

طراحی، محاسبه و تحلیل سازه‌ای استند تست استاتیک واگن‌های باری

نام محور مقاله: طراحی عمومی ناوگان ریلی

یعقوب محمدی^۱

نادر شکوهی^۲

چکیده

این مقاله شامل تشریحی از مراحل قدم به قدم فعالیت‌های صورت پذیرفته در خصوص طراحی، محاسبه، مدل سازی و تحلیل‌های المان محدود سازه تست واگن‌های باری می‌باشد. با توجه به الزامات، استانداردها و آیین‌نامه‌ها در خصوص تست‌های نمونه و روتین، طرح پیشرو جهت ساخت یک دستگاه سازه تست سبک و ارزان قیمت به منظور انجام تست‌های استاتیک واگن باری ارائه گردیده است. بنابراین تلاش گردیده است تا در طراحی این سازه، ضمن بهینه بودن جرم سازه، از تنوع مواد اولیه، قطعات و اتصالات تا حد امکان کاسته گردد تا زمان ساخت، پیچیدگی ساخت و امکان اشتباه‌های ساختی به حداقل برسد. با توجه به ابعاد متنوع انواع واگن‌های باری یک تیپ از واگن‌های باری لبه بلند به عنوان الگو در نظر گرفته شده است و طراحی اولیه بر اساس آن انجام پذیرفته است، با این حال برای واگن‌های با طول‌های کوچکتر یا بزرگتر می‌توان با ماژولار کردن تیرهای طولی به ابعاد مورد نیاز برای انجام تست استاتیک برای انواع واگن دیگر نیز دست پیدا کرد. در مدل‌سازی این سازه از نرم افزار CATIA V5R20 64 bit و برای تحلیل‌های استاتیکی نیز از نرم افزار ANSYS 13 Workbench 64 bit استفاده گردیده است.

کلمات کلیدی

تست استاتیک بدنه واگن، EN12663-1,2-2010، UIC 566، UIC 577، ERRI B12/RP17، ERRI B12/RP60، JIS E 7105-2006

۱- مقدمه

با توجه به مزایای بدون تردید سیستم حمل‌ونقل ریلی نسبت به سایر روش‌های حمل و نقل، تمرکز سیاست‌های کلی تمامی کشورهای جهان بر استفاده و توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی می‌باشد. جهت‌گیری برنامه‌های توسعه کشور، بالاخص برنامه چهارم و پنجم توسعه بر گسترش شبکه ریلی و فراهم نمودن زمینه‌های جایگزینی آن با حمل‌ونقل جاده‌ای تاکید بسزایی دارد. همچنین با توجه به توسعه روز افزون خطوط ریلی کشور از جمله مترو شهرهای بزرگ، نیاز به ناوگان ریلی رو به فزونی می‌باشد. بعلاوه با توجه به بومی نبودن دانش طراحی و ساخت وسایل نقلیه ریلی در شرکت‌های سازنده داخلی، معمولاً ناوگان ریلی در شرکت‌های خارجی طراحی، نمونه سازی شده و تست‌های مربوطه بر روی آن انجام می‌پذیرد و پس از تایید طرح واگن در شرکت‌های داخلی تولید می‌گردد که این امر باعث تحمیل هزینه‌های بسیار سنگین تست توسط مراکز تست خارجی می‌شود. به این لحاظ شاید بتوان گفت در پروژه‌های ریلی که تا کنون در کشور کلید خورده است تمامی تست‌ها در خارج از

۱ 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

۲ مدیر تحقیق و توسعه و مهندسی تولید - شرکت توسعه صنایع ریلی ایرانیان (ایریکو) - آدرس: تهران، فلکه دوم صادقیه، خیابان آیت ... کاشانی، پلاک ۹۱ - تلفن: ۰۲۱-۴۴۰۳۳۶۷۷ پست الکترونیکی: shokouhi@iri.co.ir

کشور صورت پذیرفته است و در صورت عدم وجود یک مرکز تست مدرن ریلی در داخل کشور این امر ادامه پیدا کرده و سرمایه‌های ملی از کشور خارج خواهد گردید.

۲- استانداردهای طراحی و تست وسایل نقلیه ریلی

بدنه وسایل نقلیه ریلی بر اساس استانداردهای DIN EN 12663، UIC 566، JIS E 7105، و در گذشته مطابق آیین نامه‌های ERRI B12/RP17 مورد تست‌های استاتیک قرار می‌گیرند. علی‌رغم اختلافات جزئی، این استانداردها از نظر کلیات در بسیاری از زمینه‌ها به هم نزدیک می‌باشند. با این حال با توجه به جامعیت و به روز بودن استاندارد DIN EN 12663 این استاندارد عمومیت بیشتری داشته و آخرین نسخه آن در سال ۲۰۱۰ برای انواع واگن‌های باری و مسافری ارائه گردیده است. به همین لحاظ طراحی سازه استند تست نیز بر اساس این استاندارد و با قابلیت توانایی انجام سایر استانداردها انجام پذیرفته است. بر اساس این استاندارد سناریوهای بارگذاری متعددی نظیر فشاری و کششی در ناحیه کوپلر، فشاری در ناحیه تامپون، بارگذاری افقی در ارتفاع‌های مختلف واگن، بارهای عمودی، بارهای بلند کردن واگن از یک و دو طرف و بارگذاری پیچشی برای واگنهای مختلف به تفصیل انجام شده که برخی از نتایج آنالیزهای المان محدود در این مقاله ارائه گردیده است.

۳- مشخصات کلی واگن باری لبه بلند

جدول شماره ۱- مشخصات ابعادی کلی واگن باری لبه بلند

13,280 mm	طول شاسی	1
14,240 mm	طول واگن، کوپلر به کوپلر	2
2,950 mm	عرض بدنه	3
9,000	فاصله بین مراکز بالسترها	4
1,040	ارتفاع کوپلر	5
1,060	ارتفاع تامپون	6

جدول شماره ۲- مشخصات وزنی کلی واگن باری لبه بلند

13 Ton	وزن بدنه	1
4.8 Ton	وزن هر بوژی	2
67.5 Ton	وزن بارگیری	3

۴- بارگذاری‌های واگن باری

بر اساس جدیدترین نسخه استاندارد DIN EN 12663-2 بارگذاری‌های استاتیک زیر باید بر روی واگن اعمال گردد.

- 1- بارگذاری فشاری در ناحیه کوپلر: در این بارگذاری شاسی روی تکیه‌گاه‌های خود نظیر آنچه در واقعیت وجود دارد قرار داده شده و تنها، نیرویی به اندازه ۲۰۰ تن در ناحیه کوپلر به بدنه اعمال می‌گردد.
- 2- بارگذاری فشاری در ناحیه تامپون‌ها: در این بارگذاری شاسی روی تکیه‌گاه‌های خود نظیر آنچه در واقعیت وجود دارد قرار داده شده و تنها، دو نیروی ۱۰۰ تن فشاری بر روی تکیه‌گاه هر تامپون اعمال می‌گردد.
- 3- بارگذاری فشاری در ناحیه ۵۰ میلیمتر پایین‌تر از کوپلر: این بارگذاری نظیر بارگذاری حالت ۱ بوده و فقط نیرو ۵۰ میلیمتر پایین‌تر اعمال می‌گردد.

- 4- بارگذاری فشاری در ناحیه ۵۰ میلیمتر
پایین تر از تامپون‌ها:
پایین تر اعمال می‌گردد.
- 5- نیروی فشاری قطری روی تامپون و
کوپلر طرف مقابل:
در این بارگذاری یک نیروی ۴۰ تن در ناحیه تامپون در یک طرف واگن اعمال شده و در سمت دیگر آن، محل اتصال کوپلر به عنوان تکیه گاه در نظر گرفته می‌شود.
- 6- نیروی فشاری قطری روی تامپون‌ها:
در این بارگذاری یک نیروی ۴۰ تن در ناحیه تامپون در یک طرف واگن اعمال شده و در سمت دیگر آن، محل اتصال تامپون به صورت قطری به عنوان تکیه‌گاه در نظر گرفته می‌شود.
- 7- نیروی کششی در ناحیه کوپلر:
در این بارگذاری نیروی ۱۵۰ تن کششی در ناحیه کوپلر اعمال می‌گردد.
- 8- بار عمودی حداکثر:
در این بارگذاری نیرویی به میزان $1.3*(m1+m3)*g$ به کف شاسی اعمال می‌گردد.
- 9- بارگذاری بلند کردن واگن از یک طرف:
در این بارگذاری نیروی عمودی $1.0*(m1+m2+m3)*g$ به کف شاسی اعمال شده و شاسی در یک سمت از ناحیه Lifting pad بلند می‌شود.
- 10- بارگذاری بلند کردن واگن از دو طرف:
در این بارگذاری نیروی عمودی $1.0*(m1+m2+m3)*g$ به کف شاسی اعمال شده و شاسی از دو سمت از ناحیه Lifting pad بلند می‌شود.
- 11- بارگذاری ترکیبی نیروی فشاری و بار عمودی:
در این بارگذاری، حالت‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به همراه بار عمودی به میزان $(m1+m3)*g$ به واگن اعمال می‌گردد.
- 12- بارگذاری ترکیبی نیروی فشاری و حداقل بار عمودی:
در این بارگذاری، حالت‌های ۱ و ۲ به همراه نیروی عمودی به میزان $g*m1$ به واگن اعمال می‌گردد.
- 13- بارگذاری ترکیبی نیروی کششی و بار عمودی:
در این بارگذاری، حالت حال ۷ به همراه نیروی عمودی به میزان $(m1+m3)*g$ به واگن اعمال می‌گردد.
- 14- بارگذاری ترکیبی نیروی کشش و حداقل بار عمودی:
در این بارگذاری، حالت ۷ به همراه نیروی عمودی $g*m1$ به واگن اعمال می‌گردد.

* m1: وزن واگن آماده به کار بدون در نظر گرفتن وزن بوژی

m2: وزن یک بوژی به همراه وزن متعلقات آن نظیر سیستم تعلیق ثانویه

m3: وزن نرمال بارگیری

۵- طراحی اولیه

بر اساس آنچه در بخش قبل در خصوص بارگذاری‌ها ارائه گردید، طرح‌های اولیه متعددی ارائه و مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس الزامات تست، سازه استند می‌بایست خصوصیات زیر را دارا باشد:

الف) مجهز به فک‌هایی برای قرارگیری سیلندرهای هیدرولیک ۲۰۰ تن و ۱۰۰ تن باشد.

ب) با توجه به عدم نیاز به فونداسیون بسیار مستحکم طرح باید به گونه‌ای باشد که همه نیروهای موجود در استند به صورت نیروی داخلی در آمده و از هر گونه اعمال بار اضافی غیر از وزن دستگاه به زمین خودداری گردد.

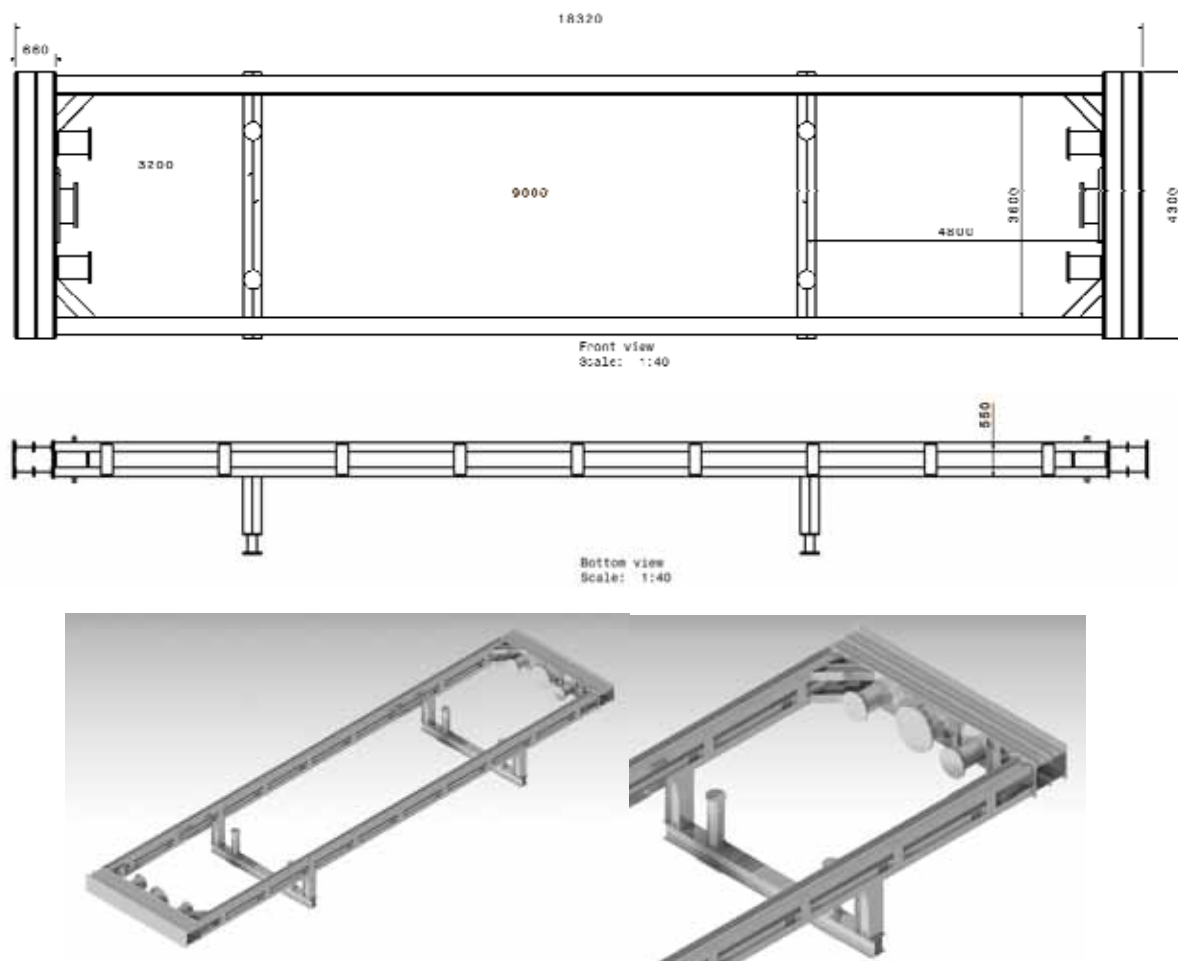
یکی از طرح‌های اولیه، به کارگیری یک حلقه بسته فولادی برای اعمال نیرو به شاسی است. در این طرح به منظور کاهش هزینه‌ها و زمان ساخت دستگاه از پروفیل‌های استاندارد استفاده گردیده است که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد. یکی دیگر از این طرح‌ها ساخت یک فونداسیون برای نصب سیلندرها و بارگذاری شاسی که به لحاظ هزینه، زمان ساخت و عدم امکان جابجایی نسبت به طرح اول از اولویت کمتری برخوردار می‌باشد.

۶- محاسبات طراحی و انتخاب مقاطع سازه و بهینه سازی آن

در طراحی مفهومی سعی بر آن است تا با بررسی نیازها، الزامات و محدودیت‌ها، شماتیکی از سازه و زیرسازه‌های اصلی آن استخراج شده و ابعاد کلی تعیین گردد. لذا بر پایه استفاده از پروفیل‌های استاندارد موجود در بازار ایران محاسبات مختلفی برای دستیابی به بهینه‌ترین پروفیل انجام پذیرفت. در فاز اول طراحی مشخصات ابعادی واگن، سیلندرها و ساپورت‌ها مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس آن ابعاد داخلی استند تست استخراج گردید. پس از این مرحله محاسبات لازم در خصوص تنش‌ها، میزان خیز و بار بحرانی کمانش بر روی طیف گسترده‌ای از مقاطع استاندارد موجود نظیر انواع تیپ‌های تیرآهن و قوطی انجام پذیرفت که نهایتاً منجر به انتخاب تیرهای مناسب برای مقاطع مختلف گردید.

۷- مشخصات سازه استند تست

بر اساس محاسبات و همچنین آنالیزهای المان محدود صورت پذیرفته بر روی طرح‌ها و مقاطع مختلف و همچنین بررسی در دسترس بودن مقاطع، نهایتاً طرح زیر با تیر آهن ساختمانی استاندارد ۳۰۰ بر اساس استاندارد DIN 1025-5 و جنس ST37 طراحی گردید که مقطع آن در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) طرح سازه موقت دستگاه تست

مشخصات کلی سازه تست استند

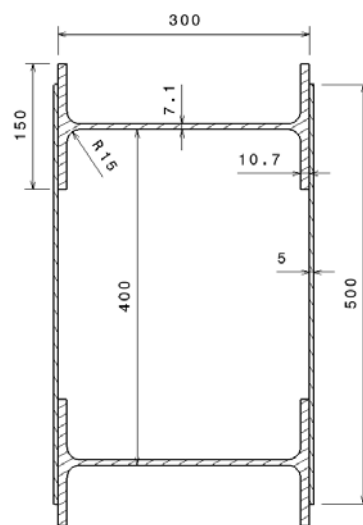
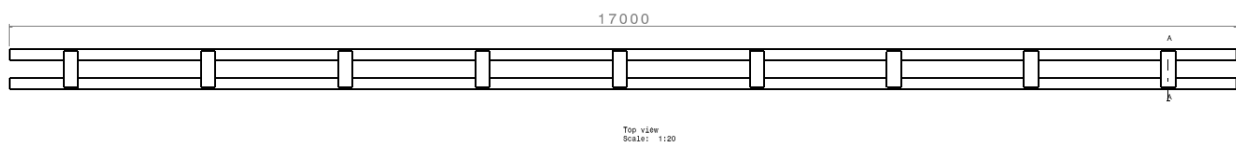
18,320 mm	طول کلی	1
4,300 mm	عرض کلی	2
10.745 Ton	وزن کلی	3

۸-مدل هندسی

بر اساس طراحی صورت پذیرفته، سازه استند تست شامل سه نیمه مجموعه اصلی می‌باشد. مدلسازی سازه تست استند توسط نرم افزار CATIA V5R20 انجام گردیده است. در تمامی مدل‌ها جهت X راستای طولی سازه، جهت Y راستای عرضی سازه و جهت Z نیز راستای ارتفاع سازه می‌باشد.

مجموعه تیرهای طولی

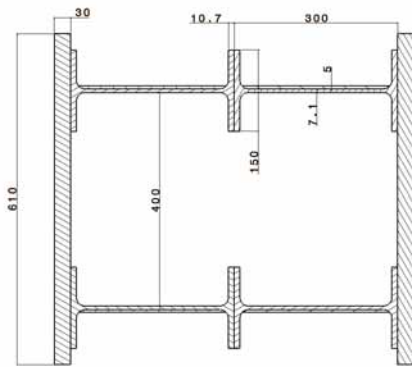
این مجموعه از دو تیر I 300 که در فواصل حدود دو متر توسط پلیت‌های فولادی با ضخامت ۵ میلیمتر از هر دو طرف به هم متصل شده‌اند تشکیل یافته که موقعیت قرارگیری آنها نسبت به هم به گونه ای است که دو تیر روی هم با فاصله جان ۴۰۰ میلیمتر قرار گرفته‌اند. طول این مجموعه‌ها ۱۷ متر و وزن هر کدام ۱.۶ تن می‌باشد که نقشه نمای مقابل و مقطع آن در شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه به طول بلند این تیر و نیروهای بزرگ اعمالی بر آن تمامی محاسبات بارگذاری‌های مختلف روی آن انجام گردیده و نهایتاً طراحی و انتخاب این پروفیل و فاصله بین آنها بر اساس بار بحرانی کم‌انرژی پذیرفته که نتایج آنالیز المان محدود نیز صحت طراحی را تایید می‌نماید. همچنین با توجه به احتمال بیشتر کم‌انرژی در راستای محور Z (محور عمودی) این تیرها توسط دو مجموعه تکیه‌گاهی مربوط به محل مراکز بوژی‌ها نیز مهار گردیده است.



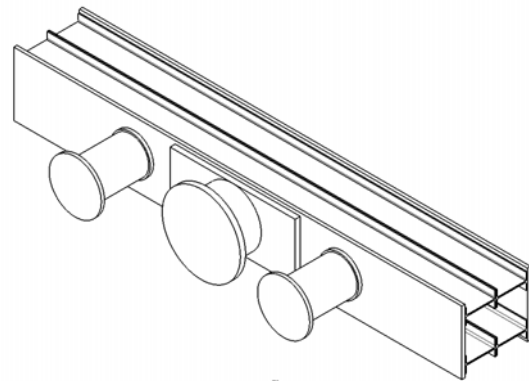
شکل (۲) برش تیرهای طولی

تیرهای عرضی

سازه تست از دو مجموعه تیرهای عرضی انتهایی تشکیل گردیده است. هر کدام از مجموعه تیرهای عرضی انتهایی متشکل از ۴ تیر I300، دو پلیت با ضخامت ۳۰ میلیمتر، ۴ پلیت با ضخامت ۵ میلیمتر و ۳ ساپورت سیلندر می‌باشد. طول کلی هر مجموعه ۴۳۰۰ میلیمتر، عرض آن ۱۲۲۰ میلیمتر (با احتساب ساپورت سیلندرها) و ارتفاع آن ۶۱۰ میلیمتر بوده و وزن کلی هر مجموعه حدود ۳ تن می‌باشد شکل (۳) نمایی از این تیر را نشان می‌دهد. در طراحی این تیر نیز تمامی مسائل نظیر تنش‌ها و خمش تیر در نظر گرفته شده و نتایج آنالیز المان محدود نیز صحت طراحی این بخش را نشان می‌دهد.



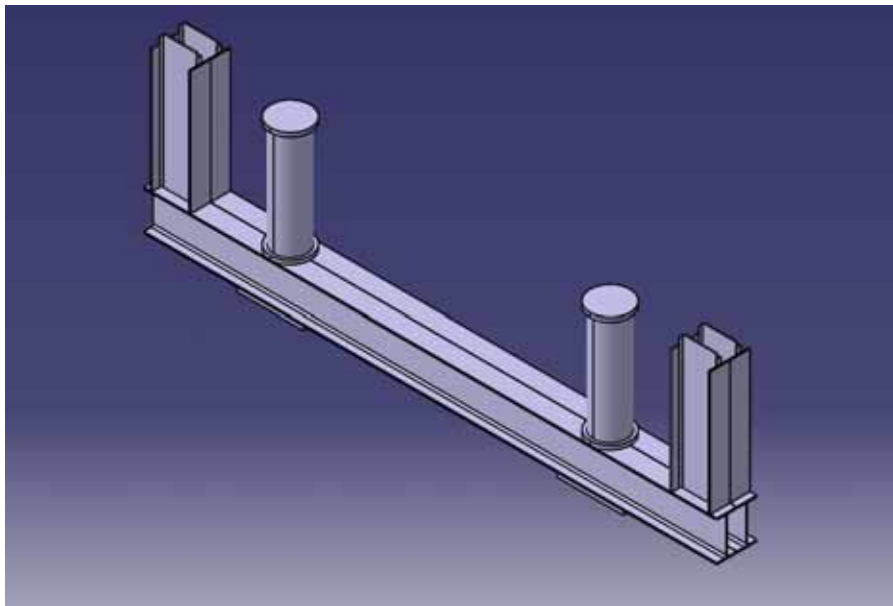
شکل (۴) برش مقطع تیرهای عرضی



شکل (۳) نمای تیرهای عرضی

ساپورت‌های زیرین

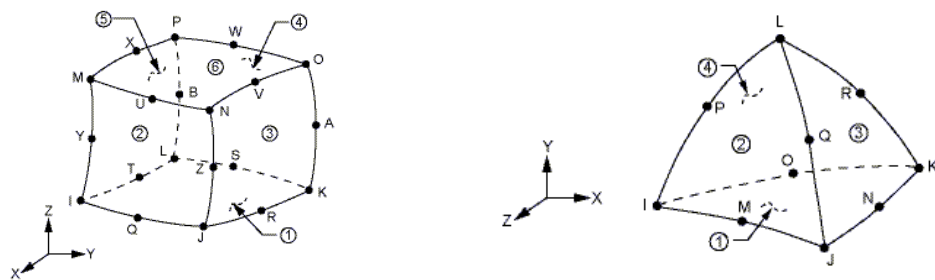
این بخش از سازه شامل دو مجموعه می‌باشد که در فواصل مشخصی به منظور فراهم نمودن تکیه گاهی مستحکم برای شاسی واگن و همچنین اعمال نیروهای عمودی و وزن خود استند تست، با قرار گیری بر روی ۴ تکیه گاه توانایی تراز نمودن سازه را نیز فراهم می‌نماید. هر یک از این مجموعه‌ها حدود ۸۰۰ کیلوگرم وزن داشته و از تیرهای I300 و لوله ساخته شده اند که نمایی از آن در شکل (۵) نشان داده شده است.



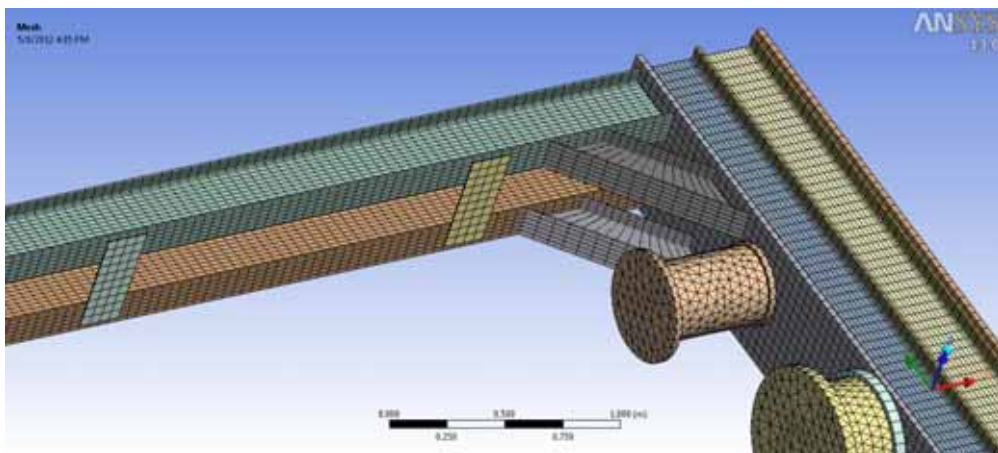
شکل (۵) نمای ساپورت‌های زیرین

۹-مدل المان محدود سازه تست

مدل المان محدود و فرآیند تولید مش توسط نرم افزار 64 bit ANSYS Workbench 13- انجام پذیرفته است که در این مدل از المان‌های Solid 186 (۲۰ گره ای ۶ وجهی مکعبی) و Solid 187 (۱۰ گره ای ۴ وجهی هرمی) Mechanical استفاده گردیده است. حداکثر اندازه هر المان 50mm و حداقل اندازه آن 5mm می‌باشد. در کل مدل دارای حدود 830,000 گره و 180,000 المان می‌باشد. شکل (۶) المان‌های مورد استفاده در این آنالیزها را به صورت شماتیک نشان داده و شکل (۷) نیز بخشی از مدل المان محدود سازه تست را نشان می‌دهد.



شکل (۶) المان‌های Solid 186 (۲۰ گره ای ۶ وجهی مکعبی) و Solid 187 (۱۰ گره ای ۴ وجهی هرمی)



شکل (۷) بخشی از مدل المان محدود سازه

۱۰- مدل فیزیکی سازه استند تست

بر اساس سناریوهای بارگذاری تعریف شده در بخش الزامات مهندسی، نیروها و تکیه‌گاه‌های مربوط به هر بارگذاری در طراحی و آنالیز المان محدود تعریف گردیده است که نمونه‌ای از آن در بخش‌های بعدی مقاله ارائه گردیده است.

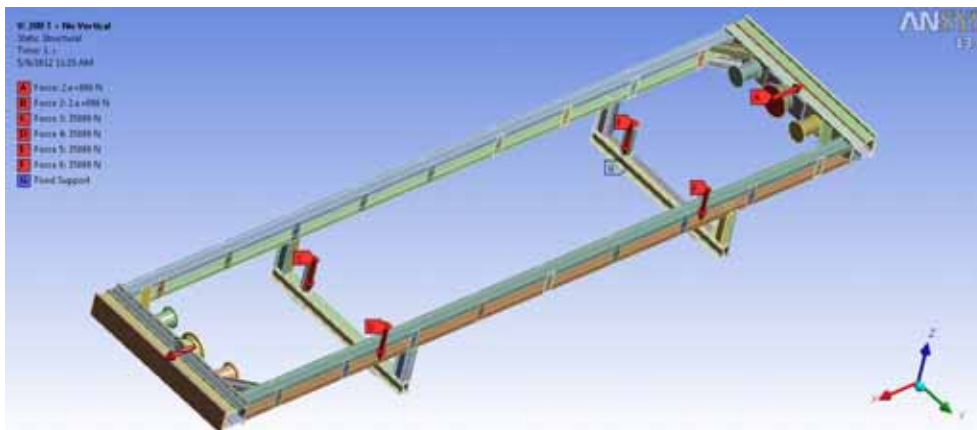
۱۱- نتایج بارگذاری‌ها

بر اساس آنچه در **Error! Reference source not found.** در خصوص سناریوهای بارگذاری ارائه گردید، نتایج بدست آمده با تحلیل‌های محاسباتی صورت پذیرفته مقایسه گردیده که در ذیل برخی از بارگذاری‌های بحرانی و نتایج تحلیل‌های المان محدود آنها ارائه گردیده است.

بارگذاری فشاری ۲۰۰ تن در ناحیه کوپلر

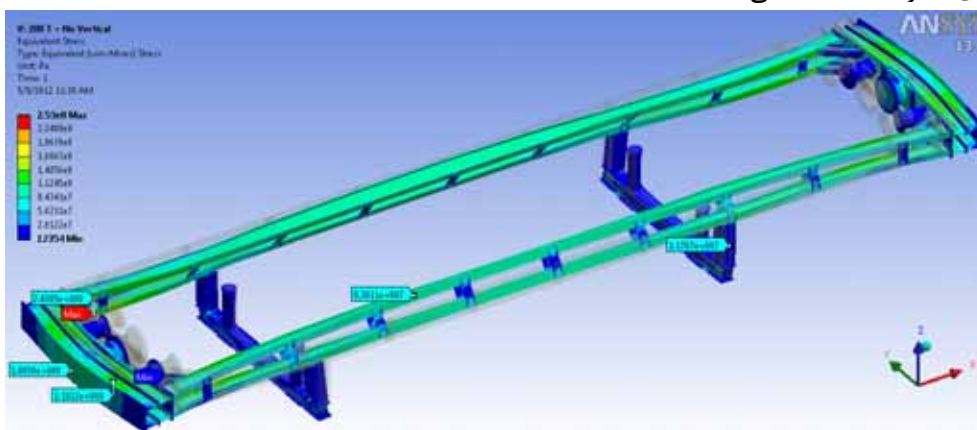
در این بارگذاری نیروی 2MN روی منطقه اتصال کوپلر اعمال شده و فقط نیروی وزن استراکچر به میزان ۱۳ تن بر روی چهار تکیه‌گاه Vertical jig اعمال گردیده است. همچنین در این بارگذاری با توجه به کم بودن نیروی اصطکاک درجه آزادی حرکت در راستای X و Y برای دو تکیه‌گاه یک سمت از سازه آزاد در نظر گرفته شده و باقی درجات آزادی تمامی چهار تکیه‌گاه محدود گردیده است که نتایج حاصل شده اختلاف زیادی با حالت مقید بودن تمامی درجات آزادی هر چهار تکیه‌گاه را نشان نمی‌دهد.

چنانچه در شکل (۸) می‌توان مشاهده نمود نیروهای ۲۰۰ تن در ناحیه کوپلر و چهار نیروی ۳.۵ تن معادل ۱۴ تن بر روی چهار تکیه‌گاه اعمال گردیده است. شکل (۹) و شکل (۱۰) نیز کانتور تنش و جابجایی سازه استند تست را در این بارگذاری نشان می‌دهد. چنانچه در این کانتور می‌توان مشاهده نمود تنش کلی در این بارگذاری حدود 100MPa بوده و حداکثر تنش نیز 180Mpa می‌باشد.

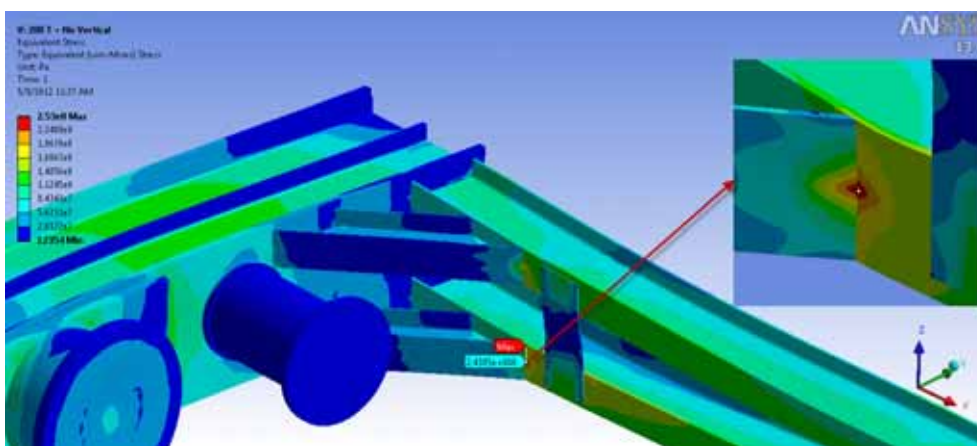


شکل (۸) بارگذاری ۲۰۰ تن فشاری در ناحیه کوپلر

چنانچه در شکل (۹) نیز می‌توان مشاهده نمود، تنش به صورت یکنواخت در بیشتر نقاط سازه به صورت یکنواخت به میزان 100MPa توزیع شده است که نشان دهنده بهینه بودن طرح سازه می‌باشد. لازم به ذکر است شکل (۱۰) نمای نزدیک محل و میزان حداکثر تنش موضعی را نشان می‌دهد که با توجه به امکان تقویت موضعی می‌توان تنش این ناحیه را نادیده گرفت. لذا با نگاهی به کانتورهای تنش و حذف نقاطی که تمرکز تنش در آنها رخ داده است، میتوان نتیجه گرفت حداکثر تنش در این حالت بارگذاری حدود 180MPa می‌باشد.

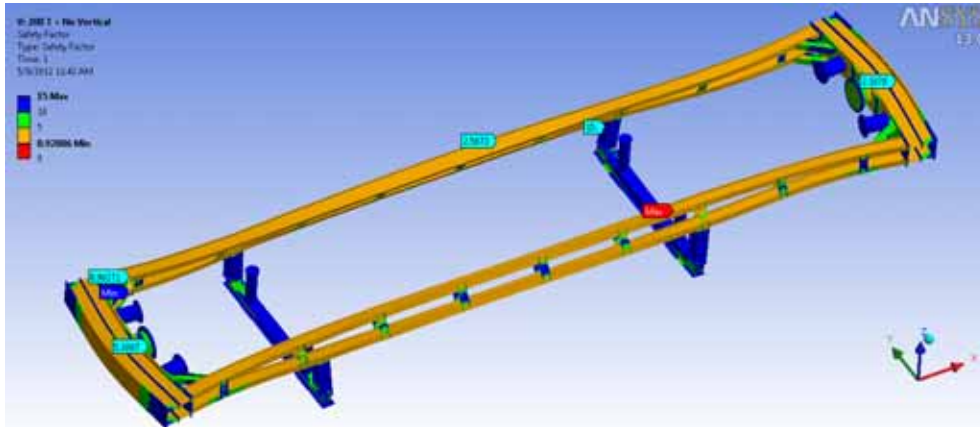


شکل (۹) بارگذاری ۲۰۰ تن فشاری در ناحیه کوپلر - کانتور تنش فون میسز



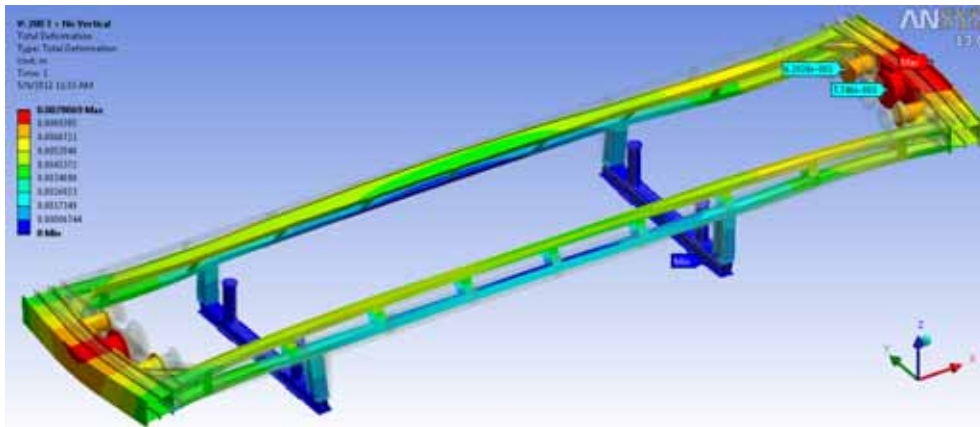
شکل (۱۰) بارگذاری ۲۰۰ تن فشاری در ناحیه کوپلر - کانتور تنش حداکثر موضعی

همچنین شکل (۱۱) کانتور ضرایب ایمنی را در بارگذاری ۲۰۰ تن فشاری در ناحیه کوپلر را نشان می‌دهد که مطابق آن ضرایب ایمنی در بیشتر مناطق بیش از ۲ می‌باشد.

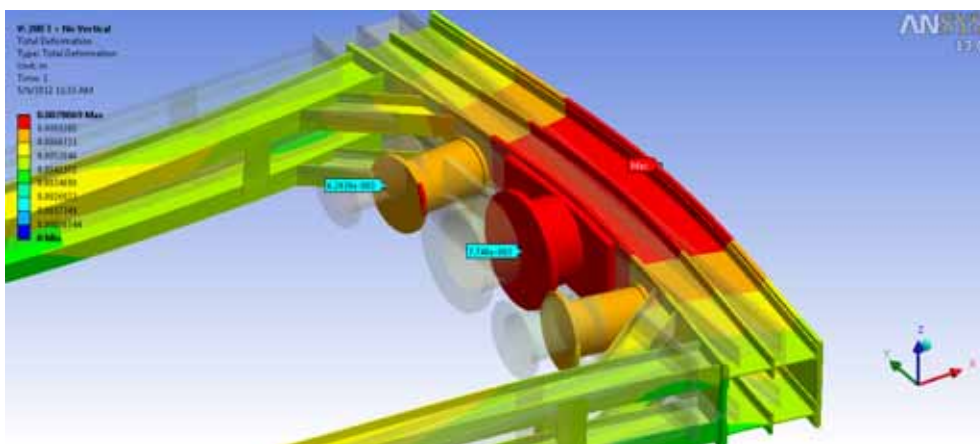


شکل (۱۱) بارگذاری ۲۰۰ تن فشاری در ناحیه کوپلر - کانتور ضرایب ایمنی

شکل (۱۲) و شکل (۱۳) کانتور جابجایی در بارگذاری ۲۰۰ تن فشاری در ناحیه کوپلر را نشان می‌دهد که بیشترین میزان جابجایی در کل سازه حدود ۱۵mm می‌باشد. همچنین کانتور جابجایی نیز جابجایی کلی سازه را کمتر از ۱۶ میلیمتر نشان می‌دهد که با محاسبات انجام شده همخوانی دارد.



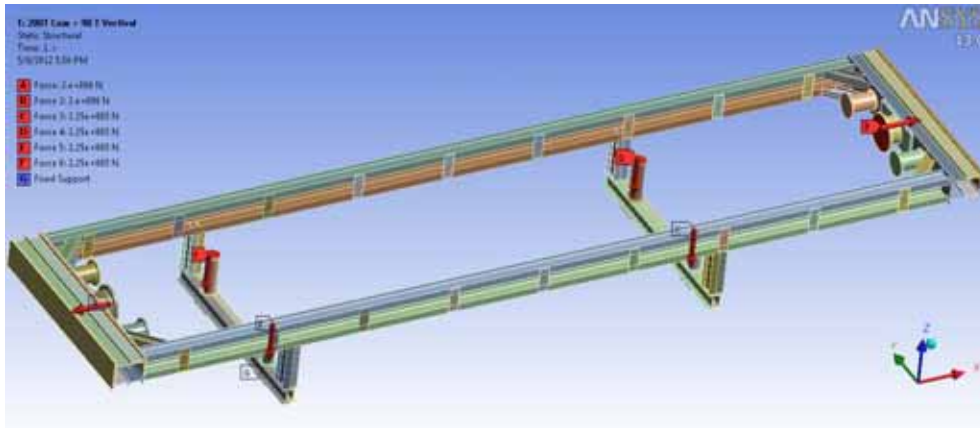
شکل (۱۲) بارگذاری ۲۰۰ تن فشاری در ناحیه کوپلر - کانتور جابجایی کلی



شکل (۱۳) بارگذاری ۲۰۰ تن فشاری در ناحیه کوپلر - کانتور جابجایی کلی در ناحیه حداکثر جابجایی

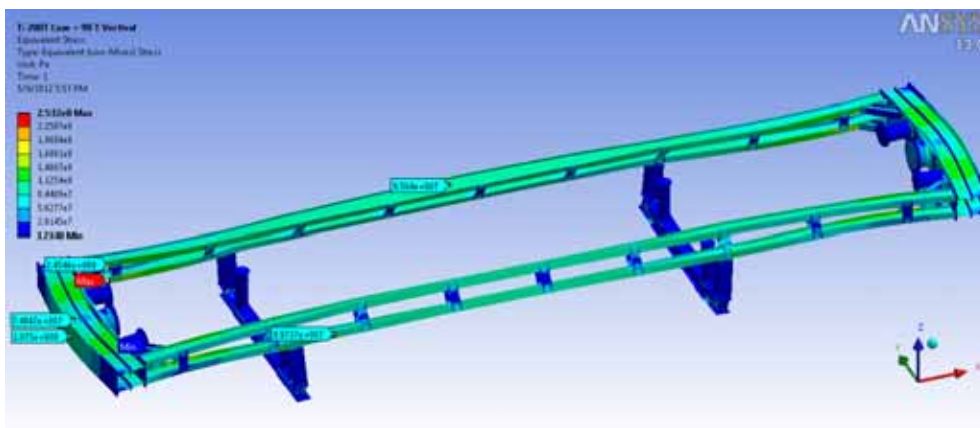
بارگذاری ترکیبی فشاری ۲۰۰ تن در ناحیه کوپلر به همراه بار عمودی ۹۰ تن

مطابق آنچه در شکل (۱۵) و شکل (۱۴) نشان داده شده است در این بارگذاری نیروی 2MN در ناحیه کوپلر اعمال گردیده و ۴ نیروی 225KN معادل ۹۰ تن بر روی چهار Vertical jig اعمال گردیده است، همچنین مطابق آنچه در واقعیت رخ می‌دهد، تمامی درجات آزادی چهار تکیه‌گاه کاملاً مقید گردیده است.

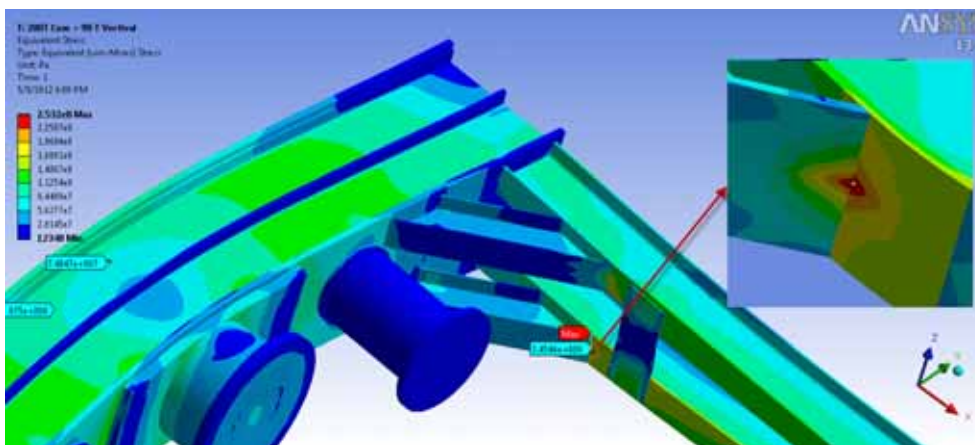


شکل (۱۴) بارگذاری ترکیبی فشاری ۲۰۰ تن در ناحیه کوپلر به همراه بار عمودی ۹۰ تن

کانتور تنش این بارگذاری در شکل (۱۵) نشان داده شده است. چنانچه در این کانتور می‌توان مشاهده نمود تنش کلی در این بارگذاری حدود 100MPa بوده و حداکثر تنش نیز 180MPa می‌باشد. لازم به ذکر است شکل (۱۶) نمای نزدیک محل و میزان حداکثر تنش موضعی را نشان می‌دهد که با توجه به امکان تقویت موضعی می‌توان تنش این ناحیه را نادیده گرفت. لذا با نگاهی به کانتورهای تنش و حذف نقاطی که تمرکز تنش در آنها رخ داده است، می‌توان نتیجه گرفت حداکثر تنش در این حالت بارگذاری حدود 180MPa می‌باشد.

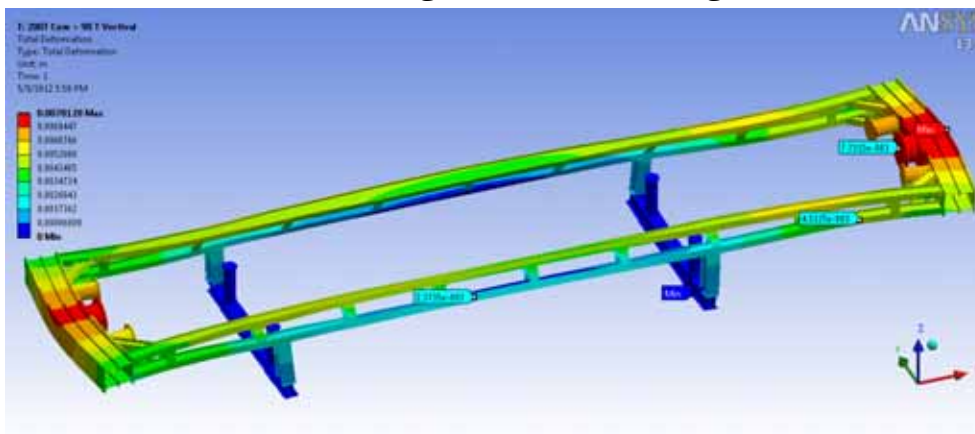


شکل (۱۵) بارگذاری ترکیبی فشاری ۲۰۰ تن در ناحیه کوپلر به همراه بار عمودی ۹۰ تن - کانتور تنش فون میسز

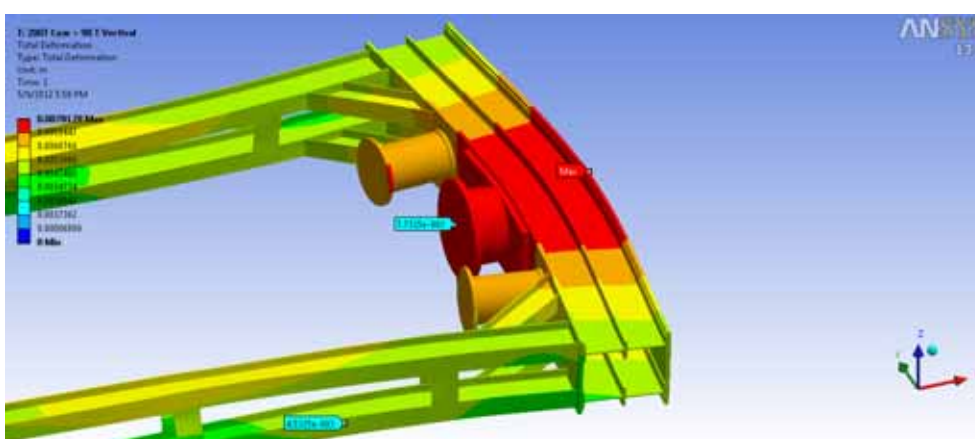


شکل (۱۶) بارگذاری ترکیبی فشاری ۲۰۰ تن در ناحیه کوپلر به همراه بار عمودی ۹۰ تن- کانتور تنش حداکثر موضعی

شکل (۱۷) و شکل (۱۸) کانتور جابجایی در بارگذاری ترکیبی فشاری ۲۰۰ تن به همراه بار عمودی ۹۰ تن در ناحیه کوپلر را نشان می‌دهد که بیشترین میزان جابجایی در کل سازه حدود 14.8 mm می‌باشد. همچنین کانتور جابجایی نیز جابجایی کلی سازه حدود کمتر ۱۶ میلیمتر را نشان می‌دهد که با محاسبات همخوانی دارد.



شکل (۱۷) بارگذاری ترکیبی فشاری ۲۰۰ تن در ناحیه کوپلر به همراه بار عمودی ۹۰ تن- کانتور جابجایی کلی



شکل (۱۸) بارگذاری ترکیبی فشاری ۲۰۰ تن در ناحیه کوپلر به همراه بار عمودی ۹۰ تن- کانتور جابجایی کلی در ناحیه حداکثر جابجایی

۱۲- شرایط پذیرش

چنانچه پیشتر نیز گفته شد، جنس تمامی سازه از فولاد با مدول الاستیسیته $E=200GPa$ و ضریب پواسون $\nu=0.3$ در نظر گرفته شده است. ضرایب اطمینان نیز با فرض استفاده از فولاد St37 با تنش تسلیم $235MPa$ محاسبه شده‌اند.

۱۳- نتایج حاصل از آنالیزها

با توجه به نتایج حاصل از آنالیز المان محدود سازه استند تست در این قسمت این نتایج مورد بررسی قرار گرفته و ضرایب اطمینان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول شماره ۳ - نتایج حاصل از آنالیز المان محدود سازه استند تست

نوع بارگذاری	مقادیر بارگذاری	تنشهای اعمالی به سازه تحت بار اعمالی	حداکثر جابجایی طولی در سازه
۱- بارگذاری فشاری در ناحیه کوپلر	200 tons Horizontal	تنش $<180MPa$ (SF>1.3) حداکثر در تیرهای طولی بستر	14.8 mm = حداکثر جابجایی در سازه
۲- بارگذاری فشاری در ناحیه اتصال تامپون‌ها	2*100 tons Horizontal	تنش $<160MPa$ (SF>1.46) حداکثر در تیرهای طولی بستر	12.1mm = حداکثر جابجایی در سازه
۳- بار عمودی حداکثر	112 Tons Vertical	تنش $<77MPa$ (SF>3) در تیرهای طولی بستر	0.2 mm = حداکثر جابجایی در سازه
۴- بارگذاری ترکیبی فشاری در ناحیه کوپلر به همراه بار عمودی	200 Tons Compressive Horizontal+ 90 Tons V	تنش $<180MPa$ (SF>1.3) حداکثر در تیرهای طولی بستر	14.8 mm = حداکثر جابجایی در سازه
۵- بارگذاری ترکیبی نیروی کششی در ناحیه کوپلر به همراه بار عمودی	150 Tons Tensile Horizontal + 90 T V	تنش $<150MPa$ (SF>1.56) حداکثر در تیرهای طولی بستر	11 mm = حداکثر جابجایی در سازه

۱۴- نتیجه

چنانچه در این گزارش مشاهده شد، استند تست استاتیک بر اساس نیازهای واگن باری لبه بلند طراحی گردیده و پس از مدل سازی، آنالیزهای سازه ای بر روی آن انجام پذیرفت. بر اساس آنالیزهای سازه ای صورت پذیرفته، میزان تنش در سازه استند تست در تمامی بارگزاری‌ها در محدوده شرایط پذیرش فولاد ST37 می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سازه استند تست استاتیک طراحی شده توسط این مدیریت از استحکام کافی برای اعمال نیروهای تست استاتیک واگن باری برخوردار می‌باشد.

۱۵- مراجع

- [1] EN12663-1,2-2010
- [2] UIC 566
- [4] UIC 577
- [3] ERRI B12/RP17
- [4] JIS E 7105-2006