



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



## مقایسه فنی انواع ترمینال‌های نفتی فراساحل تحت شرایط محیطی منطقه خلیج فارس

اسماعیل حسونند، پدram عدالت\*

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده صنعت نفت آبادان، دانشگاه صنعت نفت، آبادان، ایران.

نویسنده مسئول، پست الکترونیک: [Edalat@put.ac.ir](mailto:Edalat@put.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۷

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2021.233123.2374

### چکیده

ترمینال‌های نفتی فراساحل، به عنوان راه حل ارزان و با ایمنی بالاتر نسبت به ترمینال‌های ساحلی برای تخلیه و بارگیری تانکرها مورد استفاده قرار می‌گیرند. ترمینال‌های فراساحل انواع مختلفی دارند. بنابراین مقایسه پاسخ دینامیکی این ترمینالها در شناسایی نقاط قوت و ضعف آنها تأثیرگذار خواهد بود. پژوهش حاضر به منظور مقایسه پاسخ دینامیکی سازه‌ای سه ترمینال نفتی فراساحل متداول، شامل CALM، SALM و CMBM در شرایط محیطی منطبق بر منطقه خلیج فارس می‌باشد. به منظور به دست آوردن پاسخ‌های سازه شامل نیروهای ایجاد شده در مهاربند و هاوسرها، جایجایی تانکرهای متصل به آنها، از شبیه‌سازی در نرم افزار OrcaFlex استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن شرایط عملیاتی یکسان، حداکثر کشش‌های ایجاد شده در مهاربند ترمینال SALM از ترمینال‌های CALM و CMBM به ترتیب ۲٫۷ و ۱٫۳ برابر بیشتر است. همچنین حداکثر کشش ایجاد در هاوسر ترمینال SALM به ترتیب در ترمینال‌های CALM و CMBM به میزان ۱٫۵ و ۴٫۳ برابر بیشتر ایجاد می‌گردد. با بحرانی‌تر شدن شرایط محیطی، مهاربند ترمینال SALM بیشترین پایداری را از خود نشان می‌دهد. با افزایش تناژ تانکرها از کلاس ۴۵ هزار تنی تا ۳۲۰ هزار تنی، حداکثر کشش‌های ایجاد شده در مهاربند CMBM کمترین تغییر را دارد؛ این درحالی است که حداکثر کشش ایجاد شده در مهاربند ترمینال CALM و SALM به ترتیب به اندازه ۱۰۰ درصد و ۱۵۶ درصد افزایش پیدا می‌کنند. با مقایسه جایجایی ایجاد شده در تانکرها (در حین عملیات) نتیجه می‌شود که جایجایی در تانکر متصل به ترمینال CMBM دارای اندازه حداقلی و جایجایی در تانکرهای متصل به CALM و SALM تقریباً یکسان می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** ترمینال‌های نفتی شناور، تحلیل دینامیکی اندرکششی، سیستم مهاربندی

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



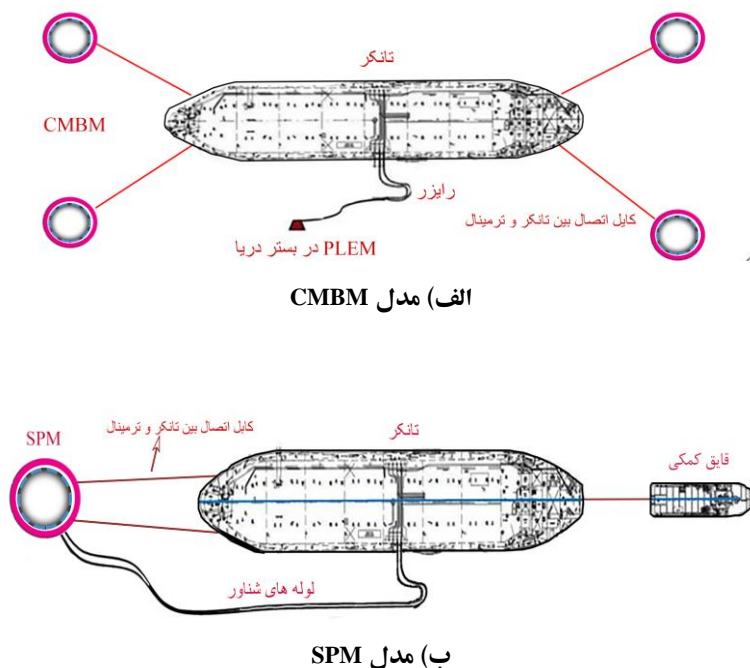
## ۱. مقدمه

ضعف و قوت این ترمینال‌ها شناسایی گردد و بهترین نوع از این ترمینال‌ها با توجه به معیارهای عملیاتی موجود برای هر ترمینال شامل میزان نیروهای ایجاد شده در سیستم مهاربندی و هاورس (کابل اتصال بین تانکر و ترمینال)، میزان جابجایی تانکرهای متصل به آنها و همچنین میزان دوام آوری آنها نسبت به شرایط محیطی شدید انتخاب گردد. در این مقاله متداولترین و مناسبترین انواع این ترمینال‌ها با توجه به شرایط محیطی مختلف و تناژهای مختلف تانکرها، مورد مقایسه قرار می‌گیرند و پاسخ دینامیکی هر کدام تحت شرایط عملیاتی با سناریوهای متفاوت ارزیابی می‌شود.

از مهمترین وظایف ترمینال‌های نفتی انتقال فراورده‌های نفتی از بستر دریا به تانکر با حفظ کنترل موقعیت و حرکات تانکر تحت تاثیر شرایط محیطی به منظور ایجاد یک منطقه ایمن برای تخلیه و بارگیری می‌باشد. همانطور که در شکل ۱ به صورت شماتیک نشان داده شده است، برای کنترل موقعیت تانکر دو مفهوم کلی SPM و CMBM وجود دارد. در مدل CMBM چهار گوشه‌ی تانکر به وسیله بویه مهار می‌شود و اجازه چرخش و جابجایی‌های فراتر از حد مجاز را به تانکر نمی‌دهند. درجات آزادی بویه‌ها نیز به وسیله مهاربند متصل به بستر دریا، محدود می‌شوند. فراورده‌های نفتی در بستر دریا بوسیله لوله‌های انعطاف پذیر، مستقیم به تانکر منتقل می‌شوند.

یکی از مهمترین بخش‌ها در زنجیره تولید و عرضه فرآورده‌های هیدروکربنی در صنعت نفت انتقال این فراورده‌ها است. این نوع انتقال در حالت کلی از دو طریق خطوط لوله تا مبادی مصرف و همچنین ترمینال‌های نفتی با استفاده از نفتکش‌ها انجام می‌گیرد. ترمینال‌های نفتی خود نیز به دو گروه ساحلی و فراساحلی تقسیم می‌شوند. در ترمینال‌های نفتی ساحلی به منظور انجام عملیات بارگیری و تخلیه تانکر باید در ساحل پهلوگیری انجام دهد. این در حالی است که در ترمینال‌های فراساحلی، فراورده‌های نفتی را با استفاده از خطوط لوله به منطقه‌ای امن، دورتر از ساحل منتقل می‌کنند و پس از انتقال این فراورده‌ها به ترمینال‌های فراساحلی عمل بارگیری نفتکش‌ها انجام می‌گیرد. بنابراین در این حالت عمل پهلوگیری پیچیده‌ای نسبت به ترمینال‌های ساحلی انجام نمی‌گیرد. با توجه به هزینه‌های بالا در نصب، تعمیر و نگهداری از جمله لایروبی از یک سو و خطرات ناشی از عملیات تخلیه و بارگیری (با توجه به امکان مجاورت این ترمینال‌ها با مراکز صنعتی و یا بعضاً مسکونی در ساحل) از سوی دیگر، گرایش به استفاده از ترمینال‌های فراساحلی افزایش پیدا کرده است

ترمینال‌های نفتی با توجه به نحوه مهار تانکر و شیوه انتقال فراورده‌های نفتی انواع مختلفی دارند، بنابراین مهم است که نقاط



شکل ۱. تقسیم بندی کلی ترمینال‌های نفتی. الف) مدل CMBM و ب) مدل SPM

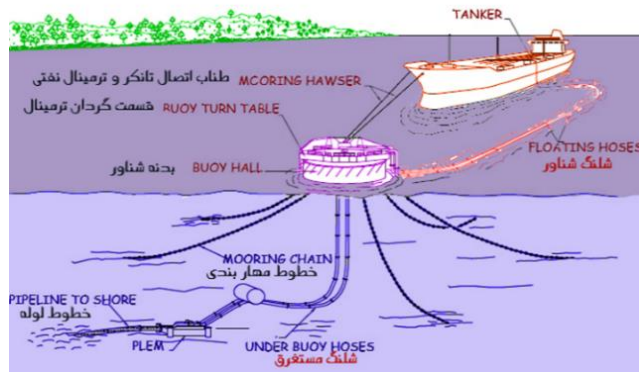
Fig. 1- The general division of oil terminals. A) CMBM model, B) SPM model

قسمت بالای این بویه بوسیله یاتاقان به قسمت پایین متصل می‌شود و امکان چرخش ۳۶۰ درجه‌ای را ایجاد می‌کند. تانکر بوسیله هاوسر (Hawser) به قسمت بالای بویه متصل می‌شود که در نتیجه باعث می‌شود تانکر نیز امکان چرخش داشته باشد.

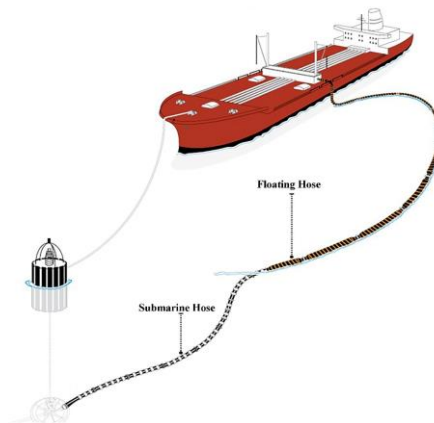
فراورده‌های نفتی بوسیله رایزر وارد بویه شناور ترمینال شده و از بویه بوسیله لوله‌های انعطاف‌پذیر شناور به تانکر منتقل می‌شود. استفاده از این نوع ترمینال از سال ۱۹۵۹ میلادی آغاز شده و در مقایسه با دیگر ترمینال‌ها، بیشترین استفاده را در انتقال استحصال نفتی دارد. سازه SALM همانطور که در شکل ۲- ب مشاهده می‌شود تنها به وسیله یک مهاربند به بستر دریا متصل است و برخلاف سازه قبلی که فراورده‌های نفتی از بستر دریا، ابتدا به ترمینال و سپس به تانکر منتقل می‌شود، در این حالت فراورده‌ها مستقیماً از بستر دریا به تانکر منتقل می‌شود. ترمینال SALM برای اولین مرتبه در سال ۱۹۶۹ میلادی مورد استفاده قرار گرفته شده و بعد از CALM، بیشترین استفاده را در انتقال محصولات نفتی از بستر دریا به تانکرها در محیط عملیاتی فراساحل دارد.

اما در مدل SPM تانکر از یک نقطه به ترمینال متصل می‌شود. بنابراین امکان چرخش برای تانکر وجود دارد. این امکان چرخش باعث کاهش نیروهای ایجاد شده در مهاربند خواهد شد. در این مدل از یک یدک‌کش (Tug boat) برای کنترل جایجایی‌های تانکر استفاده می‌شود. ترمینال‌های نفتی SPM در انواع مختلفی ساخته می‌شوند که هر کدام از آن‌ها با توجه به شرایط محیطی و مشخصات تانکر متصل به آن، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شماتیکی از متداول‌ترین انواع ترمینال‌های SPM در شکل ۲ ارائه شده است. همانطور که در شکل ۲- الف مشاهده می‌شود، سازه CALM از یک بویه استوانه‌ای تشکیل شده که بوسیله ۴ الی ۶ مهاربند کنتری به بستر دریا متصل می‌شود. این سازه متداول‌ترین نوع ترمینال نیز می‌باشد. این بویه از دو قسمت بالا و پایین تشکیل شده که قسمت پایین، داخل آب قرار دارد و نیروی بویانسی بر آن وارد می‌شود و بوسیله مهاربند به بستر دریا ثابت می‌شود.



الف) ترمینال نفتی CALM (Catenary Anchor Leg Mooring)



ب) ترمینال نفتی SALM (Single Anchor Leg Mooring) (Trelleborg n.d.)

شکل ۲- متداول‌ترین نوع ترمینال‌های نفتی SPM. الف) ترمینال نفتی CALM (Catenary Anchor Leg Mooring) و

ب) ترمینال نفتی SALM (Single Anchor Leg Mooring) (Trelleborg n.d.)

Fig.2- The most common type of SPM oil terminals. A) CALM oil terminal (Catenary Anchor Leg Mooring), b) SALM (Single Anchor Leg Mooring) oil terminal (Trelleborg n.d.)

بررسی‌های انجام شده بر روی اسکرت (Skirt) سازه CALM با توجه به مدل سازی در نرم افزار انسیس اکوا مبین آن است که هر چه قطر اسکرت بیشتر باشد جرم افزوده نیز در جهت هیو و رول افزایش پیدا می‌کند که همین امر باعث کاهش پاسخ سازه در جهت هیو می‌شود (Qi et al., 2017)

رفتار دینامیکی سازه CALM در آب‌های کم عمق و عمیق زمانی که تانکر به ترمینال متصل نباشد تحت بار موج، جریان و باد مطالعه شده است به گونه ای که معادلات حرکت غیر خطی خطوط مهاربندی با استفاده از المان کابل بر اساس معادلات توسعه یافته همپلتون فرموله شده‌اند. معادله حرکت برای مهاربندها و شناور CALM بر اساس روش عددی محاسبه می‌شود. نتیجه می‌شود زوایه قرارگیری خطوط مهاربندی در حالت استاتیکی تأثیر زیادی روی کشش ایجاد شده در این خطوط و همچنین حرکت شناور دارد (K. Wang, Er and Iu, 2018). با استفاده از آنالیز قابلیت اطمینان خطوط مهاربندی سازه CALM بدون اتصال تانکر تحت شرایط بارگذاری بحرانی موج و جریان نشان می‌دهد خط مهاربندی که در جهت بار موج می‌باشد بیشترین نیرو را تحمل کرده و در نتیجه احتمال خسارت وارده بر آن نیز بیشتر است (Eghbali et al., 2018). مطالعاتی در مورد مقایسه سه نوع مختلف ترمینال نفتی شامل CMBM، SALM و CALM با توجه به مشخصه هر ترمینال، شرایط محیطی و عملیاتی ایمن انجام شده بر اساس تجربیات گذشته انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که ترمینال CMBM برای تانکرها با تناژ پایین و عمق آب کم استفاده می‌شود. این در حالی است که برای دو ترمینال دیگر محدودیت وزن تانکر و عمق آب وجود ندارد (Rutkowski, 2019).

با بررسی سکوها نیمه مغروق بر اساس مدل سازی در نرم افزار انسیس می‌توان متوجه شد که در بارگذاری امواج منظم در پریودهای بیش از ۲۰ ثانیه بیشترین میزان جابه‌جایی در راستای حرکت هیو بوده است (Bakhtiari et al, 2019).

با توجه به مطالعات گذشته نتیجه می‌شود که تاکنون رفتار این سازه‌ها با در نظر گرفتن تمام پارامترهای تأثیر گذار از قبیل اندرکش بین تانکر و ترمینال، دینامیک هاوسر (کابل اتصال بین تانکر و ترمینال) و رفتار تانکر متصل به این ترمینالها تحت شرایط شدید شبیه سازی نشده‌اند و اغلب این مطالعات به بررسی رفتار این ترمینالها بدون اتصال تانکر و بر اساس مدل ریاضی پرداخته شده است لذا در تحقیق حاضر سه ترمینال متداول فراساحل پس از مدل سازی در نرم افزار تحت سناریوهای مختلف عملیاتی با حضور تانکر مورد مطالعه قرار می‌گیرند و پاسخ دینامیکی این سه ترمینال با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

### ۳. مواد و روش‌ها

ترمینال‌های نفتی با توجه به نحوه مهار تانکر و شیوه انتقال فرآورده‌های نفتی انواع مختلفی دارند، بنابراین مهم است که نقاط ضعف و قوت این ترمینالها شناسایی گردد و بهترین نوع از این ترمینالها با توجه به معیارهای عملیاتی موجود برای هر ترمینال شامل میزان نیروهای ایجاد شده در سیستم مهاربندی و هاوسر (کابل اتصال بین تانکر و ترمینال)، میزان جابجایی تانکرهای متصل به آنها و همچنین میزان دوام آوری آنها نسبت به شرایط محیطی شدید انتخاب گردد. در این مقاله متداولترین و مناسبترین انواع این ترمینالها با توجه به شرایط محیطی مختلف و تناژهای مختلف تانکرها، مورد مقایسه قرار می‌گیرند و پاسخ دینامیکی هر کدام تحت شرایط عملیاتی با سناریوهای متفاوت ارزیابی می‌شود.

برای بررسی رفتار دینامیکی ترمینالهای نفتی، تحقیقات فراوانی انجام گرفته است. نتایج بررسی پایداری سازه CALM بدون اتصال به تانکر بر اساس مدل ریاضی، نشان می‌دهد معادله حرکتی حاکم بر سیستم یک معادله دیفرانسیل پارامتری مرتبه دوم غیر خطی است (Esmailzadeh and Goodarzi, 2001).

بررسی ایمنی ترمینال‌های نفتی هنگام بارگیری تانکر و نقاطی که برای بارگیری تانکر خطرناک می‌باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که می‌توان بر اساس مدل ریاضی و نتایج آزمایشگاهی نشان داد که یدک کش انتهایی تانکر می‌تواند این فاصله‌ی ایمنی بین تانکر و ترمینال را حفظ کند (Paulauskas, 2009).

احتمال خرابی سیستم مهاربندی سازه نیمه مغروق با چهارده مهاربند، به عنوان تابعی از ضرایب ایمنی بر اساس استانداردهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش، با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و سپس نتایج استخراج شده از نرم افزار SIMO، احتمال خرابی ارزیابی می‌شود. سرانجام، نتایج دو مدل با هم مقایسه می‌شوند. نتیجه نشان می‌دهد که احتمال خرابی مهاربند ناشی از حداکثر نیروی به دست آمده توسط SIMO به طور قابل توجهی کمتر از نتایج مدل آزمایشگاهی است (Olsen, 2011).

بررسی نوع مهاربندی گسترده و کشش‌های ایجاد شده در خطوط مهاربندی تحت شرایط محیطی مختلف می‌تواند با شبیه سازی عددی و با استفاده از نرم افزار انسیس اکوا بررسی شود. نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند مهاربند گسترده حداقل جابجایی افقی و چرخش را برای تانکر بوجود می‌آورد (Ozorishin, 2012).

J. Wang and Xie (2012) یک روش ساده شده برای پیش بینی حرکت کلی شناور نیمه مغروق ارائه داده است. با استفاده از این روش می‌توان حرکت کلی شناور به گونه‌ای که شناور تحت نیروهای موج مرتبه اول، موج میانگین و موج با فرکانس پایین مرتبه دوم قرار می‌گیرد مورد بررسی قرار گیرد.

پتانسیل موج تفرق و پتانسیل حاصل از ۶ درجه آزادی جسم در آب ساکن همانند معادله ۱ به وجود می‌آید. به جمع پتانسیل حاصل از موج و پتانسیل حاصل از تفرق موج، پتانسیل فرود - کریلف می‌گویند.

$$\Phi_t = \Phi_I + \Phi_D + \sum_{R=1}^{R=6} \Phi_R$$

$$S(\omega) = \frac{\alpha g^2 \gamma^\alpha}{\omega^5} \exp\left(-\frac{5}{4} \frac{\omega_p^4}{\omega^4}\right)$$

آب و همچنین ضرایب مربوط به بار باد و جریان که در شکل ۹ نشان داده شده است می‌باشد.

مدل اجزای محدود شامل خطوط مهاربندی و شناورها (تانکر و ترمینال) به منظور تحلیل استاتیکی و دینامیکی اندرکنشی میان شناورها و خطوط مهاربندی در محیط نرم افزار تجاری OrcaFlex (Orcaflex 2015) ایجاد و تحلیل شده است. در این نرم‌افزار خطوط مهاربندی با المان لاین با مشخصات شکل ۳ مدل‌سازی شده که این نوع المان از مجموعه‌ای از قطعات (Segment) قابل تقسیم و تنظیم در اندازه، تشکیل شده است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، جرم مهاربند متناسب با فواصل قابل تنظیم به صورت جرم متمرکز در گره‌های انتهایی المان در نظر گرفته شده و ویژگی‌های محوری و پیچشی با سازه مورد مطالعه با این المان قابل شبیه‌سازی است. شناورهای مورد مطالعه (شامل ترمینال و تانکر) نیز به صورت جسم صلب و با رفتار دینامیکی کاملاً مشابه با واقعیت از طریق ورود اطلاعات RAO و ... شناورها در این نرم افزار مدل‌سازی شده که برای المان‌های خطوط مهاربندی به صورت شرایط مرزی لحاظ می‌شود.

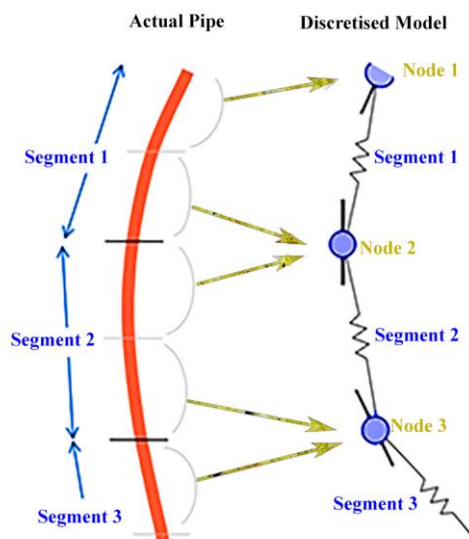
در سازه‌های فراساحل از تئوری دیفرکشن در نسبت قطر سازه به طول موج بیشتر از ۰٫۲ ( $D/\lambda > 0.2$ ) و معادلات موربسون در نسبت قطر سازه به طول موج کمتر از ۰٫۲ ( $D/\lambda < 0.2$ ) استفاده می‌شود. با استفاده از اصل برهم نهی پتانسیل‌ها می‌توان بیان داشت که پتانسیل کلی از سه ترم پتانسیل موج برخوردی، رابطه (۱)

رابطه (۲)

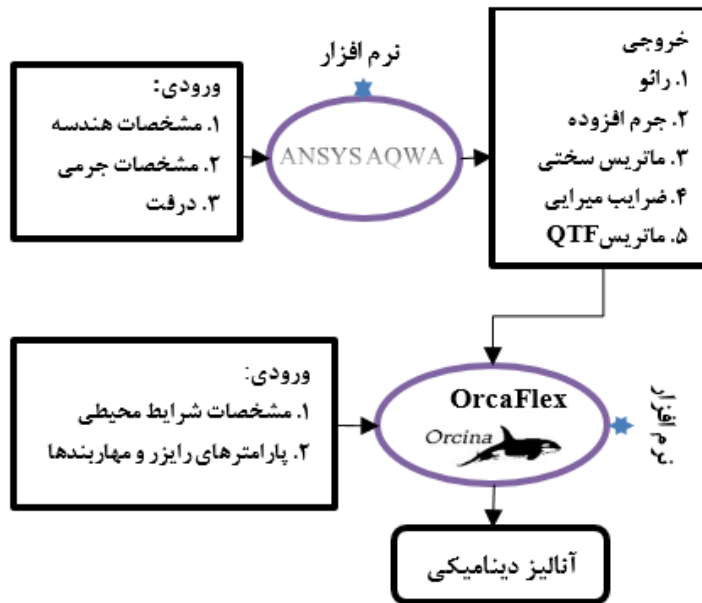
در رابطه ۱،  $\Phi_R$  پتانسیل حاصل از 6 درجه حرکت جسم در آب ساکن،  $\Phi_D$  پتانسیل موج تفرق  $\phi_I$  پتانسیل برخوردی است. در این قسمت تمامی ضرایب هیدرودینامیکی مانند جرم افزوده، ماتریس میرایی و دیگر مشخصات هیدرودینامیکی به دست می‌آیند.

طیف موج مورد استفاده در این مقاله با توجه به منطقه مورد مطالعه، طیف جانسواپ (Jonswap) اصلاح شده متناسب با شرایط محیطی خلیج فارس بوده که در رابطه (۲) ارائه شده است. در این رابطه  $g$  ثابت گرانشی است و پارامترهای کلیدی برای تعریف این طیف شامل ارتفاع موج مشخصه  $H_s$ ، دوره تناوب  $Tp$  و ضریب تقویت قله  $\gamma$  که در این مطالعه مطابق جدول ۵ در نظر گرفته شده است. برای مقایسه سه ترمینال در شرایط یکسان، جهت موج ۳۰ درجه نسبت به راستای تانکر در نظر گرفته می‌شود.

برای محاسبه نیروی باد و جریان بر روی شناورها و تانکر مطابق آیین‌نامه (OCIMF, 1977) استفاده می‌شود. در روابط پارامترهای موثر شامل سطح بادخور و سطح قرار گرفته شناور زیر



شکل ۳- المان Line در نرم افزار OrcaFlex (Orcaflex 2015)  
 Fig. 3-Line element in OrcaFlex software (Orcaflex 2015)



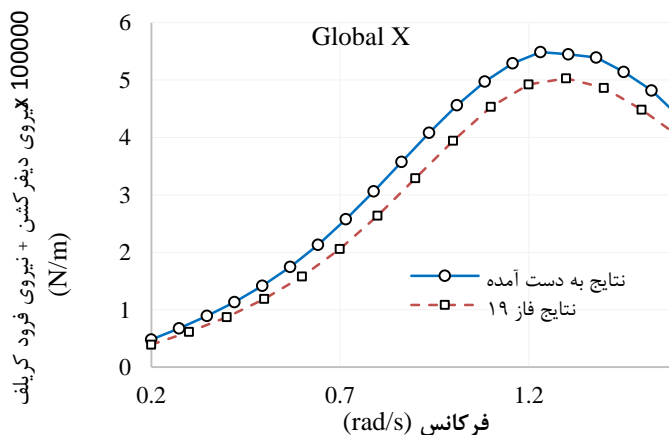
شکل ۴- فرآیند مدل سازی در نرم افزار  
Fig. 4- Modeling process in software

به منظور بررسی سه نوع ترمینال نفتی منتخب، از نرم افزار OrcaFlex به نرم افزار Ansys Aqwa، مدل‌های کوپل شده- ای از هر ترمینال با تانکر، با توجه به نوع مهاربندی و شرایط محیطی ایجاد می‌شود تا پاسخ‌های مورد نیاز هر سازه محاسبه گردد. نمایی از مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار Ansys Aqwa در شکل ۶ ارائه شده است.

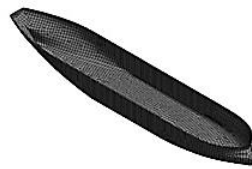
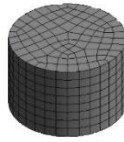
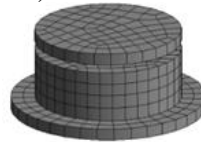
برای اطمینان از معتبر بودن مدل، نتایج حاصله با نتایج به دست آمده از پروژه ترمینال نفتی فاز ۱۹ پارس جنوبی مقایسه شده است. در این مقایسه از شناور ترمینال CALM با قطر ۱۲٫۵ و ارتفاع ۵٫۳ استفاده شده است و نتایج ایجاد شده در نیروی مربوط به حاصل جمع نیروی دیفرکشن و فرود کرلیف مورد مقایسه قرار می‌گیرند (شکل ۵).

برای مدل‌سازی ارائه شده در شکل ۴، ابتدا می‌بایست در نرم افزار Ansys Aqwa (ANSYS 2014) هندسه تانکر و ترمینال‌ها مدل‌سازی شود، سپس خروجی‌های به دست آمده به نرم افزار OrcaFlex منتقل می‌شوند.

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، ورودی‌های Ansys Aqwa شامل عمق آب، مشخصات هندسی، جرمی و میزان آب‌خور شناور بویه و تانکر می‌باشد؛ نتایج بدست آمده در گام قبلی شامل رانو، ضرایب هیدرواستاتیکی و هیدرواستاتیکی و غیره در هر شناور می‌باشد. با ورود نتایج بدست آمده از نرم افزار



شکل ۵- مقایسه نتایج به دست آمده به نتایج مربوط به فاز ۱۹  
Fig. 5- Comparison of the obtained results with the results of phase 19

الف) تانکر  
A) Tankerب) مدل CMBM  
b) CMBM modelج) مدل SALM  
c) SALM modelد) مدل CMBM  
d) CMBM modelشکل ۶- مدل‌های ساخته شده در نرم افزار Ansys Aqwa  
Fig 6- Models made in Ansys Aqwa software

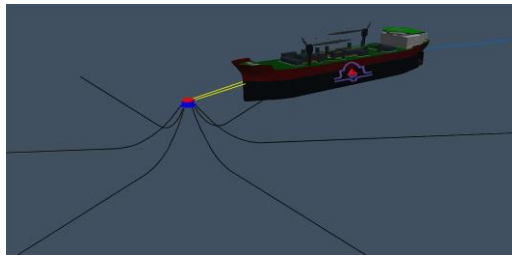
(متناسب با عمق آب در منطقه مورد مطالعه) از جنس زنجیر به بستر دریا مهار می‌شود و تانکر بوسیله دو هاوسر خود را به این ترمینال متصل می‌کند. این نوع سازه نیز با توجه به نوع اتصالات زنجیر، که از نوع اتصال یونیورسال می‌باشد باعث می‌شود که بویه قابلیت چرخش داشته باشد. به منظور شبیه‌سازی این ویژگی در نرم‌افزار OrcaFlex برای دو انتهای مهاربند، یکی در بستر دریا و دیگری متصل به بویه، سختی خمشی و پیچشی صفر در نظر گرفته می‌شود که موجب چرخش آزادانه در دو انتهای مهاربند می‌شود.

با توجه به شکل ۶-ب مشاهده می‌شود که در ترمینال CMBM با استفاده از چهار بویه که هر بویه بوسیله ۲ مهاربند از جنس زنجیر به بستر دریا متصل است؛ به گونه‌ای تانکر را مهار کرده که قابلیت چرخش را به این شناور نمی‌دهد. در تمامی ترمینال‌ها، بویه‌ها بوسیله دو هاوسر به تانکر متصل می‌شود.

مشخصات هندسی و پارامترهای موثر در مدل‌سازی ترمینال‌های نفتی شناور و تانکرهای مورد مطالعه در این مقاله، مطابق جداول ۲ و ۱ در نظر گرفته شده‌اند.

با توجه به شکل ۵، نتایج نشان می‌دهد که مدل همخوانی مناسبی با نتایج مربوط به پروژه فاز ۱۹ دارد. به گونه‌ای که روند تغییرات نتایج در هر دو نمودار یکسان می‌باشد و حداکثر اختلاف بین نتایج کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد که این اختلاف ناشی از در دست نداشتن جزئیات مربوط به طراحی ترمینال می‌باشد.

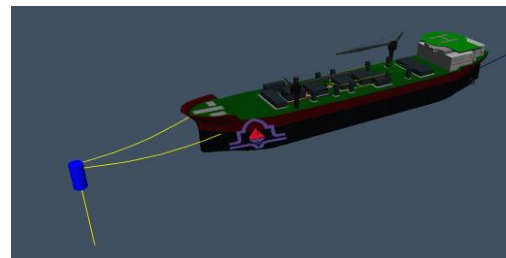
در شکل ۷ نمایی از مدل‌سازی مهار تانکر توسط سه ترمینال متداول در نرم‌افزار OrcaFlex نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۶-الف نشان داده شده است سازه CALM توسط ۶ مهاربندی از جنس زنجیر با طول ۳۸۰ متر (در این مطالعه) به بستر دریا مهار می‌شود. بویه این ترمینال از دو قسمت که بوسیله مفصل بهم وصل می‌شوند تشکیل می‌شود به طوری که در صورت چرخش تانکر، قسمت بالایی ترمینال نیز می‌چرخد. ترمینال CALM در حالت عملیاتی معمولاً بوسیله دو هاوسر به تانکر متصل می‌شود. در این مطالعه به منظور بررسی تاثیر تناژ تانکر بر پاسخ اندرکنشی میان ترمینال و تانکر، به هر یک از این سه ترمینال‌ها متصل شده‌اند. همانطور که در شکل ۶-ج نشان داده می‌شود، ترمینال SALM بوسیله یک مهاربند با طول ۳۸۸ متر



الف) مدل CALM  
A) CALM model



ب) مدل CMBM  
B) CMBM model



ج) مدل SALM  
C) SALM model

شکل ۷. مدل‌سازی انواع ترمینال‌های مورد مطالعه در نرم افزار OrcaFlex  
Fig 7. Modeling of the studied types of terminals in OrcaFlex software

ناچیز در نظر گرفته می‌شود. به منظور حفظ شرایط یکسان در مدل‌های ایجاد شده،

ضرایب  $C_M$  و  $C_d$  برای تمام مهاربندها در طول تحلیل ثابت در نظر گرفته می‌شود و میزان پیش تنیدگی در مهاربندهای هر ترمینال برابر است. مشخصات کلی و پارامترهای لازم جهت مدل‌سازی مهاربندها در جدول ۳ آورده شده است.

در این مدل از دو هاوسر (کابل اتصال بین تانکر و ترمینال) برای هر بویه ترمینال که به صورت غیرخطی همانند شکل ۸ مدل می‌شوند استفاده شده است. طول این هاوسرها ۶۰٫۹۶ متر و حداکثر کشش مجاز (MBL) Maximum Breaking Load) برای آن‌ها ۵۸۰۰ کیلو نیوتن است.

در این مقاله برای بررسی رفتار دینامیکی سازه‌های شناور و تاثیر آن‌ها بر خطوط مهاربندی، شرایط محیطی شامل موج، جریان و باد مطابق با شرایط عملیاتی خلیج فارس مطابق جدول ۴ در نظر گرفته می‌شود. در تمامی شرایط برای مقایسه پاسخ این ترمینال‌ها،

مشخصات سازه CALM با توجه به ترمینال ساخته شده در خلیج فارس، مشخصات سازه SALM با توجه به سازه ساخته در خلیج مکزیک (Gruy and et al., 1979) و نهایتاً مشخصات جرمی ترمینال CMBM متناسب با ابعاد مفروض آن با توجه به بالاترین تناژ تانکر متصل به آن در این مطالعه محاسبه شده است. ارتفاع متاسترینک به عنوان معیاری برای بررسی پایداری بویه‌های مدل‌سازی شده در نظر گرفته شده است که در مورد تمامی این بویه‌ها این پارامتر از عدد یک بزرگتر بوده و لذا هر سه ترمینال پایدار خواهند بود.

از آنجاییکه یکی از متغیرها مورد مطالعه برای بررسی میزان تاثیر و حساسیت پاسخ ترمینال‌ها به شرایط عملیاتی اتصال تانکرهای مختلف با تناژهای متفاوت به این ترمینال‌ها می‌باشد، بنابراین چهار تانکر در کلاس‌ها مختلف با مشخصات داده شده در جدول ۲ در این مطالعه در نظر گرفته شده‌اند.

در این مقاله از مهاربند زنجیر استفاده شده است که به صورت الاستیک خطی مدل می‌شوند و اثرات خمشی و پیچشی آنها



جهت‌های موج باد و جریان هم راستا (Collinear) لحاظ شده  
تانکر مطابق آیین‌نامه (OCIMF, 1977) علاوه بر  
پارامترهای جدول ۴ به ضرایب  $C_X$  و  $C_Y$  و  $C_{XY}$  نیاز می‌باشد که  
این مشخصات در شکل ۹ نشان داده شده است.  
برای محاسبه نیروی باد و جریان اعمالی بر روی شناورهای

جدول ۱. مشخصات مربوط به مدل‌سازی ترمینال‌های نفتی شناور  
Table 2. Specifications related to the modeling of floating oil terminals

پارامترها	واحد	CALM	SALM مقادیر	CMBM
آب‌خور	m	3.266	9	3
مرکز جرم در جهت X	m	0	0	0
مرکز جرم در جهت Y	m	0	0	0
مرکز جرم در جهت Z	m	-0/766	6	-0.5
ممان اینرسی جرمی در جهت XX	$kg \cdot m^2$	4840000	6244000	250829
ممان اینرسی جرمی در جهت YY	$kg \cdot m^2$	4840000	6244000	250829
ممان اینرسی جرمی در جهت ZZ	$kg \cdot m^2$	9350000	2890000	315000
قطر	m	12/5	6/4	6
قطر اسکرت	m	16/63	-	-
وزن	ton	289/98	400	70
ارتفاع شناور	m	5/3	14	3

جدول ۲. مشخصات هندسی تانکرهای مختلف

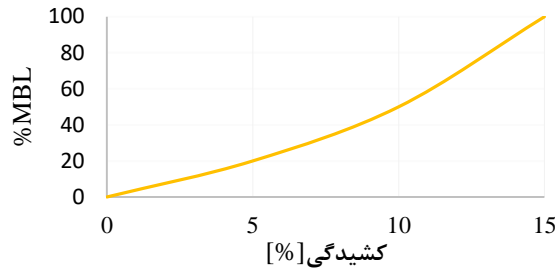
Table 2. Geometric specifications of different tankers

واحد	وزن [ton]	طول [m]	پهنا [m]	ارتفاع [m]	درفت [m]
تانکر ۱	46925	174	32/2	18/8	11
تانکر ۲	111634	239	44	21/5	15
تانکر ۳	193048	287	50	28	18.6
تانکر ۴	317250	319	60	30/4	22/52

جدول ۳. مشخصات مهاربندها

Table 3. Specifications of mooring line

پارامترها	CALM	SALM مقادیر	CMBM
قطر زنجیر (m)	95	175	95
طول زنجیر (m)	380	38/8	77
جرم (kg/m)	180	671	180
سختی محوری kN	712000	3093000	712000
حداکثر کشش مجاز (MBL)	8180	25173	8180
ضریب درگ $C_d$	1/2	1/2	1/2
ضریب اینرسی $C_M$	1	1	1

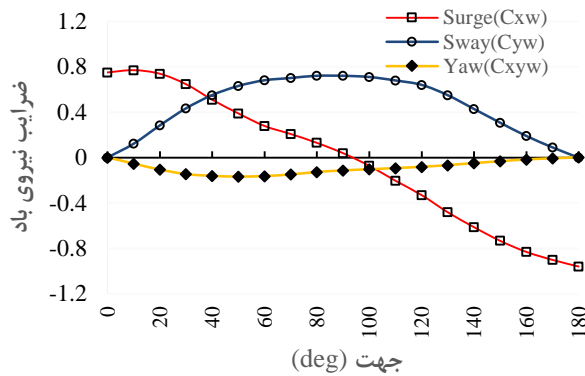


شکل ۸- سختی محوری هاوسر  
Fig 8- Hawsers axial stiffness

جدول ۴- شرایط عملیاتی خلیج فارس

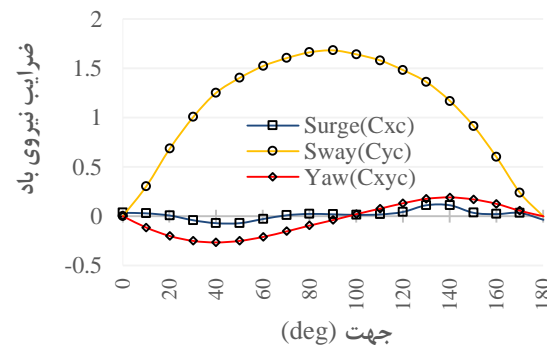
Table 4- Operational conditions of the Persian Gulf

شرایط محیطی	مقدار	واحد
موج	$H_s$	2/6 [m]
	$T_p$	7/5 [s]
جانسواپ	$\gamma$	1/4933 -
باد	ثابت	22 [m/s]
جریان	یکسان در عمق آب	0/7 [m/s]
دریا	عمق آب	47/8 [m]
	چگالی دریا	1025 [kg/m <sup>3</sup> ]



الف) ضرایب  $C_x, C_y, C_{xy}$  برای محاسبه نیروی باد

A)  $C_x, C_y, C_{xy}$  coefficients for calculating the wind force



ب) ضرایب  $C_x, C_y, C_{xy}$  برای محاسبه نیروی جریان

B)  $C_x, C_y, C_{xy}$  coefficients for calculating the current force

شکل ۹. ضرایب مورد نیاز برای محاسبه نیروهای باد و جریان  
Fig 9. Coefficients needed to calculate wind and current forces

آیین‌نامه DNV (Veritas, 2010) برای بررسی مهاربندهای ترمینال‌های نفتی مطابق، معادلات ۴ الی ۶ می‌باشد.

که در آن  $T_{c-mean}$  برابر میانگین کشش در نتایج تاریخچه زمانی (Mean tension of the time series) و  $T_{MPM}$  برابر کشش بیشینه با بیشترین احتمال وقوع (Most probable maximum tension) است که از میانگین ۱۰ مقدار ماکزیمم کشش (Maximum value) در نمودار تاریخچه زمان به دست می‌آید.

برای محاسبه ضرایب  $\gamma_{mean}$  و  $\gamma_{dyn}$  در آیین‌نامه DNV دو نوع کلاس ایمنی تعریف می‌شود: کلاس ۲ زمانی استفاده می‌شود که در صورت پاره شدن یک مهاربند دارای عواقب جانی و برخورد بین سازه‌ها و آلوده شدن محیط زیست در اثر ریختن فراورده‌های نفتی به دریا می‌باشد اما در کلاس ۱ این عواقب وجود ندارند. برای بررسی ترمینال‌های نفتی از کلاس ۲ استفاده می‌شود و ضرایب مربوطه آن در جدول ۶ آورده شده است.

برای بررسی میزان پایداری ترمینال‌های نفتی در برابر نیروهای اعمالی، علاوه بر شرایط عملیاتی خلیج فارس سه شرایط محیطی دیگر مطابق جدول ۵ در نظر گرفته می‌شود. این شرایط محیطی شامل موج با ارتفاع مشخصه ۲ تا ۵٫۵ متر می‌باشد.

متغیرهای مورد بررسی در این مقاله، شرایط محیطی مختلف و سناریوهای عملیاتی مختلف با در نظر گرفتن تناژهای مختلف برای تانکرهای متصل به هر ترمینال است. تاثیر این متغیرها روی پاسخ سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. مهم ترین پاسخ‌های سازه شامل شدت نیروهای ایجاد شده در مهاربندها و هاوسرها و همچنین جابجایی تانکر است. پاسخ‌های بدست آمده با معیارهای آیین‌نامه‌ای شامل حداکثر مجاز نیروی داخل مهاربندها و همچنین لحاظ کردن محدوده مجاز جابجایی تانکرها اولاً به منظور جلوگیری از امکان برخورد بین تانکر و ترمینال (فاصله مجاز ۱۰ متر) و ثانياً عدم ایجاد آسیب به لوله‌های متصل به تانکر در اثر جابجایی بیش از حد تانکر؛ کنترل می‌شود. روابط ارائه شده در

جدول ۵- شرایط محیطی مورد مطالعه

Table 5- Environmental conditions under study

$\gamma$	$T_p$	$H_s$	شرایط محیطی
-	[s]	[m]	واحد
1/4933	5/5	2	۱
1/4933	7	3	۲
2/2261	8/5	4	۳
2/2261	9/7	5/5	۴

$$S_C - T_{C-mean} \gamma_{mean} - T_{C-dyn} \gamma_{dyn} \geq 0 \quad \text{رابطه (۴)}$$

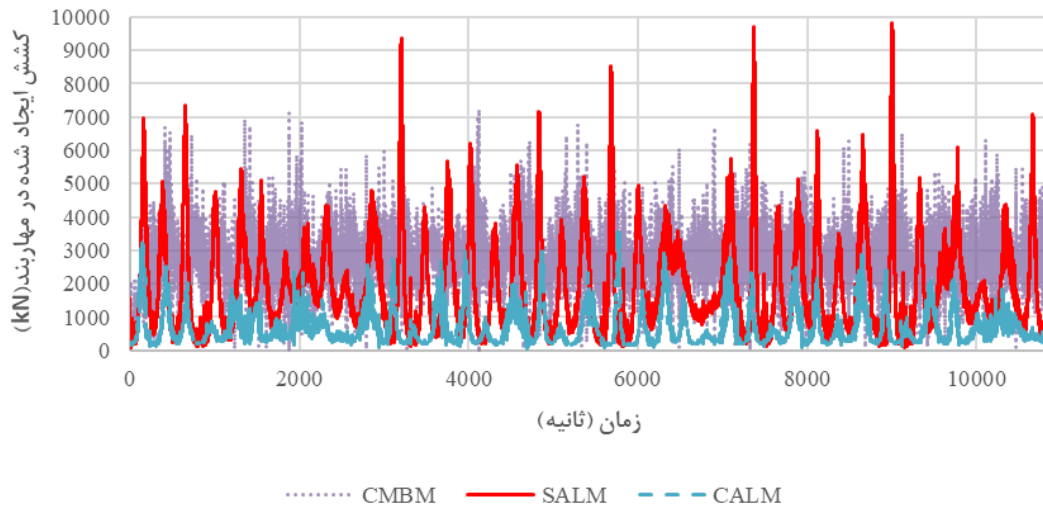
$$T_{C-dyn} = T_{MPM} - T_{C-mean} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$S_C = 0.95 * MBL \quad \text{رابطه (۶)}$$

جدول ۶- ضرایب ایمنی مورد نیاز برای به دست آوردن مقاومت مشخصه

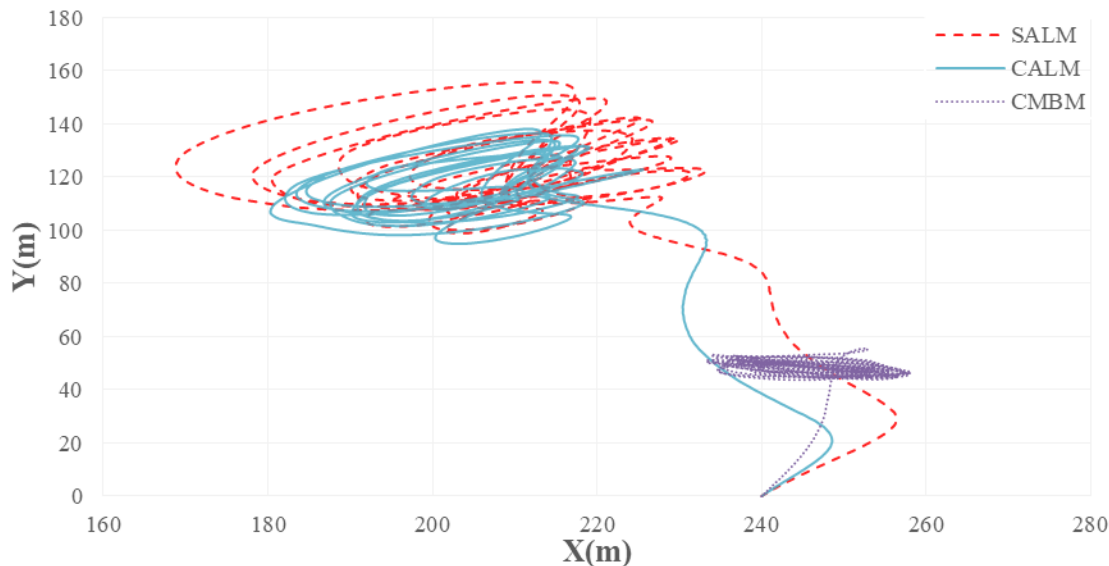
Table 6- Safety coefficients required to obtain characteristic resistance

$\square_{dyn}$	$\square_{mean}$	نوع آنالیز	کلاس ایمنی
1/5	1/1	دینامیکی	۱
2/1	1/4	دینامیکی	۲



شکل ۱۰- مقایسه کشش های ایجاد شده در سیستم های مهاربندی ترمینالهای نفتی منتخب

Fig. 10- Comparison of tension created in selected oil terminal mooring line systems



شکل ۱۱- مقایسه جابجایی تانکرهای متصل به سه ترمینال نفتی منتخب

Fig. 11- Compare the displacement of tankers connected to the three selected oil terminals

مهاربندهای دو ترمینال دیگر بیشتر می‌باشد. به گونه‌ای که بیشینه مقدار کشش داخل خطوط مهاربندی برای سازه‌های CALM, SALM و CMBM به ترتیب برابر ۹۸۰۰، ۳۵۰۰ و ۷۲۰۰ کیلونیوتن می‌باشد.

جابجایی تانکر به دلیل اتصال لوله‌ها به آن، از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین در این تحقیق میزان جابجایی تانکر (تانکر ۴) متصل به این سه ترمینال منتخب مورد مقایسه قرار گرفته شده و نتایج حاصله در شکل ۱۱ نشان داده شده است. به منظور مقایسه جابجایی تانکر بین سه ترمینال از شرایط محیطی یکسان استفاده شده است. از جابجایی مرکز جرم این تانکرها که در مختصات

### ۳. نتایج

از مهمترین اجزای ترمینال‌های نفتی سیستم‌های مهاربندی می‌باشد. بنابراین تحلیل و کنترل نیروهای ایجاد شده در خطوط مهاربندی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه نیروهای ایجاد شده در سیستم‌های مهاربندی سه ترمینال منتخب تحت شرایط عملیاتی یکسان مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در این مقایسه از بزرگترین تانکر (تانکر ۴ در جدول ۲) و همچنین شرایط عملیاتی خلیج فارس استفاده شده است. نتایج این تحلیل در نمودار شکل ۱۰ قابل مشاهده می‌باشد.

با توجه به نتایج شکل ۱۰، حداکثر کشش ایجاد شده در مهاربند سازه SALM از حداکثر کشش‌های ایجاد شده در

از آنجایی که مهمترین وظیفه ترمینال نفتی کنترل موقعیت تانکر در یک موقعیت ایمن می‌باشد بنابراین بررسی رفتار این ترمینال‌ها تحت تاثیر اتصال به تانکرها با وزن و ابعاد مختلف، معیار مناسبی از پایداری این ترمینال‌ها بدست می‌دهد. همانطور که در شکل ۱۳ نشان داده شده است برای بررسی ترمینال‌های منتخب از چهار نوع تانکر مختلف استفاده شده است و میزان تاثیری که روی پاسخ سازه همچون کشش ایجاد شده در مهاربند و هاسر دارد، مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

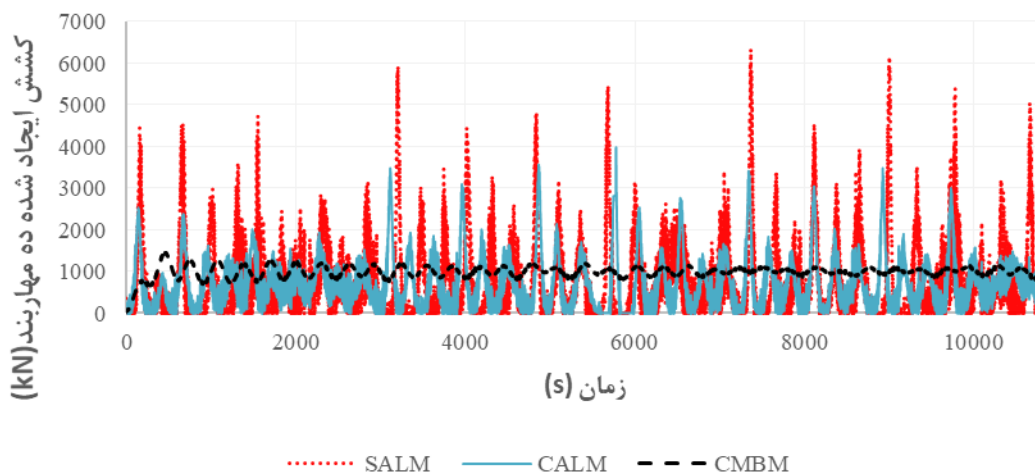
همانطور که در شکل ۱۳ مشخص است، با افزایش تناژ تانکرها تغییرات زیادی روی حداکثر نیروهای ایجاد شده در خطوط مهاربندی ترمینال CMBM بوجود نمی‌آید. این درحالی است که با افزایش تناژ تانکر، ضریب ایمنی نیرو ایجاد شده در مهاربند ترمینال‌های SALM و CALM به ترتیب از ۰,۳۳ به ۰,۸۵ و از ۰,۲۸ به ۰,۵۶ افزایش پیدا کرده است. برای هاسرها نیز مطابق شکل ۱۶ تغییراتی در نیروی ایجاد شده هاسر در ترمینال CMBM بوجود نمی‌آید اما برای ترمینال‌های CALM و SALM ضرایب ایمنی به ترتیب از ۰,۳۵ به ۰,۶۳ و از ۰,۳۲ به ۰,۶ افزایش پیدا می‌کند.

(۰,۲۴۰) می‌باشد به عنوان مبنای اندازه‌گیری جابجایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به شکل ۱۱ جابجایی تانکر مهار شده توسط CMBM از جابجایی تانکر متصل به دو ترمینال دیگر کمتر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که با شرایط محیطی یکسان، جابجایی تانکر مهار شده توسط ترمینال CALM در جهت X در بازه ۱۸۰ تا ۲۵۰ متر نوسان می‌کند و برای ترمینال‌های SALM و CMBM این جابجایی‌ها به ترتیب در بازه ۱۷۰ تا ۲۶۰ متر و ۲۳۰ تا ۲۶۰ متر است. میزان نوسان این تانکر در جهت Y در صورت اتصال به ترمینال‌های CALM، SALM و CMBM به ترتیب در بازه‌های ۰ تا ۱۴۰ متر، ۰ تا ۱۶۰ متر و ۰ تا ۵۵ متر می‌باشد.

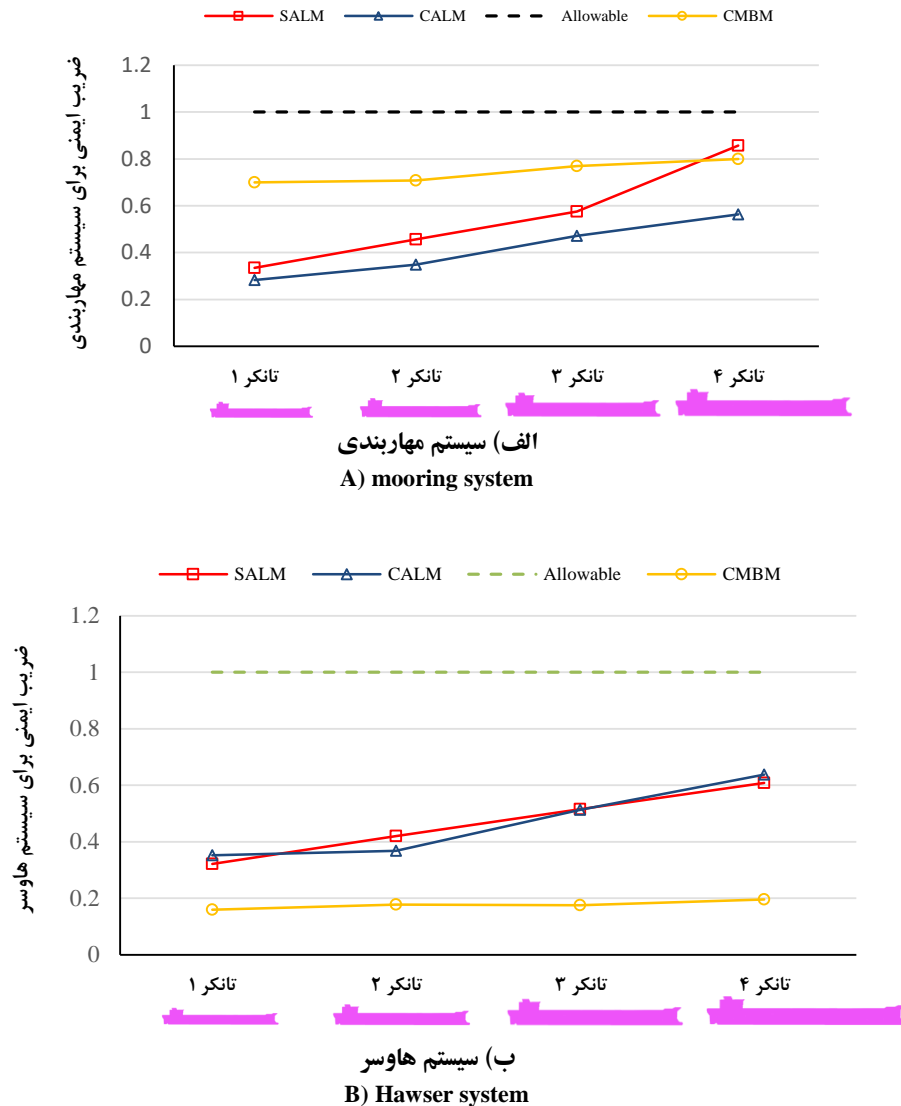
هاوسرها (کابل‌های اتصال بین تانکر و ترمینال) نیز از مهمترین چالش‌ها برای طراحی سازه‌های عملیات تخلیه و بارگیری ترمینال‌های فراساحل است. نیروهای ایجاد شده در هاوسرها معیار مناسبی را برای مقایسه انواع ترمینال‌های نفتی در اختیار قرار می‌دهد. در این مقاله حداکثر نیروهای ایجاد شده در هاوسرها در صورت اتصال تانکر ۴ به ترمینال‌های منتخب مطابق نمودار شکل ۱۲ مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

با توجه به شکل ۱۲، با شرایط یکسان حداکثر نیروهای ایجاد شده در هاوسر ترمینال‌های CALM، SALM و CMBM به ترتیب برابر ۳۹۰۰، ۶۳۰۰ و ۱۴۰۰ کیلونیوتن می‌باشد.



شکل ۱۲- مقایسه کشش‌های ایجاد شده در سیستم هاوسر ترمینال‌های منتخب

Fig. 12- Comparison of the tension created in the hawser system through the selected terminals



شکل ۱۳- پاسخ سیستم مهاربندی و هاوسر سه نوع ترمینال مورد بررسی تحت تانکرهای مختلف  
Fig. 13- The response of the mooring and Hawsers system of the three types of terminals investigated under different tankers

سازه CMBM بیشترین پایداری را از خود نشان می‌دهد به گونه‌ای که حتی در شرایط محیطی ۴ قابلیت عملیاتی دارند. اما در ترمینال‌های SALM و CALM تنها تا شرایط محیطی ۲ قابلیت عملیاتی دارند.

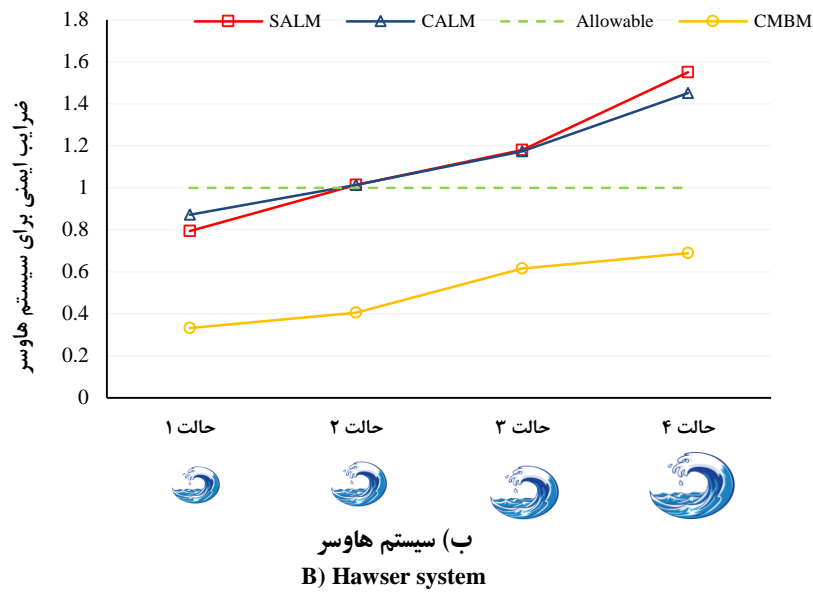
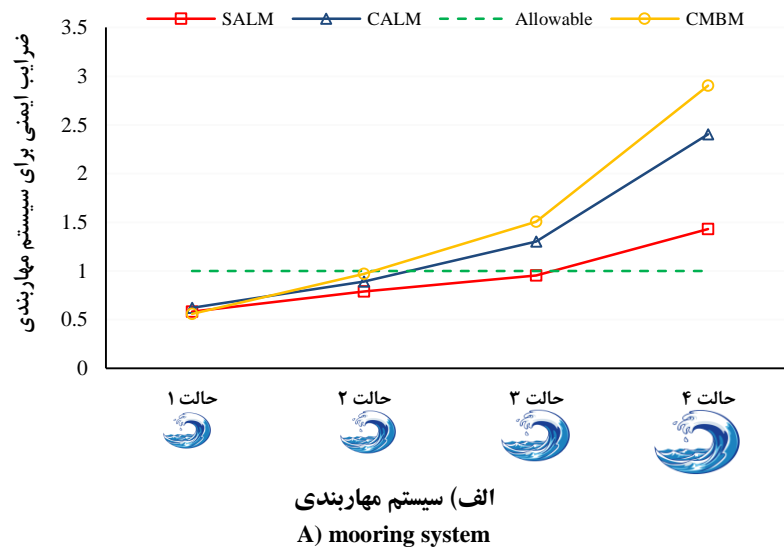
از پارامترهای تاثیرگذار دیگر در شرایط عملیاتی، فاصله ایمن بین تانکر و ترمینال می‌باشد. از آنجایی که نزدیک‌ترین نقطه بین تانکر و ترمینال، نقاط ابتدا و انتهای هاوسر بوده بنابراین فاصله بین این دو نقطه در طول آنالیز به عنوان فاصله بین تانکر و ترمینال در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله فاصله بین این دو سازه برای هر سه ترمینال مطابق نمودارهای شکل ۱۵ محاسبه شده است. مطابق شکل ۱۵، فاصله بین تانکر و ترمینال در طول آنالیز برای هر سه ترمینال نه تنها یکسان می‌باشد؛ بلکه این فاصله از

از دیگر متغیرهای مورد بررسی، شرایط محیطی مختلف می‌باشد. در این مقاله چهار نوع شرایط محیطی مختلف مطابق جدول ۵ در نظر گرفته شده است و تاثیری که بر روی پاسخ سازه، شامل نیروی ایجاد شده در مهاربند و هاوسر ایجاد می‌کند به ترتیب در شکل ۱۴ قابل مشاهده می‌باشد.

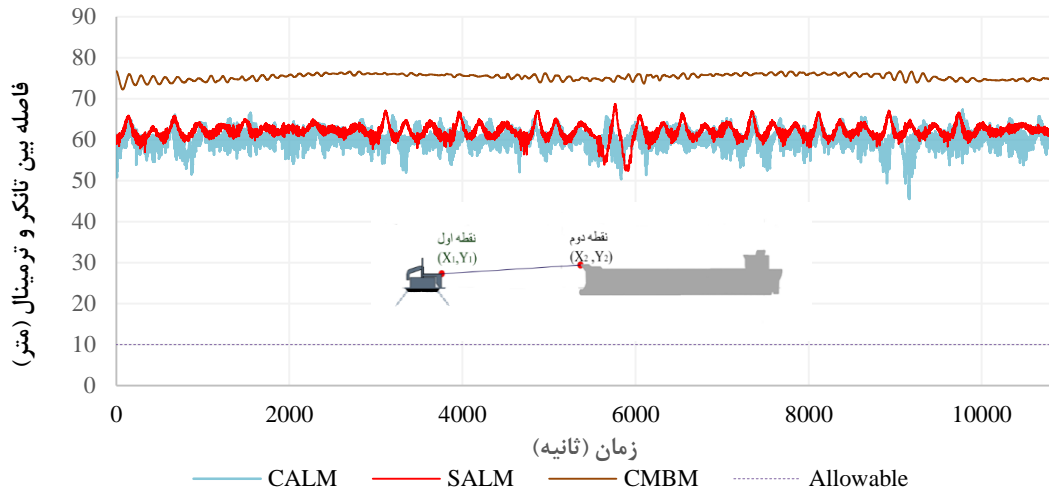
با توجه به شکل ۱۴-الف نتایج نشان می‌دهند که مهاربند سازه SALM بیشترین پایداری را در برابر افزایش شرایط محیطی از خود نشان می‌دهد به گونه‌ای که تا شرایط محیطی ۳ قابل بهره برداری می‌باشد. این در حالی است که مهاربندهای سازه‌های CALM و CMBM تا شرایط محیطی ۲ قابل استفاده می‌باشند. پارامتر بعدی مورد بررسی، تحت شرایط محیطی مختلف سیستم هاوسر می‌باشد. با توجه به شکل ۱۴-ب مشاهده می‌شود که هاوسر

می‌شود، با توجه به نوع مهاربندی CMBM فاصله بین تانکر و ترمینال در طول آنالیز تقریباً ثابت است.

مقدار ۱۰ متر که آیین نامه پیشنهاد داده است بزرگتر است بنابراین فاصله ایمن بین تانکر و ترمینال را برآورده می‌کند. همچنین نتیجه



شکل ۱۴- میزان تغییرات حداکثر کشش ایجاد شده در سیستم مهاربندی تحت شرایط محیطی مختلف  
 Fig 14-The amount of maximum tension changes in the mooring system under different environmental conditions



شکل ۱۵ - حداقل فاصله بین تانکر و ترمینال  
Fig. 15- Minimum distance between tanker and terminal

در شدت نیرو ندارد، اما این در حالی است که برای ترمینال - های CALM و SALM این تغییرات محسوس می‌باشند. با افزایش شدت شرایط محیطی، مهاربند سازه SALM بیشترین پایداری را از خود نشان می‌دهد. همچنین با تغییرات داده شده هاوسرهای سازه CMBM بیشترین پایداری را از خود نشان می‌دهد.

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

ترمینال‌های نفتی شناور به عنوان یک راه حل ارزان در فرآیند تخلیه و بارگیری استحصال‌ات هیدروکربنی مطرح هستند. بنابراین در این مقاله سه ترمینال نفتی منتخب متداول شامل CALM، SALM و CMBM مورد مطالعه قرار گرفته شد و پاسخ‌های دینامیکی و سازه‌ای این ترمینال‌ها و تجهیزات متعلق به آن‌ها؛ شامل نیروهای ایجاد شده در مهاربند، هاوسرها و جابجایی ترمینال تحت شرایط محیطی و عملیاتی یکسان مقایسه شد. علاوه بر این، به منظور بررسی پایداری و عملکرد این ترمینال‌ها، از دو فاکتور عملیاتی شامل شرایط محیطی مختلف و انواع تانکرها با تناژهای مختلف استفاده شده است. برای شبیه سازی رفتار این ترمینال‌ها از دو نرم‌افزار تجاری معتبر شامل Ansys Aqwa و OrcaFlex به صورت اندرکنشی استفاده شده و تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی بر روی سیستم ترمینال، تجهیزات عملیاتی و تانکر انجام شده که نتایج به شرح زیر حاصل شده است:

- تحت شرایط یکسان، حداکثر نیروهای ایجاد شده در خطوط مهاربندی ترمینال SALM از حداکثر نیروی ایجاد شده در سیستم مهاربندی دیگر ترمینال‌های مورد بررسی در این مطالعه بیشتر می‌باشد.
- تانکر متصل به ترمینال CMBM حداقل جابجایی را دارد. همچنین مشاهده می‌شود که جابجایی تانکرهای متصل به SALM و CALM تقریباً جابجایی یکسانی دارند.
- کمترین نیرو در هاوسر متصل به ترمینال CMBM و بیشترین نیرو در هاوسر متصل به ترمینال SALM ایجاد می‌شود.
- با افزایش تناژ تانکرها، نیروهای ایجاد شده در مهاربند و هاوسر استفاده شده در ترمینال CMBM تقریباً تغییر زیادی



## References:

- AQWA, Ansys. 2014. "Theory Manual." ANSYS, Editor, ANSYS® Academic Research.
- Bakhtiari, M., Shemshaki, S. and Sadri Nasab, M., 2019. Investigating the interaction of fluid and structure on the body of a semi-submerged platform under the influence of regular sea waves. *Journal of Marine Science and Technology*, 18(1), pp.62-73. DOI: 10.22113/jmst.2018.99592.2053.
- Eghbali, B., Daghigh, M., Daghigh, Y. and Azarsina, F., 2018. Mooring line reliability analysis of single point mooring (SPM) system under extreme wave and current conditions. *International Journal of Maritime Technology*, 9, pp.41-49. DOI: 10.29252/ijmt.9.41.
- Esmailzadeh, E. and Goodarzi, A., 2001. Stability analysis of a CALM floating offshore structure. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 36(6), pp.917-926. DOI: 10.1016/S0020-7462(00)00055-X.
- Gruy, R.H., Kiely, W.L., Maresh, L.A. and Pedersen, K.I., 1979, April. The LOOP deepwater port: Design and construction of the Single Anchor Leg Mooring (SALM) tanker terminals. In *Offshore Technology Conference* (pp. OTC-3562). OTC. DOI: 10.4043/3562-MS .
- Oil Companies International Marine Forum, 1977. *Prediction of wind and current loads on VLCCs*. OCIMF. DOI: 10.4043/3562-MS.
- Olsen, M.K., 2011. *Estimation of annual probability of mooring line failure as a function of safety factors* (Master's thesis, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for marin teknikk).
- Orcaflex. 2015. OrcaFlex Manual Version 9.7a, 2015. section 1;3;4;6;7.
- Ozorishin, A., 2012. *FSO concept for shallow waters in the Vietnam offshore oilfield-block Hanoi trough-02* (Master's thesis, University of Stavanger, Norway).
- Paulauskas, V., 2009. The safety of tankers and single point mooring during loading operations. *Transport*, 24(1), pp.54-57. DOI: 10.3846/1648-4142.2009.24.54-57
- Qi, X., Chen, Y., Yuan, Q., Xu, G. and Huang, K., 2017, June. Calm buoy and fluid transfer system study. In *ISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference* (pp. ISOPE-I). ISOPE.
- Rutkowski, G., 2019. A comparison between conventional buoy mooring CBM, single point mooring SPM and single anchor loading sal systems considering the hydro-meteorological condition limits for safe ship's operation offshore. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 13(1), pp.187-195. DOI: 10.12716/1001.13.01.19.
- Trelleborg SEALINE. <https://www.trelleborg.com>.
- Veritas, D.N., 2010. Offshore standard DNV-OS-E301 position mooring. *Det Norske Veritas: Høvik, Norway*. DOI:
- Wang, J. and Xie, B., 2012, June. A simplified method for predicting global motion of moored semi-submersible platforms. In *ISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference* (pp. ISOPE-I). ISOPE.
- Wang, K., Er, G.K. and Iu, V.P., 2018. Nonlinear dynamical analysis of moored floating structures. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 98, pp.189-197. DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2017.10.025.



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>  
Original Article



## Technical Comparison of Offshore Oil Terminals Under the Effect of the Persian Gulf Environmental Conditions

Esmaeil Hasanvand, Pedram Edalat \*

Mechanical Engineering Department, Abadan Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran.

\* Corresponding author Email: [Edalat@put.ac.ir](mailto:Edalat@put.ac.ir)

Received: 07 July 2020

Revise Date: 17 July 2021

Accepted: 19 July 2021

DOI: 10.22113/JMST.2021.233123.2374

### Abstract

Offshore oil terminals are used as a cheaper and safer solution than shore terminals for unloading and loading tankers. There are different types of offshore terminals. Therefore, comparing the dynamic response of these terminals will be effective in identifying their strengths and weaknesses. The present study is to compare the dynamic response of the structures of three common offshore oil terminals, including CALM, SALM, and CMBM in environmental conditions under the Persian Gulf region. Simulation is used in OrcaFlex software to obtain structural responses including the tension created in the mooring line and hawser, motion the tankers connected to them. The results show that considering the same operating conditions, the maximum tensions created in the SALM terminal mooring are 2.7 and 1.3 times higher than the CALM and CMBM terminals, respectively. Also, the maximum tension in the SALM terminal hawser is 1.5 and 4.3 times higher in the CALM and CMBM terminals, respectively. As the environmental conditions become more critical, the SALM terminal mooring shows the most stability. By increasing the tonnage of the tankers from 45,000 to 320,000 tons, the maximum tension created in the CMBM mooring has the least change; This is while the maximum tension created in the terminal mooring of CALM and SALM increases by 100% and 156%, respectively. Comparing the displacement created in the tankers (during operation), it results that the displacement in the tanker connected to the CMBM terminal has a minimum size and the displacement in the tankers connected to CALM and SALM is almost the same.

**Keywords:** Floating oil terminals, coupled dynamic analysis, mooring system

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

