

بررسی الگوی مناسب مهاربندی برای سکوی نیمه شناور امیر کبیر (ایران البرز)

هادی سبزیان^۱، فرهود آذر سینا^۲، سعید کاظمی^۲، حسن قاسمی^۳

gasemi@aut.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۲- استادیار دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۳- استاد دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

سکوهای نیمه شناور با توجه به ماهیت شناور بودن در معرض بارهای محیطی ناشی از جریان، باد و موج می‌باشند؛ عمده ترین نیروهای وارد بر سازه سکو و بالتبع آن تنش‌های وارده بر مهاربندها ناشی از امواج و برآیند آنها در راستاهای مختلف است. از همین رو طراحی سیستم مهاربندی مناسب و الگوی چیدمان مناسب برای آن از مهمترین قسمت‌های طراحی یک سکوی نیمه شناور است. سیستم‌های مهاربندی سکوی نیمه شناور سبب ایجاد نیروهای بازگرداننده در صفحه افقی می‌شوند و لذا حرکات در درجه‌های آزادی Yaw و Sway و Surge را کنترل می‌کنند. در پژوهش حاضر به جهت برآورد نیروهای کششی وارد بر خطوط سیستم مهاربندی، سکو تحت ۳ راستای موج برخوردی ۰، ۴۵ و ۹۰ درجه با شرایط محیطی دریای خزر و با اعمال اثر موج در نرم‌افزار Flow-3d شبیه سازی شده است. هم چنین از هفت نوع آرایش سیستم مهاربندی متقارن در قالب مهاربندهای ۴ و ۸ تایی برای بررسی و ارزیابی بهترین حالات مهاربندی استفاده گردیده است. با توجه به نتایج تحقیق، سیستم مهاربندی با ۴ خط مهاربندی توصیه نمی‌گردد و در سیستم با ۸ خط مهاربندی نیز آرایش با زوایای ۳۰ و ۴۵ درجه بین خطوط مهاربندی مجاور در برابر امواج برخوردی با زوایای مختلف پاسخ‌های بهتری می‌دهد. همچنین با بررسی نیروهای محیطی وارد بر سازه سکو مشاهده می‌شود که مقدار نیروهای وارد بر سازه در حالتی که سکوی نیمه شناور در راستای برآیند نیروهای محیطی قرار گرفته و مهار گردد، کمینه می‌شود. بطور کلی استفاده از ۸ خط مهاربندی باعث کاهش چشمگیر مقدار نیروی کششی وارده بر خطوط (بین ۲۵ تا ۶۰ درصد) مهاربندی و حرکات جانبی سکو می‌شود.

واژگان کلیدی: سکوی نیمه شناور، امیر کبیر، مهاربندی، نیروهای محیطی، نیروی کششی، Flow-3d.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۶/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۶/۱۰/۱۳

۱- مقدمه

از آنجا که جستجوی منابع نفت و گاز به سوی آب‌های عمیق (بیش از ۶۰۰ متر) پیشرفته است، لذا عملاً امکان استفاده از سکوه‌های ثابت در این اعماق وجود ندارد، معمولاً استفاده از سکوه‌های ثابت به دلیل تحمیل هزینه‌های سنگین ساخت و نصب، حداکثر به اعماق حدود ۳۶۰ متر تا ۴۵۰ متر محدود می‌شود؛ از این رو ایده استفاده از سکوه‌های شناوری که قابلیت بکارگیری در آب‌های عمیق را دارند بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است؛ یک گزینه جدی برای اکتشاف و بهره‌برداری از منابع نفتی دریایی، سکوه‌های نیمه شناور^۱ می‌باشند.

در آب‌های عمیق سکوه‌های نیمه شناور با توجه به ماهیت شناور بودن، در معرض بارهای دینامیکی خارجی ناشی از جریان و باد و خصوصاً امواج می‌باشند؛ از این رو بررسی برآیند نیروها و بدست آوردن تنش‌های وارده به مهاربندهای سکوی نیمه شناور و طراحی یک سیستم مهاربندی مناسب بر مبنای آن همواره مورد بحث و بررسی بوده است.

سیستم مهاربندی تنها قادر به کنترل و کاهش پاسخهای افقی یک سکوی شناور می‌باشد و تاثیر عمده ای در پاسخهای عمودی آن ندارد. در حقیقت جهت کنترل پاسخهای عمودی شناور، عامل تعیین کننده ابعاد و شکل سکوی شناور بوده و به منظور کاهش این پاسخها باید به بهینه سازی سکو پرداخت؛ از همین رو و با توجه به هدف این تحقیق، پاسخهای افقی یک سکوی شناور مورد بحث و تحلیل قرار گرفته است [۱].

در گذشته تحقیقات زیادی بر روی مهاربندها انجام شده که از آن جمله می‌توان به تحقیقات زیر اشاره نمود. فایلینگ و لی در سال ۱۹۸۶ به طراحی بهینه سیستم‌های مهاربندی، رابزرها و سیستم‌های لنگرها در سکوه‌های شناور به دو صورت جداگانه و در کنار هم پرداخته و یک روش محاسبه برای بهینه‌یابی آرایش لنگرها ارائه کرده‌اند [۲]. فراری و موروکا در سال ۱۹۹۴ به یک روش طراحی بهینه مهاربندی سکوه‌های نیمه‌شناور دست یافتند [۳]. دقیق و همکاران در سال ۲۰۰۲ اقدام به معرفی طرح بهینه مهاربندی و اندازه‌های پل شناور دریاچه ارومیه با استفاده از المان‌های منفصل در حل پارامتریک نموده و در بحث مهاربندی به موضوع بهینه‌سازی وزن لنگر پرداخته شده است [۴].

مافرا و همکاران در سال ۲۰۰۳ بهینه سازی مهاربندی یک سکوی کشتی‌سان با استفاده از الگوریتم وراثتی را امکان‌سنجی و در نهایت این امر را ممکن و بسیار سودمند معرفی کرده‌اند [۵]. مظاهری و مصباحی در سال ۲۰۰۳ با طراحی یک مدل شبکه هوش مصنوعی حداکثر جابجایی سازه را که برای طراحی مهاربندها بسیار ضروری است، برای یک دوره N ساله به دست آوردند. مقایسه نتایج شبکه هوش مصنوعی نشان می‌دهد که از این شبکه به خوبی می‌توان برای پیش بینی پاسخ سازه در اثر بارهای دلخواه استفاده کرد [۶]. مظاهری و اینچچیک در سال ۲۰۰۴ از روش پاسخ محور برای پیش بینی نیروی مهاربند استفاده کردند [۷].

جوردان و برتلان آگوئدو در سال ۲۰۰۴ با ارائه یک الگوریتم انطباقی حساس به عمق، تخمین آنلاین ضرایب فیزیکی یک کابل را در محیط لزج میسر ساخته که ورودی‌های این الگوریتم نیروها و موقعیت‌هایی است که توسط تجهیزات روی خود شناور اندازه‌گیری شده‌اند [۸]. رضوانی در سال ۲۰۰۵ با هدف کاهش پاسخهای افقی سکو، بهینه‌سازی سیستم مهاربندی یک سکوی شناور را با استفاده از نرم‌افزار Mimosa از بسته نرم‌افزاری SESAM مدنظر قرار داده است [۹]. گرت در سال ۲۰۰۵ با مطالعه یک سکوی نیمه شناور در خلیج مکزیک مهار شده در عمق ۱۸۰۰ متری تحلیل دینامیکی همزمان را به دو روش دامنه فرکانسی و دامنه زمانی انجام داد [۱۰]. پیتر دیویس و همکاران در سال ۲۰۰۸ تاثیر سختی الیاف در تعیین پاسخهای خطوط مهاربند در آب‌های عمیق را مورد بررسی قرار دادند [۱۱].

استانسبرگ در سال ۲۰۰۸ تاثیر جریان به تنهایی و تاثیر جریان توام با امواج را بر یک سازه شناور مهار شده در شرایط مختلف دریا بررسی نمود [۱۲]. هیولانگ و همکاران در سال ۲۰۰۹ تاثیر سختی غیر خطی مهاربند در پاسخ هیدرودینامیک سازه شناور را مورد مطالعه قرار داده و فرمول جدیدی را برای ماتریس سختی غیرخطی برای مهاربند زنجیروار ارائه دادند [۱۳]. اولاف والسدر سال ۲۰۰۹ تاثیر جهت امواج بر حرکت‌های با فرکانس پائین سازه شناور و همچنین نیروهای مهاربندها مورد بررسی قرار داد [۱۴]. گنگ ما و همکاران در سال ۲۰۰۹ سیستم مهاربندی یک کشتی حفاری را که برای جنوب دریای چین و عمق ۱۵۰۰ متری طراحی شده بود، تحلیل کردند [۱۵]. تام لاسن و

¹Semi Submersible Platforms



شکل (۱) یک سکوی نیمه مغروق.

برای عمق‌های بیشتر از ۴۷۵ متر، موقعیت سکو به صورت دینامیکی تثبیت و کنترل می‌شود. سیستم تثبیت دینامیکی موقعیت^۱ (DPS) دارای پیش‌رانه‌های کوچک^۲ متعددی است که به سرعت تغییر جهت داده و یا روشن و خاموش می‌شوند. برآیند جهت نیروی ایجاد شده در این تراسترها به گونه‌ای است که خلاف جهت نیروی امواج و نیروهای خارجی باشد و سکو را در موقعیت اولیه حفظ نماید.

تثبیت موقعیت دینامیکی در بسیاری از کشتی‌های حفاری نیز بکارگرفته شده است. این سیستم‌ها دارای تجهیزاتی جهت مشخص نمودن موقعیت لحظه‌ای شناور هستند که فاصله افقی نسبت به دهانه چاه را به عنوان سیگنال خطا تعیین می‌نماید و این سیگنال خطا وارد یک مدار کنترل می‌شود و نهایتاً رانش دهنده‌ها پاسخ مناسب را برای کاهش سیگنال خطا انجام می‌دهند. این روند در تمام مدت حفاری ادامه می‌یابد تا شناور تا حد ممکن در بالای محور قائم گذرنده از دهانه چاه قرار گیرد.

۲-۱- خصوصیات سکوی نیمه شناور

از خصوصیات سکوه‌های نیمه شناور می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف) به دلیل سطح آبخور کم نسبت به جابجایی سکو، کمترین پاسخ دینامیکی به تحریکات امواج دریا را دارند و فرکانس طبیعی آنها برای حرکات Heave, Pitch, Roll بزرگ و برای حرکات Surge, Sway, Yaw کوچک بوده و در

همکاران در سال ۲۰۰۹ رفتار اجزای یک زنجیر مهاربند را هم در آزمایشگاه و هم با مدل عددی تحت تاثیر پیش‌تندی و دوران خارج از صفحه مورد بررسی قرار دادند [۱۶]. ژانگ سو و همکاران نیز در سال ۲۰۰۹ مشکلات ناشی از شل شدن خطوط مهاربندی به دلیل کاهش کشش را مورد بررسی قرار دادند [۱۷] و در آخر هانگ ژو و جیپینگ او رفتار هیدرودینامیکی یک سکوی نیمه شناور را در مواجهه با امواج دریا و باد مورد بررسی قرار دادند [۱۸].

۲- سکوی نیمه شناور

پیش از این حفاری در آب‌های تا عمق ۱۸ متر از روی شناورهای متشکل از یک یا چند پانتون (حجم‌های مکعبی شکل بزرگ) که عرشه را با ستون‌هایی نگه می‌داشتند انجام می‌گرفت. چنین سکوهایی تا منطقه عملیاتی به صورت شناور انتقال یافته و سپس با وارد کردن آب به داخل پانتون سکو بر کف دریا قرار می‌گرفت و حفاری آغاز می‌شد. در طول زمان شناوری چنین سکوهایی مشاهده می‌شد که این نوع سازه‌ها در پاسخ به تحریک امواج دریا حرکت کمی را به نمایش می‌گذارند. بعدها، این خصوصیت در طراحی سکوه‌های نیمه شناور به کار گرفته شد. البته امروزه نیز در این نوع از سکوها در هنگام حفاری در آب‌های عمیق بازهم سکو به صورت شناور باقی می‌ماند و تنها از مهارهایی جهت نگه داشتن سکو در موقعیت مورد نظر استفاده می‌شود.

شکل (۱) یک سکوی نیمه شناور امروزی است که دارای دو پانتون تأمین کننده‌ی شناوری سکو است و چهار ستون عمودی، پانتون‌ها را به عرشه متصل می‌نماید. سکوی فوق را می‌توان بوسیله مهارهای کابلی یا زنجیری در موقعیت مورد نظر مهار نمود.

حرکت عمودی کم ولی مهم سکو که ناشی از امواج دریا می‌باشد بوسیله یک اتصال لغزشی نصب شده در انتهای برج حفاری دفع می‌شود. یک عامل کششی هم نیروی رو به بالای لازم به روی رایزر را ایجاد می‌کند تا این سازه بلند همیشه در کشش باقی بماند و از کمانش آن جلوگیری گردد. حداکثر عمق آب و شرایط آب و هوایی که حفاری بوسیله سکوه‌های نیمه مغروق امکان پذیر است، تابعی از سیستم مهاربندی و مقدار لوله حفاری و رایزر قابل حمل بوسیله سکو و قابلیت تحمل حرکت عمودی بوسیله تجهیزات حفاری است.

² Thrusters

¹ Dynamic Positioning

سازه‌های بالای ۱۰۰۰۰ تن را جابجا نمایند. مشکلاتی نیز تا کنون برای این نوع سکوها بوجود آمده که منجر به واژگون و یا غرق شدن آنها گشته است. به همین دلیل مقررات ساخت اینگونه سکوها تغییر و ضرایب ایمنی بالاتر و تمهیدات بیشتری از جمله افزایش تعداد ستون‌ها، برجستگی‌های روی اتصالات بین ستون و پانتون‌ها، افزایش در حجم جابجایی پانتون‌ها و تقسیم بندی عرشه به بخش‌های نفوذ ناپذیر آب، وضع گردیده است. همچنین المان‌های عرضی از قبیل بادبندهای افقی، بدنه‌ها را به یکدیگر ارتباط می‌دهند؛ در صورت عدم وجود آنها نیروهای زیادی در محل اتصال بین ستون‌ها و عرشه ایجاد خواهد شد و باعث تنش‌های سازه‌ای بزرگ و صدمات ناشی از خستگی می‌شود.

۲-۳- مهاربندی سکوی نیمه شناور

یک سازه شناور در طول عمر خود هم بارهای پایدار و هم بارهای ناپایداری را تجربه می‌کند که سبب بروز تغییر مکان‌های بزرگ نسبت به موقعیت اصلی سکوی می‌گردند. سازه شناور معمولاً با استفاده از مهاربندی^۱، تاندون‌های کشیده عمودی^۲، تثبیت موقعیت دینامیکی^۳ و یا ترکیبی از اینها در موقعیت مناسب نگاه داشته می‌شود.

حفظ یکپارچگی سیستم‌هایی مانند رایزرها و پل‌ها بستگی به قابلیت‌های سیستم تثبیت موقعیت داشته و محدودیت استفاده از سکوه‌های شناور نیز به وسیله محدودیت‌های حفظ موقعیت تعیین می‌گردد. از این رو یکپارچگی سیستم حفظ موقعیت، عامل اساسی در طراحی موفق سازه‌های نیمه شناور به حساب می‌آید.

سیستم حفظ موقعیت یک سازه شناور می‌تواند مهاربندی تک نقطه‌ای^۴ (SPM) گسترده^۵ باشد. مهاربندی تک نقطه‌ای بیشتر در سازه‌های کشتی‌سان و مهاربندی گسترده بیشتر در نیمه‌شناورها مورد استفاده قرار می‌گیرند. نوع سوم سیستم‌های حفظ موقعیت، تثبیت موقعیت دینامیکی است. در سیستم الگوی مهاربندی متقارن، کلیه خطوط از نظر مشخصات و ترکیب بندی مصالح (زنجر/کابل) یکسان هستند. اصولاً الگوهای مهاربندی متقارن در مورد شناورهای که قرار است برای مدت طولانی در یک محل به عملیات بپردازند مورد استفاده قرار می‌گیرد. از خصوصیات مهم این

تقابل با امواج ۱۰۰ ساله با پریود ۱۷-۱۴ ثانیه دچار تشدید می‌شوند.

(ب) قابلیت جابجایی با سرعت $10-8$ m/s را دارند.

(ج) این سکوها دارای سطح دک وسیع به منظور انجام عملیات حفاری می‌باشند.

(د) سیستم مهاربندی باید جهت ارضاء شرایط مناسب عملیات حفاری دقت لازم جهت نگهداری سکوی در موقعیتی با خطای حداکثر ۱٪ عمق آب نسبت به موقعیت تعیین شده را دارا باشد.

(ه) برای عمق‌های بیش از ۴۷۵ متر استفاده از مهارهای کاتری غیرعملی بوده و در این موارد از شناورهایی که موقعیت آنها به صورت دینامیکی تثبیت و کنترل می‌شوند، استفاده می‌گردد.

(و) در سکوه‌های نیمه شناور مجهز به سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی، اتصال رایزر به سکوی در شرایط بد دریایی قطع می‌شود و بعد از آرام شدن دریا برقرار می‌گردد.

(ز) حداکثر عمق آب و شرایط آب و هوایی که در آن حفاری به وسیله این سکوها امکان پذیر باشد تابعی از سیستم مهاربندی، طول لوله حفاری و رایزر قابل حمل به وسیله سکوی و قابلیت حرکت عمودی تجهیزات حفاری می‌باشند.

۲-۲- معایب سکوی نیمه شناور

این سکوها دارای معایبی نیز هستند که بطور کلی می‌توان به موارد اصلی ذیل اشاره نمود:

(الف) هزینه بالای ساخت اولیه و هزینه‌های عملیاتی روزانه
(ب) محدودیت دک به منظور ذخیره سازی (نفت یا گاز)
بدلیل تعادل استاتیکی و ذخیره بویانسی کم

(ج) محدودیت‌های سازه به علت گرایش به سوی خستگی سازه

(د) محدودیت‌ها و هزینه زیاد عبور از کانال سوئز و پاناما

(ه) محدودیت‌های داک‌های خشک برای تعمیرات و سرویس آن

(ی) سختی سیستم مهاربندی در دریای نا آرام

لازم به ذکر است که بارهای متغیر عرشه در ۲۰ سال اخیر سه برابر افزایش یافته اند، به ویژه در مورد سکوه‌های نیمه شناور جرقیل دار با جابجایی ۱۵۰۰۰۰ تن که می‌توانند

⁴ Single Point Mooring (SPM)

⁵ Spread Mooring

¹ Mooring

² Tendons

³ Dynamic Positioning

به طول موج است. در این حالت می توان از تاثیر قطر سازه بر میدان جابجایی صرف نظر نمود. در غیر این صورت باید تغییر شکل موج منظور شود. وقتی که قطر پایه به طول موج وارده قابل مقایسه باشد، باید تاثیر پایه بر میدان جابجایی سیال را در نظر گرفت. در این حالت نیروی درگ از نیروی اینرسی بسیار کمتر بوده و حتی قابل نظر کردن است. مک کمی^۱، فوکس^۲، موگریچ^۳ و جیمسون^۴ با فرض تئوری موج دامنه کوتاه و المان صلب این مسئله را بررسی نموده اند. این تئوری به نام تئوری انکسار^۵ نامیده می شود. نتایج نشان می دهد که وجود المان قطور باعث تغییر ضریب اینرسی در معادله موریسون و ایجاد زاویه عقب افتادگی می شود. نیروی وارد بر واحد طول پایه در مرکز المان برابر است با [۱۹]:

$$F = -\rho C_1 \frac{\pi}{4} D^2 \omega^2 + \frac{H \cos h(ky)}{2 \cos(kh)} \sin(\omega t - \epsilon) \quad (2)$$

که در این رابطه ϵ زاویه عقب افتادگی بوده و y از کف دریا اندازه گیری می شود.

۴- تحلیل هیدرودینامیکی سکوی نیمه شناور

از آنجا که در آبهای عمیق، از سازه های شناور بزرگ و با حجم جابجایی زیاد استفاده می شود، تئوری تفرق- انتشار برای محاسبه این نیروها بکار می رود، البته با توجه به اینکه سازه ها دارای اعضای لاغر نیز هستند، معادله موریسون نیز در تحلیل هیدرودینامیکی این عضوهای سکوه های نیمه شناور مورد استفاده قرار می گیرد.

تحلیل پاسخ سکوی شناور شامل حل معادله دیفرانسیل حرکت در ۶ درجه آزادی با در نظر گرفتن نیروهای محیطی است. درجات آزادی شامل سه درجه انتقالی Heave و Sway و Surge و سه درجه دورانی Yaw و Pitch و Roll می باشند. میزان حرکات سازه در این درجات آزادی به عوامل مختلفی از جمله سختی مهارها، بارهای محیطی، هندسه سازه، میزان میرایی و... بستگی دارد.

لکن سیستم های مهار سکوی نیمه شناور سبب ایجاد نیروهای بازگرداننده در صفحه افقی می شوند و لذا حرکات در درجه های آزادی Yaw و Sway و Surge را کنترل می کنند.

الگوی مهاربندی این است که تغییر جهت نیروهای محیطی، امواج، جریان و باد، بر کارکرد آن تأثیر چندانی ندارد. به عبارت دیگر، سیستم های متقارن با بهره گیری از تقارن و پخش همگن خطوط در جهات مختلف، می توانند موقعیت سکو را در برابر نیروهای محیطی که از جهات مختلف وارد می شوند حفظ نمایند.

۳- نیروی امواج

امواج دریایی که دارای ماهیتی اتفاقی بوده و به صورت تناوبی و تکرار پذیر هستند، باعث ایجاد نیروهای بزرگی بر سازه های دریایی می شوند. اتفاقی بودن و جهات های مختلف و انرژی های متفاوت امواج همگی سبب می شود تا برای پیش بینی اثرات آن بر روی سازه پیچیدگی های زیادی وجود داشته باشد. همین امر و نیز تنوع ابعاد سازه های دریایی سبب شده است تا تئوری های مختلفی برای محاسبه نیروهای حاصل از امواج ارائه شود.

محاسبه نیروی ناشی از امواج بر روی سکوه های دریایی یکی از اقدامات اولیه برای طراحی سازه بوده و در عین حال یکی از مشکلترین مراحل فرایند طراحی است. علت اصلی این پیچیدگی اندرکنش موج و سازه می باشد. بعلاوه ماهیت تصادفی امواج اقیانوسها باعث شده است که حتی برخی از تئوری های غیر خطی مراتب بالاتر امواج منظم نیز برای توصیف کامل امواج کافی نباشد.

با این وجود امروزه تئوری هایی در دسترس هستند که با استفاده از آنها در کنار نرم افزارهای موجود می توان بارگذاری امواج روی سازه های دریایی مختلف را با دقت قابل قبولی تعیین نمود.

الف) معادله موریسون

جهت بیان نیروی افقی وارد بر طول پایه قائم استوانه ای ناشی از امواج معمولی موریسون در سال ۱۹۵۰ میلادی رابطه زیر را پیشنهاد نمود [۱۹]:

$$F = C_m \rho \frac{\pi}{4} D^2 \dot{u} + C_d \frac{1}{2} \rho D u |u| \quad (1)$$

ب) تئوری انکسار

یکی از موارد محدودیت در رابطه موریسون، نسبت قطر پایه

⁴ Jamieson

⁵ Diffraction

¹ Mac Camy

² Fuchs

³ Mogridge

جدول (۱) مشخصات کلی سکوی نیمه شناور امیرکبیر.

طول کلی	۹۸٫۶ متر	قطرستون‌ها	۱۲٫۹ متر
عرض کلی	۷۸٫۸	فاصله بین ستون‌ها در راستای طولی	۵۴٫۷ متر
فاصله بیرون به بیرون پانتون‌ها	۷۳٫۴ متر	فاصله بین ستون‌ها در راستای عرضی	۵۴٫۷
طول پانتون‌ها	۸۰٫۵ متر	تناژ جابجا شده در آب‌خور حمل و نقل (۷٫۲متر)	۲۰۶۶۵ تن
عرض پانتون‌ها	۱۸٫۵ متر	تناژ جابجا شده در آب‌خور بقا (۱۶٫۲متر)	۲۶۵۲۵ تن
ارتفاع پانتون‌ها	۷٫۵ متر	تناژ آب جابجا شده در آب‌خور عملیاتی (۱۹٫۵متر)	۲۸۶۲۱ تن

جدول (۲) اطلاعات مربوط به وزن ، مرکز ثقل و مرکز شناوری.

مشخصات سازه ای	وزن (ton)	X(m)	Y(m)	Z(m)
مرکز ثقل	۲۶۵۲۵	۰	۰	۲۴٫۵۲
مرکز شناوری	۲۶۵۲۵	۰	۰	۵٫۲

جدول (۳) اطلاعات محیطی دریای خزر در منطقه اجرا سکوی امیرکبیر (میدان سردار جنگل).

Air Temperature (C)	24.4
Air Pressure (mBar)	1020.4
Sea Temperature (C)	28.1
Wind Speed (Knots)	5.3
Wind Gust (Knots)	10
Wind Direction (deg)	345
Heave Mean (m)	0.8
Heave Significant (m)	1.2
Heave Max (m)	1.9
Period Significant (sec)	6.5
Period Mean (sec)	5.5
Sec Current Angle (deg)	127
Sec Current Speed (m/sec)	0.15

جدول (۴) اطلاعات محیطی حدی مربوط به دریای خزر.

پارامتر محیطی	موج یکساله	موج صدساله
ارتفاع مشخصه Hs	5.6 (m)	9.5 (m)
پریود Tp	10.3 (s)	12.8 (s)

همچنین جهت تعیین مشخصات خطوط مهاربندی در نرم‌افزار لازم است تا از زیر منوی Spring and Rope مشخصات این خطوط و آرایش هندسی آنها تعریف گردد. این خطوط از نوع کششی - فشاری تعریف شده، که آرایش آنها متقارن و بصورت ۴ خط مهاربندی در سه الگو متفاوت که به ترتیب عمود بر طولی سازه ، موازی محور طولی سازه و با

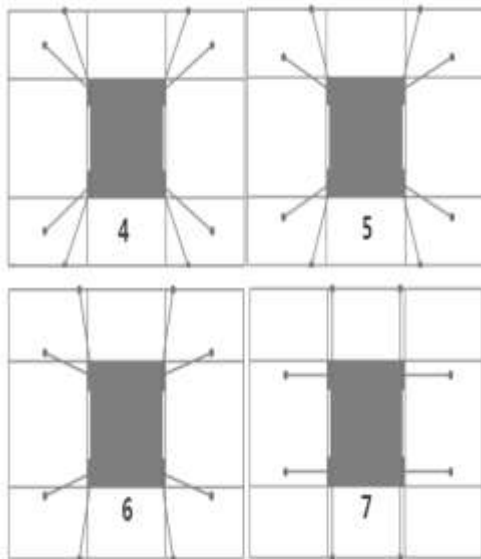
یک سازه نیمه شناور مهار شده در برابر ۲ نوع از نیروهای رانشی هیدرودینامیکی امواج قرار می‌گیرد، یک نیروی رانشی میانگین موج که جابجایی‌های یکنواخت سازه را باعث می‌شود و دیگری نیروی رانشی هیدرودینامیکی فرکانس پایین که حرکات نوسانی Yaw و Sway و Surge را در حدود جابجایی‌های یکنواخت سازه وجود می‌آورد [۲۰].

۵- مدلسازی سکوی نیمه شناور

در (جدول (۱)) اطلاعات سازه ای و اطلاعات مربوط به آب‌خور سکوی نیمه شناور ایران البرز تشریح شده است. از طرفی جهت مدلسازی سازه و بدست آوردن پاسخ‌های آن لازم است تا وزن‌ها و محل قرارگیری آنها، مرکز ثقل سکو و مرکز اثر نیروی شناوری (بویانسی) به دست آید که در (جدول (۲)) اطلاعات مربوط به وزن‌ها، مرکز ثقل و مرکز شناوری سکوی نیمه شناور ایران البرز داده شده است. همچنین جهت اعمال شرایط حدی محیطی دریای خزر بر سازه لازم است تا ارتفاع موج شاخص و همچنین پریود موج چکادی^۱ بر حسب موج ۱۰۰ ساله بدست آید که (جدول (۳)) این اطلاعات محیطی مربوط به دریای خزر را ارائه می‌دهد. جهت عملکرد مناسب سکو و جلوگیری از صدمه به سیستم مهاربندی و ادوات حفاری لازم است تا میزان حرکات افقی سازه محدود به میزان کمتر از ۱ درصد عمق آب محدود شود تا از ضربه به سیستم رایزر و اختلال در عملکرد مناسب آن جلوگیری گردد، جدول ۴ حدود مجاز حرکات سکوی نیمه مغروق روابط تجربی بدست آمده را بیان می‌دارد [۲۱].

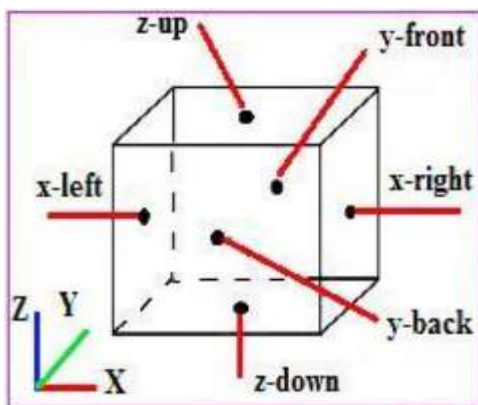
جهت شبیه‌سازی سازه ابتدا باید مدل هندسی آن با ابزارهای تولید فرم‌های هندسی نرم‌افزاری همچون Autocad و یا Solid Work مدل شده و بصورت فایل *.stl ذخیره شده و در هنگام تعریف شرایط هندسی مدل فراخوانی شود. نمونه سازه مدل شده در نرم‌افزار در شکل (۲) مشخص شده است.

¹ Peak Period



شکل (۴) چهار الگو برای سیستم مهاربندی با ۸ خط مهار.

شرط مرزی با توجه به جهت انتخاب موج برای مرزهای X و Y تغییر می‌کند. اما در سمتی که شرط مرزی Wave تعریف می‌شود، در سمت مقابل آن جهت خروجی شرط مرزی Outflow انتخاب می‌شود که اجازه خروج سیال از قلمرو را بتوان فراهم نمود. در دیگر سمت جانبی شرط مرزی به صورت Symmetry در نظر گرفته می‌شود چرا که فرض می‌شود جریان در این دو سمت تا بی نهایت ادامه دارد. اما شرط مرزی در جهت Z-down است چون جریانی در این مرز وجود ندارد. از آنجا که جریان تحت فشار نیست و در تماس مستقیم با هوا است شرط مرزی Z-up به صورت Symmetry است. ذکر این نکته نیز حایز اهمیت است که نرم‌افزار حاضر یک نرم‌افزار دینامیک محاسبات سیالاتی و تحلیل‌های آن نیز در حوزه زمان است.

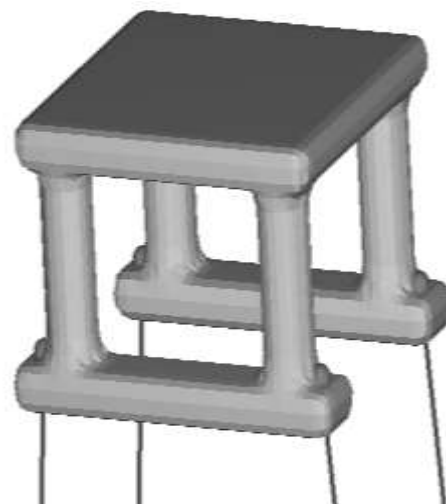


شکل (۵) سطوح یک بلوک شش وجهی در دستگاه دکارتی.

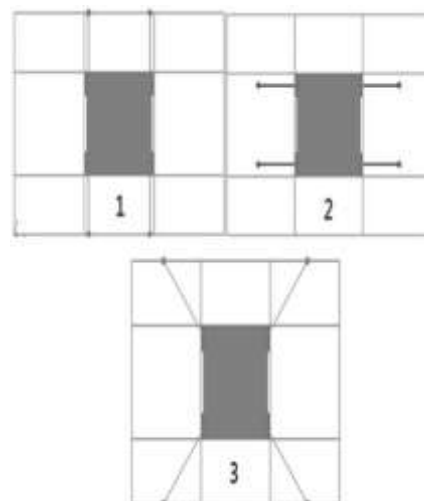
زاویه ۱۳۵ درجه با سازه (شکل (۳)) و نیز آرایش با ۸ خط مهار در چهار الگو متفاوت با زوایای ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ بین دو خط مهار مجاور (شکل (۴)) در نظر گرفته شده اند.

۶- شرایط مرزی

در نرم‌افزار FLOW-3D هم برای مختصات دکارتی و هم مختصات استوانه‌ای جهت تعریف شرایط مرزی شش سطح مشخص وجود دارد که با توجه به جهت مثبت محورها شامل Z-up، Z-down، Y-front، Y-back، X-right و X-left می‌شود. این شرایط مرزی برای هر سلول محاسباتی تعریف می‌شود. شکل (۵) سطوح مشخص شده بر روی بلوک شش وجهی در دستگاه دکارتی را نشان می‌دهد.



شکل (۲) مدل‌سازی سازه و خطوط مهار در نرم‌افزار Flow 3D



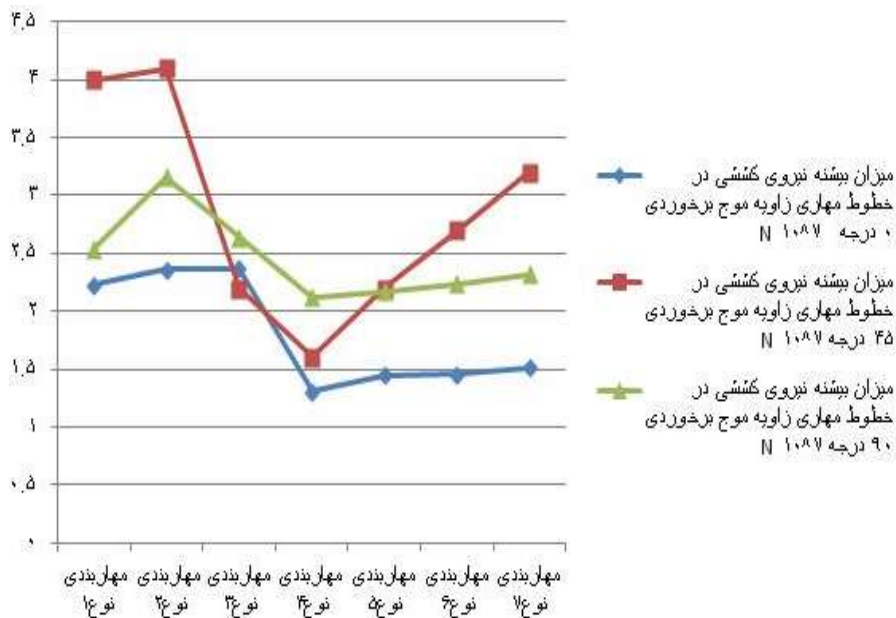
شکل (۳) سه الگو برای سیستم مهاربندی با ۴ خط مهار.

¹ Time Domian

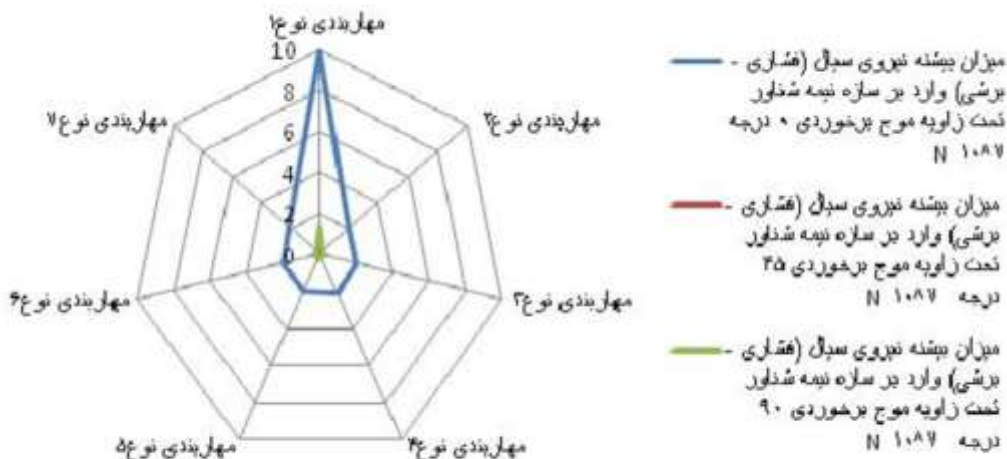
۷- تحلیل و بررسی

عمده ترین تاثیر امواج بر یک شناور مهاربندی شده را می توان در دو پدیده مشاهده نمود. یکی نیروهای میانگینی که باعث انتقال شناور به یک موقعیت میانگین می شود و دیگری آثاری که باعث نوعی حرکت کم فرکانس حول موقعیت میانگین می شوند. این دو عامل هر دو معلول اندرکنش مابین امواج و سیستم مهاربندی هستند. بطوریکه هم الگوی مهاربندی و نحوه چیدمان خطوط، و هم زاویه تابش امواج در تعیین موقعیت میانگین بطور مستقیم نقش دارند چرا که موقعیت میانگین از یک تحلیل استاتیکی ساده منتج می شود. از طرف دیگر، دامنه حرکات کم فرکانس شناور حول نقطه میانگین نیز که از تحلیل دینامیکی کل سیستم حاصل می شود بطور کامل وابسته به چیدمان خطوط مهاربندی است.

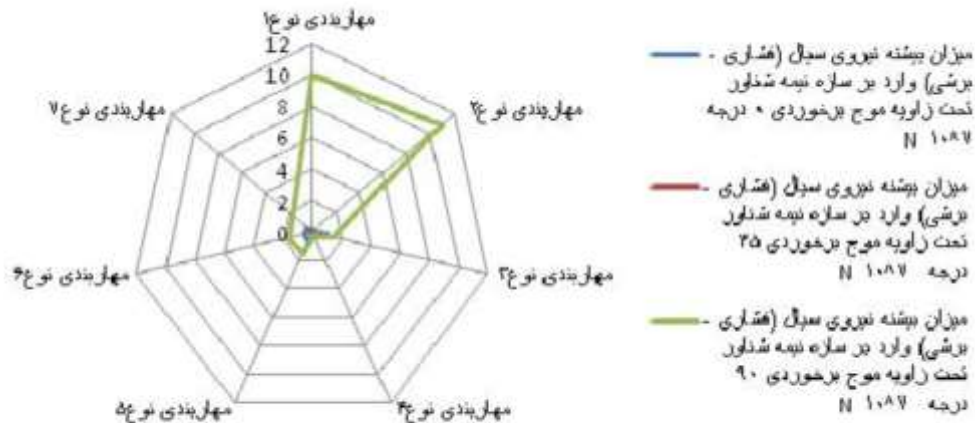
در واقع اگر کل سیستم متشکل از شناور و خطوط مهاربندی را بصورت یک سیستم ساده شده جرم-فنر تصور کنیم، چیدمان فنرها و سختی آنها در کنار زاویه اعمال نیروهای خارجی و مقدار آن، پارامترهایی هستند که بطور مستقیم در حل معادلات دینامیکی وارد می شوند. در شکل های (۶) و (۷) میزان جابجایی سکوی نیمه شناور برای ۷ نوع چیدمان خطوط مهاربندی و در سه راستای موج برخوردی ۳۰، ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب برای حرکات Surge و Sway نمایش داده شده است. همچنین در شکل (۸) نیز میزان بیشینه نیرو کشتی برای خطوط مهاری برای ۷ نوع چیدمان خطوط مهاربندی و در سه راستای موج برخوردی ۳۰، ۴۵ و ۹۰ درجه نمایش داده شده است.



شکل (۶) بیشینه نیروهای وارد بر خطوط مهاری.



شکل (۷) میزان نیروی (فشاری - برشی) وارده از طرف سیال بر سکوی نیمه شناور در راستای محور X سازه.



شکل (۸) میزان نیروی (فشاری - برشی) وارده از طرف سیال بر سکوی نیمه شناور در راستای محور X سازه.

۸- نتیجه گیری

با توجه به تحلیل نتایج بدست آمده و جابجایی‌های نسبتاً زیاد سازه در الگوی مهاربندی با ۴ خط مهاری و از سویی دیگر توجه به توزیع نیروهای هیدرو دینامیکی در تعداد کمتری از خطوط مهاری نسبت به آرایش ۸ خط مهاری مشاهده می‌شود که بطور کلی نیروی کششی در خطوط مهاری در این سیستم بیشتر است، لذا استفاده از این نوع سیستم مهاری توصیه نمی‌شود.

در سیستم مهاربندی ۸ تایی، به وضوح از تحلیل حرکات Surge و Sway سازه مشاهده می‌گردد که جابجایی‌های سازه بطور چشمگیری کاهش می‌یابد لذا با توجه به نتایج تحلیل‌ها، بهترین الگوی مهاربندی جهت کاهش حرکات افقی سازه، الگوی نوع ششم (زاویه ۶۰ درجه بین دو خط مهاری مجاور) که کمترین بازه تغییرات جابجایی‌های افقی سازه را موجب می‌گردد مناسب‌ترین انتخاب می‌باشد.

همچنین با بررسی نیروهای کششی وارد بر خطوط مهاری در سیستم مهاربندی با ۸ خط مهاری مشاهده می‌شود که حالت کمینه در آرایش بندی نوع ۴ یعنی خطوط مهاربندی با زاویه ۳۰ درجه بین خطوط مهاری بدست می‌آید.

اگرچه الگوهای مهاربندی نوع ۵ و ۶ نیز با توجه به تعادل نیروهای وارده به خطوط مهاری در زوایای مختلف اعمال نیروهای هیدرو دینامیکی و کم بودن نیروهای کششی در خطوط مهاری مطلوب می‌باشند.

بطور کلی با بررسی نتایج و با توجه به محدوده حرکات جانبی سازه شناور در سیستم مهاربندی با ۴ خط مهاری مشاهده می‌شود که میزان مقادیر حرکات افقی سکو در از مقدار مجاز آیین نامه که معادل ۱ درصد عمق آب برای جلوگیری از ضربه به سیستم ریزر و عملکرد مناسب آن می‌باشد، بیشتر

است و لذا استفاده از سیستم ۴ مهاربند برای این سازه شناور مناسب نیست، اما در سیستم مهاربندی با ۸ خط مهاری ۳ شیوه مهاربندی با زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه بین دو خط مهاری مجاور پاسخ‌های مناسبتری را نسبت به زاویه ۹۰ درجه بین خطوط مهاری مجاور به دست می‌دهند. ذکر این نکته نیز ضروری است که استفاده از ۸ مهاربند به طور کلی باعث کاهش چشمگیر مقدار نیروی کششی وارده بر مهاربندها می‌شود چنانچه می‌توان کاهش بین ۲۵ تا ۶۰ درصد را در نیروی کششی این مهاربندها مشاهده نمود.

۱۱- مراجع

- [1] Barltrop, N. D. P., "Floating Structures: A Guide for Design and Analysis", Oilfield Publications Limited (OPL), Vol.1, Ledbury, England, 2003.
- [2] Fylling I.J. & Lie H., "Mooring System Design Aspects of Environmental Loading and Mooring Systems Optimization Potential", International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, USA. 1986.
- [3] Ferrari J.A. & Morooka C.K., "Optimization and Automation of the Semi-Submersible Platforms Mooring Design", International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Houston, Texas, 1994.
- [4] Daghigh M., Paein Loulaei R.T. & Seif M.S., "Mooring System Design and Analysis for the Flooding Bridge of Urmia Lake", 12th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Oslo, Norway, 2002.
- [5] Maffra S., Pacheo C. & Menezes M., "Genetic Algorithm Optimization for Mooring System", Rio de Janeiro, Brazil, 2003.
- [6] Mazaheri S. & Mesbahi E., "Sea Keeping Analysis of a Turret-Moored FPSO by Using Artificial Neural Networks", 22nd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic

- Waves", Journal of Ocean Univ, China, Vol.10, No.2, pp.127-134, 2011.
- [19] Sabziyan H., Ghassemi H, Azarsina F., and Kazemi S., "Effect of Mooring Lines Pattern in a Semi-submersible Platform at Surge and Sway Movements", Journal of Ocean Research, Vol.2, No.1 pp.17-22, 2014.
- [20] Sabziyan H., Ghassemi H, Azarsina F., and Kazemi S., "Appropriate Model for Mooring Pattern of a Semi-Submersible Platform", Journal of Subsea and Offshore-Science and Engineering, Vol.1, No.1, pp.18-25, 2015.
- [21] Chakrabarti, S. K., "Hydrodynamics of offshore Structures", Springer Verlag, Southampton, 1987.
- [22] GVA Industrial Consulting Group, "Whata Contractor Learned in North Sea Drilling", Ocean Industry Dec, 1972.
- Engineering, OMAE 2003-37148, Cuncun, Mexico, 2003.
- [7] Mazaheri S. & Incesik A., "Predicting the Maximum Mooring Force of a Moored Floating Offshore Structure", 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering OMAE 2004-51245, Vancouver, British Columbia, Canada, 2004.
- [8] Jordan M.A., Beltran-Aguedo R., "Nonlinear Identification of Mooring Lines in Dynamic Operation of Floating Structures", Journal of Ocean Engineering 31, pages 455-482, 2004.
- [9] Rezvani A. & Shafieefar M., "Mooring Optimization of Floating Platforms Using a Genetic Algorithm", Ocean Engineering 34, pages 1413-1421, 2007.
- [10] Garrett D.L., "Coupled Analysis of Floating Production Systems", Journal of Ocean Engineering, Vol.32, pp.802-816, 2005.
- [11] Davies P., Baron P., Salomon K., Bideaud C., Labbe J.P., Toumit S., Francois M., Grosjean F., Bunsell T. & Moysan A.G., "Influence of Fiber Stiffness on Deepwater Mooring Line Response", 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 2008-57147, Estoril, Portugal, 2008.
- [12] Stansberg C.T., "Current Effects ON a Moored Floating Platform in a Sea State", 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 2008-57621, Estoril, Portugal, 2008.
- [13] Huilong R., Jian Z., Guoqing F., Hui L. & Chenfeng L., "Influence of Nonlinear Mooring Stiffness on Hydrodynamic Performance of Floating Bodies", OMAE 2009-79697, 2009.
- [14] Waals O.J., "The Effect of Wave Directionality on Low Frequency Motions and Mooring Forces", 28th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 2009-79412, Honolulu, Hawaii, USA, 2009.
- [15] Ma G., Sun L. & Wang H., 28th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 2009-79320, Honolulu, Hawaii, USA, 2009.
- [16] Lassen T., Storrø E. & Bech A., "Fatigue Life Prediction of Mooring Chains Subjected to Tension and out of Plane Bending", 28th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 2009-79253, Honolulu, Hawaii, USA, 2009.
- [17] Su-xia Z., You-gang T. & Hai-xiao L., "Study on Snap Tension in Mooring Lines of Deepwater Platform", 28th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 2009-79881, Honolulu, Hawaii, USA, 2009.
- [18] Zhu h., and Ou J., "Dynamic Performance of a Semi-Submersible Platform Subject to Wind and