

بررسی آزمایشگاهی کاربرد میراگر جرم تنظیم شده در کنترل پاسخ سکوی پایه کششی لطیف نیک مهر^۱، محمدرضا تابش پور^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی دانشگاه صنعتی شریف؛ latif.nikmehr@yahoo.com

^۲ استادیار، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی دانشگاه صنعتی شریف؛ tabeshpour@sharif.edu

چکیده

در مطالعات پیش‌رو عملکرد میراگر جرم تنظیم شده به‌عنوان یک سیستم کنترل سازه‌ای غیرفعال در کاهش پاسخ دینامیکی درجه آزادی سرج سکوی پایه کششی تحت بار موج به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. کاهش دامنه پاسخ درجات آزادی سکوی پایه کششی تحت نیروی موج که بار محیطی غالب در محیط دریاها و اقیانوس‌ها می‌باشد از آن جهت حائز اهمیت است که با کاهش دامنه پاسخ حرکات سکو، دامنه تنش‌های ایجاد شده در تندون‌های سکوی پایه کششی کاهش یافته و در نتیجه عمر خستگی خطوط مهار افزایش می‌یابد. در این مطالعات، آزمایش‌ها روی یک مدل سکوی پایه کششی مجهز به میراگر جرم تنظیم شده‌ای که با توجه به مشخصات دینامیکی سکوی مدل طراحی شده بود انجام گرفت. برای تحریک سیستم از امواج منظم با دوره تناوب‌های متفاوت استفاده گردید. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از میراگر ذکر شده در کاهش پاسخ سرج سکوی پایه کششی در محدوده امواج متعارف، با مفهوم کلاسیک میراگرهای جرمی تنظیم شده یعنی تنظیم فرکانس میراگر با فرکانس سازه، کارایی ندارد.

کلمات کلیدی: سکوی پایه کششی، میراگر جرم تنظیم شده، کنترل غیرفعال، عملگر دامنه پاسخ

مقدمه

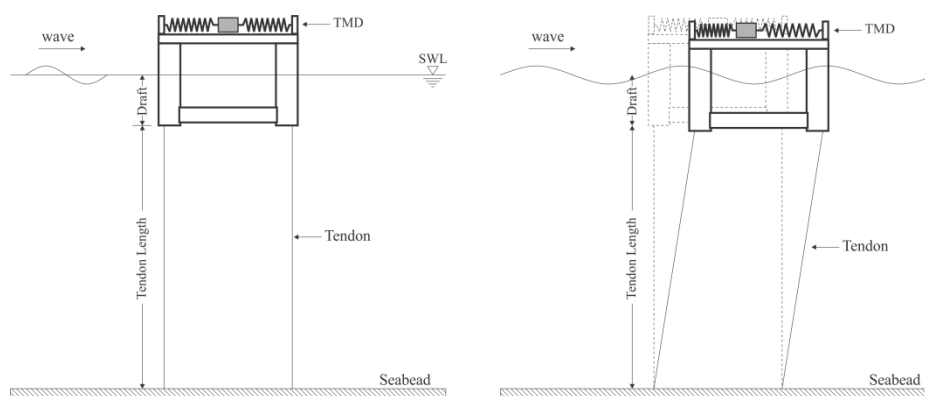
سکوهای دریایی همواره تحت اثر بارهای محیطی مثل امواج، باد و جریان قرار دارند. گاهی این بارهای محیطی به‌گونه‌ای هستند که باعث ارتعاش با دامنه‌های زیاد در این سکوها شده و منجر به کاهش ایمنی و کاهش عمر خستگی در نقاط مختلف سازه سکو می‌شوند. این ارتعاشات علاوه بر آسیب‌های سازه‌ای باعث ایجاد یک محیط ناپایدار برای ماشین‌آلات و خدمه شده و بدین‌گونه باعث پایین آمدن بازده کاری سکوهای دریایی می‌گردند. کاهش پاسخ دینامیکی سکوهای دریایی همیشه یک چالش به حساب می‌آمده زیرا پایش دقیق حرکات آنها دارای دشواری‌هایی بوده و همچنین جای یک سیستمی که بتواند این ارتعاشات را کاهش دهد در حالی که قابلیت نصب در این سازه‌ها را داشته‌باشد، خالی بوده است [۱]. یکی از انواع سکوهای مناسب برای استخراج نفت و گاز از آب‌های عمیق، سکوی پایه کششی می‌باشد که خطوط مهار آن‌ها مهم‌ترین وجه تمایز این سازه‌ها با سایر سکوها می‌باشند. به این نوع از خطوط مهار که همواره تحت کشش ناشی از شناوری اضافه ایجاد شده توسط بدنه سکو قرار دارد، تندون گفته می‌شود که مهم‌ترین قسمت این سکو از نقطه نظر تأثیر بر رفتار دینامیکی و عمر خستگی سازه نیز همین تندون‌ها می‌باشند [۲]. این نوع از خطوط مهار، نسبتاً سختی محوری بالایی دارند و بدین طریق تقریباً تمام حرکات عمودی سکو یعنی حرکات هیو، رُل و پیچ را محدود می‌کنند. در اثر بارهای محیطی وارده مثل نیروی موج که دارای ماهیت تناوبی می‌باشد و متعاقباً حرکات سکوی پایه کششی که آن نیز تناوبی خواهد بود، سیکل‌های بارگذاری شدیدی روی تندون‌ها اعمال شده و این عامل باعث کاهش عمر خستگی در تندون‌ها می‌گردد. بدین ترتیب افزایش عمر خستگی تندون‌ها و در نتیجه افزایش عمر کاربری سکو یک چالش به حساب می‌آید. یکی از روش‌های افزایش عمر خستگی تندون‌ها، کاهش دامنه تغییرات تنش در آنها بوده که این مهم از طریق کاهش دامنه پاسخ سکوی پایه کششی تحت تحریک بار موج وارده، امکان پذیر است. امروزه یکی از روش‌های کاهش پاسخ سازه‌ها تحت تحریک‌های محیطی وارده، استفاده از انواع تجهیزات کنترل سازه‌ای غیرفعال می‌باشد. یکی از این تجهیزات، میراگر جرم تنظیم شده بوده که تاکنون روی آن مطالعات بسیاری انجام گرفته و حتی از آن‌ها به‌صورت کاربردی در انواع سازه‌های عمرانی مثل آسمان خراش‌ها یا دودکش‌ها برای مقابله با ارتعاشات ناشی از باد یا زلزله، استفاده شده است اما تاکنون این میراگرها در سکوهای فراساحلی به‌کار نرفته‌اند. ایده ساخت و طراحی این نوع از میراگرها بر اساس جذب انرژی توسط این سیستم در پیرو اصلی سازه می‌باشد [۳]. در مورد مطالعات مشابه انجام شده درباره کنترل غیرفعال سکوهای دریایی، واندویر و میتومه (۱۹۷۸) تأثیر مخازن نگهداری مایعات را بر پاسخ دینامیکی سکوهای ثابت بررسی کردند [۴]. آنها در مطالعات خود دریافتند که تلاطم مایعات در مخازن سکوهای ثابت، فرکانس‌های طبیعی و میرایی سکو را تغییر می‌دهد. تحلیل‌های آنها نشان می‌داد که پاسخ دینامیکی ممکن است به دلیل حضور مودهای فرکانس پایین مخازن، افزایش یابد ولی با انتخاب محتاطانه ابعاد هندسی مخازن، می‌توان مخازن را به میراگرهای جرمی‌ای تبدیل کرد که پاسخ دینامیکی سکو را کاهش دهند. گل‌افشانی و قلی‌زاد (۲۰۰۹) کارایی و عملکرد دو سیستم غیرفعال میراگر جرم تنظیم شده و میراگر اصطکاکی در سکوهای شابلونی فولادی برای کنترل ارتعاشات ناشی از موج را بررسی و با هم مقایسه نمودند [۵]. آنها در مطالعات خود پی‌بردند که کارایی هر دو میراگر با انعطاف‌پذیرتر شدن

این نوع از سکوها افزایش می‌یابد و کارایی میراگر جرم تنظیم‌شده، بسیار به مشخصات دینامیکی سکو وابسته است اما در مورد مطالعات انجام‌شده درباره کنترل غیرفعال سکوی پایه‌کششی، آلوز و باتیستا (۱۹۹۹) در مطالعات خود پیشنهاد دادند که میراگر جرم تنظیم‌شده در ستون‌های بدنه سکوی پایه‌کششی به‌منظور کاهش پاسخ درجه آزادی هیو به‌کار گرفته‌شود تا دامنه تغییرات تنش در تندون‌ها کاهش‌یافته و بدین ترتیب اثرات پدیده خستگی تقلیل پیدا کند [۶]. اسپیلان و همکاران (۲۰۰۷) ایده نوسان‌گر تنظیم‌شده را ارائه دادند که این سیستم شامل محفظه‌های عمودی بوده که از پایین به دریا راه داشته و از بالا بسته می‌باشند که هوای گیرافتاده در بالای محفظه مثل فنر و ستون آب درون محفظه نیز مانند جرم میراگر تنظیم‌شده عمل می‌کند. آنها به‌صورت آزمایشگاهی نیز صحت‌سنجی کردند که این سیستم به‌صورت قابل‌توجهی ارتعاشات سکوه‌های پایه‌کششی را کاهش می‌دهد [۷]. تافلانیس و همکاران (۲۰۰۹) میراگرهای جرمی چندتایی برای کنترل (کاهش) پاسخ دینامیکی کوپل هیو و پیچ سکوی پایه‌کششی را با روشی بر پایه شبیه‌سازی طراحی نمودند [۸]. تابش‌پور و همکاران (۲۰۱۰) اثر میراگر جرمی تنظیم‌شده بر روی نوسانات قائم سکوی پایه‌کششی را به‌صورت عددی بررسی نمودند [۹]. بررسی‌های آنها نشان می‌داد که در حالت بارگذاری هارمونیک، میراگر جرمی تنظیم‌شده در راستای قائم دامنه حرکت هیو سکو را کاهش داده ولی با فاصله گرفتن پریود بارگذاری از پریود تنظیم‌شده برای میراگر، از کارایی میراگر کاسته می‌شود. آنها همچنین پی‌بردند که عملکرد میراگر در حالت بارگذاری طیفی نسبت به بارگذاری هارمونیک کاهش می‌یابد. لی و همکاران (۲۰۱۲) اولین افرادی بودند که یک سیستم متداول از سکوه‌های شناور با پایه‌کششی مجهز به میراگر ستون مایع تنظیم‌شده که زیرمجموعه‌ای از میراگرهای جرم تنظیم‌شده می‌باشد را مورد مطالعه قرار دادند [۱۰]. از مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی آنها مشخص شد که اگر میراگر اشاره‌شده به‌طور دقیق با مشخصات دینامیکی سکوی موردنظر تنظیم‌شود، می‌تواند پاسخ سکو (دامنه ارتعاشات) را به‌طور مؤثری کاهش دهد. به‌عنوان مرتبط‌ترین مطالعه انجام‌گرفته، چاندرسکاران و همکاران (۲۰۱۶) به‌صورت آزمایشگاهی کنترل حرکت سرج سکوی پایه‌کششی با استفاده از دو میراگر جرم تنظیم‌شده با درصد جرمی‌های متفاوت تحت بار موج منظم را بررسی نمودند [۱۱]. آنها پی‌بردند که در محدوده مشخصی از دوره تناوب امواج و باتوجه به درصد جرمی میراگرها پاسخ سرج سکو به‌طور مؤثری کنترل می‌گردد.

در مطالعات پیش‌رو عملکرد و تأثیر میراگر جرم تنظیم‌شده بر روی کنترل پاسخ دینامیکی درجه آزادی سرج سکوی پایه‌کششی، ناشی از بار دینامیکی موج (که نیروی غالب می‌باشد) با زاویه برخورد صفر درجه به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور در ابتدا پاسخ مدل یک سکوی پایه‌کششی متداول در صنعت ناشی از بار موج وارد بر آن بدون نصب میراگر در آزمایشگاه، ثبت شده و سپس با در دست داشتن مشخصات دینامیکی سازه و براساس روش‌های موجود در دینامیک سازه‌ها و با توجه به خواص تحریک بار دینامیکی موج، میراگر مناسب برای این سازه در درجه آزادی موردنظر طراحی و بار دوم با نصب میراگر روی مدل، پاسخ سکو ثبت و نتایج باهم مقایسه گردید.

معادلات حرکت

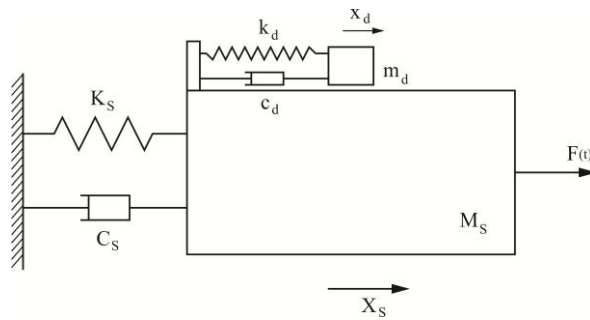
در شکل ۱ سکوی پایه‌کششی مجهز به میراگر جرم تنظیم‌شده و عملکرد آن در امواج نشان داده شده است. در مفهوم اصلی کاربرد این نوع میراگر در سکوی پایه‌کششی، محلی که برای نصب این میراگر در سکو در نظر گرفته‌شده، دو پانتون سکو واقع در راستای سرج می‌باشد ولی به‌علت عدم قابلیت مشاهده رفتار میراگر در داخل بدنه سکو، در مدل‌سازی آزمایشگاهی محل قرارگیری میراگر روی عرشه در نظر گرفته شده و به‌جای استفاده از دو میراگر در طرفین سکو از یک میراگر با جرم دو برابر در راستای میانی عرشه استفاده گردید.



شکل ۱: مدل سکوی پایه‌کششی مجهز به میراگر جرم تنظیم‌شده و عملکرد میراگر در امواج

باتوجه به اینکه در این مطالعات اثر میراگر جرم تنظیم‌شده فقط بر روی پاسخ دینامیکی درجه آزادی سرج سکوی پایه‌کششی بررسی شده است و با در نظر گرفتن اینکه حرکت سرج سکوی پایه‌کششی تأثیرپذیر از دیگر درجات آزادی سکو نمی‌باشد، سیستم سکو و میراگر را می‌توان به‌صورت یک سیستم دو درجه آزادی فرض کرده (شکل ۲) و معادلات حرکت این سیستم را به‌صورت رابطه ۱ نوشت.

$$\begin{bmatrix} m_d & m_d \\ m_d & (M_s + A_s) + m_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_d \\ \ddot{x}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_d & 0 \\ 0 & C_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_d \\ \dot{x}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_d & 0 \\ 0 & K_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_d \\ x_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ F(t) \end{Bmatrix} \quad (1)$$



شکل ۲: سیستم دو درجه آزادی سکوی پایه کششی و میراگر جرم تنظیم شده

x_d جابجایی میراگر نسبت به سکو و x_s جابجایی سرچ سکو تحت نیروی افقی وارده $F(t)$ ناشی از موج بوده، K_s سختی، C_s میرایی، M_s جرم و A_s جرم افزوده سکو در راستای سرچ می باشند. k_d سختی، c_d میرایی و m_d جرم میراگر می باشند. طراحی میراگر به گونه ای انجام می گیرد که نزدیک ترین فرکانس را به فرکانس طبیعی سرچ سکوی پایه کششی داشته باشد. همچنین اگر درصد جرمی میراگر نیز برابر درصد بیشتری از جرم سازه سکو باشد عملکرد میراگر در کنترل حرکت سرچ افزایش می یابد [۱۲].

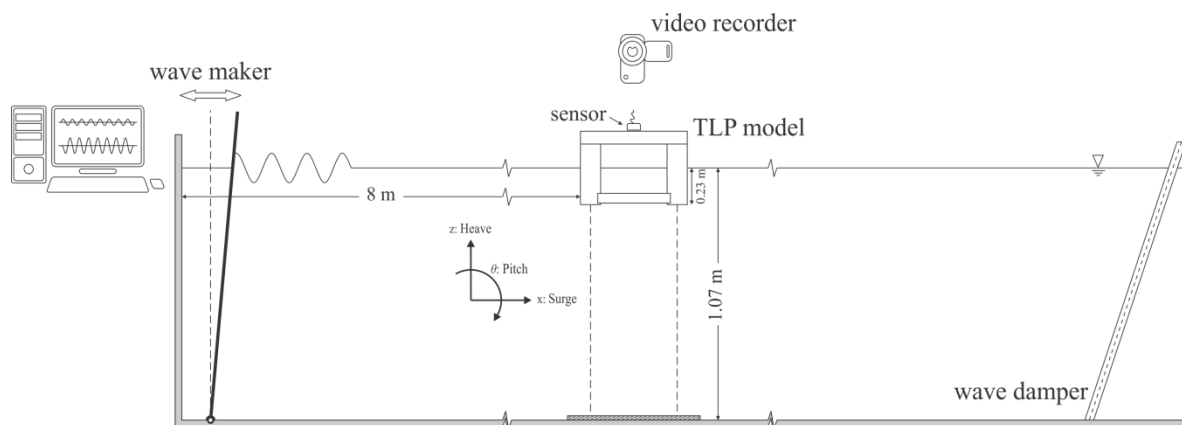
مدل سازی آزمایشگاهی

در آزمایش های سکوهای فراساحلی به دلیل اینکه سطح آزاد وجود دارد و اثرات نیروی اینرسی و نیروهای ناشی از امواج گرانشی و متعاقباً نیروی گرانشی اهمیت می یابد، عدد فرود مهم ترین اصل تشابه به حساب آمده و بدین ترتیب تشابه فرود به عنوان معیار تشابه بین نمونه واقعی و مدل استفاده می شود [۱۳]. علاوه بر مقیاس تشابه هندسی، نسبت دیگر پارامترها بین نمونه واقعی و مدل مثل جرم، سختی، نیرو، جابجایی، سرعت، شتاب و فرکانسها براساس تشابه فرود برحسب ضریب تشابه هندسی مشخص می گردد. به عنوان مثال اگر چگالی آب دریا را با چگالی آب حوضچه آزمایشگاه برابر در نظر بگیریم، نسبت جرم سکوی واقعی به مدل برابر با توان سوم ضریب تشابه هندسی خواهد بود. جدول ۱ مشخصات نمونه واقعی سکوی پایه کششی و مدل آزمایشگاهی این سکو براساس ضریب تشابه هندسی (λ) را نشان می دهد. ضریب تشابه هندسی در نظر گرفته شده ۲۰۰ می باشد.

جدول ۱: مشخصات نمونه واقعی و مدل آزمایشگاهی سکوی پایه کششی

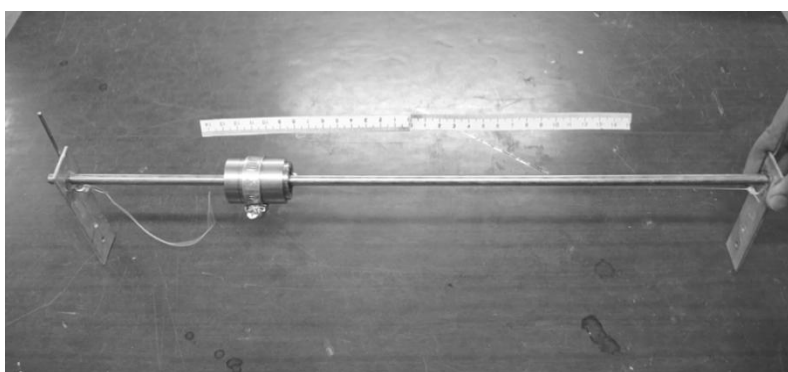
شماره	پارامتر	نمونه واقعی	مدل 1:200
1	فاصله بین ستونها	86.25 m	43.125 cm
2	ارتفاع ستونها	60.2 m	30.1 cm
3	شعاع ستونها	8 m	4 cm
4	عرض مقطع پانتونها	7 m	3.5 cm
5	ارتفاع مقطع پانتونها	11 m	5.5 cm
6	آبخور در حالت شناوری آزاد	28 m	14 cm
7	آبخور در حالت پیش کشیده	46 m	23 cm
8	تعداد تندونها	12	4
9	جرم	42.64×10^6 kg	5.330 kg

برای بررسی پاسخ دینامیکی سکو در امواج از تشابه عدد فرود و تساوی عدد کولگان-کارپنتر برای مدل سازی موج در حالت واقعی و آزمایشگاهی استفاده می گردد. به طور مختصر می توان بیان نمود که ارتفاع موج، طول موج و عمق آب به صورت خطی و با ضریب تشابه هندسی مدل می گردد. نسبت پرید موج در دریای واقعی به پرید موج در آزمایشگاه نیز برابر جذر ضریب تشابه هندسی می باشد. جهت بررسی رفتار سکوی پایه کششی مجهز به میراگر مورد نظر در این پایان نامه، از حوضچه کشش مرکز پژوهشی مهندسی دریا در دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف استفاده گردید. شکل ۳ شماتیک حوضچه کشش مرکز پژوهشی مهندسی دریا و تجهیزات آن و محل نصب مدل سکوی پایه کششی را نشان می دهد. هرگاه یک سازه فراساحلی مثل سکوی پایه کششی در معرض امواجی منظم با دوره تناوب مشخص قرار گیرد دارای پاسخ پایدار هارمونیک خواهد بود. در این مطالعات از این ویژگی استفاده شده و عملگر دامنه پاسخ درجه آزادی سرچ مدل سکوی پایه کششی در حالات مورد نظر استخراج شده است. روش کار بدین صورت است که سکو پس از نصب در معرض چند موج منظم با دامنه و طول موج مشخص و ثابت قرار گرفته و پاسخ آن ثبت می گردد. بدین طریق با اندازه گیری پارامترهای موج و پاسخ سکو در درجه آزادی مورد نظر می توان عملگر دامنه پاسخ آن درجه آزادی را استخراج نمود.



شکل ۳: شماتیک و پارامترهای نصب مدل سکوی پایه کششی در حوضچه آزمایشگاه مهندسی دریا

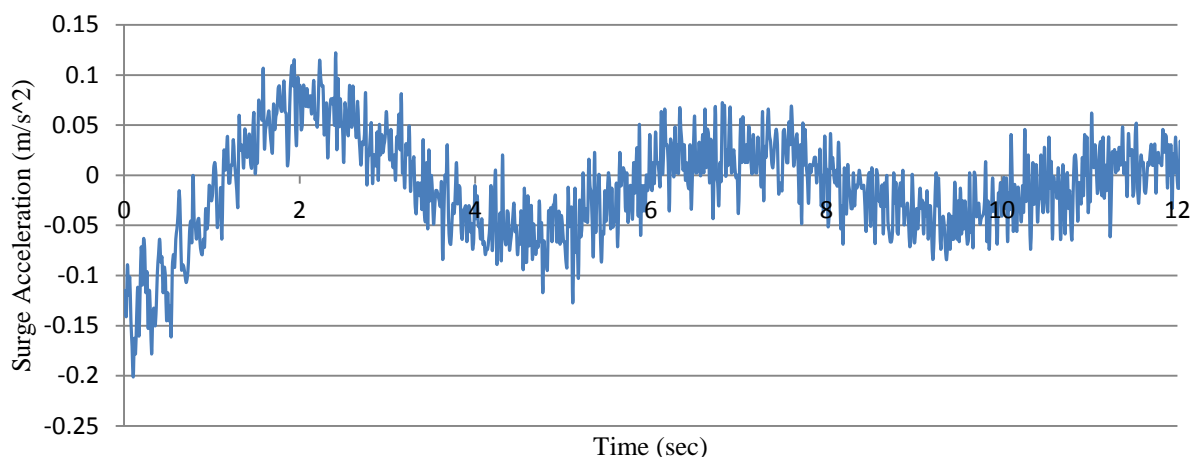
باتوجه به محدوده و قابلیت توانایی موج ساز در تولید موج، از چند موج با دوره تناوبها و ارتفاعهای مشخص به منظور تحریک مدل سکو استفاده شد و در هنگام آزمایش نیز دوره تناوب و ارتفاع موجهای تولید شده توسط موج ساز ثبت شد. حرکت سرچ سکو نیز از طریق اندازه گیری مقدار جابجایی نقطه خاصی از سکو نسبت به نقطه مرجع ثابت، ثبت گردید. از این داده های ثبت شده در فرآیند استخراج عملگر دامنه پاسخ استفاده شد. در مرحله بعد میراگر جرمی به گونه ای طراحی شد که حتی الامکان نزدیکترین فرکانس طبیعی را به فرکانس طبیعی سرچ سکو داشته باشد. در طراحی میراگر جرمی از یک میله با اصطکاک ناچیز به عنوان محور میراگر و از یک بلبرینگ خطی که قابلیت لغزش به صورت خطی روی میله و قابلیت الحاق جرم را داشته به عنوان جرم میراگر استفاده گردید. برای رسیدن به فرکانس مورد نظر در طراحی میراگر بایستی تا حد امکان سختی میراگر کم باشد که بدین منظور از کش به جای فنر در طراحی میراگر استفاده شد. همچنین جرمی برابر ۵ درصد جرم سازه سکو برای میراگر در نظر گرفته شد. پس از نصب میراگر روی مدل سکوی پایه کششی، تمام آزمایش های سکوی بدون میراگر برای سکوی مجهز به میراگر جرمی تکرار گردید. شکل ۴ میراگر طراحی و ساخته شده در حین تست ارتعاش آزاد را نشان می دهد.



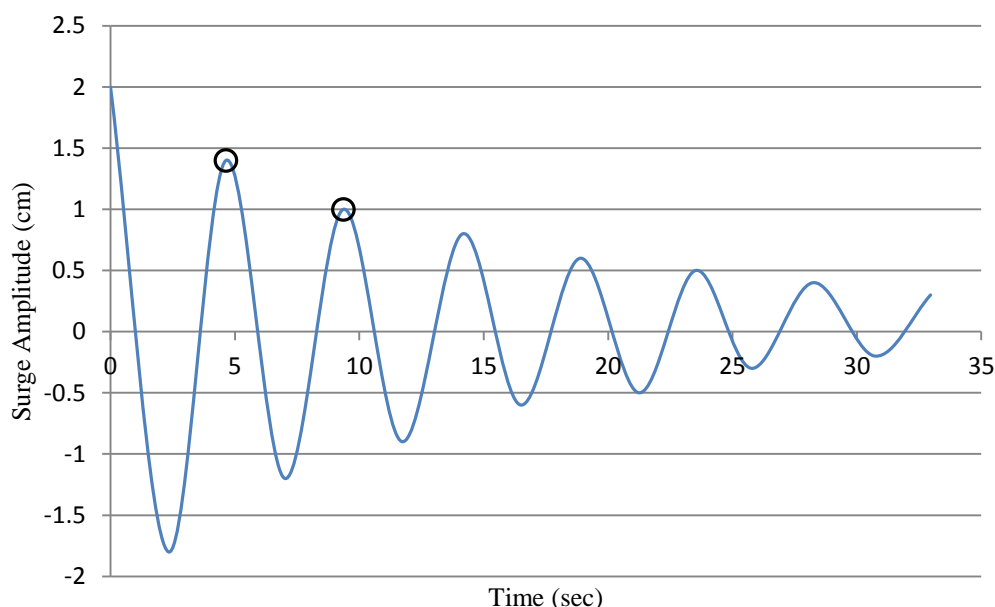
شکل ۴: تست ارتعاش آزاد میراگر جرم تنظیم شده

نتایج و بحث

در ابتدا به منظور مشخص نمودن دوره تناوب سرچ، نسبت میرایی و ضریب جرم افزوده مدل در این درجه آزادی، از تست ارتعاشات آزاد استفاده شد. نتایج بدست آمده مقدار میانگین برابر $4/7$ ثانیه را برای دوره تناوب سرچ مدل بدون میراگر نشان می داد. همچنین نسبت میرایی $0/05$ و ضریب جرم افزوده $1/39$ بدست آمد که مقادیری متداول و معقول برای سکوهای پایه کششی در راستای سرچ محسوب می گردند. در شکل ۵ و ۶ به ترتیب تاریخچه زمانی شتاب و جابجایی یکی از تست های ارتعاشات آزاد مدل سکوی پایه کششی بدون میراگر نشان داده شده است. در تست ارتعاش آزاد میراگر جرم تنظیم شده که به صورت جداگانه قبل از نصب روی مدل سکو انجام گرفت، مقدار میانگین برابر $2/2$ ثانیه برای دوره تناوب میراگر بدست آمد که علی رغم تلاش برای نزدیک کردن فرکانس میراگر به فرکانس سرچ سکو، به دلیل محدودیت های طراحی ناشی از بالا بودن دوره تناوب سرچ و محدود بودن فضای عرشه، عملاً چه در آزمایشگاه و چه در حالت واقعی طراحی چنین میراگری امکان پذیر نخواهد بود. پس از نصب میراگر روی سکوی یک بار دیگر تست ارتعاش آزاد انجام شد که نتایج نسبت به حالت سکوی بدون میراگر تغییر چندانی نمود.

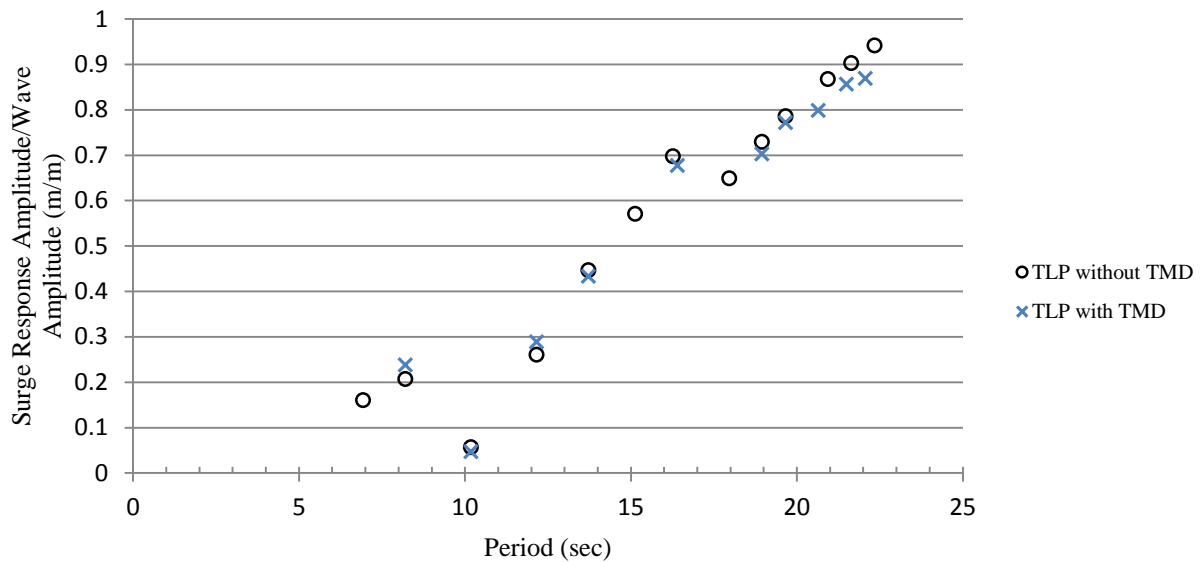


شکل ۵: تاریخچه زمانی شتاب ارتعاش آزاد مدل سکوی پایه کششی بدون میراگر



شکل ۶: تاریخچه زمانی تست ارتعاش آزاد مدل سکوی پایه کششی بدون میراگر

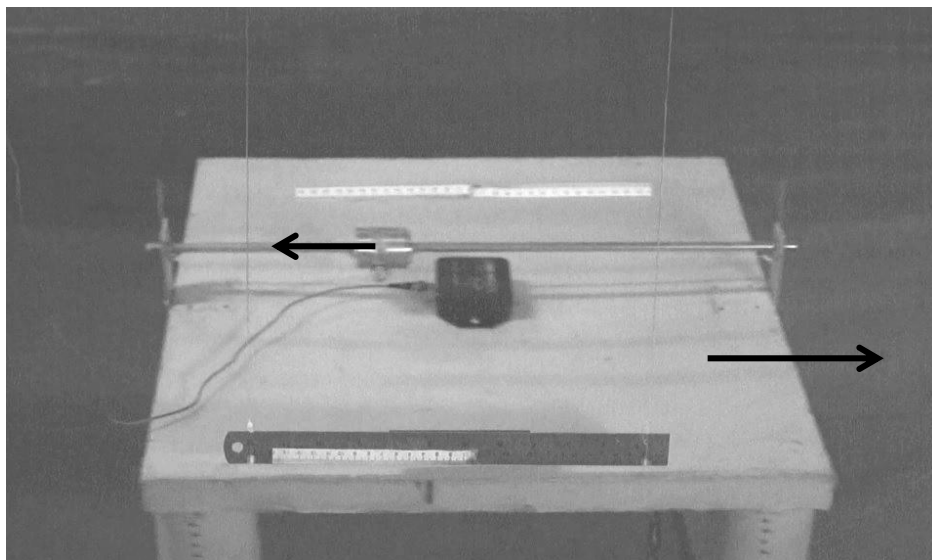
برای استخراج عملگر دامنه پاسخ سرج سکو از امواج منظم با پریودهایی بین بازه ۰/۴۹ الی ۱/۵۸ ثانیه و ارتفاعهایی برابر ۳/۷۴ الی ۷/۰۳ سانتی متر در آزمایشگاه استفاده شد که معادل امواجی با پریودهای ۶/۹۳ الی ۲۲/۳۴ ثانیه و ارتفاعهایی برابر ۷/۴۸ الی ۱۴/۰۶ متر در حالت واقعی می باشند. برای بررسی و تحلیل عملکرد میراگر استفاده شده به منظور کاهش پاسخ سرج سکوی پایه کششی، عملگر دامنه پاسخ سرج بدست آمده برای تمام سری آزمایشها برای حالت واقعی در شکل ۷ نشان داده شده است. همان طور که از نمودار عملگر دامنه پاسخ مشخص است، پاسخ سرج سکو در موج های با دوره تناوب بالا در حالت سکو با میراگر جرم تنظیم شده نسبت به حالت سکوی بدون میراگر، کاهش ناچیزی داشته و در بزرگ ترین موج وارده (نزدیک ترین فرکانس تحریک به فرکانس میراگر) کاهش پاسخ به ۱۰ درصد نیز نمی رسد. با کم شدن دوره تناوب امواج از کارایی میراگر کاسته می شود و حتی در بعضی امواج کوچک تر، پاسخ نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش پیدا کرده است. قعر نمودار عملگر دامنه پاسخ نشان داده شده در شکل ۷ که در پریود موج حدود ۱۰ ثانیه اتفاق افتاده، ناشی از نحوه وارد آمدن نیروی این موج خاص به سکو می باشد به عبارت دیگر آرایش موج روی سکو در تمام زمان عبور موج از سکو به گونه ای است که کمترین نیروی ممکن در جهت سرج در این مدت زمان به سکو وارد شده و متعاقباً پاسخ سکو نیز کمترین در این بازه از امواج خواهد بود. در این موج خاص به دلیل کم بودن پاسخ سکو عملاً میراگر به حرکت در نیامده و قادر به جذب انرژی اصلی نخواهد بود. افزایش پاسخ در موج های با دوره تناوب حدود ۸ ثانیه و حدود ۱۲ ثانیه بدین معنی است که پریود تحریک به قدری از پریود میراگر و سازه دور است که حرکت میراگر و سکو در فاز مخالف یکدیگر (همانند شکل ۸) انجام نگرفته و در نهایت میراگر باعث افزایش پاسخ سکو گردیده است.



شکل ۷: عملگر دامنه پاسخ حرکت سرچ سکوی پایه کششی

نتیجه گیری و جمع بندی

دلیل اصلی کم بودن عملکرد میراگر را می توان دور بودن فرکانس تحریک (موج) از فرکانس طبیعی میراگر و فرکانس طبیعی درجه آزادی سرچ سکو دانست. یکی دیگر از دلایل کم بودن کاهش دامنه پاسخ سرچ با توجه به جرم نسبتاً بالای میراگر در نظر گرفته شده را می توان اثرات جرم افزوده سکو در معادلات دینامیکی دانست به طوری که ضریب جرم افزوده برابر با $1/4$ در راستای سرچ، مقدار جرم مؤثر میراگر را از ۵ درصد جرم سازه سکو به ۲ درصد جرم کل سکو در معادلات حرکت کاهش می دهد. از آنجایی که نه تنها کاهش پاسخ در دوره تناوب های پایین مشاهده نشده بلکه پاسخ در این دوره تناوب های امواج افزایش پیدا کرده و دوره تناوب های بالا نیز کاهش پاسخ بسیار ناچیزی داشته اند و چون این محدوده از امواج، امواج بسیار بزرگ و شدید با احتمال وقوع کم در دوره هایی بلندمدت می باشند به همین دلیل از یافته های آزمایشگاهی می توان نتیجه گرفت که استفاده از این نوع میراگر در کاهش پاسخ سرچ سکوی پایه کششی در محدوده امواج محتمل با فلسفه کلاسیک طراحی این میراگرها یعنی تنظیم فرکانس میراگر با فرکانس سازه در کنار محدودیت های ساخت و جانمایی آن ها، توجیه فنی و اقتصادی نخواهد داشت.



شکل ۸: مدل سکوی پایه کششی به همراه میراگر جرم تنظیم شده تحت بار موج

مراجع

- [1] Lee, H. H., Wong, S. H. and Lee, R. S., "Response mitigation on the offshore floating platform system with tuned liquid column damper", *Ocean Engineering*, Vol. 33, pp. 1118-1142, 2006.
- [۲] تابش پور، محمدرضا، گل افشانی، علی اکبر، سیف، محمدسعید، "برخی ملاحظات طراحی و اجرای سکوی پایه کششی"، هشتمین همایش صنایع دریایی، بوشهر، ۱۳۸۵.
- [۳] تابش پور، محمدرضا، گل افشانی، علی اکبر، سیف، محمدسعید، "روشهای عملی در بهینه سازی و کنترل ارتعاش سیستم‌های استخراج نفت از آب‌های بسیار عمیق"، هفتمین همایش صنایع دریایی، انجمن مهندسی دریایی ایران.
- [4] Vandiver, J. K. and Mitome, S., "Effect of liquid storage tanks on the dynamic response of offshore platforms", *Applied Ocean Research*, Vol. 1, pp. 67-74, 1979.
- [5] Golafshani, A. A. and Gholizad, A., "Passive devices for wave induced vibration control in offshore steel jacket platforms", *Civil Engineering*, Vol. 16, pp. 443-456, 2009.
- [6] Alves, R. M. and Batista, R. C., "Active/passive control of heave motion for TLP type offshore platform" International offshore and polar engineering conference, France, 1999.
- [7] Spillane, M. W., Rijken, O. R. and Leverette, S. J., "Vibration absorbers for deepwater TLP's" International Offshore and Polar Engineering Conference, Portugal, 2007.
- [8] Taflanidis, A. A., Angelides, D. C. and Scruggs, J. T., "Simulation-based robust design of mass dampers for response mitigation of tension leg platforms", *Engineering Structures*, Vol. 31, pp. 847-857, 2009.
- [۹] تابش پور، محمدرضا، دهخوارقانیان، ودود، دولتشاهی، محرم، "اثر میراگر جرمی تنظیم شده بر روی نوسانات قائم سکوی پایه کششی"، دوازدهمین همایش صنایع دریایی، زیباکنار، ۱۳۸۹.
- [10] Lee, H. H., Juang, H. H., "Experimental study on the vibration mitigation of offshore tension leg platform system with UWTLCD", *Smart Structures and Systems*, Vol. 9, pp. 71-104, 2012.
- [11] Chandrasekaran, S., kumar, D. and Ramanathan, R., "Response control of tension leg platform with passive damper: experimental investigations", *Ships and Offshore Structures*, 2016.
- [12] Soong, T. T. and Dargush, G. F., *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, John Wiley, 1997.
- [13] Chakrabarti, S. K., *Handbook of Offshore Engineering*, Vol. 2, Elsevier Science, 2005.

Experimental Investigation of Using Tuned Mass Damper in Response Control of Tension Leg Platform

Latif Nikmehr¹, Mohammadreza Tebeshpour²

¹ Master Student, Sharif University of Technology, Center of Excellence in Hydrodynamics and Dynamics of Marine Vehicles; latif.nikmehr@yahoo.com

² Assistant Professor, Sharif University of Technology, Center of Excellence in Hydrodynamics and Dynamics of Marine Vehicles; tabeshpour@sharif.edu

Abstract

In this study, performance of Tuned Mass Damper (TMD) as a passive structural control system to reduce the surge dynamic response of Tension Leg Platform (TLP) under wave load, evaluated and analyzed experimentally. Mitigation of platform response under wave load is important since wave load is the dominant environmental load in seas and oceans and reduction in response amplitude of platform cause reduction in stress range in tendons and therefore increases the fatigue life of mooring lines. In this study, tests was performed on a TLP model equipped with the TMD that was designed according to the dynamic characteristics of the model platform. Regular waves with different periods were used to excite the system. The results indicate that using the aforementioned damper in reducing the surge response of TLP within normal waves with the classic concept of the TMDs hence adjustment of the damper frequency to the structure frequency, doesn't have efficiency.

Keywords: Tension Leg Platform, Tuned Mass Damper, Passive Control, Dynamic Response, Response Amplitude Operator, Wave Load