



مرکز بررسی‌ها و مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



## تحلیل پاسخ سکوی ترکیبی دارای مخازن مستغرق الحاقی

علی اکبر آقاچوچک  
دانشگاه تربیت مدرس

[A\\_Agha@modares.ac.ir](mailto:A_Agha@modares.ac.ir)

مهدی شفیعی فر  
دانشگاه تربیت مدرس

[Shafiee@modares.ac.ir](mailto:Shafiee@modares.ac.ir)

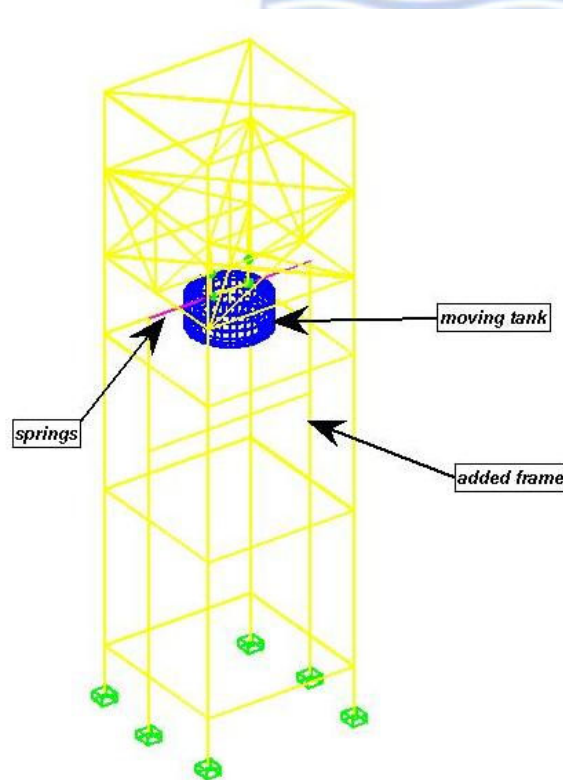
محمد رضا محرمی گرگری  
دانشگاه تربیت مدرس

[Mr\\_Moharrami@modares.ac.ir](mailto:Mr_Moharrami@modares.ac.ir)

### ۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت های روزافزون تکنولوژی در اجرا و ساخت سکوهای دریایی و برای دستیابی به اهدافی چون، کاهش هزینه های ساخت و نگهداری، کاهش زمان ساخت و بهره برداری، کاهش جابجایی های سکو و افزایش سلامت سکو، نیاز به ارائه طرح های نوین، افزایش یافته است. از این رو جهت کاهش نوسانات دائمی سکوهای در معرض امواج، ارائه طرح هایی با عملکرد آئرو دینامیکی بیشتر (Nagamani and ganapathy 2000)، افزودن مهار برای بالابردن سختی سازه ای (Bhattacharyya, Sreekumar and Idichandy 2003) یا استفاده از میراگرهای فعال (Lee, Wong and Lee 2006) و غیر فعال (Patil and Jangid 2005)، جهت نیل به اهداف موصوفه، رواج یافته است.

در تحقیق حاضر با استناد به روش به کار رفته در کاهش حرکات جانبی ریزرها به هنگام حفاری، طرح جدید و ایده آلی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این طرح سکویی ثابت که دارای چهار پایه اصلی می باشد و مهار بندهای آن در قسمت تحتانی حذف گردیده مورد بررسی قرار گرفته و با افزودن مخازن ثابت و متحرک، به همراه یک قاب افزوده، موجبات کاهش حرکات جانبی سکو فراهم گشته است. برای درک بهتری از مکانیزم معرفی شده، تصویر فرضی سکو در شکل ۱-۱، آمده است.



شکل ۱-۱: شکل شماتیک مدل مورد بررسی

در ابتدا جهت مدل سازی و تحلیل، از نرم افزارهایی چون SAP و SACS استفاده شد، ولیکن به علت ضعف برنامه های مذکور در مدل سازی این سیستم و عدم امکان دستیابی به هسته مرکزی نرم افزارها، برنامه ای در محیط MATLAB، جهت مدل سازی توسعه داده شد. در واقع برای حل چنین مسئله ای، برنامه ای نیاز است که توانایی های زیر را نیز دارا باشد:

- محاسبه نیروی موج وارد بر سازه با در نظر گرفتن ترکیبی از فرمولاسیون موریسون و فرود کریلف.

- در نظر گرفتن اثرات اندرکنشی موج و سازه
  - روش حل غیر خطی سیستم با منظور داشتن اثر تغییر شکلهای بزرگ.
- برنامه توسعه داده شده قادر به در نظر گرفتن موضوعات فوق در حل مسئله است، لذا پس از تحلیل نتایج در انتها آمده است.

## ۲- مبانی زیربنایی

این بخش، به اشاره مختصری در مورد مبانی‌های مورد نیاز، جهت برنامه نویسی اختصاص یافته است که به دو دسته کلی قابل تقسیم اند. در ادامه شرح مختصری از آنها ارائه شده است:

۱. مبانی هیدرودینامیکی
۲. مبانی سازه‌ای

### مبانی هیدرودینامیکی

مبانی هیدرودینامیکی، خود به دو زیر گروه کوچکتر قابل تقسیم اند:

- تئوری‌های مربوط به محاسبه پارامترهای موج
- تئوری‌های مربوط به محاسبه نیروهای موج وارد بر سازه

در محاسبه پارامترهای موج، تئوری استوکس مرتبه ۵ به عنوان روش برتر انتخاب شده است که برای آب‌های عمیق مناسب تر از سایر تئوری‌ها می‌باشد.

در این روش طول موج از دو رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$\frac{1}{\kappa d} [\lambda + B_{33}\lambda^3 + (B_{35} + B_{55})\lambda^5] = \frac{H}{2d} \quad (1)$$

$$kd \tanh(kd) [1 + C_1\lambda^2 + C_2\lambda^4] = 4\pi^2 \frac{d}{gT^2} \quad (2)$$

در روابط فوق،  $g$  شتاب ثقل و  $T$  و  $H$  به ترتیب پریود و ارتفاع موج می‌باشند. پارامترهای  $k$  و  $\lambda$  مجهولات رابطه می‌باشند که با سعی و خطا تعیین می‌گردند. سایر نمادها، ضرایبی اند که وابسته به ترم  $kd$  می‌باشند. با محاسبه مقدار  $k$ ، طول موج بدست می‌آید. سایر پارامترهای موج مانند: سرعت ذرات، شتاب ذرات، فشارهای استاتیکی و دینامیکی و... نیز، با کمک فرمول‌های مختص روش، قابل تعیین می‌باشند (Sarpkaya and Isacson 1981).

در محاسبه نیروی موج وارد بر اعضا، دو روش استفاده شده است:

برای اعضای لاغر فرمول موریسون به کار گرفته شده، بدین ترتیب که با محاسبه سرعت ذرات آب و تبدیل آن به سرعت عمود بر المان و نهایتاً ضرب آن در سطح تصویر، و با بدست آوردن شتاب ذرات آب در مرکز هر المان و ضرب آن در حجم المان، به ترتیب نیروی درگ و اینرسی عمود بر المان محاسبه شده است.

برای مخازن (با توجه به آن که نسبت قطر مخزن به طول موج کمتر از ۱ است) از تئوری فشار بهره گرفته شده، به نحوی که فشار کلی موجود در مرکز هر مش، محاسبه شده و با ضرب آن در مساحت مش، نیروی عمود وارد بر هر مش، حاصل گشته است. این نیرو به واقع ترم اینرسی رابطه موریسون می‌باشد، لذا ترم درگ نیز به‌طور جداگانه از رابطه مورد محاسبه قرار گرفته است. شایان ذکر است که تأثیر این ترم، با حجیم شدن مخزن، نسبت به ترم اینرسی، کاهش می‌یابد (Sorensen 1993).

### مبانی سازه‌ای

مبانی سازه‌ای، به دو بخش تقسیم شده‌اند:

۱. مشخصات سازه
۲. روش حل (آنالیز)

### مشخصات سازه

در برنامه توسعه داده شده، المان‌های سازه‌ای، به شکل المان‌های تیر با ۱۲ درجه آزادی منظور شده‌اند. ماتریس‌های سختی و جرم برای هر المان با توجه به توابع شکل (Bathe 2005) محاسبه شده و با توجه به محورهای مختصات محلی هر عضو و با محاسبه ماتریس‌های انتقال (رضایی پزند ۱۳۷۴)، به سیستم مختصات کلی منتقل شده و در نهایت ماتریس‌های مشخصات سازه‌ای تشکیل شده‌اند. لازم به ذکر است که ماتریس سختی اعضایی که بعضی از درجات آزادی ابتدا یا انتهای آن‌ها آزاد شده، متفاوت خواهد بود، لذا

ماتریس سختی این اعضا با کمک روابط شیب-افت، به شکلی جداگانه محاسبه شده و در محاسبات وارد شده اند (کاوه ۱۳۷۹). ماتریس میرایی به صورت ترکیب خطی از ماتریس‌های سختی و جرم (فرض رایلی) (Clough and Penzien 1982) در نظر گرفته شده است.

ماتریس نیرویی نیز ابتدا در مختصات محلی عضو حساب شده و سپس به مختصات کلی انتقال می‌یابد. لازم به ذکر است که ماتریس نیرویی در هر گام زمانی، با توجه به پاسخ‌های سیستم در گام زمانی پیشین، محاسبه شده است. در آنالیزهای تغییر شکل‌های بزرگ و  $P-\Delta$ ، ماتریس سختی نیز، با توجه به نتایج پاسخ در گام قبل، اصلاح شده اند.

### روش حل

دو نوع آنالیز برای سیستم مورد بررسی امکان پذیر است:

- آنالیز دینامیکی
- آنالیز استاتیکی

در آنالیز دینامیکی، مودهای سیستم از دو روش سعی و خطا و تکرار ماتریسی بدست آمدند، که پاسخ‌هایی کاملاً مشابه حاصل شده است- این مطلب حاکی از عملکرد صحیح برنامه می‌باشد- ولی در نهایت روش دوم به عنوان روش کارآمدتر برگزیده شده است. آنالیز دینامیکی با هر دو روش ترکیب مودی و انتگرال گیری مستقیم (شتاب متوسط) انجام شده است، ولی روش دوم به عنوان روش برتر برگزیده شده است. در این روش ماتریس جرم و سختی و میرایی محاسبه شده و در خلال آنالیز ثابت منظور می‌گردند تا آنالیز کامل گردد (Clough and Penzien 1982).

با توجه به آنکه، سیستم فوق شامل مخزنی است که آزادی حرکت جانبی دارد و نتایج تحلیل دینامیکی جابجایی‌های بزرگی را نشان داده است، لذا انجام آنالیز غیرخطی هندسی با منظور داشتن اثر تغییر شکل‌های بزرگ و  $P-\Delta$ ، اجتناب ناپذیر می‌باشد. در نظر گرفتن این اثرات، در آنالیز دینامیکی سیستم، از پیچیدگی خاصی برخوردار می‌باشد، لذا برای بدست آوردن عملکرد سیستم و پاسخ‌های لازم، از آنالیز استاتیکی استفاده شده است. لازم به ذکر است که برای اطمینان از جدا بودن ارتعاش سکو از مخزن، مودهای ارتعاشی حاصل از آنالیز دینامیکی مورد ارزیابی قرار گرفته اند، که صحت این ادعا را اثبات کرده اند. آنالیز استاتیکی این سیستم به صورت نموی و گام به گام صورت گرفته به نحوی که در ابتدای هر گام زمانی با وارون کردن ماتریس سختی مربوط به ابتدای گام و ضرب آن در ماتریس نیرویی، پاسخ سیستم حاصل شده است (Bathe 2005). برای در نظر گرفتن اثر تغییر شکل‌های بزرگ، از روش نیوتن-رافسون استفاده شده که شرح مختصری از آن در ادامه آمده است. در این روش جابجایی نقاط در لحظه  $t + \Delta t$  نسبت به لحظه  $t$  محاسبه می‌شود:

$${}^{t+\Delta t}K^{(i-1)} \times \Delta U^{(i)} = {}^{t+\Delta t}R - {}^{t+\Delta t}F^{(i-1)} \quad (3)$$

$${}^{t+\Delta t}U^{(i)} = {}^{t+\Delta t}U^{(i-1)} - \Delta U^{(i)} \quad (4)$$

در رابطه فوق،  $\Delta U^{(i)}$  بیانگر پاسخ نموی سیستم در سعی  $i$  ام نسبت به سعی  $i-1$  ام در گام زمانی  $t$  تا  $t + \Delta t$  می‌باشد. به همین ترتیب، ماتریس سختی و ماتریس نیروهای نقطه‌ای در سعی  $i-1$  در لحظه  $t + \Delta t$  می‌باشند. ماتریس بارگذاری در لحظه  $t + \Delta t$  فرض می‌شود. پس با معلوم بودن شرایط اولیه و با تکرار پاسخ سیستم در انتهای گام قابل حصول است.

روش تکرار، تا رسیدن به همگرایی دلخواه ادامه می‌یابد، در واقع منظور از همگرایی، کوچک شدن سمت راست معادله (۳) می‌باشد. این ترم به عنوان نیروی بالانس نشده شناخته می‌شود. برای شروع سعی صفرم فرضیات زیر انجام می‌گیرد:

$${}^{t+\Delta t}U^{(0)} = {}^0U \quad (5)$$

$${}^{t+\Delta t}K^{(0)} = {}^0K \quad (6)$$

$${}^{t+\Delta t}F^{(0)} = {}^0F \quad (7)$$

با کمک فرضیات فوق و حل معادله (۳) ، جابجایی نموی سیستم حاصل می گردد. بدین ترتیب می توان با توجه به هندسه جدید و نیروهای محوری اعضا، ماتریس سختی جدید و به تبع آن نیروهای نقطه‌ای را حساب کرد و حل را تا رسیدن به همگرایی ادامه داد. رابطه فوق را می توان بدین شکل تفسیر کرد که: با بوجود آمدن تغییر شکل‌های بزرگ در سیستم، شکل هندسی و در نتیجه ماتریس سختی کاملاً عوض می‌شوند، همچنین نیروهای داخلی ایجاد شده در گام قبل نیز ، روی پاسخ سیستم تأثیر خواهند گذاشت (Bathe 2005).

در نهایت آنالیز استاتیکی با در نظر گرفتن اثر تغییر شکل‌های بزرگ و  $P-\Delta$  ، برای تحلیل انتخاب شده است. شایان ذکر است که تحلیل ، بدون در نظر گرفتن اثرات تغییر شکل‌های بزرگ، منتهی به جواب‌های کاملاً نادرست خواهد شد.

### ۳- برنامه نویسی

همان گونه که در بخش‌های قبل گفته شد، با توجه به ضعف نرم‌افزارهای موجود، برنامه‌ای در محیط MATLAB توسعه داده شد که قابلیت آنالیز سیستم ترکیبی را دارا باشد. برای درک بیشتر از عملکرد بکار رفته در برنامه نویسی و صحت نتایج آن توضیحات مختصری در این بخش ارائه شده است.

#### داده‌های ورودی و خروجی

این قسمت شامل اطلاعاتی است که برای شروع آنالیز استفاده می شوند، مانند: اطلاعات هیدرودینامیکی (ارتفاع و پریود موج، عمق آب، ضرایب درگ و اینرسی)، اطلاعات مربوط به اندرکنش آب و سازه (مش بندی مخازن، تعداد المان‌های هیدرودینامیکی برای اعضا)، اطلاعات نیرویی (بارهای منفرد دینامیکی یا استاتیکی) اطلاعات سازه‌ای (ماتریس‌های تعریف المان‌های سازه‌ای و فنرها، جرم نقطه‌ای، آزاد سازی درجات آزادی، شرایط مرزی) و اطلاعات مربوط به آنالیز (درصد میرایی، تعداد مودهای خواسته شده، روش حل معادلات، اثرات  $P-\Delta$  و تغییر شکل‌های بزرگ، شرایط اولیه، زمان شروع و پایان، گام‌های زمانی و...).

در نهایت بعد از انجام آنالیز، نتایج خروجی در ماتریس‌های مربوطه ثبت می شوند. پاسخ سیستم که شامل جابجایی ، سرعت و شتاب هر یک از درجات آزادی سازه، در هر گام زمانی می‌باشد، در ماتریسی سه بعدی که شامل ۴ ستون و  $\frac{End-Start}{\Delta t}$  سطر (به تعداد گام‌های زمانی) است و بعد سوم آن به تعداد درجات آزادی اختصاص یافته، ذخیره می‌گردند.

سایر نتایج مانند، شکل مودها، نیروی اعضا و... نیز در حافظه ثبت خواهند شد. نتایج علاوه بر شکل ماتریسی، به شکل فیلم، عکس و نمودار نیز قابل مشاهده اند.

#### صحت سنجی

برای حصول اطمینان از عملکرد صحیح برنامه توسعه داده شده ، مدل ساده‌ای که قابل تحلیل با نرم افزارهای در دسترس می-باشد، ساخته شد. نتایج خروجی حاصل از نرم افزار با نتایج خروجی حاصل از برنامه مقایسه شده تا اطمینان از صحت کارکرد برنامه حاصل گردد. با توجه به اختلاف اندک بین نتایج برنامه و نرم افزار، صحت برنامه نوشته شده، آشکار شده است.

برای صحت سنجی نتایج، از دو نرم افزار SAP 9.1 و SACS 5.2 استفاده شده و با مقایسه جابجایی چهار نقطه از مدل انجام شده است. چهار نقطه مورد نظر در گوشه های سازه و در تراز +۱ در نظر گرفته شده اند.

سه حالت بار گذاری یعنی بارگذاری استاتیکی ، بارگذاری دینامیکی و بارگذاری موج مورد مقایسه قرار گرفته اند برای درک بیشتر از مدل مورد مقایسه توضیحاتی راجع به آن ارائه شده است:

مدل یک سکوی ۴ پایه می باشد که قطر پایه های اصلی آن ۱٫۵ متر و ضخامت جداره لوله تشکیل دهنده ۲ سانتیمتر است. تمامی مهاربندها دارای قطر ۰٫۵ متر و ضخامت ۲ سانتیمتر می باشند. از مدل سازی شمع درون اعضای جکت صرف نظر شده و در انتها طولی برابر ۶ متر به پایه‌ها اضافه شده و سیستم را به کف به شکل گیردار متصل کرده است. تراز بستر در ۳۰- متر قرار گرفته و انتهای شمع در ۳۶- متر واقع شده است. قطر شمع برابر قطر پایه های اصلی فرض شده است. عرشه به عنوان یک تراز در ۱۱+ قرار گرفته و چهار جرم نقطه ای به مقدار ۲۰۰ تن در گوشه های عرشه و روی پایه ها قرار داده شده است. سیستم مهاربندی در دو جهت متفاوت است تا این اختلاف نیز در سختی جکت بررسی گردد.

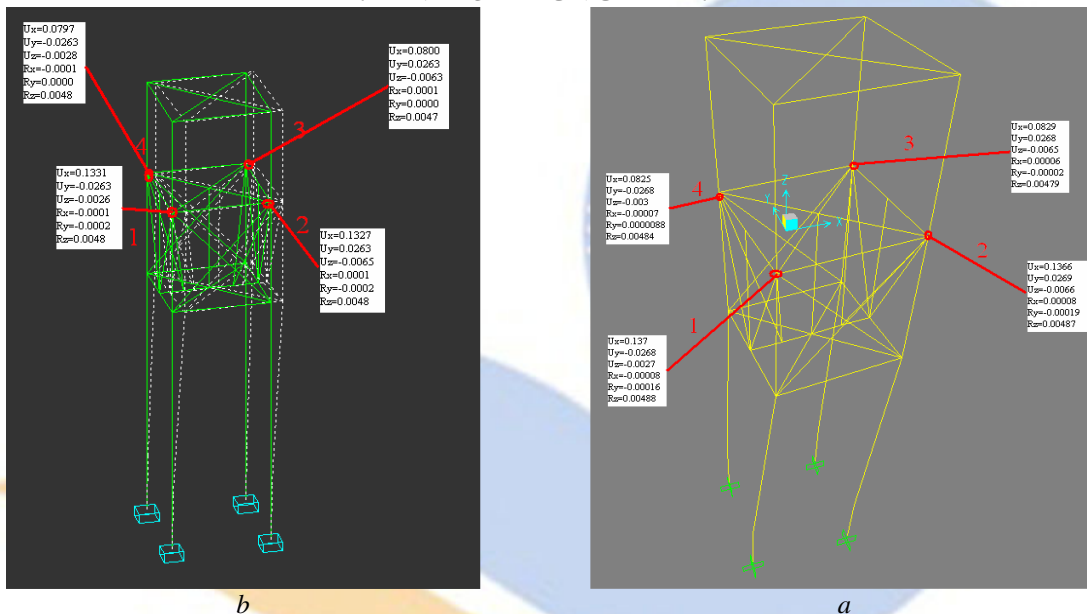


### بار گذاری استاتیکی

برای بررسی پاسخ های حاصل از نرم افزار SAP برای مقایسه استفاده شده و بار استاتیکی ۱۰۰ تن در نقطه ای به مختصات (5,-5,+1) و در جهت x به سازه سکو اعمال شده است. با انجام آنالیز توسط برنامه و نرم افزار، میزان جابه جایی نقاط مورد بررسی حاصل شده است. نتایج خروجی از نرم افزار و برنامه آورده در شکل ۳-۱ شده است. برای مقایسه دقیقتر جابجایی های چهارنقطه مورد نظر، در راستای نیرو، بر حسب متر، به همراه درصد خطا در جدول ۳-۱ آورده شده است. همان گونه که از جدول پیداست حداکثر خطا برابر ۳,۵٪ می باشد که قابل قبول است.

شماره نقطه	نتایج برنامه	نتایج SAP	اختلاف	درصد خطا %
1	0.1331	0.137	0.0039	2.8
2	0.1327	0.1366	0.0039	2.8
3	0.08	0.0829	0.0029	3.5
4	0.0797	0.0825	0.0028	3.4

جدول ۳-۱: نتایج پاسخ استاتیکی در جهت نیرو



شکل ۳-۱: نتایج پاسخ استاتیکی: a. نرم افزار SAP، b. برنامه

### بار گذاری دینامیکی

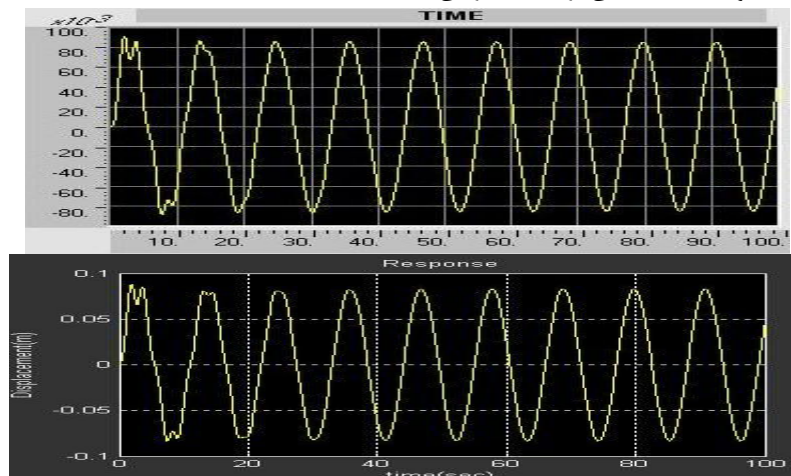
برای بررسی پاسخ های حاصل از بارگذاری دینامیکی، بار ۱۰۰ تن در نقطه ای به مختصات (5,5,+1) و در جهت x به سازه سکو اعمال شده است. این بار یک بار سینوسی با دامنه ۱ و پریود ۱۱ ثانیه می باشد. در این بخش نیز از نرم افزار SAP برای مقایسه استفاده شده است.

برای صحت سنجی ابتدا شکل و پریود مودهای حاصل از نرم افزار با شکل و پریود مودهای حاصل از برنامه مقایسه شدند که از تطابق کاملی برخوردار بودند. سپس پریودهای حاصل مورد مقایسه قرار گرفتند که نتایج مربوط به ۳ مود اصلی ارتعاش در جدول ۳-۲ آورده شده اند. جدول ۳-۲ نیز حاکی از خطای ۲,۲٪ در پریود مودهای حاصله می باشد، که قابل قبول است.

شماره مود	نتایج برنامه	نتایج SAP	اختلاف	خطا %
1	2.2584	2.30337	0.04497	1.95
2	2.1937	2.23629	0.04259	1.90
3	1.542	1.57685	0.03485	2.21

جدول ۳-۲: پریودهای حاصله برای مدل صحت سنج

در مرحله بعدی نتایج پاسخ چهار نقطه مورد نظر بر حسب تاریخچه زمانی با هم مقایسه شدند. نتایج برای نقطه ۱ به عنوان نمونه در نمودار ۱-۳ آورده شده است. نمودار بالایی مربوط به نتایج حاصل از نرم افزار SAP و نمودار پایینی مربوط به نتایج خروجی از برنامه می باشد. توجه شود که در نمودار ها جابه جایی بر حسب متر می باشد.



نمودار ۱-۳: پاسخ نقطه ۱ (متر)، بر حسب زمان (ثانیه)

با دقت در نمودار پاسخ، تطابق بسیار خوب نتایج، مشخص است.

### بار گذاری موج

برای بررسی صحت عمل کرد برنامه نوشته شده در بارگذاری موج، از نرم افزار SACS 5.2 استفاده شده است. برای این منظور موجی با ارتفاع ۱۱ متر و پریود ۱۰ ثانیه به سازه اعمال شده است.

پارامتر های موج در هر دو سیستم با تئوری موج استوکس مرتبه پنج محاسبه شدند:

طول موج از نرم افزار SACS: ۱۴۶,۳۲۳ متر

طول موج از برنامه: ۱۴۵,۸۱۳۴ متر

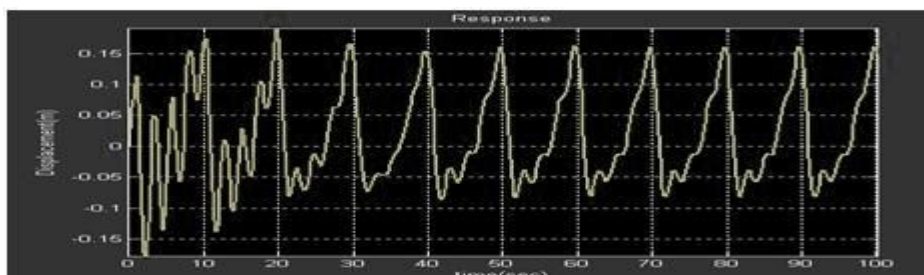
میزان اختلاف: ۰,۵۰۹۶ متر

درصد خطا: ۰,۳۵٪

در بررسی نیروی وارد بر المان ها در هر دو روش از رابطه موريسون استفاده شده و فرض شده که ضریب درگ عمودی برابر ۰,۶۵ و ضریب درگ مماسی برابر ۰ و همچنین ضریب اینرسی عمودی برابر ۱,۶ و ضریب اینرسی مماسی برابر ۰ باشد. در محاسبات المان ها به ده قسمت تقسیم شدند تا مدل هیدرودینامیکی حاصل گردد.

حداکثر برش پایه محاسبه شده از نرم افزار SACS برابر ۱۴۲۰,۸ کیلونیوتن و در نقطه ۳۴۰ درجه یا به عبارتی بعد از عبور ۱۳۸,۲ متر از طول موج، حاصل شده است، این در حالی است که حداکثر این نیرو و از برنامه ۱۴۶۱ کیلونیوتن برآورد گشته است که اختلاف بین دو مقدار برابر ۴۰,۷٪ و لذا خطایی در حدود ۲,۸٪ وارد محاسبات شده است، که پذیرفتنی است.

حداکثر پاسخ سیستم حاصل از هر دو برنامه، که با روش شبه استاتیکی بدست آمده اند، برابر ۱۳,۵ سانتیمتر (SACS) و ۱۴ سانتیمتر (برنامه) تخمین زده شد. برای درک بهتر از پاسخ دینامیکی سکوی مورد بررسی، نمودار پاسخ سیستم در ۱۰۰ ثانیه اول، در نمودار ۲-۳ برای نقاط ۱ تا ۴، آورده شده است، باید توجه کرد که پاسخ هر چهار نقطه کاملا مشابه می باشند که منطقی به نظر می رسد زیرا هر چهار نقطه در یک تراز قرار دارند.



نمودار ۲-۳: پاسخ دینامیکی چهار نقطه ۱، ۲، ۳ و ۴ (متر)، بر حسب زمان (ثانیه)

حداکثر پاسخ حالت پایای سیستم بسیار نزدیک به پاسخ شبه استاتیکی نرم افزار SACS می باشد، که این خود گویای صحت کارکرد برنامه نوشته شده می باشد.

#### ۴- مدلسازی

در یک تقسیم بندی کلی، دو نوع مدل برای آنالیز به کار گرفته شده است:

۱. مدلی که جهت محاسبه نیروی موج ساخته شده که شامل المان های تیر سه بعدی و المان های صفحه ای دو بعدی می باشد.
۲. مدل سازه ای که در آن تمام المان ها به صورت المان های تیر دو نقطه ای با ۱۲ درجه آزادی منظور شده اند.

#### مدل سازه ای

سکوی مورد بررسی، یک سکوی فرضی ۴ پایه منظور گشته که برای بررسی عملکرد سیستم مذکور از مدل سازی های پیچیده سازه ای صرف نظر شده است.

دستگاه مختصات کلی سیستم، در تراز منطبق بر سطح آب و در مرکز سکو قرار گرفته به نحوی که جهت  $+X$  آن، در جهت موج قرار گیرد و محور  $+Z$  نیز به سمت بالا باشد. بدیهی است که جهت  $+Y$ ، از قانون دست راست، عمود بر صفحه و به سمت داخل بدست می آید.

دستگاه مختصات محلی نیز برای هر عضو به گونه ای است که جهت  $+x$  در راستای عضو و از سمت ابتدا به انتهای آن باشد. از آنجا که اعضای استفاده شده تماماً لوله ای می باشند، لذا دو محور دیگر اهمیت چندانی ندارند و توسط برنامه انتخاب می شوند. سکو دارای ۷ تراز اصلی می باشد، که به ترتیب در ارتفاع های  $-۶۶$ ،  $-۶۰$ ،  $-۴۰$ ،  $-۲۰$ ،  $-۱۰$ ،  $+۱$  و  $+۱۱$  قرار گرفته اند. سکوی مذکور با طول و عرض ۲۰ متر فرض شده که در آبی به عمق ۶۰ متر واقع شده است. در مدل سازی، از اثرات اندر کنشی شمع و خاک صرف نظر شده لذا اتصال سکو به بستر در تراز  $-۶۶$ ، با در نظر گرفتن طولی از شمع به صورت گیر دار کامل منظور شده است.

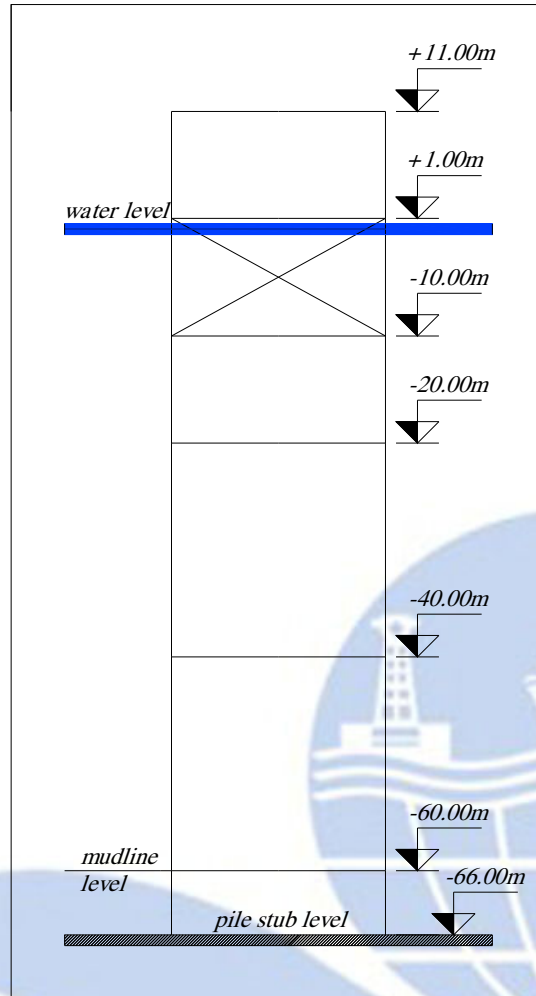
در زیر تراز  $-۱۰$  کلیه مهاربندی ها حذف گشته و فقط در سه تراز  $-۶۰$ ،  $-۴۰$  و  $-۲۰$  از مهاربند های افقی که به صورت کمر بند اعضا را به هم متصل کردند، استفاده شده است. بین تراز های  $-۱۰$  و  $+۱$ ، سکو با مهاربندی کافی مدل شده و با توجه به آنکه نیروی قائم وارده از سوی مخزن متحرک به سکو زیاد می باشد، تعدادی مهار اضافی نیز در نقاط اتصال به سیستم اضافه شده است تا مکانیزم انتقال نیرو بهبود یابد. عرشه به صورت یک تراز و در ارتفاع  $+۱۱$  واقع شده و اتصال آن به جکت توسط چهار پایه اصلی صورت گرفته است.

در جهت ساده سازی مدل، شمع درون پایه های اصلی مدل نشده و شمع های موجود در زیر تراز  $-۶۰$ ، عضوی برابر با پایه های سکو فرض شده اند. در شکل ۴-۱، تصویر یکی از قاب های سکو در راستای موج (X) آورده شده است.

کلیه اتصالات بین اعضای سازه ای گیردار کامل فرض شده و از اثرات تغییر قطر المان در نقاط اتصال، صرف نظر شده است. اعضای به کار رفته، تماماً لوله ای بوده و دارای ضخامت ۲ سانتیمتر می باشند که برای پایه های اصلی، قطر اعضا ۱٫۵ متر و برای مهاربندی ها ۱ متر انتخاب شده اند. طول اعضا بسته به مکان قرار گیری متفاوت می باشد و هر عضو بین دو اتصال، یک المان منظور شده ولی برای پایه های اصلی که دارای طول زیادی اند، برای بالا بردن دقت، هر عضو به ۱۰ المان تقسیم شده است.

در مدل سازی بارهای قائم عرشه، از ۴ جرم ۲۰۰ تن استفاده شده که در بالای پایه های اصلی (تراز  $+۱۱$ ) اعمال می شوند. یک مخزن الحاقی برای این سیستم در نظر گرفته شده است که دارای قطر ۱۰ متر و ارتفاع ۵ متر و از جنس فولاد با ضخامت ورق ۵ سانتیمتر می باشد. باید توجه داشت که در تحقیق حاضر، فقط جرم مخزن مورد نیاز است و مخزن صلب فرض می شود، لذا تغییر شکلی در پوسته مخزن وجود ندارد. در واقع در مدل سازه ای مخزن به صورت یک عضو لوله ای با ضخامت ۱۰ سانتیمتر و قطر ۱۰ متر مدل شده تا اثر جرم آن در مدل به درستی وارد گردد. اگر جنس مخزن از مصالح با دوام و سبک دیگری اختیار گردد، عملکرد سیستم بهبود خواهد یافت (Dawson and Gibson 2007).





شکل ۴-۱: یکی از قاب‌های سکو در جهت موج

جنس کلیه اعضا فولاد، با چگالی ۷۸۴۹ کیلوگرم بر متر مکعب و با مدول الاستیسیته  $2 \times 10^{11}$  نیوتن بر متر مربع منظور شده است.

برای جدا سازی ارتعاش مخزن از سکو، همچنین جلوگیری از انتقال بار جانبی از سوی مخزن متحرک به سکو، یک قاب اضافی در نظر گرفته شده که شامل دو عضو قائم مشابه با پایه‌های اصلی می‌باشد، این دو عضو در تراز ۳۰- با یک عضو افقی به یکدیگر بسته شده اند. در واقعیت می‌توان به جای دو عضو الحاقی از کابل‌های کاتناری استفاده کرد، همچنین اگر عمق قرار گیری مخزن زیاد باشد، به نحوی که نیروی موج وارد بر آن حداقل گردد، می‌توان مخزن را مستقیماً به اعضای سکو متصل کرد. مخزن در دو حالت ثابت و متحرک مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت مخزن متحرک، اتصال مخزن به سکو توسط المان‌هایی که از برش آزاد شده‌اند، فراهم گشته است. برای حفظ پایداری مخزن، از دو فنر خطی، که در طرفین مخزن قرار می‌گیرند، استفاده شده تا اتصال مخزن به قاب الحاقی فراهم گردد.

درصد میرایی سازه‌ای در مقابل موج ۳٪ در مودهای اول و پنجم فرض شده است. باید توجه کرد که بین این دو مود، بیش از ۹۰٪ مشارکت جرمی وجود دارد. البته از ماتریس‌های جرم و میرایی فقط در بدست آوردن مودهای ارتعاشی استفاده شده و آنالیز اصلی به صورت استاتیکی می‌باشد.

### مدل هیدرودینامیکی

بعد از ساخت مدل سازه‌ای و تعیین المان بندی، مدل هیدرو دینامیکی ساخته شده است. در این مدل از المان بندی قبل استفاده شده ولی برای برآورد هرچه دقیقتر نیروی موج وارد بر المان‌ها، المان‌های سازه‌ای خود به ۵ تکه المان هیدرو دینامیکی تقسیم شده اند، از سویی دیگر مخازن مش بندی شده تا بتوان نیروی موج وارد بر آن‌ها را پیدا کرد.

آب تراکم ناپذیر با چگالی ۱۰۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب منظور شده است. عمق آب ۶۰ متر، ارتفاع موج ۱۱ متر و پریود آن ۱۰ ثانیه فرض شده است، اعضای لوله‌ای صاف فرض شده‌اند و ضریب درگ و اینرسی قائم به ترتیب ۱,۰۵ و ۱,۶ و مماسی برابر ۰ فرض شده است.

### ۵- آنالیز سکوی مورد مطالعه

با انجام آنالیز دینامیکی، پریود مودهای ارتعاش حاصله برای سکوی دارای مخزن متحرک مورد بررسی قرار گرفتند، که نتایج در جدول ۱-۵ آمده است، مود اول مربوط به ارتعاش مخزن و قاب الحاقی در راستای موج، مود دوم مربوط به ارتعاش سکو در راستای عمود بر موج، مود سوم بیانگر ارتعاش سکو در راستای موج، مود چهارم مربوط به ارتعاش پیچشی سکو و مود پنجم نشان دهنده ارتعاش قاب در جهت عمود بر موج می‌باشند. در این بین مودهای اول، سوم و چهارم که در راستای موج عمل می‌کنند، از اهمیت بیشتری برخوردارند.

برای سیستم مذکور، آنالیز دینامیکی و استاتیکی انجام شده ولی در آنالیز دینامیکی اثرات تغییر شکل‌های بزرگ دیده نشده، که باعث تولید نتایج نادرست شده است، این مطلب گویای اهمیت این موضوع در تحلیل می‌باشد. لازم به ذکر است که از آوردن نتایج این نوع آنالیز و بررسی علت ایجاد نتایج نادرست، در تحقیق حاضر صرف نظر شده است.

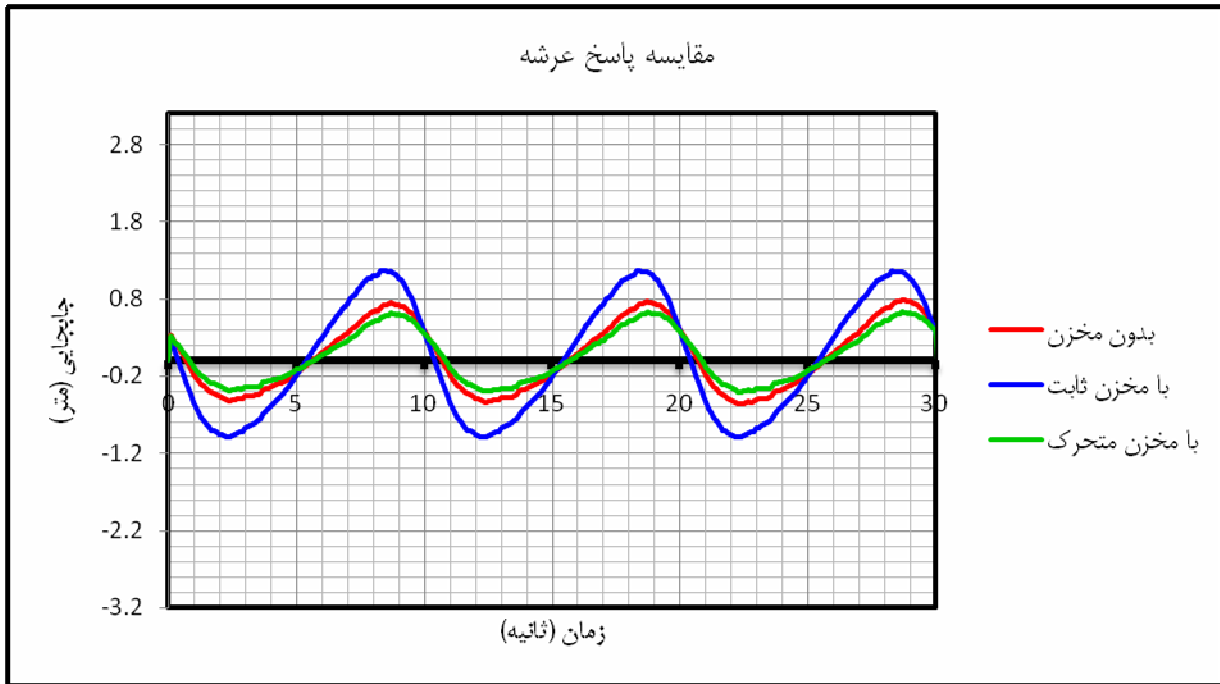
پریود (ثانیه)	شماره مود
5.4895	1
5.3564	2
4.7754	3
3.4030	4
3.3477	5

جدول ۱-۵: پریودهای برای مدل ترکیبی

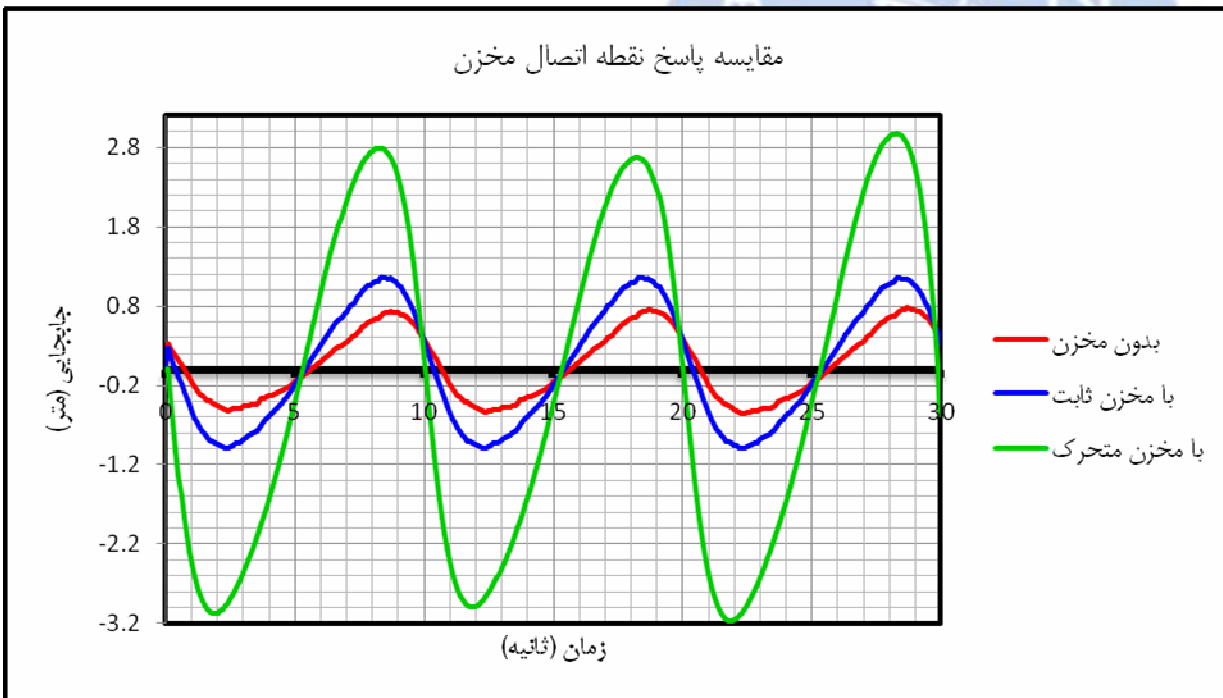
شایان ذکر است که آنالیز دینامیکی سیستم مذکور با فرض تغییر شکل‌های بزرگ میسر است، لیکن هدف از این مقاله، بررسی عملکرد صحیح سیستم ترکیبی می‌باشد، لذا آنالیز استاتیکی کفایت می‌کند. آنالیز استاتیکی در سه حالت انجام شده است:

۱. سکوی فاقد مخزن
۲. سکوی دارای مخزن ثابت
۳. سکوی دارای مخزن متحرک

پاسخ عرشه سکو و مکان قرارگیری مخزن، در هر یک از این حالات در ۳۰ ثانیه اول، از نتایج استخراج شده است و در نمودار ۱-۵ و نمودار ۲-۵ آمده است.



نمودار ۵-۱: پاسخ عرشه سکو



نمودار ۵-۲: پاسخ مکان قرار گیری مخزن

با دقت در نمودارها مشخص است که با اتصال مخزن ثابت به سکو دامنه پاسخ عرشه افزایش یافته است که علت این امر، افزایش نیروی جانبی ناشی از موج وارد بر سیستم است. نکته جالب کاهش دامنه پاسخ به هنگام استفاده از مخزن متحرک می باشد، به واقع با استفاده از مخزن متحرک، حداکثر دامنه ارتعاش سکوی فاقد مخزن ۲۲٪ و سکوی دارای مخزن ثابت ۴۵٪ قابل کاهش است. علت این امر نحوه انتقال نیروی شناوری مخزن به سکو می باشد.

با توجه به اتصال بدون برشی مخزن به سکو، فقط نیروی شناوری مخزن توسط عملکرد محوری کنترل شده اعضا به سکو انتقال می یابد، انتقال این نیرو در سطح افق، تولید یک لنگر بازگرداننده می کند که باعث کاهش جابجایی های جانبی سکو می گردد. این لنگر از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$M = F_T \times dis$$

(۸)

- در رابطه فوق  $F_T$  بیانگر مؤلف قائم و  $M$  نشان دهنده لنگر ایجاد شده می‌باشند.  $dis$  بیانگر مکان قرار گیری مخزن نسبت به مختصص صفر است. مشخص است که با افزایش میزان  $dis$ ، مقدار لنگر افزایش می‌یابد. پس وجود مخزن متحرک دو اثر عمده دارد:
۱. باعث باز توزیع بار محوری در پایه‌های اصلی می‌گردد، لذا ماتریس سختی هندسی تغییر می‌کند.
  ۲. ایجاد نیروی بازگرداننده خارجی می‌کند.

در اینجا ذکر چند نکته ضرورت دارد:

- اگر میزان جابجایی مخزن زیاد انتخاب گردد، این احتمال وجود دارد که مخزن از کنترل خارج شده و دیگر به مکان اولیه باز نگردد، این مشکل به هنگام استفاده از اتصال پاندولی تشدید می‌شود، لذا اهمیت سختی فنرهای اتصال قابل بررسی است.
- باید فاز پاسخ مخزن و سکو یکی باشد تا خطر ایجاد نیرویی تشدید کننده از سوی مخزن به سکو وجود نداشته باشد، این خطر به هنگام ترکیب جریان‌های دریایی با موج وجود دارد.
- قاب الحاقی باید تا حد امکان فقط نیروی جانبی از فنرها دریافت کند، تا شناوری مخزن هدر نرود. سازه این قاب اهمیتی ندارد و فقط باید پایدار باشد.

## ۶- نتیجه گیری

در این تحقیق، سیستم ترکیبی سکو و مخزن مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از مخازن ثابت در سکوهایی برجی در اعماق زیاد، برای کاهش بار قائم انتقالی از قسمت‌های فوقانی و لذا جلوگیری از کماتش پایه‌های اصلی سکو، از مسائلی است که در گذشته مورد بررسی قرار گرفته است، این در حالی است که امروزه انواع کنترل‌های فعال در سکوهایی دریایی مورد مطالعه اند، سیستم ارائه شده، به واقع شبیه سیستم‌های کنترل فعال است، ولی این کنترل توسط نیروهای طبیعت انجام می‌گیرد، یعنی مخزن در جهتی حرکت می‌کند که طبیعت به آن القاء می‌کند ولی اثر آن روی سکو خلاف خواست نیروهای طبیعی است. هرچه نیروی طبیعی بزرگتر گردد، اثر لنگر مخزن روی سکو زیادتر می‌شود، پس مقاومت سیستم نیز افزایش می‌یابد. نتایج حاصله، عملکرد صحیح سیستم ترکیبی را اثبات می‌کنند، از این رو به نظر می‌رسد، ایده مطرح شده می‌تواند در بهبود پاسخ سکوهایی مستقر در آب‌های عمیق مؤثرتر باشد، لذا بررسی بیشتر و انجام آنالیزهای دقیقتر ضرورت دارد.

مشخص است که با ایجاد جابجایی‌های بیشتر یا افزایش حجم مخزن، می‌توان نیروی جانبی بزرگتری را به سیستم اعمال کرد، پس مسائلی مانند، سختی فنرها، حجم مخزن و عمق قرار گیری آن، از دسته موضوعاتی هستند که روی عملکرد سیستم تأثیر می‌گذارد. از سویی به نظر می‌رسد که با داشتن ترکیبی از سیستم موصوفه با یک کنترل فعال و از پیش تعیین شده نتایج بهتری حاصل شود.

استفاده از این سیستم در سکوهایی آبهای عمیق مانند سکوهایی پایه کششی نیز میسر است و به نظر می‌رسد که بتواند بیش از هر نوع کنترل دیگری مناسب واقع گردد.

## ۷- مراجع

- Bathe, Klaus-jurgen. *Finite Element Procedures*. Prentice Hall of India, 2005.
- Beverlley, F, David Ronalds, J Trench, and Pinna. Rodney. "On the relationship between platform topology, topside weight and structural reliability under storm overload." (Journal of Constructional Steel Research) 63 (2007).
- Bhattacharyya, S, K, S Sreekumar, and V, G. Idichandy. "Coupled dynamics of Sea star mini tension leg platform." (Ocean Engineering) 30 (2003).
- Clough, Ray W, and Joseph Penzien. *Dynamics of Structures*. McGRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY, 1982.
- Dawson, Matthew A, and Lorna J. Gibson. "Optimization of cylindrical shells with compliant cores." (International Journal of Solids and Structures) 44 (2007).
- Lee, H, H, S,-H Wong, and R,-S. Lee. "Response mitigation on the offshore floating platform system with tuned liquid column damper." (Ocean Engineering) 33 (2006).
- Nagamani, K, and C. ganapathy. *The dynamic response of a three-leg articulated tower*. Ocean Engineering, 2000.



Nagamani, K. Ganapathy, C. "The dynamic response of a three-leg articulated tower." (Ocean Engineering) 27 (2000).

Patil, K,C, and R,S. Jangid. "Passive control of offshore jacket platforms." (Ocean Engineering) 32 (2005).

*Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design.* American Petroleum Institute, DECEMBER 2000.

Sarpkaya, and Isacson. *Mechanics Of Wave Force.* 1981.

Sorensen, Robert M. *Basic Wave Mechanics For Coastal and Ocean Engineers.* John Wiley & Sons, Inc., 1993.

رضایی پزندی، محمد، نگره ماتریسی تحلیل سازه ها. دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۴.

کاوه، علی. تحلیل ماتریسی سازه ها. دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۷۹.



## **Response Analysis of Combinational Platforms Equipped with Submerged Tanks**

*M. R. Moharrami Gargari, Tarbiat Modarres University*

*M. Shafieefar, Tarbiat Modarres University*

*A. Aghakouchak, Tarbiat Modarres University*

### **Abstract**

Given increasing advancement of technology of offshore platforms, innovative plans are needed for the purpose of achieving reduced costs of maintenance, reduced duration of construction and operation, reduced necessity to displace platforms and so forth. That is why aerodynamic plans have drawn great attentions. This article proposes an innovative plan based on the methodology used in reduction of risers lateral movements during the drilling. This plan considers a fixed design which has four main supports and bracing that is located in the lower part. For the purpose of modeling, SACS and SAP software were used. But because of disadvantages of such software, the modeling was continued in MATLAB. This article further deals with combinational system of platforms and tanks. Utilization of fixed tanks in tower platforms in high depths for the purpose of reducing vertical loads from upper sections has been among the problems that have been studied in the past. Today, different types of active controllers are being studied for offshore platforms.

**Keywords:** *offshore platforms, tank, technology, aerodynamic plans, MATLAB*