

# آنالیز سیستم مهار مخزن استوانه‌ای انبارش نفت در دریای خزر

فرود نیکنام<sup>1</sup>، سید محمد حسین شریفی<sup>2</sup>، مهرداد اکبری<sup>3</sup>، ابراهیم امینی<sup>4</sup>

<sup>1</sup> کارشناس ارشد، مهندسی دریا، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ [foroodniknam@yahoo.com](mailto:foroodniknam@yahoo.com)

<sup>2</sup> استادیار، دانشکده علوم دریایی محمودآباد، دانشگاه صنعت نفت؛ [sharifi@put.ac.ir](mailto:sharifi@put.ac.ir)

<sup>3</sup> کارشناس ارشد، مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی شریف (شرکت نفت خزر)؛ [akbari.mehرداد@gmail.com](mailto:akbari.mehرداد@gmail.com)

<sup>4</sup> کارشناس ارشد، مهندسی دریا، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ [ebrahim.amini@gmail.com](mailto:ebrahim.amini@gmail.com)

## چکیده

با توجه به اهمیت پیوستگی در فرآیند استخراج فرآورده‌های نفتی از اعماق دریا و اقیانوس‌ها، شناورهای انبارش نفت در کاهش زمان انتقال و هزینه‌ها، نقش بسیار پر رنگی را ایفا می‌کنند. این نوع شناورها به عنوان یک عضو ثابت در کنار سکوها استخراج نفت، از ایجاد وقفه و گسستگی در تولید و استخراج نفت جلوگیری به عمل آورده و از سوی دیگر زمان انتقال و جابجایی نفت به وسیله شناورهای انتقال نفت به ساحل را بسیار کاهش می‌دهند. در این مقاله به آنالیز هیدرودینامیکی سیستم مهار شناور انبارش نفت استوانه‌ای برای عمق 740 متر پرداخته شده است. از مهم‌ترین فاکتورهای مورد بررسی در این مقاله، انتخاب یک سیستم مهار مناسب و تاثیر زوایای برخورد مختلف امواج در نمودارهای RAO حرکات سخت و نرم این شناور می‌باشد. در نهایت نتایج حاصل با معیارهای ارائه شده به وسیله شرکت نیروی Sevan در خصوص مخازن استوانه‌ای انبارش نفتی مقایسه شده است. جهت تحلیل سیستم مهار این شناور از نرم افزار Moses 7/01/047 محصول شرکت Ultramarine امریکا استفاده شده است تا تاثیر زوایای برخورد موج در نتایج دریامانی این مدل سکو در حرکات قائم در امواجی با دوره 100 ساله ارزیابی گردد.

**کلمات کلیدی:** مخزن استوانه‌ای، سیستم مهار، نرم افزار Moses، اپراتور دامنه پاسخ (RAO)، شرکت Sevan

## 1- مقدمه

در یک قرن اخیر تامین انرژی مورد نیاز بشر یکی از دلایل اصلی پیشرفت‌های علمی و مهندسی بوده است. از طرف دیگر مهم‌ترین منبع انرژی سوخت فسیلی به حساب می‌آید و در سال‌های گذشته این منابع سوخت فسیلی تنها محدود به خشکی‌ها بود، اما به تدریج بشر منابع غنی نفت و گاز را در خلیج‌ها، دریاها و حتی اعماق اقیانوس‌ها کشف کرد. در کشور ما امروزه هرچند فعالیت‌های صنعت سکوسازی در جنوب کشور تاریخچه دیرینه داشته و پژوهشگران و صنعت‌گران تجربه‌های فراوانی در طراحی و اجرا در این منطقه دارند، ولی با گسترش روزافزون صنعت و به دنبال آن افزایش تقاضای انرژی فسیلی و همچنین محدودیت ناشی از عمق آب کم در جنوب کشور، توجه هرچه بیشتر به منطقه دریایی مازندران از دیدگاه ملی ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. علاوه بر همه این‌ها موقعیت استراتژیک و سیاسی و بین‌المللی منطقه و همچنین رقابت شدید منطقه‌ای در سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از حوزه‌های نفتی در شمال ضرورت دخالت هرچه بیشتر و گسترده‌تر را در این عرصه دوچندان می‌کند. از این رو با افزایش عمق و فاصله محدوده استخراج، زمان و پیوستگی عملیات انتقال نفت از سکو به ساحل از اهمیت بسیار بالایی برخوردار خواهد بود. در این راستا به منظور تسریع انتقال نفت از سکوها استخراج و به وسیله شناورهای انتقال نفت و کاهش هزینه‌های نگهداری و ذخیره نفت به وسیله خود سکو و در پی آن توقف عملیات حفاری و بهره‌برداری، حضور دائم مخازن ذخیره در کنار سکوها استخراج از اهمیت روزافزونی در صنایع نفتی فراساحل برخوردار خواهد بود.

شناورهای ذخیره و تخلیه با مهار دائم عمدتاً برای ذخیره تولیدات نفت خام مورد استفاده قرار می‌گیرند. نفت ذخیره شده در این مخازن به صورت دوره‌ای و به وسیله تانکرهای مخصوص حمل فرآورده‌های نفتی به ساحل منتقل می‌شوند. از مهم‌ترین مسائل مرتبط با این نوع سکوها، حفظ یکپارچگی سیستم مهار و خطوط انتقال نفت می‌باشد. مساله بعدی پیش روی محدوده عملیاتی انتقال نفت بین مخزن ذخیره و تانکر حمل می‌باشد که همگی این مسائل با تعیین حرکات اعمالی به سازه از سوی باد، امواج و جریان و نیروهای ناشی از سیستم مهار بر سازه تعیین می‌گردد [1]. شکل 1 یک مخزن استوانه‌ای انبارش نفت را نشان می‌دهد.



شکل 1: نمونه‌ای از مخزن استوانه‌ای انبارش نفت

در پروژه حاضر سعی شده با استفاده از امکانات مدل سازی و تحلیل هیدرودینامیکی بسته نرم افزاری Moses محصول شرکت Ultramarine به مطالعه سیستم مهار مخزن انبارش نفت در امواج و تاثیر پذیری حرکات آن در شش درجه آزادی برای زوایای برخورد مختلف موج پرداخته شود. این نرم افزار از روش المان مرزی به استخراج نتایج و تحلیل آن می پردازد که در ادامه شرح مختصری از تحلیل هیدرودینامیکی سکو و حرکات و عملگرهای دامنه پاسخ نیز ارائه شده است.

- سیستم مهار

با ظهور سازه‌های فراساحل به منظور عملیات حفاری و بهره‌برداری و همچنین ذخیره و نگاهداری نفت و فراورده‌های نفتی، از سیستم مهار برای نگاه داشتن شناور و سازه برای مدت طولانی و در برخی موارد (سکوهای ذخیره فراورده‌های نفتی) به صورت دائمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که استفاده از سیستم مهار تنها به بخش حفاری محدود نخواهد شد بلکه در تمامی حوزه‌های فراساحل چون اکتشاف، لوله‌گذاری، ذخیره‌سازی، استخراج معادن فراساحلی و ... از اهمیت بالایی برخوردار است.

-تقسیم‌بندی سیستم مهار

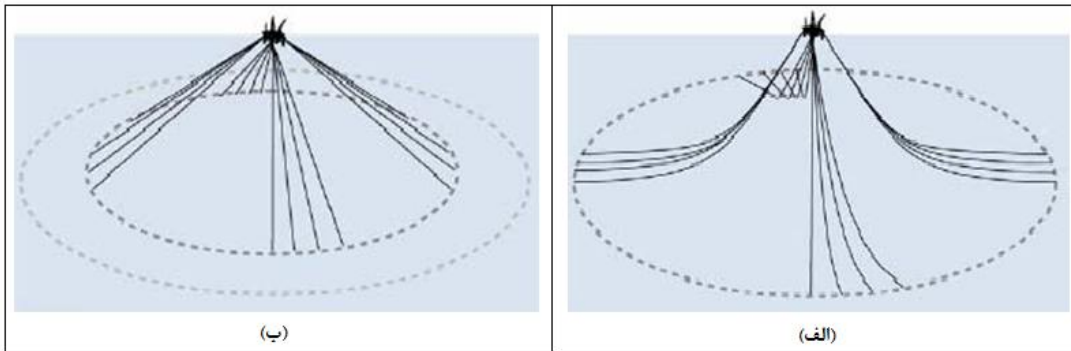
سیستم مهار را می‌توان از لحاظ گوناگونی تقسیم‌بندی نمود در نگاه اول از لحاظ کاربری سیستم مهار به دو نوع مهار موقت و دائم دسته‌بندی می‌شود. در سیستم مهاربندی موقت به شناور اجازه داده می‌شود که برای مدت زمان محدود و موقت در محل مورد نظر قرار گیرد و موقعیت آن طی یک الگوی مشخص و کنترل شده به صورت تدریجی تغییر نماید. اما سیستم مهار دائم، برای نگه داشتن شناور و یا سازه در محل مورد نظر به صورت دائمی و برای مدت زمان طولانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به صورت معمول در این سیستم مهاربندی، شناور نمی‌تواند موقعیت خود را تغییر دهد و باید توانایی مقاومت و ایستادگی در برابر نیروهای محیطی در شرایط بد آب و هوایی را داشته باشد. از جمله موارد استفاده این سیستم مهاربندی می‌توان به مهار دائمی تانکرهای ذخیره نفت و فراورده‌های نفتی با فرم بدنه خاص (برای مثال سکوهای اسپار و FSO) و همچنین مهار دائمی سیستم‌های تولید شناور از جمله سکوهای نیمه‌شناور و FPSO اشاره نمود [2].

در کنار تقسیم‌بندی بالا، مهمترین انواع سیستم مهاربندی را می‌توان به دو دسته کاتنری<sup>1</sup> و کشیده<sup>2</sup> تقسیم‌بندی کرد. مهار کاتنری در واقع قدیمی‌ترین و رایج‌ترین سیستم مهار به حساب می‌آید که در آن خطوط مهار نیروی نگاه‌دارنده و بازگرداننده خود را از نیروی کشش ناشی از وزن روبه پایین خود ایجاد می‌کنند. به عبارت دیگر در این سیستم مهاربندی از خصوصیات زنجیر برای بدست آوردن سختی مورد نظر استفاده می‌گردد. بنابراین کارایی این سیستم وابسته به هندسه خطوط مهار بوده که از نیروی وزن خود برای تولید سختی مورد نظر بهره می‌گیرد. لازم به ذکر است که این نوع سیستم مهاربندی اغلب برای آب‌های عمیق مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سیستم مهار کاتنری، خطوط مهار از شناور به شکل یک زنجیر خارج شده و سپس به صورت افقی به یک لنگر در بستر دریا می‌رسد.

اما در سیستم مهار کشیده، سیم‌های مهار کشیده شده تا به صورت یک خط نسبتاً مستقیم از شناور تا بستر دریا درآید. بر خلاف سیستم مهار کاتنری، در این سیستم مدول کشسانی (E) سیم مهار اهمیت بسیار بالایی دارد به عبارت دیگر جذب انرژی در اثر تغییر الاستیک سیم مهار می‌باشد و در این راستا سیم مهار باید دارای مدول الاستیسیته کوچک یا طول زیاد باشد. در شکل 2 نمایی از دو سیستم مهار کاتنری و کشیده را مشاهده می‌نمایید.

<sup>1</sup> Catenary

<sup>2</sup> Taut



شکل 2: نمایی از انواع سیستم مهاربندی: الف) مهاربندی کاتنری ب) مهاربندی کشیده

یادآور شود که سیستم مهاربندی از منظر آرایش به دو دسته گسترده<sup>1</sup> و نقطه‌ای<sup>2</sup> تقسیم‌بندی می‌شود. سیستم مهار گسترده ترکیبی از زنجیر، سیم و یا کابل‌های ترکیبی از مواد مصنوعی است که به صورت گروهی در نقاطی استراتژیک و مهم از سازه به منظور نگه داشتن سازه در موقعیت و جهت‌گیری مورد نظر متصل می‌شوند. این آرایش مهاربندی برای سکوهای FPSO و FSO مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آرایش خطوط مهار به صورت مستقیم به هر دو قسمت سینه و پاشنه سازه متصل می‌شود و رایج‌ترین ساختار مهاربندی در این آرایش، خطوط مهار کاتنری می‌باشد که متشکل از زنجیر و رشته‌های سیمی است [3].

سیستم مهار نقطه‌ای که خود دارای انواع مختلفی می‌باشد، معمولاً در قسمت سینه شناور اتصال می‌یابد به گونه‌ای که خصوصیات جهت‌گیری خاصی را برای سازه و شناور فراهم آورد. در جدول 1 آماری از سیستم‌های مهار مورد استفاده در سکوهای FPSO قابل مشاهده است و در شکل 3 می‌توان نمایی از دو سیستم مهار گسترده و نقطه‌ای را مشاهده نمود.

جدول 1: سیستم‌های مهار مورد استفاده در FPSO [4]

Mooring	Number
Spread mooring	9
Catenary anchor leg mooring	12
Single-anchor mooring	11
External turret	7
Internal turret	22
Disconnectable riser turret	4
Disconnectable buoyant turret	2
Dynamic positioning	2
Total	69



شکل 3: انواع آرایش سیستم مهاربندی: الف) مهار turret ب) مهار گسترده

<sup>1</sup> Spread Mooring system (SM)

<sup>2</sup> Single Point Mooring system (SPM)

## - سیم‌های مهار

هر سیستم مهار از چندین خط مهار (از جنس زنجیر، سیسم و یا ترکیبات پلی استری) تشکیل شده است که از یک انتها به نقاط مختلفی از سازه شناور و از انتهای دیگر به بستر دریا متصل می‌باشد. کابل‌های سیستم مهار اصولاً از زنجیرهای استیل، سیسم و یا ترکیباتی از هردو ساخته می‌شوند. خطوط مهار ترکیبی معمولاً از فولاد در کنار فایبرهای طبیعی و یا مصنوعی ساخته می‌شوند و در این شرایط این ترکیبات با طول‌های مختلف و با آرایشی متفاوت در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. به طور کلی سیم‌های مهار را می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم‌بندی نمود [5]:

- سیم‌های مهار با مدول الاستیسیته پایین که معمولاً از جنس نایلون و یا پروپیلین هستند.
- این سیم‌ها برای مهارهای کوتاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشکل اصلی این مهارها در این است که در صورت پارگی، شوک ناگهانی به وجود می‌آورند و از سوی دیگر به طرز خطرناکی شلاق‌گونه باز می‌شوند.
- سیم‌های فولادی با هسته فایبر<sup>1</sup> و یا هسته سیمی<sup>2</sup>
- سیم‌های فولادی عموماً متشکل از چندین رشته سیم است که همگی به صورت یک الگوی مارپیچی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و تشکیل یک رشته را می‌دهند. لازم به ذکر است که سیم‌های فولادی با هسته سیمی، از آنجایی که از مدول الاستیسیته بزرگتری برخوردارند مرسوم‌تر هستند.
- زنجیرهای فولادی که در واقع بیشتر برای سیستم مهار کاتنری مورد استفاده قرار می‌گیرند. خصوصیات دانه‌های زنجیر در ویژگی‌های سیستم مهار عامل بسیار مهمی است که از جمله این خصوصیات اندازه و grade دانه‌های زنجیر خواهد بود.

## 2- شبیه‌سازی عددی

نرم افزار Moses<sup>3</sup> به عنوان یک برنامه تحلیل المان مرزی همه جانبه برای هر نوع سازه در معرض سیال به صورت سطحی، شناور، نیمه شناور، مغروق، کارایی فوق العاده مفیدی دارد. اغلب نتایج مدل‌سازی در نرم افزار Moses به صورت گزارشات، عکس‌ها، انیمیشن‌های سه بعدی و گزارش‌های آماری قابل دسترس است. نرم افزار Moses جرم افزوده، دمپینگ تشعشی و نیروهای هیدرودینامیکی را از فشار هیدرودینامیکی روی سطح تعیین می‌کند. به علاوه Moses برای تعیین نیروهای هیدرودینامیکی مرتبه دوم از فشار مرتبه اول استفاده می‌کند. این نیروهای مرتبه دوم برای اکثر مدل‌سازی‌ها قابل نظر کردن می‌باشد و اهمیت زیادی ندارد اما در سازه‌هایی که دارای خطوط مهار می‌باشد این نیروها نیز اهمیت پیدا می‌کند. به طور خلاصه در زیر اقسام مختلف نیروها و پارامترهای مورد استفاده در محاسبه آن‌ها در نرم افزار Moses بیان شده است [6]:

- دمپینگ تشعشی: مش تفرق
- جرم افزوده: مش تفرق و المان‌های موریسون
- دمپینگ ویسکوز: المان‌های موریسون، دمپینگ تاناکا در مش تفرق (فقط برای تحلیل تاریخچه زمانی)
- بویانسی: المان‌های سازه‌ای، مش تفرق
- نیروی باد: المان‌های سازه‌ای
- وزن: المان‌های سازه‌ای
- نیروهای مرتبه دوم موج: مش تفرق

### -تعریف محیط دریا در نرم افزار Moses

علاوه بر شبیه‌سازی مدل در نرم افزار، تعریف محیط دریا از مهمترین پارامترهای مدل‌سازی در نرم افزار Moses می‌باشد. این محیط دریایی از بخش‌های گوناگون زیر که توسط کاربر، انتخاب می‌گردد جهت مدل‌سازی کمک می‌گیرد [6].

- تعریف عمق آب
- تعریف سرعت جریان به صورت تابعی از عمق و زاویه برخورد
- تعریف طیف‌های امواج معروف مانند پیرسون موسکویتز، جانسون، برتشنايدر و ..... با ارتفاع موج مشخصه و پریود موج مشخصه برای شرایط دریایی مختلف
- تعریف سرعت باد و جهت و طیف مربوط به آن
- تعریف تابع دما بر حسب زمان

-تعریف اتصالات و خطوط مهار

اتصالات، به المانهایی در نرم افزار Moses الحاق می شود که کار اتصال شناور و سکو به اسکله یا سازه ساحلی و فراساحلی دیگر را بر عهده دارند. این اتصالات توسط کاربر با فرمانها و کلاس های مختلف مدلسازی می شود. کلیه اتصالات در این نرم افزار عبارتند از خطوط مهار، خطوط مهار مقلد (خطوط مهار کشیده شده، خطوط مهار فشرده شده، خطوط مهار با قابلیت کششی و فشاری)، اتصالات مربوط به یدک کش ها، شمع ها، فنرها، اتصالات ثابت، اتصالات با درجات آزادی مختلف، اتصالات تسمه ای، اتصالات مربوط به آب اندازی شناورها و سازه های فراساحلی، اتصالات مربوط به خطوط انتقال نفت از سازه به یدک کش یا از سازه به کف دریا و ساحل.

خطوط مهار از جمله زیرگروه های این اتصالات می باشد که اصولاً برای مهار سکوهایی نیمه شناور، اسکله های شناور، سکوهایی پایه کششی، اسپار و ..... مورد استفاده قرار می گیرد و به کف دریا متصل می شود. این خطوط دارای کلاس های مختلف B-Catenary و H-Catenary و Rod می باشد. بسته به سازه مدلسازی شده، از کلاس های مختلف در منوی Medit باید استفاده شود. کلاس B-Catenary برای اتصال سکوهایی نیمه شناور به کف دریا باید مدنظر قرار گیرد. برای سکوهایی پایه کششی نیز باید از کلاس Rod استفاده نمود. مدول الاستیسته در این کلاس، برابر مدول الاستیسته فولاد که جهت مهار سکوی پایه کششی در واقعیت استفاده می شود، می باشد. این کلاس باید طوری تعریف شود که نقاط ابتدایی و انتهایی اتصال آن (به ترتیب روی سازه و در عمق آب) با توجه به آب عمیق دقیقاً روی همدیگر قرار گیرند. در منوی Medit برای این کلاس می توان قطر خارجی، ضخامت، مقادیر پیش کشیدگی و کلیه الزامات مدلسازی تاندون را لحاظ نمود. از جمله قابلیت های این نرم افزار، غیر فعال کردن یکی یا همه خطوط مهار نیز می باشد که یکی از فرایندهای طراحی در آیین نامه های API و ISO می باشد. کلیه آنالیزهای طراحی اعم از آنالیز پارگی، آنالیز تنش، آنالیز خستگی و .... را روی این خطوط مهار را می توان در نرم افزار Moses صورت داد [6].

### 3- ملاحظات مدل سازی

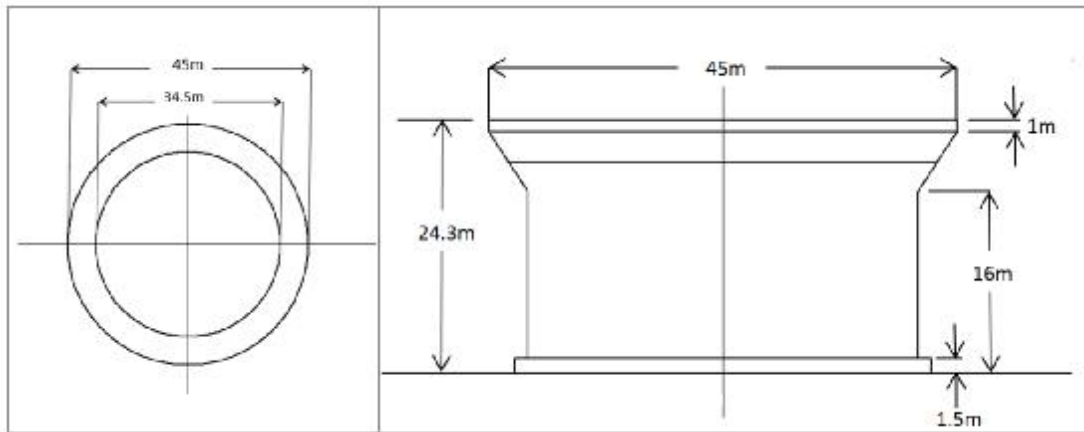
تحلیل سیستم مهار مخزن مدل شده در نرم افزار Moses نیازمند پارامترهایی ورودی تحت عنوان ملاحظات طراحی است که دربردارنده مشخصات هندسی و ابعادی مدل، مشخصات موج برخوردی و مشخصات فنی سیستم مهار طراحی شده است که در این بخش به هرکدام از این پارامترها پرداخته شده است.

-مشخصات فنی و هندسی مخزن استوانه‌ای انبارش نفت مدل شده

در جدول 2 می توان مشخصات فنی و ابعادی مخزن مدل شده در نرم افزار را مشاهده نمود و در پی آن در شکل 4 به ترتیب از چپ به راست پلان و نمای سکوی مورد نظر مشاهده می شود.

جدول 2: مشخصات فنی مخزن استوانه‌ای مدل شده

آبخور (متر)	14.23
(B) جابجایی (تن)	18046
وزن بدنه و سازه (تن)	3250
$(I_{44})$ ممان اینرسی حرکت رول ( $kgm^2$ )	25000-30000
$(I_{55})$ ممان اینرسی حرکت پیچ ( $kgm^2$ )	90
$(I_{66})$ ممان اینرسی حرکت یاب ( $kgm^2$ )	107
ارتفاع مرکز ثقل بالای کیل	10.95



شکل 4: ابعاد مخزن استوانه‌ای مدل شده

- مشخصات موج برخوردی

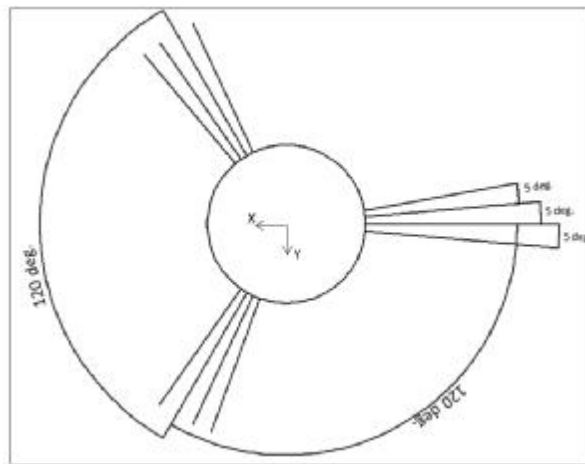
تحلیل بر روی مدل ذکر شده در بخش قبل، برای عمق 740 متری دریا و موج برخوردی با ارتفاع 14 متر و پریود 20 ثانیه انجام شده است. لازم به ذکر است که با توجه به تقارن هندسی مدل و همچنین تقارن در آرایش سیستم مهار که در بخش بعدی به آن پرداخته می‌شود، برای بررسی تمامی حالات ممکن، موج مشخصه در پنج زاویه 0، 30، 45، 60 و 90 درجه به سکو برخورد داده شده است و نتایج برای هر پنج حالت ذکر شده استخراج شده است.

- مشخصات فنی سیستم مهار

سیستم مهار طراحی شده برای مخزن استوانه‌ای مدل شده در بردارنده 12 خط مهار است که به صورت گسترده و با آرایشی کاملاً متقارن در محیط شناور تعبیه شده است. خطوط مهار در سه دسته 4تایی با زاویه 5 درجه نسبت به یکدیگر همان‌گونه که در شکل 5 نشان داده شده، به شناور اتصال داده شده‌اند. لازم به ذکر است که سیستم انتخاب شده از نوع کاتنری و از جنس زنجیر است که مشخصات فنی زنجیر به کار رفته در خطوط مهار در جدول 3 آورده شده است.

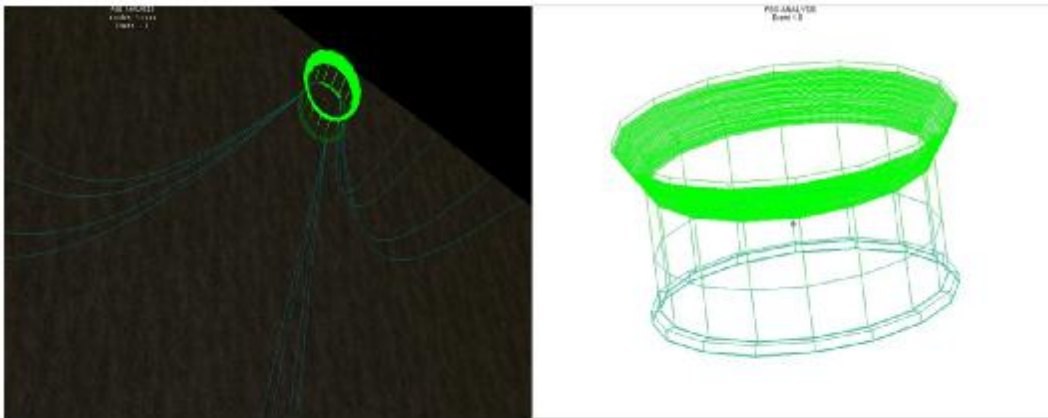
جدول 3: مشخصات فنی خطوط مهار

1300 m	طول
$2.883 \frac{N}{m}$	وزن واحد طول
0.1320 mm	قطر بویانسی
124 mm	قطر خارجی
$1383840 N/m^2$	مدول الاستیسیته
1500 N	پیش کشیدگی در کل مهارها
12	تعداد مهار متصل به سکو
سه دسته 4تایی با زاویه 120 درجه	آرایش مهارها
کاتنری-گسترده	نوع سیستم
Chain grade R4	جنس زنجیر



شکل 5: آرایش سیستم مهار مخزن استوانه‌ای مدل شده

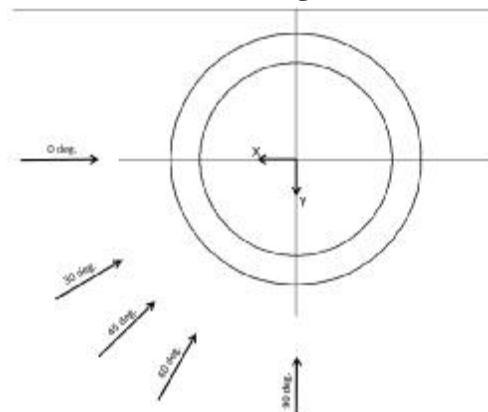
مدل هندسی مخزن مورد نظر با مشخصات ذکر شده در بالا و آرایش و مشخات فنی خطوط مهار تعیین شده در نرم‌افزار مدل شد و نمای سه‌بعدی حاصل از مدل‌سازی در شکل 6 نشان داده شده است. بعد از تایید صحت مدل‌سازی با اعمال شرایط محیطی مشخص در زوایای تعریف‌شده موج برخوردی، به استخراج نتایج پرداخته شده است.



شکل 6: نمای سه‌بعدی از مخزن استوانه‌ای به همراه خطوط مهار مدل شده در نرم‌افزار Moses

#### 4- بررسی رفتار سکو در زوایای مختلف برخورد امواج (RAO)

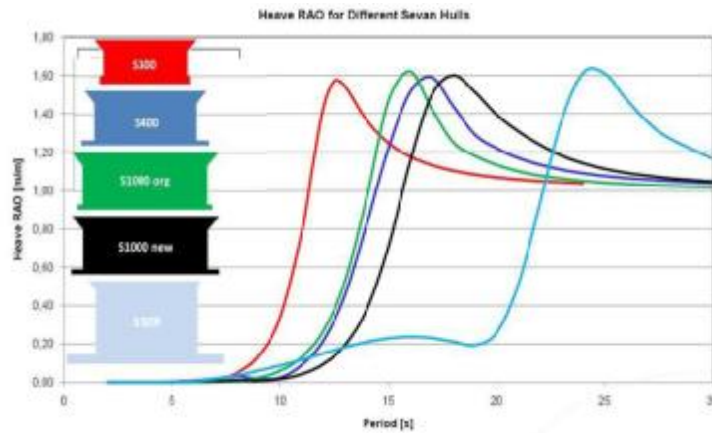
جهت بررسی رفتار مخزن استوانه‌ای انبارش نفت در زوایای مختلف برخورد موج، سکو همان‌گونه که در بخش طرح مساله به آن اشاره شد، در برابر امواج با پنج زاویه برخورد 0 و 30 و 45 و 60 و 90 قرار گرفته است و در نهایت نمودارهای RAO شش درجه آزادی حرکت با هم مقایسه شده‌اند. شکل 7 نحوه برخورد امواج با این سکو در عمق 740 متر را نشان می‌دهد.



شکل 7: نحوه برخورد امواج در زوایای مختلف به سکو

### 5- محدوده مجاز دامنه حرکات هیو برای مخازن استوانه‌ای انبارش نفت

همانطور که در ابتدای گزارش اشاره شد، مخزن استوانه‌ای تحلیل شده مدلی مشابه از مخازن استوانه‌ای تولید شده توسط شرکت Sevan است. در این راستا شرکت Sevan نموداری را تحت عنوان محدوده مجاز دامنه حرکات هیو این کلاس از سکوها ارائه داده است که با توجه به ابعاد و فرم هندسی رفتاری قابل پیش‌بینی را از خود نشان می‌دهند [7]. در شکل 8 نمودار ارائه شده برای دامنه حرکات هیو مخازن استوانه‌ای انبارش نفت Sevan را مشاهده می‌نمایید.

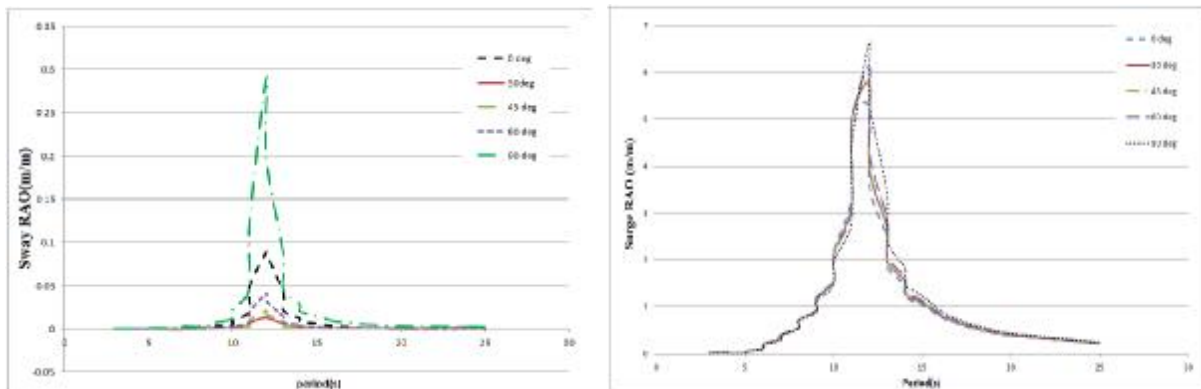


شکل 8: نمودارهای RAO هیو برای مدل‌های مختلف Sevan

همانطور که از نمودار شکل فوق بر می‌آید، با کاهش نسبت ابعادی مخزن استوانه‌ای، پریودی که حداکثر مقدار هیو در آن اتفاق می‌افتد کاهش یافته و لی نکته قابل توجه در این است که میزان حداکثر مجاز این حرکات هیو تقریباً مقداری ثابت خواهد داشت.

### 6- نتایج

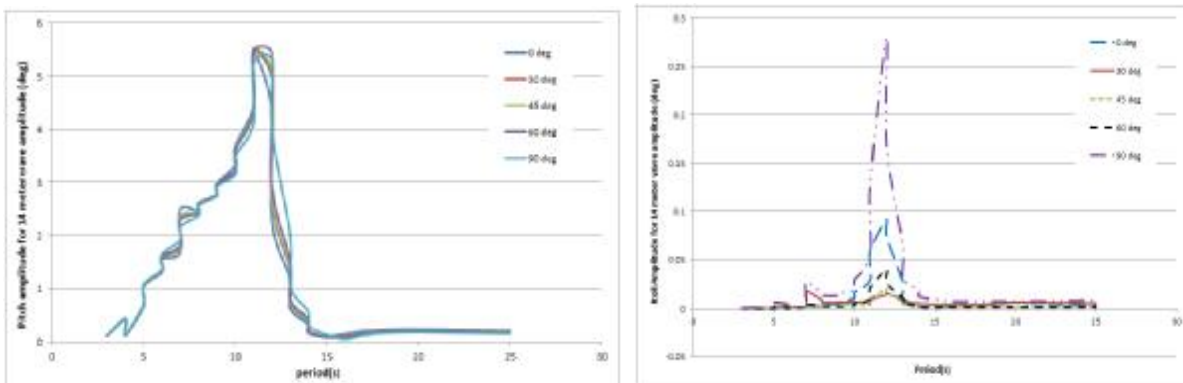
بعد از تحلیل‌های انجام شده با توجه شرایط تشریح شده در بخش مدل‌سازی، نتایج حاصل برای بررسی حرکات در شش درجه آزادی سکو در زوایای مختلف موج برخوردی در قالب نمودارهای زیر ارائه شده است. شکل 9 نمودار RAO حرکات سرج و اسوی مخزن استوانه‌ای انبارش نفت در عمق 740 متر را نشان می‌دهد.



شکل 9: مقایسه RAO حرکت سرج (سمت راست) و اسوی (سمت چپ) در زوایای مختلف برخورد موج

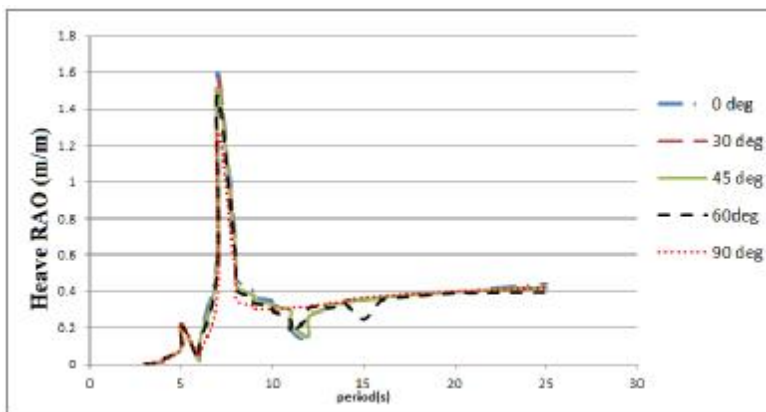
شکل 10 نمودار تغییرات زاویه رول و پیچ مخزن استوانه‌ای در برخورد با موج با ارتفاع 14 متر در عمق 740 متر برای زوایای مختلف موج برخوردی را نشان می‌دهد.





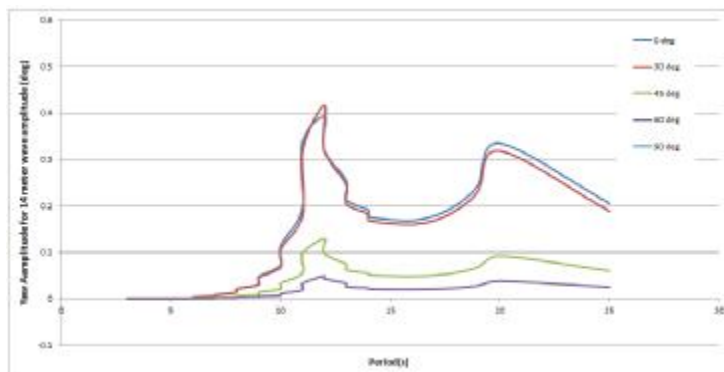
شکل 10: تغییرات زاویه رول (سمت راست) و پیچ (سمت چپ) سکو برای زوایای برخورد مختلف موج

شکل 11 نمودار RAO حرکت هیو مخزن استوانه‌ای در عمق 740 متر برای زوایای مختلف موج برخوردی را نشان می‌دهد.



شکل 11: RAO حرکت هیو مخزن استوانه‌ای در برخورد با زوایای مختلف امواج

شکل 12 تغییرات زاویه یاو مخزن در عمق 450 متر برای زوایای مختلف موج برخوردی را نشان می‌دهد.



شکل 12: تغییرات زاویه یاو سکو برای زوایای برخورد مختلف موج

شکل 13 مقایسه مقادیر RAO هیو بدست آمده از تحلیل مدل توسط نرم‌افزار Moses را با نمودارهای ارائه شده برای RAO هیو سکوه‌های مشابه Sevan نشان داده شده است.

