



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی

بررسی عملکرد عناصر شکل‌پذیر در رفتار لرزه‌ای سکوه‌های شابلونی

نگارنده : امیر چیتگر چاری

اساتید راهنما :

دکتر مهدی عجمی

دکتر مرتضی نقی‌پور

شهریور ماه ۱۳۹۶

شماره: ۹۶۱۹۹/۴
تاریخ: ۹۶/۴

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای امیر چیتگر چاری با شماره دانشجویی ۹۲۰۴۸۱۴ رشته عمران گرایش سازه های دریایی تحت عنوان بررسی عملکرد عناصر شکل پذیر در رفتار لرزه ای سکوهای شابلونی که در تاریخ ۱۳۹۶/۶/۲۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با امتیاز ...) درجه مردود

نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر مهدی جمعی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر مرتضی نقی پور	استاد	(عبدالله تقی پور)
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر سعید گلپای	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر وحیدرضا کلات جاری	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر جلیل شفائی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء مهر دانشکده:

تیسره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم بہ

پدر و مادر

کہ ہر عنوانی بر آن ہا پتھرایم، از آن ہا کاستہ ام.

شکر خداوند متعال را به جای آورده که توفیق نصیب من نمود تا این پایان نامه را به پایان برسانم. در اینجا لازم می دانم از تمام عزیزانی که با مساعدت های بی دریغ خود در پیشبرد اهداف این پایان نامه مؤثر بوده اند، کمال تشکر و قدردانی را به جای آورم.

از زحمات اساتید راهنمای بنده، **جناب آقای دکتر مهدی عجمی و جناب آقای دکتر مرتضی نقی پور**، که راهنمایی ها و مساعدت های فکری ایشان راهگشای بسیاری از مشکلات موجود در پایان نامه بود، سپاس و قدردانی فراوان داشته و از ایزد منان برای ایشان آرزوی توفیق و سلامتی می طلبم. همچنین تشکر می کنم از جناب آقایان دکتر علیجانی، دکتر سلیم بهرامی، مهندس هدایتی و مهندس فرجی که در امر مدلسازی و رفع مشکلات آن یار و یاور من بوده اند. از اساتید دلسوز و فرزانه جناب آقایان دکتر کلات جاری و دکتر شفائی که زحمت داوری این رساله را بر عهده داشتند سپاسگذارم و توفیقات روز افزون این عزیزان را از خداوند منان مسئلت دارم.

با تشکر و سپاس فراوان از اساتید و مهندسين گرامی

تعهد نامه

اینجانب امیر چیتگر چاری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سازه های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی عملکرد عناصر شکل پذیر در رفتار لرزه ای سکوهای شابلونی تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی و دکتر مرتضی نقی پور متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

زلزله‌های مختلف آسیب‌های متفاوتی بر حسب میزان مقاومت و پایداری به سازه‌ها وارد می‌سازند. لذا پایداری و مقاوم بودن سازه‌ها در برابر زلزله برای جلوگیری از تخریب‌های کلی و یا جزئی و همچنین از دست رفتن سرمایه‌های مالی و جانی افراد و کشور، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. سکوه‌های شابلونی مورد استفاده در صنعت نفت و گاز کشور نیز با توجه به نقش بسیار مهمی که در چرخه اقتصادی کشور ایفا می‌کنند، از جمله‌ی سازه‌های با اهمیت زیاد می‌باشند. این سازه‌ها به تحرکات محیطی همچون باد، امواج اقیانوسی و زلزله حساس می‌باشند. این تحرکات سبب ارتعاش ناخواسته سازه و در نتیجه باعث افزایش احتمال گسیختگی سازه‌ای و خرابی تاسیسات و تجهیزات حساس روی سازه می‌شوند. موضوع کنترل لرزه‌ای و تاثیر آن بر روی سازه‌های فراساحل در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش سعی شده است تا نوع جدیدی از مستهلک‌کننده‌های انرژی به جهت کاهش آسیب وارده به سکوی شابلونی مورد استفاده قرار گیرد. در هنگام وقوع زلزله، عضو مستهلک‌کننده قسمت قابل توجهی از انرژی ورودی به سازه را با ورود به مرحله غیرخطی و تشکیل مفاصل خمیری، مستهلک کرده و بدین صورت از کمانش اعضای مهاربندی جلوگیری کرده یا آن را به تعویق می‌اندازد. در صورت خرابی المان پیشنهادی، قابلیت تعویض آسان را نیز داشته و علاوه بر این از هزینه کم و سرعت بالایی نیز برخوردار است. برای مدل‌سازی المان پیشنهادی و همچنین سکوی شابلونی جهت انجام تحلیل طیفی از نرم‌افزار المان محدود آباکوس بهره گرفته شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد اگرچه سیستم میراگر استفاده شده، در مبحث بهبود تنش وارد شده به اعضا نقش موثری را ایفا نکرده است ولی در مباحث حداکثر برش پایه وارده بر سازه و بیشترین جابجایی عرشه موثر بوده و به مقدار قابل توجهی آن‌ها را بهبود بخشیده است.

کلیدواژه: سکوی شابلونی، المان شکل‌پذیر، میراگر جاری‌شونده، سازه‌های فراساحل

فهرست مطالب

فصل اول (مقدمه)

۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ طرح مساله و ضرورت تحقیق	۴
۳-۱ اهداف	۵
۴-۱ ساختار پایان نامه	۵

فصل دوم (روش تحقیق و مرور ادبیات فنی)

۱-۲ پیشگفتار	۸
۲-۲ سیستم‌های کنترل سازه	۸
۱-۲-۲ سیستم جداساز	۱۰
۲-۲-۲ میراگر جرمی میزان شده	۱۱
۳-۲-۲ میراگر ویسکوز	۱۱
۴-۲-۲ میراگر ویسکوالاستیک جامد	۱۳
۵-۲-۲ میراگر اصطکاکی	۱۴
۶-۲-۲ میراگر فلزی جاری شونده	۱۵
۳-۲ تاریخچه استفاده از سیستم‌های کنترل سازه	۱۶
۱-۳-۲ تاریخچه استفاده از میراگرهای فلزی جاری شونده (فیوز) در ساختمان	۱۷
۱-۱-۳-۲ مدل مژگانی	۱۸
۲-۱-۳-۲ مدل بهشتی	۱۹
۳-۱-۳-۲ مدل میرزاآقایی	۲۰

۲۲	..... مدل سلیم بهرامی ۴-۱-۳-۲
۲۵	..... نمونه‌های استفاده از سیستم‌های کنترلی در سکوه‌های شابلونی ۲-۳-۲
۲۵	..... بهسازی لرزه‌ای سکوی شابلونی رسالت به کمک میراگر اصطکاکی ۱-۲-۳-۲
۲۵	..... بررسی عملکرد سکوی شابلونی رسالت مجهز به سیستم مهار دندانه‌ای RBS در برابر زلزله ۲-۲-۳-۲
۲۸	.....
۲۸	..... بررسی عملکرد سکوی شابلونی رسالت مجهز به مهاربند کمانش‌تاب (RBR) تحت اثر بار زلزله ۳-۲-۳-۲
۳۱	.....
۳۳	..... بررسی عملکرد لرزه‌ای سکوی شابلونی J20-2MQ مجهز به سیستم میراگر جداکننده ۴-۲-۳-۲

فصل سوم (مدل سازی)

۳۸	..... پیشگفتار ۱-۳
۳۸	..... مدل سازی المان شکل پذیر ۲-۳
۳۸	..... اجزای المان شکل پذیر ۱-۲-۳
۳۹	..... تعریف مصالح ۲-۲-۳
۳۹	..... نحوه چیدمان اعضا ۳-۲-۳
۴۰	..... گام‌ها و روش تحلیل ۴-۲-۳
۴۰	..... شرایط مرزی، اندرکنش اجزا و نیروهای اعمالی ۵-۲-۳
۴۱	..... المان بندی ۶-۲-۳
۴۲	..... بررسی صحت‌سنجی مدل ۳-۳
۴۵	..... ملاحظات آیین‌نامه‌ای در مدل سازی سکوه‌های ثابت شابلونی ۴-۳
۴۵	..... ملاحظات API ۱-۴-۳

۴۶	..... اثرات هیدرودینامیکی ۲-۴-۳
۴۷	..... مدل سازی سکوی مورد مطالعه ۵-۳
۴۸	..... آرایش سکو ۱-۵-۳
۴۹	..... جاکت ۲-۵-۳
۴۹	..... شرایط مرزی ۳-۵-۳
۵۰	..... بارگذاری ۴-۵-۳
۵۱	..... آنالیز سکو ۵-۵-۳
۵۰	..... بار موج و جریان ۶-۳
۵۷	..... بارگذاری زلزله ۷-۳
۵۹	..... جمع بندی ۸-۳

فصل چهارم (نتایج و تحلیل مدل های مورد بررسی)

۶۲	..... پیشگفتار ۱-۴
۶۲	..... نتایج و منحنی هیستریزیس المان پیشنهادی ۲-۴
۶۲	..... توزیع تنش فون میزس در المان پیشنهادی ۱-۲-۴
۶۴	..... طراحی المان شکل پذیر ۳-۴
۶۶	..... تحلیل مودال سکو ۴-۴
۶۷	..... تحلیل سکوی مورد مطالعه ۵-۴
۶۷	..... مقایسه تنش فون میزس المان بادبندی ۱-۵-۴
۶۸	..... مقایسه جابجایی بالاترین تراز سکو ۲-۵-۴
۶۸	..... مقایسه برش پایه سکو ۳-۵-۴

۶۹	..... بررسی پاسخ‌های مدل سکوی مورد مطالعه
۶۹	..... ۱-۶-۴ توزیع تنش فون میزس ناشی از بارهای هیدرودینامیکی
۷۲	..... ۱-۱-۶-۴ نتیجه مشاهده‌ها
۷۳	..... ۲-۶-۴ بررسی جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارهای هیدرودینامیکی
۸۰	..... ۱-۲-۶-۴ نتیجه مشاهده‌ها
۸۲	..... ۳-۶-۴ توزیع تنش فون میزس ناشی از بار زلزله
۸۴	..... ۱-۳-۶-۴ نتیجه مشاهده‌ها
۸۵	..... ۴-۶-۴ بررسی جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارگذاری زلزله
۹۰	..... ۱-۴-۶-۴ نتیجه مشاهده‌ها
۹۲	..... ۵-۶-۴ بررسی بیشترین برش پایه سکو ناشی از بارگذاری زلزله
۹۷	..... ۱-۵-۶-۴ نتیجه مشاهده‌ها
۹۸	..... ۷-۴ جمع‌بندی نتایج

فصل پنجم (نتیجه‌گیری و پیشنهادات)

۱۰۲	..... ۱-۵ پیشگفتار
۱۰۲	..... ۲-۵ خلاصه نتایج
۱۰۳	..... ۳-۵ پیشنهادات ادامه کار

پیوست‌ها

۱۰۶ پیوست الف
-----	-----------------

۱۰۸ پیوست ب

۱۲۲ پیوست پ

۱۲۵ منابع و مراجع

فهرست شکل ها

فصل اول (مقدمه)

- شکل ۱-۱ بخش‌های سازه‌ای سکوی شابلونی ۲
- شکل ۲-۱ نمایی از سکوی SPD2 در خلیج فارس ۴

فصل دوم (روش تحقیق و مرور ادبیات فنی)

- شکل ۱-۲ سیستم جداکننده و یک نمونه استفاده از آن در سکوی شابلونی ۱۱
- شکل ۲-۲ نمونه یک سکوی شابلونی مجهز به میراگر جرمی میزان شده ۱۲
- شکل ۳-۲ میراگر ویسکوز (الف) ۱۲
- شکل ۳-۲ وسیله میراکننده ویسکوز (ب) ۱۲
- شکل ۴-۲ نمونه یک میراگر ویسکوالاستیک جامد ۱۳
- شکل ۵-۲ میراگر ویسکوز یا ویسکوالاستیک نصب شده بر روی سکو ۱۴
- شکل ۶-۲ میراگر اصطکاکی مهاربند ضربدري ۱۵
- شکل ۷-۲ میراگر فلزی جاری شونده با ورق X شکل ۱۶
- شکل ۸-۲ المان پیشنهادی مژگانی ۱۸
- شکل ۹-۲ منحنی هیستریسیس المان پیشنهادی مژگانی ۱۹
- شکل ۱۰-۲ المان پیشنهادی بهشتی ۱۹
- شکل ۱۱-۲ منحنی هیستریسیس نیرو- تغییر مکان ۲۰
- شکل ۱۲-۲ المان پیشنهادی میرزاآقایی ۲۰
- شکل ۱۳-۲ منحنی هیستریسیس نیرو- تغییر مکان طبقه همکف در زلزله ال سنتر، قاب با مهاربند معمولی (سمت چپ) ۲۱

- شکل ۲-۱۳ منحنی هیستریسیس نیرو- تغییر مکان طبقه همکف در زلزله ال سنتر، قاب با اتصال پیشنهادی (سمت راست) ۲۱
- شکل ۲-۱۴ المان پیشنهادی سلیم بهرامی ۲۲
- شکل ۲-۱۵ آرایش مهاربندی واگرا، بدون المان شکل پذیر (الف) ۲۴
- شکل ۲-۱۵ آرایش مهاربندی واگرا، با المان شکل پذیر (ب) ۲۴
- شکل ۲-۱۶ اجزای میراگر اصطکاکی ۲۵
- شکل ۲-۱۷ منحنی های پوشش آور سکو در حالت های با و بدون میراگر ۲۶
- شکل ۲-۱۸ مقادیر نرمال شده جابجایی عرشه بر حسب مقاومت نرمال شده میراگر برای رکورد EIC-NC ۲۷
- شکل ۲-۱۹ مقادیر نرمال شده برش پایه عرشه بر حسب مقاومت نرمال شده میراگر برای رکورد EIC-NC ۲۷
- شکل ۲-۲۰ مقادیر نرمال شده جابجایی عرشه بر حسب شتاب بیشینه رکورد CHY101W ۲۸
- شکل ۲-۲۱ قطعه الحاقی ارائه شده توسط گل افشانی و همکاران و نحوه جانمایی آن در قاب ۲۹
- شکل ۲-۲۲ مقایسه حداکثر تغییر مکان قسمت فوقانی سکو با مهاربند معمولی و سکو مجهز به مهاربند RBS ۲۹
- شکل ۲-۲۳ مقایسه نیروی برش پایه های سکو با مهاربند معمولی و مهاربند مجهز به مهاربند RBS ۳۰
- شکل ۲-۲۴ مقایسه نیروی محوری پایه های سکو با مهاربند معمولی و مهاربند مجهز به مهاربند RBS ۳۰
- شکل ۲-۲۵ هسته و غلاف در مهاربند کمانش تاب (راست) ۳۱
- شکل ۲-۲۵ قسمت های مختلف مهاربند کمانش تاب (چپ) ۳۱
- شکل ۲-۲۶ نحوه عملکرد مهاربند کمانش تاب تحت نیروی فشاری ۳۲

شکل ۲-۲۷ مقایسه رفتار هیستریسیس مهاربند معمولی (خط چین) و مهاربند کمانش تاب (خط ممتد

۳۲

شکل ۲-۲۸ جزئیات سیستم میراگر جداکننده

شکل ۲-۲۹ نمای کلی و محل قرارگیری سیستم جداکننده در سکو

شکل ۲-۳۰ نتایج حاصل از بررسی آزمایشگاهی

شکل ۲-۳۱ نتایج حاصل از بررسی نرم‌افزاری

فصل سوم (مدل سازی)

شکل ۳-۱ اجزای مورد استفاده در مدل

شکل ۳-۲ مشخصات مصالح فولاد حلقه

شکل ۳-۳ نحوه چیدمان اعضا

شکل ۳-۴ شرایط مرزی و بارهای اعمالی

شکل ۳-۵ نحوه آرایش المان بندی

شکل ۳-۶ مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی و تحلیلی المان شکل پذیر

شکل ۳-۷ چرخه بارگاری در آیین‌نامه ATC

شکل ۳-۸ منحنی هیستریسیس نیرو-تغییر قطر قائم حلقه فولادی آزمایشگاهی کافی

شکل ۳-۹ منحنی هیستریسیس نیرو-تغییر قطر قائم حلقه فولادی آزمایشگاهی کافی

شکل ۳-۱۰ مقایسه نتایج آزمایشگاهی کافی و مدل نرم‌افزاری

شکل ۳-۱۱ نمای سه بعدی سکوی رسالت

شکل ۳-۱۲ ارتفاع موج قابل توجه طی ۱۰۰ سال در خلیج فارس

شکل ۳-۱۳ Step Frequency

شکل ۳-۱۴ Step Modal Dynamic

۵۲	.....	شکل ۳-۱۵ Step Response Spectrum
۵۳	.....	شکل ۳-۱۶ ارتفاع موج قابل توجه طی ۱۰۰ سال در خلیج فارس
۵۴	.....	شکل ۳-۱۷ توزیع بیشترین دوره تناوب موج طی ۱۰۰ سال در منطقه خلیج فارس
۵۶	.....	شکل ۳-۱۸ نمایش Rigid Body
۵۷	.....	شکل ۳-۱۹ طیف پاسخ
۵۸	.....	شکل ۳-۲۰ نتایج آنالیز مودال

فصل چهارم (نتایج و تحلیل مدل‌های مورد بررسی)

۶۳	.....	شکل ۴-۱ توزیع تنش فون میزس در المان پیشنهادی
۶۳	.....	شکل ۴-۲ پاسخ نیرو به جابجایی المان پیشنهادی
۶۳	.....	شکل ۴-۳ منحنی هیستریزس المان پیشنهادی
۶۵	.....	شکل ۴-۴ محل قرارگیری المان‌های شکل‌پذیر
۶۶	.....	شکل ۴-۵ ابعاد المان پیشنهادی
۶۹	.....	شکل ۴-۶ نمونه ای از جانمایی میراگر در بادبندهای سکو
۷۰	.....	شکل ۴-۷ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز اول
۷۰	.....	شکل ۴-۸ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز دوم
۷۰	.....	شکل ۴-۹ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز سوم
۷۱	.....	شکل ۴-۱۰ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز چهارم
۷۱	.....	شکل ۴-۱۱ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز پنجم
۷۱	.....	شکل ۴-۱۲ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تمام ترازا
۷۲	.....	شکل ۴-۱۳ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت بدون استفاده از میراگر
۷۳	.....	شکل ۴-۱۴ نتایج ماکزیمم تنش فون میزس ناشی از بارهای هیدرودینامیکی

شکل ۴-۱۵ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در

تراز اول ۷۴

شکل ۴-۱۶ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در

تراز اول ۷۴

شکل ۴-۱۷ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در

تراز اول ۷۵

شکل ۴-۱۸ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در

تراز دوم ۷۵

شکل ۴-۱۹ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در

تراز دوم ۷۵

شکل ۴-۲۰ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در

تراز دوم ۷۶

شکل ۴-۲۱ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در

تراز سوم ۷۶

شکل ۴-۲۲ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در

تراز سوم ۷۶

شکل ۴-۲۳ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در

تراز سوم ۷۷

شکل ۴-۲۴ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در

تراز چهارم ۷۷

شکل ۴-۲۵ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در

تراز چهارم ۷۷

- شکل ۴-۲۶ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تراز چهارم ۷۸
- شکل ۴-۲۷ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در تراز پنجم ۷۸
- شکل ۴-۲۸ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در تراز پنجم ۷۸
- شکل ۴-۲۹ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تراز پنجم ۷۹
- شکل ۴-۳۰ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در تمام ترازها ۷۹
- شکل ۴-۳۱ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در تمام ترازها ۷۹
- شکل ۴-۳۲ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تمام ترازها ۸۰
- شکل ۴-۳۳ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت عدم استفاده از میراگر ۸۰
- شکل ۴-۳۴ نتایج جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارهای هیدرودینامیکی ۸۱
- شکل ۴-۳۵ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز اول ۸۲
- شکل ۴-۳۶ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز دوم ۸۲
- شکل ۴-۳۷ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز سوم ۸۲
- شکل ۴-۳۸ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز چهارم ۸۳
- شکل ۴-۳۹ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز پنجم ۸۳
- شکل ۴-۴۰ توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت عدم استفاده از میراگر ۸۳

- شکل ۴-۴۱ نتایج ماکزیمم تنش فون میزس ناشی از بارگذاری زلزله ۸۵
- شکل ۴-۴۲ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم ابتدایی عضو در تراز اول ۸۵
- شکل ۴-۴۳ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم میانی عضو در تراز اول ۸۵
- شکل ۴-۴۴ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم انتهایی عضو در تراز اول ۸۶
- شکل ۴-۴۵ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم ابتدایی عضو در تراز دوم ۸۶
- شکل ۴-۴۶ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم میانی عضو در تراز دوم ۸۶
- شکل ۴-۴۷ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم انتهایی عضو در تراز دوم ۸۷
- شکل ۴-۴۸ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم ابتدایی عضو در تراز سوم ۸۷
- شکل ۴-۴۹ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم میانی عضو در تراز سوم ۸۷
- شکل ۴-۵۰ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم انتهایی عضو در تراز سوم ۸۸
- شکل ۴-۵۱ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یکسوم ابتدایی عضو در تراز چهارم ۸۸

- شکل ۴-۵۲ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در تراز چهارم ۸۸
- شکل ۴-۵۳ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تراز چهارم ۸۹
- شکل ۴-۵۴ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در تراز پنجم ۸۹
- شکل ۴-۵۵ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در تراز پنجم ۸۹
- شکل ۴-۵۶ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تراز پنجم ۹۰
- شکل ۴-۵۷ میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت عدم استفاده از میراگر ۹۰
- شکل ۴-۵۸ نتایج جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارگذاری زلزله ۹۱
- شکل ۴-۵۹ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در تراز اول ۹۲
- شکل ۴-۶۰ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در تراز اول ۹۲
- شکل ۴-۶۱ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تراز اول ۹۲
- شکل ۴-۶۲ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در تراز دوم ۹۳
- شکل ۴-۶۳ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در تراز دوم ۹۳
- شکل ۴-۶۴ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تراز دوم ۹۳
- شکل ۴-۶۵ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در تراز سوم ۹۴
- شکل ۴-۶۶ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در تراز سوم ۹۴
- شکل ۴-۶۷ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تراز سوم ۹۴
- شکل ۴-۶۸ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در تراز چهارم ۹۵

- شکل ۴-۶۹ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در تراز چهارم ۹۵
- شکل ۴-۷۰ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تراز چهارم ۹۵
- شکل ۴-۷۱ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم ابتدایی عضو در تراز پنجم ۹۶
- شکل ۴-۷۲ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم میانی عضو در تراز پنجم ۹۶
- شکل ۴-۷۳ میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی عضو در تراز پنجم ۹۶
- شکل ۴-۷۴ میزان برش پایه در حالت عدم استفاده از میراگر ۹۷
- شکل ۴-۷۵ نتایج برش پایه سکو ناشی از بارگذاری زلزله ۹۸

فهرست جدول ها

فصل دوم (روش تحقیق و مرور ادبیات فنی)

- جدول ۱-۲ نتایج حاصل از کمانش المان پیشنهادی مژگانی ۱۹
- جدول ۲-۲ میزان تغییر مکان بام و برش پایه در زلزله ۲۲
- جدول ۲-۳ مشخصات مکانیکی اعضای المان سلیم‌بهرامی ۲۳
- جدول ۲-۴ مقایسه میزان حداکثر برش پایه و تغییر مکان بام با مهاربندی واگرا دارای المان پیشنهادی و بدون آن ۲۴
- جدول ۲-۵ مقدار جابجایی هدف برای سکو در حالت با و بدون میراگر بر مبنای روش طیف- ظرفیت ای.تی.سی ۴۰ ۲۶
- جدول ۲-۶ خلاصه نتایج حاصل از مقایسه سکو در دو حالت مجهز به مهاربند معمولی و مجهز به مهاربند RBS تحت رکورد زلزله نورث ریج ۳۰

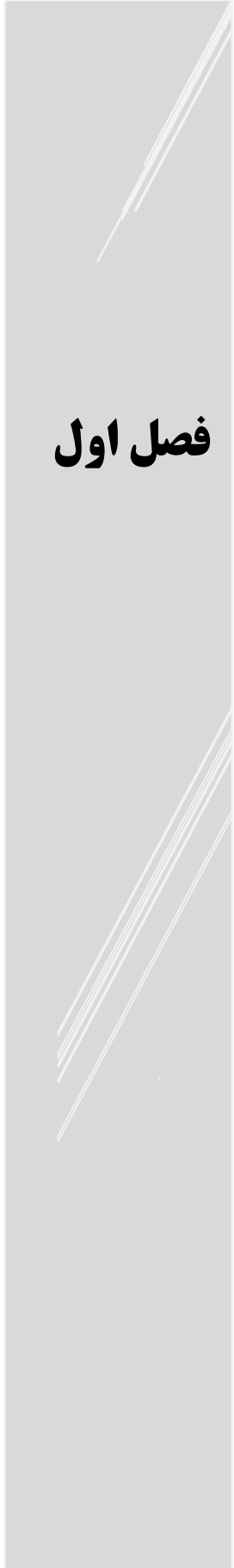
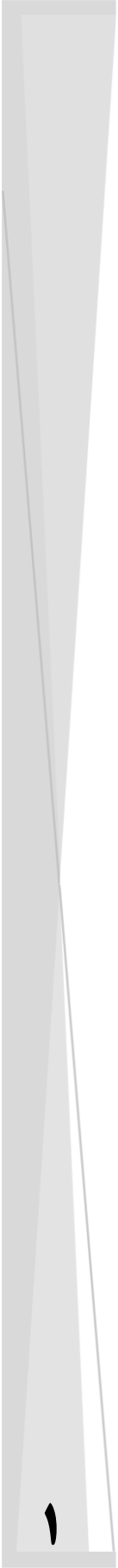
جدول ۲-۷ خلاصه نتایج حاصل از مقایسه سکو در دو حالت مجهز به مهاربند معمولی و مجهز به مهاربند RBS تحت رکورد زلزله نورث ریج مقیاس شده به PGAهای مختلف	۳۰
جدول ۲-۸ مقادیر حداکثر پاسخ سکوی معمولی و سکوی مجهز به مهاربند کمانش تاب تحت اثر زلزله طبس	۳۳

فصل سوم (مدل سازی)

جدول ۳-۱ بارهای مرده در مدل سازی	۵۰
--	----

فصل چهارم (نتایج و تحلیل مدل های مورد بررسی)

جدول ۴-۱ مقایسه نتایج تحلیل مودال سکو	۶۷
جدول ۴-۲ نتایج ماکزیمم تنش فون میزس ناشی از بارهای هیدرودینامیکی	۷۲
جدول ۴-۳ نتایج جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارهای هیدرودینامیکی	۸۱
جدول ۴-۴ نتایج ماکزیمم تنش فون میزس ناشی از بارگذاری زلزله	۸۴
جدول ۴-۵ نتایج جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارگذاری زلزله	۹۱
جدول ۴-۶ نتایج برش پایه سکو ناشی از بارگذاری زلزله	۹۷

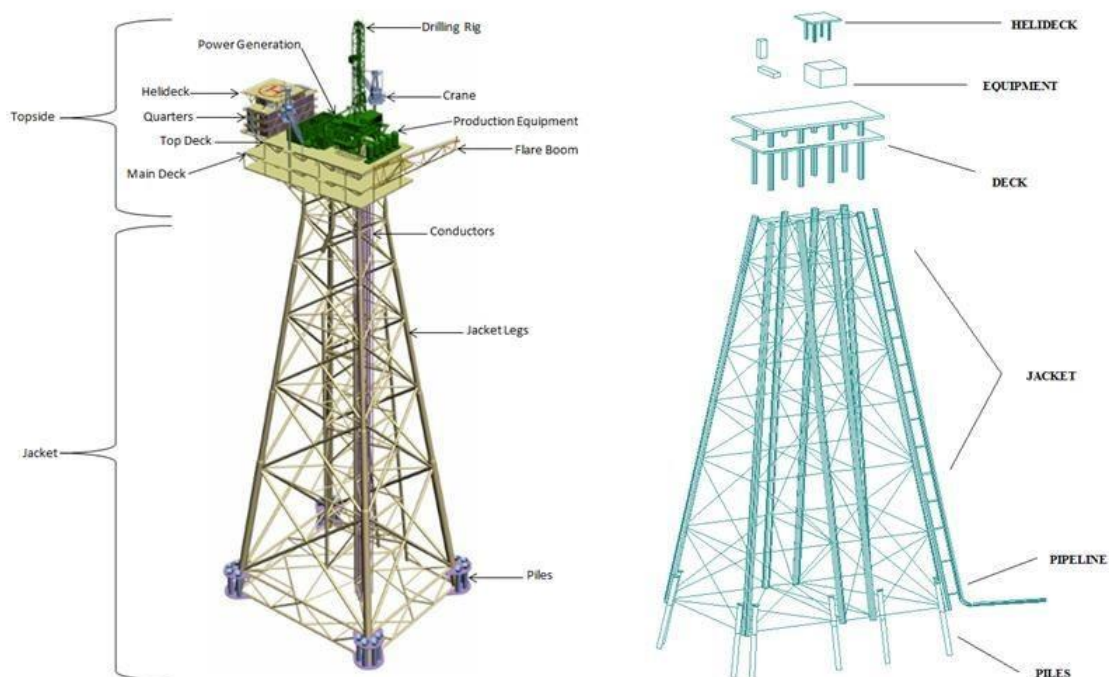


فصل اول

مقدمه

۱-۱. مقدمه

سکوهای پایه ثابت به طور معمول سازه‌های قابی با لوله‌های فولادی هستند که به بستر دریا مهار می‌شوند. قاب زیرین که به جاکت شهرت دارد تجهیزات تولید و ملحقات عرشه را نگه می‌دارد. این قاب به عنوان پایه نگهدارنده عرشه، نقش انتقال نیروهای ناشی از بارهای بهره‌برداری و محیطی در سازه‌ها را به بستر دریا به عهده دارند. با توجه به اینکه بخش عمده ای از جاکت داخل آب قرار دارد، نیروهای اضافی ناشی از شرایط محیطی بر این سازه، همچون موج، جریان‌های دریایی، باد و غیره نیز باید در تحلیل این سازه‌ها مد نظر قرار گیرند. در شکل ۱-۱ یک سکوی پایه ثابت و بخش‌های اصلی آن به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل (۱-۱). بخش‌های سازه‌ای سکوی شابلونی

با توجه به اینکه در سکوهای پایه ثابت، از خاصیت وزنی برای حفظ تعادل و پایداری سازه استفاده نمی‌شود، شمع‌ها وظیفه انتقال نیروهای قائم و جانبی به بستر را انجام می‌دهند. بنابراین در سکوهای

¹ Jacket

پایه ثابت، جاکت از دو بخش پایه سازه و شمع انتقال نیرو تشکیل می‌شود. از نظر سازه‌ای، جاکت‌ها متشکل از تعدادی پایه‌های اصلی، مهاربندهای افقی و جانبی، صفحات نشیمن روی بستر دریا، گوشواره‌های مربوط به نصب سازه و سایر ملحقات مربوطه با توجه به نوع کاربری سکو می‌باشند. استفاده از این نوع سکوها در عمق‌های کم و متوسط (کمتر از ۱۵۰ متر) بسیار مناسب و اقتصادی است، البته دیده شده است که بعضی از این سازه‌ها در عمق بیش از ۲۰۰ متر هم مورد استفاده قرار گرفته شده‌اند [۱]. محدوده پربود زمانی مود اول این نوع سازه‌ها در حدود ۱ تا ۸ ثانیه است. بارهای وارد بر این نوع سازه‌ها شامل بارهای هنگام ساخت و بارهای بعد از ساخت مانند باد، موج و زلزله می‌باشند. البته باید ذکر کرد که علاوه بر بارهای گفته شده این سازه‌ها ممکن است در معرض بارهای تصادفی مانند برخورد کشتی، قایق و حتی یخ و آتش سوزی و غیره نیز قرار گیرند. طول عمر متوسط جاکت‌های فلزی در حدود ۲۵ سال است. اگرچه مثال‌هایی از سکوهایی واقع در دریای شمال وجود دارد که برای طول عمر ۲۰ سال طراحی شده‌اند [۲].

اولین سکوی فراساحلی در سال ۱۸۸۷ در سواحل جنوبی کالیفرنیا برای استخراج نفت ساخته شد. این سکوی چوبی، به عنوان الگویی برای استخراج نفت توسط سکوهایی مشابه در سواحل لوئیزیانا (۱۹۱۱) و ونزوئلا (۱۹۲۷) قرار گرفت. طراحان سکوها به زودی دریافتند که استفاده از چوب در این سازه‌ها با توجه به کوتاه بودن عمر مفید آن در شرایط ویژه دریا، مناسب نمی‌باشد. بدین منظور از سال ۱۹۴۰ استفاده از جاکت‌های بتنی در ساختار سکوهایی دریایی رواج پیدا کرد. پس از آن نیز استفاده از فولاد در ساخت سکوها متداول شد و هزاران سکو در مناطق مختلف جهان نصب شدند [۳].

از این نوع سکو علاوه بر خلیج مکزیک در دریاچه ماراسی نیو، خلیج فارس، آفریقا و به خصوص نیجریه و سواحل کالیفرنیا نیز استفاده می‌شود. نصب سکوی ثابت از سال ۱۹۵۵ میلادی در خلیج فارس متداول گردید و در سال ۱۹۶۴ میلادی اولین سکوی ثابت در آب‌های ایران نصب گردید. هم اکنون بیش از ۱۳۵ سکوی ثابت نوع شابلونی در آب‌های ایران در خلیج فارس و متعلق به ایران وجود دارد. سکوهایی

² Maracino

که در خلیج فارس نصب می‌شوند در مقایسه با سکوهای خلیج مکزیک در مقابله با امواج و طوفان‌های ضعیف تری طراحی می‌گردند. در شکل ۱-۲ نمایی از سکوی SPD2 در خلیج فارس مشاهده می‌شود. سکوهای ثابت دریایی اصولاً از مزیت خاصی برخوردارند زیرا هزینه نصب آن‌ها نسبتاً پایین و سکوهای پایداری می‌باشند. بر روی این سکوها می‌تواند کارهایی از قبیل عملیات حفاری، تولید و ... همانند خشکی انجام گیرد. در خلیج مکزیک قابل دسترس بودن وسایل ساخت و سهولت حمل و نصب، بر رونق سکوهای ثابت دریایی افزوده است [۴].



شکل (۱-۲). نمایی از سکوی SPD2 در خلیج فارس

۱-۲. طرح مسأله و ضرورت تحقیق

یکی از چالش‌های همیشگی در مهندسی، یافتن ابزاری جدید و متمرکز برای حفاظت سازه‌ها و تجهیزات در برابر اثرات مخرب نیروهای طبیعی می‌باشد. سکوهای دریایی در معرض بارهای محیطی متنوعی همچون باد، زلزله، موج، جریان و ... قرار دارند. از این میان بارهای ناشی از زلزله می‌تواند باعث تغییر مکان جانبی سازه و در نهایت خرابی و گسیختگی سازه شود؛ از اینرو دارای پتانسیل خرابی بالایی هستند. با توجه به اینکه زلزله از آن دست حوادث طبیعی است که زمان، مکان و شدت وقوع آن علی‌رغم

تحقیقات گسترده‌ای که در این زمینه صورت گرفته است قابل پیش‌بینی نیست، بنابراین به نظر می‌رسد روش مقابله با زلزله ایمن‌سازی سازه‌ها در برابر آن می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به هزینه‌های بالای ساخت و راه‌اندازی این نوع از سازه‌ها، همواره تلاش بر آنست که راه‌حل‌های کم‌هزینه‌تری نسبت به تعویض آن‌ها مورد استفاده قرار گیرند. یکی از روش‌هایی که در چند دهه اخیر موضوع مطالعات بسیاری بوده است، ایده کنترل سازه هاست که برای افزایش کارایی و ایمنی آن‌ها در برابر خطرات طبیعی به کار می‌رود. متداول‌ترین روش برای کنترل سازه‌ها در برابر نیروهای جانبی استفاده از میراگر می‌باشد.

۱-۳. اهداف

از میان سیستم‌های ساختمانی مقاوم در برابر زلزله می‌توان به دو نوع پرکاربرد قاب خمشی و قاب با مهاربند اشاره کرد. با توجه به ضعف سختی در سیستم قاب خمشی و همچنین ضعف شکل‌پذیری در سیستم قاب‌های مهاربندی شده، روش‌های نوینی جهت بهبود شرایط موجود به کار گرفته می‌شوند. از این بین می‌توان به استفاده از المان‌های شکل‌پذیر در قاب‌های با مهاربند واگرا اشاره کرد که علاوه بر سختی مناسب مشکل شکل‌پذیری را در این نوع سیستم به میزان مطلوبی برطرف کرده است. با توجه به ساختار سکوه‌های شابلونی و تشابه آن‌ها با سازه‌های قابی، در این پژوهش سعی شده است که با کمک روش نام برده شده که یکی از روش‌های مرسوم در سال‌های اخیر در سازه‌های ساختمانی بوده است، به بهبود عملکرد این نوع از سکوها در برابر بارهای دینامیکی پرداخته شود و میزان تاثیر این سیستم بر روی پاسخ‌های دینامیکی سازه مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۴. ساختار پایان‌نامه

در این پایان‌نامه، در فصل دوم که تحت عنوان روش تحقیق نام گرفته شده است، ابتدا به معرفی سیستم‌های کنترل سازه پرداخته می‌شود که شامل روش مورد استفاده در روند این پژوهش و همچنین

سیستم‌هایی با عملکردی مشابه آن می‌باشد. سپس به مرور پژوهش‌های محققان پیشین پرداخته شده است. در ادامه و در فصل سوم، نرم‌افزار کاربردی و مدل صحت‌سنجی شده به وسیله آن تشریح می‌گردد. در فصل چهارم نتایج حاصل از تحلیل مدل‌های اجزای محدود ساخته شده آورده شده است. فصل پنجم و پایانی این پژوهش شامل نتیجه‌گیری از پژوهش جاری می‌باشد.

فصل دوم

روش تحقیق و مرور ادبیات فنی

۱-۲. پیشگفتار

از اواخر قرن ۱۹ میلادی سکوه‌های ثابت دریایی پا به عرصه تولید نفت و گاز گذاشتند. این سکوها معمولاً تحت شرایط سخت محیطی قرار دارند. بارهای دینامیکی شامل باد، جریان و زلزله در طراحی این سازه‌ها بارهای غالب می‌باشند [۵]. به دلیل تداوم بارهای محیطی شامل موج، باد و جریان و ایجاد خستگی و خوردگی در اعضا، سکوه‌های دریایی دارای پتانسیل خرابی بالایی می‌باشند. از طرف دیگر، سکوه‌های دریایی شریان حیاتی برای اقتصاد کشورهای نفت‌خیز به شمار می‌روند که سود اقتصادی کلان حاصل از تولید آن‌ها توقف کار آن‌ها را بسیار پرهزینه می‌کند. بنابراین ضروری است که عملکرد آن‌ها با وقوع زلزله و یا تحت اثر جریان، موج و باد دچار خدشه نشود. از دیگر سو، با توجه به هزینه بسیار بالای ساخت سکوه‌های جدید، مرمت و مقاوم‌سازی سکوه‌های موجود در الویت قرار دارد.

بیش از چند سال از ابداع سیستم‌های کنترلی جهت کاهش پاسخ سازه‌ها تحت اثر زلزله نگذشته است، ولی در طی این مدت سیستم‌های متنوعی با کارایی‌های متفاوت جهت کنترل پاسخ سازه‌ها معرفی شده‌اند. بعضاً این سیستم‌های کنترلی به دلیل استفاده از تجهیزات پیچیده در آن‌ها و یا مشکل بودن نصب، استفاده‌کننده را متحمل هزینه زیادی کرده و صرفه اقتصادی ندارد. بنابراین با توجه به زلزله‌خیز بودن ایران و کارآمدی این سیستم‌ها، ضرورت استفاده از سیستم‌های کنترلی ابداعی و ساده با قابلیت نصب آسان جهت بهبود رفتار سازه‌های موجود که نیاز به مقاوم‌سازی دارند در کشور ما بسیار محسوس می‌باشد.

۲-۲. سیستم‌های کنترل سازه

اعمال سیستم‌های اتلاف انرژی به سازه، یک استراتژی مناسب برای محافظت سازه در مقابل بار زلزله می‌باشد (فیما^۳، سونگ^۴ و دارگش^۵). توضیحات کافی پیرامون سیستم‌های اضافی برای محافظت سازه را

³ Fima

⁴ Soong

⁵ Dargush

می‌توان در مقالات سونگ و اسپنسر^۶ [۶] و سایمنز^۷ و کانستانتینو^۸ [۶] مشاهده کرد. به طور کلی سیستم‌های کنترل سازه برای کاهش پاسخ‌های سازه (تغییر مکان، سرعت و شتاب) به کار می‌روند. این سیستم‌ها بر اساس مصرف انرژی به سه دسته فعال؛ نیمه‌فعال؛ و غیرفعال^۹ تقسیم می‌شوند.

سیستم‌های غیرفعال برای عمل کردن نیاز به قدرت ندارند. این سیستم‌ها که به وسیله حرکت خود سازه انرژی را تلف می‌کنند، قابلیت اعتماد بسیار خوبی دارند. جداسازهای پایه سازه^{۱۰} میراگرهای تعادل جرمی^{۱۱} میراگرهای تعادل مایع^{۱۲} میراگرهای فلزی جاری‌شونده^{۱۳} میراگرهای ویسکوالاستیک^{۱۴} میراگرهای ویسکوز مایع^{۱۵} و میراگرهای اصطکاکی^{۱۸} از انواع متداول سیستم‌های غیرفعال کنترل سازه هستند. اغلب وسایل، انرژی را به وسیله یکی از سه مکانیسم هیستریسیس، اصطکاکی یا میرایی ویسکوز اتلاف می‌کنند. در تمام موارد رفتار آن‌ها شدیداً غیرخطی است. وسایل اتلاف انرژی غیرفعال بدون نیاز به تکنولوژی پیچیده و هزینه زیاد، که برای وسایل اتلاف فعال به کار می‌رود، باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها می‌شوند [۲].

وسایل کنترل فعال به قدرت خارجی قابل ملاحظه‌ای، برای راه‌اندازی تحریک‌کننده‌ها، که نیروی کنترل لازم را تأمین می‌کنند، نیاز دارند. این وسایل با اندازه‌گیری پاسخ‌های سازه‌ای نیروی کنترل لازم را تأمین می‌کنند. به دلیل امکان موجود نبودن قدرت خارجی لازم در زلزله‌ها، قابلیت اعتماد این سیستم‌ها کم است. همچنین هزینه آن‌ها بیشتر و نگهداری آن‌ها مشکل‌تر است. از جمله این سیستم‌ها می‌توان

⁶ Spencer

⁷ Symans

⁸ constantinou

⁹ Active

¹ Semi Active 0

¹ Passive 1

¹ Base Isolation Systems 2

¹ Tuned Mass Damper (TMD) 3

¹ Tuned Liquid Damper (TLD) 4

¹ Metallic Yield Dampers 5

¹ Solid Viscoelastic Damper 6

¹ Viscous Fluid Dampers 7

¹ Friction Damper 8

به میراگر جرمی فعال^۱ و وسایل کنترل ترکیبی مانند میراگر جرمی مرکب^۲، میراگر تعادل جرمی مرکب فعال-غیرفعال^۱ و جداساز لرزه‌ای ترکیبی^۲ اشاره کرد [۲].

وسایل کنترل نیمه‌فعال نمی‌توانند به سیستم کنترل شده انرژی تزریق کنند اما خواص مکانیکی آن‌ها به منظور بهبود عملکرد سیستم، قابل تعدیل است. تعدیل خواص بر پایه اندازه پاسخ‌های سازه و یا تحریک زمین صورت می‌گیرد. بنابراین از انرژی خارجی تنها به منظور تغییر خواص وسایل مانند میرایی و سختی استفاده می‌شود. وسایل کنترل با سختی متغیر، وسایل کنترل با دهانه متغیر، میراگر تعادل جرمی نیمه‌فعال، میراگر تعادل ستون مایع درجه‌دار و میراگر مایع قابل کنترل از جمله این وسایل هستند [۲]. در زیر به اختصار به شرح انواع متداول تجهیزات کنترل سازه پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱. سیستم جداساز

سیستم جداساز پایه که شامل قرار دادن لایه‌های تکیه‌گاهی بین فونداسیون و سازه است، یکی از معمول‌ترین سیستم‌های کنترل غیرفعال است. این لایه‌ها خاصیت جذب انرژی را افزایش می‌دهند (پریود طبیعی سازه را افزایش می‌دهند) و باعث کاهش شتاب کف می‌شوند. به عنوان نمونه استفاده از این سیستم‌ها در کشور چین باعث کاهش ۵ تا ۲۰ درصدی هزینه‌ها نسبت به حالت با پایه ثابت شده است. انواع مختلفی از لایه وجود دارد که از آن‌ها می‌توان به تکیه‌گاه‌های لاستیکی سرب‌پوش شده، تکیه‌گاه‌های لاستیکی با میرایی بالا، لایه‌های تکیه‌گاهی الاستومریک و تکیه‌گاه‌های اصطکاکی لغزشی اشاره کرد. اشکال اصلی این سیستم توانایی ایجاد لنگرهای واژگونی بزرگ در پایه سازه است، که ممکن است به ناپایداری سازه بینجامد. در شکل ۱-۲ نمونه‌ای از این سیستم را مشاهده می‌شود.

1 Active Mass Damper (AMD) 9

2 Hybrid Mass Damper (HMD) 0

2 Active-Passive Tuned Mass Damper (APTMD)

2 Hybrid Base Isolation 2



شکل (۲-۱). سیستم جداکننده و یک نمونه استفاده از آن در سکوی شابلونی [۷]

۲-۲-۲. میراگر جرمی میزان شده

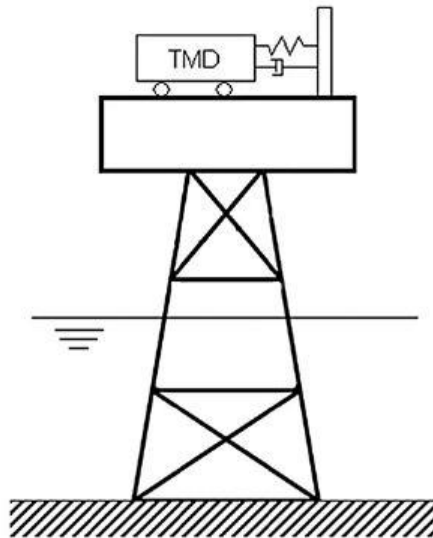
میراگر جرمی میزان شده نوعی از سیستم کنترل غیرفعال است که شامل سیستم جرم-فنر-میراگر می باشد که در بالای ساز نصب می شود. خواص این وسیله با توجه به فرکانس طبیعی سازه و به منظور کاهش لرزش های حاصل از پدیده تشدید میزان می شود. شکل ۲-۲ نمونه ای از یک سکوی مجهز به این سیستم را نشان می دهد.

با تغییرات اندکی در سیستم میراگر جرمی میزان شده، سیستم دیگری با نام میراگر مایع میزان شده حاصل می شود، که از یک مایع رها شده در یک تانک به منظور اتلاف انرژی استفاده می کند. از مزایای این سیستم می توان به هزینه کم و آسانی نصب و تنظیم فرکانس مایع اشاره کرد. از مخازن موجود بر روی عرشه سکوهای شابلونی به نحوی مناسب می توان به عنوان میراگر مایع میزان شده استفاده کرد.

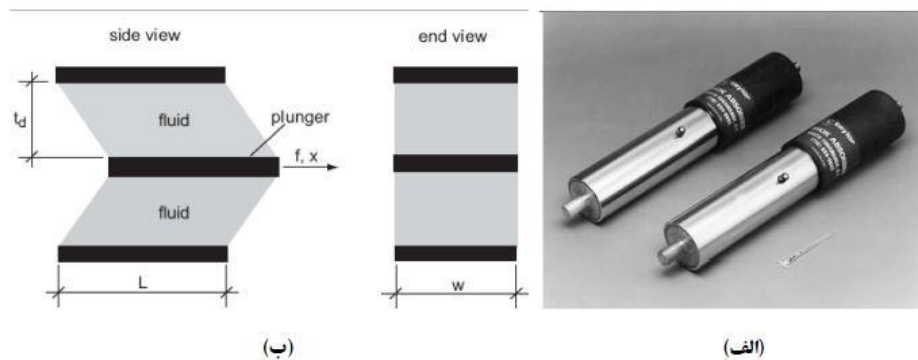
۲-۲-۳. میراگر ویسکوز

این میراگر که بسیار شبیه به جذب کننده ضربه در اتومبیل است، شامل یک استوانه است که با یک مایع مانند سیلیکون و یا روغن پر می شود. پیستون از یک سمت به مایع فشار وارد می کند و مایع از

سمت دیگر به تدریج خارج می‌شود. اتلاف انرژی به وسیله ویسکوزیته مایع صورت می‌گیرد. در شکل ۳-۲ نمونه‌ای از این سیستم نشان داده شده است. حلقه پسماند این وسیله به صورت بیضی است. نیروی مقاومی که این وسیله فراهم می‌کند متناسب با جابجایی و سرعت نسبی دو طرف آن است. این وسیله وقتی بار به آرامی وارد شود، مقاومت کمی در مقابل جابجایی از خود نشان می‌دهد، اما با افزایش سرعت اعمال بار مقاومت آن افزایش می‌یابد.



شکل (۲-۲). نمونه یک سکوی شابلونی مجهز به میراگر جرمی میزان‌شده [۸]



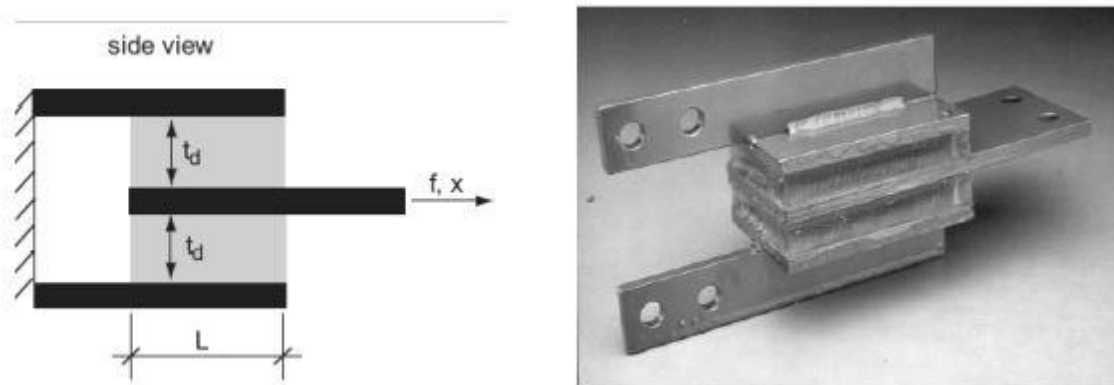
شکل (۳-۲). (الف) میراگر ویسکوز (ب) وسیله میراکننده ویسکوز (کنور^۳ ۲۰۰۱) [۲]

از دیدگاه تئوری، این تجهیزات به دلیل اینکه سرعت خارج از فاز جابجایی می‌باشد جالب هستند. نیروی حاصل از میراگر، با نیروی الاستیک کل سازه جمع نمی‌شود، زیرا نیروی بیشینه میراگر وقتی حاصل

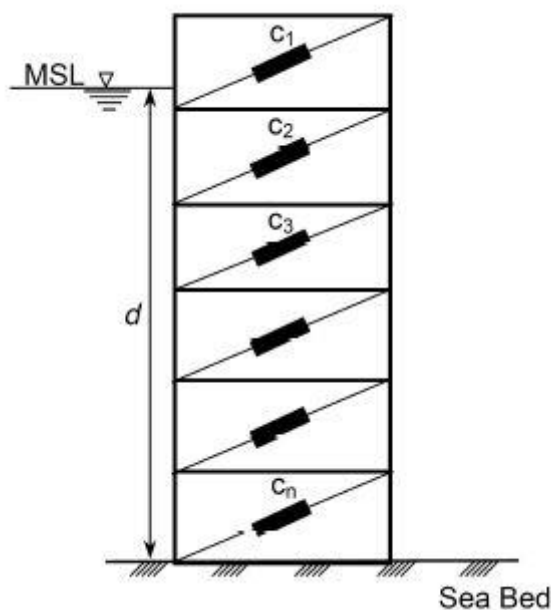
می‌شود که نیروهای الاستیک (در نتیجه تغییر شکل سازه) ناچیز است. اگرچه در واقعیت معمولاً اثرات جفت‌شدگی وجود دارد و این اثرات با افزایش میرایی افزایش می‌یابد.

۴-۲-۲. میراگر ویسکوالاستیک جامد

میراگر ویسکوالاستیک جامد، علاوه بر یک نیروی میرایی وابسته به سرعت، یک سختی الاستیک را نیز فراهم می‌کند. این نوع میراگر از پلیمرهایی (مانند کوپلیمرهای آکرلیک)^۹ که مابین ورق‌های فولادی قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است (شکل ۴-۲). با حرکت ورق‌ها، این نوع میراگر به وسیله تغییر شکل برشی انرژی را تلف می‌کند. برخلاف میراگر ویسکوز، رابطه این نوع میراگر با سرعت به صورت خطی است. حلقه‌های پسماند این میراگر بیضی شکل است. میرایی این وسیله در اثر ویسکوزیته مواد آن می‌باشد. خواص این وسیله به پارامترهایی مانند فرکانس، دما و کرنش وابسته است. باید گفت که طراحی این وسیله فرآیندی مشکل و تکراری بوده و شامل چندین آنالیز با در نظر گرفتن بسیاری از خواص است. در شکل ۴-۲ یک نمونه قرارگیری میراگر ویسکوز یا ویسکوالاستیک بر روی سکو نشان داده شده است.



شکل (۴-۲). نمونه یک میراگر ویسکوالاستیک جامد (کنور (۲۰۰۱)) [۹]

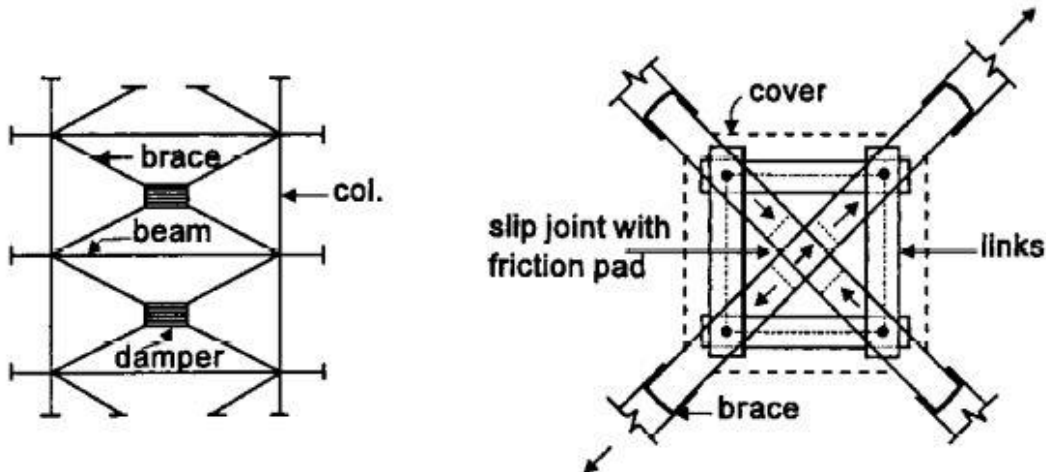


شکل (۵-۲). میراگر ویسکوز یا ویسکوالاستیک نصب شده بر روی سکو [۱۰]

۵-۲-۲. میراگر اصطکاکی

میراگر اصطکاکی تجهیزاتی است که جزو وسایل کنترل غیرفعال طبقه‌بندی می‌شود و می‌تواند بر روی انواع مهاربند ضربدری، مهاربند قطری تک و مهاربند هفتی و هشتی به کار رود. این نوع میراگر می‌تواند به صورت افقی بین بالای دیوار و تیر هم قرار بگیرد. در شکل ۶-۲ نمونه‌ای از این میراگر نشان داده شده است.

اغلب میراگرهای اصطکاکی دارای رفتار پسماند با شکل پایدار مستطیل هستند، اگرچه بعضی از آنها از خود رفتار دوخطی هم نشان می‌دهند. عملکرد میراگرهای اصطکاکی برخلاف میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک مستقل از تغییرات دما و سرعت است. انرژی اتلاف شده به ازای یک نیرو و جابجایی مشخص در میراگر اصطکاکی از بقیه تجهیزات بیشتر است و برای یک اتلاف انرژی معین به تعداد میراگر کمتری نیاز است.



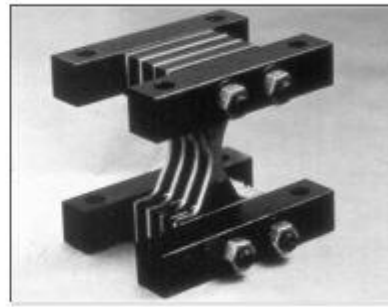
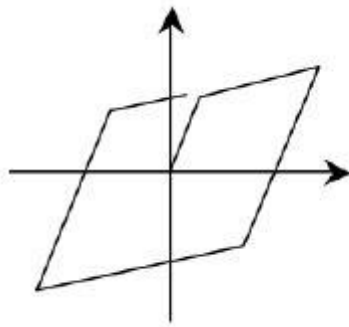
شکل (۲-۶). میراگر اصطکاکی مهاربند ضربدري (پال و مارش)^۲ [۱۱]

۲-۲-۶. میراگر فلزی جاری شونده

میراگرهای فلزی جاری شونده در اشکال مختلف طراحی می‌شوند و با فرآیند تغییرشکل غیرالاستیک فلز باعث اتلاف انرژی می‌شوند. این جاری‌شدگی می‌تواند در خمش، پیچش، برش و یا محوری صورت گیرد. نیروی ایجاد شده توسط این وسایل وابسته به جابجایی است. این میراگرها در هنگام بارگذاری جاری شده و در نتیجه موجب مستهلک نمودن مقدار زیادی از انرژی ورودی به سازه می‌گردد؛ نوع رفتار این میراگر عموماً به صورت دوخطی می‌باشد. این سیستم در ابتدا در نیوزیلند و ژاپن و بعدها در ساختمان‌های مکزیک و آمریکا به کار گرفته شده است. از مزایای این نوع میراگرها می‌توان افزایش کارایی سازه در مقابل زلزله به سبب تمرکز خرابی به نقطه مشخصی از سازه اشاره کرد و اینکه بعد از زلزله به راحتی تعویض می‌شوند. در شکل ۲-۷ نمونه این وسیله با ورق به شکل ورق X نشان داده شده است.

² Pall
² Marsh

5
6



شکل (۷-۲). میراگر فلزی جاری‌شونده با ورق X شکل [۱۲]

در ادامه به نمونه‌های استفاده از این سیستم در سازه‌های ساختمانی اشاره می‌شود و به بررسی آن‌ها و عملکرد موثر این سیستم پرداخته خواهد شد. سپس نمونه‌هایی از سایر سیستم‌های کنترلی به کار گرفته شده در سکوه‌های شابلونی آورده می‌شود.

۲-۳. تاریخچه استفاده از سیستم‌های کنترل سازه

یکی از چالش‌های همیشگی در مهندسی، یافتن ابزاری جدید و متمرکز برای حفاظت سازه‌ها و تجهیزات در برابر اثرات مخرب نیروهای طبیعی می‌باشد. در این بین، زلزله یکی از رخدادهایی است که با وجود تحقیقات زیادی که در مورد آن صورت گرفته است هنوز امکان پیش بینی زمان و مکان دقیق آن وجود ندارد؛ بنابراین به نظر می‌رسد روش مقابله با زلزله، ایمن سازی سازه‌ها در برابر آن است. یکی از روش‌هایی که در چند دهه اخیر موضوع مطالعات بسیاری بوده است، ایده کنترل سازه‌هاست که برای افزایش کارایی و ایمنی آنها در برابر خطرات طبیعی به کار می‌رود. متداول‌ترین روش برای کنترل سازه‌ها در برابر نیروهای جانبی استفاده از میراگر می‌باشد. میرایی در سیستم‌های مکانیکی پدیده‌ای است که باعث جذب انرژی وارد بر سازه، تبدیل آن به انرژی گرمایی و در نهایت اتلاف آن می‌باشد. تلاش اصلی محققان در بحث و بررسی پدیده میرایی از ۲۵۰ سال پیش شروع شده است. با این وجود

پیچیدگی های پدیده میرایی باعث می شود درک کامل مکانیسمی که به وسیله آن انرژی سیستم جذب می شود، مشکل باشد [۱۳].

۲-۳-۱. تاریخچه استفاده از میراگرهای فلزی جاری شونده (فیوز) در ساختمان

قاب های فولادی مهاربندی شده هم مرکز از شکل پذیری مطلوب برخوردار نیستند ولی اعضای آسیب پذیر آن در مقابل زلزله محدود و در نتیجه بازسازی آن ها بسیار کم هزینه تر از قاب های خمشی است. به منظور رفع نقطه ضعف مهاربندهای هم مرکز و تأمین شکل پذیری مطلوب آن ها تحقیقات گسترده ای در دو دهه گذشته توسط محققین صورت گرفته است و روش های مختلفی برای افزایش شکل پذیری این مهاربندها توسط پژوهشگران مختلف پیشنهاد شده است؛ که در هر یک به نحوی کوشیده اند تا میزان شکل پذیری بادبندهای هم مرکز را بهبود بخشند. استفاده از فیوزها یکی از روش های پیشنهادی بوده است. فیوزها در اشکال مختلف و با عملکردهای متفاوت خمشی، برشی و یا پیچشی ساخته می شوند. البته بیشتر تحقیقات انجام شده در این زمینه بر روی عملکرد خمشی استوار بوده است. از انواع مختلف المان های خمشی، المان زانویی و بادبندهای دارای المان زانویی می باشد که بالندرا^۷ در طی سال های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۷ تحقیقات زیادی بر روی این المان انجام داد [۱۴].

یکی دیگر از المان های خمشی، المانی با رفتار خمشی ساخته شده از صفحات مثلثی شکل فولادی است که توسط تی سائی^۸ و همکارانش در سال ۱۹۹۳ طراحی و مورد آزمایش قرار گرفت [۱۵]. در سال ۲۰۰۳ ون پی^۹ و همکاران بر روی صفحات لوزی شکل شکل پذیر، تحقیقاتی را انجام دادند [۱۶]. در این المان ها از خاصیت فولاد و جاری شدن یکنواخت آن، جهت انتخاب شکل مناسب این اعضا استفاده می شود. عباس نیا و همکاران تحقیقات ارزشمندی را بر روی نوع جدیدی از المان های خمشی که به صورت المان حلقوی می باشد، انجام دادند [۱۷]. مطابق بررسی های انجام شده، عملکرد این المان

² Balendra 7
² Tsai 8
² Sung Wen-pei 9

سبب افزایش شکل پذیری در مهاربندهای هم‌مرکز می‌گردد، لیکن توان باربری المان حلقه محدود بوده و شکل پذیری آن با افزایش قطر رابطه معکوس و با افزایش ضخامت حلقه رابطه مستقیم دارد. با توجه به اینکه المان پیشنهادی عباس‌نیا از عملکرد مناسبی در جذب انرژی برخوردار بوده است پژوهشگران داخل کشور با راهکارهای مختلف در صدد بهبود عملکرد این نوع المان اقداماتی را انجام دادند و انواع دیگری از آن را معرفی کردند که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد.

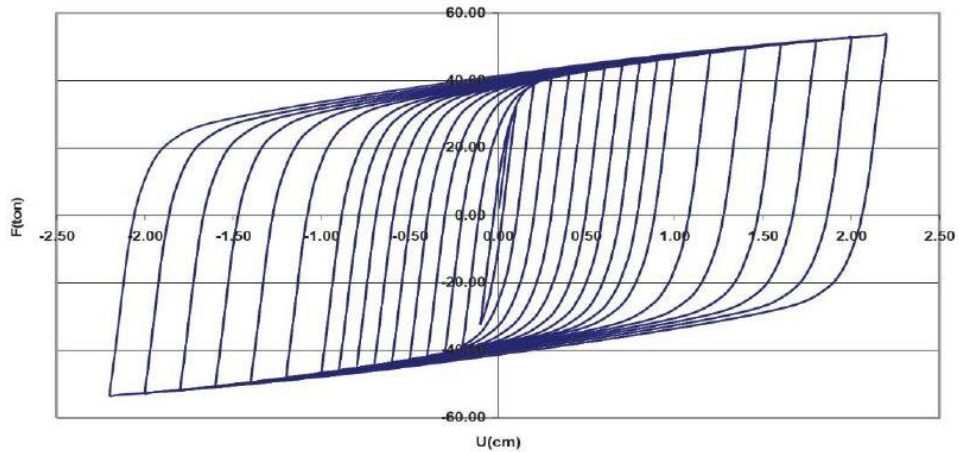
۲-۳-۱-۱. مدل مژگانی

مدل پیشنهادی مژگانی مطابق شکل ۲-۸ از یک حلقه کوچک از جنس لوله‌های مانیسمان (بدون درز) و یک حلقه بزرگتر از همان جنس ولی به صورت دو نیم حلقه تشکیل می‌شود [۱۸].



شکل (۲-۸). المان پیشنهادی مژگانی [۱۸]

منحنی هیسترسیس بار-تغییر مکان و نتایج آنالیز کمانش حاصل از مدلسازی این المان در نرم افزار المان محدود انسیس به ترتیب در شکل ۲-۹ و جدول ۲-۱ آورده شده است. با توجه به جدول ۳-۱، بار کمانش این المان در مود اول به مراتب بیشتر از بار شکست آن است، بنابراین قطعاً در این المان پیش از آنکه کمانش رخ دهد، شاهد جاری شدن المان خواهیم بود و مانند یک فیوز به وظیفه خود عمل خواهد کرد.



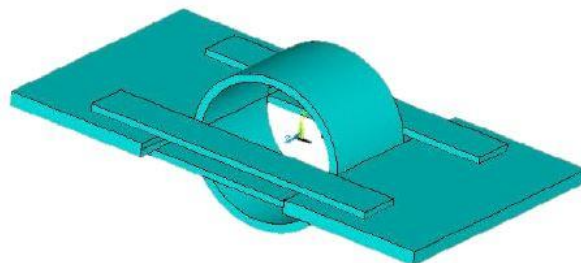
شکل (۹-۲). منحنی هیستریسیس المان پیشنهادی مژگانی [۱۸]

جدول (۱-۲). نتایج حاصل از کماتش المان پیشنهادی مژگانی [۱۸]

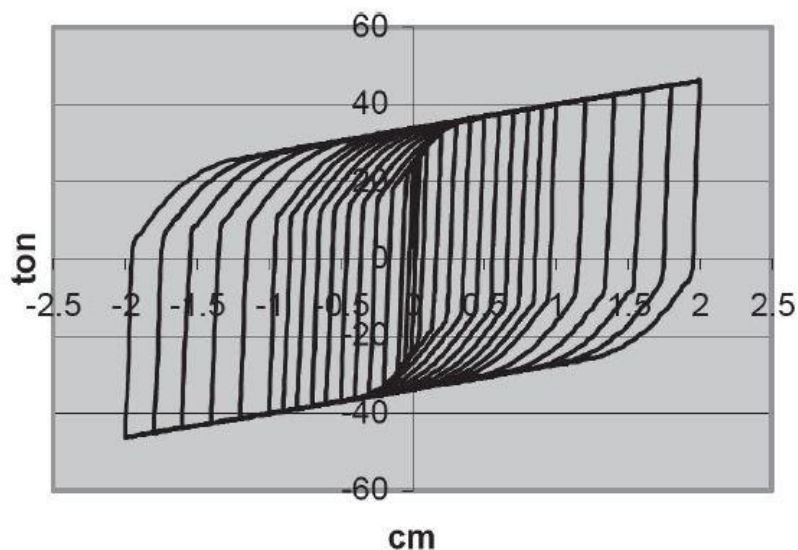
مود اول	مود دوم	مود سوم	مود چهارم	مود پنجم
۴۱۰ تن	۸۴۶ تن	۱۶۱۳ تن	۲۴۴۰ تن	۲۴۹۰ تن

۲-۱-۳-۲. مدل بهشتی

در مدل پیشنهادی بهشتی، برای تامین شکل پذیری لازم علاوه بر حلقه مانیسمان (بدون درز) از تسمه‌هایی با نام تجاری LYS استفاده شده است (شکل ۱۰-۲) [۱۹]. همانطور که در شکل ۱۱-۲ ملاحظه می‌شود منحنی هیستریسیس نیرو-تغییر مکان المان پیشنهادی بهشتی دارای پهنای خوبی بوده که نشان دهنده عملکرد مناسب مدل در جذب انرژی می‌باشد.



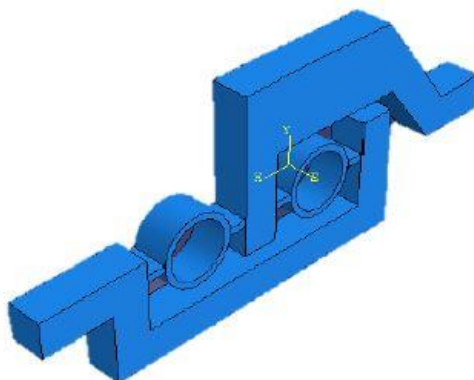
شکل (۱۰-۲). المان پیشنهادی بهشتی [۱۹]



شکل (۱۱-۲). منحنی هیسترسیس نیرو- تغییرمکان [۱۹]

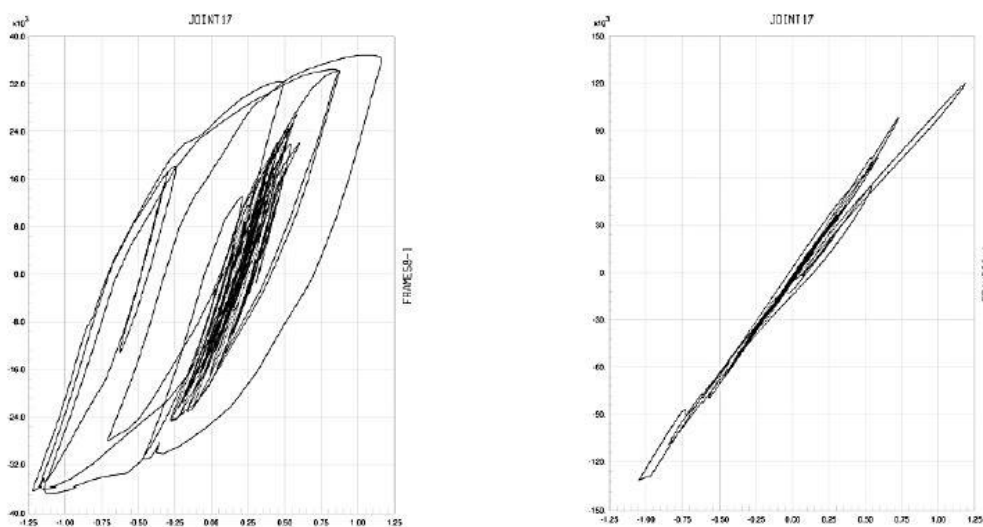
۲-۳-۱-۳. مدل میرزاآقایی

مدل پیشنهادی میرزاآقایی مطابق شکل ۲-۱۲ متشکل از دو حلقه از جنس مانیسمان (بدون درز) و المان چنگکی شکل می‌باشد [۲۰]. برای بررسی عملکرد المان پیشنهادی، یک قاب دو بعدی مهاربندی شده در چهار طبقه با پنج دهانه را یک مرتبه با مهاربند معمولی و در مرتبه دوم با استفاده از مهاربند دارای المان پیشنهادی، در نرم‌افزار سپ^۱مدل کرده و تحت تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی قرار دادند.



شکل (۱۲-۲). المان پیشنهادی میرزاآقایی [۲۰]

منحنی‌های هیسترسیس نیروی مهاربند در طبقه همکف به تغییرمکان بام در شکل (۲-۱۳) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، منحنی هیسترسیس مهاربند شامل حلقه‌های تسلیم‌شونده بسیار پهن‌تر از مهاربند معمولی بوده و میزان استهلاک انرژی در این مهاربندها خیلی بیشتر می‌باشد [۲۰].



شکل (۲-۱۳). منحنی هیسترسیس نیرو- تغییرمکان طبقه همکف در زلزله ال سنترو سمت چپ) قاب با مهاربندی معمولی سمت راست) قاب با اتصال پیشنهادی [۲۰]

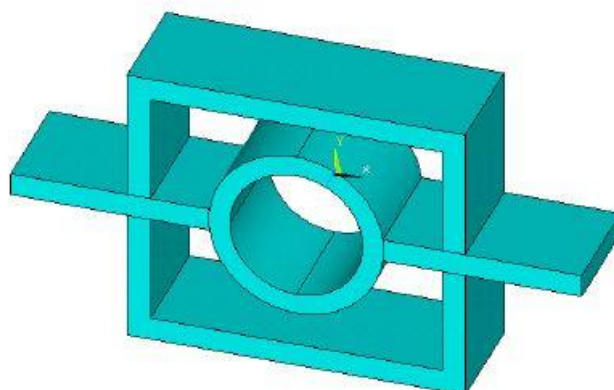
در جدول ۲-۲ میزان تغییرمکان بام و برش پایه در هر دو سازه با مهاربند معمولی و مهاربند شامل حلقه‌های تسلیم‌شونده ارائه شده است. مشاهده می‌شود که میزان برش پایه در قاب با مهاربند شامل حلقه‌های تسلیم‌شونده، حدود ۳۵٪ برش پایه در قاب با مهاربند معمولی است. همچنین میزان تغییرمکان بام در قاب با مهاربند شامل المان پیشنهادی کمتر از قاب با مهاربند معمولی می‌باشد [۲۰]. در ادامه المان پیشنهادی توسط سلیم بهرامی مورد بررسی قرار خواهد گرفت که المان مورد استفاده در روند این پژوهش می‌باشد.

جدول (۲-۲). میزان تغییر مکان بام و برش پایه در زلزله

زلزله	قاب	برش پایه (ton)	تغییر مکان (cm)
ال سنتر	مهاربند با اتصال پیشنهادی	۲۸/۵۰	۷/۷۵
	مهاربند معمولی	۹۸/۹	۸/۷۱
چی چی	مهاربند با اتصال پیشنهادی	۳۰/۹۶	۱۱/۱۴
	مهاربند معمولی	۹۸/۱۷	۱۶/۲۶
کوبه	مهاربند با اتصال پیشنهادی	۲۸/۵۷	۷/۰۷
	مهاربند معمولی	۶۰/۹	۵/۱۰

۲-۳-۱-۴. مدل سلیم بهرامی

المان مورد نظر مطابق شکل ۲-۱۴ از یک حلقه به قطر D ، طول L و ضخامت t و دو صفحه اتصال که برای اتصال دو نیم قوطی به حلقه استفاده می‌شوند، تشکیل شده است [۲۱].



شکل (۲-۱۴). المان پیشنهادی سلیم بهرامی [۲۱]

یکی از پارامترهای موثر در انتخاب حلقه فولادی، مشخصات نوع فولاد آن است. از آنجاییکه حلقه فولادی به عنوان عضو شکل‌پذیر مورد استفاده قرار می‌گردد، ارجح است که نوع فولاد آن نرم و شکل‌پذیری آن زیاد باشد. فولاد نرم، فولادی با تنش تسلیم کمتر از ۲۰۰ نیوتن به میلی‌متر مربع و کرنش نهایی بیشتر از ۴۰ درصد است (اگرچه فولاد مورد نظر دارا مشخصات فولاد نرم نبوده، ولی برای بررسی عملکرد المان پیشنهادی در این مرحله مناسب به نظر می‌رسد) [۲۲]. همچنین صفحه اتصال از جنس فولاد

St37 در نظر گرفته شده است. مشخصات مکانیکی اعضا، همچون تنش و کرنش نهایی، تنش تسلیم در جدول ۳-۲ آورده شده است.

جدول (۳-۲). مشخصات مکانیکی اعضای المان سلیم بهرامی [۲۱]

	مدول الاستیسیته (kg/cm ²)	ضریب پواسون ν	کرنش نهایی ε _u	تنش تسلیم F _y (kg/cm ²)	تنش نهایی F _u (kg/cm ²)
حلقه	۲۰۰۰۰۰	۰/۳	۰/۲۱	۳۰۰۰	۴۸۰۰
St37	۲۱۰۰۰۰	۰/۳	۰/۲۶	۲۴۰۰	۳۷۰۰

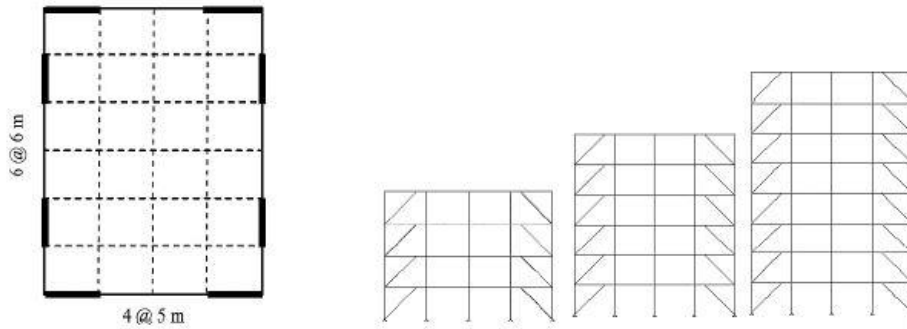
سلیم بهرامی به مقایسه المان پیشنهادی خود و المان با حلقه تک (مدل کافی) پرداخته است. ابعاد المان‌های مورد ارزیابی بدین صورت آمده است؛ یک حلقه مانیسما با قطر ۲۲ سانتی‌متر و ضخامت ۱/۲ سانتی‌متر و طول ۱۰ سانتی‌متر به همراه دو نیم قوطی به ضخامت ۲ سانتی‌متر و طول ۱۰ سانتی‌متر و المان متشکل از یک حلقه مانیسما با قطر ۲۲ سانتی‌متر و ضخامت ۱/۲ سانتی‌متر و طول ۱۰ سانتی‌متر.

هر دو المان تحت بارگذاری آیین‌نامه ATC24 [۲۳] قرار گرفتند. با توجه به نتایج بدست آمده اولین مفصل پلاستیک حلقه در بار ۹/۴۳ تن و در محل اتصال حلقه به صفحه اتصال تشکیل شده است. مقایسه نتایج بدست آمده از المان پیشنهادی با نتایج حاصله از کار آزمایشگاهی [۲۲] نشان می‌دهد، که مقدار جذب انرژی در المان پیشنهادی ۲/۷۳ برابر شده است که حاکی از افزایش شکل‌پذیری این المان است.

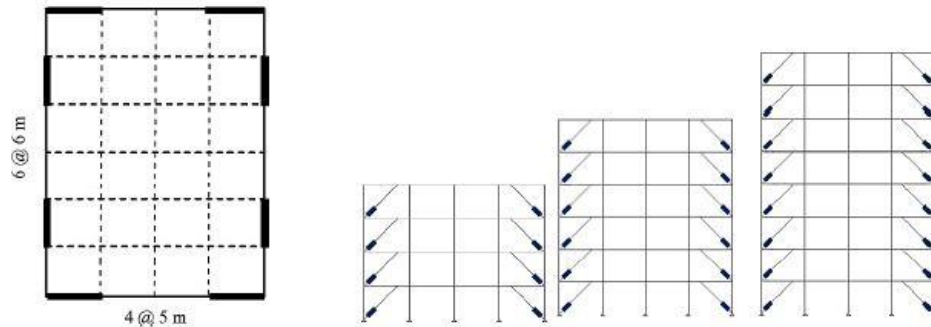
$$\frac{(E_p)_{with-box}}{(E_p)_{without-box}} = 2.73 \quad (1-2)$$

همچنین جهت بررسی عملکرد لرزه‌ای المان مورد نظر، قاب‌هایی با تعداد طبقات ۴، ۶ و ۸ که بصورت واگرا مهاربندی شده‌اند (شکل ۲-۱۵)، تحت شتاب زلزله‌های امپریال^{۳۲}، نورث‌ریج^{۳۳} و طبس قرار داده شدند. نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۴-۲ آمده است [۲۱].

³ Imperial 2
³ Northridge 3



(الف)



(ب)

شکل (۲-۱۵). آرایش مهاربندی واگرا ۴، ۶ و ۸ طبقه (الف) بدون المان شکل پذیر (ب) با المان شکل پذیر [۲۱]

جدول (۲-۴). مقایسه میزان حداکثر برش پایه و تغییر مکان بام با مهاربندی واگرا دارای المان پیشنهادی وبدون آن [۲۱]

رکورد زلزله	بدون المان پیشنهادی		با المان پیشنهادی		اختلاف برش پایه (%)	اختلاف حداکثر تغییر مکان بام (%)
	برش پایه (Kg)	حداکثر تغییر مکان بام (cm)	برش پایه (Kg)	حداکثر تغییر مکان بام (cm)		
طبقه ۴						
امپریال	۲۹۷۰۸/۵۹	۰/۴۲	۱۱۱۷۱/۴۴۲	۰/۳۲	- ۶۲/۳۹	- ۲۴/۸۴
نورث ریچ	۵۷۷۳۰/۶۱	۰/۸۱۴	۱۶۲۳۷/۲۷	۰/۷۴	- ۷۱/۸۷	- ۸/۶۹
طیس	۱۰۲۴۰/۵۱۹	۰/۱۳۵	۷۱۶۱/۹۸۷	۰/۱۲	- ۳۰/۰۶	- ۱۰/۴۳
میانگین اختلاف					- ۵۴/۷۷	- ۱۴/۶۵
طبقه ۶						
امپریال	۳۲۸۷۱/۲۷۳	۰/۷۴۲	۱۴۷۳۳/۸۸	۰/۹۸۶	- ۵۵/۱۷	۳۲/۹۷
نورث ریچ	۴۱۶۵۵/۳۲۹	۱/۰۵۴۴	۱۴۹۰۳/۶۶۲	۰/۹۵۳	- ۶۴/۲	- ۹/۵۷
طیس	۱۱۲۰۴/۲۷	۰/۲۹۰	۸۱۶۹/۵۲۸	۰/۲۵۹	- ۲۷/۱	- ۱۰/۱۸
میانگین اختلاف					- ۴۸/۸۲	- ۴/۱۹
طبقه ۸						
امپریال	۳۹۲۴۶/۳۰۳۹	۱/۴۴	۱۵۲۷۷/۸۵۸	۱/۴۰۳	- ۶۰/۱۸	- ۲/۶۵
نورث ریچ	۴۱۵۸۰/۷۱۴	۱/۳۱۱	۱۳۷۱۷/۱۴۸	۱/۱۷۸	- ۶۷	- ۱۰/۱
طیس	۱۹۱۹۶/۳۵۶	۰/۷۵۷	۸۲۵۴/۷۹۴	۰/۳۵۸	- ۵۶/۹	- ۵۲/۷
میانگین اختلاف					- ۶۱/۶	- ۲۱/۸
میانگین از کل میانگین های اختلاف					- ۵۵/۰۷	- ۱۰

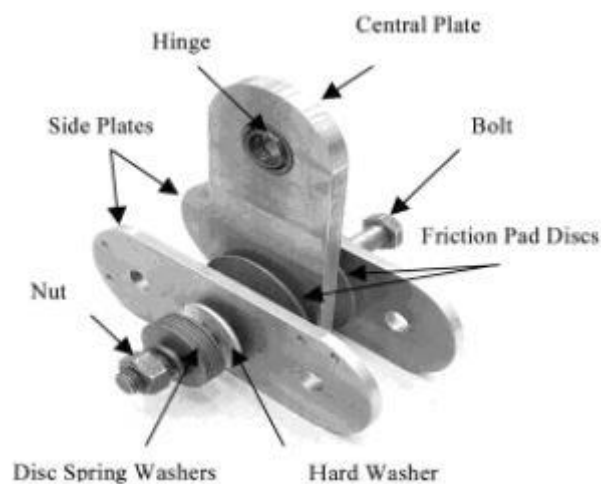
نتایج بدست آمده از جدول نشان می‌دهد که وجود المان پیشنهادی در مهاربند واگرا منجر به کاهش برش پایه در حدود ۵۵٪ نسبت به حالت قاب با مهاربند واگرای معمولی شده است. همچنین میزان کاهش حداکثر تغییرمکان بام در حالت وجود المان پیشنهادی در حدود ۱۰٪ حالت مهاربند واگرای معمولی می‌باشد.

۲-۳-۲. نمونه‌های استفاده از سیستم‌های کنترلی در سکوه‌های شابلونی

با توجه به هدف‌گذاری و موضوع اصلی این پژوهش که استفاده از عناصر شکل‌پذیر در سکوه‌های شابلونی است، و قرار گرفتن این عناصر در میان سیستم‌های کنترلی سازه، در ادامه به چند نمونه از فعالیت‌های انجام شده به کمک این سیستم‌ها پرداخته خواهد شد.

۲-۳-۲-۱. بهسازی لرزه‌ای سکوی شابلونی رسالت به کمک میراگر اصطکاکی

کماچی و همکاران [۲۴] روند بهسازی لرزه‌ای سکوی شابلونی رسالت را با استفاده از میراگر اصطکاکی مورد بررسی قرار دادند. مشخصات میراگر اصطکاکی مورد استفاده که بر اساس ایده میوالا [۲۵] [۲۶] حاصل شده است در شکل ۱۶-۲ آمده است.

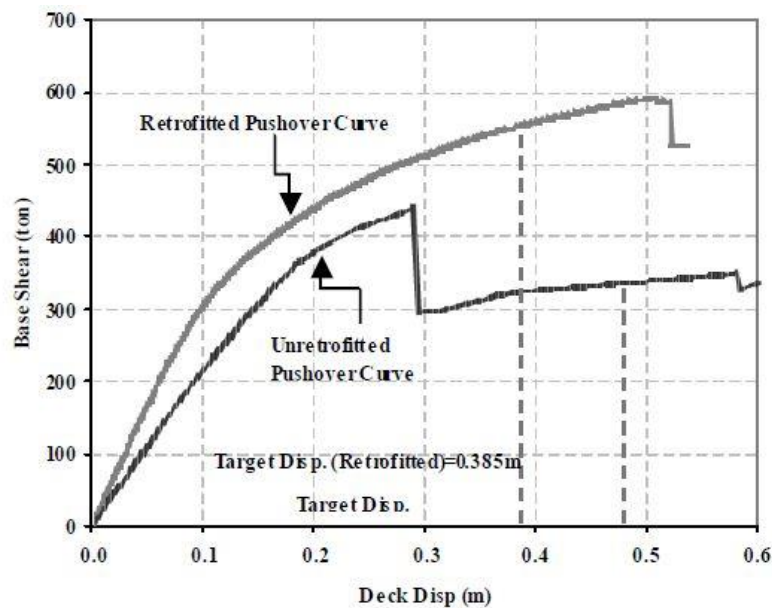


شکل (۱۶-۲). اجزاء میراگر اصطکاکی [۲۵]

عملکرد میراگر بدین صورت است که با تحریک قاب، سیستم مهاربند به کار می‌افتد و با ایجاد نیروی اصطکاکی در سطوح تماس میراگر در مقابل حرکت مقاومت می‌کند. برای مدل‌سازی از برنامه اوپنسیس [۲۷] استفاده شده است.

مطابق با نتایج حاصل از شکل ۲-۱۷ نشان می‌دهد که افزودن میراگر به سکو به نحو مناسبی عملکرد آن را به خصوص در محدوده غیرخطی بهبود بخشیده است. در این شکل نمودار پوش‌آور سکو برای دو حالت با و بدون میراگر با یکدیگر مقایسه شده است. ملاحظه می‌شود که افت شدید مقاومت در سازه رخ نمی‌دهد و مشخص می‌شود که در محدوده غیرخطی تاثیر میراگر بسیار زیاد است.

در جدول ۲-۵ مقادیر جابجایی هدف برای حالت‌های با و بدون میراگر، که به روش طیف-ظرفیت بدست آمده است نشان داده شده است.

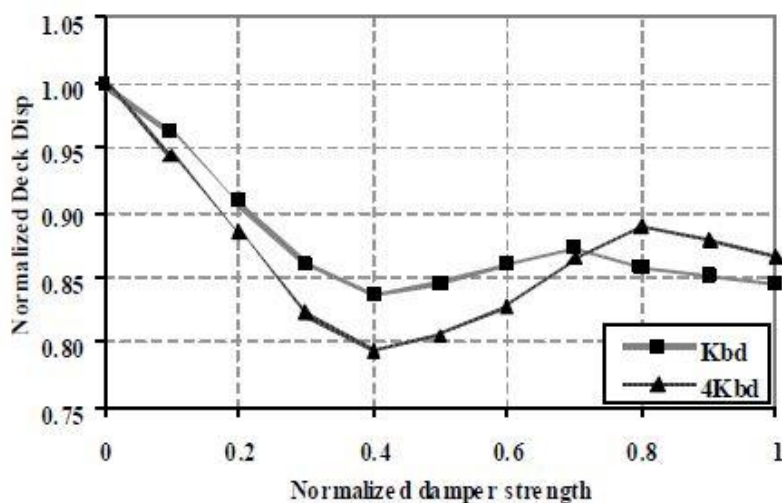


شکل (۲-۱۷). منحنی‌های پوش‌آور سکو در حالت‌های با و بدون میراگر [۲۴]

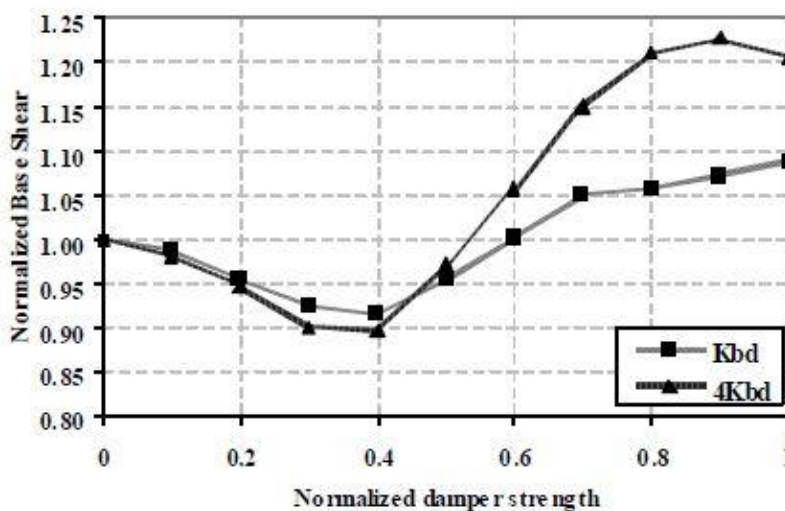
جدول (۲-۵). مقدار جابجایی هدف برای سکو در حالت با و بدون میراگر بر مبنای روش طیف-ظرفیت ای.تی.سی ۴۰ [۲۴]

سازه	سکو با میراگر	مقدار کاهش	سکو با میراگر	مقدار کاهش	
بدون میراگر	در ۳ تراز	(%)	در ۵ تراز	(%)	
۰/۲۴۵	۰/۲۲۸	۷	۰/۲۰۹	۱۴/۷	10% in 50years Eq
۰/۳۲۰	۰/۳۱۳	۲/۲	۰/۲۸۶	۱۰/۶	10% in 50years Eq
۰/۴۸۰	۰/۴۱۳	۱۴	۰/۳۸۵	۱۹/۸	10% in 50years Eq

در شکل‌های ۱۸-۲ و ۱۹-۲ به ترتیب تغییرات مقادیر نرمال شده جابجایی عرشه و برش پایه با تغییرات مقدار مقاومت نرمال شده میراگر، برای رکورد ال‌سنتر و به شتاب بیشینه $3/4 m/s^2$ نشان داده شده است. دو مقدار برای سختی میراگر فرض شده است. K_{bd} مطابق با سطح مقطع میله‌ها برای حالتی است که نسبت سختی یک را برای هر یک از ترازها نتیجه دهد.

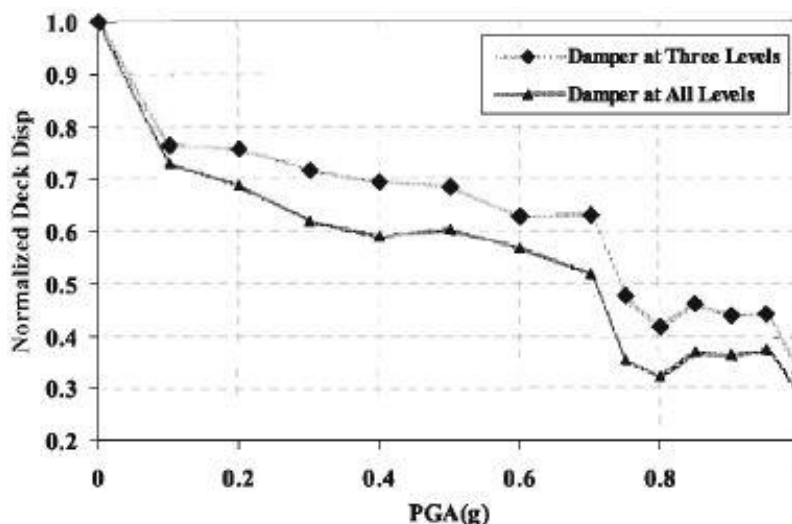


شکل (۱۸-۲). مقادیر نرمال شده جابجایی عرشه بر حسب مقاومت نرمال شده میراگر برای رکورد EIC-NS [۲۴]



شکل (۱۹-۲). مقادیر نرمال شده برش پایه بر حسب مقاومت نرمال شده میراگر برای رکورد EIC-NS [۲۴]

در شکل ۲-۲۰ مقادیر پاسخ‌های نرمال شده سکوی مد نظر برای مقادیر مختلف شتاب بیشینه رکورد در شکل ۲-۲۰ رسم شده است. ملاحظه می‌شود که عملکرد سکوی با میراگر در تمام ترازها، بطور متوسط تا ۱۰ درصد بهتر از سکوی با میراگر در ۳ تراز است.



شکل (۲-۲۰). مقادیر نرمال شده جابجایی عرشه بر حسب شتاب بیشینه رکورد [۲۴] CHY101W

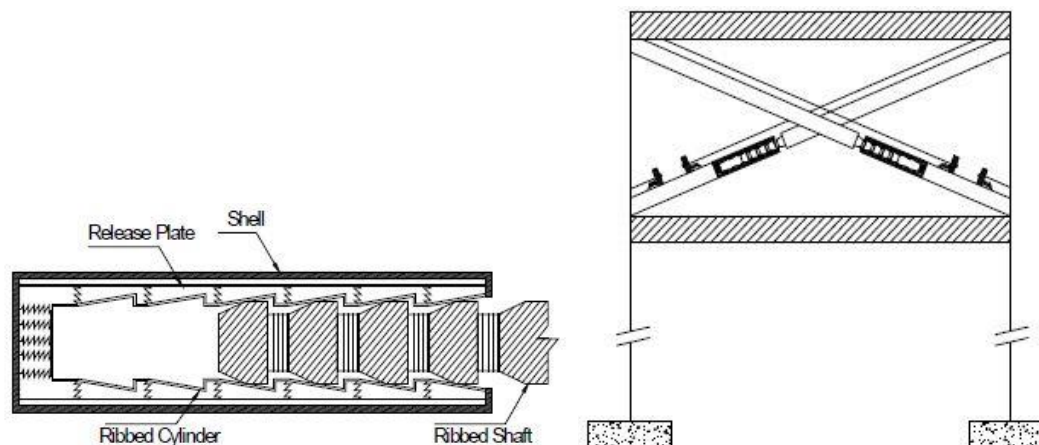
با توجه به نتایج حاصل، استفاده از میراگر اصطکاکی با توجه به مواردی مانند هزینه کم، نصب و نگهداری آسان و عملکرد مناسب، می‌تواند یک گزینه مناسب برای بهسازی سکوهایی موجود در مقابل بارهای شدید مانند زلزله باشد.

۲-۲-۳-۲. بررسی عملکرد سکوی شابلونی رسالت مجهز به سیستم مهار دندانه‌ای RBS در برابر زلزله

علی‌اکبر گل‌افشانی و همکاران [۲۸] به بررسی تاثیر استفاده از مهاربند دندانه‌ای RBS پرداختند. این سیستم که شامل یک مکانیزم ساده مبتنی بر کنترل نیمه‌فعال است توسط علی‌اکبر گل‌افشانی و همکاران جهت استفاده در قاب‌های ساختمانی ارائه گردید [۲۹].

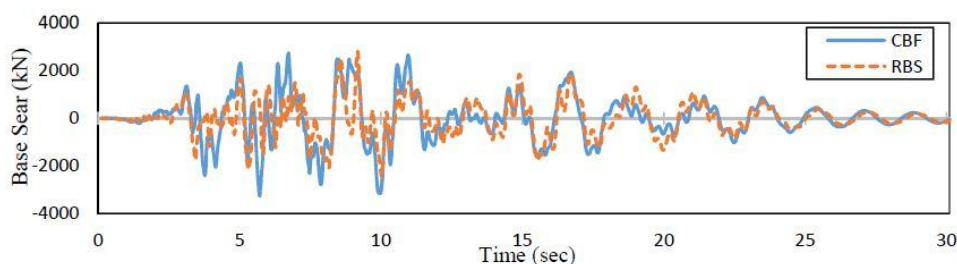
این سیستم مهاربندی متشکل از یک قطعه الحاقی است که از فولاد با مقاومت بالا ساخته می‌شود. با نصب این قطعه بر روی مهاربندهای معمولی، سیستم حاصل با رفتار ویژه‌ای که دارد سبب کاهش پاسخ

سازه می‌گردد. مزیت استفاده از این سیستم حل مشکل کمانش بادبندهای فلزی و افزایش ظرفیت جذب انرژی بدون نیاز به تغییر مکان نسبی زیاد در طبقات است (شکل ۲-۲۱).

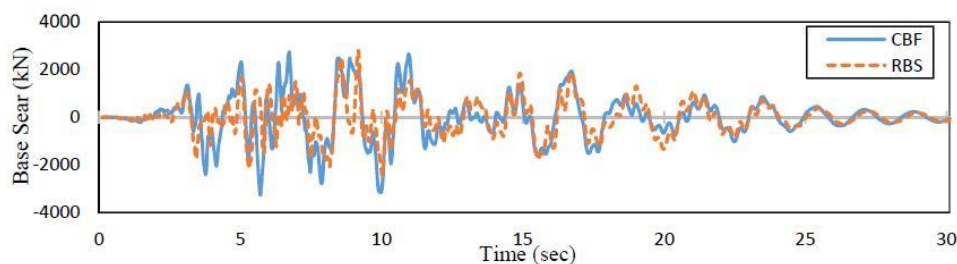


شکل (۲-۲۱). قطعه الحاقی ارائه شده توسط گل‌افشانی و همکاران و نحوه جانمایی آن در قاب [۲۸]

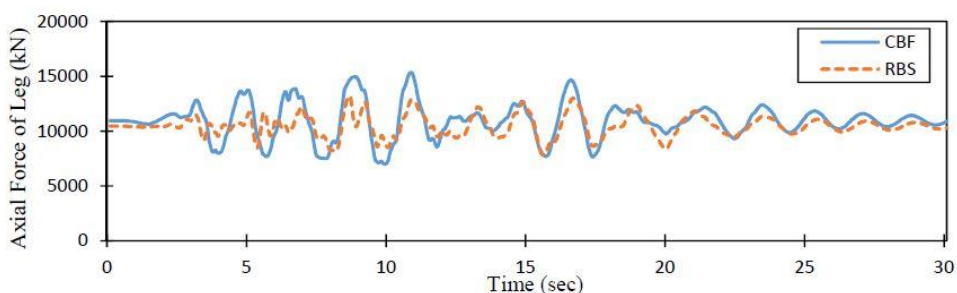
علی‌اکبر گل‌افشانی و همکاران با استفاده از نوعی مهاربند دندانه‌ای تحت عنوان CC-RBS در صد بررسی تاثیرات آن بر عملکرد سکوی رسالت برآمدند؛ بطوریکه سکوی مورد نظر را در دو حالت با مهاربند معمولی و مهاربندهای RBS تحت تحریک زلزله یکسان نورث‌ریچ قرار دادند و آنالیز تاریخیچه زمانی بر روی آن‌ها به کمک نرم‌افزار OpenSees صورت گرفت. همچنین جهت مشاهده عملکرد مهاربند RBS در شتاب‌های مختلف، رکورد زلزله استفاده شده به $0.2g$ تا $0.4g$ و با فاصله‌های $0.05g$ مقیاس شده و بطور جداگانه به سکوی دارای مهاربند معمولی و مهاربند RBS اعمال شده است. نتایج حاصل از انجام آنالیز تاریخیچه زمانی تحت رکورد زلزله نورث‌ریچ بر روی دو سکو، در شکل‌های زیر ارائه گردیده است:



شکل (۲-۲۲). مقایسه حداکثر تغییر مکان قسمت فوقانی سکو با مهاربند معمولی و سکو مجهز به مهاربند RBS [۲۸]



شکل (۲-۲۳). مقایسه نیروی برش پایه‌های سکو با مهاربند معمولی و مهاربند مجهز به مهاربند RBS [۲۸]



شکل (۲-۲۴). مقایسه نیروی محوری پایه‌های سکو با مهاربند معمولی و سکو مجهز به مهاربند RBS [۲۸]

جدول (۲-۶). خلاصه نتایج حاصل از مقایسه سکو در دو حالت مجهز به مهاربند معمولی و مجهز به مهاربند RBS

تحت رکورد زلزله نورث‌ریج [۲۸]

مشخصه	سکو دارای مهاربند معمولی	سکو دارای مهاربند RBS	درصد کاهش
حداکثر تغییر مکان قسمت فوقانی سکو (cm)	۱۵/۵۳	۱۳/۱۵	۱۵/۳۳
حداکثر نیروی برش پایه سکو (kN)	۳۲۷۲/۵۶	۲۸۰۱/۷۳	۱۴/۳۹
حداکثر نیروی محوری پایه سکو (kN)	۱۵۳۴۸/۸۳	۱۳۲۰۳/۷۴	۱۳/۹۸

جدول (۲-۷). خلاصه نتایج حاصل از مقایسه سکو در دو حالت مجهز به مهاربند معمولی و مجهز به مهاربند RBS

تحت رکورد زلزله نورث‌ریج مقیاس شده به PGA های مختلف [۲۸]

PGA	حداکثر جابجایی قسمت فوقانی سکو		حداکثر نیروهای برشی پایه‌های سکو		حداکثر نیروهای محوری پایه سکو		درصد کاهش
	RBS	CBF	درصد کاهش	RBS	CBF	RBS		CBF
۰/۲	۷/۴۲	۸/۵۷	۱۳/۴۲	۱۷۳۸/۴۹	۱۹۹۲/۶۲	۱۰۸۴۱/۱	۱۲/۵۷
۰/۳۵	۹/۲۵	۱۰/۷۶	۱۴/۰۳	۲۱۶۰/۰۳	۲۴۹۰/۳۸	۱۱۷۴۰/۶	۱۳/۰۳
۰/۳	۱۱/۰۴	۱۲/۹۵	۱۴/۷۵	۲۵۷۴/۳۲	۲۹۸۵/۲۴	۱۲۵۳۵/۵	۱۳/۵۵
۰/۳۵	۱۲/۹۲	۱۵/۲۴	۱۵/۲۲	۲۷۶۱/۵۵	۳۲۲۰/۷۸	۱۳۰۸۷/۹	۱۳/۹
۰/۴	۱۵/۴۷	۱۸/۳۶	۱۵/۷۴	۲۹۴۷/۱۵	۳۴۹۶/۷۱	۱۳۷۱۱/۲	۱۴/۳۱

با مشاهده نتایج ارائه شده در جدول ۲-۷ ملاحظه می‌گردد که با افزایش مقدار PGA رکورد زلزله

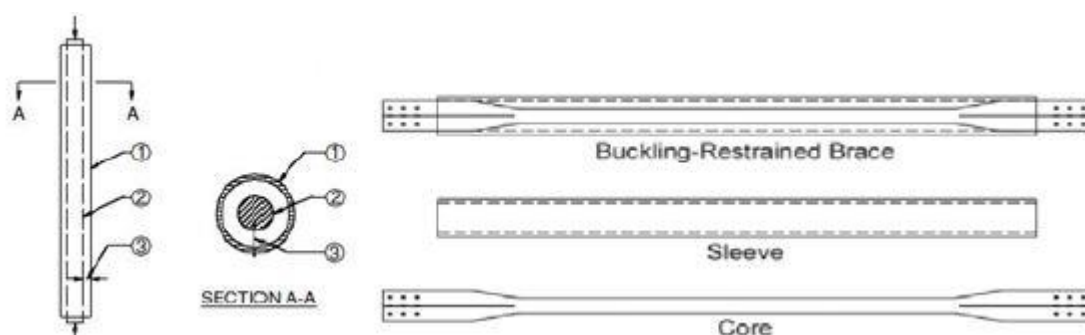
اعمالی، عملکرد و کارایی مهاربند RBS افزایش می‌یابد. همچنین با مقایسه نتایج مربوط به آنالیز

تاریخچه زمانی مشخص شده است که استفاده از این سیستم به نحو مطلوبی عملکرد سازه را بهبود می‌بخشد.

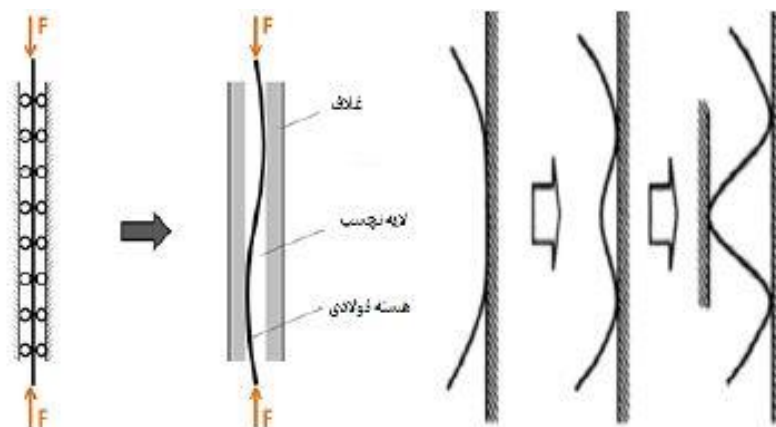
۲-۳-۲-۳. بررسی عملکرد سکوی شابلونی رسالت مجهز به مهاربند کمانش تاب (RBR) تحت اثر بار زلزله

علی‌اکبر گل‌افشانی و همکاران [۳۰] با استفاده از سیستم مهاربند کمانش تاب (RBR) به بررسی عملکرد سکو در برابر بار زلزله پرداختند. این سیستم مهاربندی از نوع کنترل غیرفعال است، این سیستم تحت فشار کمانش نمی‌کند و می‌تواند در کشش و فشار جاری شود، به این ترتیب بصورت هیسترسیس انرژی را مستهلک می‌کند.

این مهاربند از هسته فولادی محصور شده در غلاف بتن و فولاد تشکیل می‌شود. هسته فولادی شکل‌پذیر است، به نوعی که در کشش و فشار جاری می‌شود. برای جلوگیری از کمانش کلی مهاربند، هسته داخل یک غلاف فولادی قرار می‌گیرد و بین آن‌ها با ملات یا بتن پر می‌شود. به منظور جلوگیری از دخالت غلاف در تحمل نیروی محوری، میان هسته و بتن ماده‌ای نجسب و یا گپ در نظر گرفته می‌شود، به گونه‌ای که هسته به راحتی درون غلاف بلغزد [۳۱].

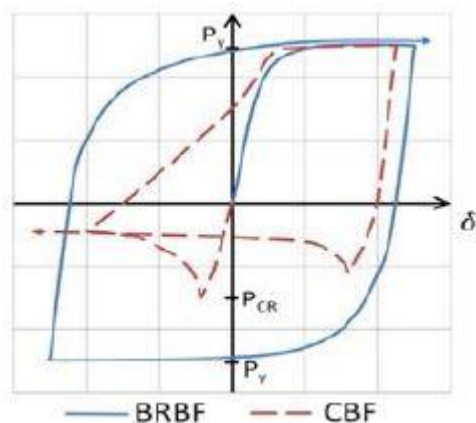


شکل (۲-۲۵). (راست) هسته و غلاف در مهاربند کمانش تاب، (چپ) قسمت‌های مختلف مهاربند کمانش تاب [۳۱]
 مطابق شکل زمانیکه هسته تحت فشار قرار می‌گیرد، غلاف از کمانش کلی هسته جلوگیری می‌کند و هسته را به کمانش در موده‌های بالاتر وا می‌دارد، به این ترتیب هسته می‌تواند در فشار جاری شود (شکل ۲-۲۶).



شکل (۲-۲۶). نحوه عملکرد مهاربند کمانش تاب تحت نیروی فشاری [۳۱]

در شکل زیر رفتار هیسترتیک یک مهاربند کمانش تاب با مهاربند معمولی مقایسه شده است. با توجه به شکل ۲-۲۷، مهاربند کمانش تاب دارای چرخه متقارن است، این به این معناست که مهاربند در کشش و فشار رفتاری مشابه دارد و می‌تواند هم در کشش و هم در فشار جاری شود. همچنین مساحت مربوط به چرخه هیسترتیس این نوع مهاربند نسبت به مهاربند متداول بیشتر است، بنابراین انرژی بیشتری را جذب و مستهلک می‌کند.



شکل (۲-۲۷). مقایسه رفتار هیسترتیس مهاربند معمولی (خط چین) و مهاربند کمانش تاب (خط ممتد) [۳۰]

گلافشانی و همکاران جهت بررسی این نوع مهاربند، سکوی رسالت را که نوعی سکوی شابلونی محسوب می‌آید مورد مطالعه قرار دادند، بطوریکه با حذف مهاربندهای بالاترین تراز سکوی مورد نظر و جایگزینی آن با مهاربندهای کمانش تاب (با مقطع مشابه) و تحریک مجموعه بوسیله زلزله طبس، آنالیز تاریخیچه

زمانی را در هر دو حالت با یکدیگر مقایسه کردند. رکورد زلزله طبس به PGAهای ۰/۴g و ۰/۴۵g و ۰/۵g مقیاس شده و به سکو در هر دو حالت اعمال شده است. در جدول ۲-۸ خلاصه‌ای از مقایسه دو حالت سکو با مهاربند کمانش تاب و با مهاربند متداول آورده شده است.

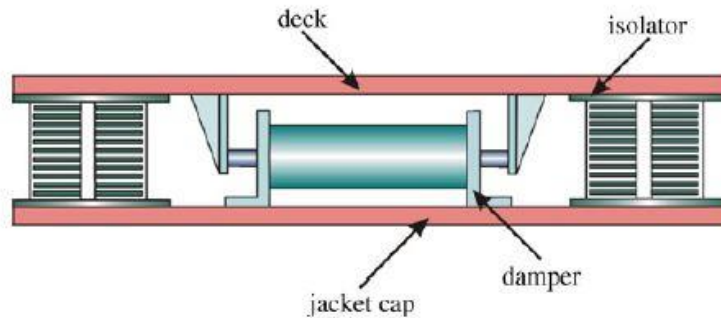
با توجه به نتایج تحلیل‌ها با افزایش مقدار PGAهای رکورد زلزله، مقدار پاسخ‌های سکو افزایش می‌یابد و منجر به کمانش مهاربند معمولی در بالاترین تراز می‌شود؛ و به این ترتیب مهاربند RBR با حذف کمانش، رفتار مناسبی در سکو ایجاد می‌کند. بنابراین با توجه به نتایج، مهاربند کمانش تاب گزینه مناسبی برای طراحی سکوه‌های جدید و همچنین جهت بهسازی سکوه‌های موجود در مقابل زلزله‌های شدید بوده است.

جدول (۲-۸). مقادیر حداکثر پاسخ سکوی معمولی و سکوی مجهز به مهاربند کمانش تاب تحت اثر زلزله طبس [۳۰]

حداکثر نیروی برش پایه (N)			حداکثر جابجایی عرشه (m)			PGA(g)
درصد کاهش	Equipped - BRB	Ordinary	درصد کاهش	Equipped - BRB	Ordinary	
-0.9	10053200	9959200	1.0	0.476	0.481	0.4
-1.8	10828600	10639000	1.9	0.518	0.528	0.45
-2.3	11465200	11211000	26.5	0.556	0.756	0.5
حداکثر تنش در محل اتصال مهاربند بالاترین تراز (N)			حداکثر نیروی محوری پایه (N)			PGA(g)
درصد کاهش	Equipped - BRB	Ordinary	درصد کاهش	Equipped - BRB	Ordinary	
27.6	183860000	253896000	-0.1	2219760	2217240	0.4
33.1	194642000	290761000	-0.2	2256060	2250820	0.45
36.0	202608000	316554000	-0.2	2286660	2283030	0.5

۲-۳-۴. بررسی عملکرد لرزه‌ای سکوی شابلونی J20-2MQ مجهز به سیستم میراگر جداکننده^{۳۶}

جینپینگ او^{۳۷} و همکاران [۳۲] با استفاده از روشی که تحت عنوان سیستم میراگر جداکننده از آن نام بردند، که شامل عملکرد ترکیبی از ایزولاتورها و میراگرهای ویسکوز بوده است به بررسی پاسخ لرزه‌ای سکوی J20-2MQ یا استفاده از این سیستم پرداختند (شکل ۲-۲۸).

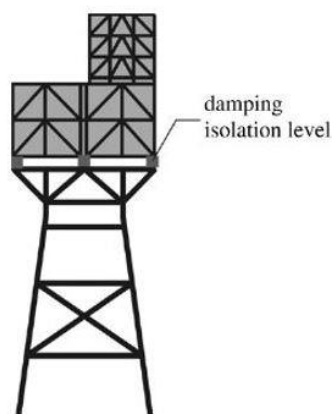


شکل (۲-۲۸). جزئیات سیستم میراگر جداکننده [۳۲]

سکوی J20-2MQ در دریای بوهای^{۳۹} جنوبی‌ترین دریای نیمکره شمالی مستقر می‌باشد. بیشترین شتاب زلزله طراحی برای سازه‌های فراساحل در این ناحیه $0.19g$ و عمق آب جهت طراحی $15/5$ متر لحاظ می‌شود [۳۳]. محل قرارگیری این سیستم بین عرشه و جاکت است بطوریکه در زیر عرشه و بالای جاکت نصب می‌شود، که از این تراز تحت عنوان تراز جداسازی نام برده شده است (شکل ۲-۲۹). در این روش برخلاف روش‌های سنتی استفاده از میراگرها که در تلاش برای تغییر فرکانس طبیعی سکو نسبت به فرکانس غالب زلزله بودند؛ هدف اینگونه بنا شده است که در تراز جداسازی، انرژی لرزه‌ای را اتلاف کنند.

³ Jinping Ou
³ Q.S. Li
³ Bohai Sea

7
 8
 9



شکل (۲-۲۹). نمای کلی و محل قرارگیری سیستم جداکننده در سکوی [۳۲]

او و همکاران جهت ارزیابی سیستم نام برده، به دو روش عملی و نرم‌افزاری به بررسی سیستم مورد نظر پرداختند. آن‌ها در آزمایش عملی از میز لرزه‌ای بهره گرفتند که در مقیاس ۱ به ۱۰ نسبت به سکوی اصلی فراهم آورده شده بود؛ همچنین جهت مدل‌سازی سکوی مورد نظر از نرم‌افزار سکس^۱ استفاده کردند. رکوردهای زلزله استفاده شده در این آزمایش‌ها، رکوردهای مربوط به زلزله‌های آل سنترو، تفت، کوبه و تیانجین بوده است. نتایج حاصل هر یک از دو روش عملی و نرم‌افزاری را می‌توان در شکل‌های ۳۰-۲ و ۳۱-۲ مورد بررسی قرار داد.

Earthquake	Peak acceleration (gal)		Maximum displacement of jacket cap ($\times 10^{-3}$ m)	Maximum inter-story drift of isolate level ($\times 10^{-3}$ m)	Maximum acceleration of deck ($\times 10^{-3}$ m/s ²)
El-Centro	352	Unisolated	9.0	-	5465.8
		Isolated	2.6 (0.71) ^a	9.6	1945.1 (0.64) ^a
		Damping isolated	2.9 (0.68) ^a	2.2	1870.7 (0.66) ^a
Taft	314	Unisolated	11.9	-	7286.1
		Isolated	3.9 (0.67) ^a	14.0	2685.6 (0.63) ^a
		Damping isolated	6.2 (0.48) ^a	4.9	3558.7 (0.51) ^a
Kobe	322	Unisolated	12.9	-	7721.4
		Isolated	3.1 (0.76) ^a	10.0	2091.3 (0.73) ^a
		Damping isolated	5.8 (0.55) ^a	3.7	3376.3 (0.56) ^a
Tianjin	249	Unisolated	12.9	-	7857.9
		Isolated	3.9 (0.70) ^a	15.1	1443.2 (0.82) ^a
		Damping isolated	6.7 (0.48) ^a	4.9	4066.7 (0.48) ^a

^a The measure of the vibration control effectiveness = (Unisolated - Isolated)/Unisolated.

شکل (۲-۳۰). نتایج حاصل از بررسی آزمایشگاهی [۳۲]

Earthquake	Peak acceleration (gal)		Maximum displacement of jacket cap ($\times 10^{-3}$ m)	Maximum inter-story drift of isolate level ($\times 10^{-3}$ m)	Maximum acceleration of deck ($\times 10^{-3}$ m/s ²)
El-Centro	352	Unisolated	9.5	–	4882.2
		Isolated	3.1 (0.67) ^a	9.7	2008.3 (0.59) ^a
		Damping isolated	3.2 (0.66) ^a	1.5	1649.0 (0.66) ^a
Taft	314	Unisolated	13.9	–	7144.8
		Isolated	4.8 (0.65) ^a	14.8	2591.1 (0.64) ^a
		Damping isolated	5.8 (0.58) ^a	2.8	3069.9 (0.57) ^a
Kobe	322	Unisolated	13.2	–	6803.4
		Isolated	3.6 (0.73) ^a	9.9	2081.9 (0.69) ^a
		Damping isolated	6.2 (0.53) ^a	2.2	3247.9 (0.52) ^a
Tianjin	249	Unisolated	14.7	–	7579.1
		Isolated	3.7 (0.75) ^a	9.9	1892.6 (0.75) ^a
		Damping isolated	6.4 (0.56) ^a	3.0	3306.3 (0.56) ^a

^a The measure of the vibration control effectiveness = (Unisolated – Isolated)/Unisolated.

شکل (۲-۳۱). نتایج حاصل از بررسی نرم‌افزاری [۳۲]

نتایج حاصل نشان می‌دهد که سیستم مورد نظر دارای تاثیر بسیار خوبی بوده و عملکرد مؤثری را در کاهش پاسخ دینامیکی سازه ایفا می‌کند؛ بطوریکه تحت اثر زلزله‌های اشاره شده، شتاب بیشینه عرشه و نیز جابجایی نظیر آن به طور میانگین در حدود ۵۵ درصد کاهش یافته است.



مدل سازی

فصل سوم

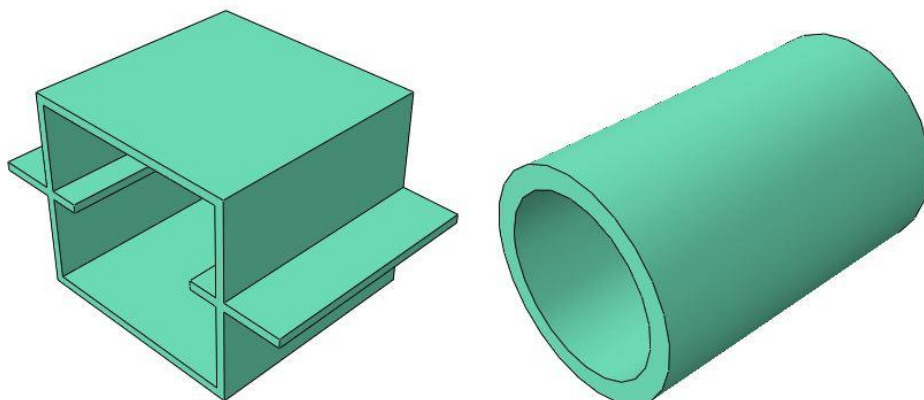
۳-۱. پیشگفتار

سازه‌های فراساحلی تفاوت‌های اساسی با سازه‌های ساخته شده در خشکی دارند. سکوه‌های ثابت شابلونی در معرض بارهای محیطی همچون باد، موج، جریان، زلزله و ... قرار دارند. در حالیکه سازه‌های ساخته شده در خشکی تنها تحت بارهای ثقلی و زلزله و باد می‌باشند و در بسیاری از مواقع این اثرات باید در طراحی سازه در نظر گرفته شوند. از طرفی شالوده‌ی سکوه‌های شابلونی عموماً شمعه‌های لوله‌ای هستند که از داخل پایه‌های سکو عبور کرده و در تراز بستر دریا تا عمق خاصی کوبیده می‌شوند. این شمعه‌ها نیز به نوبه‌ی خود با خاک اطراف خود اثرات اندرکنشی دارند. با توجه به موارد ذکر شده کاملاً مشخص است که مدل‌سازی اینگونه سازه‌ها، فرایندی پیچیده بوده و نیازمند دقت فراوانی می‌باشد. در این فصل روند سکوی ثابت شابلونی مورد تحقیق و میراگر استفاده شده در آن و همچنین فرضیات و ساده‌سازی در نظر گرفته شده جهت تحلیل، در نرم‌افزار المان محدود آباکوس [۳۴] بیان می‌شود.

۳-۲. مدل‌سازی المان شکل پذیر

۳-۲-۱. اجزای المان پیشنهادی

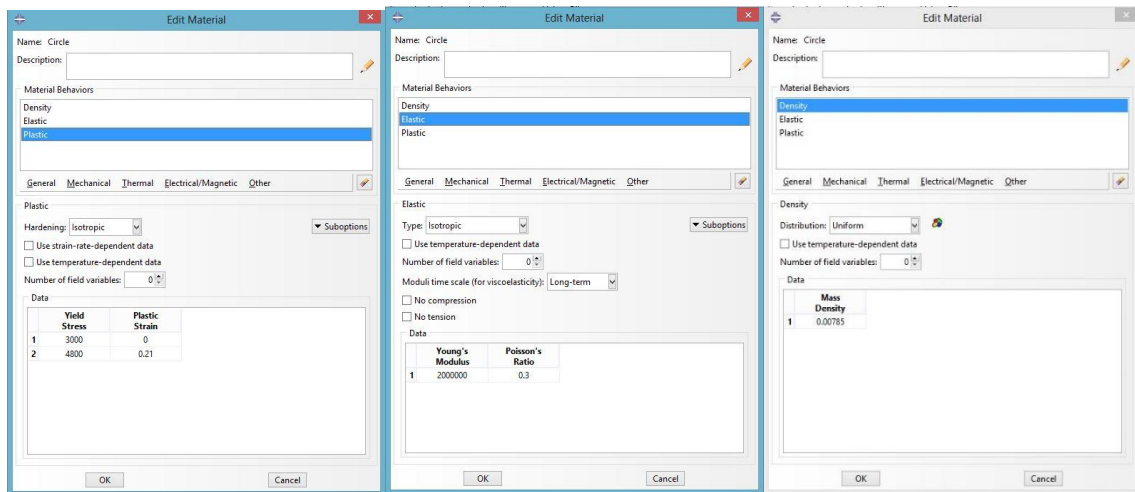
با توجه به المان مورد نظر، این مدل شامل سه بخش لوله، دو نیم قوطی و دو صفحه اتصال می‌باشد که در شکل (۳-۱) به آن‌ها اشاره شده است.



شکل (۳-۱). اجزای مورد استفاده در مدل

۲-۲-۳. تعریف مصالح

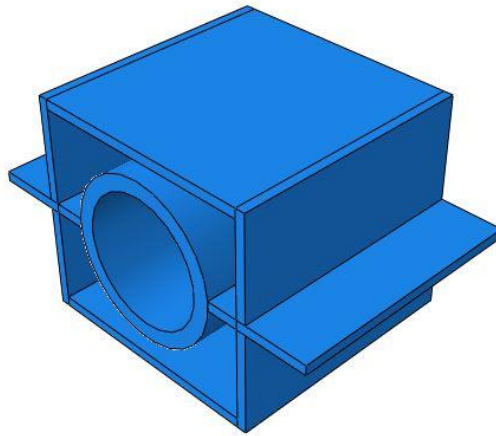
در این مرحله باید مشخصات مصالح مصرفی در المان به نرم‌افزار معرفی گردد، که شامل فولاد CT20 (نام تجاری مانیسمن) برای لوله و فولاد St37 برای قوطی و صفحه‌های اتصال می‌باشد (جدول ۳-۳). در شکل (۲-۳) نحوه وارد کردن مشخصات مصالح جهت حصول نمودارهای تنش- کرنش فولاد مصرفی حلقه آورده شده است.



شکل (۲-۳). مشخصات مصالح فولاد حلقه

۳-۲-۳. نحوه چیدمان اعضا

اعضای معرفی شده در بخش اجزای المان پیشنهادی، را میتوان در این بخش بصورت یکپارچه و مطابق با المان پیشنهادی در شکل (۳-۳) مشاهده کرد.



شکل (۳-۳). نحوه چیدمان اعضا

۳-۲-۴. گام‌ها و روش تحلیل

به منظور مدل‌سازی، تحلیل در دو گام زمانی اولیه و استاتیکی صورت گرفته است. در گام اولیه شرایط کلی حل مسئله تعریف می‌گردد که قابلیت تغییر در گام‌های زمانی بعدی را به نرم‌افزار می‌دهد. همچنین در این بخش می‌بایست گام زمانی را جهت تحلیل نرم‌افزار تعریف نمود که مقدار آن به شرح زیر می‌باشد:

Maximum size of increments = 0.05

Minimum size of increments = 0.001

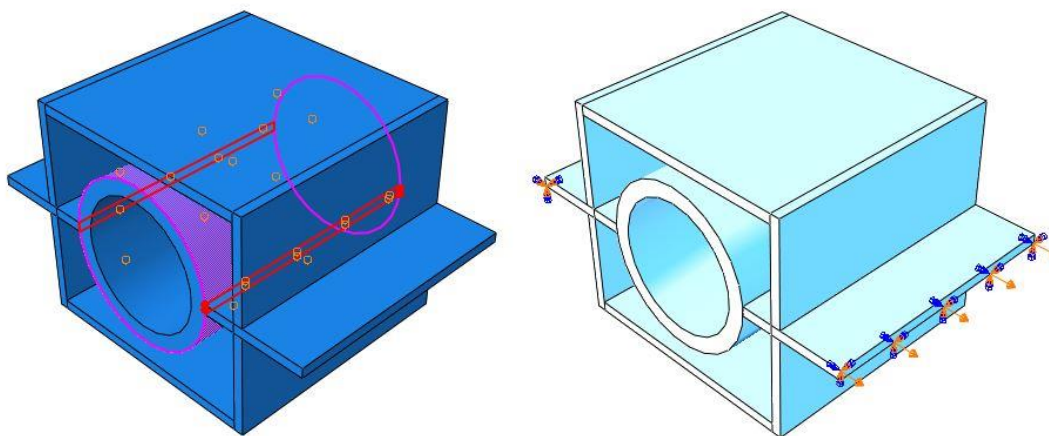
Initial size of increments = 0.002

۳-۲-۵. شرایط مرزی، اندرکنش اجزا و نیروهای اعمالی

با توجه به اینکه تحلیل با استفاده از روش اجزای محدود انجام می‌شود، همچنین مدل مورد تحلیل در این پژوهش از یک سری احجام تشکیل شده است، مدل‌سازی باید به گونه‌ای انجام شود که هر حجم با حجم دیگر حداقل دارای یک فصل مشترک باشد تا در هنگام مش‌بندی مدل، پیوستگی بین اعضا ایجاد گردد و گره‌های المان‌های مجاور در حجم‌های مجاور روی هم قرار گرفته و به اصطلاح، مدل اجزای محدود پیوسته باشد. بنابراین برای اینکه این سطح مشترک در محل اتصال حلقه به صفحه اتصال مهاربند ایجاد شود، نیاز به یک سطح قوسی شکل روی صفحه اتصال بود. برای رفع این مشکل ابتدا

صفحه اتصال به طور کامل مدل شده و سپس یک سیلندر توپر در مرکز صفحه اتصال مدل شده و در آخر با کم کردن سیلندر توپر از کل مدل ساخته شده در این مرحله، سطح قوسی شکل ایجاد گردید. بعد از آن سیلندر و قوطی فولادی با ابعاد مدنظر مدل گردیدند.

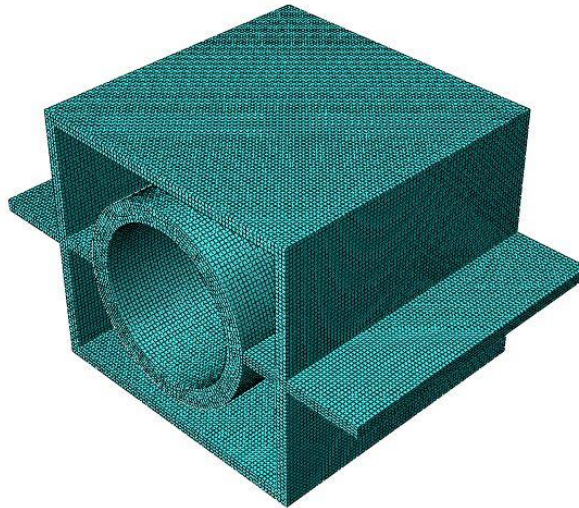
پس از ایجاد ارتباط صحیح بین اجزای مدل باید بارگذاری بر روی تکیه‌گاه‌ها و بر روی صفحه اتصال انجام شود. بنابراین در یک انتهای المان پیشنهادی تمام درجات آزادی به جز جابجایی در جهت افقی، و در انتهای دیگر تمام درجات آزادی مقید شده لحاظ می‌گردد. پروتکل بارگذاری بر اساس آیین‌نامه ATC24 [۲۳] در جهت جابجایی افقی به صورت سیکلی در انتهای المان و بر روی صفحه اتصال اعمال شده است.



شکل (۳-۴). شرایط مرزی و بارهای اعمالی

۳-۲-۶. المان بندی

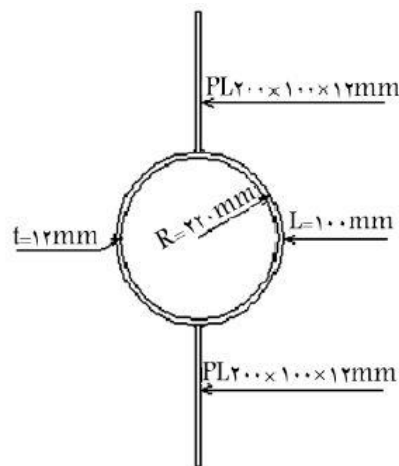
جهت مدل‌سازی بخش شکل‌پذیر و صفحات اتصال از المان‌های حجمی استفاده شده است که یک المان مکعبی ۸ گره‌ای می‌باشد. تلاش شده است تا به منظور دستیابی به جواب‌های دقیق‌تر، ابعاد المان‌ها به گونه‌ای انتخاب شوند که در محل اتصال دو جسم گره‌ها روی یکدیگر بیفتند (شکل ۳-۵).



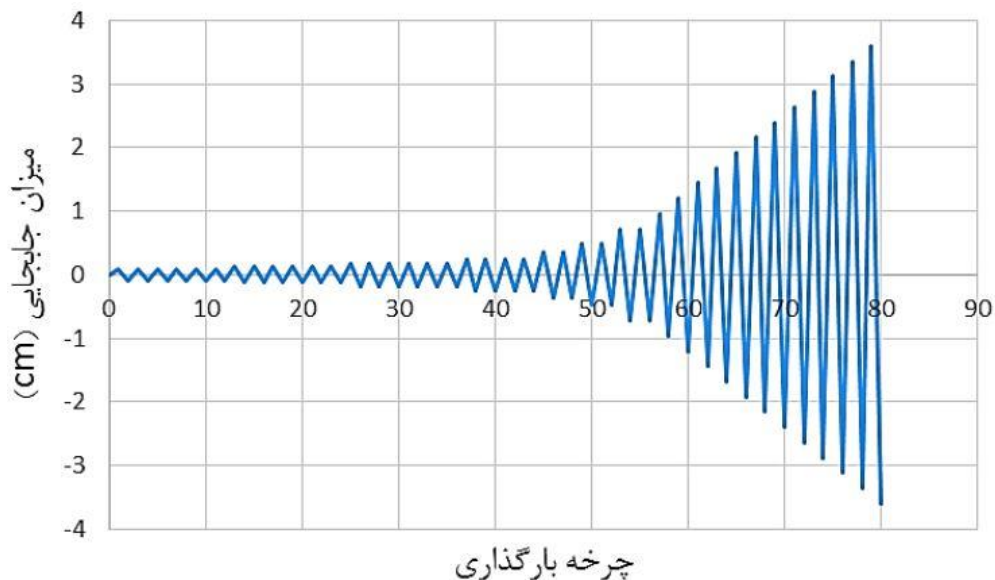
شکل (۳-۵). نحوه آرایش المان بندی

۳-۳. بررسی صحت مدل سازی

برای صحت سنجی مدل المان پیشنهادی در این پژوهش، ابتدا یک حلقه فولادی با توجه به مشخصات مکانیکی ذکر شده در جدول (۲-۷)، با قطر ۲۲، ضخامت ۱/۲ و طول ۱۰ سانتی متر مطابق شکل (۳-۳) در نرم افزار آباکوس مدل سازی گردید. المان حلقه را تحت بارگذاری آیین نامه ATC24 مطابق شکل (۳-۷) قرار گرفته است. همچنین از نتایج آزمایشگاهی کافی برای صحت سنجی حلقه مورد نظر استفاده شده است.



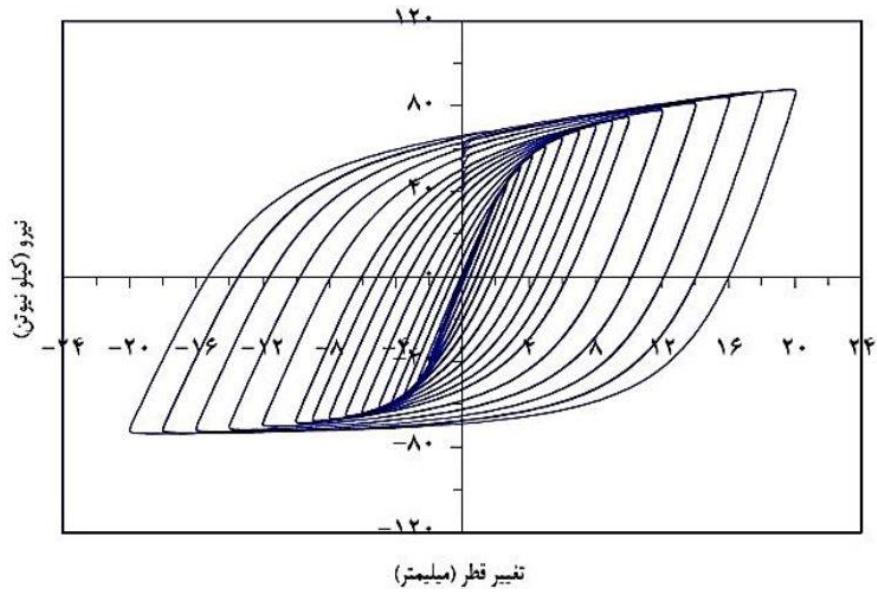
شکل (۳-۶). مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی و تحلیلی المان شکل پذیر [۲۲]



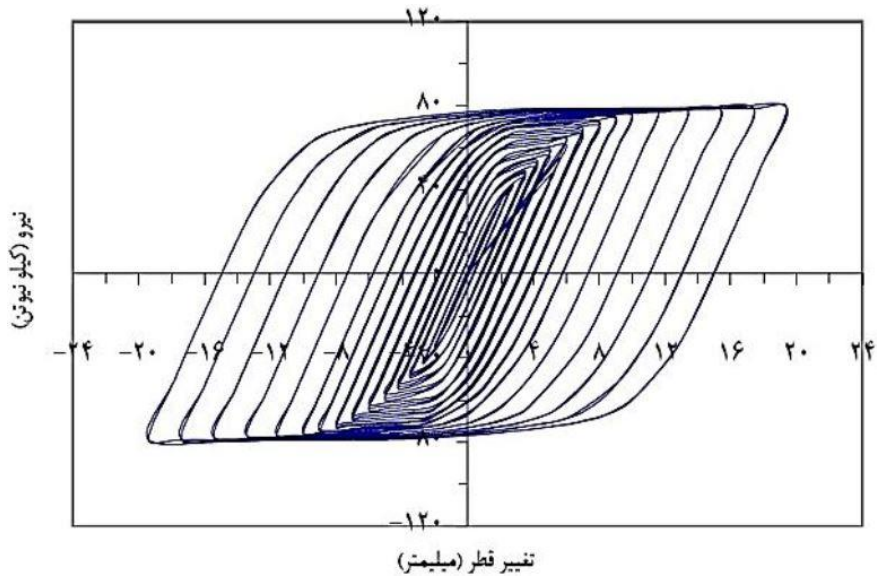
شکل (۳-۷). چرخه بارگذاری در آیین‌نامه ATC24 [۲۳]

در روش آزمایشگاهی، لوله مانیسمان (بدون درز) تهیه شده، ۱۰ سانتی‌متر جدا گردیده و به صفحات فولادی به ابعاد $16 \times 2 \times 1/2$ سانتی‌متر جوش می‌گردد. بارگذاری حلقه‌ها به صورت چرخه‌ای و از تغییرمکان‌های کم شروع و تا تغییرمکان ۲ سانتی‌متر ادامه داشته است. در ادامه و در طی دو آزمایش در مقیاس واقعی، عملکرد حلقه‌ی فولادی در انتهای یک مهاربند قطری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که حلقه فولادی دارای شکل‌پذیری زیاد و عملکرد بسیار خوب به عنوان کنترل‌کننده کمانش مهاربند بوده است [۲۲].

منحنی هیستریزیس نیرو-تغییر قطر قائم حلقه فولادی حاصل از نتایج آزمایشگاهی مطابق شکل (۳-۸) می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود این منحنی دارای حلقه‌های پهن بوده که نشان‌دهنده میزان قابلیت جذب انرژی توسط حلقه می‌باشد. منحنی هیستریزیس نیرو-تغییر قطر قائم حلقه فولادی حاصل از بررسی تئوری آن با استفاده از نرم‌افزار آباکوس، مطابق شکل (۳-۹) نشان‌دهنده وجود شکل‌پذیری مناسب در این حلقه می‌باشد.

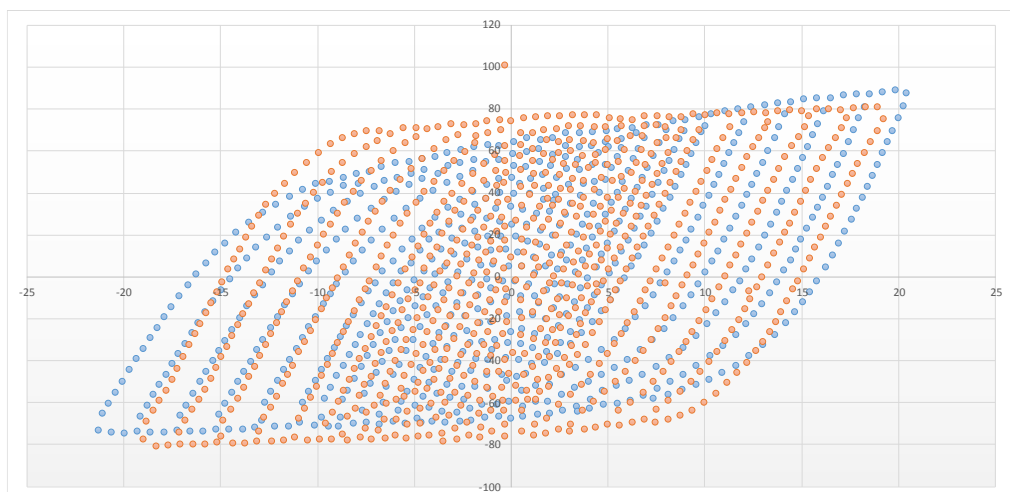


شکل (۸-۳). منحنی هیستریزس نیرو-تغییر قطر قائم حلقه فولادی آزمایشگاهی کافی [۲۴]



شکل (۹-۳). منحنی هیستریزس نیرو-تغییر قطر قائم حلقه فولادی در نرم افزار آباکوس

مطابق با شکل های (۸-۳) و (۹-۳)، انطباق خوب پوش منحنی هیستریزس نیرو-تغییر قطر قائم تحلیل حلقه و منحنی متناظر آزمایشگاهی آن ملاحظه می شود، که بیانگر قابلیت بالای نرم افزار آباکوس به عنوان نرم افزار اجزای محدود برای تحلیل غیرالاستیک حلقه می باشد (شکل (۱۰-۳)).



شکل (۳-۱۰). مقایسه نتایج آزمایشگاهی کافی و مدل نرم‌افزاری

۳-۴. ملاحظات آیین‌نامه‌ای در مدل‌سازی سکوه‌های ثابت شابلونی

۳-۴-۱. ملاحظات API

بر اساس آیین‌نامه API-RP2A [۳۵] جرم مورد استفاده در تحلیل دینامیکی سکوه‌های فراساحلی باید شامل جرم مرده سازه (متشکل از اسکلت سازه، تجهیزات و الحاقات) جرم زنده‌ی واقعی نظیر تجهیزات ثابت همیشگی، ۷۵ درصد جرم حداکثر مواد ذخیره شده، همچنین جرم مایع محبوس در داخل پایه‌های سکو و جرم افزوده می‌باشد. جرم افزوده هر عضو در تماس با آب، برابر جرم آب جابجا شده (جرم آب نظیر حجم در برگیرنده‌ی عضو) ناشی از ارتعاش عضو باشد در راستای عمود بر محور طولی عضو می‌باشد. اگر ارتعاش در راستای محور طولی عضو می‌باشد می‌توان از جرم افزوده‌ی نظیر آن صرف نظر کرد. سازه باید به صورت سه بعدی با در نظر گرفتن توزیع جرم و سختی مدل گردد و آثار عدم تقارن در نظر گرفته شود. برای محاسبه‌ی خصوصیات دینامیکی سازه‌ی فراساحلی فولادی متکی بر شمع و دارای مهاربندی، نسبت میرایی برابر ۰.۵٪ برای تحلیل ارتجاعی در نظر گرفته شود [۳۵].

۳-۴-۲. اثرات هیدرودینامیکی

اثرات هیدرودینامیکی به دو شکل عمده اثرات هیدرودینامیکی در دو حوزه تحلیلی و آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است (چوپرا،^۴ گوپل)^۳ [۳۶]. از جهت میرایی باید گفت که طبق تحقیقات مشخص شده است که برای اعضای مستغرق لاغر (با نسبت طول به قطر کمتر از ده) میرایی هیدرودینامیک (ویسکوز و تابشی) ناچیز خواهد بود. میرایی هیدرودینامیکی حالتی غیرخطی دارد، اما با ساده‌سازی می‌توان این اثرات را به صورت درصدی از میرایی بحرانی منظور کرد.

یکی از موضوعات مهم در مسائل دینامیکی اندرکنش آب و سازه، بحث جرم افزوده است. نیروی لازم برای ایجاد شتاب a در جسمی به جرم m که در داخل آب قرار دارد، بیشتر از نیروی لازم برای این کار در خشکی است که برابر ma می‌باشد. علت این امر آن است که علاوه بر خود جسم، جرمی از سیال اطراف جسم نیز با حرکت جسم، در اثر فشار وارده، شتاب می‌گیرد. این جرم، جرم افزوده یا جرم هیدرودینامیکی^۴ نامیده می‌شود. برای در نظر گرفتن جرم مایع، یک مقدار جرم هیدرودینامیکی اضافه معین در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه خواص جرمی سازه فرض می‌شود که این مقدار ثابت است. مقدار این جرم وابسته به پارامترهایی مانند اندازه، جهت و عمق عضو و همچنین نحوه تحریک می‌باشد (چوپرا، گوپل)^۳ [۳۶]. برای اعضای دایره‌ای که تحت بارگذاری دوره‌ای قرار می‌گیرند، این می‌تواند مساوی جرم مایع جابجا شده به وسیله عضو باشد. باید ذکر شود که آزمایشات نشان داده است که این روش مقدار جرم افزوده را دست بالا تخمین می‌زند (بنون،^۵ پنزیل)^۴ [۳۷]. به طور کلی جرم افزوده را می‌توان از رابطه (۳-۱) به دست آورد.

$$m_{added} = C_a \rho_w \pi r^2 \sin \theta \quad (۳-۱)$$

4 Chopra	2
4 Goyal	3
4 Hydrodynamic mass	4
4 Bannon	5
4 Penzien	6

C_a ، ضریب جرم افزوده است و از مطالعات آزمایشگاهی به دست می‌آید، ρ_w چگالی مایع، r ، شعاع عضو لوله‌ای و θ ، زاویه بین امتداد عضو و امتداد حرکت عضو در موقع تحریک می‌باشد. رابطه فوق، رابطه نیومارک^۴ و روزنبلث^۸[۳۸] می‌باشد که ضریب جرم افزوده در آن ضرب شده است. نکته دیگر اینکه جرم افزوده به فاصله عضو از سطح آزاد نیز بستگی دارد، گویل و چوپرا رابطه (۲-۴) را پیشنهاد کردند تا این اثرات را مد نظر قرار دهند.

$$m_{added}(z) = \begin{cases} m_{added} & z > 0.1H_0 \\ m_{added}(z/0.1H_0) & z \leq 0.1H_0 \end{cases} \quad (2-3)$$

نتایج آزمایشگاهی به دست آمده به وسیله کلاف^۹[۳۹] نشان داده است که جرم افزوده، وابستگی زیادی به میزان انعطاف‌پذیری عضو دارد و او پیشنهاد کرد که ضریب جرم افزوده مقادیری بین ۰/۶ برای اعضای انعطاف‌پذیر و ۱/۰ برای اعضای سخت داشته باشد، تا این اثرات در نظر گرفته شود.

۳-۵. مدل‌سازی سکوی مورد مطالعه

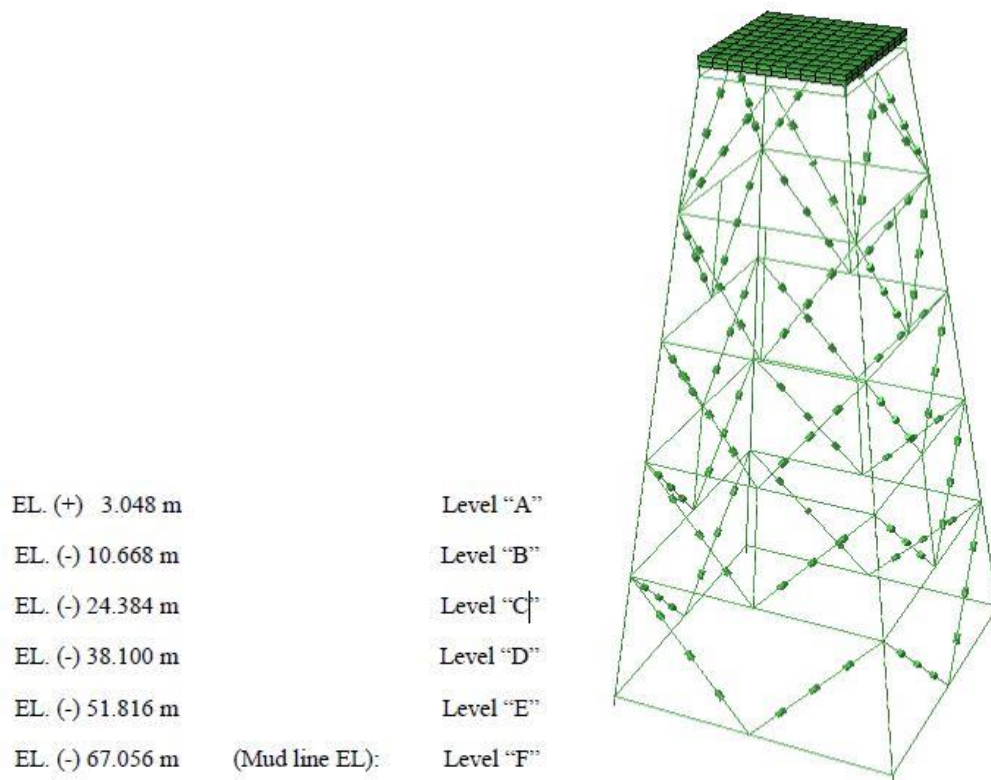
در این بخش روند مدل‌سازی سکوی مورد تحقیق بیان می‌شود. برای مدل‌سازی سکو نیز از نرم افزار المان محدود Abaqus 6.17 استفاده شده است. همانطور که در بخش‌های قبلی بیان شد، به دلیل ماهیت نیروهای وارده بر سکوهایی ثابت شابلونی، مدل‌سازی آنها پیچیده بوده و نیازمند یک سری ساده‌سازی می‌باشد که در این بخش به آنها اشاره می‌شود. برای ایجاد مدلی مناسب از سکو ضروری است مشخصات اعضای سازه‌ای سکو و شرایط فیزیکی آنها بطور کامل بررسی شوند. برای مدل‌سازی جاکت از المان‌های لوله‌ای استفاده شده است. پایه‌های سکو در ارتباط مستقیم با آب دریا می‌باشند و شمعه‌ها که داخل پایه‌های سکو قرار گرفته‌اند و تا عمق خاصی در بستر دریا کوبیده شده‌اند؛ بطور غیرمستقیم تحت تأثیر آب دریا قرار دارند. آب اطراف سازه با لحاظ نمودن جرم افزوده برای پایه‌های

4 Newmark 7
4 Rosenblueth 8
4 Clough 9

سکو در نظر گرفته شده است. برای مدل‌سازی عرشه‌ی سکو از المان صفحه‌ای استفاده شده است. برای مدل‌سازی شمع‌های داخل خاک و لحاظ کردن اثرات اندرکنشی آن‌ها از روش گیرداری شمع استفاده شده است که در ادامه شرح داده خواهد شد.

۳-۵-۱. آرایش سکو

سکوی رسالت شامل یک جاکت ۴ پایه می‌باشد که توسط ۴ شمع به قطر ۹۰ سانتی‌متر که در داخل پایه‌ها کوبیده و بین آن‌ها گروت تزریق شده، در کف دریا مهار شده است. چیدمان طبقات جاکت در شکل ۳-۱۰ آمده است. فضای بین پایه‌ها در تراز کاری (EL. +4.572m) $15/240 \times 15/240$ و در کف دریا $33/452 \times 33/452$ متر می‌باشد. همچنین عمق آب طراحی در محل سکو $69/7$ متر می‌باشد.



شکل (۳-۱۱). نمای سه بعدی سکوی رسالت

۳-۵-۲. جاکت

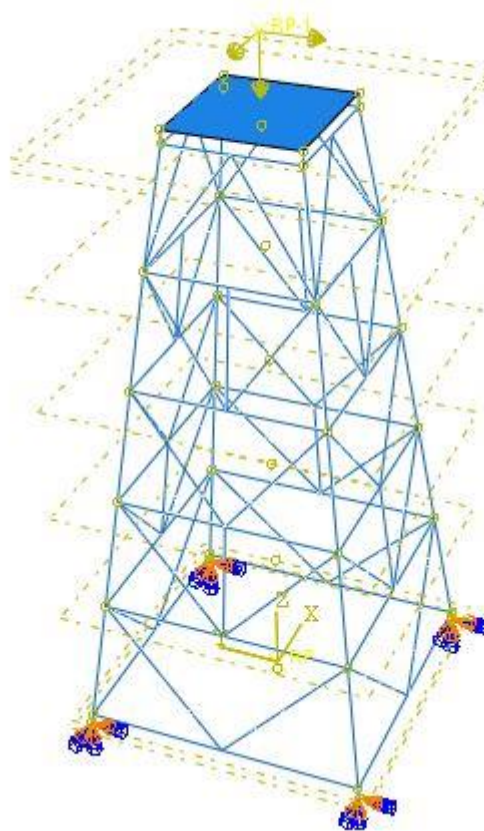
مدل سازی جاکت با استفاده از المان نوع Beam به منظور بررسی تاثیر المان با شکل هندسی معلوم در بخش ۲-۳ معرفی شد انجام می شود. این مدل سازی در نرم افزار Abaqus 6.17 انجام پذیرفته است. فرآیند مدل سازی به این ترتیب است که با استفاده از نقشه های سکوی رسالت [۴۰] مدل سه بعدی رسم شده و المان ها را در ۵ تراز این سکو از بالا یعنی بستر آب که LAT نامیده می شود تا کف دریا به ترتیب به نام های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ می باشد، قرار داده شده اند.

برای بررسی هرچه دقیق تر هر المان در هر تراز، المان را در سه قسمت از بادبندها قرار داده که یک بار در یک سوم پایینی، بعد در یک سوم میانی و سپس در یک سوم بالایی بادبندهای عمودی، مدل نموده تا محل مناسب جایگذاری المان در سازه را بتوان بدست آورد. شکل زیر مدل سه بعدی جاکت را نمایش می دهد که با استفاده از امکان partition در نرم افزار آباکوس بادبندها را به سه قسمت با توجه به اندازه واقعی المان تقسیم کرده و در ترازهای مختلف مکان آن را جابجا می کنیم. خواص مکانیکی المان مذکور، با توجه به مرجع [۲۲] روی سازه تعریف شده است. خواص مکانیکی المان را می توان در جدول (۲-۳) مشاهده کرد.

لازم به ذکر است که تمامی مقاطع دایروی سکو نیز با توجه به نقشه های سکوی رسالت [۴۰] در نرم افزار معرفی شده و برای المان جدید نیز با استفاده از مشخصات هندسی آن مدل سازی صورت گرفته است.

۳-۵-۳. شرایط مرزی

انتهای جاکت روی بستر خاک را با فرض گیردار بودن آنالیز نموده که مطابق شکل (۳-۱۱) زیر است.



شکل (۳-۱۲). شرایط مرزی

۳-۵-۴. بارگذاری

جهت مشخص شدن رفتار و تاثیر المان شکل پذیر، انواع بارگذاری موجود در شرایط واقعی بر سازه اعمال گردیده است. انواع بارگذاری بر یک سازه دریایی را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود.

۱- بارهای ناشی از وزن سازه شامل تمامی اجزا سکو و عرشه که تحت عنوان بارهای مرده یاد می شوند، به تفکیک این بارها در جدول (۳-۱) زیر آمده است.

جدول (۳-۱). بارهای مرده در مدل سازی

وزن (تن)	آیتم بارگذاری
۱۴۶۰	Modelled Structure
۹۴۰	Non-Modelled Structure- Blanket Load
۲۲۷	Flooded Member Element
۶۴۰	Member Elements Normal Added Mass

۲- بارهای ناشی از آب یا فشار هیدرواستاتیکی

۳- بارهای ناشی از موج و جریان که به نام بارهای هیدرودینامیکی شناخته می‌شوند. نیروی باد نیز در این دسته قرار می‌گیرد.

۴- بارهای ناشی از شتاب زمین که در زمین‌لرزه‌ها اتفاق می‌افتد.

۳-۵-۵. آنالیز سکو

در ماژول Step سه مرحله را برای آنالیز زلزله و یک مرحله برای آنالیز موج و جریان لحاظ می‌شود که در ادامه به معرفی و توضیح آن‌ها پرداخته خواهد شد.
آنالیز زلزله:

Step 1: Frequency

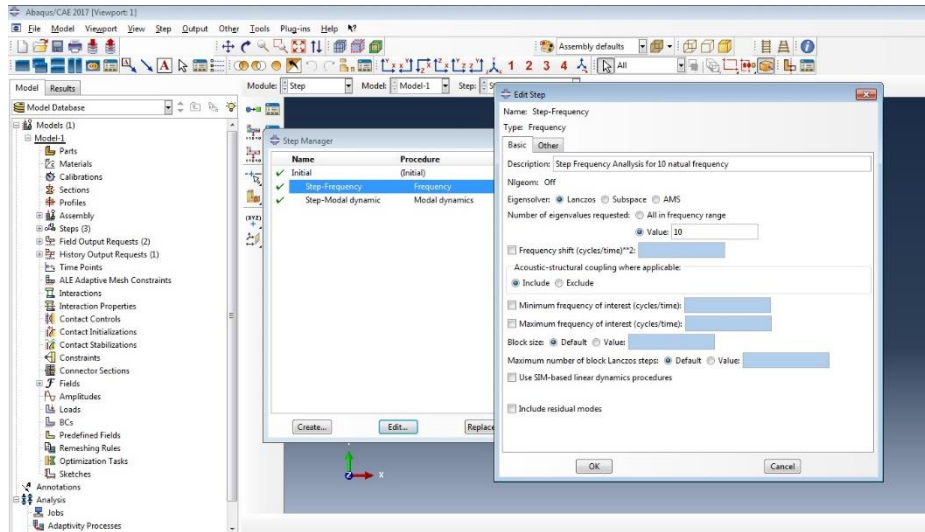
Step 2: Modal Dynamics

Step 3: Response Spectrum

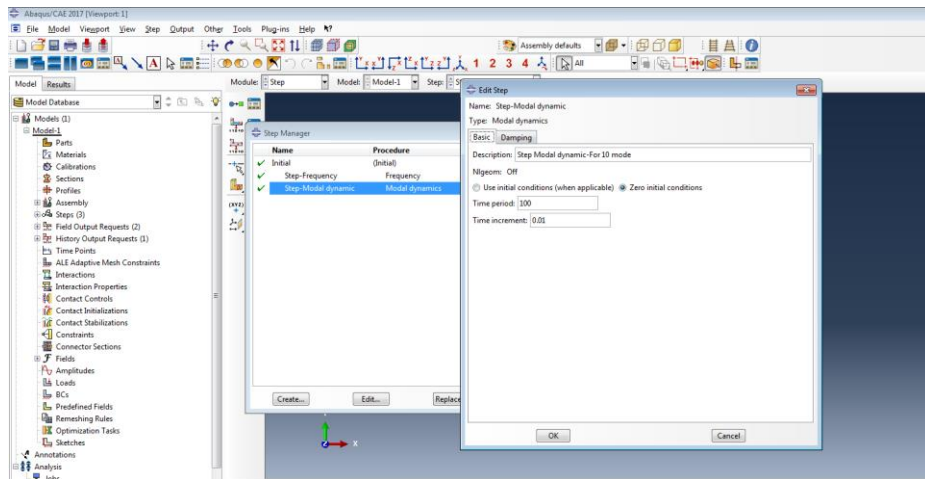
آنالیز موج و جریان:

Step 1: Static, General

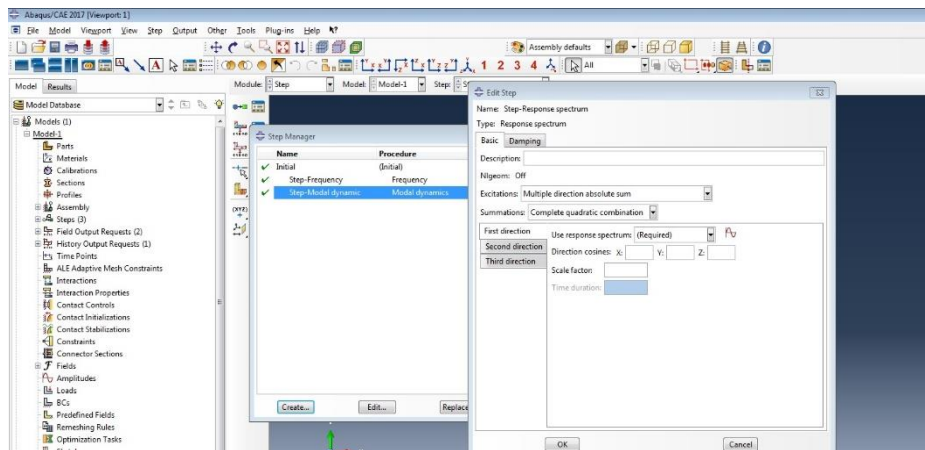
در بحث آنالیز زلزله همانطور که گفته شد در سه گام آنالیز انجام می‌گیرد. در گام اول با استفاده از فرکانس، تعداد ۱۰ فرکانس اولیه سازه محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از این فرکانس‌ها برای بدست آوردن پریود طبیعی سیستم استفاده شده است، تا با استفاده از مقادیر جدول شده در قسمت Modal Dynamics و Response Spectrum به روش CQC اعمال گردد (شکل ۳-۱۲ تا ۳-۱۴).



شکل (۱۳-۳). Step Frequency



شکل (۱۴-۳). Step Model Dynamic



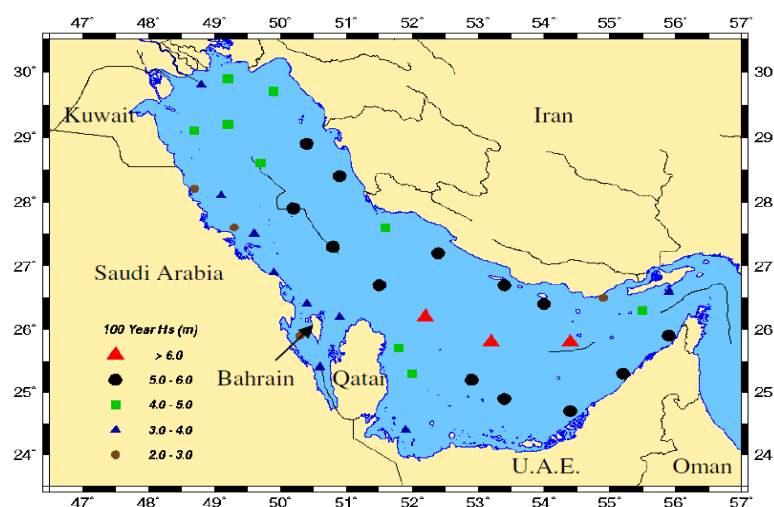
شکل (۱۵-۳). Step Response Spectrum

۳-۶. بار موج و جریان

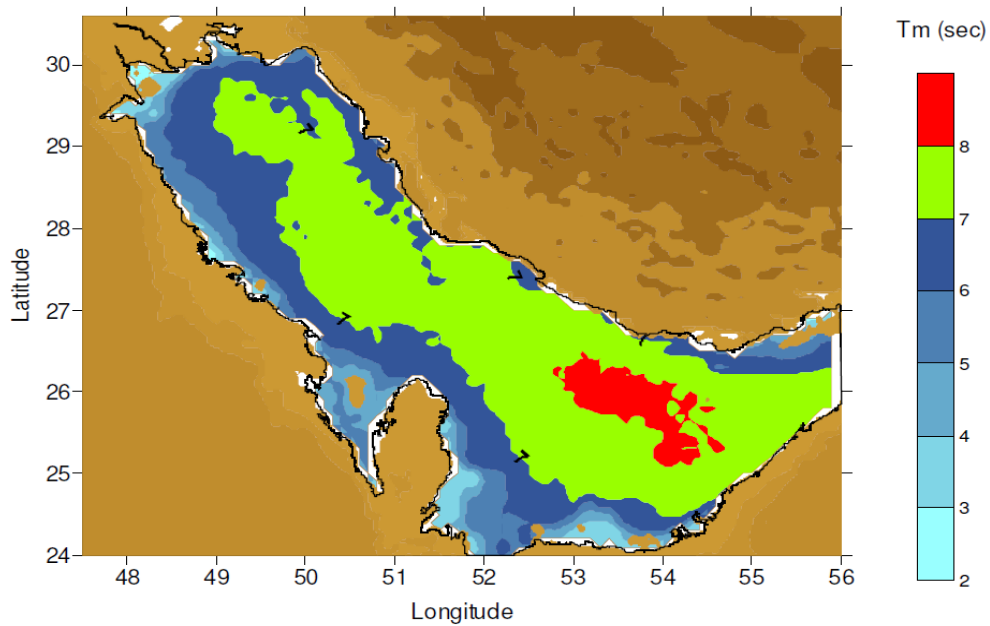
به منظور اعمال نیروهای هیدرواستاتیکی با استفاده از توانایی نرم‌افزار آباکوس که تحت عنوان Aqua شناخته می‌شود، از طریق کد نویسی در زبان فورترن می‌توان نغوری موج را معرفی کرد و از طریق ایجاد لینک بین دو نرم‌افزار آباکوس و فورترن برنامه را اجرا نمود.

جهت یافتن نیروی موج وارد بر سکو به اطلاعات موج محل سکو نیاز می‌باشد. این اطلاعات شامل ارتفاع و پریود موج محل سکوی رسالت می‌باشد.

حاصل مدل‌سازی عددی انجام‌شده توسط سازمان ملی اقیانوس‌شناسی، ارتفاع موج در منطقه مورد نظر بین ۴/۵ تا ۵ متر می‌باشد [۴۱]. می‌باشد. شکل ۳-۱۶ این مقدار را بین ۵ تا ۶ متر معرفی می‌کند. در این پایان‌نامه نیز به دلیل آن که حداکثر نیروی موج بر سازه وارد گردد، از ارتفاع موج ۶ متر جهت محاسبه و اعمال بار موج بر سکو، استفاده شده است.



شکل (۳-۱۶). ارتفاع موج قابل توجه طی ۱۰۰ سال در خلیج فارس [۴۲]



شکل (۳-۱۷). توزیع بیشترین دوره تناوب موج طی ۱۰۰ سال در منطقه خلیج فارس [۴۲]

جهت یافتن پریود موج در منطقه مورد نظر نیز بر طبق شکل ۳-۱۷، مقدار این پریود بیشتر از ۸ ثانیه می‌باشد که مجدداً به دلیل یافتن حداکثر نیروی موج اعمالی بر سکو، از پریود موج ۸ ثانیه در محاسبات استفاده شده است.

بنابراین، داده‌های مربوط به محل سکوی رسالت، مطابق زیر است:

$$h = 69.7 \text{ m}$$

$$H = 6 \text{ m}$$

$$T = 8 \text{ sec}$$

با توجه به مقادیر به دست آمده در بالا، مقدار فرکانس زاویه‌ای به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$w = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{8} = 0.7854 \text{ (rad / sec)}$$

با استفاده از معادله تفرق، مقدار عدد موج برابر است با:

$$(0.7854)^2 = 9.81 * k * \tanh(k * 69.7) \Rightarrow k = 0.0629 \text{ (rad / m)}$$

مقدار طول موج را با استفاده از مقدار به دست آمده برای عدد موج می‌یابیم:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{0.0629} = 99.89 \text{ m}$$

مقادیر ضرایب دراگ و اینرسی نیز در فرمول موریسون مطابق مقادیر زیر فرض شده است:

$$C_D=1.05$$

$$C_I=1.2$$

مقدار چگالی آب نیز برابر است با:

$$\rho = 1000(\text{kg} / \text{m}^3)$$

با توجه به مقادیر به دست آمده در بالا، نسبت عمق آب به طول موج و نسبت ارتفاع موج به طول موج، به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{69.7}{99.89} = 0.698$$

$$\frac{H}{\lambda} = \frac{6}{99.89} = 0.06$$

با توجه محاسبات انجام گرفته و تئوری موج منظم، ملاحظه می‌گردد که نقطه به دست آمده از تقاطع مقادیر محورهای افقی و قائم، در محدوده قابل قبول تئوری ایری واقع شده و بنابراین برای محاسبه مقادیر سرعت و شتاب ذرات در نقاط مختلف، می‌توان از این تئوری استفاده نمود. همچنین با توجه به آن که بزرگترین قطر لوله‌های موجود در سکو، مربوط به قطر پایه‌های سکو می‌باشد، بنابراین، حداکثر مقدار نسبت قطر اعضای سکو به طول موج برخوردی، برابر خواهد بود با:

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{0.9906}{99.89} = 0.0099 < 0.1$$

چون این نسبت از ۰/۱ کوچکتر می‌باشد، بنابراین معادله موریسون برای این شرایط معتبر بوده و از این معادله جهت یافتن نیروی موج وارده بر سکو استفاده می‌نماییم.

بر اساس استاندارد API-2A-WSD به منظور اعمال این بارها دو آنالیز مجزا بایستی انجام شود؛ به این ترتیب که در آنالیز اول بارهای مرده و هیدرودینامیکی اعمال می‌شود و آنالیز دوم که همان زلزله است، با مقدار شتاب ۰/۱۵g به پایه‌ها اعمال و نیروهای ناشی از این شتاب به همراه بارهای مرده به سازه اعمال می‌شود.

با استفاده از کد دستوری AQUA می‌توان لینک بین محیط CAE یا همان فضای مدل‌سازی را با قابلیت محیط آبی نرم‌افزار برقرار کرد. در ادامه خط دستوری اشاره شده ارائه می‌گردد.

*AQUA

0 , W_D , g , ρ_w

0 , 0 , 0 , 0

U_c , 0 , 0 , W_D

*WAVE, TYPE = AIRY

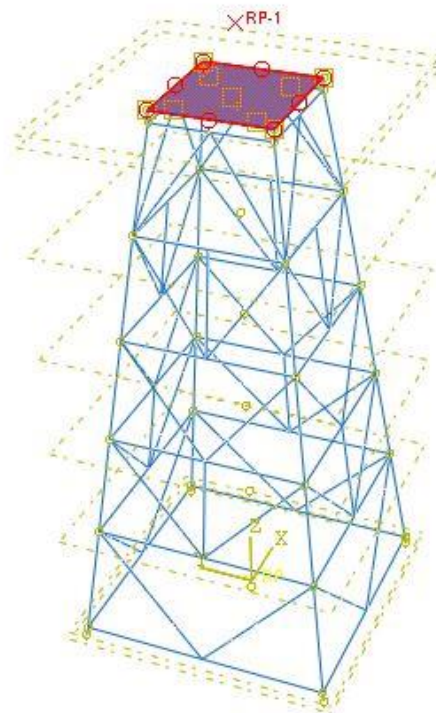
H , T , \emptyset , 1

*DLOAD

Set- element- brace , FDO , 1 , 0.45 , 1.05 , 1

Set- element- brace , FI , 1 , 0.45 , 1.2 , 1

جهت بارگذاری وزن و باد از گزینه Rigid Body استفاده شده است و با تعیین نقطه مرجع به نام RP می‌توان تمام نیروهای سازه‌ای را روی آن اعمال نمود. قسمتی که به عنوان Rigid Body در نظر گرفته می‌شود صفحه بالایی مربوط به کف عرشه می‌باشد.

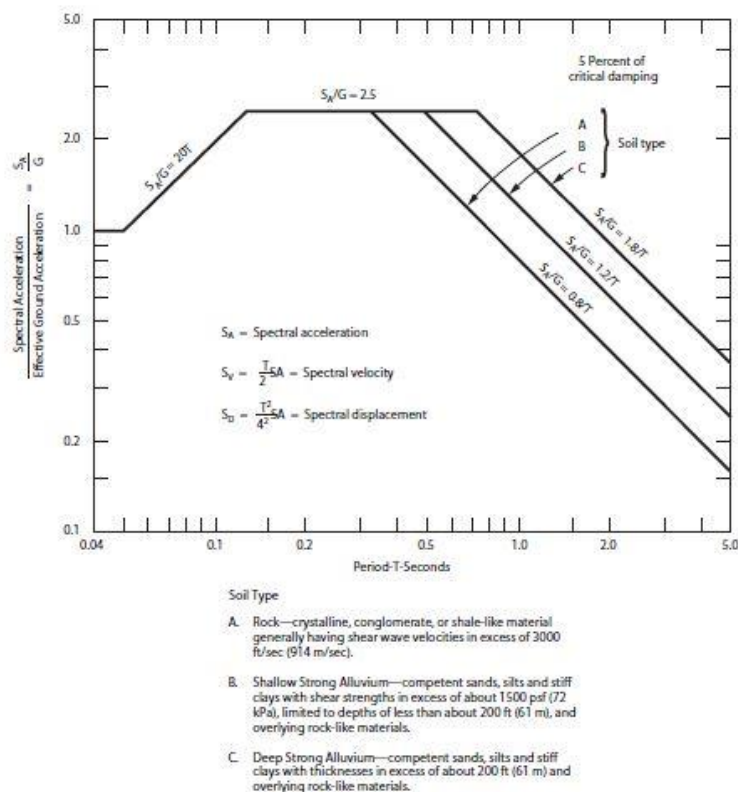


شکل (۳-۱۸). نمایش Rigid Body

خروجی‌های حاصل از این تحلیل به دو قسمت میزان تنش فون میزس در سازه و جابجایی بالاترین تراز سکو تقسیم می‌شود که در فصل آتی به آن‌ها اشاره شده است.

۷-۳. بارگذاری زلزله

مطابق با متن استاندارد API-2A-WSD ابتدا شتاب $0.15g$ که بدترین شتاب برای خلیج فارس بیان شده است به پایه‌های سازه اعمال می‌گردد و با استفاده از روش طیفی محاسبات میرایی انجام شده است. به منظور انجام آنالیز طیفی نیاز به داشتن فرکانس طبیعی سازه، حداقل برای بیشتر از ۸ مود است تا تقریباً تمامی مودهای ارتعاشی محاسبه شده و فرکانس‌های خطرناک در بازه‌ی محاسباتی قرار گیرند. بنابراین ابتدا آنالیز مودال را تحت تاثیر اینرسی جسم انجام داده که مقادیر آن برای ۱۶ حالت مختلف جدول شده است (شکل ۳-۲۰). سپس با استفاده از این فرکانس، تعداد پیوند مربوطه را محاسبه کرده تا با استفاده از شکل (۳-۱۹) و گروه خاک مقدار S_A/G محاسبه گردد.



شکل (۳-۱۹). طیف پاسخ [۳۵]

مقدار S_A/G یعنی مقدار شتاب طیفی به شتاب تاثیر گذاشته بر سازه که مقدار آن برای G برابر با $0.15g$ است و S_A میزان این شتاب را در ترازهای سازه نشان می‌دهد.

با استفاده از روش Modal Dynamic و Response Spectrum در دو مرحله بعدی، بعد از آنالیز مودال می‌توان طیف فرکانسی و شتاب بدست آمده را به روش CQC یا همان Complete Quadratic Combination جمع کرد. در این روش به ترتیب معادله (۳-۳) عمل می‌شود.

$$E: 100\% X, 100\% Y, 50\% Z \quad (3-3)$$

مقدار نیرو را از طریق روابط نیوتن، یعنی جرم در شتاب سازه بدست آورده و برای هر تراز و هر المان در یک‌سوم، دو سوم و سه‌سوم مقدار آن را در دو جهت x و y اعمال می‌کنیم که همراه با نیروهای ثقلی می‌باشد.

در نهایت با انجام آنالیز فوق مقادیر برش پایه محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل‌های فوق در فصل آتی مشاهده خواهد شد.

۳-۸. جمع‌بندی

در فصل حاضر به بررسی روش تحقیق و مدل‌سازی بخش‌های مختلف المان شکل‌پذیر و سکوی شابلونی مد نظر پرداخته شده است. در ادامه‌ی روند این پژوهش و در فصل بعد، به بررسی نتایج تحلیل صورت گرفته پرداخته خواهد شد.

فصل چهارم

نتایج و تحلیل مدل‌های مورد بررسی

۴-۱. پیشگفتار

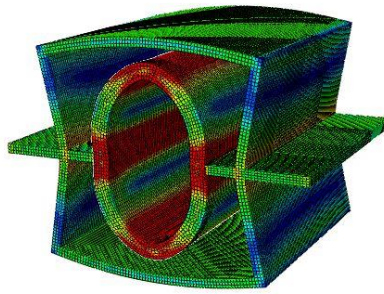
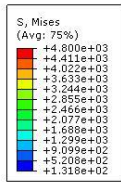
در فصل جاری به ارائه و بررسی نتایج بدست آمده از پژوهش و تفسیر آنها پرداخته خواهد شد. ابتدا نتایج المان پیشنهادی در آباکوس ارائه خواهد شد، سپس تحلیل مودال بر روی سکوی مورد مطالعه صورت خواهد گرفت. در ادامه به بررسی نتایج تحلیل دینامیکی تحت رکورد های انتخابی در شرایط با و بدون میراگر نیز پرداخته می شود.

۴-۲. نتایج و منحنی هیستریزیس المان پیشنهادی

۴-۲-۱. توزیع تنش فون میزس در المان پیشنهادی

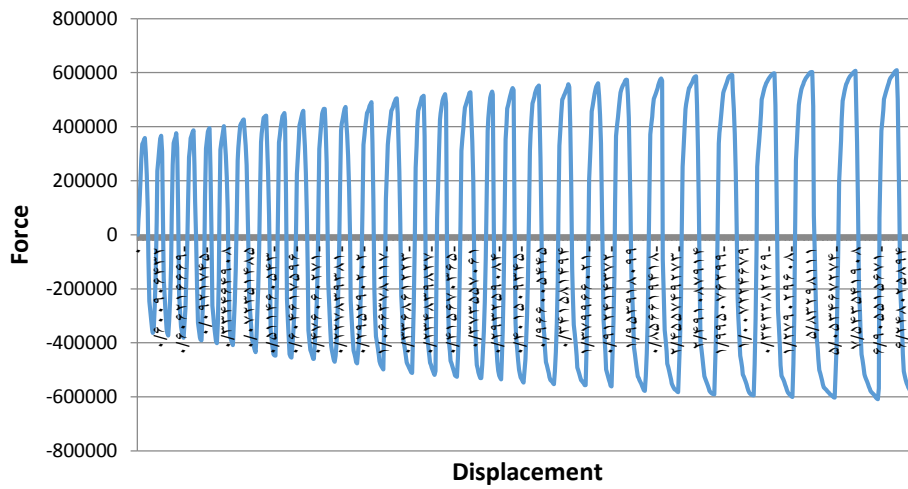
توزیع تنش فون میزس در المان پیشنهادی تحت بارگذاری سیکلی مطابق شکل (۴-۱) به نمایش گذاشته شده است. همانطور که مشاهده می شود تنش های محیطی داخل حلقه بزرگ تر از تنش های محیطی خارج آن بوده و به همین علت انتظار می رود شکست از داخل شروع و به محیط خارجی برسد. ضمناً به دلیل اینکه تحمل فلزها در فشار کمتر از کشش است، احتمال وقوع شکست حلقه در حالت فشاری بیشتر بوده و زمانیکه سطح داخلی بیشترین تنش فشاری را تحمل می کند.

شکل (۴-۲) عملکرد یکسان مدل در کشش و فشار را نشان می دهد، که این نکته بیانگر عملکرد مورد اعتماد مدل پیشنهادی است. مطابق شکل (۴-۳) منحنی هیستریزیس مدل پیشنهادی رسم شده است. منحنی هیستریزیس المان بسیار پهن و منظم می باشد، که نشان دهنده توانایی این المان در جذب انرژی است.

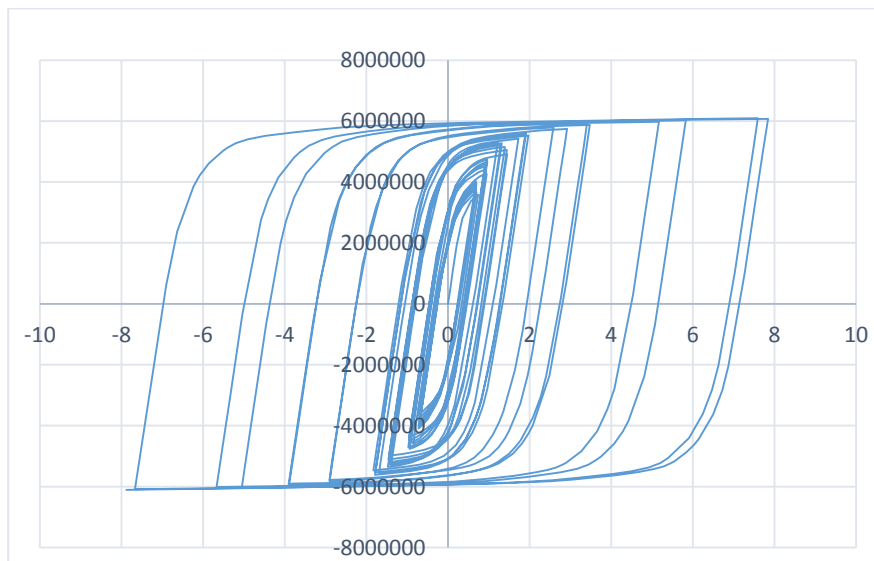


ODB: 50-5f-3-65-001-001-05-kg-cm.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Fri Aug 05 23:30:34 Iran Daylight Time 2016
 Step: Step-1
 Increment: 867; Step Time = 6.000
 Primary Var: S, Mises
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.453e+00

شکل (۴-۱). توزیع تنش فون میزس در المان پیشنهادی



شکل (۴-۲). پاسخ نیرو به جابجایی المان پیشنهادی



شکل (۴-۳). منحنی هیستریزس المان پیشنهادی

۴-۳. طراحی المان شکل پذیر

المان پیشنهادی نوع جدیدی از مستهلک کننده‌های انرژی (فلز جاری شونده) هستند که به منظور بالا بردن شکل پذیری و جذب انرژی زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند، بطوریکه این المان در هنگام وقوع زلزله با ورود به مرحله غیرخطی قسمت قابل توجهی از انرژی ورودی سازه را جذب نموده و همچنین از کمانش عضو مهاربندی اصلی جلوگیری کرده و یا آن را به تعویق می‌اندازد، که باعث کاهش آسیب وارده به سازه می‌شود.

این المان شکل پذیر طوری طراحی می‌شود که قبل از کمانش عضو اصلی وارد مرحله غیرخطی شده باشد. این طراحی باعث خواهد شد که المان پیشنهادی فولادی نقش یک کنترل کننده (فیوز) برای کمانش عضو را نیز انجام دهد. بعد از وقوع زلزله، المان پیشنهادی فولادی انتهای عضو به دلیل تغییر شکل‌های غیرارتجاعی آسیب خواهد دید که مستلزم تعمیر و بازسازی می‌باشد، ولی این تعمیر و بازسازی در همین حد محدود می‌شود و با توجه به هزینه به نسبت ناچیز این المان، در کنار عملکرد سازه‌ای آن بسیار مقرون به صرفه نیز می‌باشد.

همانطور که در فصل‌های پیشین اشاره شده است، این نوع از میراگرها توانایی آن را دارند که در انواع عملکردها برشی، خمشی، محوری و پیچشی مورد استفاده قرار گیرند که در این پژوهش با توجه به مسئولیت اصلی اجزای بادبندی قائم در سکوها، تنها عملکرد محوری آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. همچنین باید اشاره کرد که جانمایی این المان‌ها در قسمت میانی اجزای مذکور می‌باشد.

استفاده از میراگر مذکور در تمام ترازها مورد بررسی قرار گرفته شده است (شکل ۴-۴). میزان نیروی محوری و کمانشی این المان با توجه به روابط کمانشی اویلر و روابط بدست آمده توسط سلیم‌بهرامی [۲۱] در روابط ۴-۱ آمده است. در این رابطه E مدول الاستیسیته عضو، I ممان اینرسی مقطع عضو، L طول عضو و K ضریب گیرداری عضو می‌باشد.

$$F = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

(۱-۴)

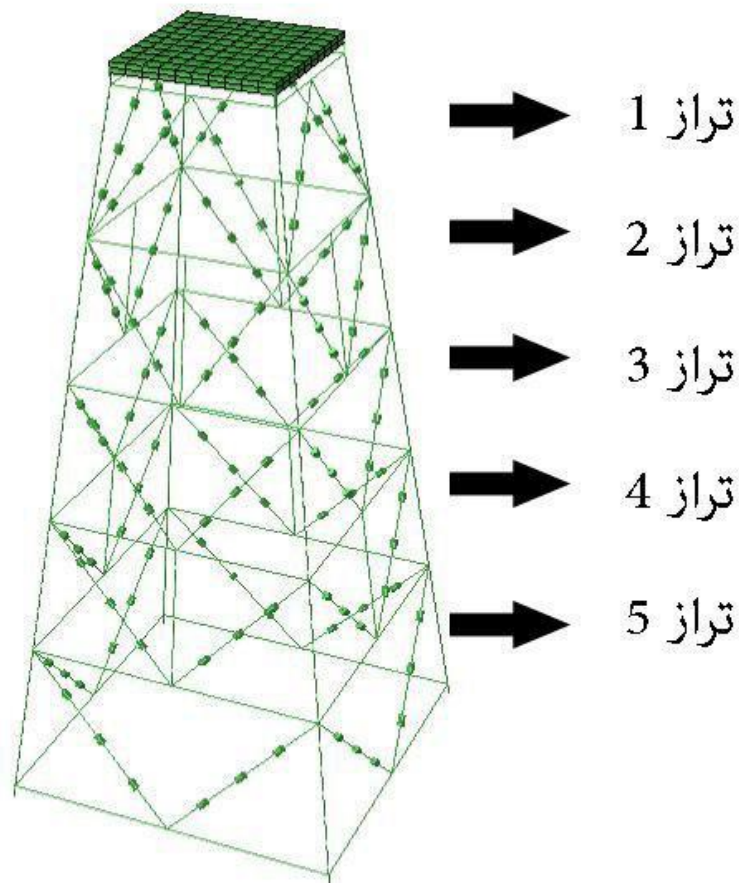
$$E = 2.0601 \times 10^{10} \text{ Kg/m}^2$$

$$I = 0.0039865 \text{ m}^4$$

$$L = 22 \text{ m}$$

$$K = 0.5$$

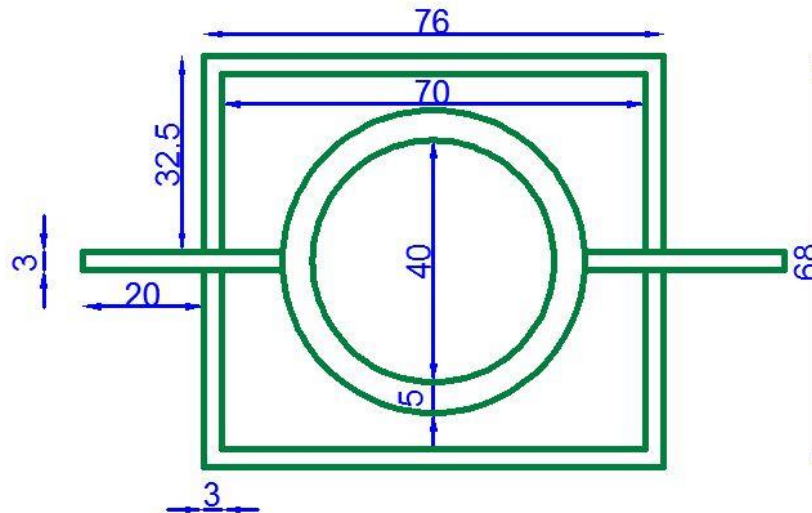
$$\rightarrow F = 6698760 \text{ Kg}$$



شکل (۴-۴). محل قرارگیری المان‌های شکل‌پذیر

با توجه به محاسبات فوق و نتایج حاصل از نمودار هیستریزس المان پیشنهادی (شکل ۳-۴) می‌توان به این نتیجه رسید که المان پیشنهادی پیش از کمانش عضو اصلی تسلیم شده و از خرابی آن جلوگیری

می‌کند. در شکل ۴-۵ المان پیشنهادی همراه با اندازه‌ها و ابعاد آن آمده است. قابل ذکر است طول المان $76/2$ سانتی‌متر می‌باشد [۲۱].



شکل (۴-۵). ابعاد المان پیشنهادی

۴-۴. تحلیل مودال سکو

قدم نخست در یک تحلیل دینامیکی، تعیین فرکانس و شکل مدهای اصلی ارتعاش آزاد سازه‌ی نامیرای چند درجه آزادی به تعداد مورد نظر است.

در پژوهش حاضر، ابتدا سکوی مورد مطالعه با استفاده از المان‌های ذکر شده در بخش‌های قبلی در نرم افزار آباکوس مدل شده است. جهت به دست آوردن فرکانس‌های اصلی ارتعاش سکو و همچنین مدهای ارتعاشی آن، تحلیل مودال گردیده است. با مقایسه ۱۰ فرکانس اول ارتعاش سکو با فرکانس‌های واقعی سکوی رسالت مشخص گردید که مدل ساخته انطباق خوبی با مقادیر محاسبه شده توسط دیگر محققین نیز دارد. برای این صحت سنجی نتایج تحلیل مودال سکو و مقایسه‌ی آن با داده‌های واقعی سکو نیز در جدول (۴-۱) ارائه شده است.

جدول (۴-۱). مقایسه نتایج تحلیل مودال سکو

فرکانس مدل المان محدود (Hz)	فرکانس سکوی مورد مطالعه (Hz)	مود
۰/۴۵۶	۰/۴۵۵	۱
۰/۴۶۴	۰/۴۵۷	۲
۰/۴۸۶	۰/۴۷۷	۳
۱/۰۳۳	۱/۰۲۵	۴
۱/۰۵۸	۱/۰۳۷	۵
۱/۲۸۴	۱/۲۳	۶

۴-۵. تحلیل سکوی مورد مطالعه

با توجه به بند آیین‌نامه API آنالیز و مدل‌سازی سکوهایی دریایی تحت شرایط محیطی خاص آن‌ها باید در دو بخش مجزا انجام شوند؛ بطوریکه در وهله اول باید سکوی مورد مطالعه تحت بارهای ثقلی و محیطی حاضر و بدون اثرگذاری بار زلزله مورد آنالیز قرار گیرد و در وهله دوم سکوی مورد مطالعه تحت تاثیر بارگذاری زلزله به تنهایی بررسی شود. جهت بررسی پاسخ‌های سکوی دریایی تحت اثر بار زلزله می‌توان از چند روش استفاده نمود که در این رساله با توجه به شرایط خلیج فارس، از روش طیفی به جهت این امر بهره گرفته شده است.

برای بررسی تاثیر میراگر فلزی جاری‌شونده بر روی پاسخ‌های سکوی مورد مطالعه، در ادامه در دو حالت با میراگر و بدون میراگر، در سه بخش میزان تنش فون‌میزس در عضو بادبندی، جابجایی بالاترین تراز سکو و برش پایه به بررسی می‌پردازیم.

۴-۵-۱. مقایسه تنش فون‌میزس المان بادبندی

عناصر سازه‌ای ساخته شده از مواد شکل‌پذیر، معمولاً طوری طراحی می‌شوند که تحت شرایط بارگذاری مورد نظر به نقطه تسلیم نرسند. وقتی که قطعه تحت اثر تنش تک محوری باشد مقدار تنش عمودی که موجب تسلیم شدن می‌شود به آسانی می‌توان از آزمون کشش روی نمونه‌ای از همان ماده بدست

آورد. از طرف دیگر وقتی که عنصر سازه‌ای در حالتی از تنش صفحه‌ای است، می‌توان در آن نقطه قطعه را در حالت تنش دو محوری در نظر گرفت.

دو معیار ترسکا فون میزس دو معیار متداول جهت بررسی مواد شکل‌پذیر است که در این قسمت از معیار فون میزس بهره گرفته شده است. نتایج معیار فون میزس برای معیار ترسکا نیز معتبر است.

۴-۵-۲. مقایسه جابجایی بالاترین تراز سکو

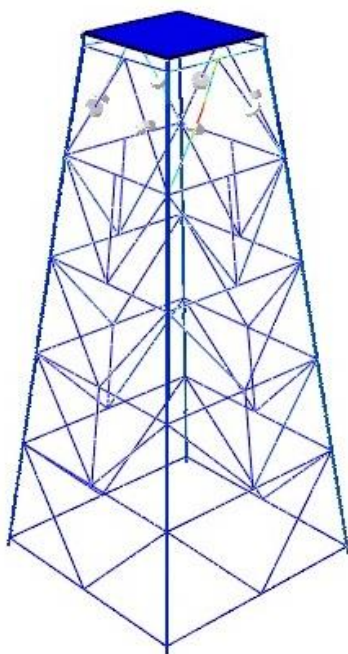
جابجایی بالاترین تراز سکو یکی از جنبه‌های مهم تعیین‌کننده ایمنی و یکپارچگی سکو می‌باشد. جابجایی زیاد تراز بالای سکو منجر به آسیب‌های عمده‌ی سازه‌ای می‌شود و در برخی موارد منجر به انهدام کلی سازه نیز شده است. در نتیجه روند عملیات استخراج و بهره‌برداری را می‌تواند به کلی تحت تأثیر قرار دهد. کمینه کردن این پارامتر می‌تواند یک معیار مؤثر در فرآیند کنترل لرزه‌ای سکوی مورد تحقیق باشد. همچنین در طراحی سکوه‌ای جدید باعث می‌شود از مقاطع سبک‌تری استفاده گردد.

۴-۵-۳. مقایسه برش پایه سکو

برش پایه سکو در تراز بستر دریا یکی از پارامترهای مؤثر در حفظ ایمنی و یکپارچگی سکو می‌باشد. برش پایه زیاد در تراز بستر دریا باعث آسیب‌هایی همچون خرابی جانبی شمع‌ها و در نتیجه تشکیل مفاصل پلاستیک در شمع‌ها و یا جاری شدن خاک اطراف شمع می‌شود. برش پایه زیاد در نهایت می‌تواند باعث واژگونی کل مجموعه سکو شود. کمینه نمودن برش پایه می‌تواند معیاری مناسب در فرآیند کنترل لرزه‌ای سکوی مورد تحقیق باشد.

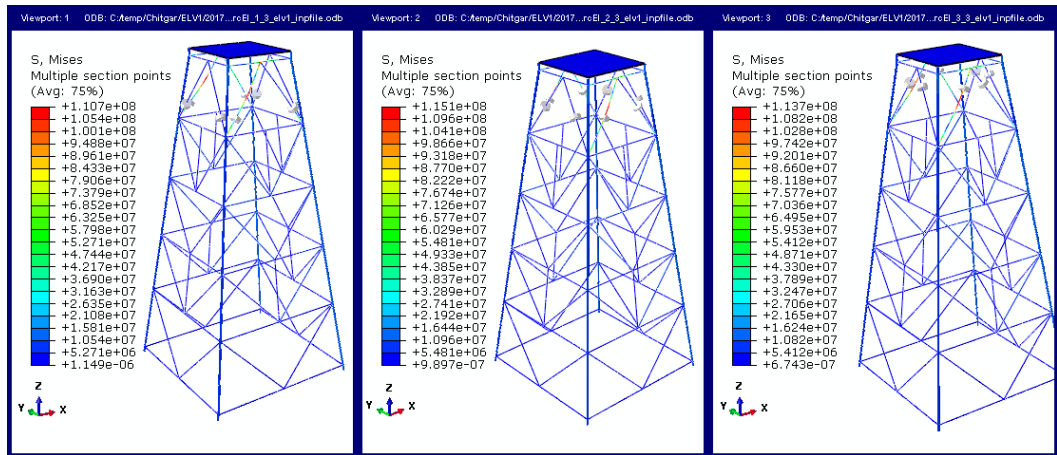
۶-۴. بررسی پاسخ‌های مدل سکوی مورد مطالعه

جهت ارزیابی عملکرد المان پیشنهادی در طول بادبندها، هر یک از اعضای بادبندی به سه قسمت مساوی تقسیم شده‌اند و المان مورد نظر در وسط هر یک از این بخش‌ها قرار گرفته است، بطوریکه المان مورد نظر به ترتیب در بخش میانی یک‌سوم ابتدایی عضو، بخش میانی یک‌سوم دوم عضو و همچنین یک‌سوم انتهایی عضو قرار داده شده است (شکل ۶-۴). نتایج حاصل در ابتدا برای حالت استفاده از میراگر در هر یک از ترازها و سپس حالت استفاده از آن در تمامی ترازها و حالتی که بدون استفاده از میراگر است، جهت مقایسه ارائه می‌گردد.

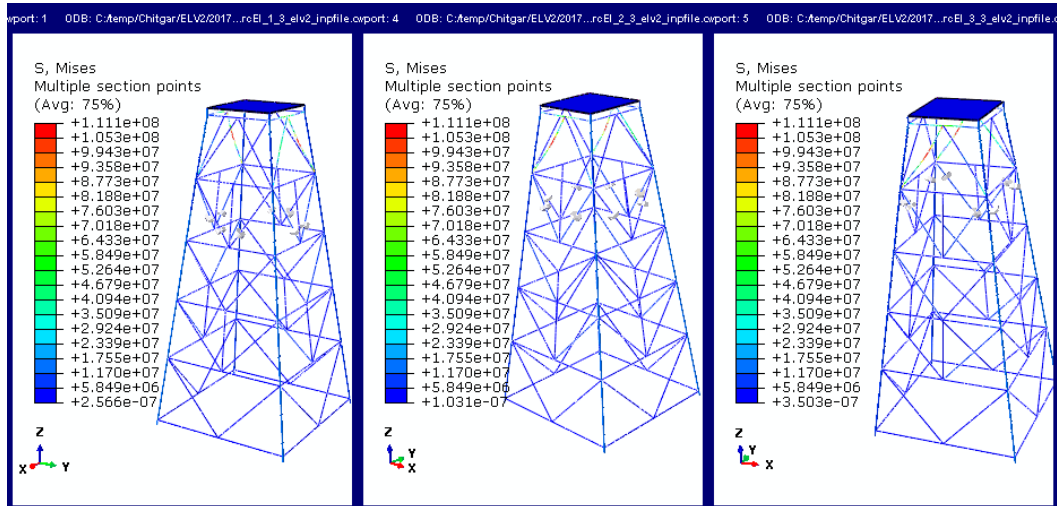


شکل (۶-۴). نمونه ای از جانمایی میراگر در بادبندهای سکو

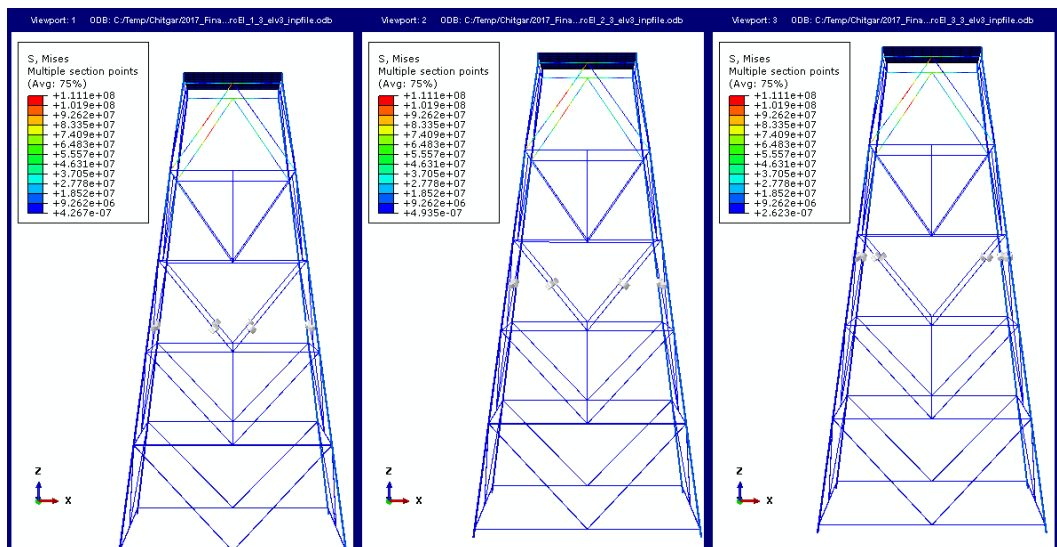
۶-۴-۱. توزیع تنش فون میزس ناشی از بارهای هیدرودینامیکی



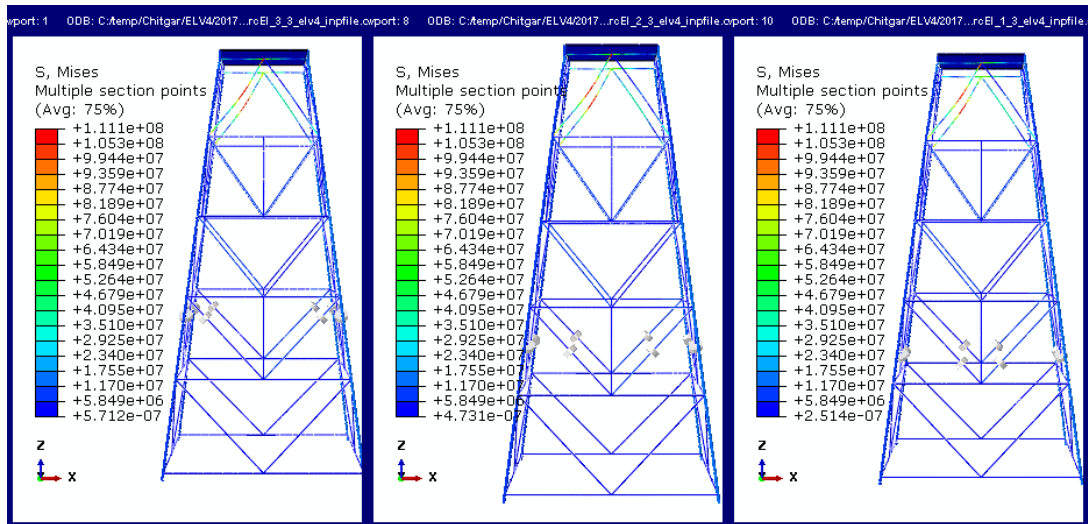
شکل (۴-۷). توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز اول



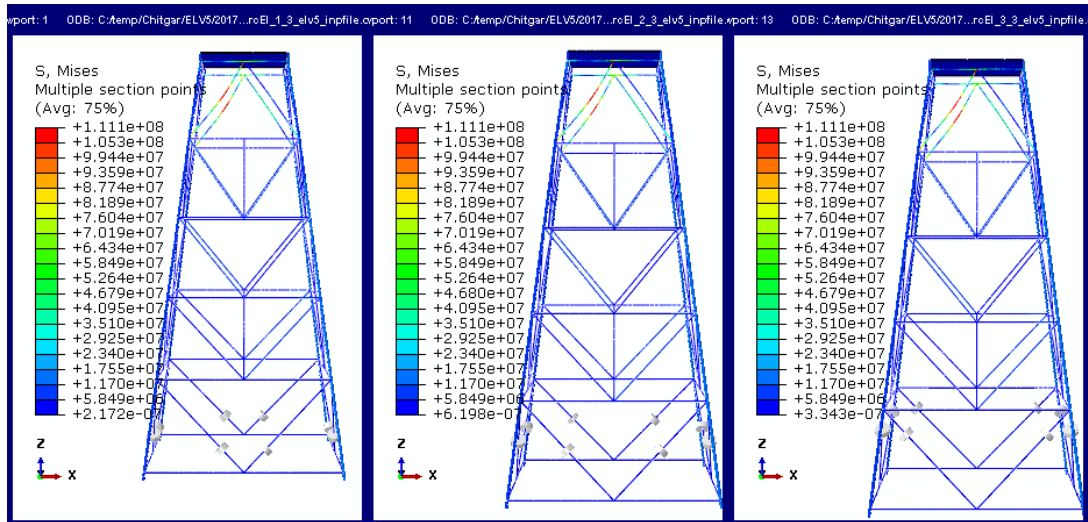
شکل (۴-۸). توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز دوم



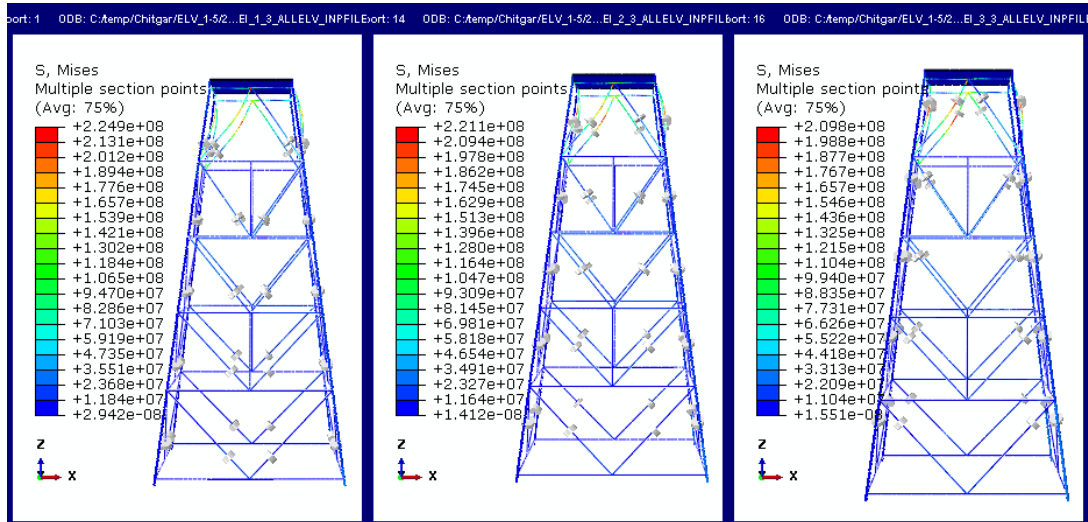
شکل (۴-۹). توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز سوم



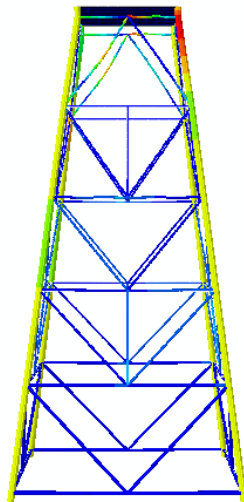
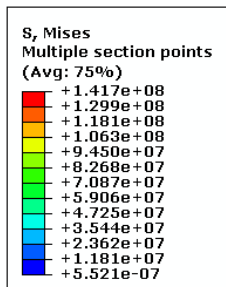
شکل (۴-۱۰). توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز چهارم



شکل (۴-۱۱). توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تراز پنجم



شکل (۴-۱۲). توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت استفاده از میراگر در تمام ترازاها

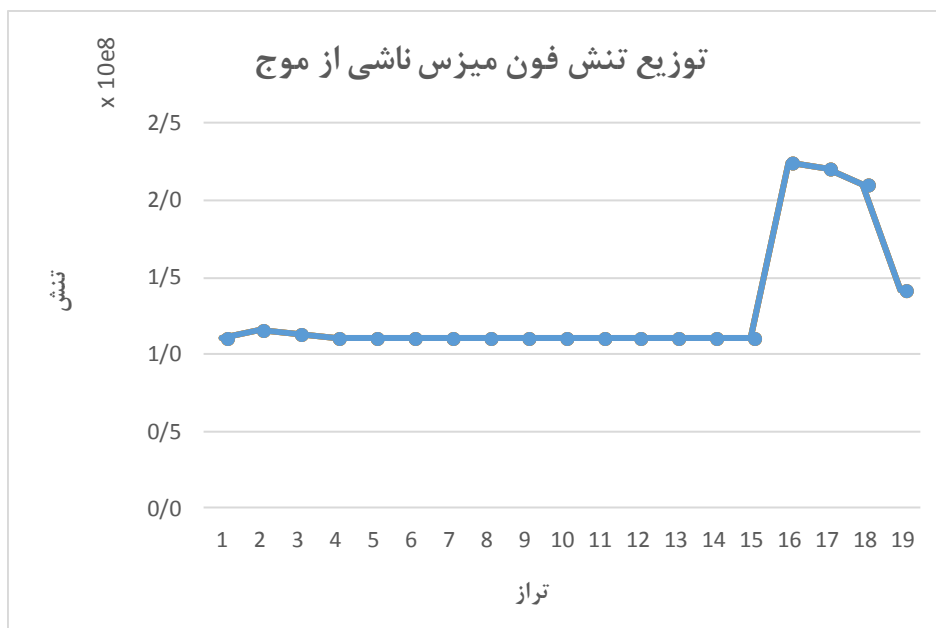


شکل (۴-۱۳). توزیع تنش فون میزس در بادبندها در حالت بدون استفاده از میراگر

۴-۶-۱-۱. نتیجه مشاهده ها

جدول (۴-۲). نتایج ماکزیمم تنش فون میزس ناشی از بارهای هیدرودینامیکی

	جانمایی	بیشترین	ستون
میراگر در تراز اول	۱/۳	۱/۱۱E+۰۸	۱
	۲/۳	۱/۱۵E+۰۸	۲
	۳/۳	۱/۱۴E+۰۸	۳
میراگر در تراز دوم	۱/۳	۱/۱۱E+۰۸	۴
	۲/۳	۱/۱۱E+۰۸	۵
	۳/۳	۱/۱۱E+۰۸	۶
میراگر در تراز سوم	۱/۳	۱/۱۱E+۰۸	۷
	۲/۳	۱/۱۱E+۰۸	۸
	۳/۳	۱/۱۱E+۰۸	۹
میراگر در تراز چهارم	۱/۳	۱/۱۱E+۰۸	۱۰
	۲/۳	۱/۱۱E+۰۸	۱۱
	۳/۳	۱/۱۱E+۰۸	۱۲
میراگر در تراز پنجم	۱/۳	۱/۱۱E+۰۸	۱۳
	۲/۳	۱/۱۱E+۰۸	۱۴
	۳/۳	۱/۱۱E+۰۸	۱۵
میراگر در تمام ترازها	۱/۳	۲/۲۵E+۰۸	۱۶
	۲/۳	۲/۲۱E+۰۸	۱۷
	۳/۳	۲/۱۰E+۰۸	۱۸
بدون میراگر		۱/۴۲E+۰۸	۱۹



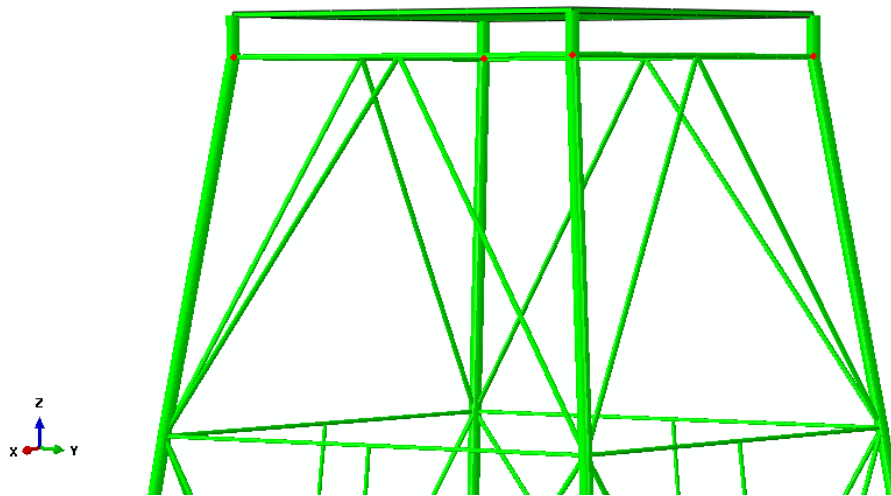
شکل (۴-۱۴). نتایج ماکزیمم تنش فون میزس ناشی از بارهای هیدرودینامیکی

نتایج حاصل از جدول (۴-۲) بیانگر آنست که میزان تنش فون میزس ماکزیمم در المان‌های سکوی مورد مطالعه را می‌توان با استفاده از میراگر در ناحیه splash zone تا میزان ۲۰ درصد کاهش داد، همچنین نکته قابل توجه آنست که در صورت استفاده از این میراگر در هر یک از ترازهای خارج از ناحیه splash zone می‌توان این بهبود را تا ۲۲ درصد افزایش داد.

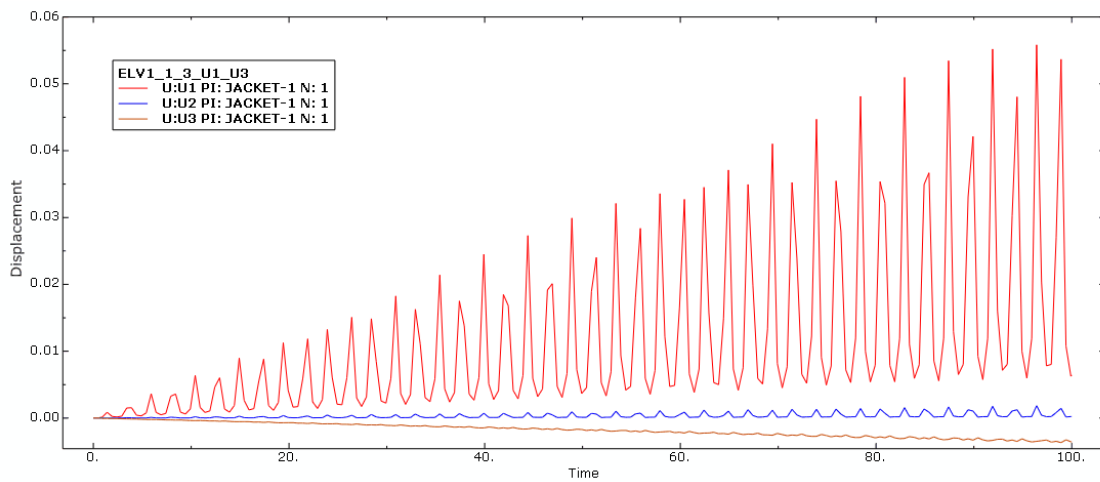
نکته دیگر قابل استناد از این نتایج آن است که با صرف هزینه بیشتر و استفاده از میراگر در تمام ترازها که خود مسائل اجرایی دشواری را به همراه دارد نه تنها حداکثر تنش در اعضا کاهش پیدا نکرده است بلکه تنش ایجاد شده در اعضا تا ۶۰ درصد افزایش پیدا کرده است.

۴-۶-۲. بررسی جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارهای هیدرودینامیکی

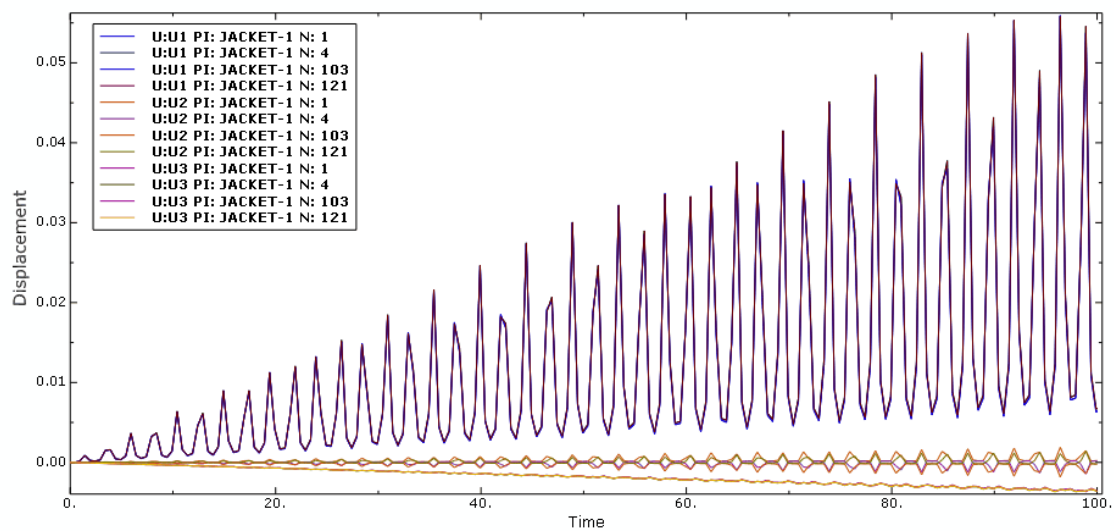
جهت ارزیابی میزان جابجایی بالاترین تراز سکو، از چهار نقطه در چهار گوشه عرشه برای مقایسه استفاده شده است که با رنگ قرمز در شکل (۴-۱۴) مشخص شده است. نتایج همانند بخش قبل به ترتیب ارائه می‌گردد.



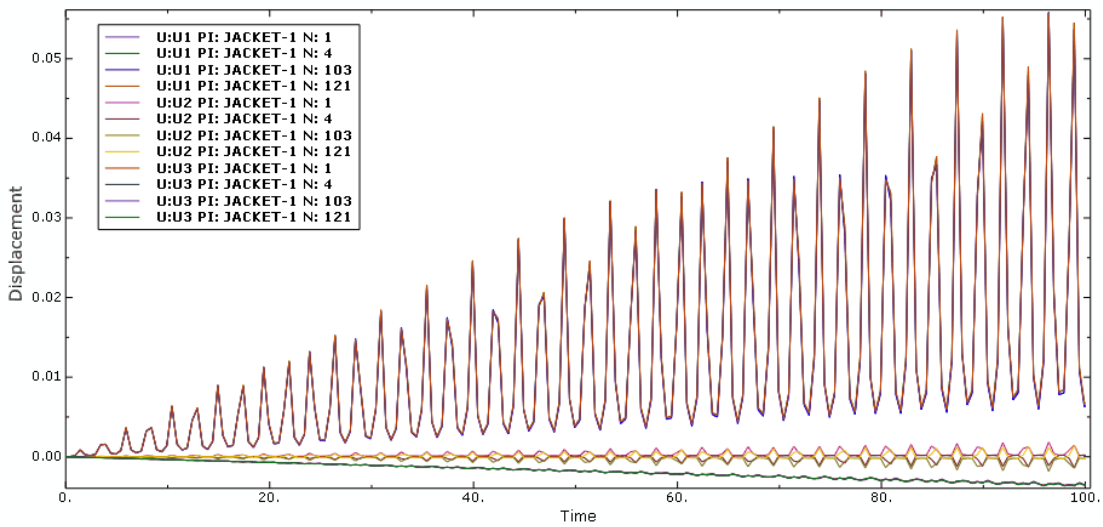
شکل (۴-۱۴). نقاط کنترل جابجایی



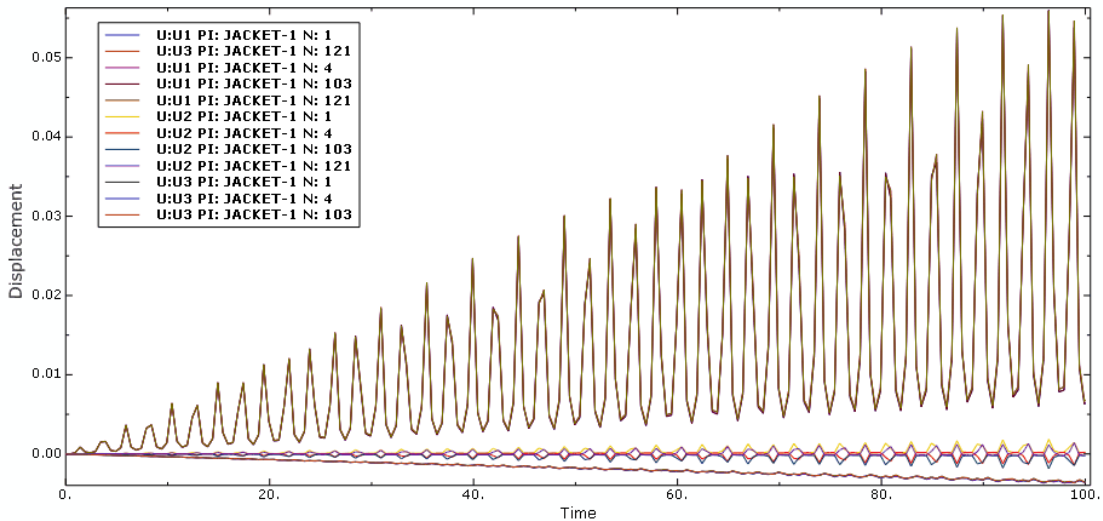
شکل (۴-۱۵). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز اول



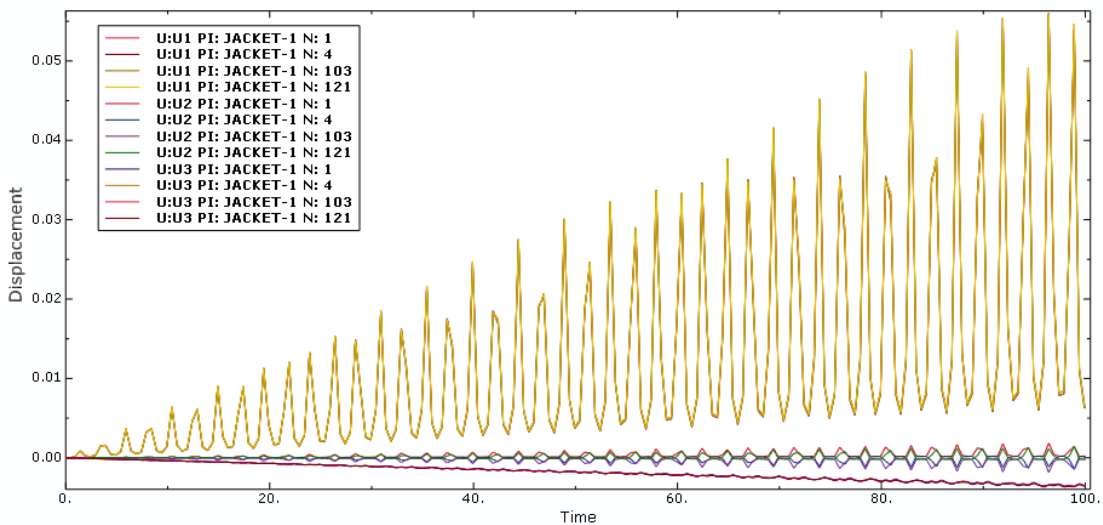
شکل (۴-۱۶). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز اول



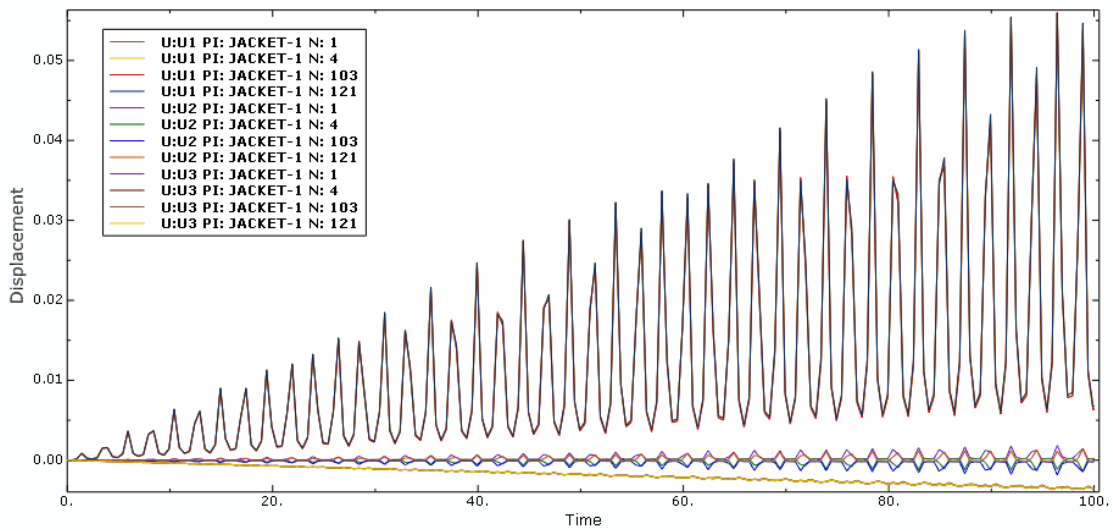
شکل (۴-۱۷). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز اول



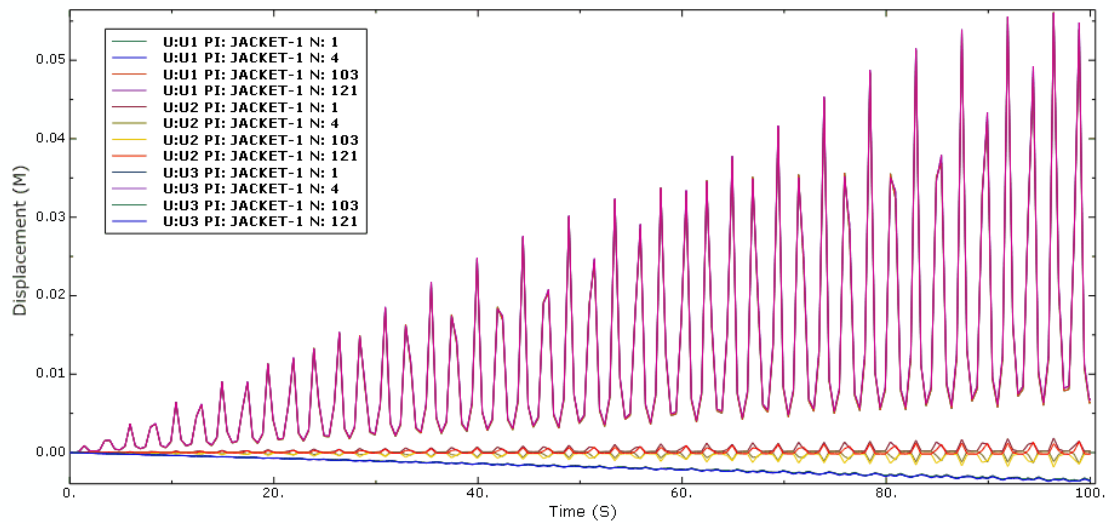
شکل (۴-۱۸). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز دوم



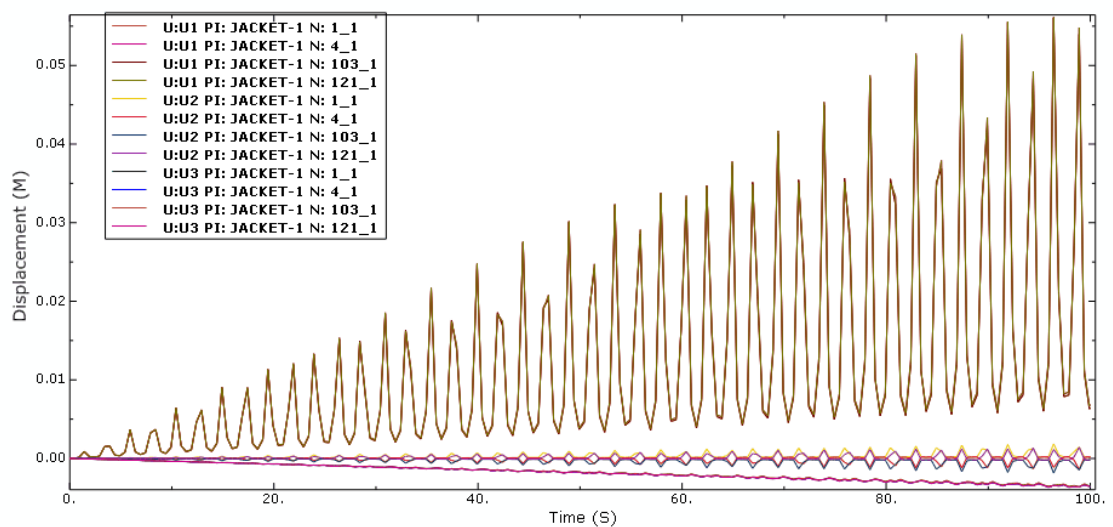
شکل (۴-۱۹). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز دوم



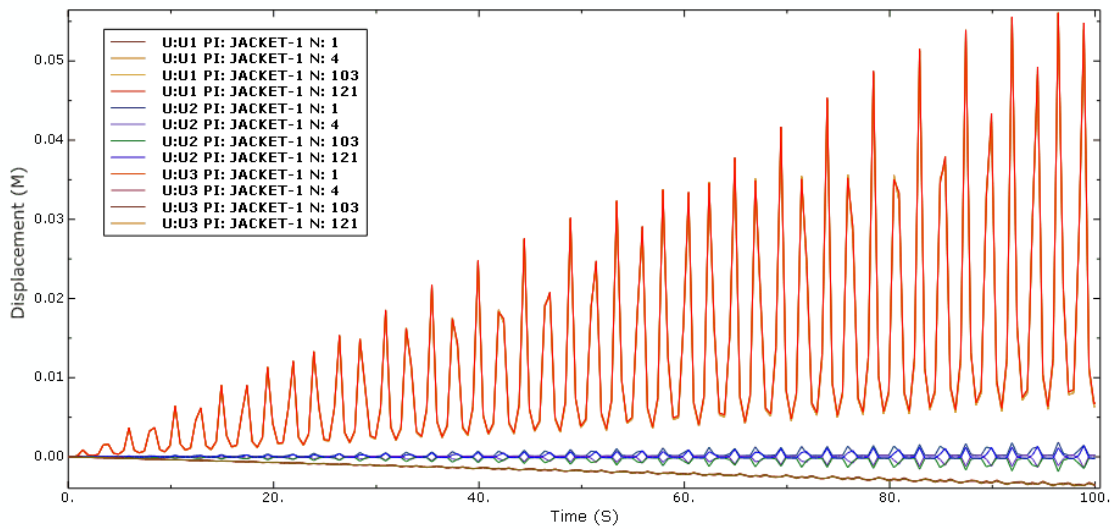
شکل (۴-۲۰). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز دوم



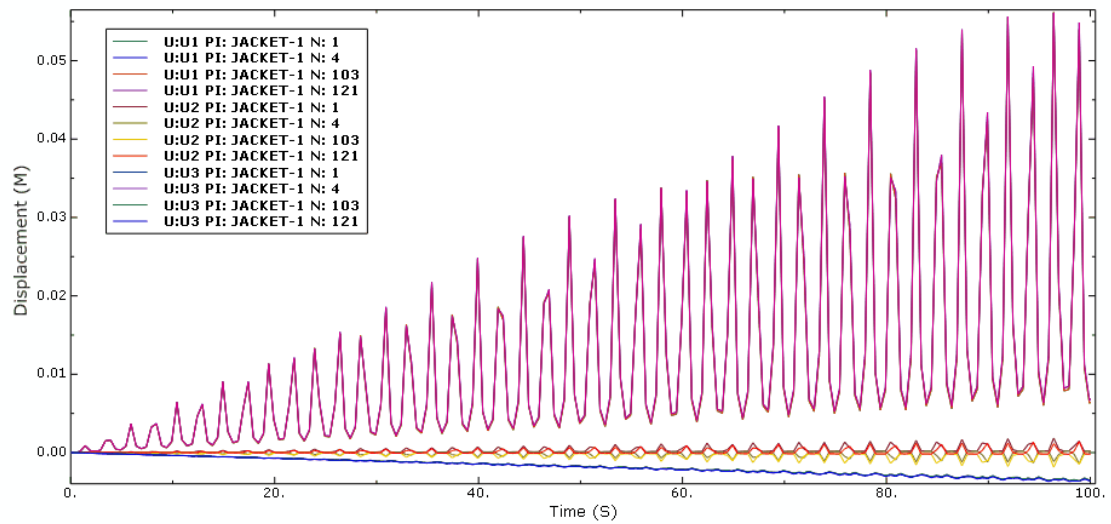
شکل (۴-۲۱). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز سوم



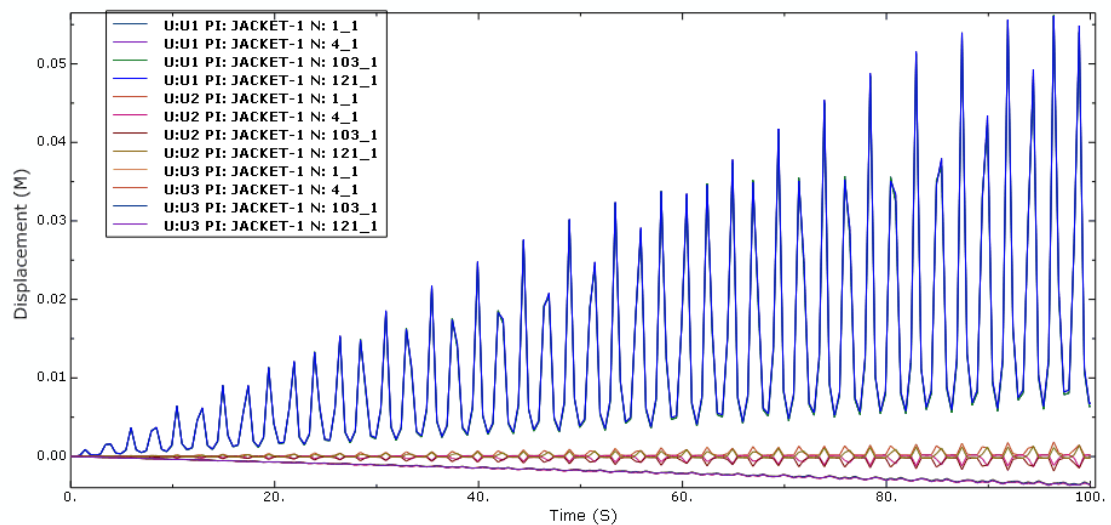
شکل (۴-۲۲). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز سوم



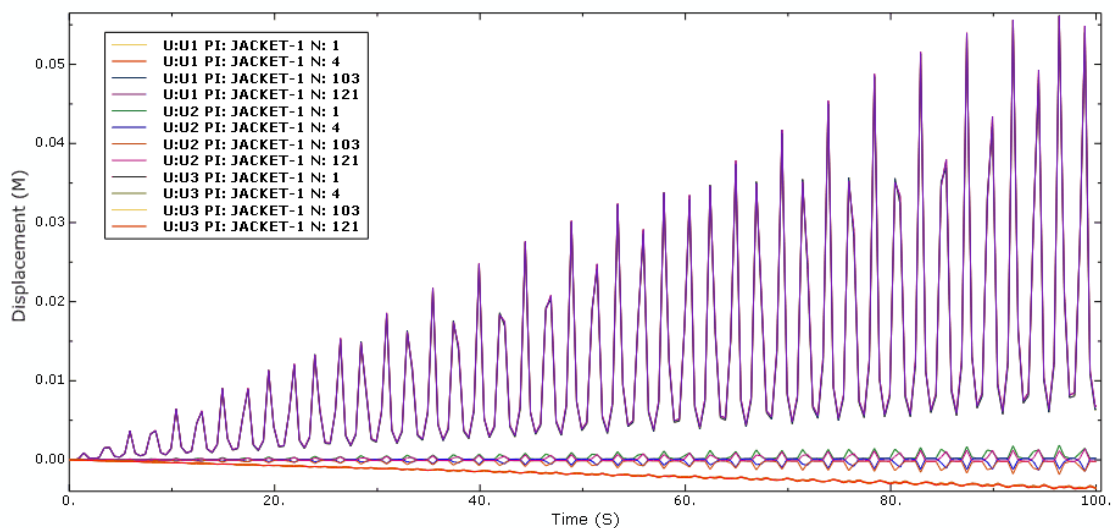
شکل (۴-۲۳). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز سوم



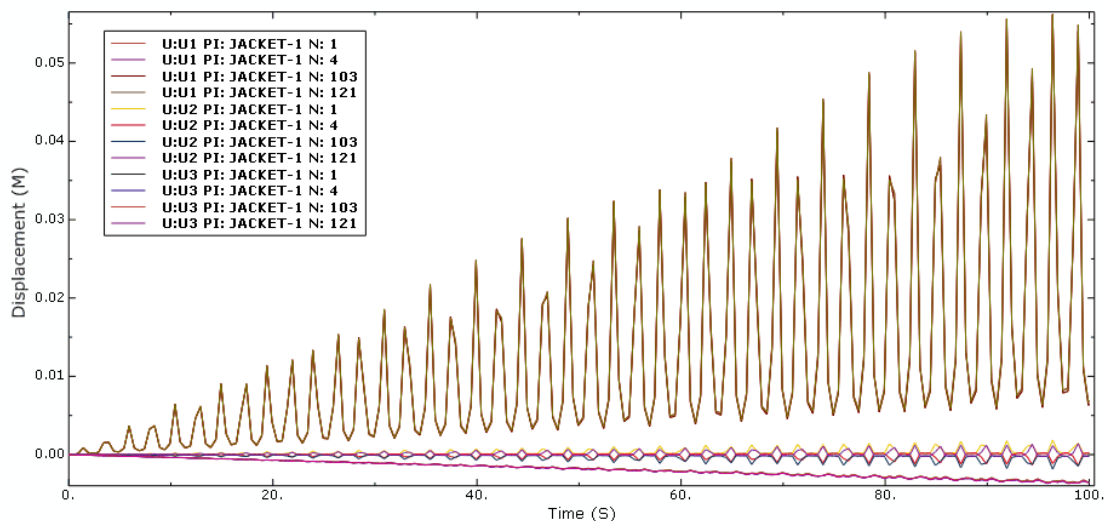
شکل (۴-۲۴). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز چهارم



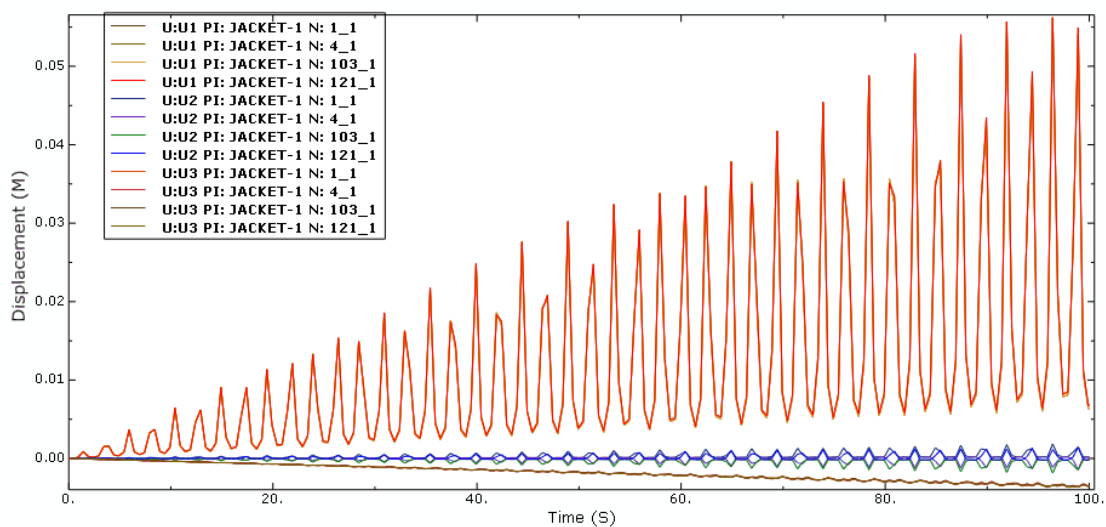
شکل (۴-۲۵). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز چهارم



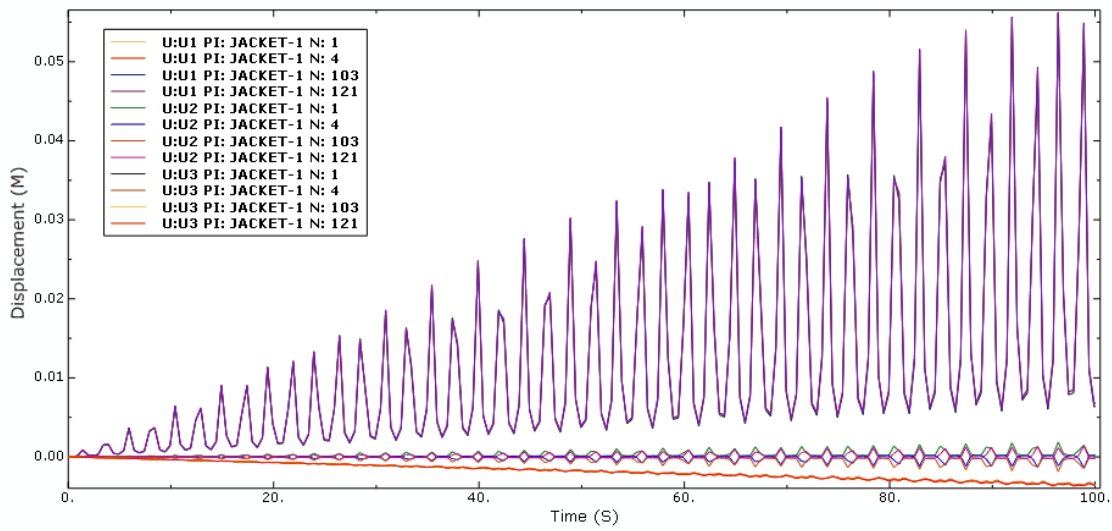
شکل (۴-۲۶). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز چهارم



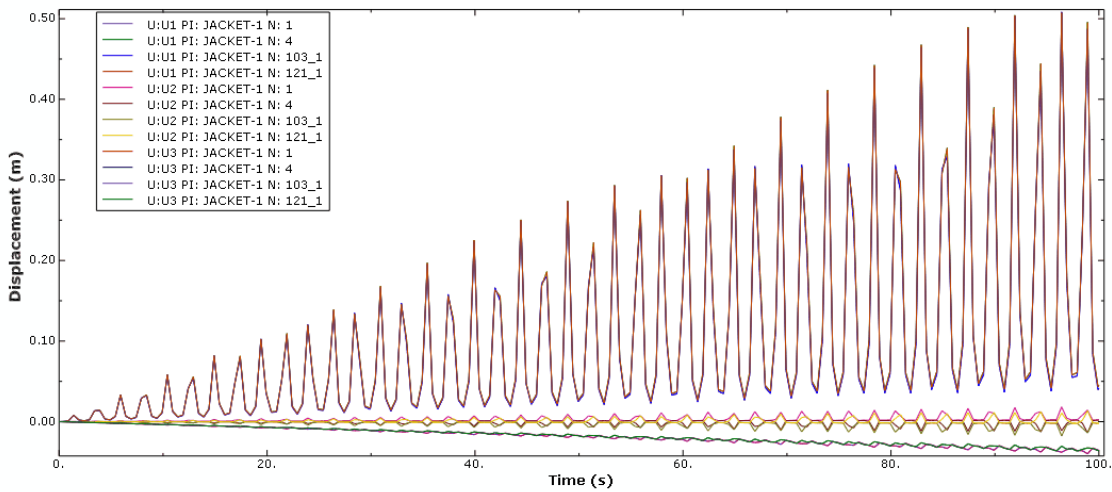
شکل (۴-۲۷). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز پنجم



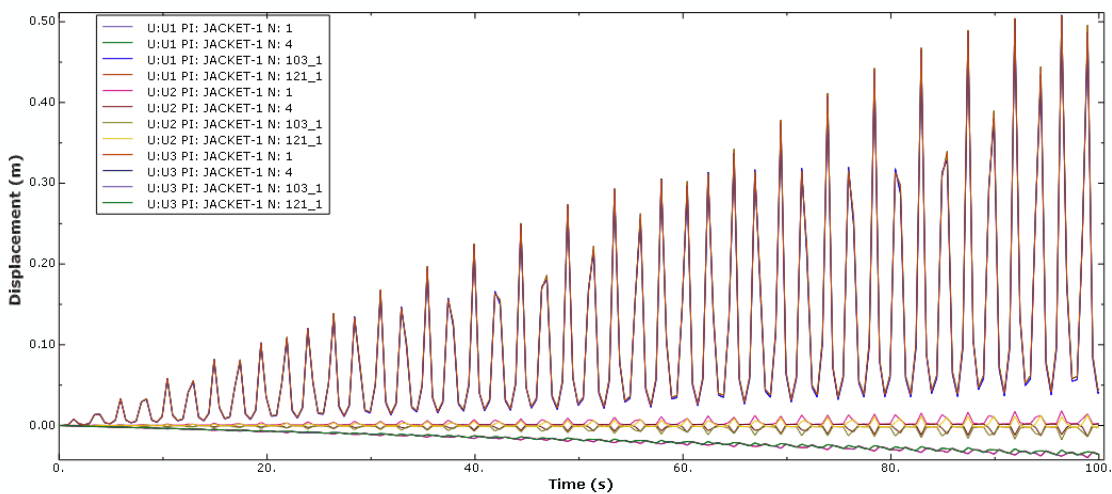
شکل (۴-۲۸). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز پنجم



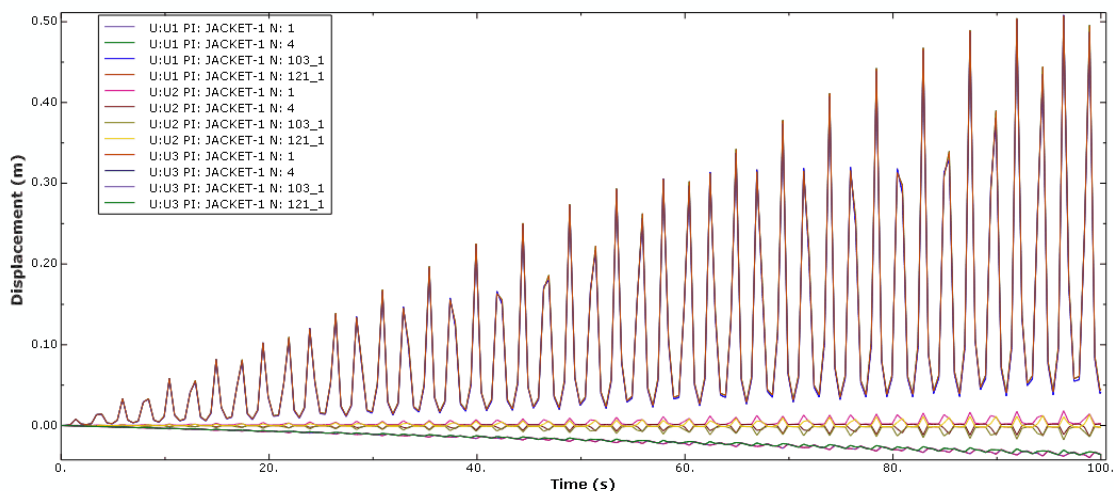
شکل (۴-۲۹). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز پنجم



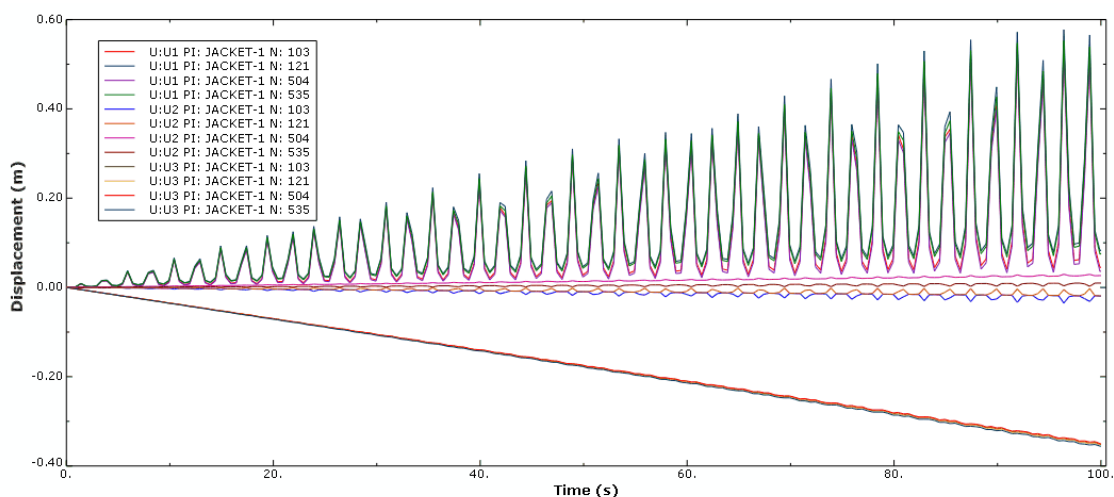
شکل (۴-۳۰). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تمام ترازها



شکل (۴-۳۱). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تمام ترازها



شکل (۴-۳۲). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تمام ترازها



شکل (۴-۳۳). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت عدم استفاده از میراگر

۴-۶-۲-۱. نتیجه مشاهده‌ها

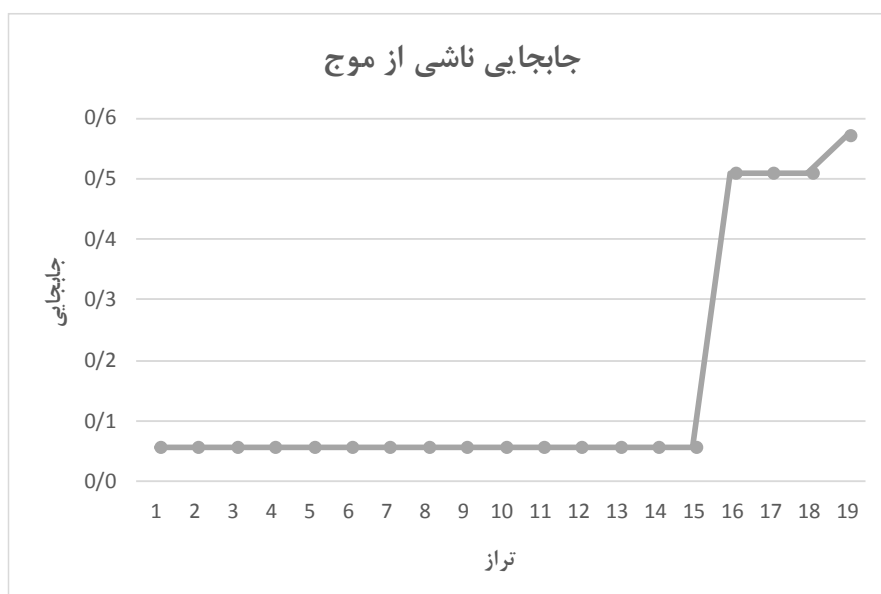
با توجه به جدول (۴-۳) و نمودار شکل (۴-۳۴) می‌توان مشاهده کرد که جابجایی در بالاترین تراز سکوی مورد مطالعه در حالیکه از میراگر استفاده نشده است معادل ۵۷ سانتی‌متر بوده است و این درحالیست که با استفاده از میراگر در تمامی ترازها مقدار فوق به ۵۱ سانتی‌متر کاهش یافته است و این به معنای بهبود ۱۰ درصدی تغییرشکل سکوی مورد مطالعه می‌باشد. اما نکته قابل توجه در این

قسمت آنست که با صرف هزینه کمتر و استفاده از یک میراگر در هر کدام از ترازها می توان این مقدار را تا مقداری در حدود ۱۰ برابر کاهش داد.

البته لازم به ذکر است که تراز و محل قرارگیری میراگر در آن تراز تفاوت چندانی در نتیجه حاصل ایجاد نکرده است.

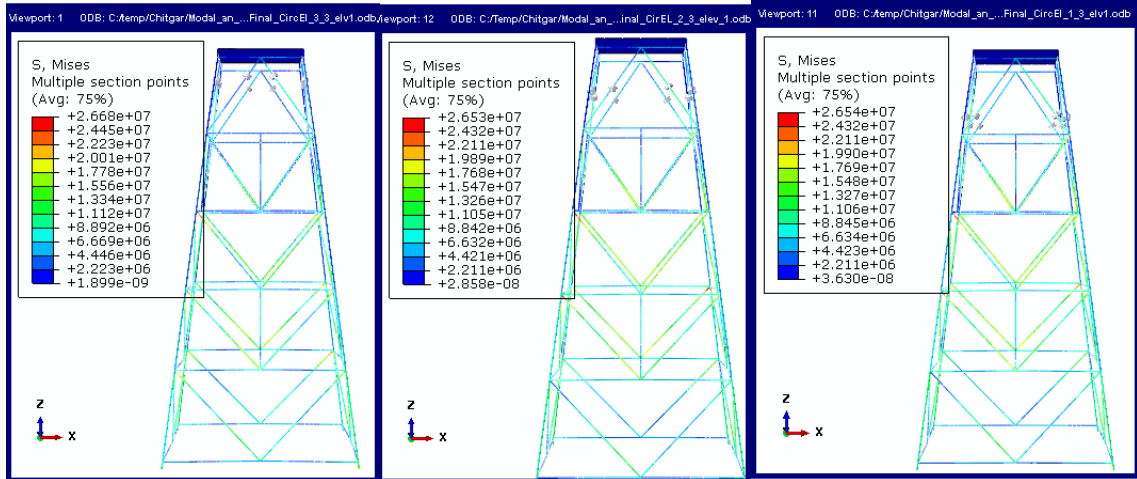
جدول (۳-۴). نتایج جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارهای هیدرودینامیکی

سئون	بیشترین جابجایی	جانمایی
۱	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۲	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۳	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۴	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۵	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۶	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۷	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۸	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۹	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۰	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۱	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۲	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۳	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۴	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۵	۰/۰۵۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۶	۰/۰۵۱	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۷	۰/۰۵۱	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۸	۰/۰۵۱	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۹	۰/۰۵۷	بدون میراگر

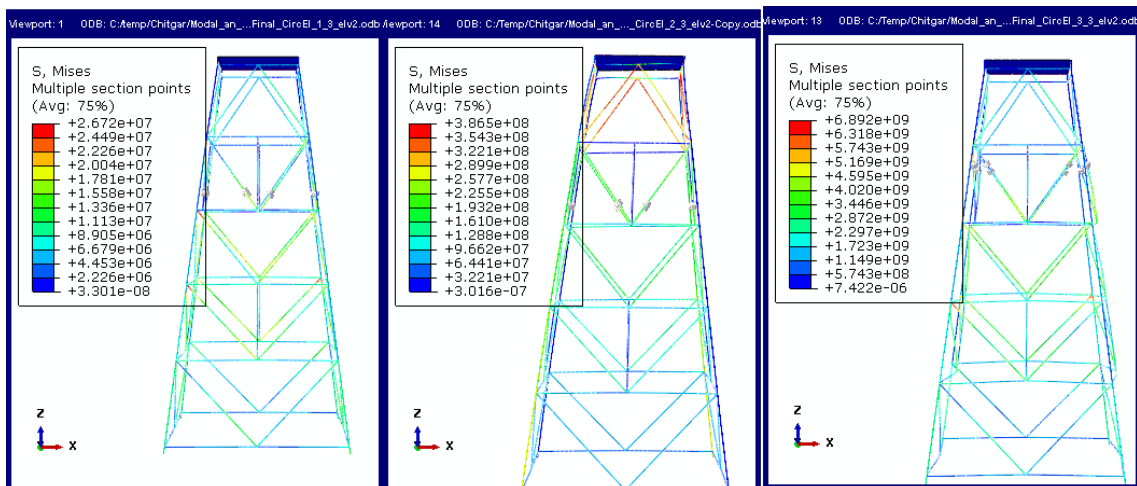


شکل (۳۴-۴). نتایج جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارهای هیدرودینامیکی

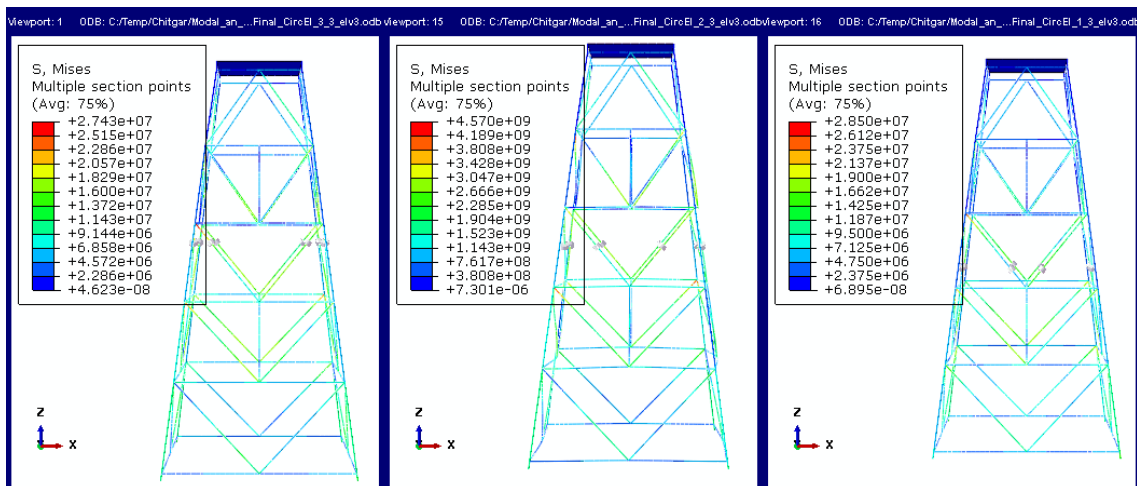
۳-۶-۴. توزیع تنش فونمیزس ناشی از بار زلزله



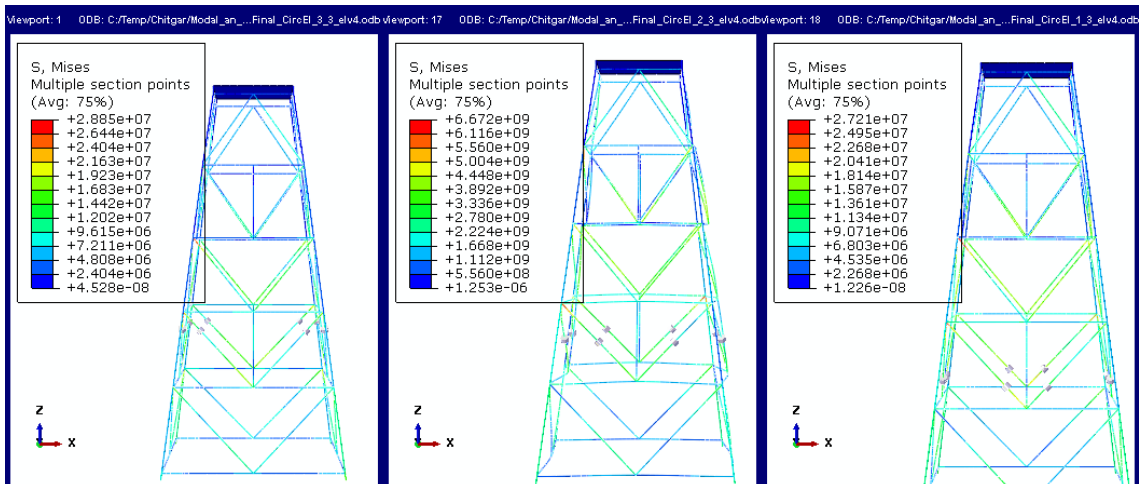
شکل (۴-۳۵). توزیع تنش فونمیزس در حالت استفاده از میراگر در تراز اول



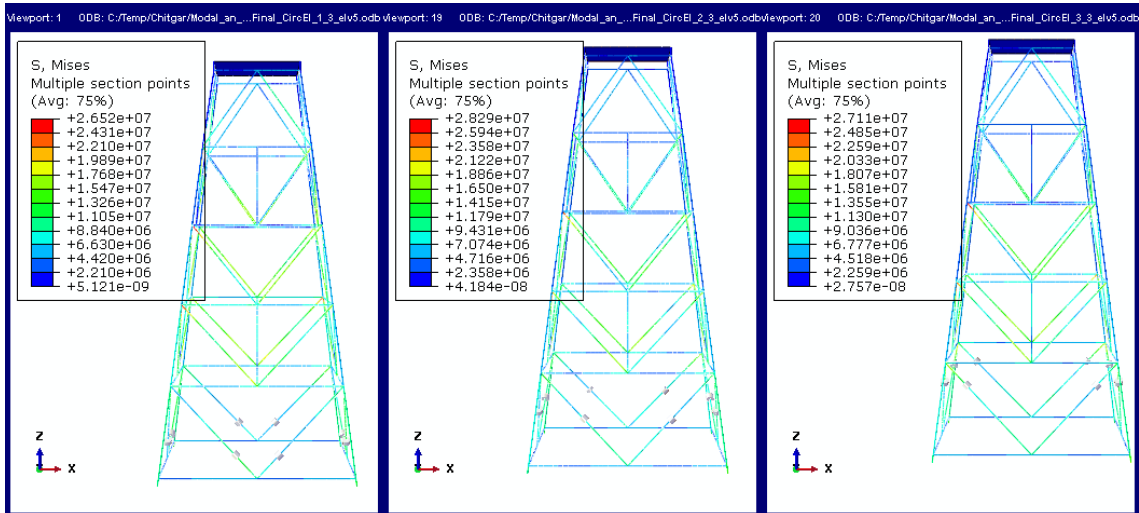
شکل (۴-۳۶). توزیع تنش فونمیزس در حالت استفاده از میراگر در تراز دوم



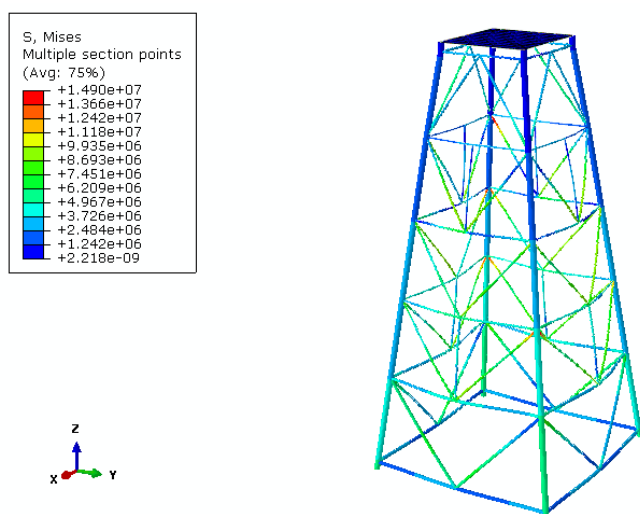
شکل (۴-۳۷). توزیع تنش فونمیزس در حالت استفاده از میراگر در تراز سوم



شکل (۴-۳۸). توزیع تنش فون میزس در حالت استفاده از میراگر در تراز چهارم



شکل (۴-۳۹). توزیع تنش فون میزس در حالت استفاده از میراگر در تراز پنجم



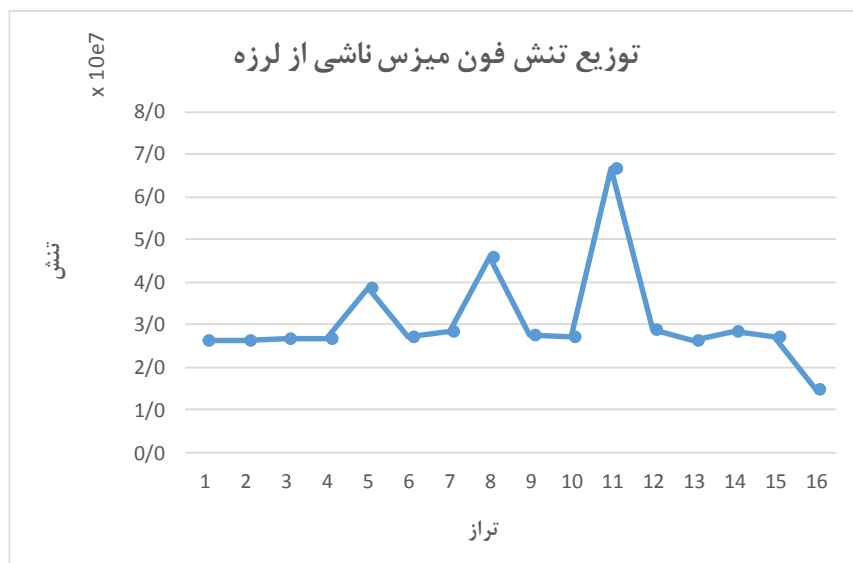
شکل (۴-۴۰). توزیع تنش فون میزس در حالت عدم استفاده از میراگر

۴-۶-۳-۱. نتیجه مشاهده‌ها

در حالتی که سکو در معرض بار زلزله قرار گرفته است با توجه به اطلاعات بدست آمده از جدول (۴-۴) و نمودار شکل (۴-۴۱)، می‌توان به این نتیجه رسید که با استفاده از میراگر در هر یک از ترازها، حداکثر تنش فون میزس در اعضای سکو افزایش یافته است که مقدار این افزایش در صورت استفاده از میراگر در تراز اول و آخر سکو، کمتر از مقدار مربوط به حالت استفاده از میراگر در ترازهای میانی بوده است. همچنین با توجه به نمودار در می‌یابیم که در صورت استفاده از میراگر در ترازهای میانی، هرچه میراگر در ترازهای پایین‌تری مورد استفاده قرار گیرد افزایش تنش بیشتری را به دنبال خواهد داشت. نکته دیگر که قابل توجه آنست که در باب محل قرارگیری میراگرها در یک تراز مشخص بیشترین افزایش تنش مربوط به حالتی است که میراگر در یک‌سوم میانی مورد استفاده واقع شده است.

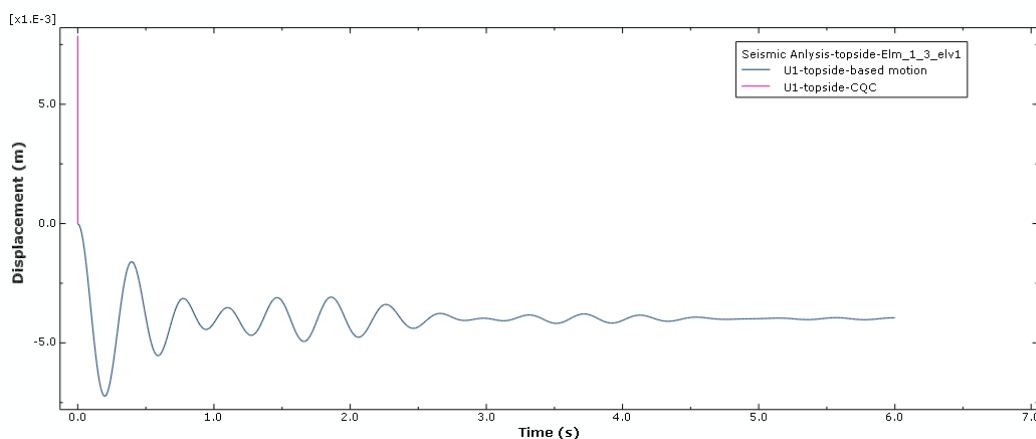
جدول (۴-۴). نتایج ماکزیمم تنش فون میزس ناشی از بارگذاری زلزله

	جانمایی	بیشترین	ستون
میراگر در تراز اول	۱/۳	$2/65E+07$	۱
	۲/۳	$2/65E+07$	۲
	۳/۳	$2/67E+07$	۳
میراگر در تراز اول	۱/۳	$2/67E+07$	۴
	۲/۳	$3/87E+07$	۵
	۳/۳	$2/73E+07$	۶
میراگر در تراز اول	۱/۳	$2/85E+07$	۷
	۲/۳	$4/57E+07$	۸
	۳/۳	$2/74E+07$	۹
میراگر در تراز چهارم	۱/۳	$2/72E+07$	۱۰
	۲/۳	$6/67E+07$	۱۱
	۳/۳	$2/89E+07$	۱۲
میراگر در تراز پنجم	۱/۳	$2/65E+07$	۱۳
	۲/۳	$2/83E+07$	۱۴
	۳/۳	$2/71E+07$	۱۵
بدون میراگر		$1/49E+07$	۱۶

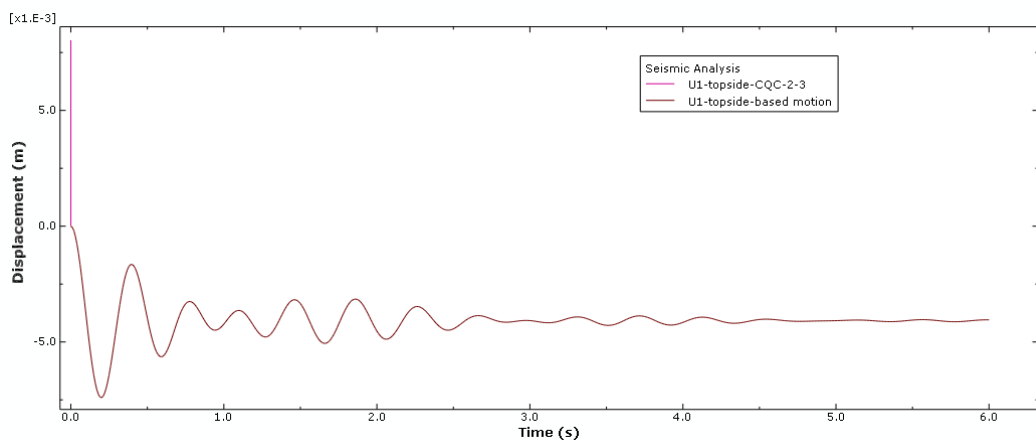


شکل (۴-۴۱). نتایج ماکزیمم تنش فون میزس ناشی از بارگذاری زلزله

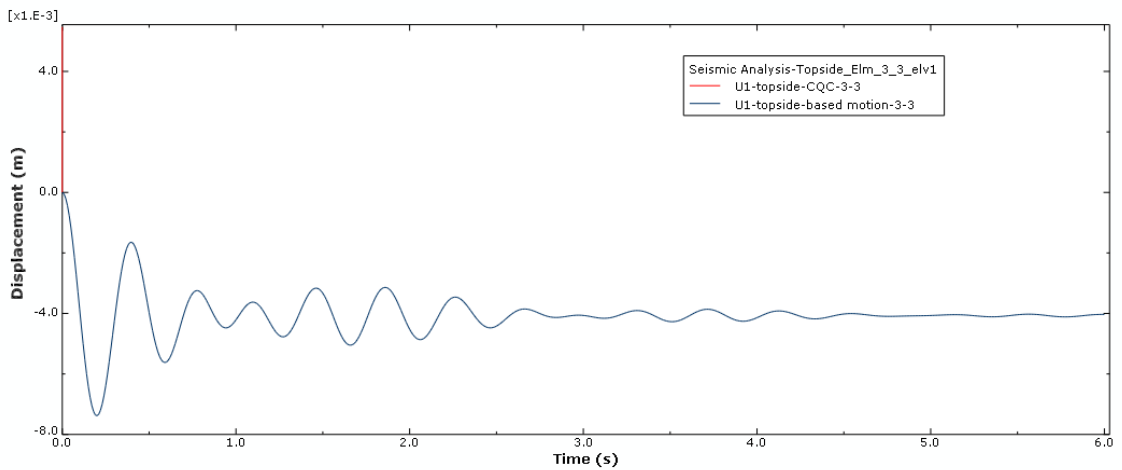
۴-۶-۴. بررسی جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارگذاری زلزله



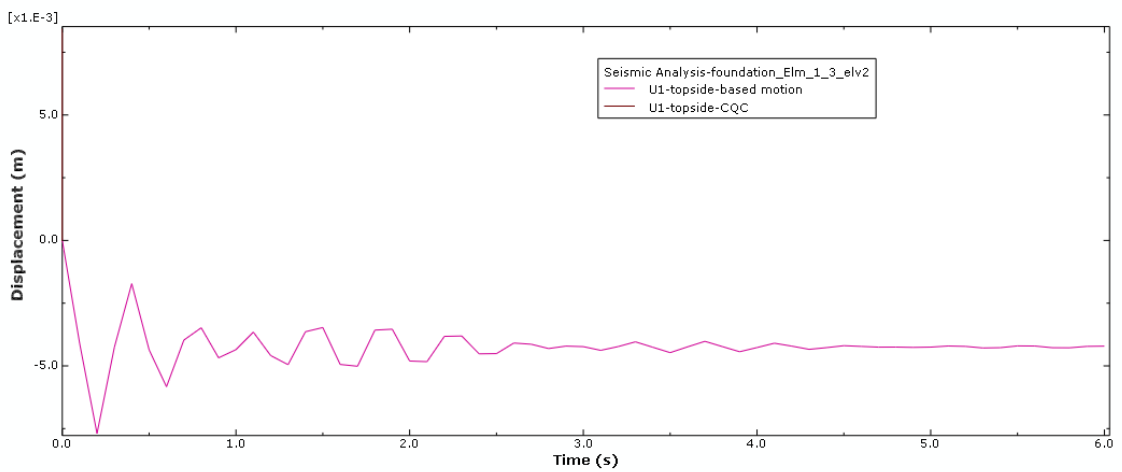
شکل (۴-۴۲). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز اول



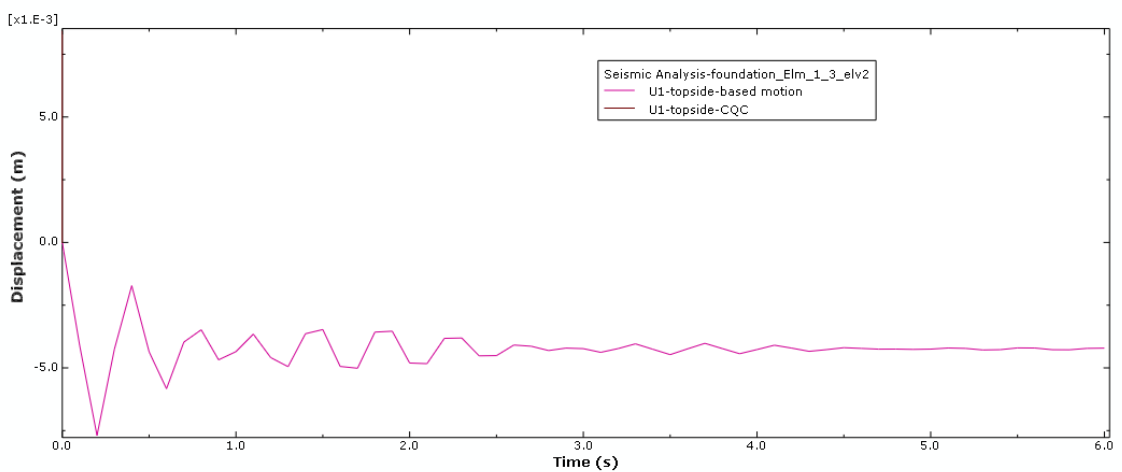
شکل (۴-۴۳). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز اول



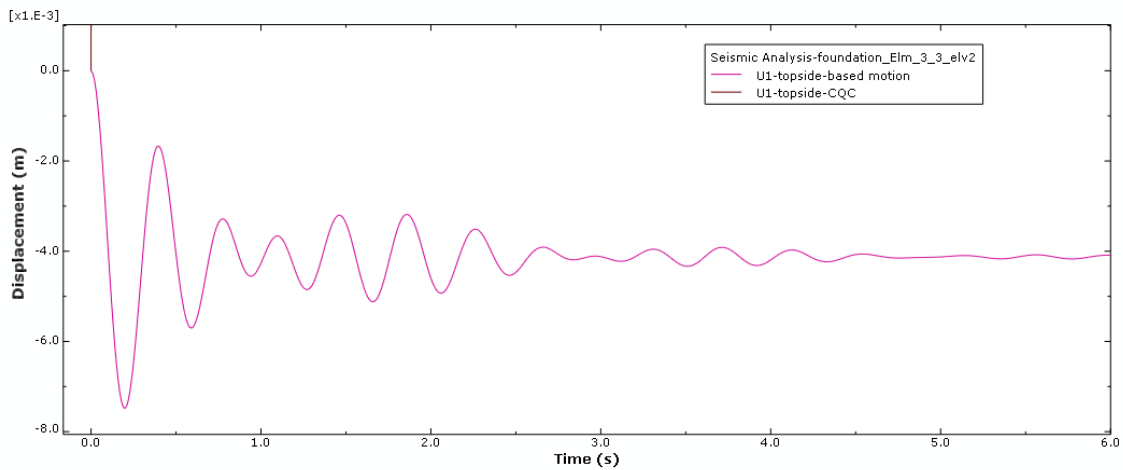
شکل (۴-۴۴). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز اول



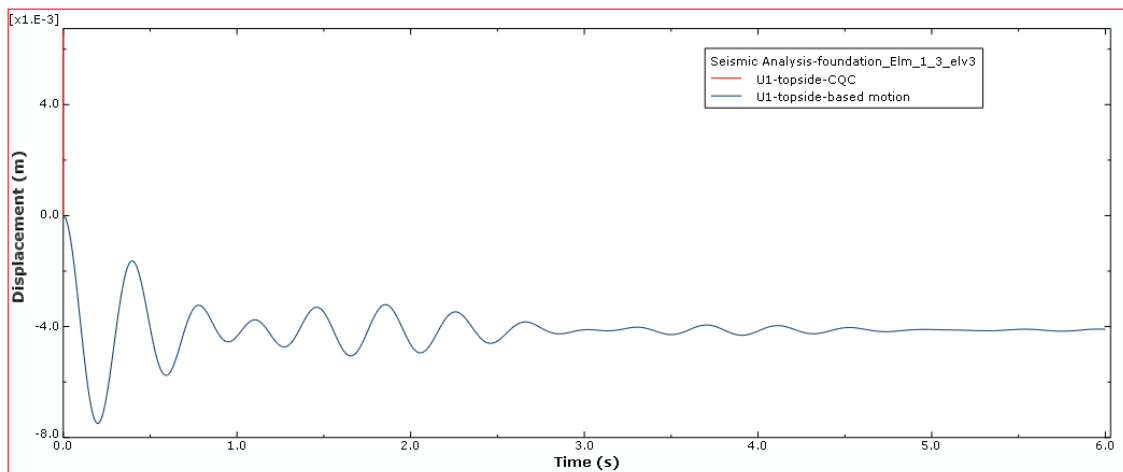
شکل (۴-۴۵). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز دوم



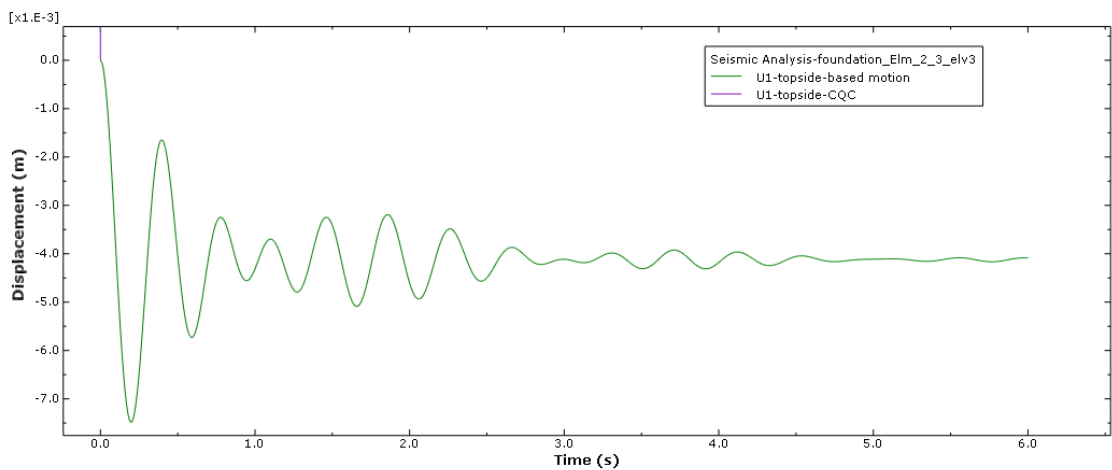
شکل (۴-۴۶). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز دوم



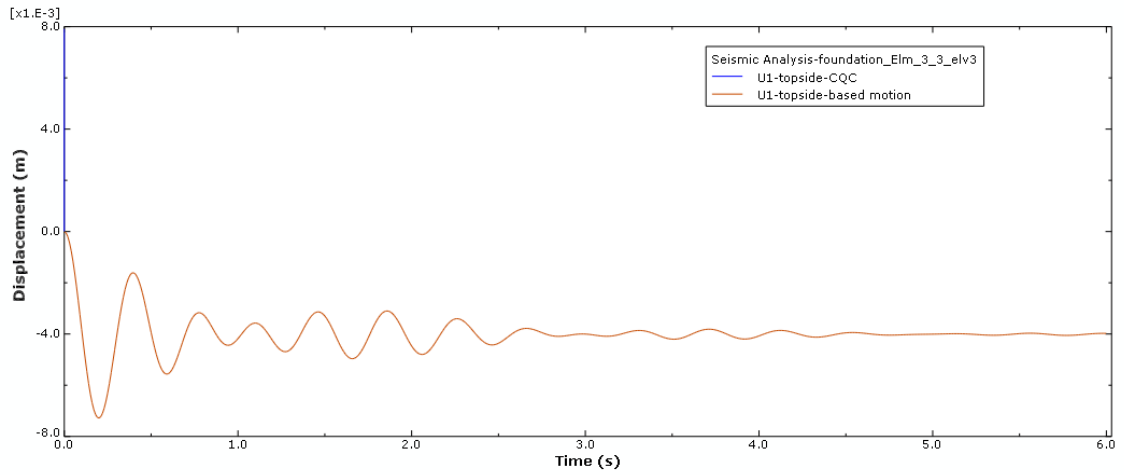
شکل (۴-۴۷). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز دوم



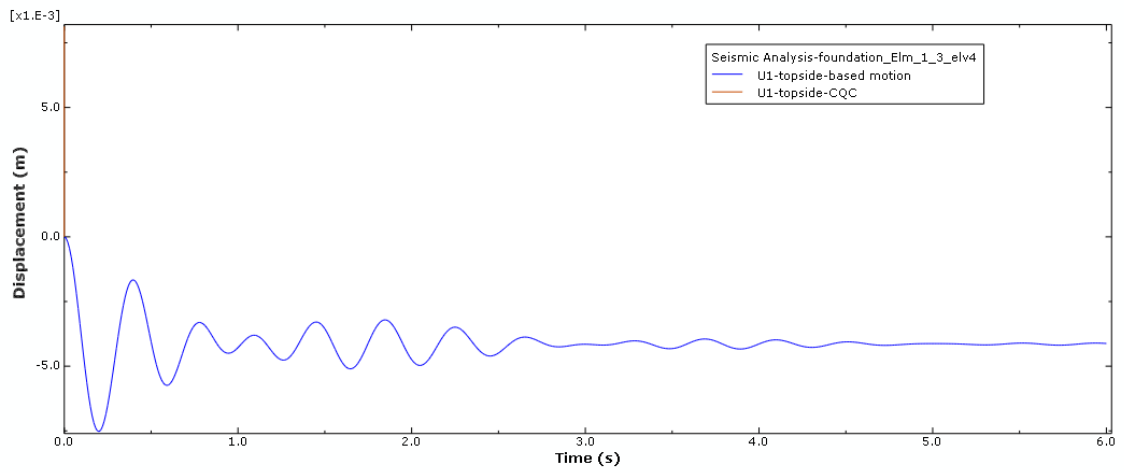
شکل (۴-۴۸). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز سوم



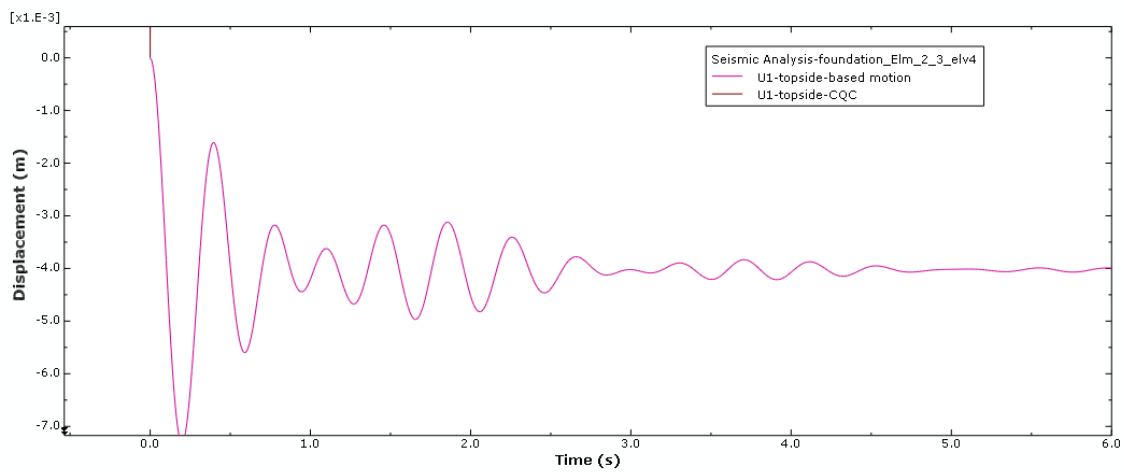
شکل (۴-۴۹). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز سوم



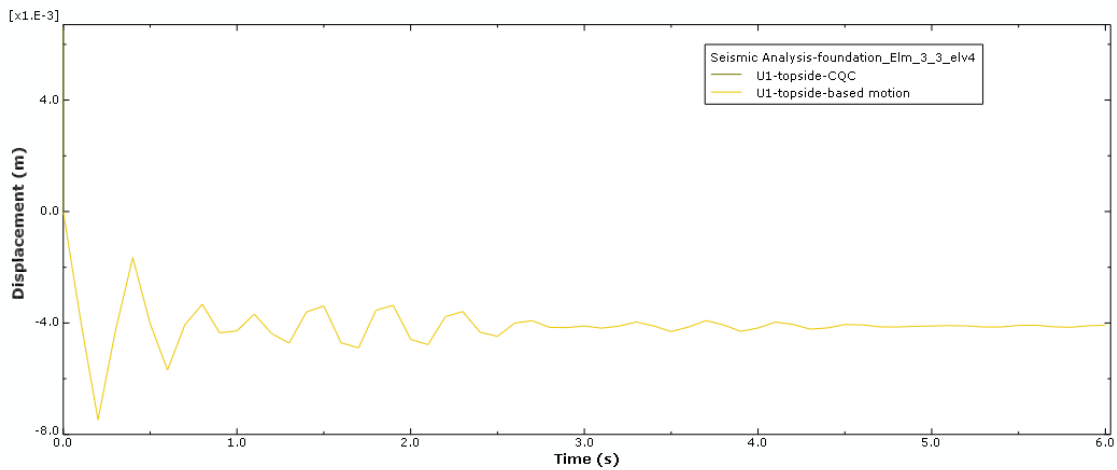
شکل (۴-۵۰). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز سوم



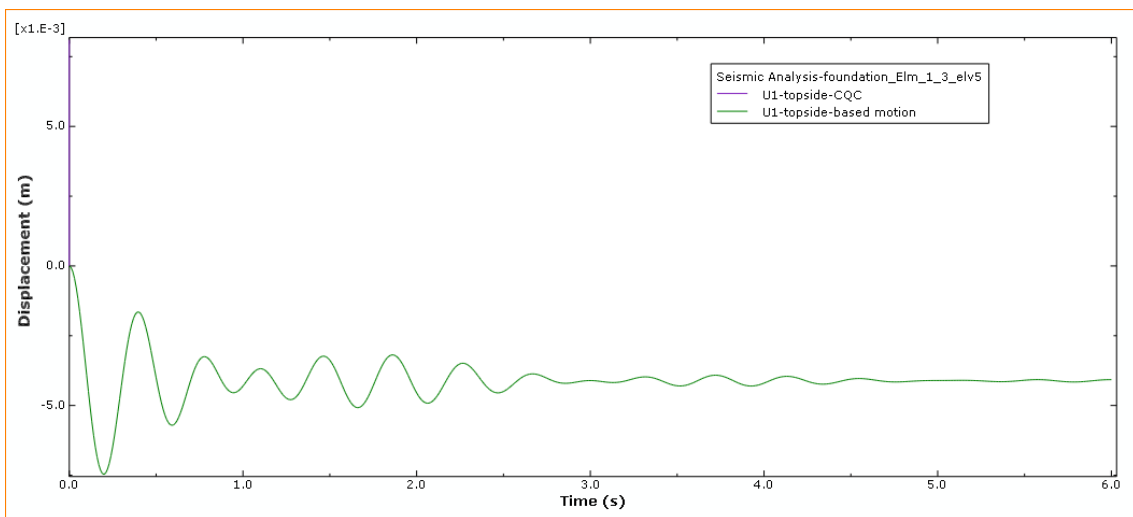
شکل (۴-۵۱). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز چهارم



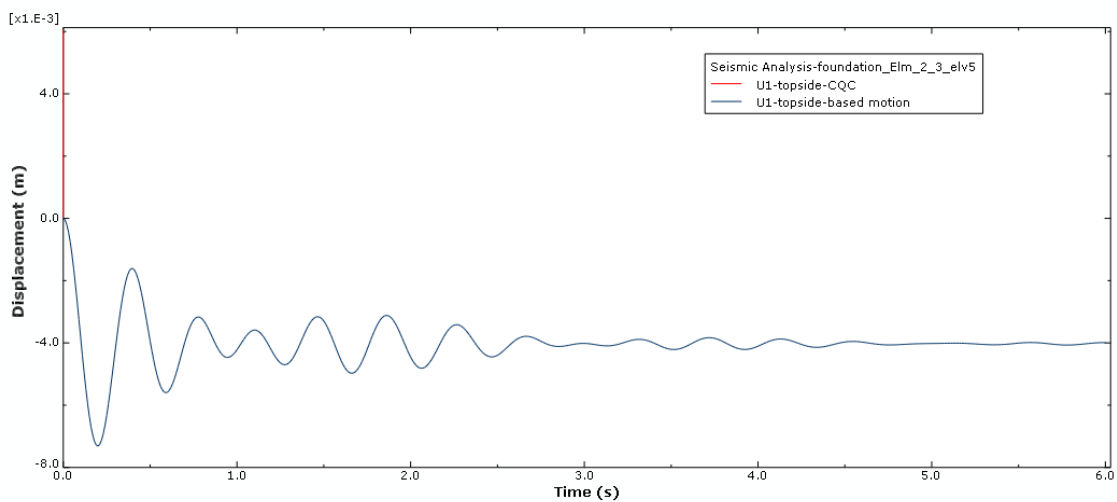
شکل (۴-۵۲). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز چهارم



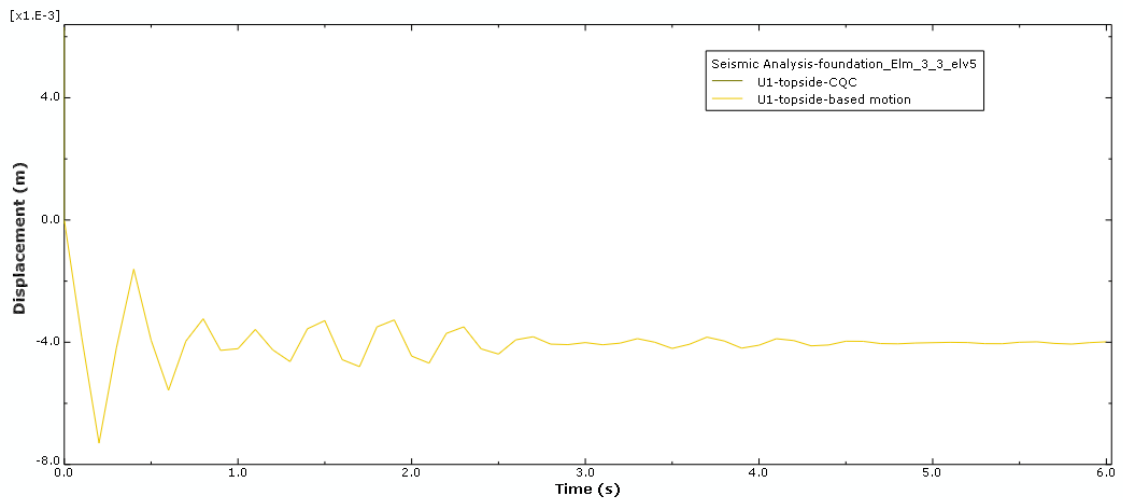
شکل (۴-۵۳). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز چهارم



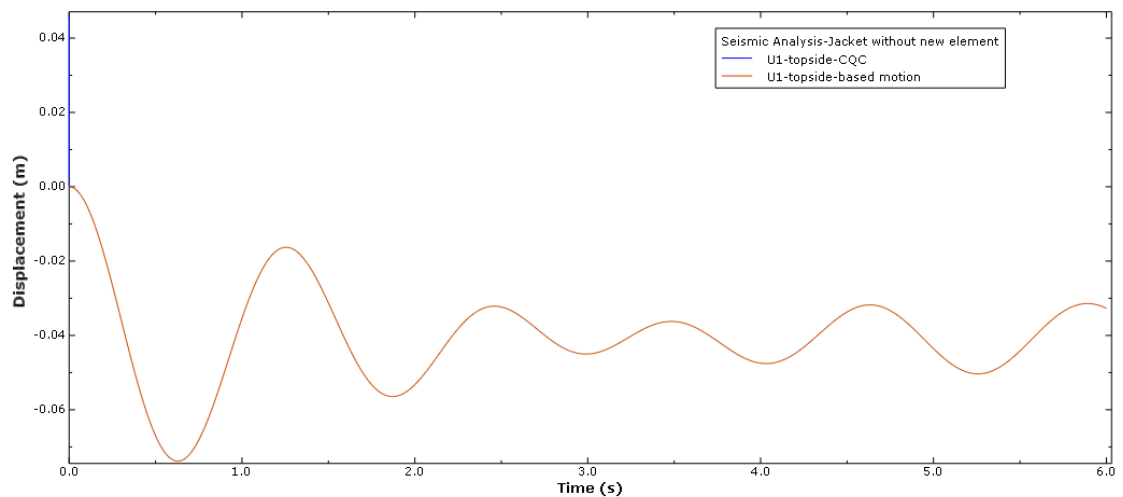
شکل (۴-۵۴). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز پنجم



شکل (۴-۵۵). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز پنجم



شکل (۴-۵۶). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز پنجم



شکل (۴-۵۷). میزان جابجایی بالاترین تراز سکو در حالت عدم استفاده از میراگر

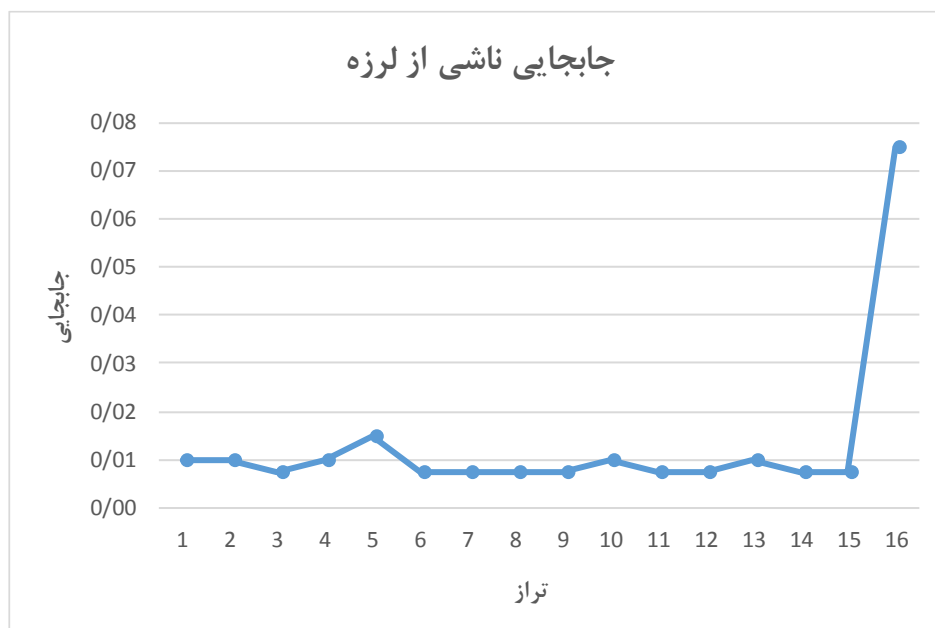
۴-۶-۴-۱. نتیجه مشاهده‌ها

با توجه به نتایج بدست آمده از جدول (۴-۵) و با توجه به نمودار شکل (۴-۵۸) بدست آمده، می‌توان دریافت که تنها با استفاده از یک میراگر در هر کدام از ترازهای موجود می‌توان جابجایی بالاترین تراز سکوی مورد نظر را تا ۱۰ برابر کاهش بخشید. همچنین مشاهده می‌گردد که در یک تراز مشخص، با استفاده از میراگر در ناحیه یک سوم انتهایی می‌توان بهینه‌ترین جابجایی را بدست آورد. البته لازم به

ذکر است که از تراز دوم به بعد در صورت استفاده از میراگر در قسمت میانی عضو بادبندی، مقدار بهبود جابجایی مشابهی مشاهده خواهد شد.

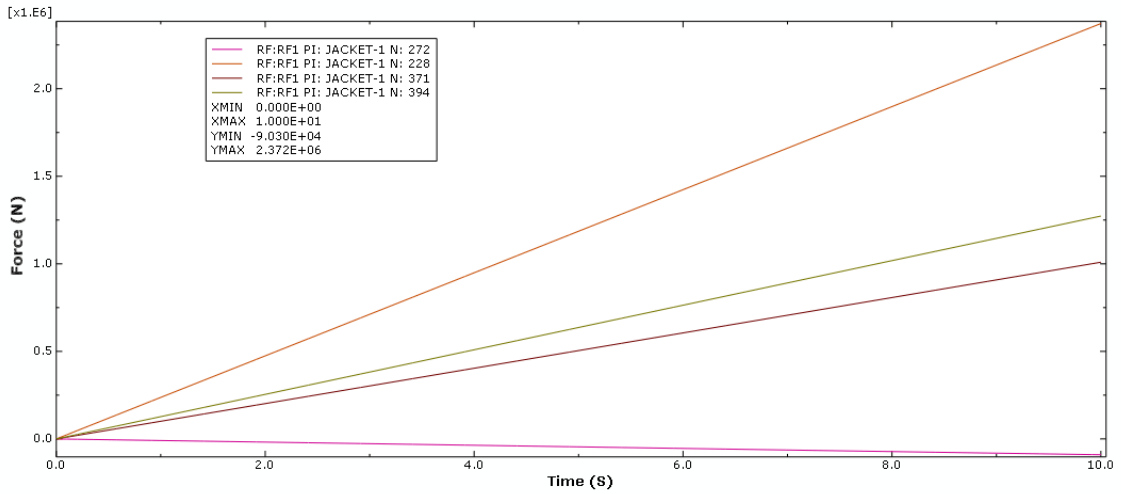
جدول (۴-۵). نتایج جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارگذاری زلزله

ستون	بیشترین جابجایی	جانمایی	
میراگر در تراز اول	۱/۰۰ E-۰۲	۱/۳	۱
	۱/۰۰ E-۰۲	۲/۳	۲
	۷/۵۰ E-۰۳	۳/۳	۳
میراگر در تراز دوم	۱/۰۰ E-۰۲	۱/۳	۴
	۱/۵۰ E-۰۲	۲/۳	۵
	۷/۵۰ E-۰۳	۳/۳	۶
میراگر در تراز سوم	۷/۵۰ E-۰۳	۱/۳	۷
	۷/۵۰ E-۰۳	۲/۳	۸
	۷/۵۰ E-۰۳	۳/۳	۹
میراگر در تراز چهارم	۱/۰۰ E-۰۲	۱/۳	۱۰
	۷/۵۰ E-۰۳	۲/۳	۱۱
	۷/۵۰ E-۰۳	۳/۳	۱۲
میراگر در تراز پنجم	۱/۰۰ E-۰۲	۱/۳	۱۳
	۷/۵۰ E-۰۳	۲/۳	۱۴
	۷/۵۰ E-۰۳	۳/۳	۱۵
بدون میراگر	۷/۵۰ E-۰۲		۱۶

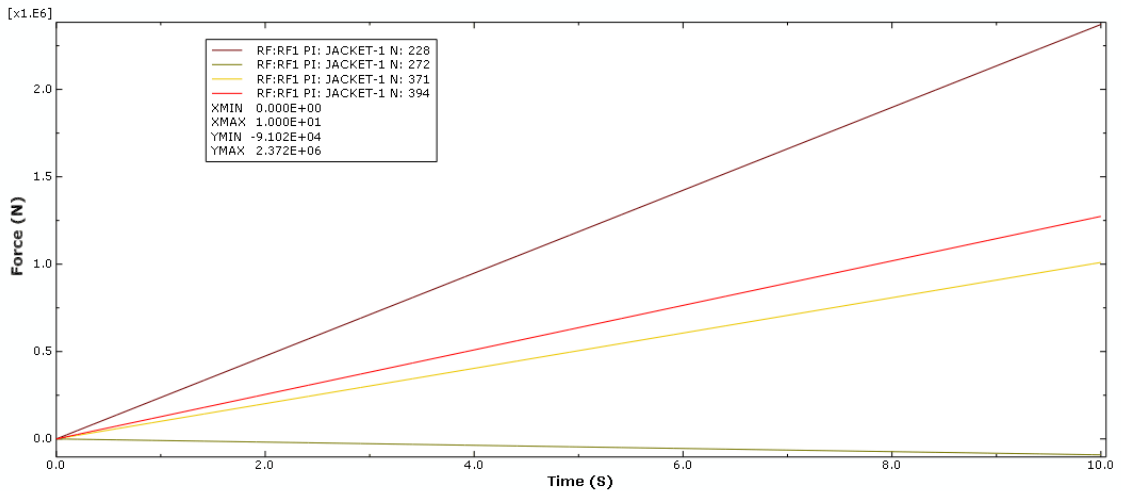


شکل (۴-۵۸). نتایج جابجایی بالاترین تراز سکو ناشی از بارگذاری زلزله

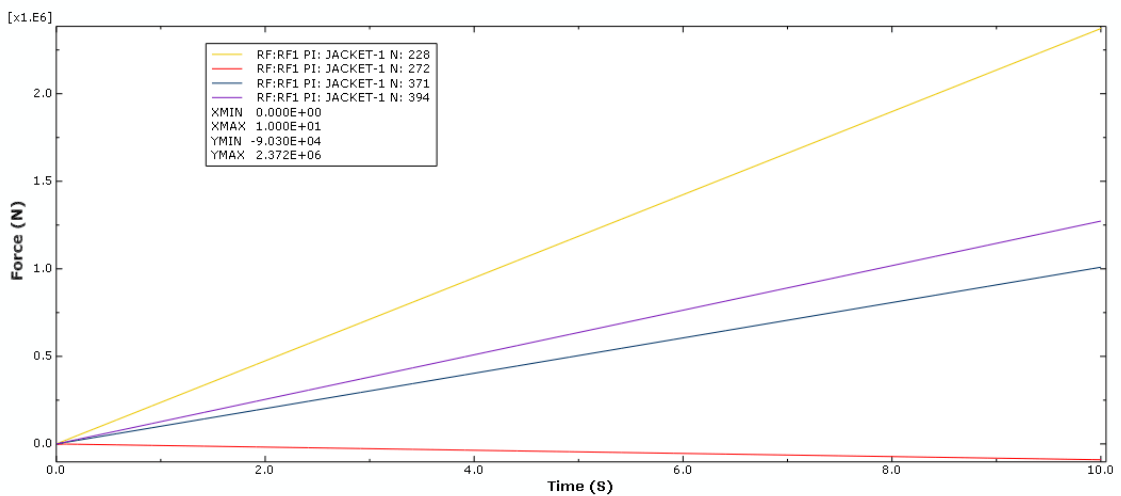
۵-۶-۴. بررسی بیشترین برش پایه سکو ناشی از بارگذاری زلزله



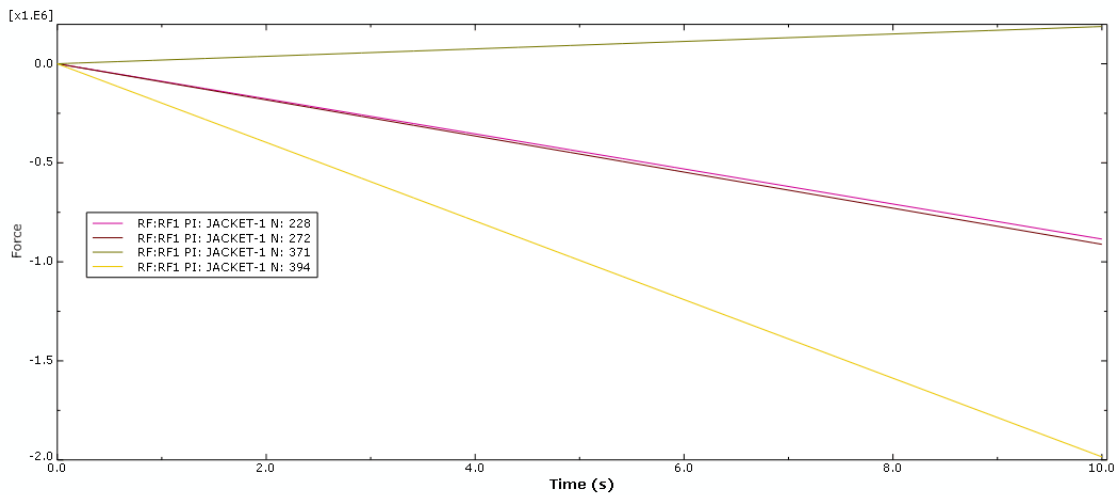
شکل (۴-۵۹). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز اول



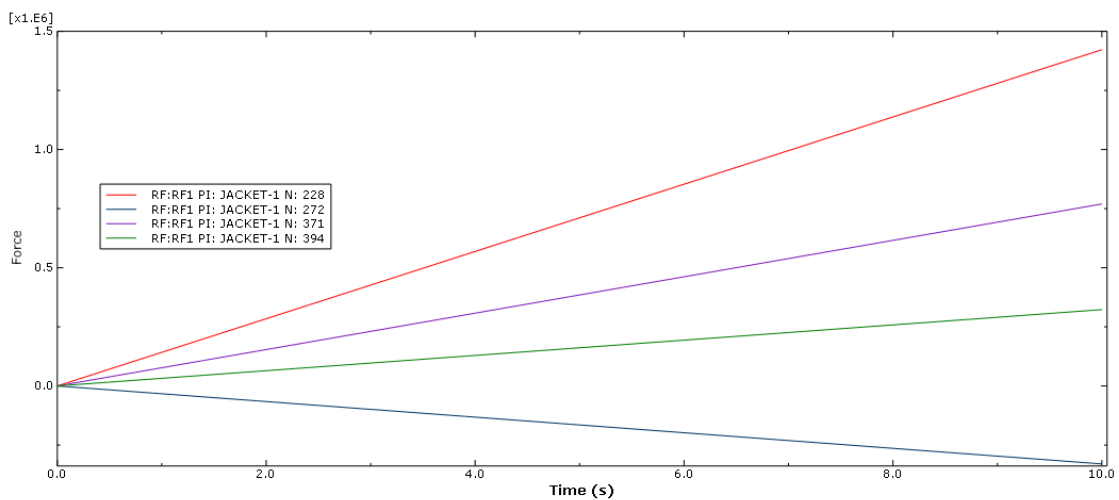
شکل (۴-۶۰). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز اول



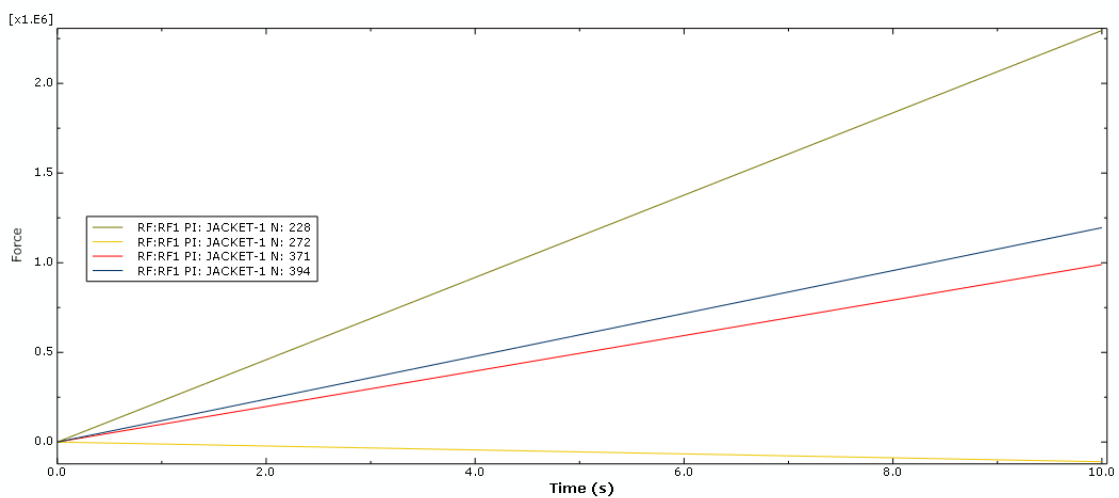
شکل (۴-۶۱). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز اول



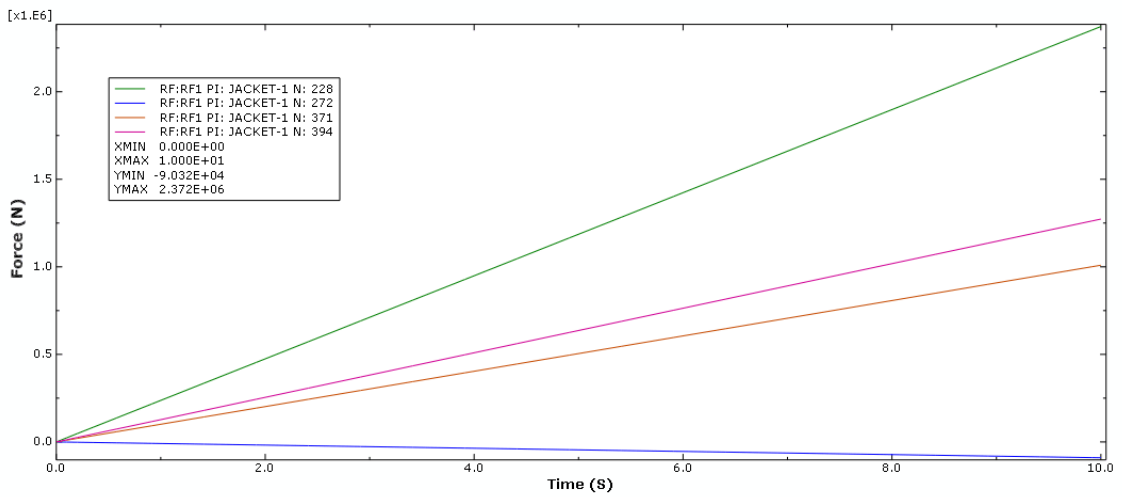
شکل (۶۲-۴). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز دوم



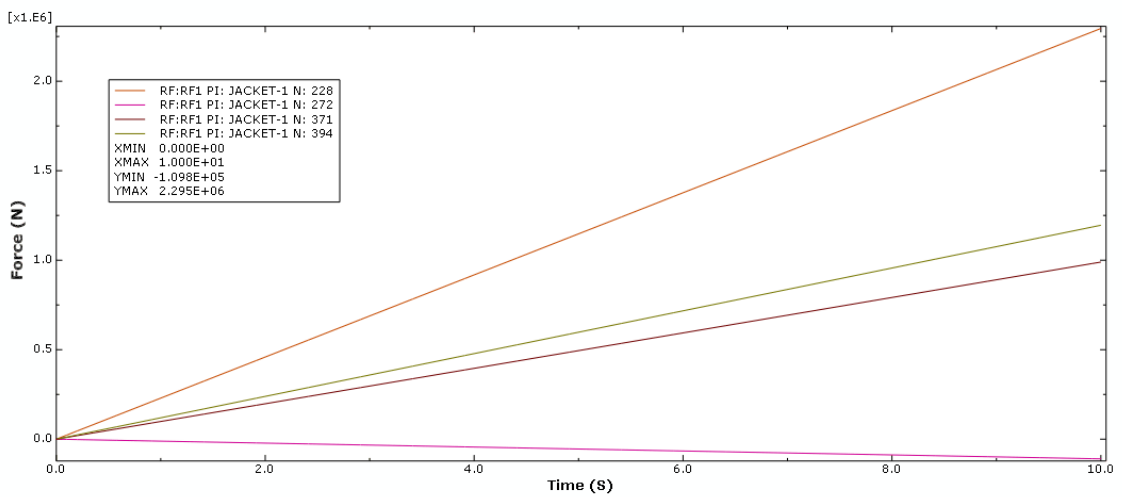
شکل (۶۳-۴). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز دوم



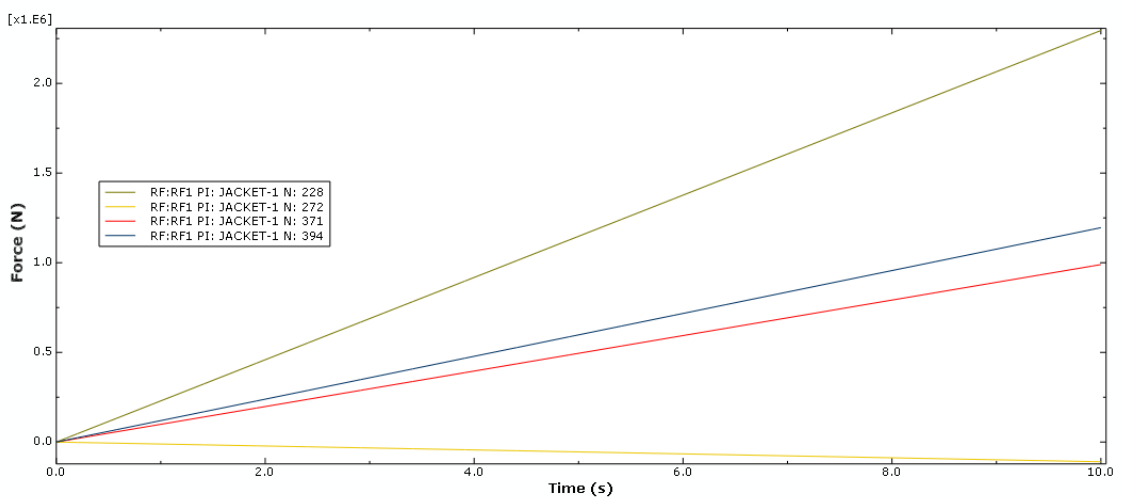
شکل (۶۴-۴). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز دوم



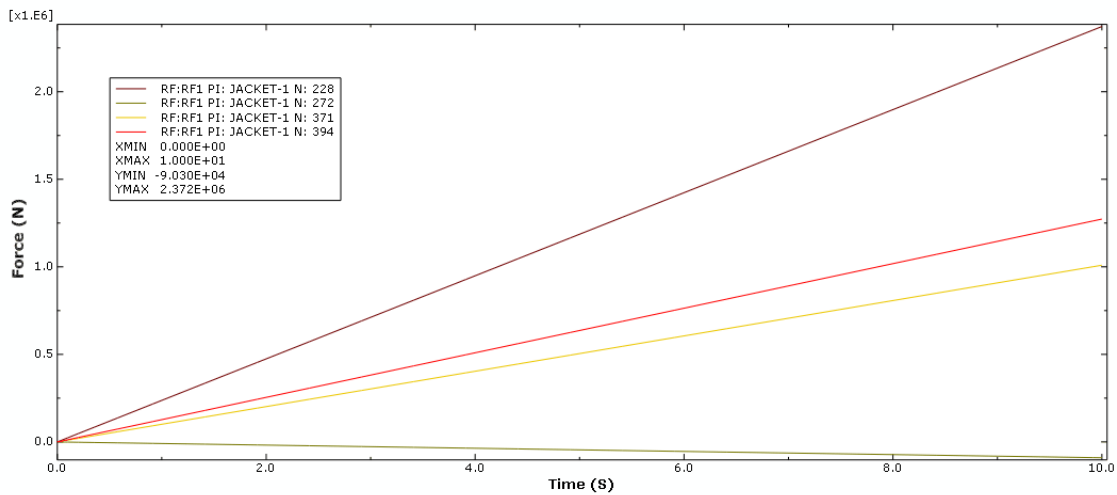
شکل (۴-۶۵). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز سوم



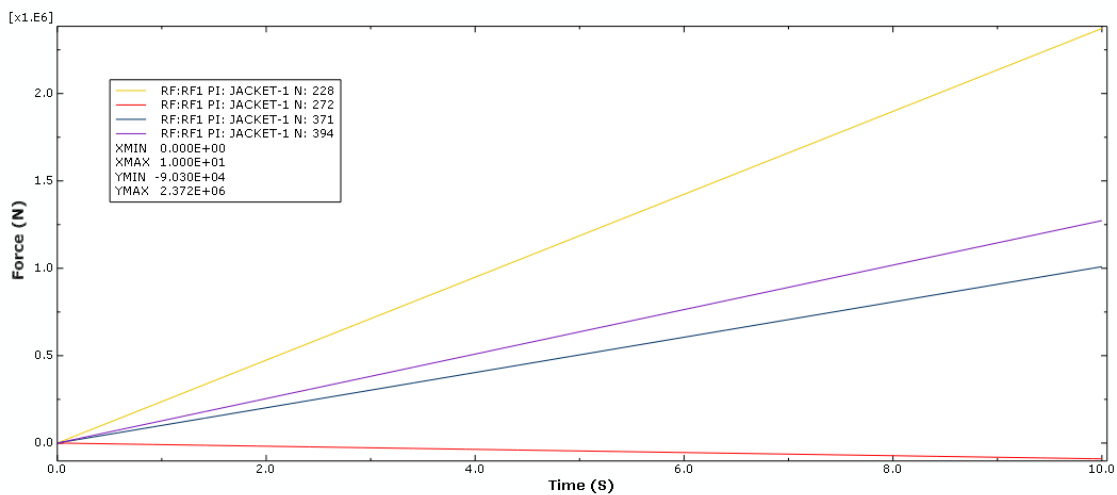
شکل (۴-۶۶). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز سوم



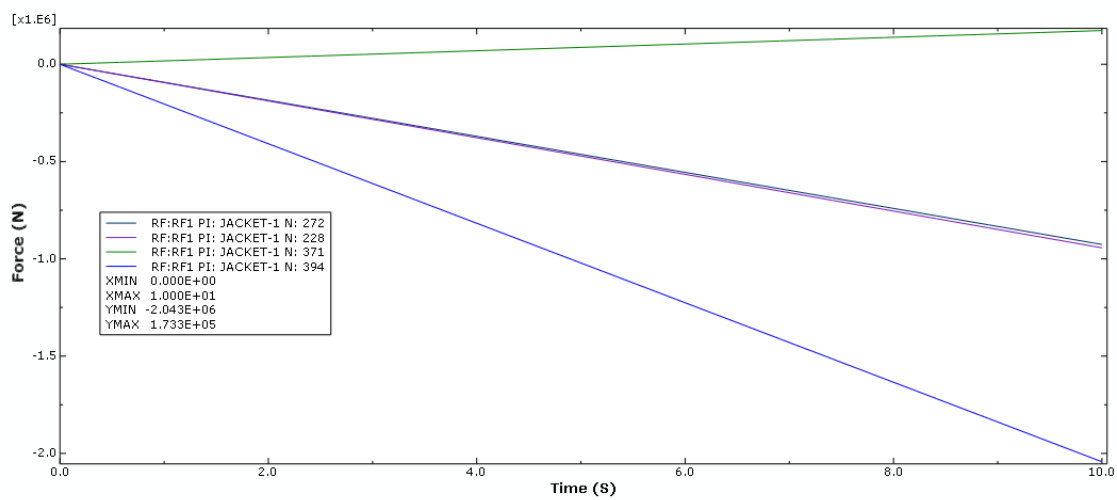
شکل (۴-۶۷). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز سوم



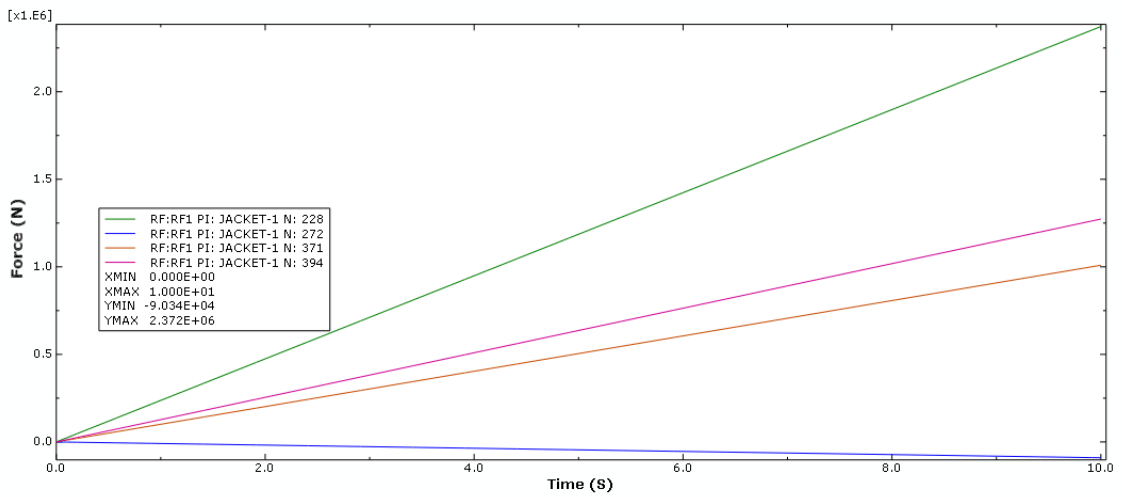
شکل (۴-۶۸). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز چهارم



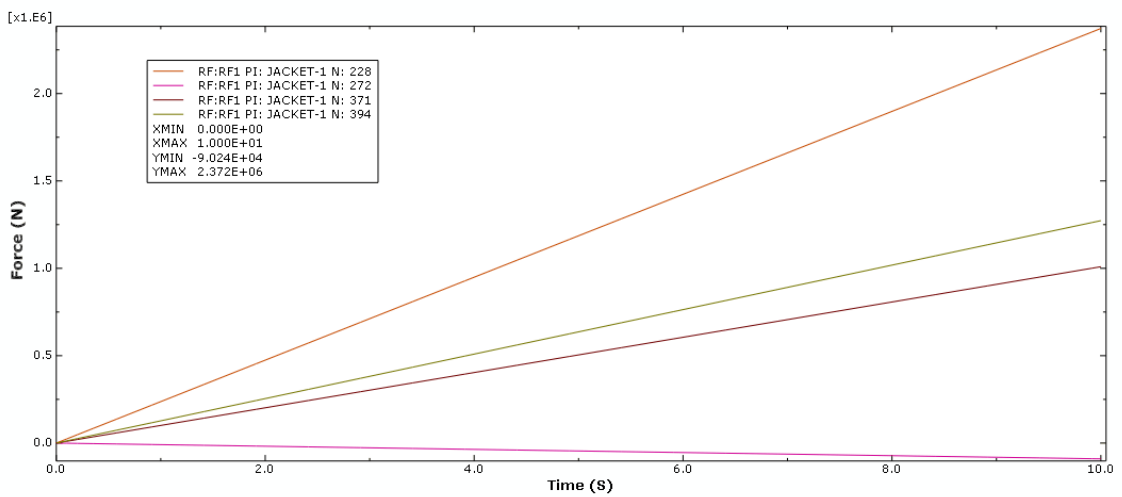
شکل (۴-۶۹). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز چهارم



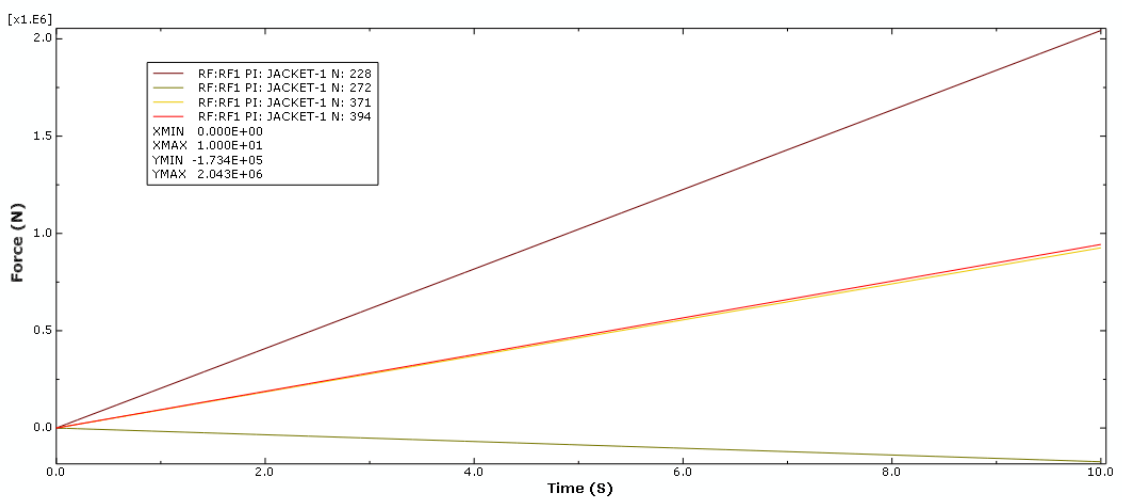
شکل (۴-۷۰). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز چهارم



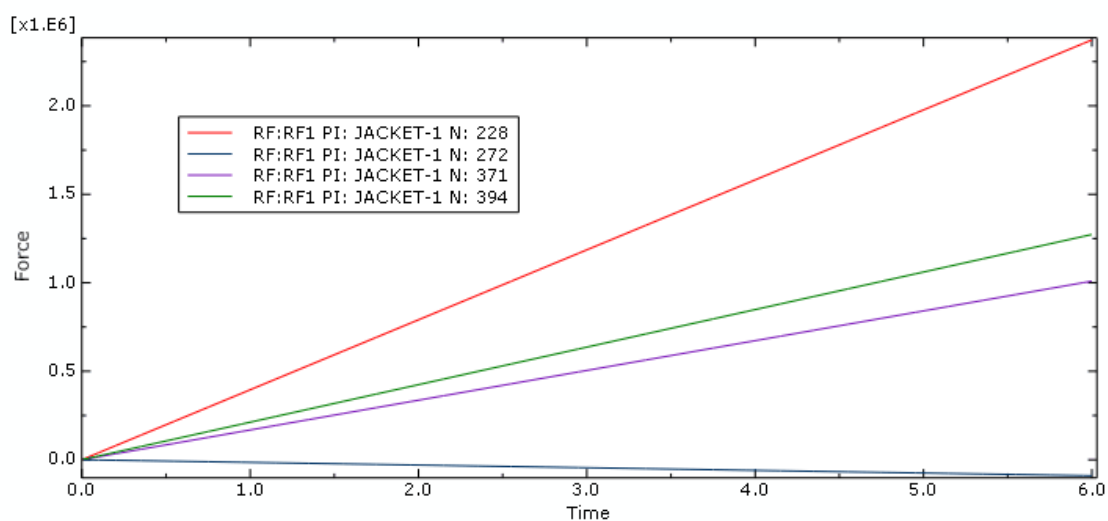
شکل (۴-۷۱). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم ابتدایی عضو در تراز پنجم



شکل (۴-۷۲). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم میانی عضو در تراز پنجم



شکل (۴-۷۳). میزان برش پایه در حالت استفاده از میراگر در یک سوم انتهایی عضو در تراز پنجم



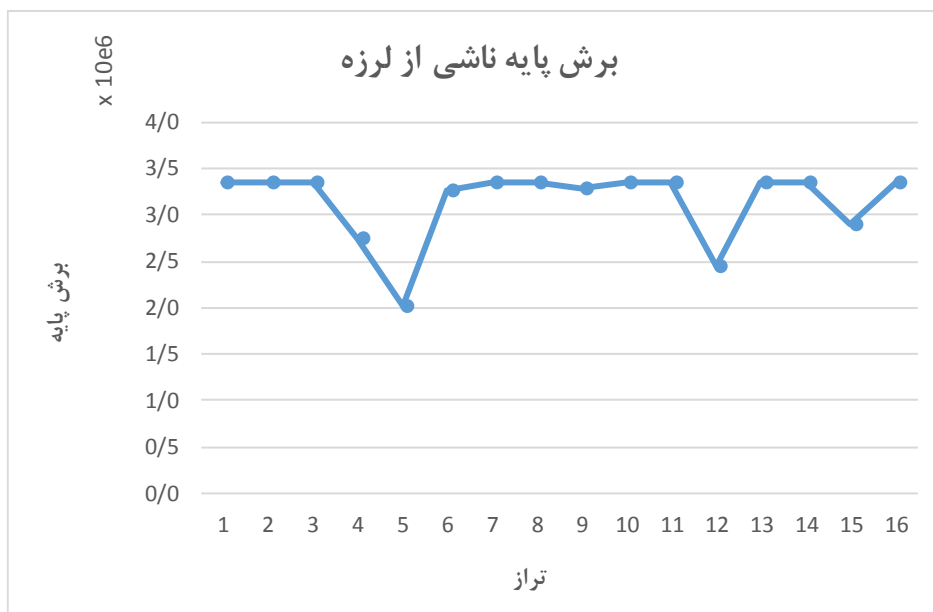
شکل (۴-۷۴). میزان برش پایه در حالت عدم استفاده از میراگر

۴-۶-۵-۱. نتیجه مشاهده‌ها

با توجه به اطلاعات بدست آمده که در جدول (۴-۶) و نمودار شکل (۴-۷۵) قابل مشاهده است، استفاده از میراگرها در ناحیه یک‌سوم ابتدایی و میانی در یک تراز مشخص تاثیر چندانی در مقدار برش پایه بدست آمده در پای سکو نخواهد داشت. این در حالی است که استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی هر تراز بخصوص در ترازهای پایین می‌تواند مقدار برش پایه را بصورت محسوسی کاهش دهد.

جدول (۴-۶). نتایج برش پایه سکو ناشی از بارگذاری زلزله

ستون	بیشترین برش پایه	جانمایی
۱	۳/۳۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۲	۳/۳۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۳	۳/۳۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۴	۲/۷۶E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۵	۲/۰۱E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۶	۳/۲۷E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۷	۳/۳۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۸	۳/۳۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۹	۳/۳۰E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۰	۳/۳۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۱	۳/۳۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۲	۲/۴۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۳	۳/۳۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۴	۳/۳۵E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۵	۲/۸۹E+۰۶	۱/۳
		۲/۳
		۳/۳
۱۶	۳/۳۵E+۰۶	بدون میراگر



شکل (۴-۷۵). نتایج برش پایه سکو ناشی از بارگذاری زلزله

۴-۷. جمع بندی نتایج

با بررسی و گردآوری نتایج و اطلاعات بدست آمده از قسمت‌های پیشین این پژوهش که به سه بخش ارزیابی حداکثر تنش فون میزس، جابجایی عرشه و میزان برش پایه حداکثر پرداخته است، چنین نتیجه می‌دهد که استفاده از میراگر نوع فلز جاری‌شونده که در این پژوهش جهت بهسازی لرزه‌ای سکوی مدنظر مورد استفاده قرار گرفته شده است، عملکرد مناسبی را در بحث جابجایی عرشه از خود نشان می‌دهد و تقریباً در تمامی حالات باعث کاهش مقادیر در قیاس با حالت بدون حضور میراگر می‌شود. همچنین با بررسی مبحث برش پایه می‌توان اینطور اظهارنظر کرد که در صورت استفاده از میراگر در یک‌سوم بالایی هر یک از بادبندهای عمودی تراز دوم به بعد، با کاهش مقدار برش پایه به میزان محسوسی همراه بوده است.

مطابق با نتایج حاصل اشاره شده در بالا می‌توان چنین اظهارنظر کرد که استفاده از میراگر در یک‌سوم انتهایی (بالایی) هر یک از بادبندهای عمودی بهترین جانمایی در آن تراز می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج مربوط به مقدار تنش فون میزس ثبت شده در نمودارها، می‌توان اینگونه جمع‌بندی کرد که استفاده

از میراگر فلزی جاری شونده در یکسوم بالایی بادبندهای عمودی تراز دوم (شکل ۴-۴) بهینه‌ترین
جانمایی در مبحث مقابله با نیروهای زلزله بوده است.

نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۵. پیشگفتار

در این پایان نامه موضوع کنترل لرزه‌ای و تأثیر آن بر روی سازه‌های فراساحلی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. انواع سیستم‌های کنترل لرزه‌ای تشریح شده و مورد بررسی قرار گرفتند. به عنوان یک مطالعه موردی سکوی ثابت شابلونی رسالت که در خلیج فارس نصب شده است با استفاده از نرم افزار تحلیل المان محدود آباکوس نیز مدل گردید و در دو حالت با میراگر و بدون میراگر تحت تحریک لرزه ای قرار گرفت. در انتها نتایج حاصل از تحلیل با همدیگر مقایسه گردیدند.

۲-۵. خلاصه نتایج

در تحقیق حاضر موضوع کنترل لرزه‌ای سکوی ثابت شابلونی بحث گردید و نتایجی حاصل شد که در بهسازی سکوه‌ای موجود و همچنین در شناخت بهتر رفتار این سکوها در برابر نیروهای لرزه‌ای، نتایج جالب توجهی داشته است:

- ✓ برای سکوه‌ای شابلونی واقع در مناطق لرزه‌خیز نیروهای موج و زلزله دو بار اصلی طراحی می‌باشند.
- ✓ سیستم میراگر فلز جاری‌شونده به عنوان یک سیستم غیرفعال تاثیر قابل توجهی بر پاسخ‌های دینامیکی سازه دارد.
- ✓ تحلیل طیفی در سکوی شابلونی مورد مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از میراگر فلزی جاری-شونده در بحث جابجایی عرشه بسیار موثر بوده تا جاییکه می‌توان حتی در حدود ۱۰ برابر میزان جابجایی را کاهش بخشید. نتیجه حاصل در مورد بررسی آثار نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر سکو نیز صادق بوده است.

✓ تحلیل طیفی انجام شده در سکوی شابلونی مورد مطالعه نشان می‌دهد با استفاده از میراگر فلزی جاری‌شونده در ترازهای بخصوص می‌توان میزان برش پایه را تا مقدار محسوس و قابل توجهی بهبود بخشید.

✓ بررسی تنش فون میزس ایجاد شده در المان‌ها و قیاس با حالت بدون استفاده از المان مذکور در سکو نشان داد که این سیستم در این مبحث بخصوص کارایی لازم را نداشته و نتایج مطلوبی به دست نداده است.

۲-۵. پیشنهادات ادامه کار

در با توجه به محدودیت‌های موجود در پایان نامه شامل زمان، منابع، امکانات و ... بسیاری از جنبه‌های کنترل لرزه‌ای سکوی شابلونی مورد نظر مورد بحث و بررسی قرار نگرفت. اگرچه تحقیق حاضر را می‌توان گامی اولیه در کنترل لرزه‌ای سکوه‌های شابلونی با استفاده از میراگر از نوع فلز جاری‌شونده در داخل کشور دانست ولی بی‌شک انتهای آن نخواهد بود. لذا پیشنهاد می‌شود که برای کامل شدن هر چه بیشتر ایده این پژوهش، موضوعات ذیل مورد بررسی و تحقیق قرار گیرند.

✓ پیشنهاد می‌شود برای بررسی عملکرد میراگر حاضر در رفتار لرزه‌ای سکوه‌های شابلونی، از این سیستم در دیگر انواع المان‌های موجود بهره گرفته و پاسخ دینامیکی آن مورد ارزیابی قرار گیرند.

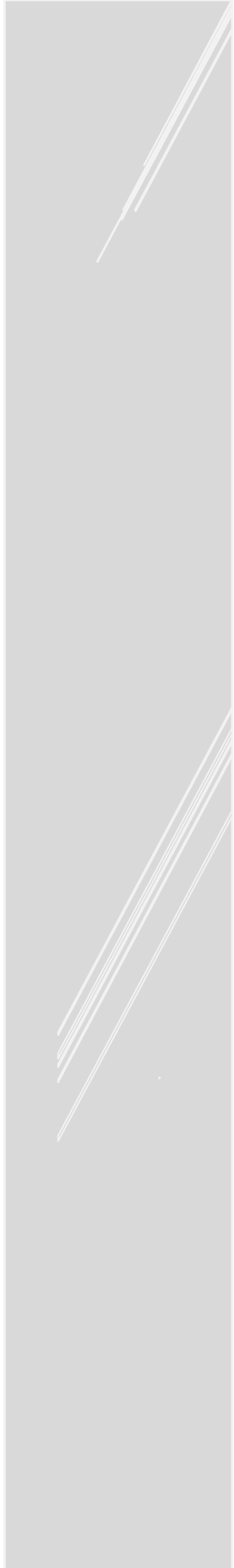
✓ با توجه به نکات ارائه شده در فصل‌های گذشته برای این نوع میراگر، رفتارهای متفاوتی علاوه بر رفتار محوری نام برده شده است پیشنهاد می‌شود از این نوع میراگر با رفتارهای متفاوت جهت بررسی پژوهش حاضر استفاده گردد.

✓ با توجه به نتایج مربوط به تنش فون میزس در المان‌ها، می‌توان از سیستم حاضر با کمک سیستمی که در مبحث تنش فون میزس کارایی بیشتری داشته استفاده کرد و عملکرد ترکیبی

این دو سیستم را در مباحث برش پایه و جابجایی عرشه که از موارد بسیار مهم در عملکرد
سکو می‌باشند مورد ارزیابی قرار داد.



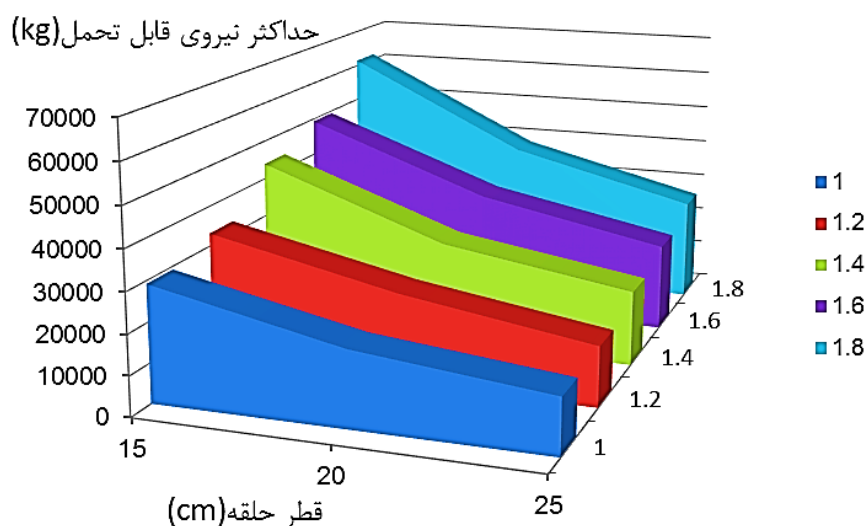
پیوست ها



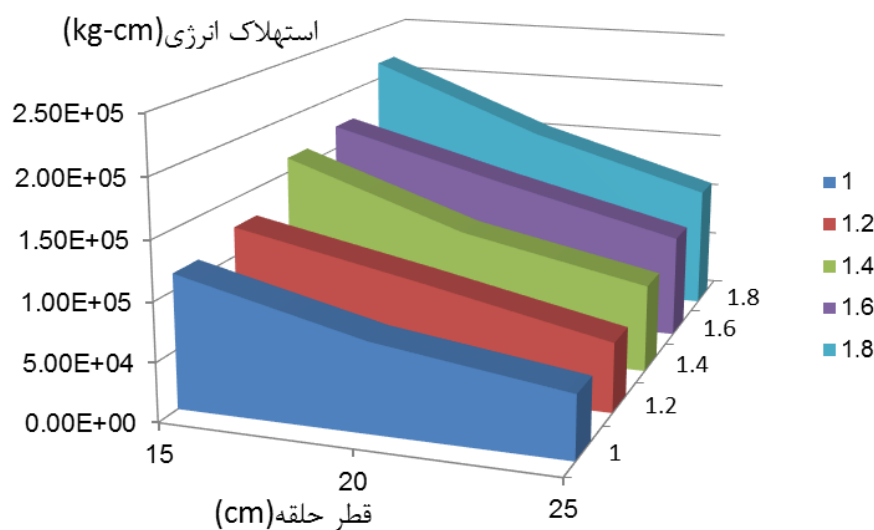
پیوست الف

محاسبات سلیم بهرامی

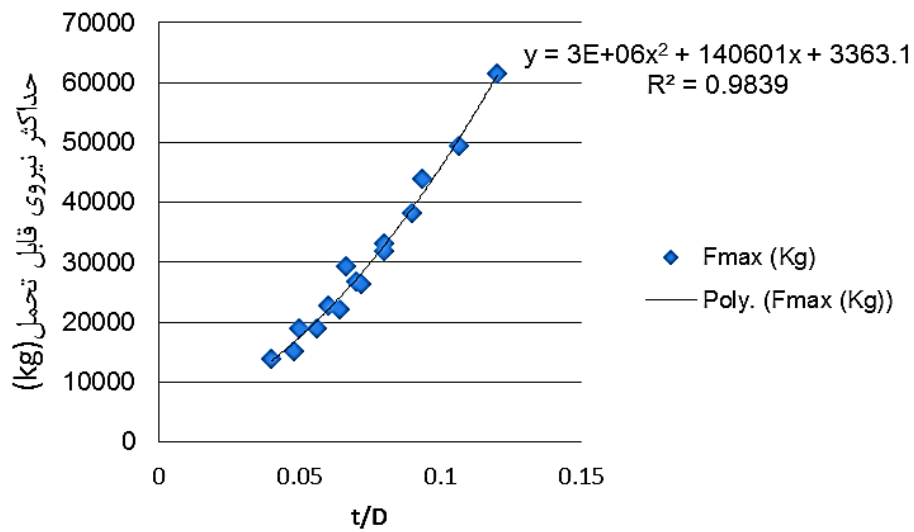
نتایج حاصل از مدل‌سازی ۱۵ المان با ابعاد هندسی ذکر شده مطابق شکل‌های الف-۱ و الف-۲ نشان می‌دهد که با کوچک‌تر شدن قطر حلقه و افزایش ضخامت آن، میزان نیرو و استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. برای رسیدن به رابطه‌ای مناسب بین نیروهای قابل تحمل توسط المان پیشنهادی و استهلاک انرژی آن با نسبت ضخامت به قطر حلقه، از رگرسیون درجه دوم مطابق شکل الف-۳ و الف-۴ استفاده شده است.



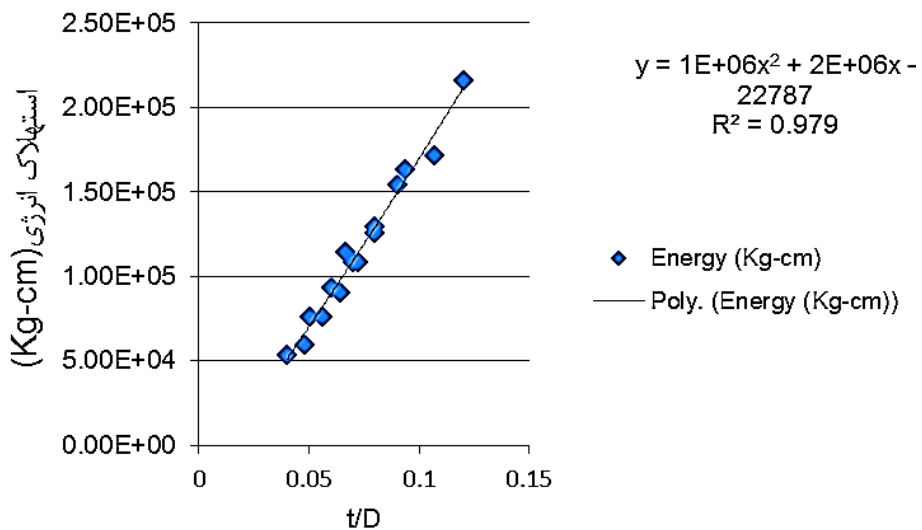
شکل (الف-۱). نمودار نیروی قابل تحمل توسط المان پیشنهادی [۲۱]



شکل (الف-۲). نمودار میزان استهلاک انرژی توسط المان پیشنهادی [۲۱]



شکل (الف-۳). رابطه‌ی بین نیروی قابل تحمل المان پیشنهادی به نسبت ضخامت به قطر آن [۲۱]



شکل (الف-۴). رابطه‌ی بین میزان استهلاك انرژی المان پیشنهادی به نسبت ضخامت به قطر آن [۲۱]

پیوست ب

انواع سکوهای فراساحل

سکوهای خودبالابر^۵

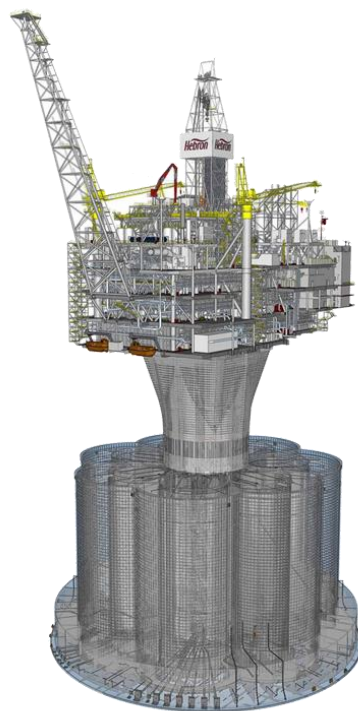
یک سکوی خودبالابر یک واحد حفاری قابل انتقال می‌باشد که شامل یک سازه عرشه جعبه مانند مسطح خودشناور (که تجهیزات حفاری را نگهداری می‌کند)، تجهیزات حفاری، و متعلقات دیگر می‌باشد (شکل ب-۱). این سازه بر روی سه یا چهار پایه قائم قرار می‌گیرد و می‌تواند در هنگام عملیات حفاری در حالت مرتفع و خارج از آب قرار گیرد. این نوع از سکوها برای انجام عملیات حفاری تا عمق حدود ۱۰۰ متر به کار می‌روند. این نوع سازه‌ها قسمتی از عمر خود را در حالت شناور سپری می‌کنند (در هنگام انتقال از موقعیتی به موقعیت دیگر). در این حالت پایه‌هی سکو بالا می‌آیند و در سمت فوقانی عرشه قرار می‌گیرند.



شکل (ب-۱). نمونه سکوی خودبالابر

سکوهای ثقلی^{۵۲}

این سازه‌ها شامل ترکیبی از تعدادی برج با قطر زیاد هستند که بر روی پایه‌های با مساحت زیاد (که شامل مخازن ذخیره مواد هستند) قرار گرفته‌اند. به دلیل مساحت زیاد پایه و وزن زیاد آن، این سازه‌ها نیاز به شمع ندارند، منتها باید بستر دریا برای اجرای آن‌ها آماده گردد. برج‌ها عرشه و تجهیزات و متعلقات را نگه می‌دارند. در شکل (ب-۲) نمونه‌هایی از این سازه‌ها نشان داده شده است.



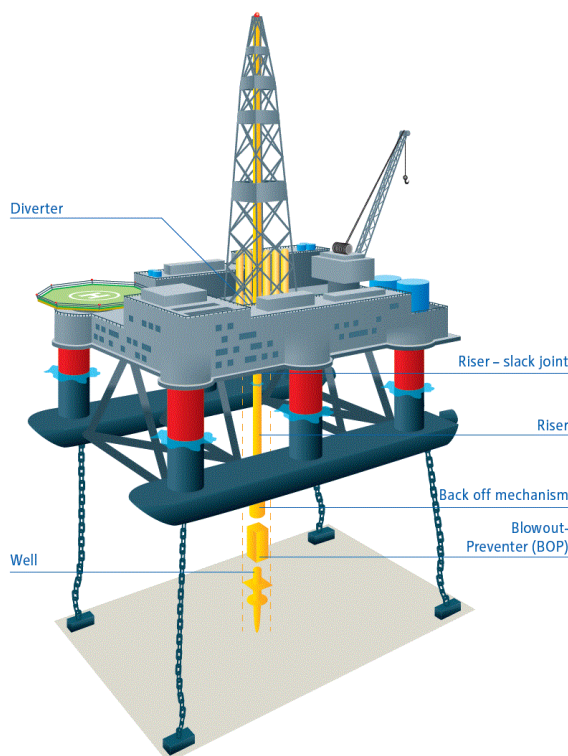
شکل (ب-۲). نمونه سکوی ثقلی

سکوهای شناور^{۵۳}

این سازه‌ها در حوزه‌های کوچک کاربرد دارند. در اعماق زیاد این سازه‌ها برای حوزه‌های بزرگ هم سازه‌های اقتصادی می‌باشند. تجهیزات و متعلقات بر روی قسمت شناور که به کف دریا مهار شده است قرار گرفته‌اند. این سازه‌ها فاقد مخزن ذخیره می‌باشند. دو نوع متداول این نوع سازه‌ها عبارتند از

⁵ Gravity Base Platform 2
⁵ Floating 3

سکوهای نیمه مستغرق و سکوهای پایه کششی^۵: سکوهای نیمه مستغرق شامل یک عرشه مستطیل شکل هستند که بر روی ۴ یا ۸ ستون که به قسمت مستغرق افقی متصل است، قرار گرفته است. این سازه‌ها به وسیله ۸ تا ۱۲ زنجیر یا سیم، که تحت وزن خود به صورت منحنی در آمده‌اند، مهار می‌شوند. در شکل (ب-۳) یک نمونه از این سکوها نشان داده شده است.



شکل (ب-۳). نمونه سکوی نیمه مستغرق

سکوهای با پایه کششی شامل یک بدنه از نوع نیمه مستغرق، که بر روی چهار ستون که به قسمت شناور زیر آب متصل هستند، می‌باشد و عرشه بزرگ مستطیلی را نگه می‌دارد. در هر یک از گوشه‌های قسمت شناور از یک سری کابل‌های پیش کشیده، که تا بستر دریا گسترش می‌یابند و به بستر دریا با شمع مهار می‌شوند، استفاده می‌شود. به دلیل نیروی پیش کشیدگی اعمال شده، حرکت قائم سکو امکان‌پذیر نمی‌باشد. در شکل (ب-۴) نمونه‌ای از این سکوها نشان داده شده است.

⁵ Tension Leg Platform (TLP)



شکل (ب-۴). نمونه سکوی پایه کششی

سکوهای شابلونی

سکوهای شابلونی به طو معمول سازه‌های قابی با لوله‌های فولادی هستند که به بستر دریا مهار می‌شوند. قاب زیری که به جاکت شهرت دارد تجهیزات تولید و ملحقات عرشه را نگه می‌دارد. در شکل (ب-۵) یک سکوی شابلونی نشان داده شده است.



شکل (ب-۵). نمونه سکوی ثابت شابلونی

استفاده از این نوع سکوها در عمق‌های کم و متوسط (کمتر از ۱۵۰ متر) بسیار مناسب و اقتصادی است. البته دیده شده است که بعضی از این سازه‌ها در عمق در حدود ۲۰۰ متر هم مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱]. محدوده پریود زمانی این نوع سازه‌ها در حدود ۲ تا ۸ ثانیه است. بارهای وارد بر این نوع سازه‌ها شامل بارهای هنگام ساخت و بارهای بعد از ساخت مانند باد، موج و زلزله می‌باشد. البته باید ذکر کرد که علاوه بر بارهای گفته شده این سازه‌ها ممکن است در معرض بارهای تصادفی مانند برخورد کشتی، قایق و حتی یخ و آتش‌سوزی و غیره نیز قرار می‌گیرند. طول عمر متوسط جاکت‌های فلزی در حدود ۲۵ سال است. البته باید ذکر شود که به طور مثال سکوهایی واقع در دریای شمال، برای طول عمر ۲۰ سال طراحی شده‌اند.

طبق API المان‌های سازه‌ای سکوی شابلونی را می‌توان به موارد زیر تقسیم‌بندی کرد:

- اعضای الاستیک: انتظار می‌رود که در طول آنالیز مقاومت نهایی در حالت الاستیک بمانند که به عنوان نمونه می‌توان به تیرهای عرشه که بیشتر تحت بار ثقلی هستند نام برد. این المان‌ها را می‌توان بیشتر به صورت خطی مدل کرد.
- اعضای با بار محوری: انتظار می‌رود که این اعضا با فشار کنترل شوند. مهاربندهای اصلی در ترازهای افقی و وجوه قائم و مهارهای اصلی عرشه را می‌توان جزو این گروه در نظر گرفت. برای مدل‌سازی آن‌ها می‌توان از المان‌های فشاری که رفتار بعد از کمانش آن‌ها در نظر گرفته شده است استفاده کرد.
- اعضای مقاوم با لنگر: در این اعضا انتظار می‌رود که در اثر خمش مفصل پلاستیک تشکیل شود. مقاطع مهارنشده عرشه، پایه‌های جاکت و شمع‌ها مثال‌هایی از این دسته هستند.
- اتصالات: با توجه به نسبت قطر به ضخامت و هندسه اتصال، یک مفصل پلاستیک می‌تواند در اتصال به وجود آید و باید خواص غیرخطی اتصال را نیز در مدل وارد کرد. البته در استاندارد ذکر شده است، زمانیکه هدف تحلیل کلی سیستم است می‌توان اتصالات را صلب فرض کرد.
- فونداسیون: اغلب سکوهایی شابلونی بر روی شمع‌هایی که تا عمق زیاد نفوذ کرده‌اند تکیه دارند.

و در نهایت المان‌های آسیب‌دیده و المان‌های تعمیر یا مقاوم‌شده هستند که دو مورد آخر را تشکیل می‌دهند.

بارهای اعمالی بر سکو

یکی از مهم‌ترین مراحل تحلیل و طراحی سکوه‌های دریایی، شناخت بارهای وارده و برآورد تخمین مناسبی از آن‌ها بر سازه است. با این که بحث بارگذاری برای تمام سازه‌ها جایگاه خاص خود را دارا می‌باشد، اما شرایط ویژه سکوها سبب می‌شود تا ماهیت بارهای وارده از پیچیدگی خاصی برخوردار باشد. چرا که اغلب این بارها ناشی از شرایط محیطی دریا بوده و علاوه بر مقدار، زاویه و موقعیت اعمال مشخصی نیز برای آن‌ها قابل تصور نیست. بنابراین لازم است که سازه تحت حالات متعدد بارگذاری قرار گرفته و پس از تحلیل تحت کلیه حالات، پوش نیروهای داخلی به عنوان الگوی طراحی مورد استفاده قرار گیرد.

بارهایی که یک سازه سکوی دریایی باید در برابر آن‌ها طراحی شود را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- بارهای مرده (دائمی)
- بارهای زنده (بهره‌برداری)
- بارهای محیطی
- بارهای اجرا و نصب
- بارهای تصادفی

عموماً بارهای مرده و زنده تعیین‌کننده‌ترین بارها در طراحی سازه‌های واقع در خشکی هستند. در طراحی سکوه‌های دریایی، بارهای محیطی به خصوص بار امواج و بارهای وارد شده در مراحل مختلف ساخت، حمل و نصب نقش غالب را دارند.

بارهای مرده

بارهای مرده شامل وزن سازه سکو و تمام تجهیزات ثابت و سازه‌های مربوط به آن‌ها، لوله‌کشی، جرثقیل، سازه‌های الحاقی مانند نشیمن هلیکوپتر، مشعل، برج‌ها، پل‌ها، سازه‌های پهلوگیر و سیستم حفاظت کاتودی می‌شود که در شکل‌های مختلف عملکرد سکو تغییری نمی‌کنند. طبق آیین‌نامه API بارهای مرده باید شامل موارد زیر باشد [۳۵]:

وزن سازه سکو در هوا که باید در آن وزن شمع و مواد پرکننده داخل پایه‌ها را نیز منظور نمود. وزن تجهیزات و سازه‌های وابسته که بطور همیشگی بر روی سکو قرار دارند. نیروهای هیدرواستاتیکی که بر قسمتی از سازه که در زیر آب قرار گرفته اعمال می‌گردد. این نیروها شامل فشار خارجی و بویانسی می‌شود.

بارهای زنده

بارهای زنده بارهایی هستند که در طول زمان استفاده از سکو اعمال می‌شوند. این بارها می‌توانند در یک حالت عملکردی و یا از یک حالت عملکردی به یک حالت عملکردی دیگر تغییر کنند. طبق آیین‌نامه API بارهای زنده باید شامل موارد زیر باشد [۳۵]:

- وزن تجهیزات حفاری و یا تولید که می‌توانند از روی سکو حذف یا اضافه شوند.
- وزن اقامتگاه‌ها، بالگرد و سایر تجهیزات پشتیبانی برای زندگی، تجهیزات نجات، تجهیزات غواصی و تجهیزات کاربردی که می‌توانند به سکو اضافه و یا حذف گردند.
- وزن مواد مصرفی و مایع‌های درون مخازن.
- نیروهایی که بر اثر عملکرد دستگاه‌ها به سکو اعمال می‌گردد مانند حفاری، آویزان کردن اجسام، سیستم نگهدارنده شناورها و بارهای بالگرد.
- بارهای اعمالی به سازه بر اثر استفاده از جرثقیل.

بارهای ساخت

بارهایی هستند که بر اثر ساخت، باربرداری، حمل و نقل و نصب نتیجه می‌شوند و شامل شرایط بارگذاری مربوط به دوران ساخت قطعات و بخش‌های مختلف سازه و در انتها سر هم بندی آنها می‌باشد. به عنوان نمونه، بارهای ناشی از عملیات بلند کردن مقاطع افقی جاکت‌ها، بلند کردن و روی هم گذاری طبقات سازه‌ای در ساخت عرشه‌ها، عمودسازی محورها در حین ساخت جاکت‌ها، بارهای ناشی از انتقال تجهیزات سنگین روی عرشه‌ها، و همچنین بارگذاری خاص اعمال شده به جاکت‌ها و عرشه‌ها در حین انتقال آنها از محل ساخت به روی بارج حامل که به عملیات بارگیری سکو معروف است، اجزای اصلی بارگذاری‌های این گروه را تشکیل می‌دهند.

بارهای جابجایی و نصب

برای سکوهایی که به مکان جدیدی جهت نصب انتقال داده می‌شوند، بارهایی که بر اثر جابجایی، حمل و نقل و نصب مجدد ایجاد می‌گردد را باید علاوه بر بارهای ساخت مورد بررسی قرار داد. پس از انجام عملیات بارگیری و انصال مناسب جاکت و یا عرشه روی بارج حامل، بارج حاوی سازه توسط شناورهای کشنده به سمت محل مورد نظر برای نصب سکو انتقال می‌یابد. در طول این مسیر، بارج حامل تحت شرایط محیطی مختلف، از جمله باد، موج و جریان‌های سطحی قرار گرفته و در نتیجه آن نیروهایی به سیستم بارج و سازه روی آن اعمال می‌گردد.

بارهای دینامیکی

بارهای دینامیکی بارهایی هستند که بر اثر بارهایی با طبیعت رفت و برگشتی و یا اثر ضربه ایجاد می‌گردند. این تحریک ممکن است بر اثر موج، باد، زمین‌لرزه یا ماشین‌ها ایجاد گردد. ضربه نیز می‌تواند بر اثر پهلوگیری شناور و یا یدک‌کش در کنار سکنار سکو ایجاد گشته و یا بر اثر عملیات حفاری تولید گردد

[۳۵].

بارهای تصادفی

بارهای تصادفی بارهایی هستند که به لحاظ شدت و تعداد وقوع به خوبی تعریف پذیر نیستند و در نتیجه بروز سانحه یا تحت شرایط استثنایی ایجاد می‌شوند [۴۴]. بارهای حاصل از تصادف با کشتی‌ها، آتش-سوزی و انفجار، سقوط اجسام سنگین و غرقاب اشتباهی مخازن شناوری، نمونه‌هایی از بارهای تصادفی است. معمولاً تمهیدات خاصی برای تقلیل احتمال بروز بارهای تصادفی در نظر گرفته می‌شود.

بارهای محیطی

بارهای محیطی بارهایی هستند که بر اثر پدیده‌های طبیعی نظیر باد، جریان آب، موج، زمین‌لرزه، برف، یخ و حرکت زمین ایجاد می‌گردد. همچنین بارهای محیطی شامل تغییرات در فشار هیدرواستاتیکی و نیروی بویانسی اعضا که در اثر تغییر تراز آب، که به علت موج یا جزرومد است، می‌باشد. بارهای محیطی باید در جهات مختلف اعمال گردد و برای هر عضو بحرانی‌ترین وضعیت به دست آید، مگر اینکه اطلاعات خاصی در مورد منطقه موجود باشد. بدیهی است هر یک از اعضا و اتصالات سازه، تحت شرایط بارگذاری بحرانی مربوط به خود طراحی و کنترل خواهند شد.

تعریف پارامترهای مشخصه آن‌ها و تعیین مقادیر بارهای طراحی موضوع مطالعات خاصی است که بر اساس اطلاعات و داده‌هایی که در هر زمینه در دسترس می‌باشد انجام می‌شود. بر اساس مقررات و آیین‌نامه‌ها میانگین دوره بازگشت پدیده محیطی مورد نظر در طراحی یک‌صد سال و یا در برخی دیگر از آیین‌نامه‌ها ۵۰ سال است.

بار امواج

امواج ناشی از باد، منشا اصلی بارهای محیطی وارد بر سکوه‌های دریایی می‌باشند. این امواج دارای شکلی نامنظم بوده و ارتفاع و طول موج آن‌ها متغیر است و همچنین ممکن است از جهات مختلف به سازه اثر نمایند. بنابراین، تعیین میزان و توزیع ناشی از نیروهای ناشی از امواج به آسانی میسر نیست. بارهای وارده از طرف امواج بر روی یک سکو، از طبیعت دینامیکی برخوردار است. برای اغلب عمق‌های طراحی که در حال حاضر در نظر گرفته می‌شود، این بارها را می‌توان به نحوی مناسب با بارهای استاتیکی

معادل آن جایگزین کرد. در تعیین اطلاعات مربوط به حالت‌های دریا، نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرند [۳۵]:

➤ شرایط عادی

در این شرایط برای هر ماه یا هر فصل از سال، احتمال وقوع و مدت تداوم حالت‌های مختلف دریا در جهت‌های مختلف، سرعت باد، جزر و مد و جریان‌های دریایی که به طور همزمان با حالت‌های دریا پدیدار می‌شوند باید مشخص شوند.

➤ شرایط حدی

در بیان حالت‌های دریایی مربوط به شرایط حدی، باید اطلاعات لازم در مورد تعداد، ارتفاع و تراز تاج امواجی که دارای ارتفاعی بیش از یک حد معین بوده، ارائه شده و جهت‌های برخورد آن‌ها با سکو مشخص شود. در این شرایط نیز سرعت باد، جزر و مد و جریان‌های دریایی که ممکن است همزمان با این امواج اتفاق بیافتند، باید تعیین شوند.

بطور کلی برای محاسبه نیروهای وارده توسط موج بر سازه‌های دریایی، دو روش وجود دارد:

- محاسبه نیروهای وارده بر سازه دریایی با استفاده از مدل‌سازی عددی سازه و سیال اطراف آن.
- تعیین نیروهای وارد بر سازه بر اساس روابط نیمه‌تجربی.

مدل‌سازی عددی سازه و سیال اطراف آن، از دقت خوبی برخوردار می‌باشد ولی امروزه، حتی با وجود بسیاری از فرض‌های ساده‌کننده، زمان انجام این تحلیل بسیار طولانی می‌باشد. روابط نیمه‌تجربی ارائه شده بسیار سریع بوده ولی مقادیر نیروهای وارده را به طور تقریبی تعیین می‌کنند. معادله موریسون از جمله روابط نیمه‌تجربی می‌باشد که به علت سادگی خود توانسته است کاربرد گسترده‌ای پیدا کند.

بار زلزله

مناطقى که از لحاظ لرزه‌ای فعال باشند، اثرات زلزله در طراحی سکوها باید در نظر گرفته شود. مناطق فعال لرزه‌ای، بر اساس سوابق فعالیت لرزه‌ای منطقه و با توجه به بزرگی و فراوانی حرکت‌های زمین، مشخص می‌شوند. لرزه‌خیزی هر منطقه باید بر اساس بررسی‌های تفصیلی تعیین شود. ملاحظات لرزه‌ای

در مناطق مذکور، باید در برگیرنده بررسی‌های لازم در مورد خاک زیرسطحی از نظر ناپایداری‌های مرتبط با روانگرایی، لغزه‌های زیرسطحی ناشی از وقوع زلزله، نزدیکی جایگاه به گسل و مشخصه‌های حرکت زمین در دو سطح باشد.

در این قسمت سازه در مقابل بارهای زلزله به نحوی طراحی می‌گردد که به سازه آسیب جدی دی دوران عمر مفید آن وارد نگردد [۳۵]. همچنین انعطاف‌پذیری قابل قبولی باید در سازه وجود داشته باشد تا سازه تحت اثر زلزله‌های بسیار شدید دچار فروریزش کلی نگردد، اگرچه ممکن است به سازه آسیب‌های سازه‌ای وارد گردد. در این راستا با توجه به محل نصب سکو تعدادی رکورد تاریخیچه زمانی انتخاب می‌گردد. در تحلیل زلزله دو سطح بارگذاری وجود دارد:

– زلزله سطح مقاومت^۵ (حد نهایی زلزله)^۶ که بیانگر زلزله‌ای با دوره بازگشت ۱۰۰ تا ۲۰۰ ساله می‌باشد. در این حالت تنش‌های سازه نباید از حد تسلیم فراتر رود. در اثر اعمال این زلزله سازه باید فاقد آسیب بوده و یا آسیب آن بسیار محدود باشد.

– زلزله سطح انعطاف‌پذیری^۷ (حد غیرعادی زلزله)^۸ که بیانگر زلزله‌ای با دوره بازگشت ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ سال می‌باشد. در این حالت تنش‌های محاسباتی ممکن است از حد تسلیم سازه فراتر رفته ولی سازه دچار فروریزش کلی نمی‌گردد. در این حالت خرابی سازه نباید سبب خسارت جانی و یا آسیب‌های محیطی جدی شود.

بار باد

نیروی باد بر قسمتی از سازه که در بالای آب قرار دارد و نیز کلیه تجهیزات مستقر بر روی آن، مانند تجهیزات، اقامتگاه‌های مسکونی، دکل حفاری و ... اعمال می‌شود. مشخصه مهمی که داده‌های باد به آن

⁵ Strength level earthquake (SLE)⁵

⁶ Extreme level earthquake (ELE)⁶

⁷ Ductility level earthquake (DLE)⁷

⁸ Anormal level earthquake (ALE)⁸

بستگی دارد، فاصله زمانی است که سرعت باد بر روی اندازه‌گیری و میانگین‌گیری می‌شود. سرعت باد ممکن است به صورت‌های زیر بیان شود:

- تندباد که سرعت متوسط باد در طول مدت زمانی کمتر از یک دقیقه است.
- باد دائمی که سرعت مستمر باد که بر حسب سرعت متوسط باد در طول مدت یک دقیقه یا بیشتر بیان می‌شود.

اطلاعات سرعت باد باید برای تراز استاندارد که ۱۰ متر بالای سطح آزاد آب در نظر گرفته می‌شود، اطلاع شده و مدت زمان متوسط‌گیری نیز بیان شود. برای اصلاح سرعت باد برای مدت زمان‌های متفاوت متوسط‌گیری، روش‌های معتبر ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

بار جریان

جریان آب توسط جزر و مد، چرخه آب و طوفان ایجاد می‌شود. در شرایطی که اندازه‌گیری‌های محلی کافی نباشند جریان را می‌توان با استفاده از منابع متفاوتی تعیین کرد [۴۴].

بارهای یخبندان و برف

برای سموهای دریایی واقع در مناطق منجمد شمالی و جنوبی و نیز نواحی مجاور آن‌ها، یخبندان مشکل عمده‌ای محسوب می‌شود. یخبندان و انبساط ناشی از آن می‌تواند فشارهای زیادی را به سازه اعمال کند که باعث افزایش نیروهای افقی و قائم می‌شود. علاوه بر این، امکان برخورد قطعات حجیم و شناور یخ، که تحت تاثیر جریان آب، باد و امواج می‌توانند سرعتی بین ۰/۵ تا ۱ متر بر ثانیه داشته باشند، با سازه و ایجاد نیروهای حاصل از ضربه وجود دارد.

عموماً مطالعات دقیق‌تری که بر اندازه‌گیری‌های محلی، آزمون‌های آزمایشگاهی و روش‌های تحلیلی مبتنی باشند برای تعیین نیروهای طراحی قابل اعتماد در برابر یخبندان، در یک موقعیت جغرافیایی خاص، ضروری است. افزون بر نیروهای ذکر شده، یخبندان و انباشتگی برف باعث فزونی در بارهای ثقلی و نیروهای باد می‌شوند. افزایش نیروهای باد به دلیل افزایش سطح در معرض باد صورت می‌گیرد [۴۰].

بار جزر و مد

جزر و مد بصورت غیرمستقیم بر بارهای ناشی از موج و جریان (به عنوان مثال از طریق تغییر در تراز سطح دریا) تأثیر می‌گذارد. جزر و مدها را می‌توان در دو گروه دسته‌بندی کرد:

جزر و مدهای نجومی که اساساً به دلیل کشش جاذبه‌ای ناشی از حرکات ماه و خورشید ایجاد می‌شوند. بالاآمدگی‌های طوفانی که در اثر عملکرد توام باد و تغییرات فشار هوا در حین طوفان ایجاد می‌شوند. اثر ترکیبی این دو جزر و مد، جزر و مد طوفانی نامیده می‌شود. تغییرات جزر و مد نجومی تا حد زیادی به موقعیت جغرافیایی محل و نیز وضعیت قرص ماه ارتباط دارد. بالاآمدگی طوفانی به دوره بازگشت منظور شده بستگی دارد و تغییرات آن به طور حدید بین ۱ تا ۳ متر است.

جابه‌جایی کف دریا

در کف دریا وقوع جابه‌جایی‌هایی ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساختی، فشارهای ناشی از امواج طوفانی، زمین‌لرزه و تقلیل فشار مخزن هیدروکربنی به دلیل برداشت از آن محتمل است. نیروهای ناشی از چنین جابه‌جایی‌هایی نه تنها بر طراحی شمع‌ها بلکه بر طراحی خود جاکت نیز تأثیر چشمگیری خواهد داشت. برای برآورد این نیروها انجام دادن مطالعات و بررسی‌های خاص ژئوتکنیکی ضروری است.

نیروهای حاصل از تغییر دما

سکوه‌های دریایی می‌توانند در معرض گرادیان دما که موجب بروز تنش‌های حرارتی می‌شوند، قرار گیرند. برای محاسبه این تنش‌ها لازم است بیشترین مقادیر تغییرات دمای هوا و آب دریا برآورد شود. علاوه بر عوامل محیطی، عوامل انسانی نیز می‌توانند موجب ایجاد بارهای حرارتی شوند. به عنوان مثال، می‌توان از آزاد شدن تصادفی مواد سرمازا نام برد که در طراحی سازه این موضوع باید به عنوان بار تصادفی در نظر گرفته شود.

رویدنی‌های دریایی

رویدنی‌های دریایی بر روی اعضای واقع در زیر آب رشد می‌کنند و در آنجا انباشته می‌شوند. مهمترین اثر رویدنی‌های دریایی افزایش نیروهای برآمده از امواج و جریان بر اعضای سازه هم از طریق افزایش سطح و حجم اعضا و هم از طریق تغییر ضرایب پسیایی (دلیل تفاوت زبری سطح) است. علاوه بر این،

رویدنی‌ها موجب افزایش جرم واحد طول عضو و در نتیجه ازدیاد بارهای ثقلی و تقلیل فرکانس اعضا می‌شوند.

پیوست پ

مطلب تکمیلی بارگذاری در مدل سازی

تعاریف

بار مرده (Dead Load): بار ناشی از وزن سازه و تجهیزات نصب شده بر روی آن گفته می شود که با تغییر مد عملیات ثابت می ماند. بار هیدرواستاتیکی هم شامل این نوع بارگذاری می باشد.

بار زنده (Live Load): برخلاف بار مرده، این نوع بار در مدهای مختلف عملیات تغییر می کند. نیروهای اعمالی از سوی جرثقیل مورد استفاده روی بخش فوقانی عرشه که به اصطلاح دک نامیده می شود، بار ناشی از شناورهایی که در کنار جاکت قرار می گیرند و ... نیز از این دسته اند.

بار محیطی: باری که ناشی از عوامل طبیعی مانند باد، جریان، موج و زمین لرزه، برف، یخ و غیره به سازه اعمال می شود.

بارهای طراحی

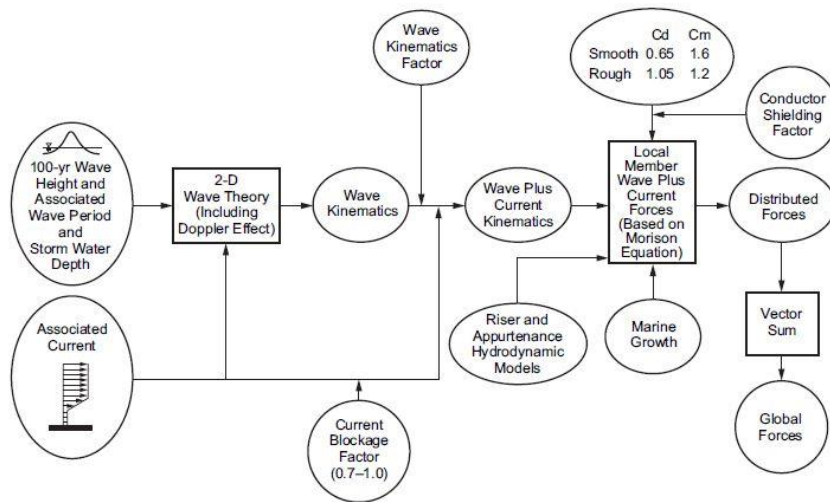
آنالیز ستاتیکی موج و جریان

برای اعمال بارهای ناشی از موج و جریان بایستی مطابق با شکل (پ-۱) عمل کرد. همانطور که در این شکل مشخص است بایستی اثر Doppler را بر روی پریود موج دید که باعث تغییر میزان آن خواهد شد. بنابراین روش اثر موج ۱۰۰ ساله را مانند ارتفاع و پریود موج را استخراج و سپس با در نظر گرفتن اثر Doppler مقدار جدید بدست آمده برای پریود موج اعمال می گردد.

در خصوص جریان هم ضریب current blockage را معادل ۱ لحاظ شده است که سخت گیرانه ترین حالت می باشد.

در گام بعدی با استفاده از تئوری مناسب موج که در این مطالعه با توجه به شرایط موجود در محل سکوی رسالت، تئوری موج ایری می باشد و ضریب مربوط به آن که برای شرایط نامساعد جوی یعنی

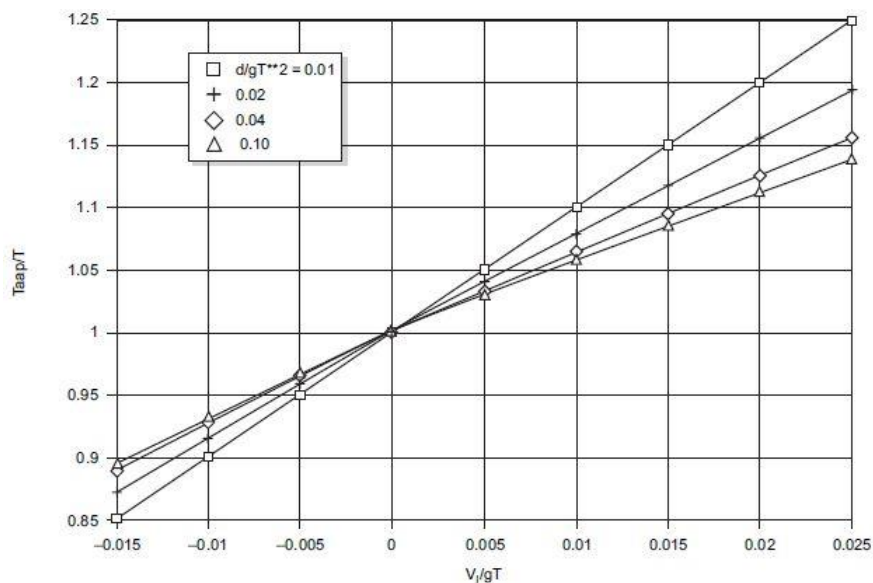
extra tropical storm که بر اساس استاندارد API مقدار آن ۱ فرض می‌شود، مقادیر موج و جریان با استفاده از قانون موريسون با یکدیگر جمع می‌شوند. در این بین اثر marine growth نیز اعمال می‌شود که تاثیر آن بر روی افزایش مقدار قطر معادل در محاسبه نیروی درگ و اینرسی است.



شکل (پ-۱). روند طراحی نیروهای موج و جریان در آنالیز استاتیکی [۳۵]

اثر Doppler

جریانی که در جهت موج باشد تمایل به کشیدن طول موج دارد و زمانی که در خلاف جهت موج باشد تمایل به کوتاه کردن طول موج خواهد داشت. مطابق شکل (پ-۲) می‌توان مقدار T_{app} را بدست آورد.



شکل (پ-۲). نمودار اثر doppler

در این شکل T همان پریود موج که برابر با ۸ ثانیه، V_I سرعت جریان در جهت موج، d عمق آب با در نظر گرفتن $tide$ و $surge$ و g شتاب گرانش زمین است. لازم به ذکر است مطابق با استاندارد API این شکل برای مقادیر $d/gT^2 > 0.01$ می‌باشد و برای مقادیر کمتر، از رابطه

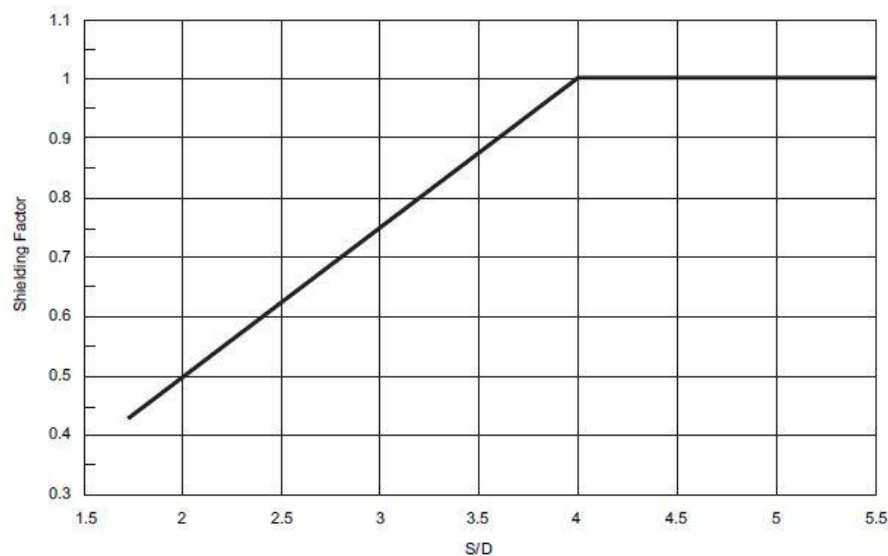
$$T_{app}/T = 1 + V_I \sqrt{gd}$$

استفاده می‌شود.

با استفاده از شکل می‌توان مقدار T_{app}/T را برابر با ۱/۰۵ تخمین زد. بنابراین مقدار T_{app} برابر با ۸/۴ ثانیه می‌شود که مقدار طول موج را به مقدار ۵ درصد افزایش داده است.

اثر Shielding

وابسته به چیدمان کانداکتورها، نیروی موج بر روی هر کدام از آن‌ها تاثیر متفاوتی دارد. به این ترتیب که کانداکتورهای ردیف اول که در مقابل موج هستند تاثیر بیشتری می‌پذیرند تا کانداکتورهای ردیف‌های بعدی، که توزیع این تاثیر موج وابسته به چیدمان و فاصله بین آن‌ها است. شکل (پ-۳) مقدار ضریب مورد نظر را بدست می‌دهد.



شکل (پ-۳). نمودار اثر shielding

در این پروژه شرایط سختگیرانه را در نظر گرفته شده مقدار این ضریب ۱ در نظر گرفته شده است.

منابع و مراجع

[۱] S. Chakrabarti, "Hydrodynamics of offshore structure", Berlin, Heidelberg: Springer, 1987.

[۲] یونس کماچی، علی اکبر گل افشانی، محمدرضا تابش پور، ارزیابی سازه‌ای و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سکوه‌های شابلونی با استفاده از میراگر اصطکاکی، دانشگاه صنعتی شریف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ۱۳۸۶.

[۳] سیامک هوشیار خوشدل "مبانی طرح و اجرای سکوه‌های دریایی"، تهران: فدک ایساتیس، ۱۳۸۸.

[۴] وحید اکرمی، علی اکبر گل افشانی "آنالیز استاتیکی معادل سکوه‌های ثابت دریایی برای در نظر گرفتن بارهای خستگی، دانشگاه صنعتی شریف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ۱۳۸۸.

[۵] Tabeshpour, M.R., Komachi, Y., and Golafshani, A.A., Assessment and Rehabilitation of Jacket Platforms, 2012.

[۶] Soong, T.T., Spencer, B.F., "Supplemental energy dissipation: state of the art and state of the practice", Eng Struct, 2002, 24(3), 243-259.

[۷] Ou, J., Long, X., Li, Q.S., Xiao, Y.Q., "Vibration control of steel jacket offshore platform structures with damping isolation systems", Engineering Structure, 2006, 29(7), 1525-1538.

[۸] Qianjin, Y., Zhang, L., Zhang, W., Karna, T., Mitigating ice-induced jacket platform vibrations utilizing a TMD system, Cold Regions Science and Technology 56 (2009) 84-89.

[۹] Marko, J. Influence of Damping Systems on Building Structures Subject to Seismic Effects. Ph. D. Thesis, Queensland University of Technology, Faculty of Built Environment and Engineering, 2006.

[۱۰] Patil, K.C., Jangid, R.S., "Passive control of offshore jacket platforms" Ocean Engineering, 2005, 32, 1933-1949.

[۱۱] Pall, A., Performance-Based Design Using Pall Friction Dampers - an Economical design solution, World Conference on Earthquake Engineering, 2004, Paper No.1955.

[۱۲] حیدرزاده، م. زهرائی، س. م. (۱۳۸۳). بررسی تحلیل میراگرهای مایع تنظیم شده برای کاهش ارتعاشات لرزه‌ای سازه‌ها. مجموعه مقالات اولین کنگره ملی مهندسی عمران. ۲ تا ۲۴ اردیبهشت. دانشگاه صنعتی شریف.

[۱۳] خواجهوی، ر. ۱۳۹۱. اصول و روش‌های تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها. (ترجمه). انتشارات دانشگاه امام رضا (س).

[۱۴] Balendra, T., (1997), "Large-Scale Seismic Testing of Knee-Brace-Frame", JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING, January 1997, p.p 11-19.

[۱۵] Tsai, K. C., EERI, M., Chen, H. W., Hong, C. P. and Su, Y. F. (1993), "Design of steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic Resistant Construction", journal of Earthquake spectra, vol.9, No.3.

[۱۶] Shih, M. H., Sung, W. P. (2004), "A model for hysteretic behavior of Rhombic low yield strength steel added damping and stiffness", journal of computers and structure 83 (2005) 895-908.

[۱۷] عباس نیا، ر، وتر، م. ق. و کافی، م. ع.، ۱۳۸۵، " بررسی عملکرد المان شکل پذیر در مهاربند های هم مرکز قابهای فولادی"، هفتمین کنگره بین المللی عمران، دانشگاه تربیت مدرس.

[۱۸] مژگانی، ا.، " بررسی رفتار اعضاء حلقوی متحدالمرکز شکل پذیر"، ۱۳۸۷، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۱۹] عباس نیا، ر، احمدی، ر، بهشتی، ع، " ۱۳۸۷ افزایش سختی و میرایی عضو حلقوی جهت شکل پذیر نمودن مهاربند های هم محور در بارهای متنوع لرزه ای"، کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تبریز.

[۲۰] میرزا آقایی، ی.، ۱۳۹۴، " ارائه مهاربندهای رفتار یکسان در کشش و فشار برای سازه های فولادی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات فارس.

[۲۱] سیدرضا سلیم بهرامی، مرتضی نقی پور، نقش المان های با رفتار شکل پذیر در عملکرد لرزه ای قاب های فولادی دارای مهاربند برون محور، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، پایان نامه کارشناسی ارشد ۱۳۹۲.

[۲۲] کافی، م. ع.، " بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی تاثیر حلقه فولادی بر شکل پذیری مهاربندهای هم محور"، ۱۳۸۷، پایان نامه دکتری مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۲۳] ATC24. Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures for Buildings, 1992.

[۲۴] کماچی، ی.، تابش پور، م. ر.، گل افشانی، ع. ا.، ۱۳۸۸، استفاده از سیستم های اتلاف انرژی برای بهسازی لرزه ای سکوهای شابلونی، یازدهمین همایش صنایع دریایی، کیش.

[۲۵] Mualla, I.H., Belev, B., "Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation", engineering Structures, 2002, 24, 365-371.

[۲۶] Muall, I.H., Nielsen, L.O., "Friction Damper System Low Order Behavior and Design", Department of Civil Engineering, DTU-bygning, 2002, 118.

[۲۷] Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., and Fenves, G. L. (2006). The Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSEES) User Command Language Manual, PEER, Univ. Calif., Berkeley, CA, (<http://opensees.berkeley.edu>). version. 2.4.1.

[۲۸] گل افشانی، ع.ا.، تابش پور، م. ر.، حاجی نوری، ی.، ۱۳۹۳، بررسی عملکرد سکوی شابلونی مجهز به

سیستم مهار دندانه‌ای RBS در برابر بار زلزله، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل.

[۲۹] Tabeshpour, M.R., Golafshani, A.A., and Masroor Shalmani, A., Response Modification Factors of Steel Moment Frames Equipped with Completely Closed Ribbed Bracing System (CC-RBS). Advances in Structural Engineering, 2012. 15(7): p. 1083-1098.

[۳۰] گل افشانی، ع.ا.، تابش پور، م. ر.، پرتوی کلور، و.، ۱۳۹۳، بررسی عملکرد سکوی شابلونی مجهز به

مهاربند کمانش تاب (RBR) تحت اثر بار زلزله، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل.

[۳۱] Xie, Q. (2005), "State of the art of buckling-restrained braces in Asia", Journal of Constructional Steel Research, 61, 727-748.

[۳۲] Ou, J., Long, X., Li, Q.S., Xiao, Y.Q., "Vibration control of steel jacket offshore platform structures with damping isolation systems", Engineering Structure, 2006, 29(7), 1525-1538.

[۳۳] JZ20-2MUQ platform structure design report. China Offshore Oil Engineering Co., Ltd. 1990.

[۳۴] Abaqus V2015

[۳۵] American Petroleum Institute "Recommended practice for planning, design and constructing fixed offshore platforms", API RP 2A (21th edition) American Petroleum Institute, Washington, DC, 2000.

[۳۶] Goyal, A., and Chopra, A. K., "Earthquake Analysis and Response of Intake-Outlet Towers," Report No. UCB/EERC-89/04, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley, CA, July 1989.

[۳۷] Bannon, H., and Penzien, J., "Working Group Report on Structural Performance," Proceedings of the International Workshop on Seismic Design and Reassessment of

Offshore Structures, editor: W. D. Iwan, California Institute of Technology, Pasadena, CA, December 7-9 1992

[٣٨] Newmark, N.M., and Rosenblueth, E., “Fundamentals of Earthquake Engineering”, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1971.

[٣٩] Clough, R. W., "Effects of Earthquakes on Underwater Structures", Proceedmas of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering”, Tokyo, 1960.

[٤٠] Resalat (R1) Offshore Complex Renovation and Reconstruction Project Report

[٤١] Patrick Lynett, "Nonlinear Wave Dynamics", World scientific, 2009.

[٤٢] Patrick DNV-RP-C205, Environmental conditions and environmental loads”, Det Norske Veritas, 2010.

Abstract

Different earthquakes are damaging structures based on their strength and stability. Therefore, stability of structures against earthquakes is much important to prevent total or partial failure of structures and loss of financial and human investments of people and country. Jacket platforms used in the oil and gas industry of the country are among the most important structures due to the very important role played by the country's economic cycle. These structures sensitives to environmental motions like wind, ocean waves and earthquake. These movements cause unintended vibration of the structure and thus increase the probability of structural failure and damage to facilities and equipment that are sensitive to the structure. The issue of seismic control and its impact on offshore structures in this study has been investigated.

In this research, we have tried to study a new type of energy deprivation in order to reduce the damage to the platform. At the time of the earthquake, the fuse member depreciates a significant portion of the energy input to the structure by by entering to nonlinear stage and forming flexural plastic hinges During an earthquake, the dissipation part depreciates significant part of the energy input to the structure by entering to nonlinear stage and forming flexural plastic hinges. In the event of failure of the proposed element, it also offers easy switching and, in addition, low cost and high speed. To model the proposed element and jacket platform for spectral analysis, the Abaqus finite element software has been used. The results show that although the damper system has not played a significant role in improving the stresses introduced to the members, but in the discussions of the maximum base shear imposed to the structure and the maximum displacement of the deck have been effective and significantly improve them.

Keywords: Jacket platform, Ductile element, Yielding damper, Offshore structure



Faculty of Civil Engineering

M.S.c Thesis in Coastal Engineering, Ports and Marine Structures

**Evaluation of ductile elements performance on
jacket platform's seismic behaviour**

By: Amir Chitgar Chari

Supervisors:

Dr. Mehdi Adjami

Dr. Morteza Naghipour

September 2017