# مروری بر ارزیابی و بهسازی سکوهای پایه ثابت برای بار موج و زلزله

محمدرضا تابش‌پور* سیدمانی فاطمی**

**چکیده**

سکوهای فراساحل نفتی سال‌هاست که در فعالیت‌های استخراج نفت در خلیج فارس استفاده می‌شوند. سازه‌های موجود در خلیج فارس برای عمر مفید ۲۵ سال ساخته شده‌اند. بسیاری از این سازه‌ها عمر مفید خود را گذرانده‌اند یا در آستانه اتمام عمر مفید هستند. با توجه به ارزش اقتصادی این سازه‌ها و ضرورت تداوم استفاده، افزایش عمر مفید آنها مورد توجه مهندسان و به تبع آن محققان قرار گرفته است. در راستای حل این مسئله می‌توان دو رویکرد اصلی را دنبال کرد. رویکرد اول برطرف کردن کمبودهای موجود در آیین‌نامه‌های سازه‌های دریایی در زمینه ارزیابی سازه‌ها است. با توجه به کمبودهایی که در آیین‌نامه‌های سازه‌های دریایی نسبت به موضوع ارزیابی و بهسازی سکوها وجود دارد، تحقیقات فراوانی در این زمینه برای بهبود و پیشرفت این روش‌ها صورت گرفته است. رویکرد دوم بهینه‌سازی رفتار دینامیکی این سازه‌ها است. به دو صورت کلی می‌توان رفتار دینامیکی اعضای سکو برای افزایش طول عمر آنها را تغییر داد: الف- استفاده از روش‌های کنترل ارتعاشات ب- تقویت المان‌های سکو. هدف از این مقاله مرور و دسته‌بندی سیستماتیک روش‌های ارزیابی و بهسازی سکوهای نفتی تحت بارهای موج و زلزله است.

کلمات کلیدی: سکوهای فراساحل، تحلیل بارافزون، تحلیل دینامیکی افزایشی، تحلیل موج افزایشی، تحلیل قابلیت اطمینان

## ۱- مقدمه

مدل‌سازی سازه و تحلیل دینامیکی یک سکوی نفتی به صورت واقعگرایانه بسیار پیچیده و سخت است و باید عوامل مختلفی از جمله رفتار اعضای جکت (مدل کردن رفتار غیرخطی اعضای لوله‌ای، درنظرگرفتن انعطاف‌پذیری اتصالات و در نظرگرفتن اثر اتصال شمع و جکت بر روی رفتار سازه)، اندرکنش آب و سازه (درنظرگرفتن جرم‌افزوده، اثرات عمق آبی که عضو در آن قرار گرفته بر روی رفتار اعضای سازه و میرایی به‌وجود آمده در اثر حرکت سازه در آب)، اندرکنش خاک و سازه (مدل‌سازی خاک حوزه نزدیک و حوزه دور و در نظرگرفتن اثرات میرایی به‌وجود آمده در اثر اندرکنش خاک و سازه) و مدل‌سازی صحیح بارهای محیطی وارد بر سازه را در نظر گرفت. محققان زیادی تلاش در ساده‌سازی این روش‌ها یا ابداع روش‌های جدیدی برای کاستن از حجم محاسبات و در عین حال رسیدن به نتایج دقیق‌تر داشته‌اند. در شکل ۱ تعدادی از مسائل مطرح در مدل‌سازی قسمت جکت سکوها دیده می‌شود.

اگر سازه در اثر بارهای محیطی شدید دچار آسیب شود، وارد محدوده غیرخطی می‌شود. رفتار اعضای سکوهای شابلونی در محدوده غیرخطی به دو صورت محوری یا قابی است. عملکرد قابی در پایه‌ها، شمع‌ها و پایه‌های مهار نشده عرشه اتفاق می‌افتد. اعضای قابی دارای نیروی محوری ثابت و تغییر شکل جانبی متغیر هستند. به دلیل اینکه تغییرات نیروی محوری در اعضای قابی زیاد نیست، پاسخ چرخه‌ای این اعضا را می‌توان با پاسخ یک تیر طره که معادل نصف عضو است، معادل‌سازی کرد. اعضای محوری که مهاربندها در سکوها این‌گونه هستند، دارای بار جانبی ثابت (به جز در مواردی که اثرات نیروهای اینرسی کارآمد باشد) و تغییر شکل محوری متغیر هستند. به دلیل اینکه این اعضا در دو انتها به پایه‌های با سختی خمشی بسیار بیشتر متصل می‌شوند، رفتار محوری آنها را می‌توان با یک عضو محوری ثابت در دو انتها مدل کرد.

در حال حاضر برای تحلیل و ارزیابی رفتار غیرخطی سکوهای نفتی در برابر بار زلزله و موج از روش تحلیل بارافزون استفاده می‌شود. به علت نقایصی در این روش تحلیل، محققان و مهندسان به دنبال توسعه روش‌هایی جدید برای ارزیابی رفتار سکوها هستند. روش‌های تحلیلی برای ارزیابی سکوهای نفتی، برای دو بار اصلی وارد بر سازه یعنی زلزله و موج شامل موارد زیر است. **(شکل ۱. الف)**

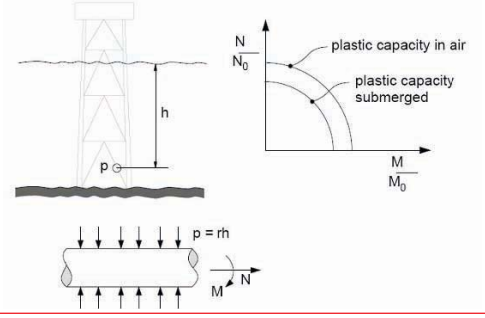
## ۲- دلایل بررسی روش‌های ارزیابی سکوهای نفتی

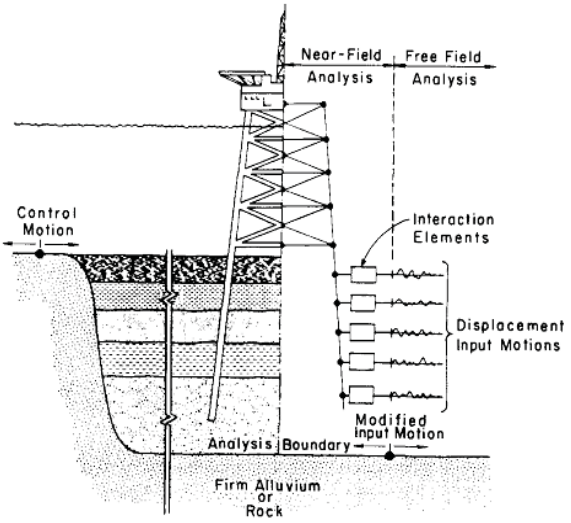
دلایل اصلی برای بررسی روش‌های ارزیابی سکوهای نفتی به شرح زیر است:

الف- تاکنون روش‌های تحلیلی زیادی در زمینه بررسی رفتار غیرخطی سکوهای نفتی پیشنهاد شده، ولی دسته‌بندی دقیقی در این زمینه ارائه نشده است.

ب- تعداد زیادی از سکوهایی که در خلیج‌فارس هستند عمر مفید خود را گذرانده‌اند و به تحلیل دوباره با توجه به شرایط موجود و مقاوم‌سازی نیاز دارند. ابزار این کار، روشی است که دقت قابل قبولی داشته باشد.

| بار زلزله | بار موج |
|---|---|
| تحلیل افزون‌بار | تحلیل موج افزایشی |
| تحلیل زمان دوم | تحلیل موج دوام |
| های‌روش احتمالی | های‌روش احتمالی |




**شکل ۱. الف- اثرات عمق آب بر روی اعضای سکو**
**ب- اندرکنش خاک و سازه**

پ- وجود بارهای محیطی مانند خستگی، خوردگی، زلزله حوزه نزدیک، نشست، ضربه، تغییر کاربری، عدم قطعیت‌ها در بارگذاری و... که هنگام طراحی در نظر گرفته نشده بودند، ولی تحقیقات جدید مهم بودن تاثیرات آنها را در بقای سکوهای نفتی تایید می‌کند، موجب شده است تا بحث‌های ارزیابی در سکوهای نفتی جدی‌تر دنبال شود.

عواملی را که می‌توانند خطرات جدی برای بقای سکوهای نفتی ایجاد کنند، می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد. دسته اول، حاشیه ایمنی ناکافی است، به این معنی که بار وارده بیشتر از ظرفیت سازه باشد. این امر ممکن است به علت افزایش بار یا مقاومت ناکافی باشد. دسته

شکل ۲. بار محیطی بیش از اندازه و حالت فروریزش سازه

دوم خطرات ناشـی از اتفاقات تصادفی شامل برخـورد شناورها، افتادن اشیـا بر روی عرشه، آتش و انفجـار است. دسته سوم خطاهای انسانی را شامل می‌شود.خطاهای انسانی به خطا در تصمیم‌گیری در حین طراحی، ساخت، نصب و عملیات سکوهای نفتی اتلاق می‌شود (شکل ۲)

### ۳- دلایل بررسی روش‌های بهسازی و مقاوم‌سازی سکوهای نفتی

الف- تاکنـون دسته‌بندی دقیقـی درباره استفـاده از روش‌های بهسازی و مقاوم‌سازی در سکوهای نفتی ارائه نشده است.

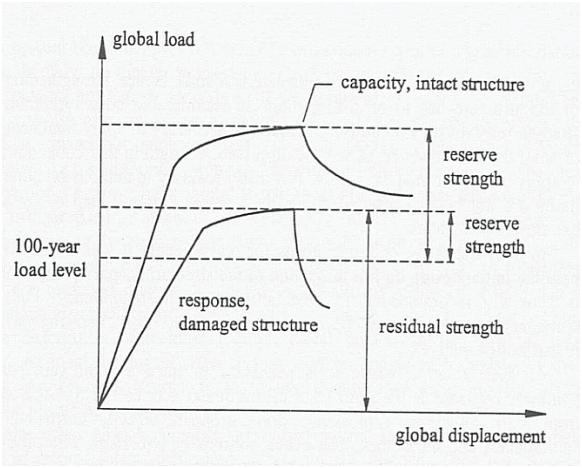
ب- بهینه‌سـازی سکوهـای نفتـی به شیوه‌هـای قدیمی صورت می‌گیـرد و نیاز به بررسی روش‌های جدید برای بهسازی این سکوها در برابـر بارهـای محیطی برای انتخاب روش‌هـای جدیدتر احساس می‌شود.

### ٤- ارزیابی سکوها

بـرای برآورد ظرفیت سازه‌ها و تایید آنها برای ادامه خدمت‌رسانی معمـولا از تحلیل حـد نهایی یا همـان تحلیل بار افـزون استفاده می‌شود. تحلیل بار افزون مرسوم، تحلیل استاتیکی غیرخطی افزاینده اسـت که در آن بارگـذاری جانبی با شرایط حالـت طراحی به سازه اعمـال می‌شود. گام به گام با افزایش شـدت بارگذاری سازه تحلیل می‌شـود تا اینکه آسیب وارده به سازه به حـد معینی برسد یا اینکه سازه دچار فروریزش نهایی گردد.

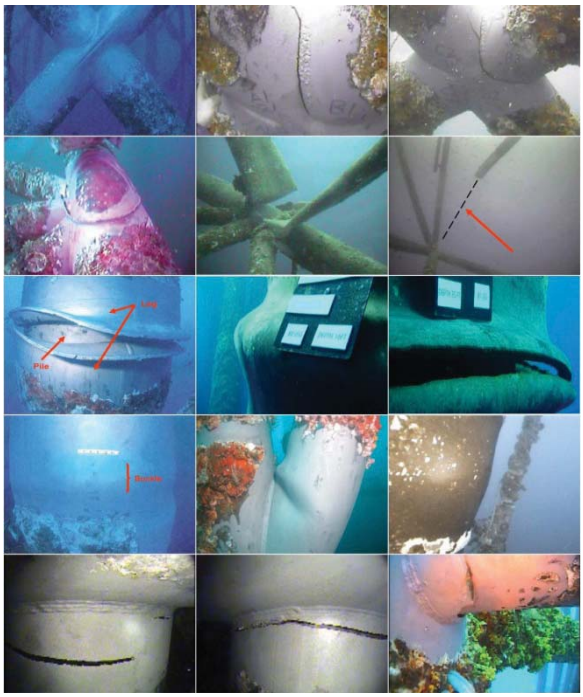
نتیجـه تحلیل بار افـزون، استخراج نمـودار موسوم به منحنی ظرفیت سـازه است.بـا مطالعه این نمـودار می‌توان تـا حدودی به خصوصیـات کلی سازه و رفتـار آن در بارگذاری‌های نادر پی برد. در مطالعات فراساحل از این نمودار ضریبی تحت عنوان ضریب مقاومت ذخیره استخراج می‌شود که بـرای برآورد کفایت سکو مورد استفاده قـرار می گیرد. در حالـت کلی، نمودار بارافـزون می‌تواند به صورت شکـل زیر باشد. ایـن نمودار به ما کمک می‌کند تـا به برداشت‌های

$$RSR = \frac{\text{ظرفیت باربری نهایی سازه}}{\text{بار طراحی}}$$




شکل ۳. مفهوم منحنی ظرفیت سازه

مهمـی در مورد رفتار غیرخطـی سازه برسیـم. در شکل ۳ منحنی ظرفیت جکت سالم با جکت آسیب‌دیده مقایسه شده است، همچنین در شکل ۴ انواع آسیب‌های سکو که موجب کم شدن ظرفیت باربری سکو می‌شود، نشان داده شده است. (شکل ۳ و ۴)



شکل ۴. خرابی اعضای سکو در برابر بارهای محیطی

روش تحلیل بارافزون به علت داشتن نقایصی مانند در نظر نگرفتن پدیده موج بر عرشه، بزرگ‌تر بودن حدود دوره بازگشت امواج عامل خرابی از مقدار ۱۰۰ ساله، پنهان ماندن رفتار سازه در مقابل سطوح مختلف خطر موج و چشم‌پوشی از اثرات دینامیکی شامل محتوای فرکانسی و مدت زمان بار اعمالی در ارزیابی رفتار غیرخطی سکو موجب شده است که تحقیقات فراوانی برای بررسی کارایی و بهبود این روش انجام گیرد.بیشتر تحقیقات مربوط به روش بارافزون و رفتار سکوهای نفتی در حالت حد نهایی توسط Robert G. Bea و همکارانشان، در دانشگاه برکلی کالیفرنیا و در دهه ۹۰ میلادی روی سکوهای موجود در خلیج مکزیک انجام شده است.

آیین‌نامه‌های سازه‌های دریایی در ارزیابی سکوهای نفتی دارای اشکالاتی هستند. با مقایسه آیین‌نامه API و یکی از آیین‌نامه‌های ارزیابی ساختمان‌ها مانند FEMA می‌توان به این اشکالات پی برد. تابش‌پور و همکارانشان با استفاده از روش‌های طیف ظرفیت و ضریب جابه‌جایی (روش‌های بارافزون اصلاح شده، که در آیین‌نامه FEMA برای ساختمان‌ها پیشنهاد شده) رفتار لرزه‌ای سکوی رسالت واقع در خلیج فارس را با کمک سطوح عملکرد سازه که در آیین‌نامه FEMA تعریف شده ارزیابی کردند و نشان دادند که می‌توان از مفاهیم ارزیابی مبتنی بر عملکرد که در آیین‌نامه ساختمانی تدوین شده است برای ارزیابی سکوهای نفتی استفاده کرد. در جدول زیر مقایسه موارد مربوط به ارزیابی سازه‌ها در دو آیین‌نامه API و FEMA به صورت خلاصه نشان داده شده است. (جدول ۱)

### ۵- استفاده از سیستم‌های کنترل ارتعاشات

برای کاهش ارتعاش سازه می‌توان سختی آن را به روش‌های گوناگون افزایش داد تا پریود طبیعی ارتعاش سازه را از پریود رزونانس دور کرد. اما این روش مستلزم صرف هزینه‌های اقتصادی بالا برای ساخت‌وساز و مصالح است. روش دیگر استفاده از روش‌های کنترل غیرفعال سازه برای پایین آوردن سطح ارتعاش سازه می‌باشد. سیستم‌های کنترلی غیرفعال برای کنترل کردن ارتعاشات نیازی به انرژی خارجی ندارند. این سیستم‌ها از نیروهای به‌وجود آمده در حین تحریک سازه برای تلف کردن انرژی وارد بر سازه استفاده می‌کنند.

**جدول۱: مقایسه مباحث مربوط به ارزیابی در دو آیین‌نامه FEMA- 356 و API RP2A**

| | API RP2A | 356-FEMA |
|---|---|---|
| سازه شرایط درنظر گرفته شده | سکوی نفتی سازه را به صورت کلی در نظر می‌گیرد. ۱۰۰۰ سال | ساختمان به نوع عضو وابسته است. ۲۵۰۰ سال |
| دوره بازگشت زلزله | ندارد | ۱- روش ضریب جابه‌جایی |
| روشی ساده برای ارزیابی | | ۲- روش طیف ظرفیت |

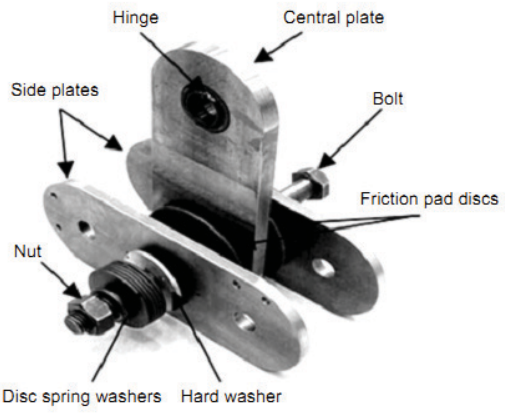
از آنجا که استفاده از سیستم‌های کنترل سازه به تازگی به عنوان روشی برای بهسازی سازه‌ها مطرح شده و با توجه به پیچیدگی‌هایی که در طراحی، ساخت و نصب این تجهیزات وجود دارد، لذا تاکنون استفاده از چنین سیستم‌هایی به‌رغم کارایی مناسب آنها، تنها برای ساختمان‌های بلند و با اهمیت زیاد یا پل‌های بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۵-۱ میراگر اصطکاکی

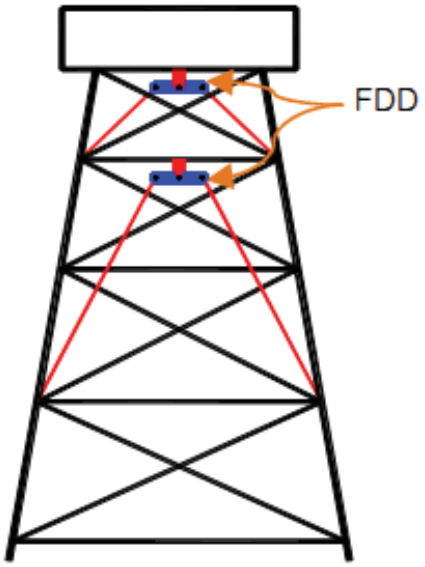
میراگر اصطکاکی یک سیستم مکانیکی برای اتلاف انرژی تحریکات وارد بر سازه است. این میراگر از یک صفحه قائم، دو صفحه افقی و دو دیسک اصطکاکی که در بین صفحات فولادی و اعضای بادبند قرار دارند، تشکیل شده است. انرژی تحریکات جانبی وارد بر سازه به‌وسیله اصطکاک به‌وجود آمده بین صفحات فولادی و دیسک‌های اصطکاکی خنثی می‌شود. عملکرد میراگرهای اصطکاکی برخلاف میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک، مستقل از تغییرات سرعت است. از دیگر مزایای این میراگرها هزینه کم و نصب و نگهداری آسان است. از تحقیقات انجام شده برای استفاده از این میراگر در سکوهای نفتی می‌توان به تحقیقات کماچی و همکارانشان اشاره کرد. در این تحقیق استفاده از میراگر اصطکاکی برای بهینه‌سازی رفتار سکوی رسالت واقع در خلیج فارس به دو روش استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که بعد از استفاده از این میراگر، پاسخ لرزه‌ای سازه تا اندازه زیادی کاهش پیدا می‌کند. (شکل ۵ و ۶)

### ۵-۲ میراگر ویسکوز و ویسکوالاستیک

میراگر ویسکوز از یک پیستون و یک سیلندر فولادی تشکیل شده است. میرایی این میراگر در اثر حرکت برشی پیستون فولادی در داخل یک سیال با ویسکوزیته بالا که در داخل سیلندر است، به‌وجود می‌آید. (شکل ۷ و ۸)



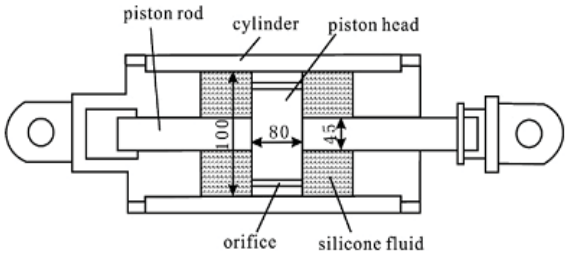

**شکل ۵. قسمت های تشکیل‌دهنده یک میراگر اصطکاکی**




شکل ۶. استفاده از میراگر اصطکاکی بر روی سکو

میراگـر ویسکوالاستیـک از صفحات برشی ساختـه شده از مواد ویسکوالاستیـک (مـوادی که هم خاصیت مـواد الاستیک را دارند و هـم مواد ویسکوز یعنی در صورتی که تحت تحریکات دینامیکی قرار

شکل ۷. میراگر ویسکوز




شکل ۸. ساختار میراگر ویسکوز

گیرند، قسمتی از انرژی وارد بر سازه را به صورت گرما تلف می‌کنند) تشکیل شده است.

از این دو نوع میراگـر به صورت گسترده در ساختمان‌ها استفاده می‌شـود. استفاده از این دو نوع میراگـر در سکوهای نفتی به ندرت مـورد مطالعه قرار گرفته اسـت. در تحقیقی کـه J.C. Patil انجام داده، تاثیرات استفاده از سه نـوع میراگر ویسکوز، ویسکوالاستیک و اصطکاکی بر روی یک سکوی دریایی بررسی و نتایج به‌دست آمده از هر سه مدل میراگر با یکدیگر مقایسه شده است.

### ۵-۳ جداساز ارتعاشی

جداسـاز ارتعاشی، استراتژی طراحی براسـاس امکان جدا کردن سازه از زمیـن برای محافظت از آن در برابر انتقال مولفه‌های مخرب شتـاب زمین بـه سازه است. بـرای رسیدن به ایـن نتیجه، سختی سیستم سازه بـا استفاده از المان‌های انعطاف‌پذیـر در نزدیکی پایه سـازه کاهش پیدا می‌کند. در واقع با استفاده از جداساز لرزه‌ای مانع از جـذب انرژی زلزلـه توسط سازه می‌شویم. بعضـی از جداسازهای لرزه‌ای می‌توانند میرایی اضافه وارد سیستم سازه کنند. با استفاده از ایـن سیستم می‌توانیم رفتار چرخه‌ای دلخـواه را در المان مورد نظر سازه ایجاد کنیم.

در حال حاضر از این سیستم در ساختمان‌ها و پل‌ها استفاده فراوان می‌شود، ولی استفاده از این سیستم در سکوهای نفتی و موثر بودن آن مسئلـه جدیدی در صنعت فراساحل اسـت. تا به امروز درباره استفاده از جداگرهـای لرزه‌ای در صنایع فراساحـل تحقیقات کمی انجام شده است. در معدود تحقیقات انجام شده Ou و همکارانشان استفاده از دو سیستم جداگرهای لرزه‌ای و میراگر ویسکوالاستیک به صورت همزمان

شکل ۹. مدل سکو بر روی میز لرزان

در کاهش پاسخ دینامیکی سکوهای نفتی را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق پاسخ یک سکوی نفتی که به جداگرهای لرزه‌ای و میراگر ویسکوالاستیک مجهز شده بود، به دو صورت تئوری و عملی مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق جداگرهای لرزه‌ای بین عرشه و جکت سکو نصب شده بودند. (شکل ۹، ۱۰ و ۱۱)

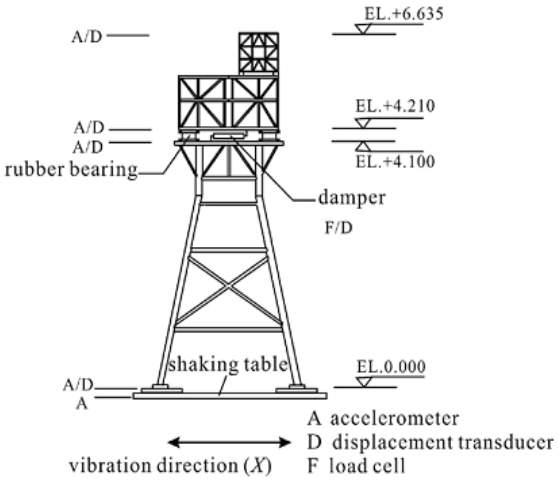
نتایج مهمی که در این تحقیق به‌دست آمد، به شرح زیر است:

الف- با افزایش ضریب میرایی مد اول، جابه‌جایی طبقه‌ای که میراگر و جداساز لرزه‌ای در آن نصب شده بود، کاهش یافت.

ب- با افزایش پریود همسان در سازه (نسبت پریود قسمت فوقانی سازه به پریود طبیعی سازه)، اثرات کاهش ارتعاش در بیشینه جابه‌جایی نسبی بالای سازه افزایش پیدا کرد.

پ- نتایج به‌دست آمده از تحقیق تئوری و عملی همخوانی خوبی داشتند.

شکل ۱۰. محل نصب میراگر ویسکوالاستیک



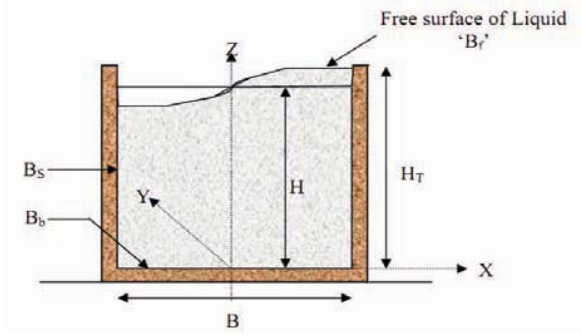

شکل ۱۱. مشخصات سکو و میز لرزان

**۵-٤ میراگر تنظیم شونده مایع**

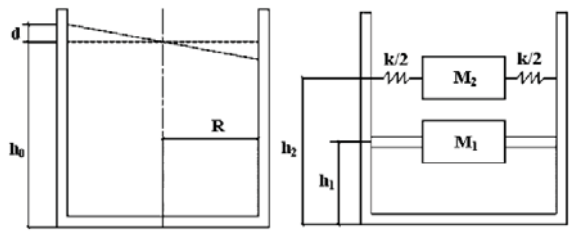
در این سیستم یک مخزن آب در بالاترین طبقه سازه و برای کنترل ارتعاشات آن نصب می‌شود. این مخازن به دو تیپ کلی تقسیم می‌شوند، TLD هایی که با تئوری آب کم عمق کار می‌کنند و TLD هایی که با تئوری آب عمیق کار می‌کنند. اگر ارتفاع آب داخل مخزن H به طول مخزن B (در راستای ارتعاش) کمتر از ۰/۱۵ باشد، آن مخزن با تئوری آب کم‌عمق و در غیر این صورت با تئوری آب عمیق تحلیل می‌شود. میراگرهای نوع اول که با تئوری آب کم‌عمق کار می‌کنند، اثرات میرایی بالایی برای تحریکات مقیاس کوچک دارند، ولی در تحریکات مقیاس بزرگ به علت رفتار غیرخطی نوسانات آب نمی‌توان از آنها استفاده کرد. در میراگرهای نوع دوم که با تئوری آب عمیق کار می‌کنند، نوسانات ایجاد شده در اثر حرکت آب رفتار خطی از خودش نشان می‌دهد، بنابراین می‌توان از آنها برای کنترل سازه در تحریکات مقیاس بالا استفاده کرد. در شکل زیر مشخصات مخزن و مدل جرم متمرکز آن نشان داده شده است:

( $M_1$: جرم تکانه، $M_2$ : جرم نوسانات آب که به صورت الاستیک به مخزن متصل شده است.) (شکل ۱۲ و ۱۳)

وقتی فرکانس حرکت مخزن نزدیک به فرکانس طبیعی آب داخل مخزن باشد، نوسانات با دامنه بالا در سیال اتفاق می‌افتد. اگر هر دو فرکانس نزدیک هم باشند،پدیده رزنانس اتفاق می‌افتد. به طور کلی تنظیم پریود اصلی نوسانات آب داخل مخزن نسبت به پریود اصلی ارتعاش سازه ایجاد نوسانات زیاد آب و شکست موج در داخل مخزن و در فرکانس رزونانس سیستم ترکیبی سازه و میراگر می‌کند. این امر موجب تلف شدن انرژی قابل توجهی از تحریکات وارد به سازه می‌شود.




شکل ۱۲. مشخصات یک مخزن




شکل ۱۳. مدل جرم متمرکز برای TLD

### ٦- تقویت اعضای سکو

در رویکرد دوم با جایگزینی المان‌های سکو با المان‌های تقویت شده به روش‌های گوناگون، رفتار دینامیکی سازه در برابر بارهای محیطی را برای افزایش طول عمر سازه تغییر می‌دهیم. خلاصه‌ای از روش‌های موجود برای مقاوم‌سازی سکوهای نفتی در جداول زیر آمده است: (جداول ۲، ۳ و ۴)

**جدول ۲: تقویت اعضای جکت و عرشه**

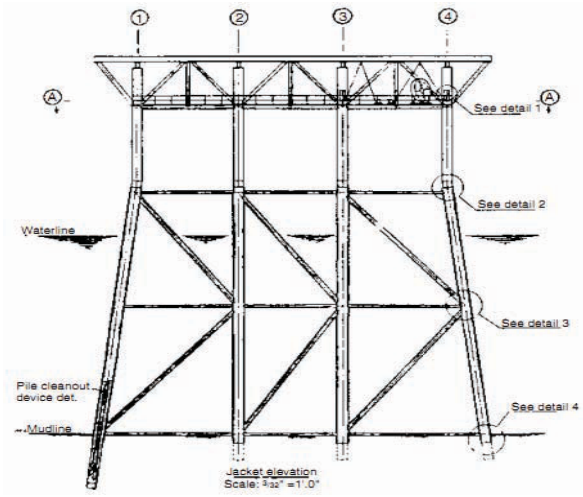
| مسئله | راه‌حل |
|---|---|
| ۱- بادبندها و اعضای افقی که در نزدیکی سطح آب (یا کمی بالاتر و پایین‌تر از سطح آب) نصب شده‌اند به خاطر خستگی ناشی از جریان‌های گردابه‌ای گسیخته می‌شوند. | - نصب بادبندهای K شکل زیر آب، بین گره پایینی و وسط عضو |
| ۲- تقویت اعضای لوله‌ای و پروفیل‌های عرشه برای تحمل بارهای محوری و ثقلی بیشتر | الف- استفاده از روش گروت نفوذی<br>ب- اضافه کردن ورق‌های فولادی با ظرفیت باربری بالا و مجهز شده به سخت‌کننده برای پخش کردن بارهای متمرکز<br>ج- پر کردن اعضای لوله‌ای با بتن در نقاطی که بار متمرکز وجود دارد، برای جلوگیری از تغییر شکل عضو |
| ۳- کم شدن مقاومت محل اتصال چند عضو (گره‌ها) در برابر کمانش و بیضوی شدن در اثر تحمل فشارمحوری زیاد | الف- پرکردن اعضای لوله‌ای با بتن (مخلوط با مواد افزودنی مانند فوم سیلیس)<br>ب- نصب آستین فولادی که مواد افزودنی مخصوصی در آن تزریق شده، بر روی محل اتصال اعضا |

**جدول ٤: افزایش ظرفیت باربری جانبی شمع‌ها و سازه**

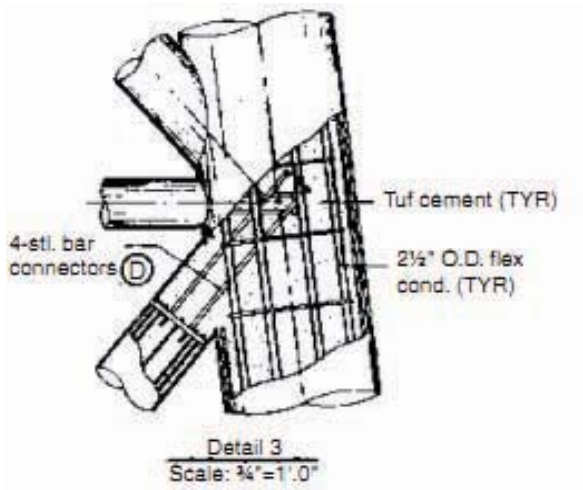
| مسئله | راه‌حل |
|---|---|
| ۱-جابه‌جایی جانبی تناوبی سازه، موجب به‌وجود آمدن شکاف در اطراف قسمت ورود شمع به خاک می‌شود. در اثر ادامه یافتن این امر، جابه‌جایی سازه افزایش یافته و موجب کم شدن مقاومت جانبی شمع می‌گردد. | الف- پرکردن شکاف‌ها با سنگ‌های کوچک<br>ب-افزایش طول شمع‌ها |

**جدول ۳: افزایش ظرفیت باربری محوری شمع‌ها**

| مسئله | راه‌حل |
|---|---|
| ۱-وجود ماسه‌های کلکریوس<br>۲- تحلیل دوباره شمع برای نیروی بالابرنده دینامیکی نشان‌دهنده نیاز به تقویت ظرفیت محوری شمع باشد.<br>۳-سکو باید بارهای بیشتری نسبت به باری که برای آن طراحی شده است تحمل کند. | الف- افزایش طول شمع‌ها<br>ب- بیرون کشیدن خاک فشرده شده در داخل شمع و پرکردن شمع با سیمان، ماسه و سنگ آهن |




شکل ۱۴. تقویت اتصال در سکو




شکل ۱۵. تقویت اتصال در سکو

رفتار سازه‌ای سکوهای ثابت نفتی فولادی شبیه به قاب‌های فلزی دارای بادبند است. پایه و بادبند سکو شبیه ستون و بادبند در قاب‌های ساختمانی عمل می‌کنند، بنابراین می‌توان از روش‌های استفاده شده در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، در مقاوم‌سازی سکوهای ثابت نفتی فولادی استفاده کرد.

## نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه بسیاری از سکوهای موجود در خلیج فارس عمر مفید سرویس‌دهی خود را گذرانده‌اند و استفاده از سکوهای موجود نسبت به ساخت سکوهای جدید راهکاری اقتصادی‌تر است، بررسی و تحقیقات بیشتر بر روی روش‌های تحلیلی مورد استفاده در ارزیابی سکوهای نفتی پایه ثابت و همچنین شیوه‌های بهسازی سکوهای ثابت فولادی امری لازم است. در این مقاله به معرفی و دسته‌بندی روش‌های بهسازی و روش‌های تحلیلی مورد استفاده در ارزیابی سکوهای نفتی پایه‌ثابت پرداخته شد. همچنین شیوه‌های موجود برای تقویت المان‌های سکو مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه جدیدترین تحقیقات انجام گرفته در زمینه مقاوم‌سازی سکوهای نفتی معرفی شد.

** استادیار، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ tabeshpour@sharif.ir
** کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران؛ manigriffin@gmail.com

## مراجع

[1] Amdahl, J., T. Granli, and O. Astrud. "Collapse Analysis of Framed Offshore Structures." 1986.
[2] Cornell, C., and D. Vamvatsikos. "Seismic Performance, Capacity and Reliability of Structures as Seen through Incremental Dynamic Analysis." Stanford university, 2002.
[3] Ditlevsen, O., and H.O. Madsen. Structural Reliability Methods. Vol. 178: Wiley Chichester, 1996.
[4] Ersdal, G. "Assessment of Existing Offshore Structures for Life Extension." Department of Mechanical and Structural Engineering and Material Sciences, University of Stavanger, Norway, (2005).
[5] Golafshani, A.A., M.R. Tabeshpour, and Y. Komachi. "Fema Approaches in Seismic Assessment of Jacket Platforms (Case Study: Ressalat Jacket of Persian Gulf)." Journal of Constructional Steel Research 65, no. 10 (2009): 1979-1986.
[6] Golafshani, AA, V. Bagheri, H. Ebrahimian, and T. Holmas. "Incremental Wave Analysis and Its Application to Performance-Based Assessment of Jacket Platforms." Journal of Constructional Steel Research 67, no. 10 (2011): 1649-1657.
[7] Hellan, O., and B. Skallerud. "Reassessment of Offshore Steel Structures: Shakedown and Cyclic Nonlinear Fem Analyses." (1991).
[8] Higashino, M., and S. Okamoto. Response Control and Seismic Isolation of Buildings: Taylor & Francis, 2006.
[9] Jin, Q., X. Li, N. Sun, J. Zhou, and J. Guan. "Experimental and Numerical Study on Tuned Liquid Dampers for Controlling Earthquake Response of Jacket Offshore Platform." Marine Structures 20, no. 4 (2007): 238-254.
[10] Kawano, K., K. Venkataramana, and K. Furukawa. "Seismic Response of Offshore Platform with Tmd." 4, 2241-2246, 1992.
[11] Komachi, Y., MR Tabeshpour, AA Golafshani, and I. Mualla. "Retrofit of Ressalat Jacket Platform (Persian Gulf) Using Friction Damper Device." Journal of Zhejiang University-Science A 12, no. 9 (2011): 680-691.
[12] Tabeshpour, M.R., Y. Komachi, "Modelling Requirements of Jacket Platforms for Assessment and Rehabilitation." In The 13th Marine Industries Conference (MIC2011). Kish Island, 2011.
[13] Mortazavi, M., and RG Bea. "A Simplified Structural Reliability Analysis Procedure for Use in Assessments and Requalifications of Template-Type Offshore Platforms." 4, 438-446: International Society of Offshore and Polar Engineers, 1996.
[14] Mualla, I.H., and B. Belev. "Performance of Steel Frames with a New Friction Damper Device under Earthquake Excitation." Engineering structures 24, no. 3 (2002): 365-371.
[15] Ou, J., X. Long, QS Li, and YQ Xiao. "Vibration Control of Steel Jacket Offshore Platform Structures with Damping Isolation Systems." Engineering structures 29, no. 7 (2007): 1525-1538.