استفاده از مخزن خارجی به عنوان میراگر مایع تنظیم شونده برای کاهش جابجایی تک پایه دریایی در برابر تحریک لرزه ای

نعیم اسلامی شهربابکی [۱] ، مسعود نکوئی [۲*] ، مجید قدسی حسن آباد [۳]

[۱] دانشجوی دکترا/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، naeimeslamishahrbabaki@gmail.com
[۲] استادیار/ عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، nekooei@srbiau.ac.ir
[۳] استادیار/ عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، m.ghodsi@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶

کلمات کلیدی:
سکوی تک پایه دریایی
میراگر مایع تنظیم شونده
تحریک لرزه ای
نرم افزار ANSYS
مدول Transient

چکیده

در این مقاله کارایی یک مخزن خارجی به عنوان یک میراگر مایع تنظیم شده در کنترل پاسخ های دینامیکی سکوهای تک پایه دریایی تحت بارهای لرزه ای مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از این نوع مخزن باعث میشود تا نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از حرکت سطح آب در مخزن به عنوان نیروهای مقاوم در برابر جابجایی سازه عمل کنند. در این تحقیق، با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ANSYS و مدول Transient Analysis سازه ای تک پایه با ابعادی متناسب با نمونه های موجود به همراه یک مخزن خارجی به عنوان میراگر در بالاترین تراز ممکن، مدلسازی شده و سپس با استفاده از روش تاریخچه زمانی تحت سوابق سه زلزله برای بارهای لرزه ای، تجزیه و تحلیل شد. جهت مدلسازی مخزن از المان Solid85 و برای سیال درون آن از المان Fluid80 استفاده شده است. تغییر مکان بالای سکو در حالت با و بدون میراگر مقایسه گردید که نتایج نشان از کاهش جابجایی سازه حتی بیش از پنجاه درصد بسته به شتابنگاشت زلزله و محتوای فرکانسی دارد.

Exterior Reservoir as a Tuned Liquid Damper to Reduce Offshore Mono-Tower Displacement against Seismic Loads

Naeim Eslamishahrbabaki[1], Masoud Nekooei[2*], Majid Ghodsi Hassanabad[3]

[1] PHD Student, Azad University of Science and Research Branch, naeimeslamishahrbabaki@gmail.com
[2] Assistant Professor, Azad University of Science and Research Branch, nekooei@srbiau.ac.ir
[3] Assistant Professor, Azad University of Science and Research Branch, m.ghodsi@srbiau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 13 Dec. 2021
Accepted: 16 May. 2022

Keywords:
Tuned Liquid Damper
Offshore Mono-tower Platform
Seismic Excitation
ANSYS Software
Transient Module

ABSTRACT

The efficiency of an exterior reservoir as a Tuned Liquid Damper in controlling dynamic responses of offshore Mono-tower platforms under seismic loads has been investigated in present research. Hydrodynamic forces due to water surface movement in the reservoir act as resistant forces against structure displacement. In this research, using finite element software ANSYS utilizing transient module, a mono-tower structure having dimensions matched to the samples in the Persian Gulf climate with an exterior tank at the top, was modeled and then analyzed by transient time history method subjected to the records of three earthquake for seismic loads. The external damper tank is modeled by Solid85 and Fluid80 element employed as inside water to reflect the displacement of the fluid inside the tank. Top displacement of the mono-tower platform with and without TLD were compared and generally show that using mentioned exterior reservoir as a TLD reduced structure response more than 50 percent.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

۱ - مقدمه

سکوهای دریایی از مهمترین سازه های مورد استفاده در آبهای عمیق و کم عمق جهت استخراج و یا پالایش نفت، گاز و سایر میعانات از عمق دریا مورد استفاده قرار میگیرد که ممکن است در دو نوع اصلی ثابت و شناور، مورد استفاده قرار گیرد. سکوهای دریایی ثابت به دلیل طراحی ، کاربری و نصب آسان در آبهای کم عمق به وفور مورد استفاده قرار می گیرند که از انواع ساده و پر کاربرد آن می توان به تک پایه های دریایی اشاره کرد. این نوع سکوها به عنوان زیرسازه برای توربینهای بادی و یا روسازه های بدون سرنشین با وزن کم گزینه مناسبی به شمار می آیند که با استفاده از فونداسیون های شمعی مکشی قابلیت تثبیت در بستر دریا را خواهند داشت. بهره برداری از ذخایر نفت و گاز در دریا یکی از کاربردهای اصلی سکوهای دریایی است و آنها در معرض نیروهای دریا از امواج ، جریان ها ، باد و زلزله قرار می گیرند. روشها و مصالح جدید امکان ساخت سازه های بلندتر، منعطف تر و سبک را به طراحان میدهد لیکن با اینکه این سازه های سبک اقتصادی تر نیز هستند، نسبت به تحریکات لرزه ای حساسند و شتاب دینامیکی میتواند باعث جابجایی بیش از حد و آسیب رسیدن به سازه و المانهای آن باشد لذا کنترل ارتعاش سازه را می توان در راستای کاهش متریال فولادی مصرفی، کارایی و قابلیت اطمینان سازه ها در نظر گرفت و استفاده از سیستم کنترل با محدود کردن دامنه جابجایی ها می تواند در افزایش عمر و کارایی سازه موثر باشد. متداول ترین روش برای کنترل سازه ها در برابر نیروهای لرزه ای و موجی ، استفاده ساده از میراگرهای فعال یا غیر فعال برای جذب انرژی تحریک است. میراگرها به سه دسته فعال ، غیرفعال و نیمه فعال تقسیم می شوند. سیستم های غیرفعال با بهبود رفتار دینامیکی سازه، میرایی غیر مستقیم بر سازه اعمال می کنند. برای کارکرد یک سیستم کنترل غیرفعال نیازی به توان خارجی نیست و از حرکت سازه برای توسعه نیروهای کنترل استفاده می کند و این دلیلی است که به دلیل هزینه نسبتاً کم و اجرای آسان آن نسبت به سایر موارد باعث توجه و استفاده بیشتر می شود. در سازه های دریایی مانند جکتهای ثابت و همچنین سکوهای شناور تحقیقاتی در مورد کنترل پاسخ سازه ناشی از امواج دریایی و زمین لرزه انجام شده است اما اطلاعات کمی در مورد روش کنترل تک پایه ها علی الخصوص روسازه های بدون سرنشین وجود دارد.

برخی از سیستم های غیرفعال میراگرهای تنظیم شونده مایع و میراگرهای جرمی مایع هستند. در این مقاله یک مطالعه دقیق برای بررسی نوعی میراگر مایع در یک تک پایه ثابت دریایی انجام شده است. یک مخزن خارجی که به بدنه تک پایه متصل است و امکان ساخت و نصب آن با وزن کم بر روی تک پایه در خشکی میسر میباشد، استفاده شده است تا به عنوان یک میراگر مایع و نیروهای هیدرودینامیکی که از حرکت مایع درون مخزن حاصل می شود، به عنوان یک نیروی مخالف برای کاهش پاسخ سازه در برابر تحریکات زلزله عمل کند. در نتیجه نیروهای موج و زلزله ، مایع مخزن دارای نوسان است و باعث می شود مایع به دیواره مخزن برخورد کند. به منظور کاهش جابجایی سازه ، بهتر است فرکانس نوسان سیال به فرکانس طبیعی نوسان سازه نزدیک باشد.

در این تحقیق مروری بر تحقیقات پیشین در ارتباط با استفاده از میراگر بر روی سکوهای دریایی صورت گرفته و به دنبال آن با بررسی روابط بنیادی مورد استفاده در تعیین میزان فرکانس تلاطم در میراگرهای مایع تنظیم شونده و اهمیت انطباق آن با فرکانس طبیعی سازه، یک تک پایه دریایی با روسازه بدون سرنشین با ارتفاع متناسب برای آبهای خلیج فارس تحت زلزله های طبس، ال سنترو و کوبه با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ANSYS با تحلیل تاریخچه زمانی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه پاسخ جابجایی سازه در حالتی که بدون میراگر است با وضعیتی که مخزن میراگر مایع بر روی آن قرار دارد، مقایسه شده که نتایج نشان از تاثیرات مثبت استفاده از این نوع میراگر به شکل یک مخزن خارجی بر روی تکپایه ثابت دریایی دارد.

از مدتها قبل سیستم های میراگر مایع تنظیم شونده (TLD) توسط تعداد زیادی از محققین مورد بررسی قرار گرفته است. Vandiveو Mitomes (۱۹۸۷) اثر مخزن های ذخیره مایع روی پاسخ دینامیک را روی سکوهای فراساحل مورد بررسی قرار دادند. بررسی های انجام شده از این تحقیق نشان دهنده تاثیر میراگر مایع تنظیم شده در کاهش پاسخ یک سکوی دریایی در اثر باد بوده است و با استفاده از روش تحلیلی نشان داد که چگونه تلاطم سیال در مخزن مستقر رویبک سازه فراساحل باعث تغییر در فرکانس طبیعی آن و کاهش پاسخهای سازه میگردد [۱] .

Lee و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی کاربرد میراگرهای ستون مایع تنظیم شونده (TLCD) در سکوهای پایه کششی شناور فراساحل با روش آزمایشگاهی پرداختند. نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که بین ۵۵ تا ۷۵ درصد میراگر میتواند در سازه مورد نظر بصورت مثبت انجام وظیفه نماید [۲] .

Jin Qiao و همکاران (۲۰۰۷) تاثیر وجود یک مخزن مایع استوانه ای به عنوان میراگر مایع تنظیم شونده با فرکانس تلاطم نزدیک به فرکانس طبیعی جکت را بر کاهش پاسخ جابجایی و شتاب زلزله را با استفاده از روش های عددی و آزمایشگاهی بر رویبک نمومه موردی جکت مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها بیانگر این مهم است که هرچقدر وزن سیال مخزن افزایش یابد، تاثیر کنترلی آن به عنوان میراگر بر پاسخ سازه بیشتر است لیکن اگراضافه کردن مخرن به سازه بیش از ۵ درصد وزن سازه را افزایش دهد، توجیه اقتصادی طرح را

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

به دنبال نخواهد داشت. این مقاله همچنین کلید کنترل سازه را نزدیک بودن فرکانس طبیعی سازه و فرکانس تلاطم سیال داخل مخزن میداند [۳] .

Colwell و Basu (۲۰۰۹) به بررسی اثر میراگرهای ستون مایع تنظیم شونده (TLCD) در توربین های بادی فراساحل تک پایه به روش عددی پرداختند. نتایج نشان دهنده کاهش در نیروهای گشتاوری و جابجایی ها شده است و آنالیز خستگی نیز با وجود میراگر نتایج بهتری از خود نشان داده است [۴] .

Taflanidis و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی میراگرهای جرمی روی سکوهای شناور فراساحل با پایه کششی (TLP) پرداختند. استفاده از میراگرهای جرمی در این نوع از سازه ها منجر به کاهش پاسخ دینامیکی حرکت از نوع heave/pitch شده است [۵].

Komachi و همکاران (۲۰۱۱) به مدلسازی عددی میراگرهای اصطکاکی (FDD) روی سکو نفتی رسالت در آبهای خلیج فارس پرداختند. سهولت در نصب این نوع از میراگرها در سکوهای نفتی از مزیت استفاده از این نوع میراگرها بوده است [۶] .

Lackner و Rotea (۲۰۱۱) بااستفاده از یک میراگر جرمی از نوع (TMD) در پشت پره توربین به بررسی پاسخ های توربین بادی شناور ناشی از موج پرداختند آنها از نرم افزار FAST جهت شبیه سازی مسئله استفاده کردند [۷] .

Lee و Juang (۲۰۱۲) به بررسی آزمایشگاهی اثر میراگرها در سکوهای پایه کششی پرداختند. فرق میراگر استفاده شده در تحقیق انها با دیگر تحقیق های قبلی بیان مفهوم میراگر های زیر آبی (UWTLCD) که خود قسمتی از سیستم شناوری سکو محسوب می گردد می باشد. این سیستم بدلیل اینکه میراگر و آب استفاده شده در آن قسمتی از خود سکو و سیستم شناوری سکو می باشد از نظر اقتصادی باصرفه بود و کارایی خوبی در رابطه با میراگری از خود نشان می دهد[۸].

Mousavi و همکاران (۲۰۱۲) به بهینه سازی هندسه میراگرهای ستون گاز مایع تنظیم شونده (TLCGD) بر روی سکو جاکتی فراساحل تحت تاثیر نیروهای زلزله پرداختند. آنها جهت مدلسازی از روش عددی و نرم افزار SimuLink استفاده کردند[۹] .

Roderick (۲۰۱۲) در پایان نامه ارشد خود به بررسی اثر میراگرهای ستون مایع تنظیم شونده (TLCD) روی توربین های بادی شناور فراساحل پرداخته و نتایجش نشان داده که پاسخ دینامیکی سازه نسبت به نیروهای محیطی باد و موج بهبود یافته است [۱۰] .

Chandrasekaran و Kumar (۲۰۱۳) به مقایسه بین استفاده از TMD و مولتیTMD هابر روی سکوهای ثابت دریایی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روشهای عددی در تخمین میزان پاسخ سازه در شرایط موج بحرانی نشان از عملکرد بسیار موثر مولتیTMD ها در کنترل پاسخ سازه داشته است [۱۱].

Chen و Georgakis (۲۰۱۳) با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی اثر میراگر مایع تنظیم شونده کروی شکل را روی یک توربین بادی مورد بررسی قرار دادند و نتایج آزمایشگاهی حاکی از بهبود نوسانات نیروهای وارده بر توربین بادی می باشد [۱۲].

Moharrami و Tootkaboni (۲۰۱۴) با در نظر گرفتن یک مخزن آب به عنوان میراگر (HBMD) در ترازهای بالایی جکت چهار پایه به عنوان میراگر مایع به بررسی جابجایی سازه در برابر نیروی امواج پرداختند. آنها با تحلیل معادلات حرکت و همچنین استفاده از مدل المان محدود، تاثیر این ایده بر کاهش پاسخ موج را نشان دادند[۱۳] .

Mensah و Osorio (۲۰۱۴) به بررسی قابلیت اطمینان توربین بادی به همراه میراگر ستون مایع تظیم شونده (TLCD) بصورت عددی پرداخته است. این مطالعات نشاندهنده ۴۷ درصدکاهش حداکثرجابجایی ناشی از باد در اثر استفاده از میراگرهای ستونی مایع بودهاست[۱۴].

Jaksic و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی میراگر ستون مایع منفرد بر روی پاسخ سازه سکو پایه کششی که مخصوص توربین های بادی فراساحل تعبیه شده بود بصورت آزمایشگاهی پرداختند. هدف از تحقیق آنها امکانسنجی نصب میراگرهای ستون مایع در اشل واقعی بر روی توربین های بادی با پایه کششی بود[۱۵] .

Qiongو Wu و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی اثر میراگرهای جرمی تنظیم شونده (TMD) در برابر بارهای زلزله بر روی سکوهای نفتی با روش آزمایشگاهی و عددی پرداخته اند. نتایج عددی مطابقت خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشته و نشان داده است که جابجایی سکو در اثر باز زلزله بدلیل نصب میراگر جرمی کاهش پیدا کرده است[۱۶].

Kandasamy و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی انواع میراگرها در سازه های دریایی پرداختند. این تحقیق در واقع جمع آوری جامعی از مطالعات قبلی انجام شده بر روی میراگرهای دریایی بوده است و بخشی از آن به انواع میراگرهای غیرفعال من جمله TMD و TLD ها پرداخته است که خلاصه از مزایای انواع روش ها را در جدولی که در شکل زیر مشاهده می کنید آورده است [۱۷].

Inho Ham و Cheolung Cheong (۲۰۱۶) به بررسی اثر میراگر مایع تنظیم شونده (TLD) بر روی یک توربین بادی شناور فراساحل در آزمایشگاه پرداختند و نتایج خود را با مدل عددی مقایسه کردند. نتایج نشان می دهد که پاسخ دینامیک سازه بدلیل نصب میراگر بهبود یافته است[۱۸] .

Zhang و Hoeg (۲۰۱۸) به بررسی اثر میراگرهای مایع تنظیم شونده بر روی ارتعاش پره های توربین بادی شناور در فراساحل پرداختند. در تحقیق آنها دو نوع میراگر ستون مایع تنظیم شونده

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

(TLCD) و ستون مایع دایره ای (CLCD) داخل پره توربین تعبیه شده است که نتایج مدلسازی عددی نشان داده است که این دو نوع میراگر در کاهش ارتعاش پره های توربین بادی اثر مثبتی دارد [۱۹]. O'Donnell (۲۰۱۷) و همکاران به بررسی پاسخ دینامیکی توربین های بادی شناور فراساحل مجهز به میراگرهای ستون مایع تنظیم شونده (TLCD) در مدل آزمایشگاهی پرداخته اند. نتایج آزمایشگاهی نشان داده که نصب میراگرها منجر به کاهش پاسخ سازه در برابر امواج شده است [۲۰].

Gharabaghi و Mohasel (۲۰۱۹) به مدلسازی عددی پاسخ دینامیک سکو SPD18B پارس جنوبی با درنظر گرفتن میراگر مایع تنظیم شونده (TLD) با استفاده از نرم افزار آباکوس پرداخته اند و نتیجه گرفته اند که جابجایی دک سکو بدلیل نصب میراگر کاهش می یابد [۲۱].

Shahrabi و Bargi (۲۰۱۹) به بررسی عمر خستگی سازه های موج شکن شناور بهمراه میراگر ها (TLD) پرداختند. آنها با استفاده از مدلسازی عددی مسئله به این نتیجه رسیدند که استفاده از میراگرها در موج شکن های شناور می تواند منجر به عمر خستگی در این سیستم مورینگ این نوع از سیستم ها گردد[۲۲].

Ghasemi و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر میراگرهای آلیاژ های حافظه دار شکلی (SMA) روی سکوهای فراساحل پرداخته اند. نتایج حاکی از بهبود پاسخ سازه که شامل کاهش ۴۷/۵ درصدی جابجایی دک، کاهش۵۶/۵ درصدی شتاب دک و کاهش ۲۸ درصدی تنش برشی شده است [۲۳].

Hokmabady و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر میراگر ستون مایع گاز روی یک سکو نفتی با روش عددی پرداخته و نتایج نشان داده اند که استفاده از میراگر منجر به کاهش جابجایی دک در اثر نیروهای موج شده است[۲۴].

تفاخر و احمدی (۱۳۹۴) به بررسی رفتار دینامیکی سکوهای فراساحل شابلونی مجهز به سیستم میراگر مایع تنظیم شده تحت تحریک لرزه ای پرداخته اند که نتایج نشان دهنده کاهش پاسخ جابجایی سازه به میزان بیش از ۲۰ درصد می باشد. این مطالعه به صورت موردی بر روی سکویSPD1 خلیج فارس و به روش المان محدود با تحلیل مودال و تاریخچه زمانی با استفاده از رکوردهای زلزله های معروف ایران و جهان با استفاده از نرم افزار Ansys انجام شده است [۲۵].

حسین عیوض اوغلی و لطف الهی (۱۳۹۶) با استفاده از سیستم میراگر مایع ترکیبی (دو مخزن در بالاترین تزاز سکو) نشان دادند که این امر منجر به کاهش شتاب و جابجایی سکو ناشی از زلزله در بالاترین تراز به میزان ۱۳ درصد و ناشی از موج به میزان ۲۰ درصد میگردد. روش تحقیق، استفاده از تحلیل مودال و تاریخچه زمانی برای یک سکوی خاص مانند SPD1 با کمک نرم افزار المان محدود بوده است[۲۶].

حمید احمدی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تأثیر میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی (CTLD) روی رفتار دینامیکی سکوهای فراساحلی جکتی تحت بارگذاری زلزله و موج پرداختند. در تحقیق آنها کارایی یک نوع میراگر مایع تنظیم شده ترکیبی(CTLD) در کاهش ارتعاش سکوهای فراساحلی شابلونی تحت تحریک زلزله و موج مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اصل هماهنگی بین فرکانس تلاطم سیال داخل مخازن و فرکانس اصلی نوسان سازه، CTLD باید به گونهای طراحی شود که برای هر دو شرایط بارگذاری موج و زلزله پاسخگو باشد. نتایج آنها نشان داده است که اختصاص حالت ارتباط برقرار برای بارگذاری موج و حالت ارتباط مسدود برای بارگذاری زلزله بهترین نتیجه را دارد. همچنینCTLD اثر قابل توجهی روی پاسخ های دینامیکی سکو دارد؛ به طوری که در صورت استفاده از CTLD ، حداکثر کاهش در جابجایی عرشه فو قانی سکویSPD1 به عنوان یک مطالعه موردی، تحت اثر زلزله حدود ۲۳ ٪ و بیشترین مقدار کاهش در جابجایی و شتاب عرشه فو قانی سکو تحت اثر بارگذاری امواج حدود ۱۱ ٪ بدست آمد[۲۷].

میراگر مایع تنظیم شده به عنوان یک روش کنترل غیرفعال بکار میرود که در آن از اینرسی سیال درون یک مخزن برای کنترل ارتعاشات سازه استفاده می شود. میراگرهای مایع تنظیم شونده برای اولین بار در اوایل قرن بیستم برای کنترل ارتعاشات ناشی از امواج دریا در کشتی ها استفاده شد و سپس در اواسط دهه هشتاد برای کنترل ارتعاشات سازه های شهری استفاده شد. روش کار به این صورت است که یک یا تعدادی مخزن در بالای سازه نصب شده و انرژی ارتعاش با رفتار اینرسی سیال و نیروهای هیدرودینامیکی آن مستهلک میشود. به عبارت دیگر جابجایی سازه منجر به لرزش سیال در مخزن و در نتیجه اختلاف در رقوم سطح سیال می شود و بدین ترتیب اختلاف فشار ناشی از این اختلاف سطح به عنوان نیروی برشی در کف مخزن ظاهر میگردد که در مقابل نیروهای جانبی ناشی از تحریک جانبی مانند زلزله عمل مینماید. به منظور بهینه سازی طراحی میراگر ، توصیه می شود فرکانس ارتعاش طبیعی سازه را با فرکانس نوسان سیال هماهنگ و نزدیک باشد تا در هنگام تشدید بهترین عملکرد را از خود نشان دهد. روش های مختلفی برای شبیه سازی رفتار میراگر مایع پیشنهاد شده است و مشهورترین آن روش متمرکز بر جرم است که برای اولین بار توسط هاسنر پیشنهاد شد [۲۸].

علی ای حال، بررسی تحقیقات مربوط به استفاده از میراگر مایع در سازه های دریایی نشان میدهد که در خصوص برخی از آنها من جمله تک پایه های سبک دریایی که با هدف استخراج و فراوری گاز و میعانات فسیلی در کمترین زمان ممکن و با صرف حداقل هزینه

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

نسبت به سایر سکوها در دریا نصب میشوند، کمتر از میراگر مایع با راندمان بالا استفاده شده است و استفاده از یک میراگر تنظیم شونده مایع میتواند در کاهش پاسخ سازه به عوامل محیطی من جمله زلزله، موثر باشد.

۲- سکوهای تک پایه دریایی

تک پایه ها در واقع سازه هایی هستند که در دریا به عنوان زیر سازه برای سکوهای بدون سرنشین سبک، توربینهای بادی و یا نشیمنگاه برای پلهای طویل بین سکوهای بزرگ و البته موارد مختلف دیگر مورد استفاده قرار می گیرند. فونداسیون این نوع سازه ها در نوع ثابت آنها در بستر دریا، به صورت پایلهای مکشی و یا استفاده از شمع طویل لوله ای شکل میباشد که به تعبیری آن را به کف دریا میخکوب مینماید. در این تحقیق هدف بررسی رفتار یک تک پایه مجهز به TLD در برابر نیروهای جانبی زلزله می باشد که در انتهای خود بصورت گیردار به بستر دریا مدلسازی شده است. شکل ۱ انواع ستون های تک با برج استوانه ای توخالی را نشان می دهد که از آنها به عنوان زیرسازی برای روسازه های بدون سرنشین یا حتی سرنشین دار استفاده می شود.



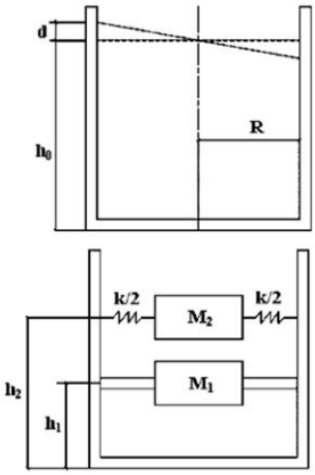
شکل ۱ : تصاویری از سکوی تک پایه دریایی

۳- معادلات حاکم و شرایط مرزی

در تحقیق پیش رو، یک تک پایه دریایی با قطر پایه و طول مشخص در آب دریا با عمق متعارف سکوهای دریایی خلیج فارس در نظر گرفته شده است. اتصال این تک پایه به کف دریا میتواند به صورتهای متفاوت تامین شود که از مهمترین آنها میتوان به استفاده از شمع نیمه عمیق و عمیق و یا شمعهای مکشی (Suction Pile) اشاره کرد. در این پژوهش با فرض تامین طول گیرداری مناسب برای شمع در خاک، اتصال تک پایه به کف دریا بصورت گیردار در نظر گرفته شده است. به عنوان پیشنهاد در پژ.هشهای آتی، میتوان اندر کنش خاک و سازه را نیز برای مدلسازی فونداسیون در نظر گرفت.

در مدل بدون میراگر، اطراف تک پایه را آب دریا فرا گرفته و بالاترین تراز آن که از سطح آب بیرون می باشد، بصورت آزاد و بدون اتصال در نظر گرفته شده است. وزن روسازه به صورت یک جرم متمرکز در بالای تک پایه لحاظ گردیده و در کل شمایل یک تیر یک سر گیردار را به ذهن متبادر مینماید.

در مدل با حضور میراگر، علاوه بر موارد فوق الذکر یک مخزن استوانه ای شکل به نحوی که اطراف تک پایه را در در ترازی پایین تر از تراز جرم متمرکز و در بالای سطح آب در بر گرفته است، اضافه میگردد. پیش بینی میشود سیال موجود در این مخزن با فشار هیدرودینامیکی ناشی از نوسان در اثر تحریکات جانبی مانند زلزله، باعث اعمال نیرو به سازه و کاهش پاسخ لرزه ای آن میگردد. ساده ترین مدل دینامیکی و معادلات تعریف شده برای محاسبه فرکانس نوسان سیال داخل مخزن، مدل Housner می باشد. در این مدل، فشارهای هیدرودینامیکی ناشی از مایع توسط دو جرم متصل به دیواره مخزن شبیه سازی می شود. یکی از این جرم ها مربوط به فشار ناشی از ضربه است و دیگری برای مدل سازی فشار نوسان سیال در نظر گرفته میشود. شکل ۲ نمای کلی از مدل پیشنهادی هاسنر و روابط مرتبط با آن را ارائه می دهد.



شکل۲ : شماتیک مدل پیشنهادی هاسنر

$$k = 5.4\frac{M_2^2 g h_0}{mR^2} \quad (1)$$

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

$$h_2 = h_0\left[1 - 0.185\frac{m}{M_1}\left(\frac{R}{h_0}\right)^2 - 0.56\beta\frac{R}{h_0}\sqrt{\left(\frac{mR}{3M_1h_0}\right)^2 - 1}\right] \quad (3)$$

$$M_1 = m\frac{h_0}{R\sqrt{3}}tanh\frac{R\sqrt{3}}{h_0} \quad (4)$$

$$M_2 = 0.358\frac{R}{h_0}tanh\left(\frac{1.837h_0}{R}\right) \quad (5)$$

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\pi g}{a}}tanh\left(\frac{\pi h_0}{a}\right) \quad (6)$$

در معادلات بالا :

m: وزن مایع داخل مخزن

R: شعاع مخزن و در صورتیکه کف مخزن مربع شکل باشد، برابر با ضلع مربع میباشد

M_1: جرم معادل با فشار ضربه ای ناشی از اینرسی سیال

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

M_2: جرم معادل با فشار نوسانی ناشی از تلاطم سطح سیال

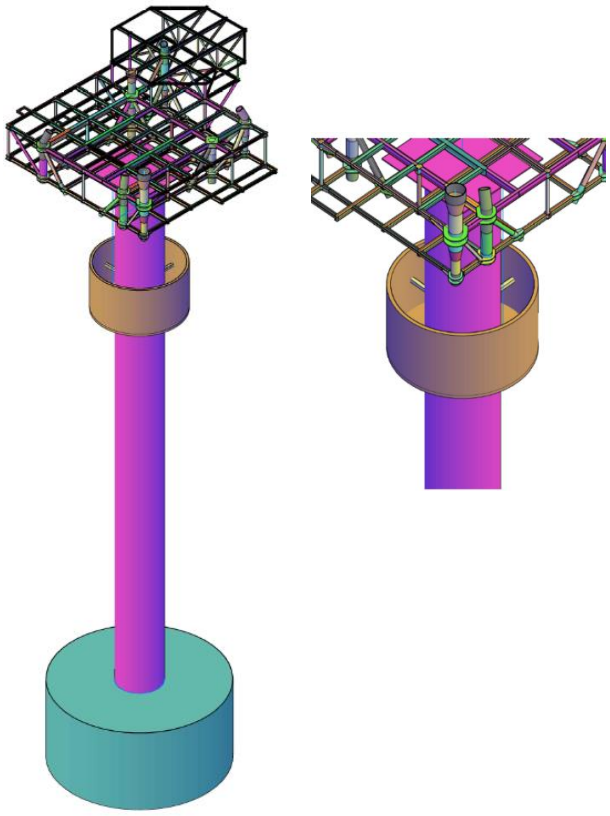
همچنین پارامترهای h_1، h_2 و k در شکل ۱ نشان داده شده اند که در آنها k دوبرابر سختی فنرهای متناظر با جرم M_1 میباشد.

f: فرکانس نوسان سیال در داخل مخزن

a: برابر با قطر در مخزن استوانه ای و ضلع در مخزن مربع

۴- مدلسازی و مشخصات سکوی مورد مطالعه

در این تحقیق ، یک تک پایه نصب شده در عمق فرضی ۷۰ متری آب برای بررسی اثر میراگرمایع و تغییر مکان سازه به دلیل نیروهای جانبی لرزه ای انتخاب شده است. بر روی این سکو و در بالاترین نقطه ممکن مخزنی بصورت استوانه ای و در اطراف تکپایه نصب شده است که انتظار میرود سیال درون آن بعنوان میراگر مایع در برابر نیروهای جانبی عمل نماید. موقعیت و ارتفاع مخزن به عنوان میراگر مایع در شکل ۳ نشان داده شده است. جرم روسازه در بالای تک پایه به عنوان یک جرم متمرکز مدل سازی شد. جزئیات مربوط به محیط و ویژگی های سازه مانند عمق آب و جرم روسازه به عنوان یک سکوی بدون سرنشین در جدول ۱ شرح داده شده است:



شکل ۳ : شماتیک مخزن خارجی TLD بر روی تک پایه

جدول ۱ : مشخصات تک پایه مورد مطالعه

عمق آب دریا در محل	۷۰ متر
وزن تقریبی روسازه	۵۰۰ تن
ارتفاع تک پایه	۹۰ متر
قطر داخلی تک پایه	۶/۵ متر

در واقع ، مخزن تعبیه شده در بالای تک پایه با آب دریا تا ارتفاع دلخواه و تنظیم شونده پر میگردد و با توجه به شکل استوانه ای مخزن TLD، حد فاصل جدار خارجی ستون اصلی تک پایه و جدار داخلی مخزن TLD از سیال پر میشود. بر اساس روابط اولیه Housner که قبلا توضیح داده شد، ارتفاع آب و ابعاد استوانه در مخزن میتواند از پارامترهایی باشد که با تنظیم آنها بتوان فرکانس نوسانات سطح سیال در TLD را به فرکانس طبیعی سازه نزدیک کرد تا بدین وسیله با ایجاد نیروی متناسب برشی مقاوم در کف مخزن از جابجایی سازه در اثر زلزله کاست. این نیروی برشی ناشی از اختلاف تراز و نتیجتا اختلاف فشار و نیرویی سیال بر روی بدنه داخلی مخزن می باشد، که بصورت نیرو در کف مخزن و در خلاف جهت نیروی زلزله خود را نشان میدهد. البته هدف این نوع میراگر مایع تنها کاهش جابجایی سازه در هنگام رزنانس یا تشدید ناشی از زلزله نیست بلکه به نظر میرسد مستهلک شدن نیروی زلزله حتی در هنگامی که تشدید رخ ندهد نیز با کمک میراگر مایع قابل دستیابی است.

۵- مدلسازی سکو در نرم افزار

مطالعه المان محدود بر روی موضوع این تحقیق با استفاده از نرم افزار ANSYS انجام شد و یک مدل از سکوی فولادی تک پایه مورد بررسی قرار گرفت. جرم روسازه به صورت یک توده متمرکز در بالای ستون تک پایه مدل شده است و نمادی از سکوی بدون سرنشین با وزن ۵۰۰ تن میباشد که استفاده از آن در پروژه های دریایی معمول است. جزئیات مدل مانند قطر تک پایه و همچنین خصوصیات مصالح که در ANSYS مدلسازی شده است ، در جدول ۲ ارائه میگردد:

جدول ۲ : خصوصیات مدل ANSYS

قطر تک پایه	۶/۵ متر
ارتفاع تک پایه	۹۰ متر
عمق آب	۷۰ متر
مدول الاستیسیته فولاد	۲۱۰ گیگا پاسکال
جرم مخصوص فولاد	۷۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب
مدول حجمی سیال	۲/۲ گیگا پاسکال
جرم مخصوص سیال	۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب
المان جامد	Solid85
المان سیال	Fluid80

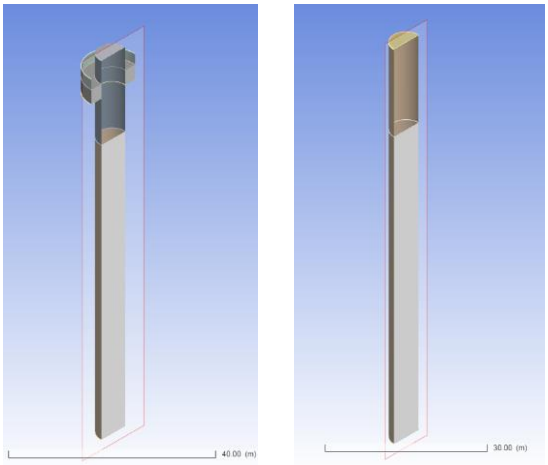
از المان Solid85 برای مدل سازی بدنه تک پایه استفاده شده و المان Fluid80 که می تواند تأثیرات متقابل مایع و ساختار را در نظر بگیرد ، برای مدل سازی سیال درون بدنه تکپایه بکار رفته است. این عنصر سیال را همگن ، غیر لزج و غیرقابل تراکم در نظر میگیرد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

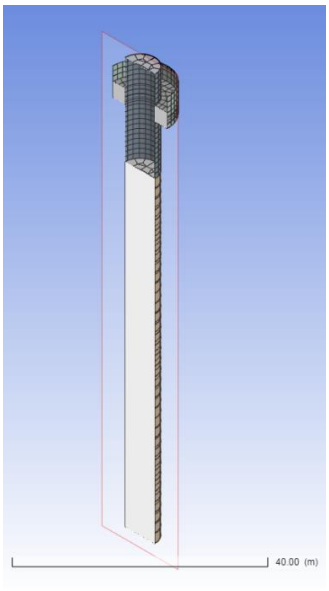
در این تحقیق دو مدل المان محدود ساخته شده است. اولین مدل با نام "مدل اولیه" میراگر مایع ندارد. به منظور تعیین اثرات آب مخزن داخلی بر روی پاسخ سازه ای ناشی از شتاب زلزله ، یک مدل ثانویه که زین پس آن را با نام "مدل TLD" میشناسیم ساخته شده که در آن از بدنه تک پایه به عنوان مخزن مایع میراگر استفاده شده است. شکل ۴ ، شماتیک مدل اولیه و مدل TLD را ارائه می دهد :

(ب) (الف)



شکل ۴ : مقایسه مدل اولیه و مدل TLD (الف) : مدل ساده بدون TLD (ب): مدل با مخزن خارجی به عنوان TLD

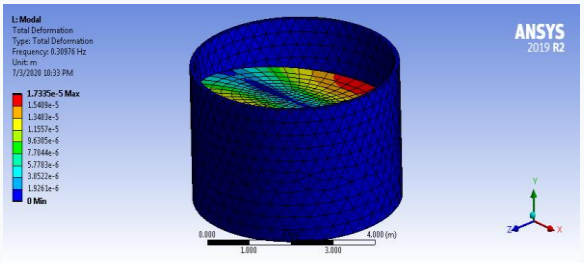
در "مدل TLD" ، ارتفاع آب داخل بدنه مخزن خارجی بهتر است به نحوی تعیین شود که فرکانس ناشی از تلاطم سیال نزدیک به فرکانس طبیعی سازه باشد تا حداکثر مقدار کاهش جابجایی و استهلاک نیروی زلزله بدست آید. علی ای حال در صورت یکسان نبودن این دو فرکانس نیز، از ماهیت TLD انتظار میرود که در جهت کاهش جابجایی سازه عمل نماید. "مدل TLD" شامل یک تانک آب با عمق آب مشخص است که به عنوان مدلی برای بررسی جابجایی سازه در مقایسه با "مدل اولیه" انتخاب می‌شود. از طرف دیگر، با تغییر پارامترهای دیگری مانند ارتفاع آب تانک، می‌توان تاثیر این پارامتر را نیز بر بهبود یا عدم بهبود پاسخ جابجایی بررسی کرد. لازم به ذکر است تغییر ابعاد شبکه بندی مش برای مدل ANSYS موجود به منظور تایید نتایج آنالیز، انجام گردیده و تغییرات جزئی نتایج نشان از اعتبار مدل مورد مطالعه و نتایج حاصل از آن دارد. شکل ۵ شبکه بندی مدل را نشان می دهد. خط زیر شکل معادل با ۴۰ متر طول میباشد که نشان دهنده مقیاس شکل است. ضمن اینکه ارتفاع و سایر ابعاد تک پایه در مدل برابر با مقادیر واقعی تک پایه در دریاست. به عبارت دیگر نسبت ابعاد مدل در کار عددی به سازه واقعی برابر با یک می باشد. در مناطقی که حساسیت آنالیز افزایش می یابد مش بندی ریزتری استفاده شده است که من جمله می توان به محل قرار گیری مخزن و جرم متمرکز اشاره کرد.



شکل ۵ : شبکه بندی مدل

۵- اعتبارسنجی نرم افزار

شکل ۶ یک مخزن استوانه ای با ابعاد مشخص را نشان میدهد که تحت تاثیر شتاب زلزله قرار گرفته است. بر اساس معادلات هاسنر توضیح داده شده در بخش ۳، فرکانس مود اول تک پایه نزدیک به مقداری است که معادله هاسنر به دست می دهد. در این مدل اعتبارسنجی، عمق آب ۴ متر و قطر ۶/۵ متر برای مخزن استوانه ای در نظر گرفته شده است. فرکانس نوسان سیال بر اساس معادلات هاسنر ۰/۳۳ هرتز و بر اساس نتایج مدل اعتبارسنجی ۰/۳ هرتز است.



شکل ۶: مدل اعتبارسنجی در ANSYS بر اساس روابط هاسنر

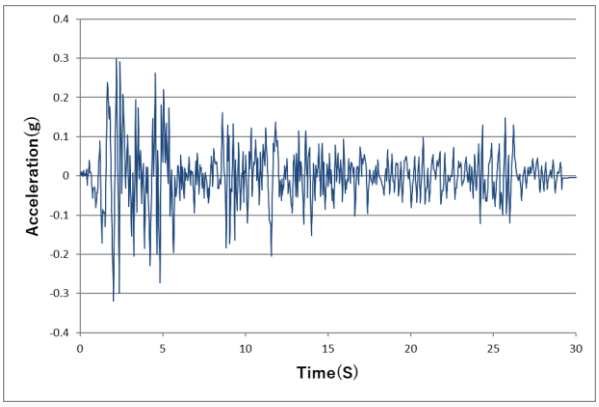
۶- تحلیل تاریخچه زمانی

یکی از روش‌های تحلیل زلزله و به دست آوردن پاسخ‌های سازه‌ای مانند جابجایی، تحلیل "تاریخچه زمانی" است. در این تحلیل بهتر است از یک سری سوابق شتاب زلزله که به عنوان یک نیروی جانبی به تک‌پایه وارد می‌شوند استفاده شود. توصیه می‌شود که برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، حداقل از سه شتاب‌سنج برای تحلیل تاریخچه زمانی استفاده شود. شتاب نگاشت هایی که در این تحقیق استفاده شده‌اند مربوط به زلزله‌های "طبس"، "ال سنترو" و "کوبه" می باشند که دارای محتوای فرکانسی متفاوت نسبت به یکدیگر بوده و اساسا هدف از بررسی سازه در سه زلزله متفاوت، بررسی تاثیرات شتاب زمین لرزه در حضور شتاب نگاشت های متفاوت می باشد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

به منظور اجرای روش تحلیل تاریخچه زمانی، تحلیلی به نام "تحلیل گذرا" در نرم‌افزار ANSYS انجام شده‌است. از آنجاییکه قرار بر این است که سازه در عمق ۷۰ متری آب دریا قرار گیرد، بر اساس آیین نامه API RP2A [۲۹] نسبت میرایی در تنظیمات تحلیل برابر ۰/۰۵ قرار داده شده است. نسبت میرایی بر اساس آیین نامه فوق الذکر به دلیل احاطه شدن سازه بوسیله آب دریا برابر با ۵ درصد در نظر گرفته شده است کما اینکه این مقدار برای سازه های خشکی کمتر در نظر گرفته میشود. با اینحال در هر دو مدل با و بدون میراگر، مقدار درصد میرایی تغییر نمیکند و بر خلاف پارامتر متغیری مانند شتاب زلزله که در مدل "بدون میراگر" برابر با صفر و در مدل" با میراگر" شتاب زمین میباشد، در همه شرایط ثابت است. لذا تاثیر آن در هر دو حالت یکسان می باشد. لازم به ذکر است که تک‌پایه بعد از عملیات نصب پر از آب شده و این موضوع در مدل ANSYS مد نظر قرار گرفته است. شکل ۷ نشان دهنده شتاب نگاشت یکی از زلزله‌های ذکر شده (ال سنترو) است که به عنوان شتاب جانبی در نرم‌افزار اعمال شده‌اند.

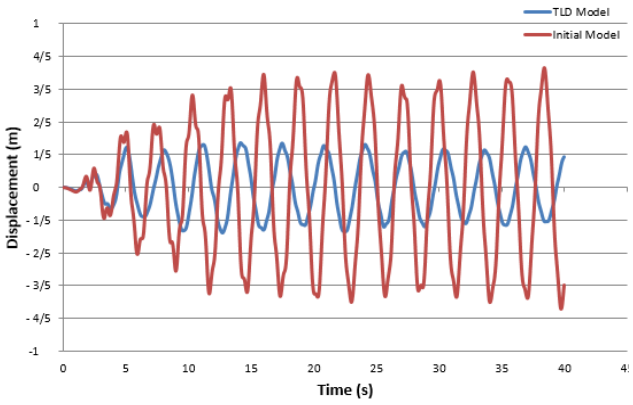


شکل ۷ : شتاب نگاشت زلزله ال سنترو

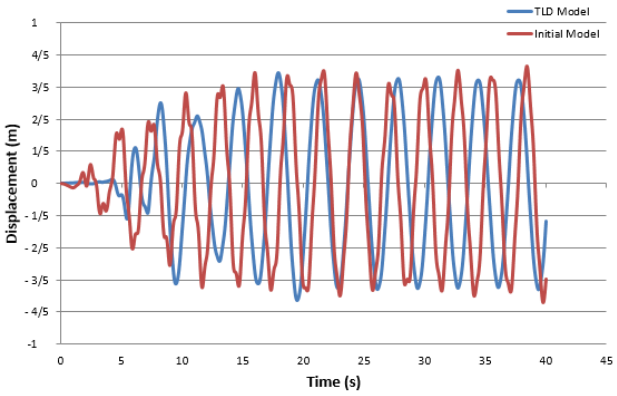
۷- نتایج

تاریخچه‌های زمانی جابجایی تک‌پایه که بر اساس شتاب نگاشت زلزله‌های ال سنترو، طبس و کوبه در دو حالت حضور TLD که "مدل TLD" نام دارد و عدم حضور TLD که "مدل اولیه" نام دارد، در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل با توجه به اینکه سازه و مخزن استوانه ای شکل بوده و از طرفی روسازه نیز به صورت جرم متمرکز مدل شده است، به دلیل تقارن همه جانبه، جهت جابجایی درنمودارها، به صورت کلی جهت شتاب افقی زلزله میباشد. همانگونه که ملاحظه می گردد استفاده از مخزن میراگر خارجی می تواند بصورت قابل توجه در کاهش پاسخ جابجایی روسازه موثر باشد.

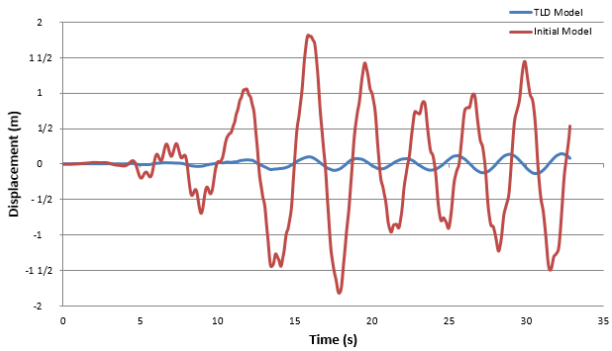
(الف)



(ب)



(ج)



شکل ۸ : مقایسه جابجایی سکو در حضور و عدم حضور مخزن خارجی TLD در اثر شتاب زلزله (الف): زلزله ال سنترو (ب): زلزله کوبه (ج): زلزله طبس

علاوه بر این حداکثر مقادیر جابجایی برای مدل‌های ذکر شده در جدول ۳ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این جدول برای هر زلزله، مقدار جابجایی ماکزیمم روسازه که همان جرم متمرکز مدل شده در نرم افزار می باشد، از نتایج تحلیل مدل بدون میراگر و با میراگر استخراج و منعکس شده است.

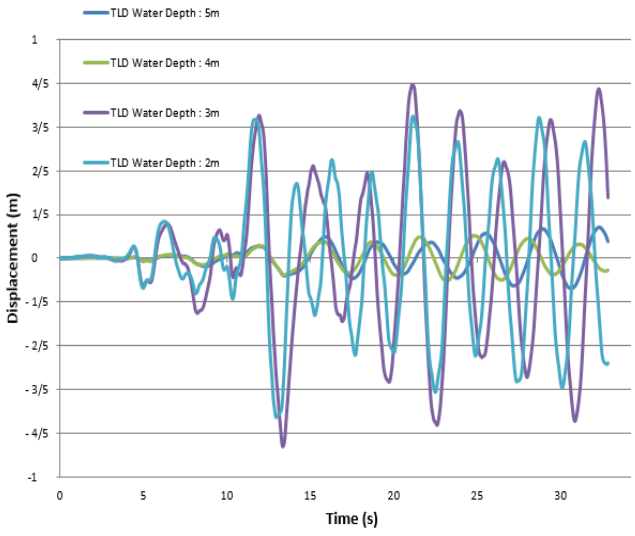
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

جدول ۳ : تاثیر حضور TLD در جابجایی تک پایه

کاهش جابجایی	حداکثر جابجایی سازه در جهت شتاب افقی زلزله (متر)		نام زلزله
	با وجود TLD	عدم وجود TLD	
۶۳٪	۰/۲۷	۰/۷۴	ال سنترو
۲۷٪	۰/۶۹	۰/۹۴	کوبه
۹۲٪	۰/۱۴	۱/۸۱	طبس

طبق جدول ۳ و شکل ۸، اثر TLD در زلزله طبس بیشتر از سایر زلزله‌هاست اما کاهش جابجایی در همه موارد کمابیش مشخص است. در شکل ۹، جابجایی تک‌پایه برای مدل TLD در هر سه زلزله مربوط به شرایطی است که ارتفاع آب داخل تانک یکسان بوده و در این حالت به دلیل نزدیک بودن فرکانس طبیعی سازه به فرکانس تلاطم آب مخزن TLD، سکو کمترین مقدار جابجایی را دارد. از طرفی با تغییر عمق آب درون تانک، اثر تانک آب بر روی میزان جابجایی سکو تغییر می‌کند. شکل ۹ اثر مقادیر مختلف عمق آب در تانک TLD برای زلزله طبس که تاثیرپذیری بیشتری از TLD دارد را مقایسه می‌کند. و طبق آن، تغییر در عمق آب TLD باعث ایجاد تغییر در جابجایی تک پایه میشود چرا که فرکانس آبی که در تانک TLD به ازای اعماق مختلف سیال در آن، نوسان می‌کند متفاوت است.



شکل ۹ : مقایسه جابجایی تک پایه برای عمقهای متفاوت آب در تانک TLD در زلزله طبس

۸- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک سکوی تک‌پایه با ابعاد مناسب برای خلیج فارس تحت اثر زلزله‌های مختلف در دو حالت حضور و عدم حضور TLD بررسی شد. در مدل TLD، تانک آب به عنوان یک TLD به صورت خارجی به بدنه تک‌پایه متصل بوده و مایع درون آن می‌تواند از طریق آب دریا تامین شود. مدل سازه‌ای در نرم‌افزار ANSYS ایجاد و تحلیل شده‌است.

براساس مروری بر ادبیات فنی و تحقیقات گذشته و آنچه در بخش ۳ این مقاله به آن اشاره شده، نوسان سیال درون مخزن باعث ایجاد نیروی برشی در کف مخزن و در خلاف نیروی زلزله میگردد و البته تطابق فرکانس نوسان مایع درون مخزن و فرکانس نوسان زلزله، منجر به همفاز شدن این دو نیرو و تاثیر قابل توجه نوسان سیال مخزن در کاهش پاسخ سازه میگردد. نکته دیگر اینکه در معادلات هاسنر[۲۸] رابطه فرکانس نوسان سیال مخزن به صورت تابعی هیپلبوریک با ارتفاع آب درون مخزن به صورت غیر خطی تغییر میکند و درحدود یک عمق مشخص (در این تحلیل در عمق ۴ متری با توجه به هندسه مسئله و سایر پارامترها) تطابق فرکانس انرژی زلزله و نوسان سیال مخزن اتفاق می افتد. لذا نمیتوان روند خطی صعودی یا نزولی برای آن در نظر گرفت لیکن از آنجا که تابع تانژانت هیپلبوریک بصورت منحنی تقریبا صعودی غیر خطی با متغیر مستقل خود (در اینجا همان عمق سیال مخزن) تغییر می کند میتوان گفت در اعماق کمتر مثل ۱ یا ۲ متر، فرکانس نوسان کمتر بوده و هنوز به فرکانس نوسان زلزله نرسیده است اما در اعماق بالاتر مثل ۴ یا ۵ متر، فرکانس نوسان افزایش یافته و با نزدیک شدن به فرکانس زلزله باعث کاهش پاسخ سازه میگردد. این مطلب در شکل شماره ۹ قابل مشاهده میباشد. البته در تابع تانژانت هیپلبوریک، از آنجا که با زیاد شدن متغیر مستقل میزان شیب صعودی نمودار کاهش می یابد لذا پاسخ سازه در عمق ۴ و ۵ متر به هم شبیه تر میباشد.بعد از انتخاب بهینه ارتفاع آب در میراگر، رفتار سازه تحلیل و دو حالت حضور و عدم حضور میراگر مقایسه شدند. می‌توان از نتایج به دست آمده برای طراحی سازه‌های جدید دریایی و همچنین بهبود لرزه‌ای سکوهای تک‌پایه استفاده کرد. طبق نتایج به دست آمده، اثر این نوع میراگر بر جابجایی تک‌پایه در نقشه‌های شتاب لرزه‌ای مختلف، متفاوت است. در نتیجه میزان اثرگذاری TLD به دامنه فرکانسی زلزله وابسته است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم می‌تواند باعث کاهش چشمگیر پاسخ جابجایی سکو شود.

بررسی رابطه عددی هاسنر در بخش ۳ که برای محاسبه فرکانس نوسان سیال مخزن استفاده میگردد، نشان میدهد که وقتی عمق سیال درون مخزن ۴ متر است، فرکانس نوسان زلزله (سازه) که با استفاده از تحلیل مودال در انسیس قابل دستیابی است، با فرکانس نوسان سیال مخزن، حاصل از معادله عددی هاسنر، تقریبا یکسان است. یعنی در این عمق احتمالا بیشترین نیروی مخالف در جهت حرکت زلزله که ناشی از نوسان سیال مخزن است به سکو وارد می گردد. بنابراین بررسی جابجایی سازه در سه زلزله مختلف یاد شده، با فرض ۴ متر عمق سیال درون مخزن انجام شده است که در بخش ۶ با ارائه نمودارهای جابجایی نسبت به زمان، ارائه شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

مشابهت فرکانس نوسان سیال مخزن (با فرض اینکه عمق سیال درون آن ۴ متر باشد) با فرکانس ارتعاش سازه در اثر زلزله را میتوان با مقایسه نتایج رابطه عددی فرکانس در معادلات هاسنر و نتایج تحلیل مودال انسیس بدست آورد جاییکه :

فرکانس مود اول ارتعاش سازه در انسیس : ۰/۳ هرتز

فرکانس ارتعاش سیال درون مخزن با استفاده از رابطه هاسنر) مطابق با جدول ۴ به شرح ذیل به دست می آید :

جدول ۴: فرکانس نوسان سیال مخزن

فرکانس نوسان سیال (f)	قطر مخزن(a)	عمق سیال درون مخزن (h_0)
۰/۳۳ هرتز	۶/۵ متر	۴ متر

۹- پیشنهاد برای تحقیقات آینده

دراین بخش با توجه به اینکه موضوع تحقیق قابلیت بررسی بیشتر و ارائه یک رابطه ریاضی برای تعیین میزان جابجایی روسازه بر اساس متغیرهای مختلف از جمله قطر تک پایه، ارتفاع آن و میزان عمق سیال درون مخزن میراگر را دارد، در تحقیقات آینده با بررسی مدلهای مختلف شامل مقادیر متفاوت برای یکی از متغیرهای فوق الذکر در هر مدل، با ثابت در نظر گرفتن سایر متغیرها، میتوان با تحلیل آماری به رابطه ای با رگرسیون مشخص دست یافت که وابستگی متغیر وابسته به هر یک از متغیرهای مستقل را نشان دهد و با استفاده از آن بتوان به صورت عددی مقدار جابجایی روسازه در حضور میراگر را بر اساس آن متغیرها به صورت عددی به دست آورد. همچنین میتوان میزان تاخیر فاز جابجایی روسازه در مدل شامل میراگر نسبت به مدل بدون میراگر را در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار داده و پارامترهای موثر در این موضوع و ارتباط میزان این تاخیر فاز با پارامترهای دخیل در آن را مورد مطالعه قرار داد.

از آنجا که در تحقیق انجام شده اتصال تک پایه در محل فونداسیون گیردار فرض شده است، پیشنهاد میگردد در تخقیقات آینده خاک بستر دریا نیز در مدلسازی لحاظ گردد.

۱۰- مراجع

1- J. Vandiver and S. Mitome, (1979), *Effect of liquid storage tanks on the dynamic response of offshore platforms,* Applied Ocean Research, Vol. 1, No. 2, p.67

2- H. Lee , S.H. Wong and R.S. Lee, (2006), *Nonlinear waves and dynamic pressures in rectangular tuned liquid damper (tld) simulation and experimental verification*, Ocean Engineering , vol. 33, p.1118–1142

3- Jin.Q, Li.X, Sun. N and Guan. J, (2007), *Experimental and numerical study on tuned liquid dampers for controlling earthquake response of jacket offshore platform, Journal of* Marine structures, Vol. 20, p.238-254

4- S.Colwell and B.Basu, (2009), *Tuned liquid dampers in offshore wind turbines for structural control,* Engineering Structures, Vol. 31(2), p.358-368

5- A. Taflanidis and D. Angelides, (2009), *Simulation-based robust design of mass dampers for response mitigation of tension leg platforms,* Engineering Structures, Vol. 31(4), p.847-857

6- Komachi.Y, & Tabeshpour.R, (2011). *Retrofit of Ressalat jacket platform (Persian Gulf) using friction damper device.* Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering), Vol. 12(9), p.680-691. (In Persian)

7- Lackner.M and Rotea.M, (2011), *Passive structural control of offshore wind turbines,* Wind Energy, Vol. 14, p.373–388

8- H.H. Lee and H.Juang, (2014), *Experimental study on the vibration mitigation of offshore tension leg platform system with UWTLCD*, Smart Structures and Systems, Vol. 9, No. 1, p. 71-104

9- S.A.Mousavi, S.M.Z.Zahrai and K.Bargi, (2012), *Optimum geometry of tuned liquid column-gas damper for control of offshore jacket platform vibrations under seismic excitation,* earthquake engineering and engineering vibration, Vol. 11, p.579-592, (In Persian)

10- C.Roderick, (2012), *Vibration Reduction of Offshore Wind Turbines Using Tuned Liquid Column Dampers,"* MSc Theses .Massachusetts, US, University of Massachusetts Amherst

11- S. Chandrasekaran and D. Kumar, (2013), *Dynamic response of tension leg platform with tuned mass dampers*, Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, Vol.10, p.184

12- J.L.Chen and C.Georgakis, (2013), *Spherical tuned liquid damper for vibration control in wind turbines,* Journal of Vibration and Control, vol. 0(0), p. 1–11

13- M.Moharrami and M.Tootkaboni, (2014), *Reducing response of offshore platforms to wave loads using hydrodynamic buoyant mass dampers,* Engineering Structures, Vol.81, p.162–174. (In Persian)

14- A.F.Mensah and . L.D.Osorio, (2014), *Improved reliability of wind turbine towers with tuned liquid column dampers (TLCDs),* Structural Safety, Vol.47, 78–86, vol. 47, p.78–86

15- V.Jaksic, C.Wright and A.Chanayil, (2015), *Performance of a Single Liquid Column Damper for the Control of Dynamic Responses of a Tension Leg Platform*, Journal of Physics, Conference Series 628 012058

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]

16- Qiong.Wu and Xilu.Zhao, (2016), *High Response Performance of a Tuned-Mass Damper for Vibration Suppression of Offshore Platform under Earthquake Loads*, Hindawi Publishing Corporation Shock and Vibration, Vol.11, p 156

17- R.Kandasamya and F.Cuia, (2016), *A review of vibration control methods for marine offshore structures,"* Ocean Engineering, Vol. 127, p.279–297

18- Minho Ha and C.Cheong, (2016), *Pitch motion mitigation of spar-type floating substructure for offshore wind turbine using multilayer tuned liquid damper*, Ocean Engineering,Vol. 116, p.157–164

19- Z. Zhang and C.Høeg, (2018), *Vibration control of floating offshore wind turbines using liquid column dampers*, Journal of Physics, Vol. 10, p.32-37

20- D.O'Donnell and J. Murphy, (2017), *Tuned Liquid Column Damper based Reduction of Dynamic Responses of Scaled Offshore Platforms in Different Ocean Wave Basins*, 12th International Conference on Damage Assessment of Structures, Vol. 842

21- A.GHarabaghi and M.Mohasel, (2019), *Seismic control of offshore steel jacket platforms using tuned liquid column damper*, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), (In Persian)

22- M.Shahrabia and K.Bargi, (2019), *Enhancement the Fatigue Life of Floating Breakwater Mooring System Using Tuned Liquid Column Damper*, Latin American Journal of Solids and Structures, Vol.16(7), p.220 (In Persian)

23- M.R.Ghasemi, N. Shabakhty and M.H. Enferadi, (2019), *Optimized SMA Dampers in Vibration Control of Jacket-type Offshore Structures (Regular Waves)*, International journal of coastal & offshore engineering, Vol.2 No.4, p. 25-35 (In Persian)

24- H.Hokmabadya, S.Mohammadyzadehb and A.Mojtahedia, (2019), *Suppressing structural vibration of a jacket-type platform employing a novel Magneto-Rheological Tuned Liquid Column Gas Damper (MR-TLCGD)*, Ocean Engineering, Vol. 180, p.60–70

25- Lotfollahi-Yaghin.M.A, Ahmadi. H and Tafakhor. H, (2016), '*Seismic response of an offshore jacket-type platform* (In Persian)

26- Study of Behavior of Stable Offshore Platforms Equipped with Combined Adjusted Liquid Dampers, "7th International Conference on Offshore Industries

27- H.Ahmadi & H.Eivazoghli, (2019), *Study of the Effect of Composite Adjusted Liquid Dampener (CTLD) on the Dynamic Behavior of Offshore Jacket Platforms under Earthquake and Wave Loading*,

Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol.94, No. 1 (In Persian)

28- Housner .G, (1955). *Dynamic pressures on accelerated fluid containers*, Bulletin of the seismological society of America.

29- API recommended practice 2A-WSD (RP 2A-WSD), (2000), *"Recommended practice for planning, design and constructing fixed offshore platforms-working stress design*, 21th edition, American petroleum institute official publication, Washington D.C.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.7.8]