

دستگاه تست استاتیک بدنه واگن

محور مقاله: طراحی عمومی ناوگان ریلی
اصغر جاوید^۱

چکیده

بدنه واگن بایستی توانایی تحمل حداکثر بارهایی که در حین کار بر آن اعمال می شود را بدون بوجود آمدن تغییر شکل دائمی یا شکست در آن داشته باشد. بنابراین ضروری می باشد که نمونه واگن طراحی و ساخته شده، تحت حداکثرهای بارهای وارده بر آن مورد آزمایش قرار گرفته و تنش ها و کرنش های ایجاد شده در نقاط مختلف آن، بویژه نواحی که در آنالیز تحلیل تنش کامپیوتری (FEA)، بحرانی شناخته شده اند مانند تیرهای اصلی، گوشه های محل های بریده شده برای پنجره و درب و ... اندازه گیری شود. در صورتیکه این مقادیر اندازه گیری شده در محدوده مجاز طراحی باشد می توان از صحت طراحی انجام شده اطمینان حاصل نمود. از آنجائیکه طبق استانداردهای DIN EN 12663 و UIC 566 نیروهای عظیمی برای تست مورد نیاز می باشد، بنابراین ضروری است که از دستگاه تست استاتیک با سیلندرهای قدرتمند، برای این منظور استفاده شود. این دستگاه از نظر مقدار نیروها و محل اعمال آنها بر بدنه واگن باید دارای امکاناتی باشد تا انجام تستهایی که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد را امکانپذیر سازد. در این مقاله ملزومات طراحی دستگاه تست استاتیک بدنه و نتایج تحلیل های انجام شده بر فلزی این دستگاه ارائه شده است.

کلمات کلیدی: دستگاه تست استاتیک - تست بار - تست بدنه واگن

۱. مقدمه

دستگاه تست استاتیک بدنه واگن از سه قسمت عمده تشکیل شده است:

- سازه فلزی
- سیستم هیدرولیک اعمال نیرو
- سیستم جمع آوری داده

بمنظور طراحی دستگاه، ابتدا باید ملزومات این دستگاه بر اساس تستهای اشاره شده در استانداردهای UIC و DIN EN استخراج گردیده و سپس سازه فلزی دستگاه که توانایی اعمال نیروها و تحمل عکس العمل ها را داشته باشد طراحی گردد، سپس سیستم هیدرولیک که توانایی اعمال بارهای مورد نیاز را داشته باشد در نهایت نیز سیستم جمع آوری داده های ارسالی از استرن گیج های نصب شده بر روی بدنه مورد تست و تبدیل آنها به تنش های ایجاد شده در آن نقاط انتخاب گردند.

۲. تست های بدنه واگن بر اساس استانداردهای UIC 566 و DIN EN 12663

طراحی بدنه فلزی واگنها به بارهای اعمالی بر بدنه و جنس موادی که بدنه از آنها ساخته می شود، 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 واگن ها می باشد.

استانداردهای DIN EN 12663 و UIC 566 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. اما در هر دو استاندارد تست استاتیک بدنه واگن به صورت دقیقتری بیان گردیده است.

تفاوت های این دو استاندارد:

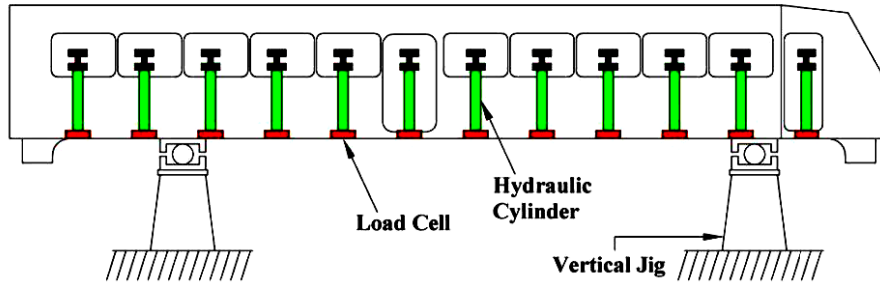
- در استاندارد UIC 566 جزئیات بیشتری در خصوص تست اجزاء واگن شامل صندلی ها، درب ها، محل قرارگیری بار مسافران، کوپلر و پنجره ها بیان شده است.
 - در استاندارد DIN EN 12663 نیرو هایی که در تست استاتیک باید اعمال گردند بر اساس نوع واگن مسافری و باری به تفکیک بیان گردیده است در صورتیکه در استاندارد UIC 566 این موضوع به صورت کلی بیان گردیده است.
 - در استاندارد DIN EN 12663 و در بخش تست بار عمودی، وزن بدنه واگن به علاوه وزن مسافران به عنوان بار عمودی در نظر گرفته می شود در صورتیکه در استاندارد UIC 566 فقط وزن مسافران به عنوان نیروی عمودی در نظر گرفته می شود که از این نظر استاندارد DIN EN 12663 ضریب ایمنی بالاتری را ارائه می دهد.
 - در استاندارد UIC 566 تست شبیه سازی برخورد دو واگن به هنگام کوپل شدن به صورت کامل توضیح داده شده است در صورتیکه در استاندارد DIN EN 12663 به این موضوع اشاره ای نگردیده است.
- علی رغم تفاوت های موجود بین این دو استاندارد، دستگاه تست استاتیک استراکچر بدنه بر اساس توانایی اعمال حداکثر نیروها طراحی گردیده است. به همین دلیل در ادامه، تست های مورد نیاز این دو استاندارد که دستگاه طراحی شده قادر به انجام آنها می باشد بیان گردیده است.
- بر اساس این استانداردها، بدنه فلزی واگن باید تستهای زیر را با موفقیت و بدون ایجاد تغییر شکل دائمی یا شکست، پشت سر بگذارد.

در این تستها، پارامترهای مربوط به وزن اجسام مطابق جدول زیر می باشد [1] و [2].

m_1 :	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.
m_2 :	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
m_3 :	وزن یک بوژی کامل با کلیه متعلقات آن

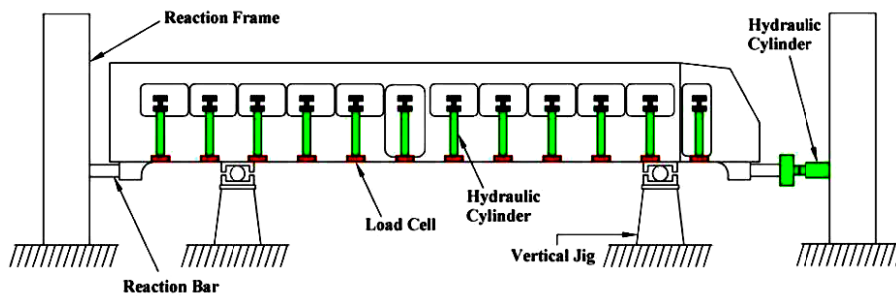
۲.۱. تست بار عمودی

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 $1.3g(m_1+m_2)$ بصورت گسترده بر کف واگن اعمال می شود. بمنظور اعمال نیرو می توان از یکسری سیلندرهای هیدرولیکی یا وزنه استفاده نمود [1].



۲.۲. تست بار فشاری در ناحیه کوپلر

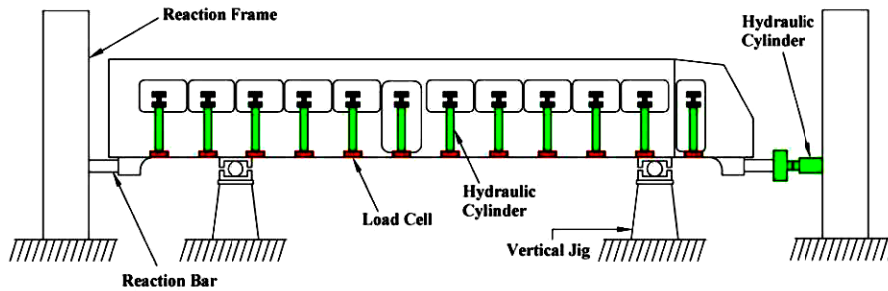
این تست به منظور شبیه سازی و ارزیابی توانایی تحمل نیروهای عمل و عکس العمل بین واگن ها در ناحیه کوپلر انجام می پذیرد. مطابق شکل زیر واگن بر روی چهار عدد جیگ عمودی در محل نشیمنگاه بدنه بر روی بوژی (جاییکه وزن بدنه به بوژی منتقل می شود) قرار گرفته و فریم های اعمال بار در دو انتهای بدنه مستقر می شوند. یکی 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 $1.3g(m_1+m_2)$ 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. حداقل مقدار نیروی فشاری 2000KN می باشد [1].



۲.۳. تست بار کششی 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 $1.3g(m_1+m_2)$ اعمال شده و سپس نیروی کششی 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.

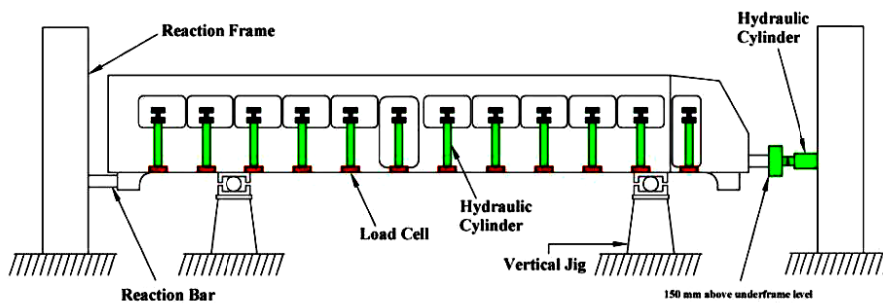
حداقل مقدار نیروی کششی 1500KN می باشد [1].



۲.۴. تست بار فشاری در ناحیه ۱۵۰ میلیمتر بالاتر از سطح شاسی

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 سیلندره های هیدرولیکی و لودسل جهت اعمال نیرو بوده و فریم دیگر نیروی عکس العمل را اعمال می کند. در این تست ابتدا نیروی عمودی $1.3g(m_1+m_2)$ اعمال شده و سپس نیروی فشاری در محل ۱۵۰ میلیمتر بالاتر از سطح شاسی، بصورت تدریجی اعمال می شود. در این تست نیروی عکس العمل باید در محل نصب کوپلر در انتهای دیگر بدنه اعمال گردد.

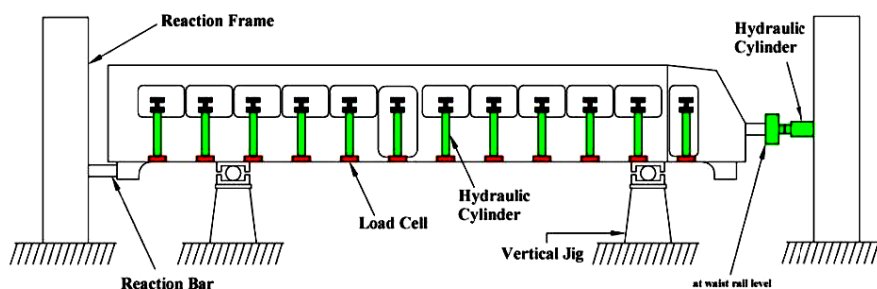
حداقل مقدار این نیرو 400KN می باشد [1].



۲.۵. تست بار فشاری در سطح Waist Rail

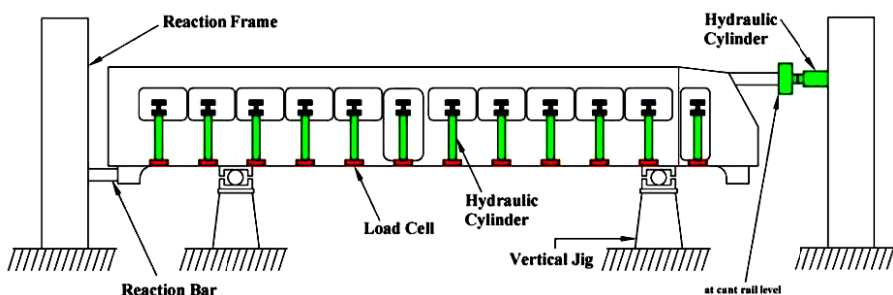
مطابق شکل زیر واگن بر روی چهار عدد جیگ عمودی در محل نشیمنگاه بدنه بر روی بوژی (جاییکه وزن بدنه به بوژی منتقل می شود) قرار گرفته و فریم های اعمال بار در دو انتهای بدنه مستقر می شوند. یکی از این فریم ها دارای سیلندره های هیدرولیکی و لودسل جهت اعمال نیرو بوده و فریم دیگر نیروی عکس العمل را اعمال می کند. در این تست ابتدا نیروی عمودی $1.3g(m_1+m_2)$ اعمال شده و سپس نیروی فشاری در سطح Waist Rail، بصورت تدریجی اعمال می شود. در این تست نیروی عکس العمل باید در محل نصب کوپلر در انتهای دیگر بدنه اعمال گردد.

حداقل مقدار این نیرو 300KN می باشد [1].



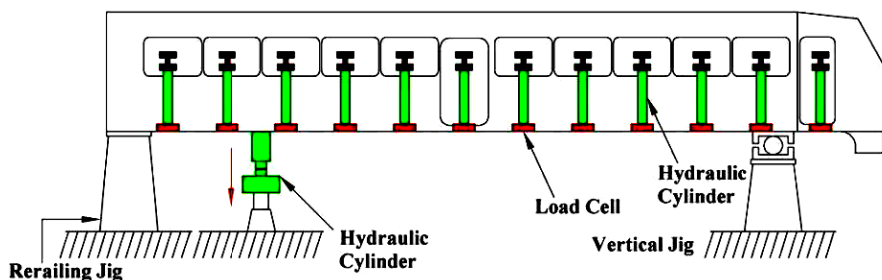
۲.۶. تست بار فشاری در سطح Cant Rail

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 سیلندرهای هیدرولیکی و لودسل جهت اعمال نیرو بوده و فریم دیگر نیروی عکس العمل را اعمال می کند. در این تست ابتدا نیروی عمودی $1.3g(m_1+m_2)$ اعمال شده و سپس نیروی فشاری در سطح Cant Rail، بصورت تدریجی اعمال می شود. در این تست نیروی عکس العمل باید در محل نصب کوپلر در انتهای دیگر بدنه اعمال گردد. حداقل مقدار این نیرو 300KN می باشد [1].



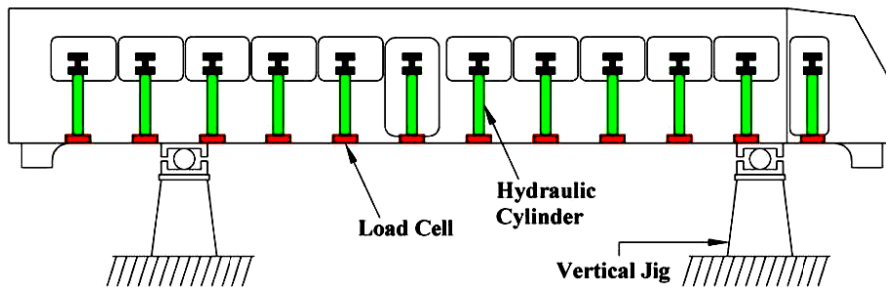
۲.۷. تست بار Re-railing

این تست به منظور شبیه سازی نیرو های اعمال شده به بدنه هنگام بازگرداندن شدن 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 m_1g بصورت گسترده بر کف واگن اعمال شده و سپس نیروی وزن بوژی برابر با m_3g در محل اتصال بوژی به بدنه توسط سیلندر هیدرولیکی اعمال می گردد [1].



۲.۸. تست بار خستگی عمودی

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 $0.8g(m_1+m_2)$ بصورت گسترده بر کف واگن اعمال شده و اندازه گیری لازم انجام می شود. سپس این بار به مقدار $1.2g(m_1+m_2)$ افزایش یافته و مجدداً اندازه گیری های لازم انجام می گیرد [1]. در این تست نیز بمنظور اعمال نیرو، می توان از یکسری سیلندرهای هیدرولیکی یا وزنه استفاده نمود.



در کلیه تستها، استرین گیج ها در نقاط از پیش تعیین شده و بحرانی نصب می گردند و پس از اعمال بار میزان کرنش ها توسط دستگاه داده برداری، جمع آوری شده و در محاسبه تنش ها بکار می روند.

۳. مشخصات کلی دستگاه تست استاتیک بدنه واگن

۳.۱. سازه فلزی

- 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 شده و در انبار نگهداری شود.
- دستگاه باید دارای دو فریم برای اعمال نیروی افقی به واگن باشد.
- فریم دستگاه بایستی به اندازه ای مستحکم باشد که در حین اعمال نیرو، تغییر شکل آن نسبت به تغییر شکل بدنه واگن ناچیز باشد.
- فریم حاوی سیلندر هیدرولیکی، قابلیت جابجایی داشته باشد تا تست انواع واگن ها با طولهای متفاوت از ۱۰ متر الی ۳۰ متر امکانپذیر باشد.
- ارتفاع فریم ها به اندازه ای باشد که تست واگن های دو طبقه نیز امکانپذیر باشد.
- سیلندرهای اعمال نیروی نصب شده بر روی فریم، قابلیت حرکت عمودی و افقی را داشته باشند تا اعمال نیرو در ارتفاعها و نقاط مختلف واگن امکانپذیر باشد.
- در دستگاه، جیگهای لازم با اتصالات مربوطه جهت بارگذاری در نظر گرفته شود.

۳.۲. سیستم هیدرولیک

- ظرفیت و تعداد سیلندرهاى هیدرولیک مورد نیاز مطابق جدول زیر می باشد.

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

- تمامی سیلندرها باید مجهز به لودسل الکترونیکی برای بارهای مشخص شده در جدول فوق باشند.
- نیروی تمامی سیلندرها باید قابل تنظیم و کنترل بوده و امکان داده برداری و ثبت نیروها وجود داشته باشد.
- نیروی اعمالی توسط سیلندرها باید کاملاً یکنواخت و بدون هیچگونه اغتشاشی در طول مدت زمان اعمال نیرو، به قطعه وارد گردد.
- تمامی سیلندرهاى دستگاه تست پس از پایان یافتن عملیات تست از روی دستگاه جدا شده و تا زمان تست بعد در انبار نگهداری خواهند گردید، لذا تمامی تجهیزات از جمله پاور یونیت و سیلندرها باید مجهز به اتصالات هیدرولیک سریع بوده و سیستم باید بگونه‌ای طراحی و ساخته شود که از نفوذ مواد خارجی و رطوبت به تجهیزات سیستم هیدرولیک جلوگیری شده و همچنین سیستم هیچگونه نشت روغن نداشته باشد.
- سیستم پاور یونیت باید یک واحد مستقل و قابل حمل باشد، لذا دستگاه باید کمترین حجم و وزن ممکن را داشته باشد.
- سیستم پاور یونیت باید با توجه به شرایط اقلیمی محل نصب، در صورت لزوم مجهز به کولر و هیتر الکتریکی اتوماتیک باشد به نحوی که دمای روغن هیدرولیک به صورت اتوماتیک کنترل شده و در موقع لزوم هیتر و یا کولر وارد مدار گردند.
- سیستم کنترل پاور یونیت باید قابلیت تنظیم فشار و نیرو برای هر سیلندر را به صورت مستقل داشته باشد و امکان داده برداری از فشارها و نیروهای وارده نیز برای تمامی سیلندرها وجود داشته باشد.
- پاور یونیت باید مجهز به تجهیزات ایمنی، هشداردهنده و نمایشگرهای عملکرد تجهیزات نظیر نمایشگر سطح، دما و فشار روغن، گرفتگی فیلتر و سایر آیتم‌های حیاتی باشد.

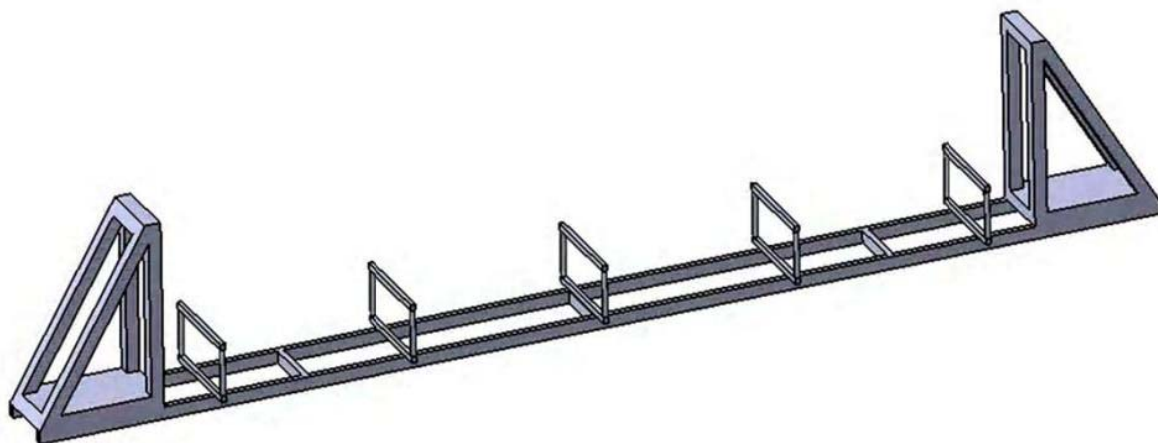
۳.۳. سیستم جمع آوری داده ها

قبل از انجام تست استاتیک بدنه، بایستی آنالیز تحلیل تنش کامپیوتری بر روی مدل سه بعدی واگن انجام شده و نقاط بحرانی آن شناسایی شود. در حین تست، تعدادی Strain guage در نقاط بحرانی نصب شده و تغییر طولها در آن نواحی اندازه گیری می شوند که برای محاسبه تنش در آن نقاط بکار می روند. جهت خواندن، ذخیره در یک حافظه داخلی و انتقال این اطلاعات به کامپیوتر از دیتالاگر که در واقع یک سیستم جمع آوری داده می باشد، استفاده خواهد شد.

۴. طراحی سازه فلزی دستگاه تست استاتیک

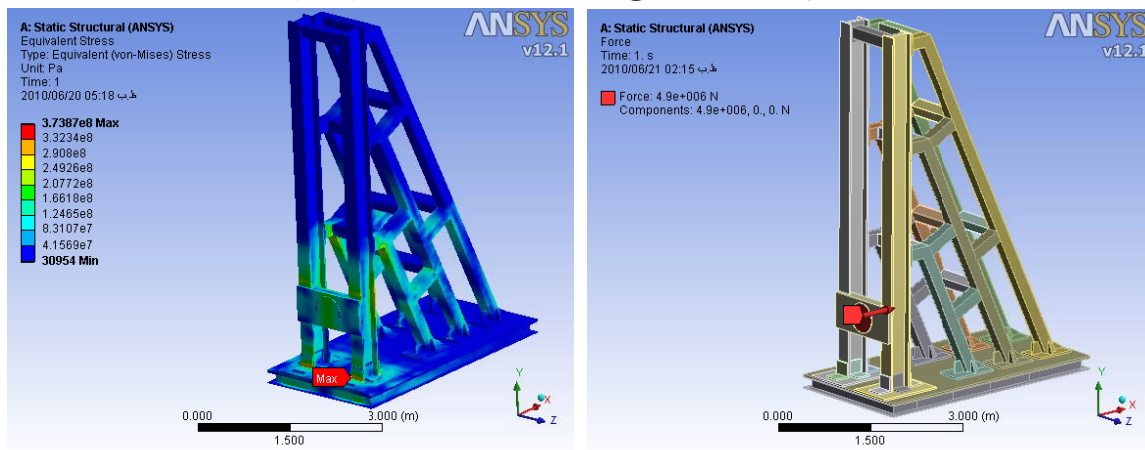
با توجه به نکاتی که در مورد مشخصات دستگاه تست استاتیک بدنه واگن ذکر شد، سازه دستگاه مورد نظر باید دارای قسمتهای زیر باشد:

- یک سازه فلزی مستحکم که با قرار گرفتن بر روی زمین نقش فونداسیون را برای دستگاه داشته باشد.
- دو سازه فلزی مستحکم که در دو انتهای سازه فوق، نصب شده و نقش فریم های اعمال نیروی افقی را برای دستگاه داشته باشد.
- مجموعه ای از تیرها جهت ساپورت کردن سیلندرهاى اعمال نیروی عمودی بر کف واگن با در نظر گرفتن موارد فوق شکل شماتیک زیر برای طراحی دستگاه در نظر گرفته شد.



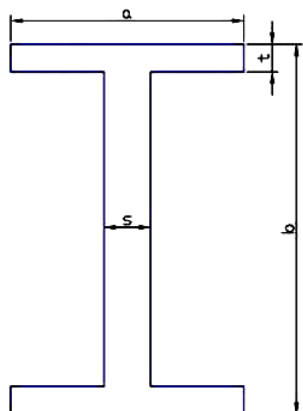
در طراحی این سازه دو عامل مهم در نظر گرفته شده است. اول اینکه تنش ایجاد شده در سازه با ضریب اطمینان ۱.۳ از تنش تسلیم فولاد انتخابی (St52 با تنش تسلیم 345MPa) کمتر باشد. دوم اینکه حداقل تغییر شکل در آن ایجاد گردد.

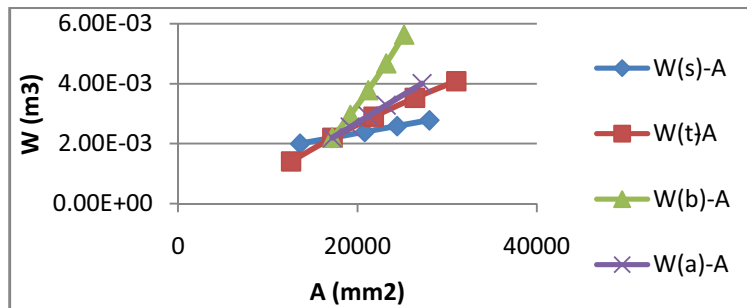
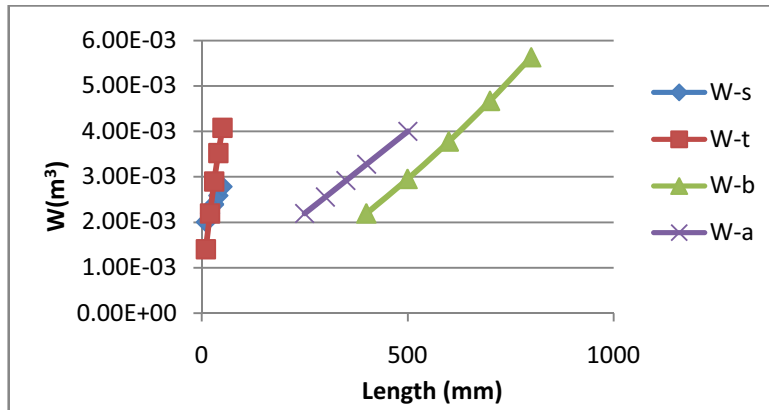
در شکل زیر تحلیل نمونه ای از فریم اعمال نیروی افقی تحت نیروی فشاری ۵۰۰ تن نشان داده شده است.



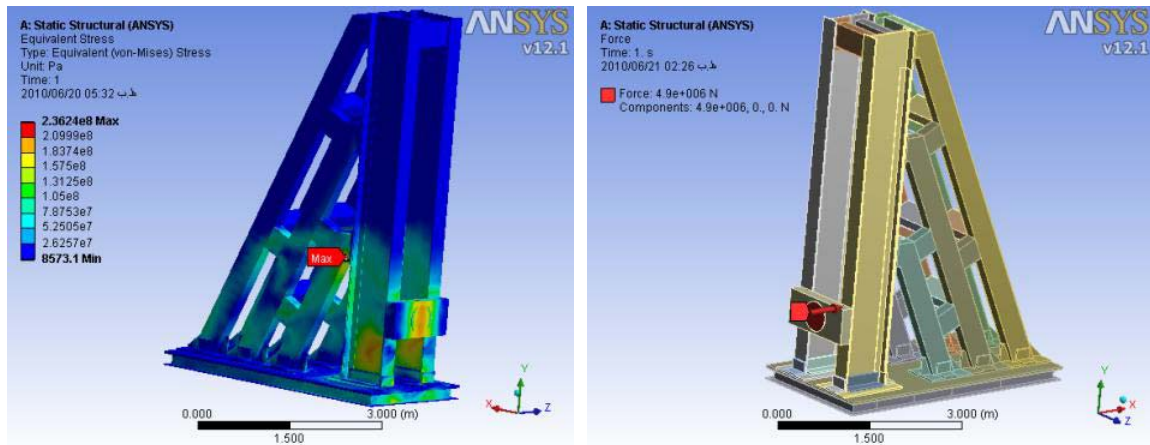
جهت بهینه سازی مقطع پروفیل های بکار رفته در سازه، به منظور کاهش تنش ایجاد شده و تغییر شکل، سعی شده است که مدول سطحی مقطع افزایش یابد.

با فرض اینکه مقطع یکی از تیرهای اصلی تحمل کننده نیروی فشاری به شکل مقابل باشد، در نمودار های زیر تاثیر پارامترهای طولی مقطع و سطح مقطع بر مدول سطحی پروفیل نشان داده شده است.





چنانچه در نمودارهای فوق الذکر ملاحظه می شود با افزایش هر کدام از پارامترهای a , b , t , s مقدار مدول سطحی (و همچنین سطح مقطع که رابطه مستقیمی با وزن واحد طول پروفیل دارد) افزایش می یابد. بنابراین باید پارامتری افزایش یابد که نسبت افزایش مدول سطحی به سطح مقطع، بیشتر باشد که با توجه به نمودار فوق، آن پارامتر b می باشد. شکل بهینه یافته سازه فوق و نتایج آنالیز FEA آن در زیر آورده شده است.



در تصاویر زیر نیز نمای کلی فریم دستگاه تست به همراه بارهای اعمال شده و تنش های حاصل Von-Mises نشان داده شده است که به روش المان محدود محاسبه گردیده است.

A: Static Structural (ANSYS)

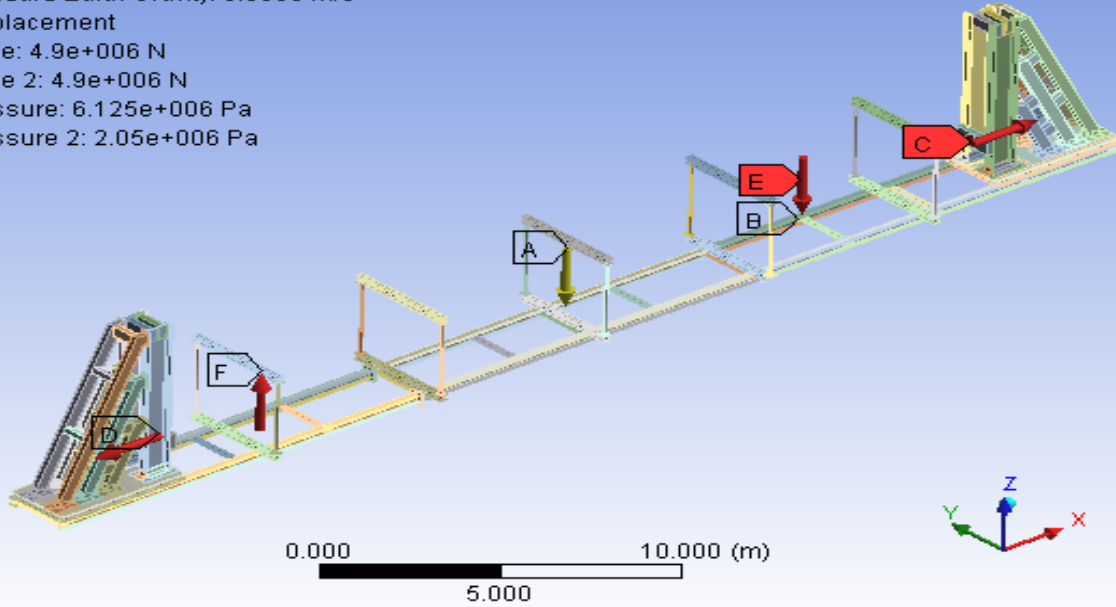
Static Structural

Time: 1. s

2010/06/29 09:22 طق

ANSYS
v12.1

- A** Standard Earth Gravity: 9.8066 m/s²
- B** Displacement
- C** Force: 4.9e+006 N
- D** Force 2: 4.9e+006 N
- E** Pressure: 6.125e+006 Pa
- F** Pressure 2: 2.05e+006 Pa



A: Static Structural (ANSYS)

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

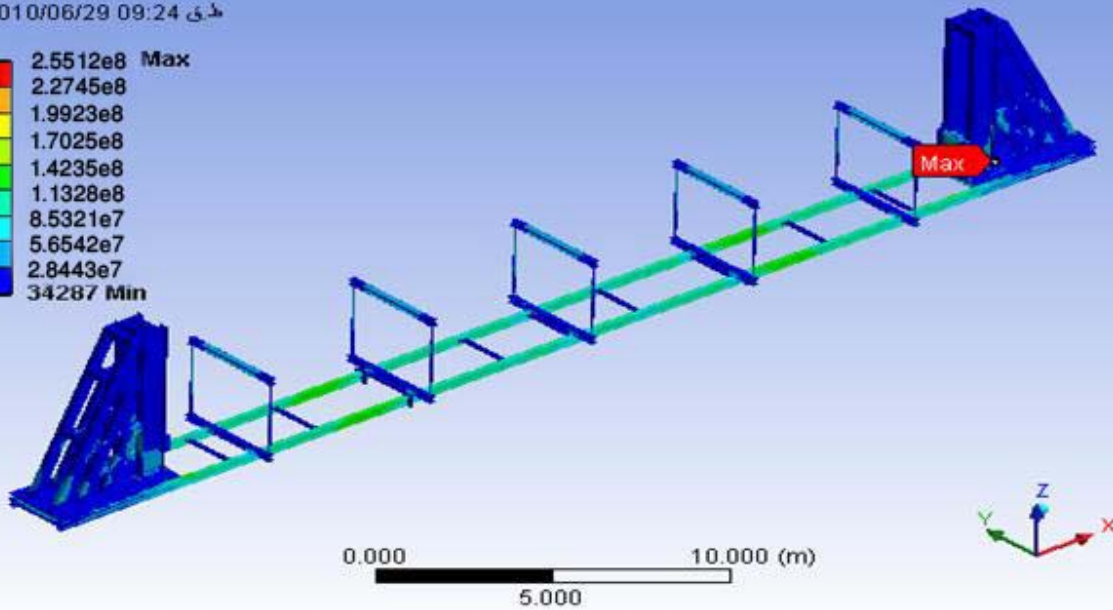
Unit: Pa

Time: 1

2010/06/29 09:24 طق

ANSYS
v12.1

- 2.5512e8 Max
- 2.2745e8
- 1.9923e8
- 1.7025e8
- 1.4235e8
- 1.1328e8
- 8.5321e7
- 5.6542e7
- 2.8443e7
- 34287 Min



۵. نتیجه گیری

با توجه به استراتژی و اهداف شرکت صنایع ریلی ایران خودرو برای تبدیل شدن به قطب صنعتی ساخت انواع محصولات ریلی در کشور و منطقه و عزم این شرکت برای طراحی و ساخت واگن ملی با تکیه بر دانش و توانایی متخصصین این شرکت و بومی نمودن تکنولوژی های مرتبط، شرکت ایریکو تجهیز خود را به انواع تکنولوژی ها، دانش روز و تجهیزات پیشرفته در سرلوحه فعالیت های خود قرار داده است. در این راستا و با توجه به لزوم انجام تست های مختلف بر روی اولین واگن ساخته شده از هر نوع که تست بارگذاری استاتیک یکی از مهمترین آنها می باشد و همچنین به منظور جلوگیری از خروج این واگن از کشور برای انجام این تست که مستلزم هزینه بسیار بالایی می باشد، پروژه طراحی و ساخت دستگاه تست بدنه واگن در شرکت ایریکو با تکیه بر دانش متخصصین این شرکت آغاز گردیده و در حال حاضر طراحی بدنه آن در حال اتمام می باشد.

۶. مراجع

- [1]. *Loadings of coach bodies and their components* ", UIC, 566 OR, 190 , France.
- [2]. "*Structural requirements of railway vehicle bodies*", DIN EN, 12663, 2000, Germany.