

بررسی تأثیر میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی (CTLĐ) روی رفتار دینامیکی سکوه‌های فراساحلی جکتی تحت بارگذاری زلزله و موج

حمید احمدی^{۱*}، حسین عیوض‌اوغلی^۲ و محمدعلی لطف‌اللهی‌یقین^۳

^۱ دانشیار دانشکده فنی - مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

^۲ دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۳ استاد دانشکده فنی - مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

(دریافت: ۹۶/۱۱/۲۸، پذیرش: ۹۷/۷/۲۸، نشر آنلاین: ۹۷/۷/۲۹)

چکیده

تأثیر یک میراگر مایع تنظیم شده (TLD) تا حد زیادی به هندسه مخزن وابسته است. اغلب TLDهای معمول به مخزن‌های با مقاطع هندسی ساده، مانند مستطیلی و دایروی، محدودند. اما پلان کف سازه ممکن است محدودیت‌هایی برای استفاده از مخازن بزرگ با هندسه منظم ایجاد کند. هم‌چنین میراگرهای TLD تنها در یک فرکانس عمل می‌کنند. در این تحقیق، کارایی یک نوع میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی (CTLĐ) در کاهش ارتعاش سکوه‌های فراساحلی شابلونی تحت تحریک زلزله و موج مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به اصل هماهنگی بین فرکانس تلاطم سیال داخل مخازن و فرکانس اصلی نوسان سازه، CTLĐ باید به گونه‌ای طراحی شود که برای هر دو شرایط بارگذاری موج و زلزله پاسخگو باشد. نتایج نشان دادند که اختصاص حالت "ارتباط: برقرار" برای بارگذاری موج و حالت "ارتباط: مسدود" برای بارگذاری زلزله بهترین نتیجه را دارد. ضمناً CTLĐ اثر قابل توجهی روی پاسخ‌های دینامیکی سکو دارد؛ به طوری که در صورت استفاده از CTLĐ، حداکثر کاهش در جابجایی عرشه فوقانی سکوی SPD1، به عنوان یک مطالعه موردی، تحت اثر زلزله حدود ۱۳٪ و بیش‌ترین مقدار کاهش در جابجایی و شتاب عرشه فوقانی سکو تحت اثر بارگذاری امواج حدود ۲۰٪ بود.

کلیدواژه‌ها: سکوی فراساحلی جکتی، میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی (CTLĐ)، تحلیل دینامیکی، کنترل غیر فعال.

۱- مقدمه

سکوه‌های جکتی نسبت به تحریکات محیطی حساس هستند. نیروهای ناشی از امواج تصادفی و حرکات لرزه‌ای بستر دریا دو بار عمده در طراحی سکو محسوب می‌شوند. بار ناشی از امواج به صورت مداوم و با انرژی‌های متفاوت به سکو وارد و منجر به آسیب‌های سازه‌ای، خستگی و در نهایت کاهش عمر سرویس‌دهی سکو می‌شود. بار زلزله نیز می‌تواند باعث تغییر مکان جانبی زیاد و در نهایت گسیختگی سازه شود. برای طراحی مطمئن یک سکوی جکتی مرتفع، تعیین دقیق پاسخ دینامیکی بسیار مهم است. ضمناً یافتن راهکاری برای کاهش پاسخ‌های دینامیکی نیز می‌تواند اهمیت بسزایی در کاهش مصالح مصرفی و افزایش ایمنی و عمر بهره‌برداری از این گونه سازه‌ها داشته باشد.

متداول‌ترین نوع سکوه‌های فراساحلی، سکوه‌های جکتی یا شابلونی هستند. این نوع سازه متشکل است از: (۱) یک زیرسازه^۱ فولادی (جکت) پیش‌ساخته که از بستر دریا تا تراز بالای بالاتر از سطح آب امتداد پیدا می‌کند؛ (۲) یک عرشه^۲ یا روسازه^۳ فولادی که تجهیزات مختلف بهره‌برداری روی آن نصب شده و روی زیرسازه قرار می‌گیرد؛ و (۳) شمع‌های فولادی که از داخل پایه‌های زیرسازه به بستر دریا کوبیده شده‌اند. این شمع‌ها علاوه بر آن که تکیه‌گاه عرشه هستند، پایداری سازه را در مقابل بارهای جانبی محیطی نظیر امواج، جریان و باد حفظ می‌کنند (شکل (۱)).

3. Superstructure (Topside)

1. Substructure
2. Deck

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۴۱-۳۳۲۹۴۱۲۷



شکل ۱- سکوی فراساحلی جکتی (شابلونی)

۲- مرور پیشینه تحقیق

استفاده از سیستم TLD جهت کاهش ارتعاشات در سازه‌های مهندسی از اواخر دهه ۷۰ میلادی شروع شد. Wakahara و همکاران (۱۹۹۲) و Tamura و همکاران (۱۹۹۵) اثرگذاری میراگر مایع تنظیم شده را تحت بارگذاری باد مطالعه کردند. مدل‌سازی میراگر مایع تنظیم شده به وسیله محققان بسیاری مورد مطالعه قرار گرفته است و یک سری مدل‌های مکانیکی خطی و غیر خطی ساده ارائه شده‌اند. به دلیل رفتار بسیار غیر خطی سیال کم‌عمق در حال نوسان در میراگر TLD، این مدل‌ها اغلب نتایج مناسبی ارائه نمی‌دهند. Sun و همکاران (۱۹۹۲) یک مدل‌سازی غیر خطی برای میراگر TLD با

یکی از روش‌های کارآمد کنترل ارتعاشات در سازه، استفاده از میراگرها است. میراگرها بر اساس مکانیسم عملکردشان به سه نوع فعال، نیمه‌فعال و غیر فعال تقسیم‌بندی می‌شوند. سیستم‌های غیر فعال از طریق اصلاح و بهبود رفتار دینامیکی سازه، میرایی غیر مستقیم به سازه اعمال می‌کنند. یک نوع از این میراگرهای غیر فعال، سیستم میراگر مایع تنظیم شده (TLD)^۴ می‌باشد که به دلیل داشتن مزایایی، از قبیل هزینه پایین، کنترل و تنظیم آسان، ملزومات نگهداری پایین و سهولت اجرا، در سال‌های اخیر مورد توجه و استفاده بیشتری قرار گرفته است.

در این تحقیق، کارایی یک نوع ترکیبی از میراگر مایع تنظیم شده (CTLTD)^۵ در کنترل و کاهش ارتعاشات سکوی فراساحلی شابلونی تحت تحریک موج زلزله مورد بررسی قرار می‌گیرد. سیستم میراگر مایع تنظیم شده در سازه‌های فراساحلی به ندرت مورد استفاده قرار گرفته است. این میراگرها را که از یک یا چند مخزن حاوی سیال (عموماً آب یا نفت) تشکیل شده‌اند، می‌توان روی عرشه سکو نصب نمود. نیروهای هیدرودینامیکی که از تلاطم سیال داخل مخزن به وجود می‌آیند، به عنوان نیروهای مقاوم در برابر ارتعاش سازه عمل می‌کنند.

در اثر تحریک سازه توسط نیروهای خارجی، سیال داخل مخزن در خلاف جهت حرکت سازه نوسان می‌کند و باعث می‌شود قسمتی از سیال، به صورت موج، حرکت نوسانی انجام دهد و قسمتی دیگر از آن که نزدیک به کف مخزن است، حرکت صلب‌گونه داشته و به دیواره مخزن فشار ضربه‌ای وارد کند. برای این که حرکت سیال داخل مخزن بتواند جابجایی سازه را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد، می‌بایست فرکانس نوسان مایع داخل مخزن نزدیک به فرکانس طبیعی نوسان سازه باشد، که از تحلیل مودی قابل تعیین است. بنابراین تنظیم نمودن فرکانس نوسان مایع داخل مخزن با فرکانس طبیعی سازه، یا به عبارت دیگر به دست آوردن محدوده نسبت فرکانسی که به ازای آن، دامنه حرکت سازه به مقدار قابل توجهی کاهش یابد، یکی از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد.

در این پژوهش، پس از طراحی میراگر، یک سکوی شابلونی با ابعاد متناسب برای آب‌های خلیج فارس (سکوی SPD1 به عنوان مطالعه موردی)، تحت زلزله‌های طیس و ال‌سنتر و همچنین تحت اثر امواج با ارتفاع‌ها و پریودهای مختلف، با و بدون CTLTD، با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود ANSYS تحت تحلیل مودی و تاریخچه زمانی قرار گرفته است. پس از صحت‌سنجی مدل اجزای محدود، نتایج به دست آمده مورد بحث قرار گرفته و رفتار سازه در این دو حالت مقایسه شده‌اند.

توپ در داخل مخزن TLCD، آن را مجدداً مورد مطالعه قرار دادند (TLCD). نتایج نشان از عملکرد مناسب حالت دوم داشت. چرا که نوسان سطح آب کم تر بود که یک مزیت به شمار می‌رود.

Lotfollahi-Yaghin و همکاران (۲۰۱۶) کارآیی میراگر TLD در کنترل و کاهش ارتعاش سکوه‌ای فراساحلی شابلونی تحت تحریک زلزله را مورد بررسی قرار دادند. سه رکورد زلزله به سکوی مجهز به میراگرهای TLD اعمال گردید و پاسخ جابجایی و شتاب در بالاترین تراز عرشه سکو برداشت شد. نتایج، کاهش ۲۲ درصدی در جابجایی و ۱۸ تا ۲۷ درصدی در شتاب عرشه را نشان دادند.

۳- مبانی کنترل توسط میراگر مایع تنظیم شده

میراگر مایع تنظیم شده یک سیستم کنترل غیر فعال بوده و نحوه کار آن بدین ترتیب است که تعدادی مخزن در قسمت بالای سازه نصب می‌شود و انرژی ارتعاشی وارد به سازه حین تلاطم مایع درون این مخازن، توسط رفتار لخت سیال و نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از آن، مستهلک می‌شود.

تلاطم مایع موجب ایجاد تفاوت در تراز سطح آزاد مایع در جداره‌های انتهایی مخزن شده و اختلاف فشار ناشی از تفاوت تراز سطح آزاد مایع در جداره‌های انتهایی به صورت یک نیروی برشی در کف مخزن ظاهر می‌شود.

نیروی کنترلی که در این روش برای کاهش ارتعاشات سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد، از فشار دینامیکی وارد بر سطح دیواره مخزن نشأت می‌گیرد. برای طراحی بهینه این سیستم‌ها، یعنی به منظور ایجاد کاهش قابل توجه در ارتعاشات سازه، تنظیم فرکانس میراگر باید بر اساس فرکانس مود اول ارتعاش سازه انجام شود. بنابراین مشخصات میراگر نظیر ابعاد مخزن و عمق آب داخل آن باید به گونه‌ای تعیین شوند که فرکانس تلاطم مایع درون مخزن با فرکانس ارتعاش سازه هماهنگ شود.

برای شبیه‌سازی رفتار میراگر مایع تنظیم شده در مدل‌های اجزای محدود، روش‌های ساده شده‌ای پیشنهاد گردیده‌اند که معروف‌ترین آن‌ها روش جرم متمرکز و روش تئوری امواج خطی می‌باشد.

روش جرم متمرکز اولین بار توسط Housner (۱۹۵۷) پیشنهاد شده است. در این روش، دیوار صلب فرض می‌شود. فشار هیدرودینامیکی ایجاد شده به وسیله تلاطم سیال داخل مخزن که ناشی از بارگذاری دینامیکی است، به دو بخش فشار ضربه‌ای و فشار نوسانی تقسیم می‌شود. فشار ضربه‌ای متناسب با شتاب مخزن ولی در جهت مخالف آن بوده و فشار نوسانی مربوط به ارتفاع موج تشکیل شده در سطح سیال و فرکانس نوسان سیال است.

مخزن مستطیلی ارائه دادند. در این مدل‌سازی که بر مبنای تئوری امواج آب‌های کم‌عمق است، اثرات میرایی سیال نیز در نظر گرفته شده است. برای لحاظ کردن امواج شکننا در نوسان سیال، مدل ارائه شده با معرفی دو ضریب اصلاح شده و روابط تجربی برای این ضرایب به دست آمد.

Wu و همکاران (۱۹۹۸) رفتار سیال داخل مخزن TLD را با شبیه‌سازی عددی اجزای محدود بررسی کرده و نتایج به دست آمده را با نتایج حاصل از بررسی تحلیلی مورد مقایسه قرار دادند. محققان دیگری نیز با روش‌های متفاوتی رفتار سیال داخل مخازن را بررسی کرده‌اند (Di Mateo و همکاران، ۲۰۱۴؛ Frandsen، ۲۰۰۵). Marivani و Hamed (۲۰۰۹) پاسخ سازه مجهز به میراگر TLD را با استفاده از یک الگوریتم عددی مورد بررسی قرار دادند. برای افزایش میرایی میراگر مایع تنظیم شده، یک سری تجهیزات نیز به آن اضافه شد. رفتار میراگر TLD تحت حالت‌های ساده، همراه با استوانه اضافه شده در داخل مخزن و حالت مخزن شبکه‌دار توسط Warnitchai و Pinkaev (۱۹۹۸) مورد مطالعه قرار گرفت.

تأثیر یک میراگر مایع تنظیم شده به جرم معادل، فرکانس طبیعی و میرایی نوسان سیال بستگی دارد. همه این موارد به هندسه مخزن وابسته هستند. TLDهای نصب شده موجود عموماً به مخزن‌های با هندسه ساده مانند مستطیل و دایره محدود هستند (Wakahara و همکاران، ۱۹۹۲؛ Tamura و همکاران، ۱۹۹۵). اما به هر حال پلان کف سازه ممکن است محدودیت‌هایی برای استفاده از مخازن بزرگ با هندسه ساده ایجاد کند. در این موارد، برای حل مشکل می‌توان از مخازن با هندسه‌ای پیچیده‌تر استفاده کرد (Love و همکاران، ۲۰۱۲). به عنوان راه حل دوم می‌توان از طریق ترکیبی از مخازن با هندسه ساده یا به عبارتی یک میراگر مایع تنظیم شونده ترکیبی (CTLCD) به نتیجه مطلوب دست یافت.

Al-Saif و همکاران (۲۰۱۱) میراگر مایع ستونی تنظیم شده (TLCD) را مورد مطالعه قرار داده و با اضافه کردن یک توپ به داخل مخزن، رفتار میراگر TLCD را در این حالت نیز مورد بررسی قرار دادند. Vandiver و Mitome (۱۹۷۸) برای کاهش ارتعاشات ناشی از باد در یک سکوی فراساحلی، از سیستم TLD استفاده نمودند. Reddy و Lee (۱۹۹۷) رفتار سکو را با و بدون میراگر مایع تنظیم شده مورد مقایسه قرار دادند. Jin و همکاران (۲۰۰۷) یک سری مطالعات آزمایشگاهی و عددی روی میراگرهای مایع تنظیم شده، برای کنترل پاسخ لرزه‌ای سکوی ثابت شابلونی انجام دادند. Chatterjee و Chakraborty (۲۰۱۴) میراگر مایع ستونی تنظیم شده را تحت بارگذاری موج بررسی کرده و با قرار دادن یک

۴-۴ مدل سازی اجزای محدود

۴-۱- مشخصات مطالعه موردی

سکوی سرچاهی SPD1 که برای مطالعه موردی در این پژوهش انتخاب شده یکی از سکوهایی فاز یک پارس جنوبی است. محل سرویس دهی این سکو که در آب به عمق ۷۰/۷ متر نصب شده است، در عرض جغرافیائی N°43 26 و طول جغرافیائی E°01 52 قرار دارد. عرشه این سکو با ابعاد ۱۶×۲۸ متر، سه طبقه Lower Deck با ارتفاع ۱۳ متر از سطح آب آرام، Mezzanine Deck با ارتفاع ۱۷/۵ متر از سطح آب آرام، و Top Deck با ارتفاع ۲۱ متر از سطح آب آرام را داراست. این عرشه روی یک جکت شش پایه قرار دارد که توسط شش شمع که از داخل پایه‌ها کوبیده شده‌اند به بستر دریا متصل شده است. ابعاد پلان سکو در تراز بستر دریا ۲۳/۸×۳۸/۲۶ متر می‌باشد. حداکثر قطر پایه‌های سکو ۱/۵۳۴ متر بوده و کل جرم آن ۴۳۳۴ تن است.

۴-۲- مدل سازی جکت

برای مدل سازی جکت باید از المان‌هایی استفاده شود که قادر باشند اثرات نیروهای هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی امواج و همچنین جرم افزوده را در نظر بگیرند. المان PIPE59 نرم افزار ANSYS این قابلیت را داراست. ضرایب دراگ و اینرسی به ترتیب برابر ۰/۷ و ۲/۰ در نظر گرفته شدند. برای اعمال بارگذاری موج نیز از گزینه Water Table در بخش خواص مواد المان PIPE59 استفاده شد.

۴-۳- مدل سازی شمع‌ها

اگر هدف از تحلیل یک سکوی ثابت جکتی بررسی رفتار کلی سازه باشد، می‌توان از مدل‌های ساده شده جهت در نظر گرفتن اثرات متقابل شمع و خاک استفاده کرد. یکی از این روش‌های ساده سازی شده، روش طول معادل است. در این روش به جای مدل کردن طول کامل شمع و خاک اطراف آن، از یک شمع با طول معادل استفاده می‌شود. این شمع در انتهای خود گیردار در نظر گرفته می‌شود. به طوری که مشخصات سختی شمع معادل در تراز بستر دریا با مشخصات شمع واقعی یکسان باشند. برای سکوهایی واقع در محل‌هایی که خاک آن‌ها از لایه‌های سست رسی تشکیل شده است، مقدار 8D تا 12D به عنوان طول معادل گیرداری پیشنهاد شده است که D قطر شمع می‌باشد (API, ۲۰۰۰). در این پژوهش، مقدار طول شمع نفوذ کرده در خاک برابر 12D در نظر گرفته شده که تقریباً برابر ۱۶/۵ متر می‌باشد. برای مدل سازی شمع‌ها از المان PIPE16 استفاده شده است. شمع‌ها داخل پایه‌ها مدل شده و با هدف این که شمع‌ها و پایه‌ها در برابر نیروهای وارده، رفتاری هماهنگ داشته باشند، کلیه گره‌های

در شکل (۲) نمایی از مدل پیشنهادی Housner (۱۹۵۷) نشان داده شده است. در این شکل، M_1 جرم معادل فشار ضربه‌ای بوده و به صورت گیردار به دیواره مخزن متصل است و M_2 نیز جرم معادل فشار نوسانی می‌باشد:

$$M_1 = m \frac{h_0}{\sqrt{3}R} \tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{h_0}\right) \quad (۱)$$

$$M_2 = \frac{0.358R}{h_0} \tanh\left(\frac{1.837h_0}{R}\right) \quad (۲)$$

ارتفاع‌های h_1 و h_2 و سختی k از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$h_1 = \frac{3}{8} h_0 \left\{ 1 + 2 \left[\frac{m}{M_2} \left(\frac{R}{h_0} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad (۳)$$

$$h_2 = h_0 \left[1 - 0.185 \left(\frac{m}{M_1} \right) \left(\frac{R}{h_0} \right)^2 - 0.56\beta \frac{R}{h_0} \sqrt{\left(\frac{mR}{3M_1 h_0} \right)^2 - 1} \right] \quad (۴)$$

$$k = 5.4 \frac{M_2^2 g h_0}{m R^2} \quad (۵)$$

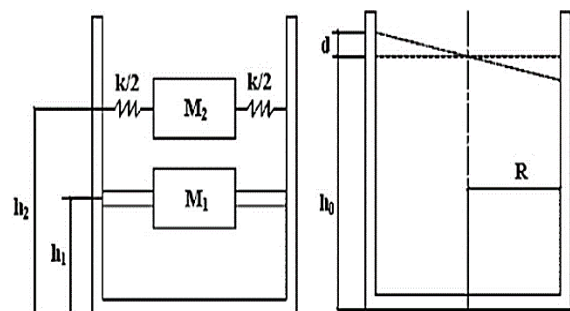
در روابط اخیر، m جرم سیال داخل مخزن، h_0 ارتفاع سیال داخل مخزن و R شعاع مقطع مخزن است؛ و β به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta = \frac{1}{h} \sqrt{\frac{\gamma \omega_0}{2}} (1 + c) \quad (۶)$$

که ω_0 فرکانس طبیعی نوسان سیال داخل مخزن بوده و به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\pi g}{a} \tanh\left(\frac{\pi h_0}{a}\right)} \quad (۷)$$

در رابطه فوق، a برای مخزن مستطیلی، طول مخزن و برای مخزن استوانه‌ای، قطر مخزن می‌باشد (Housner, ۱۹۵۷).



شکل ۲- روش جرم متمرکز برای شبیه سازی سیستم TLD

۴-۵- مدل سازی میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی

در این پژوهش، از یک میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی (CTLD) جهت کاهش پاسخ دینامیکی سکوی مورد مطالعه، استفاده شده است. این میراگر از دو مخزن مکعبی شکل فولادی به ابعاد $3 \times 3 \times 3$ متر تشکیل شده است که از طریق یک رابط مکعبی به ابعاد $0.8 \times 3 \times 0.8$ متر به هم متصل می‌شوند. مخازن CTLD تا ارتفاع $1/5$ متری از آب پر شده (شکل (۴)) و در عرشه سکوی قرار گرفته است. علت انتخاب این ابعاد برای مخازن در ادامه این بخش تشریح خواهد شد.

همان طور که قبلاً اشاره شد، جهت افزایش تأثیر میراگر مایع تنظیم شده در کاهش ارتعاش سازه، فرکانس مود اول نوسان سیال داخل مخزن می‌بایست مساوی فرکانس اصلی ارتعاش سازه باشد. در این پژوهش، برای طراحی میراگر مایع تنظیم شده و به دست آوردن مقادیر پارامترهای مؤثر در کارکرد آن، در ابتدا تحلیل مودی روی سکوی SPD1 انجام شد و فرکانس مود اول ارتعاش سازه برابر 0.483 هرتز به دست آمد.

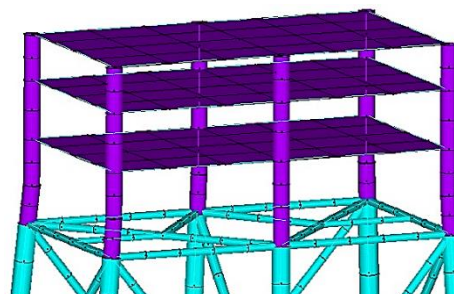
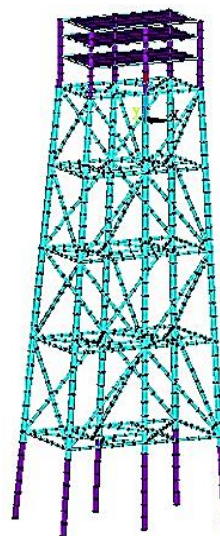
جهت به دست آوردن ابعاد مخزن حاوی سیال، نسبت ارتفاع آب داخل مخزن به طول آن برابر 0.5 فرض شد (Lotfollahi- Yaghin و همکاران، ۲۰۱۶). سپس با استفاده از رابطه (۷)، با قرار دادن فرکانس نوسان سیال برابر 0.483 هرتز، طول مخزن برابر ۳ متر به دست آمد. با استفاده از مقدار به دست آمده برای طول مخزن حاوی سیال، ارتفاع آب داخل آن نیز برابر 1.5 متر تعیین شد. سپس مخزنی با ابعاد $3 \times 3 \times 3$ متر در نرم افزار ANSYS مدل شد که تا ارتفاع $1/5$ متری از آب پر شده است. با لحاظ کردن اندرکنش سیال و جامد به وسیله کوپله کردن گره‌هایی از سیال و جامد که روی هم قرار گرفته‌اند و همچنین انتخاب درجات آزادی اصلی برای سیال، مخزن حاوی سیال تحلیل مودال شد. مود اول نوسان سیال داخل مخزن برابر 0.478 هرتز به دست آمد که انطباق خوبی با مقدار به دست آمده از رابطه (۷) دارد. از آن جا که در نرم افزار ANSYS، برای المان FLUID80 تنها ماتریس جرم متمرکز در دسترس می‌باشد، لذا فقط روش Reduced برای تحلیل مودی مدل‌های ساخته شده با این المان قابل استفاده است. کارکرد روش Reduced مبتنی بر درجات آزادی اصلی است. این درجات آزادی در سطح سیال و جداره‌های مخزن انتخاب می‌شوند. استفاده از درجات آزادی اصلی باعث می‌شود ماتریس سختی دقیق و ماتریس جرم تقریبی باشد. برای سطح سیال، درجات آزادی اصلی تنها در راستای قائم در نظر گرفته شده و برای جداره مخزن نیز درجات آزادی اصلی تنها در راستای ارتعاش سازه انتخاب شده‌اند.

شمع‌ها با گره‌های پایه‌های سکو در راستای افقی کوپله شد. بدین صورت، پایه‌ها و شمع‌های داخل آن‌ها در راستای افق جابجایی یکسانی خواهند داشت. همچنین برای حفظ پایداری جکت، در بالاترین نقطه جکت، پایه‌های جکت و شمع‌ها در تمام درجات آزادی کوپله شدند.

۴-۴- مدل سازی عرشه

عرشه سکوی SPD1 در سه طبقه مدل شده است که ارتفاع طبقات از تراز ایستایی آب برابر 1.3 ، $1.7/5$ و 2.1 متر می‌باشد. برای مدل سازی عرشه سکو از المان‌های PIPE16 و SHELL63 استفاده شده است. سیستم سازه‌ای عرشه، قاب پرتال بدون مهاربند می‌باشد. المان PIPE16 برای مدل سازی پایه‌های عرشه استفاده شده و وزن کل تجهیزات روی عرشه سکو به صورت بار گسترده سطحی با استفاده از المان SHELL63 لحاظ شده است.

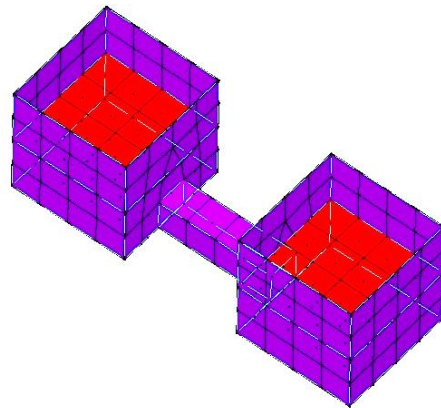
در شکل (۳) نمایی از مدل هندسی کل سکو و نمای نزدیکی از عرشه آن ارائه شده است.



شکل ۳- نمایی از مدل هندسی تولید شده برای سکوی SPD1 به وسیله نرم افزار ANSYS و نمای نزدیک عرشه

۴-۶- خصوصیات مصالح

مشخصات فولاد برای مدل سازی جکت و همچنین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آب برای مدل سازی میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی در جدول (۱) ارائه شده اند.



۴-۷- بارگذاری موج و زلزله

در این بررسی، یک سری تحلیل تاریخچه زمانی تحت بارگذاری های موج و زلزله روی سکو انجام شد. چرا که هدف از بکارگیری میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی، کاهش پاسخ سازه هم در مقابل بار زلزله و هم در مقابل بار موج است. در تحقیق حاضر، ۱۰ حالت برای خصوصیات امواج در نظر گرفته شد که عبارتند از دو ارتفاع موج ۹/۷ و ۱۲/۲ متر (که حداکثر و حداقل ارتفاع های موج با دوره بازگشت صد سال برای طراحی سازه های دریایی در حوزه خلیج فارس هستند)؛ و پنج پرپود ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ثانیه. این امواج (استفاده از تئوری موج استوکس) از طریق مشخصات تعریفی برای المان PIPE59 روی سازه جکت اعمال شدند.

همچنین دو رکورد زلزله نیز استفاده شد که به عنوان بار جانبی در تراز پایه به سازه اعمال گردیدند. در تحقیق حاضر برای تهیه رکوردهای زلزله از داده های موجود در سایت دانشگاه برکلی امریکا استفاده شده است. شتاب نگاشت های مورد استفاده، مربوط به زلزله های طیس ایران (۱۹۷۸) و آل سنتر و امریکا (۱۹۴۰) می باشند. از آن جا که هدف از تحقیق حاضر، صرفاً مقایسه مقادیر نسبی پاسخ های سازه می باشد، رکوردهای مذکور با مقادیر حداکثر خود هم پایه می شوند. بدین صورت که همه این رکوردها با مقادیر شتاب بیشینه سطح شکل پذیری سکو (۰/۳۵g) هم پایه شدند.

۵- تحلیل دینامیکی سکو

۵-۱- تحلیل مودی

برای تعیین مود شکل ها و فرکانس های طبیعی ارتعاش آزاد سکو، روی مدل اجزای محدود سکوی SPD1 فاقد CTLD، تحلیل مودی انجام گرفته است. از فرکانس های به دست آمده به منظور صحت سنجی مدل اجزای محدود، طراحی سیستم CTLD و همچنین تعریف میرایی رایلی در تحلیل تاریخچه زمانی استفاده شده است.

نتایج تحلیل مودی سکو در مقایسه با فرکانس های سازه واقعی در جدول (۲) ارائه شده اند. سه مود شکل اول نیز در شکل (۵) نشان داده شده اند. با مقایسه ده فرکانس اول مدل تولیدی با فرکانس های سکوی SPD1، که از مقاله Bargi و همکاران (۲۰۱۱) استخراج شده است، مشخص گردید که مدل اجزای محدود تولید شده از دقت کافی برخوردار است. نتایج نشان دادند که در دو مود اول رفتار سکوی مدل شده انطباق خوبی با سکوی واقعی دارد. اما

شکل ۴- میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی (CTLTD) پیشنهادی

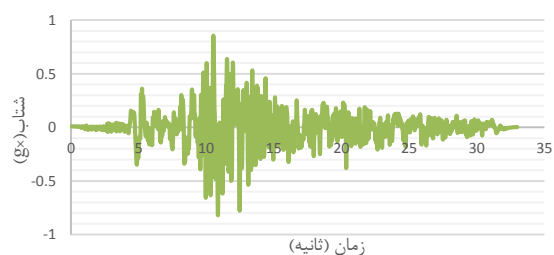
جدول ۱- خصوصیات فولاد و آب برای مدل سازی

فولاد	
چگالی	۷۸۵۰ kg/m ³
مدول الاستیسیته	۲۱۰ GPa
نسبت پواسون	۰/۳
سیال داخل مخازن TCLD (آب)	
چگالی	۱۰۳۳ kg/m ³
مدول بالک	۲/۰۶۸ GPa
ویسکوزیته	۱/۵۶۸×۱۰ ^{-۶} m ² /s

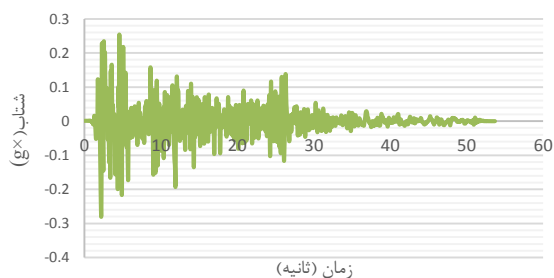
برای مدل سازی مخزن و رابط از المان SHELL63 و برای مدل سازی سیال داخل مخازن و رابط از المان FLUID80 استفاده شده است. مدول الاستیسیته در نظر گرفته شده برای المان FLUID80، مدول بالک آب می باشد. برای در نظر گرفتن اندرکنش مخزن و سیال، گره های سیال و مخزن که روی هم منطبق بودند، در راستای عمود بر دیواره مخزن کوپله شدند.

جدول ۲- نتایج تحلیل مودی سکو

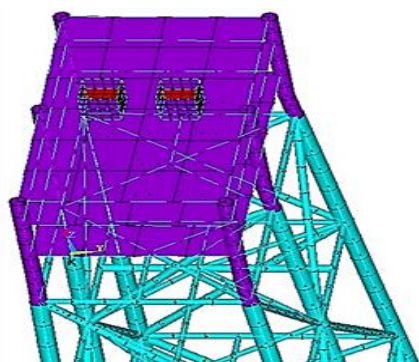
شماره مود	فرکانس مدل اجزای محدود (Hz)	فرکانس سکوی SPD1 (Bargi) و همکاران، (۲۰۱۱) (Hz)	اختلاف (%)
۱	۰/۴۸۳	۰/۴۸۸	-۱/۰۴
۲	۰/۴۹۸	۰/۵۲۶	-۵/۳۲
۳	۰/۵۷۲	۰/۶۵۸	-۱۳/۰۷
۴	۰/۹۴۷	۱/۲۲	-۲۲/۳۸
۵	۰/۹۹۲	۱/۳۳	-۲۵/۴۱
۶	۱/۰۳	۱/۸۹	-۴۵/۵
۷	۱/۹۸	۲/۰۰	-۱
۸	۲/۱۱	۲/۰۴	۳/۴۳
۹	۲/۳۸	۲/۱۳	۱۱/۷۴
۱۰	۲/۴۷	۲/۱۷	۱۳/۸۲



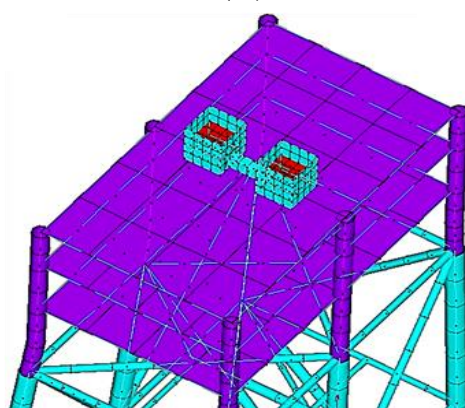
شکل ۶- مؤلفه عرضی شتاب‌نگاشت زلزله طبس



شکل ۷- مؤلفه عرضی شتاب‌نگاشت زلزله ال سنتر و



(الف)



(ب)

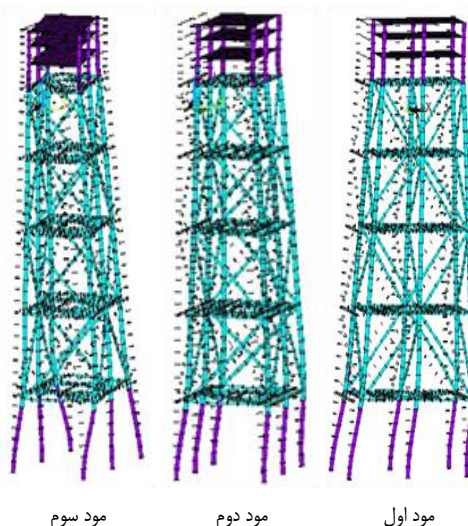
شکل ۸- مدل‌سازی CTLD روی سکوی SPD1: (الف) حالت ارتباط مسدود بین دو مخزن، (ب) حالت ارتباط برقرار بین دو مخزن

در فرکانس‌های بالاتر اختلاف‌ها افزایش می‌یابند که دلیل آن طبق بررسی Bargi و همکاران (۲۰۱۱) از مدل‌سازی شمع‌ها به روش طول معادل گیرداری نشأت گرفته است.

۵-۲- تحلیل تاریخچه زمانی

برای تحلیل تاریخچه زمانی سکوی SPD1 از رکوردهای زلزله طبس ایران (رکوردهای ثبت شده توسط ایستگاه طبس) و زلزله ال سنتر و امریکا (رکوردهای ثبت شده توسط ایستگاه امپریال ولی) به همراه ۱۰ موج با دو ارتفاع و پنج پریود مختلف استفاده شده است. مؤلفه‌های عرضی شتاب‌نگاشت زلزله طبس و ال سنتر و در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده‌اند. برای استفاده از رکوردهای زلزله در تحلیل تاریخچه زمانی، باید آن‌ها را به صورت یک فایل ستونی تنظیم نمود. در تحقیق حاضر، بدین منظور از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB استفاده شد.

برای تحلیل تاریخچه زمانی سکوی SPD1 از رکوردهای زلزله طبس ایران (رکوردهای ثبت شده توسط ایستگاه طبس) و زلزله ال سنتر و امریکا (رکوردهای ثبت شده توسط ایستگاه امپریال ولی) به همراه ۱۰ موج با دو ارتفاع و پنج پریود مختلف استفاده شده است. مؤلفه‌های عرضی شتاب‌نگاشت زلزله طبس و ال سنتر و در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده‌اند. برای استفاده از رکوردهای زلزله در تحلیل تاریخچه زمانی، باید آن‌ها را به صورت یک فایل ستونی تنظیم نمود. در تحقیق حاضر، بدین منظور از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB استفاده شد.

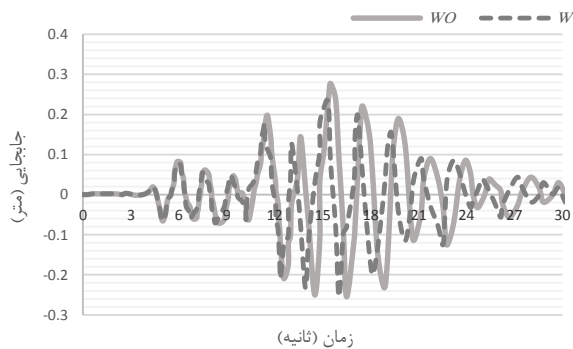


شکل ۵- سه مود اول ارتعاش آزاد سکوی SPD1

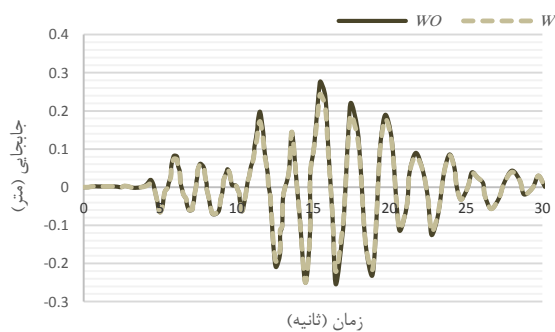
۶- نتایج و بحث

جدول ۳- میزان کاهش حداکثر جابجایی در دو حالت مختلف از میراگر CTLD نسبت به حالتی که سازه بدون میراگر است

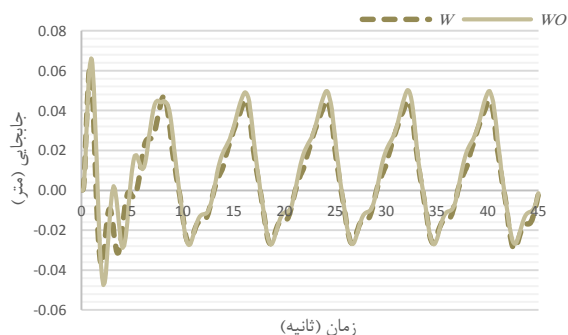
بارگذاری	CTLD با	CTLD با
	ارتباط برقرار	ارتباط مسدود
زلزله طیس	٪۹/۴۱	٪۱۱/۳۶
موج ($H=12.2m, T=10s$)	٪۱۲/۶۷	٪۸/۵۵



شکل ۸- مقایسه جابجایی بیشینه سکوی SPD1 تحت اثر زلزله در حالت‌های با و بدون CTLD (ارتباط: برقرار)



شکل ۹- مقایسه جابجایی بیشینه سکوی SPD1 تحت اثر زلزله در حالت‌های با و بدون CTLD (ارتباط: مسدود)



شکل ۱۰- مقایسه جابجایی بیشینه سکوی SPD1 تحت اثر موجی با ارتفاع ۱۲/۲ متر و پریود ۸ ثانیه، در حالت‌های با و بدون CTLD (ارتباط: برقرار)

میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی (CTLD) بنا به مزایای خاص خود، نظیر قابلیت طراحی دو منظوره (طراحی برای بارهایی با دو پریود مختلف)، قابلیت طراحی برای انواع بار نظیر زلزله، موج، باد و غیره، داشتن انطباق بالا با هندسه و پلان محیط و به همراه داشتن تمام مزایای میراگرهای TLD و TLCD، به خوبی می‌تواند در سازه‌های مختلف با اهداف متفاوت مورد استفاده قرار گیرد. این میراگر را می‌توان گامی اولیه برای دستیابی به بخشی از قابلیت‌های میراگرهای فعال و نیمه‌فعال، بدون تعریف منبع تغذیه برای آن‌ها، توصیف نمود.

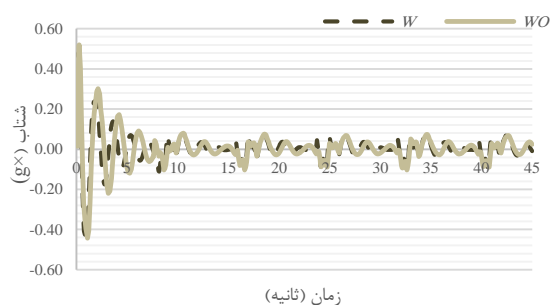
۶-۱- تأثیر CTLD روی جابجایی بالاترین تراز سکو

جابجایی زیاد در تراز بالایی سکو، منجر به آسیب‌های سازه‌ای عمده و بعضاً انهدام کلی سازه شده است؛ ضمناً این مسئله می‌تواند روند عملیات استخراج و بهره‌برداری را نیز به کلی تحت تأثیر قرار دهد (تفاخر، ۱۳۹۲). کمینه کردن این پارامتر یک معیار مؤثر در کنترل سازه‌ای سکو محسوب شده و هم‌چنین در طراحی سکوه‌های جدید منجر به استفاده از مقاطع سبک‌تر می‌شود.

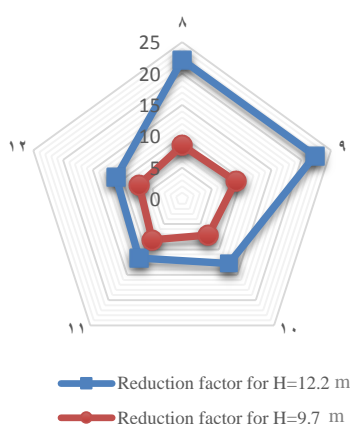
ابتدا برای تعیین میزان کاهش پاسخ سازه نسبت به شرایطی که سازه بدون میراگر است، دو حالت برای سازه مجهز به CTLD در نظر گرفته شد. در حالت اول، ارتباط بین دو مخزن برقرار بوده و در حالت دوم ارتباط بین آن‌ها مسدود است (شکل ۸). در این دو حالت، یک سری مدل‌سازی برای دو بارگذاری متفاوت صورت گرفت: اول، بارگذاری زلزله طیس و دوم، موجی با ارتفاع ۱۲/۲ متر و پریود ۱۰ ثانیه.

با توجه به نتایج به دست آمده که در جدول (۳) و شکل‌های (۹) و (۱۱) ارائه شده‌اند، مشخص شد که سیستم CTLD در هر دو وضعیت ارتباط برقرار و ارتباط مسدود، باعث کاهش پاسخ سازه می‌شود. اما میزان کاهش در پاسخ سازه تحت اثر زلزله در وضعیت ارتباط مسدود بیشتر است؛ در حالی که تحت اثر امواج، میزان کاهش در جابجایی سازه در وضعیت ارتباط برقرار بیشتر بود.

میزان کاهش در بیشینه جابجایی سکو تحت اثر امواج با ارتفاع‌های متفاوت (۹/۷ و ۱۲/۲ متر) و پریودهای مختلف (۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ثانیه) به علت استفاده از سیستم CTLD (ارتباط: برقرار) در شکل (۱۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، استفاده از این سیستم میراگر منجر به کاهش قابل توجه میزان جابجایی عرشه فوقانی سکو می‌شود. با توجه به این شکل، بیشترین مقدار کاهش در پاسخ سکوی SPD1، که تحت امواج با ارتفاع ۱۲/۲ متر و پریود ۹ ثانیه رخ داده است، حدود ۲۰٪ می‌باشد.



شکل ۱۳- مقایسه شتاب عرشه فوقانی سکوی SPD1 تحت اثر موج ($H=12.2m, T=8s$) در حالت‌های با و بدون CTLD (ارتباط: برقرار)

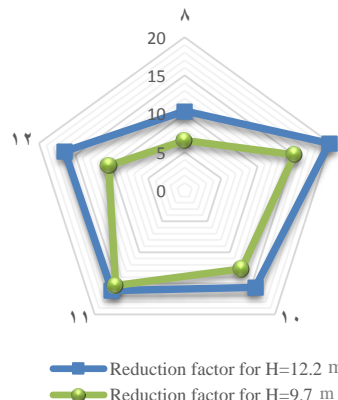


شکل ۱۴- درصد کاهش در شتاب عرشه فوقانی سکوی SPD1 در اثر استفاده از سیستم CTLD (ارتباط: برقرار) تحت اثر امواج با ارتفاع‌ها و پریودهای مختلف

میزان کاهش در شتاب عرشه فوقانی سکو تحت اثر امواج با ارتفاع‌های متفاوت (۹/۷ و ۱۲/۲ متر) و پریودهای مختلف (۸، ۹، ۱۰، ۱۱، و ۱۲ ثانیه) به علت استفاده از سیستم CTLD (ارتباط: برقرار) در شکل (۱۴) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، استفاده از این سیستم میراگر منجر به کاهش قابل توجه میزان شتاب عرشه فوقانی سکو شده است. با توجه به این شکل، بیشترین مقدار کاهش در شتاب عرشه فوقانی سکوی SPD1، که تحت اثر امواج با ارتفاع ۱۲/۲ متر و پریود ۹ ثانیه رخ داده است، حدود ۲۲٪ می‌باشد.

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک سکوی جکته با ابعاد متناسب برای آب-های خلیج فارس (سکوی SPD1 به عنوان مطالعه موردی)، تحت بارگذاری‌های موج و زلزله در دو حالت با و بدون میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی (CTLD)، با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود ANSYS، مدل‌سازی شد و تحت تحلیل مودی و تحلیل تاریخچه



شکل ۱۲- درصد کاهش در جابجایی بیشینه سکوی SPD1 در اثر استفاده از سیستم CTLD (ارتباط: برقرار) تحت اثر امواج با ارتفاع‌ها و پریودهای مختلف

جدول ۴- میزان تأثیرگذاری سیستم CTLD روی مقدار جابجایی عرشه فوقانی سکو تحت اثر زلزله

زلزله	بیشینه جابجایی عرشه (m)		اختلاف (%)
	بدون CTLD	با CTLD	
طیس	۰/۵۲	۰/۴۰	۱۲/۹۲
ال سنتر	۰/۲۷	۰/۲۴	۱۱/۳۶

مقادیر بیشینه جابجایی تحت اثر زلزله در دو وضعیت بدون CTLD و با آن (ارتباط: مسدود) در جدول (۴) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. همان طور که قابل مشاهده است، استفاده از سیستم میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی می‌تواند منجر به کاهش میزان جابجایی عرشه فوقانی سکو گردد. با توجه به جدول (۴)، حداکثر میزان این کاهش در سکوی SPD1 حدود ۱۳٪ بوده است.

۶-۲- تأثیر CTLD روی شتاب بالاترین تراز سکو

یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در حفظ یکپارچگی و ایمنی سکو، شتاب عرشه است. چرا که شتاب بالای عرشه عمدتاً موجب تخریب قسمت‌های غیر سازه‌ای روی عرشه از قبیل تجهیزات، تأسیسات، وسایل حساس و غیره می‌شود و از طرفی خرابی‌های فوق ممکن است باعث آسیب‌دیدگی اشخاص، نشت مواد مضر و آلودگی‌های زیست‌محیطی شود. با توجه به موارد ذکر شده، کمینه نمودن شتاب عرشه می‌تواند پارمتر مهمی در فرآیند کنترل سکوی مورد مطالعه باشد.

تاریخچه زمانی شتاب عرشه فوقانی سکو در دو حالت با و بدون استفاده از CTLD (ارتباط: برقرار) در شکل (۱۳) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در این شکل، سازه تحت اثر امواجی با ارتفاع ۱۲/۲ متر و پریود ۸ ثانیه قرار داشته است.

- پیشنهاد می‌شود اثر متقابل مخازن فرآوری موجود در سکو با مخازن CTLD نصب شده بررسی شود.
- در این مقاله کنترلی روی باز و بسته شدن کانال ارتباطی بین مخازن نبوده و مورد بررسی قرار نگرفته است. پیشنهاد می‌شود این مسأله با در نظر گرفتن شروطی بررسی شود و عملکرد میراگر مجدداً مطالعه شود.
- در تحقیق حاضر، تمام بارگذاری‌ها در امتداد اصلی میراگر ترکیبی اعمال گردیده است. پیشنهاد می‌شود تأثیر میراگر CTLD روی پاسخ سکوه‌ای دریایی تحت بارهای خارج از امتداد اصلی نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

۹- مراجع

- تفاخر ح، "بررسی رفتار دینامیکی سکوه‌ای فراساحلی شابلونی مجهز به سیستم میراگر مایع تنظیم شده (TLD) تحت تحریک لرزه‌ای"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۲.
- Al-Saif KA, Aldakhan KA, Foda MA, "Modified liquid column damper for vibration control of structures", *International Journal of Mechanical Sciences*, 2011, 53 (7), 505-512.
- American Petroleum Institute (API), "Recommended practice for planning, design and constructing fixed offshore platforms-working stress design (RP2A-WSD)", 21th Edition, Washington DC, US, 2000.
- Bargi Kh, Hosseini SR, Tadayon MH, Sharifian H, "Seismic response of a typical fixed jacket-type offshore platform (SPD1) under sea waves", *Open Journal of Marine Science*, 2011, 1 (2), 36-42.
- Chatterjee T, Chakraborty S, "Vibration mitigation of structures subjected to random wave forces by liquid column dampers", *Ocean Engineering*, 2014, 87, 151-161.
- Di Mateo A, Lo Iacono F, Navarra G, Pirrotta A, "Direct evaluation of equivalent linear damping for TLCD systems in random vibration for pre-designing purpose", *International Journal of Nonlinear Mechanics*, 2014, 63, 19-30.
- Frandsen JB, "Numerical prediction of tuned liquid tank structural systems", *Journal of Fluids and Structures*, 2005, 20 (3), 309-329.
- Housner GW, "Dynamic pressures on accelerated fluid containers", *Bulletin of the Seismological Society of America*, US, 1957.
- Jin Q, Li X, Sun N, Zhou J, Guan J, "Experimental and numerical study on tuned liquid dampers for controlling earthquake response of jacket offshore platform", *Marine Structures*, 2007, 20 (4), 238-254.
- Lee H, "Stochastic analysis for offshore structures with added mechanical dampers", *Ocean Engineering*, 1997, 24 (9), 817-834.
- Lotfollahi-Yaghin MA, Ahmadi H, Tafakhor H, "Seismic response of an offshore jacket-type platform incorporated with tuned liquid dampers",

زمانی قرار گرفت. پس از صحت‌سنجی مدل اجزای محدود و طراحی سیستم CTLD، رفتار سازه در دو حالت با و بدون CTLD مقایسه شد. نتایج به دست آمده، که به شکل زیر خلاصه می‌شوند، می‌توانند در طراحی سکوه‌های جدید و همچنین بهسازی لرزه‌ای سکوه‌های موجود مفید باشند.

جهت افزایش تأثیر میراگر مایع تنظیم شده در کاهش ارتعاش سازه، فرکانس مود اول نوسان سیال داخل مخزن می‌بایست مساوی فرکانس اصلی ارتعاش سازه باشد. با توجه به این اصل، سیستم CTLD پیشنهادی برای مطالعه موردی سکوی SPD1، دو مخزن با ابعاد $3 \times 3 \times 3$ متر هستند که تا ارتفاع $1/5$ متر از آب پر شده‌اند و از طریق یک رابط مکعبی به ابعاد $0/8 \times 3 \times 0/8$ متر به هم متصل گردیده‌اند.

برای تعیین میزان کاهش پاسخ سازه نسبت به شرایطی که سازه بدون میراگر است، دو حالت برای سازه مجهز به CTLD در نظر گرفته شد. در حالت اول، ارتباط بین دو مخزن برقرار بوده و در حالت دوم ارتباط بین آن‌ها مسدود بود. در این دو حالت، یک سری مدل‌سازی تحت بارگذاری‌های موج و زلزله صورت گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده، مشخص شد که سیستم CTLD در هر دو وضعیت ارتباط برقرار و ارتباط مسدود، باعث کاهش پاسخ سازه می‌شود. اما میزان کاهش در پاسخ سازه تحت اثر زلزله در وضعیت ارتباط مسدود بیشتر است؛ در حالی که تحت اثر امواج، میزان کاهش در جابجایی و شتاب سازه در وضعیت ارتباط برقرار بیشتر بود.

نتایج نشان دادند که استفاده از سیستم میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی می‌تواند منجر به کاهش قابل توجهی در پاسخ‌های دینامیکی سکو گردد. حداکثر میزان کاهش در جابجایی عرشه فوقانی سکوی SPD1 تحت اثر زلزله حدود 13% بوده و بیشترین مقدار کاهش در جابجایی و شتاب عرشه فوقانی سکو تحت اثر بارگذاری امواج حدود 20% به دست آمد.

۸- موضوعات پیشنهادی برای تحقیقات آتی

- با توجه به این که در عرشه فوقانی محدودیت فضا وجود دارد، قرار دادن CTLD در عرشه تحتانی برای مقاصد عملی می‌تواند بسیار مفید باشد. پیشنهاد می‌شود تحقیق حاضر برای وضعیت نصب CTLD در عرشه تحتانی و جانمایی بهینه تکرار گردد.
- در این پژوهش، از روش طول معادل برای مدل‌سازی شمع-ها استفاده شده است. پیشنهاد می‌شود پژوهش حاضر، با لحاظ نمودن اندرکنش شمع و خاک تکرار گردد.
- پیشنهاد می‌شود تأثیر محل قرارگیری CTLD در پلان عرشه، روی میزان کاهش پاسخ سازه بررسی شود.

- Advances in Structural Engineering, 2016, 19 (2), 227-238.
- Love JS, Tait MJ, "A preliminary design method for tuned liquid dampers conforming to space restriction", Engineering Structures, 2012, 40, 187-197.
- Marivani M, Hamed MS, "Numerical simulation of structure response outfitted with a tuned liquid damper", Computers & Structures, 2009, 87 (17-18), 1154-1156.
- Sun LM, Fujino Y, Pacheco BM, Chaiseri P, "Modelling of tuned liquid damper (TLD)", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1992, 43(1-3), 1883-1894.
- Tamura Y, Fuji K, Ohtsuki T, Wakahara T, Kohsaka R, "Effectiveness of tuned liquid dampers under wind excitation", Engineering Structures, 1995, 17 (9), 609-621.
- Vandiver JS, Mitome S, "Effect of liquid storage tank on the dynamic response of offshore platforms", Applied Ocean Research, 1978, 1 (2), 67-74.
- Wakahara T, Ohyama T, Fuji K, "Suppression of wind-induced vibration of a tall building using tuned liquid damper", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1992, 43 (1-3), 1895-1906.
- Warnitchai P, Pinkaew T, "Modelling of liquid sloshing in rectangular tanks with flow dampening devices", Engineering Structures, 1998, 20 (7), 593-600.
- Wu GX, Ma QW, Eatock Taylor R, "Numerical simulation of sloshing waves in a 3D tank based on finite element method", Applied Ocean Research, 1998, 20 (6), 337-355.

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the Effects of Combined Tuned Liquid Damper (CTLTD) on Dynamic Behavior of Offshore Jacket-Type Platforms

Hamid Ahmadi ^{a,*}, Hossein Eyvazoghli ^b, Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin ^a

^a Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran

^b Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran 16844, Iran

Received: 17 February 2018; Accepted: 20 October 2018

Keywords:

Offshore jacket-type platforms, Combined tuned liquid damper (CTLTD), Dynamic analysis, Passive control.

1. Introduction

In the present paper, the efficiency of combined tuned liquid damper (CTLTD) in controlling the dynamic responses of offshore jacket platforms under the earthquake and sea wave excitation is investigated. This type of damping system consists of one or more tanks containing a fluid, generally water or oil, which can be installed on the topside (superstructure) of the platform. During the excitation, hydrodynamic action induced by the sloshing of the water in the tank acts as a resistant force against the vibration and controls the structural response. In fact, due to the oscillation of the structure, the fluid inside the tank begins to oscillate in the opposite direction. During this process, most part of the fluid has a wave-like oscillatory motion, while the part adjacent to the tank's floor experiences a rigid-type displacement and exerts impact pressures to the tank's walls. In order to attain maximum decrease in the structural response, the oscillation frequency of the fluid inside the tank should be near the natural frequency of the structural free vibration which can be determined by performing a modal analysis. Hence, one of the objectives of the present study is to adjust the frequency of fluid's oscillation based on the natural frequency of the jacket structure. In other words, the aim is to find a frequency range in which the maximum decrease can be achieved in the amplitude of structural responses. In this research, using the FE software ANSYS, a jacket-type platform having dimensions appropriate for the Persian Gulf climate (case study: SPD1 platform) was modeled and then dynamically analyzed by the modal and time-history approaches subjected to the records of El Centro and Tabas earthquakes as well as 10 cases of wave loading with different height and period. The CTLTD system was optimally designed and after the verification of FE results, the dynamic responses of the jacket-type platform with and without CTLTDs were compared.

2. FE modeling and analysis

2.1. Modeling of the jacket

To model the jacket, the elements which are capable of determining hydrostatic and hydrodynamic effects of waves and added mass should be used. Element PIPE59 of ANSYS software has this ability. Inertia and drag coefficient were assumed 2.0 and 0.7, respectively. To add the wave loading, *Water Table* option in characteristics part of PIPE59 was used.

2.2. Modeling of piles

If the goal of analyzing a stationed jacket-type platform is to investigate the behavior of the whole structure, simple models can be used to consider the interactions between soil and piles. One of these simplified methods

* Corresponding Author

E-mail addresses: h-ahmadi@tabrizu.ac.ir (Hamid Ahmadi), h_eyvazoghli@civileng.iust.ac.ir (Hossein Eyvazoghli), lotfollahi@tabrizu.ac.ir (Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin).

is the Equivalent Length method. In this research and based on previous researches, the length of penetrated pile in soil was assumed to be $12D$ which was nearly 16.5m. Element PIPE16 was used to model the piles. Piles were modeled inside the legs, for the piles and legs have the same behavior under implemented forces. Similarly, all the pile nodes were coupled with base nodes in horizontal direction.

2.3. Modeling of the deck

Platform deck of SPD1 was modeled in three stories in a way that the stories heights from water level were 13, 17.5, and 21m, respectively. Elements PIPE16 and SHELL63 were used to model the platform deck. Platform deck system is a portal frame with no braces. Element PIPE16 was used to model the deck legs. Similarly, the whole weight of equipment on the deck was considered as distributed load using element SHELL63.

2.4. Modeling of CTLDs

To increase the effect of tuned liquid dampers on decreasing the vibration of structure, the first mode frequency of the liquid inside the tank should be equal to the main frequency of the structure vibration. In this research, to design the tuned liquid dampers and to determine the parameter values effective on its function, modal analysis was done on platform SPD1 and the first mode frequency was calculated as 0.483Hz.

The water level inside the tank was assumed to be 0.5m to determine the dimensions of the liquid tank (Lotfollahi-Yaghin et al., 2016). Then, having set the vibration frequency as 0.483Hz, the length of the tank was determined to be 3m. Afterwards, two tanks with the dimensions of 3x3x3m were modeled in ANSYS with the water level of 1.5m inside the tanks.

Element SHELL63 was used to model the tank and connector. Similarly, element FLUID80 was used to model the liquid inside the tank and connector. Elasticity modulus assumed for element FLUID80 is the bulk modulus of water. To include the interaction between tank and fluid, fluid and tank nodes matched on one another were coupled in vertical direction to the tank wall.

2.5. Wave and earthquake loading

In this survey, a set of time-series analyses was conducted on the platform under wave and earthquake loads. The goal of using CTLDs was to decrease the structural response to both wave and earthquake loads. In the present research, 10 cases were considered for the wave characteristics: Two wave heights of 9.7 and 12.2m; and five periods of 8, 9, 10, 11, and 12s. Stokes wave theory was implemented.

Two earthquake records were used and implemented as lateral load on the base-level of the structure. The used acceleration records are Tabas earthquake in Iran (1978) and El Centro earthquake in the US (1940). As the goal of this research was only to compare the relative responses of the structure, mentioned records are assumed to have their maximum values all the time with the maximum surface acceleration value of 0.35g.

3. Results and discussion

3.1. Modal analysis

To determine the mode shapes and natural frequencies of the platform vibration, modal analysis was conducted on the FE model of the platform SPD1 without CTLD. The frequency results were used for verification of the FE model, designing of CTLD system, and defining Rayleigh damping in analyzing the time history.

Having compared first ten generated frequencies of the model with the frequencies of the platform SPD1, acquired from Bargi et al. (2011), it was then shown that the model has acceptable accuracy. Moreover, the results indicate that there is a fine similarity between the results from the first two modes of the real platform and the model. However, the differences tend to increase in higher frequencies, the reason of which, according to Bargi et al. (2011), is the modeling of piles using equivalent length technique.

3.2. Specifying the state of the connection

First off, to determine the level of decrease in structure response with respect to the condition that there is no damper in the structure, two conditions were considered for the structure using CTLD. In the first condition, there was a connection between the two tanks where in the second condition, the connection between the tanks was blocked. In these conditions, the modeling was done for two different loading: 1) Loadings of Tabas earthquake, and 2) A wave with the height of 12.2m and period of 10s.

Table 1. The maximum amount of displacement decrease in two CTLD conditions (with and without connection)

Loading	CTLTD with open connection	CTLTD without connection
Tabas earthquake	9.41%	11.36%
Wave ($H = 12.2\text{m}$, $T = 10\text{s}$)	12.67%	8.55%

According to the acquired data presented in Table 1, it was shown that the CTLD system leads to a decrease in structure response in both situations—the connection between the tanks and without connection. The decrease in structure response under the earthquake load and with blocked connection was higher, while under the wave loading, the displacement was lower in connection condition between tanks.

3.3. CTLD effect on the acceleration at the highest platform elevation

The level of acceleration decrease in upper deck of the platform under wave force with different heights (9.7 and 12.2m) and different periods (8, 9, 10, 11, and 12s) was investigated in this research using CTLD (with connection). Results assert that by using this system, the upper deck of the platform experiences much less acceleration. The maximum amount of acceleration decrease in the upper deck of the platform SPD1, which was under the wave force with the wave height of 12.2m and period of 9s, was 22%.

4. Conclusions

In this research, a jacket-type platform with proportional dimensions for Persian Gulf (platform SPD1 as case study) was modeled with FE software ANSYS under loading of wave and earthquake in two conditions of with and without CTLD. Modal analysis and time history analyses were also conducted in this research. Having verified the model and designed the CTLD system, structure behavior with and without CTLD was investigated. Acquired results can be used to upgrade the seismic feature of present platforms as well as the new ones.

5. References

- Bargi Kh, Hosseini SR, Tadayon MH, Sharifian H, "Seismic response of a typical fixed jacket-type offshore platform (SPD1) under sea waves", *Open Journal of Marine Science*, 2011, 1 (2), 36-42.
- Lotfollahi-Yaghin MA, Ahmadi H, Tafakhor H, "Seismic response of an offshore jacket-type platform incorporated with tuned liquid dampers", *Advances in Structural Engineering*, 2016, 19 (2), 227-238.