(30 Dial gage)	1	نمایش مقادیر اندازه گیری با قابلیت چاپ و همچنین ذخیره اطلاعات بر روی memory card
2	Strain Gauge	120Ω	150	Single axis type
3	Strain Gauge	120Ω		type(3axis)
4	Deflection Measuring Device	50 - 100 mm	20	Dial Gage for local monitoring

جدول شماره ۴ - تجهیزات سیستم داده برداری

۴. تحلیل اقتصادی طرح

نظر به مزایای بدون تردید سیستم حمل و نقل ریلی نسبت به سایر روش‌های حمل و نقل، تمرکز سیاست‌های کلان کشور بر استفاده و توسعه از سیستم حمل و نقل ریلی می‌باشد. عدم وجود مرکز تست مجهز در منطقه و هزینه‌های بسیار بالای حمل و نقل واگن به کشورهای دارای تکنولوژی تست، امکان استفاده از توان مهندسان داخلی را برای طراحی واگن کاهش داده و شرکت‌ها را ملزم به خرید تکنولوژی ساخت از کشورهای دیگر نموده است. لذا این امر انگیزه بسیار بالایی را برای شرکت‌های سازنده محصولات ریلی داخلی و حتی منطقه برای طراحی و ساخت دستگاه تست استاتیک بدنه بوجود آورده است. همچنین چنانچه اشاره شد امکان سرویس دهی به کشورهای منطقه میزان ارزآوری این دستگاه را به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش خواهد داد.

در این بخش پروژه طراحی ساخت دستگاه تست استاتیک بدنه از لحاظ ارزآوری از دو دیدگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. دیدگاه اول به بررسی و مقایسه وارد نمودن دستگاه تست از کشور کره و طراحی و ساخت این دستگاه با امکانات و توان مهندسی داخلی پرداخته است. در دیدگاه دوم هزینه‌های انجام تست استاتیک بدنه در داخل کشور با هزینه‌های ارسال واگن به یک کشور اروپایی و انجام تست و صدور تأییدیه در آن کشور مقایسه شده است. جهت انجام بررسی‌های فوق ابتدا برآورد هزینه‌های انجام گرفته در این خصوص بشرح زیر ارائه می‌گردد.

۴,۱. هزینه‌های طراحی و ساخت دستگاه در داخل کشور

همانگونه که مطرح گردید دستگاه تست استاتیک بدنه در سه بخش در حال تامین می‌باشد. با توجه به استعلام قیمت‌های اخذ شده تاکنون هزینه تامین هر یک از بخش‌های این دستگاه به شرح زیر می‌باشد.

ردیف	توضیحات	قیمت (ریال)
۱	طراحی و ساخت سیستم هیدرولیک	۴/۳۲۰/۰۰۰/۰۰۰
۲	طراحی سازه فلزی و سیستم کنترل هیدرولیک	۲۹۰/۰۰۰/۰۰۰
۳	ساخت سازه فلزی	۴/۷۰۰/۰۰۰/۰۰۰
۴	جمع دستگاه بدون سیستم داده برداری	۹/۳۱۰/۰۰۰/۰۰۰
۵	سیستم داده برداری	۲/۴۰۰/۰۰۰/۰۰۰
	جمع کل	۱۱/۷۱۰/۰۰۰/۰۰۰

جدول شماره ۵ - قیمت دستگاه تست استاتیک بدنه طراحی و ساخت داخل

۴.۲. هزینه طراحی و ساخت دستگاه توسط سازنده خارجی

شرکت کره ای Changwon Precision در خصوص ساخت این دستگاه قیمت خود را به شرح زیر اعلام نموده است.

مبلغ به دلار	توضیحات	
336,000	فولاد	هزینه مواد خام
340,000	سیستم هیدرولیک	
92,000	لودسلها	
160,000	تجهیزات سیستم کنترل	
502,000	دستمزد ساخت	
486,000	حمل، نصب، راه اندازی	
1,916,000	جمع کل	

جدول شماره ۶ - قیمت دستگاه تست استاتیک بدنه ساخت شرکت Changwon Precision

در خصوص قیمت‌های اعلام شده توسط این شرکت چند نکته قابل توجه می‌باشد. استعلام قیمت ارائه شده شامل سیستم داده برداری نمی‌باشد. همچنین سازه‌ای که برای این دستگاه در نظر گرفته شده است نیاز به فونداسیون داشته که با توجه به طولانی بودن زمان تست و حساسیت دستگاه این فضا می‌بایست مسقف نیز باشد. لذا هزینه ساخت فونداسیون و سوله مناسب برای تجهیزات این دستگاه نیز باید در نظر گرفته شود.

۴.۳. هزینه ارسال و انجام تست خارج از کشور

بر اساس پیشنهاد قیمت ارائه شده از طرف شرکت ایتالیایی BLUE Engineering، هزینه تست استاتیک بدنه یک دستگاه واگن ۲۰۰/۰۰۰ یورو می‌باشد که این رقم بدون احتساب هزینه حمل زمینی در ایران، حمل دریایی و حمل زمینی در داخل کشور ایتالیا می‌باشد. بر اساس استعلام‌های اخذ شده هزینه حمل و نقل برای رفت و برگشت یک بدنه با ابعاد ۲۶ متر طول، ۳ متر عرض و ۴ متر ارتفاع با وزنی حدود ۱۸ تن مبلغ ۴۰/۰۰۰ یورو می‌باشد. لذا با جمع هزینه‌های حمل و نقل و انجام تست هزینه ارسال یک دستگاه بدنه واگن از کشورمان به کشور ایتالیا و انجام تست استاتیک بدنه حدود ۲۴۰/۰۰۰ یورو می‌باشد.

۵. نتیجه گیری

۵.۱. دیدگاه اول

در این بخش میزان ارزآوری ساخت داخل نمودن این دستگاه در مقایسه با هزینه ساخت دستگاه در کشور کره جنوبی محاسبه می‌گردد. با در نظر گرفتن هزینه ساخت این دستگاه بدون سیستم داده‌برداری در ایران با قیمت ۹۳۱/۰۰۰/۰۰۰ ریال و قیمت هر دلار معادل ۱۲/۲۶۰ ریال، هزینه ساخت دستگاه تست ساخته شده در شرکت ایریکو معادل ۷۶۰/۰۰۰ دلار می‌باشد. این مبلغ در مقایسه با مبلغ ۱/۹۱۶/۰۰۰ دلار ۶۰ درصد پایین‌تر بوده که بیش از ۱/۱۵۶/۰۰۰ دلار صرفه جویی ارزی خواهد داشت. توجه به این امر که هزینه‌های تخصیص یک فضای مناسب و ساخت سوله به نمونه خارجی منظور نگردیده است می‌تواند علت بومی‌سازی این امر را پررنگ‌تر جلوه دهد. در نتیجه با در نظر گرفتن برتری‌های فنی طرح ارائه شده توسط مهندسين داخلی برای این دستگاه تست و میزان صرفه‌جویی ارزی این محاسبه گردیده مزایای بومی‌سازی این دستگاه مورد تأیید می‌باشد.

۵.۲. دیدگاه دوم

با توجه به هزینه‌های اعلام شده از طرف شرکت BLUE Engineering و با در نظر گرفتن قیمت ۱۶/۱۷۶ ریال برای هر یورو هزینه ارسال واگن و انجام تست استاتیک بدنه برای هر واگن معادل ۳/۸۸۲/۲۴۰/۰۰۰ ریال می‌باشد. حال آن که بر اساس آنالیزهای صورت پذیرفته با در نظر گرفتن هزینه ساخت دستگاه، استهلاک، تعداد سه تست در سال و سایر پارامترهای مرتبط با هزینه خدمات تست به سایر شرکت‌های طراح و سازنده وسایل نقلیه ریلی، قیمت خدمات تست برای هر واگن با استفاده از دستگاه تست استاتیک شرکت ایریکو حدود ۲/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال می‌باشد.

لذا می‌توان نتیجه گرفت ساخت این دستگاه برای هر بار تست بیش از ۴۸ درصد صرفه جویی هزینه خواهد داشت و با در نظر گرفتن انجام ۳ تست در هر سال بیش از ۳۵۰/۰۰۰ یورو در سال صرفه جویی ارزی برای کشور صورت گرفته است. نباید از نظر دور داشت که در صورت انجام تست در داخل کشور، مدت زمان مورد نیاز برای تست هر واگن نیز به لحاظ عدم نیاز به ارسال به خارج از کشور، به نحو چشمگیری کاهش خواهد یافت که این خود به منزله صرفه اقتصادی بیشتر و کوتاه‌تر شدن زمان پروژه‌های ریلی خواهد بود. لازم به توضیح است ظرفیت در نظر گرفته شده برای این دستگاه با توجه به پروژه‌های جاری در کشور می‌باشد و در صورت انجام فعالیت‌های بازاریابی مناسب در کشورهای منطقه امکان افزایش تعداد تست‌ها در طول سال نیز وجود دارد که در این صورت میزان ارزآوری این دستگاه را به صورت قابل ملاحظه ای افزایش می‌دهد.

۶. مراجع

۱. استاندارد، UIC 566
۲. استاندارد DIN EN 12663
۳. استاندارد JIS E 7105
۴. گزارش تحلیل المان محدود واگن‌های خودکشش ریل باس
۵. فرآیند تست واگن‌های خودکشش ریل باس
۶. نتایج تست واگن‌های خودکشش ریل باس
۷. گزارش طراحی سازه دستگاه تست استاتیک بدنه