

تحلیل هیدرودینامیکی و فرکانسی SPM با مهاربندی متقارن به روش عددی در شرایط محیطی خلیج فارس

پرستو زمانی مفرد^۱، سعید کاظمی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد/ دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه علوم و تحقیقات تهران؛ parastouzamani@gmail.com

^۲ استادیار/ دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه علوم و تحقیقات تهران؛ saeid.kazemi@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۴	Single Point Mooring (SPM) ها یا به اختصار SPM، سازه‌های شناوری هستند که عموماً در آب‌های عمیق مورد استفاده قرار گرفته و وظیفه مهاربندی شناورها و انتقال تولیدات نفتی و گازی را به وسیله خط لوله از ساحل به نفتکش‌ها و از نفتکش‌ها به ساحل را به عهده دارند. یکی از مهم‌ترین اجزای آن سیستم مهاربندی می‌باشد که علاوه بر لزوم تحمل بارهای محیطی وارد بر ترمینال شناور باید بارهای وارده بر تانکر که توسط دو طناب قطور به SPM متصل شده است را نیز تحمل کند. از آنجاییکه سیستم مهاربندی مناسب نقش مؤثری در افزایش کارایی SPM در شرایط محیطی متفاوت و طول عمر آن را دارد، باید مورد توجه بسیار قرار گیرد. در این مقاله، چهار مهاره در نرم افزار انسیس اکوا مدل‌سازی شده و نیروهای وارد بر SPM توسط تئوری تفرق و به روش المان مرزی و خطوط مهار آن با استفاده از معادلات موريسون محاسبه شده است.
کلمات کلیدی: پایانه شناور تک نقطه ای ترمینال‌های نفتی شناور خطوط مهار انسیس اکوا	

Hydrodynamic Frequency Analysis of a Uniformly Moored SPM in Persian Gulf Environment Using Numerical Method

Parastoo Zamani Mofrad¹, Saeid Kazemi^{2*}

¹ MSc Student, Faculty of engineering, Faculty of engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran; parastouzamani@gmail.com

² Assistant Professor, Faculty of engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran; saeid.kazemi@srbiau

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 3 Nov. 2018

Accepted: 25 Jun. 2019

Keywords:

Single Point Mooring
Oil Floating Terminal
hydrodynamic Analysis
ANSYS AQWA

ABSTRACT

Single Point Mooring (SPM) are floating Structures that are deployed in deep water which their duties are vessel mooring and transferring oil and gas productions by pipelines from shore to petroleum tankers and conversely. One of the most important components of SPM is mooring system. Which bears not only environmental loads but also petroleum tanker loads which conducted by two thick ropes. Mooring system of SPM regarding the important responsibility it has, has been pay attention to a lot. Proper mooring system leads to efficiency improvement in different environmental conditions and mooring system life increase.

In this research SPM with four mooring lines are simulated by ANSYS AQWA Software and forces on the SPM calculated diffraction theorem and Boundary Element and mooring lines are calculated by Morrison theorem.

۱- مقدمه

سازه های دریایی شناور به عنوان مهمترین نوع سازه های مورد استفاده در آبهای عمیق، دارای اهمیت خاصی می باشند. این نوع سازه ها به وسیله انواع مهاربندی ها موقعیت خود را حفظ می کنند. از همین رو طراحی سیستم مهاربندی مناسب و الگوی چیدمان مناسب برای آن از مهمترین قسمت های طراحی یک پایانه نفتی شناور می باشد.

هرگاه عمق آب در کنار اسکله برای پهلوگیری تانکرها کافی نباشد، از پایانه های نفتی شناور برای انتقال نفت از ساحل به تانکر استفاده می شود. این ترمینال ها به صورت استوانه های قطوری هستند که با استفاده از تجهیزات لوله کشی، نفت را از خط لوله دریایی دریافت کرده و با استفاده از دو خط لوله منعطف به تانکر انتقال می دهند. در واقع این سازه های شناور وظیفه مهاربندی و بارگیری انواع مواد مایع نفتی و گازی را به شناورها دارند.

در آبهای عمیق پایانه های نفتی شناور با توجه به ماهیت شناور بودن، در معرض بارهای دینامیکی خارجی ناشی از جریان، باد و مخصوصاً امواج می باشند، از این رو بررسی برآیند نیروها و به دست آوردن تنش های وارده به مهاربندی ها و طراحی یک سیستم مهاربندی مناسب بر مبنای آن همواره مورد بحث و بررسی بوده است. سیستم های مهار به سه دسته مهارهای کنتری، مهارهای نیمه کشیده و مهارهای کشیده تقسیم می شوند. در آبهای عمیق با توجه به اینکه وزن زنجیر معلق افزایش می یابد، از مهارهایی متشکل از زنجیر و کابل فلزی یا زنجیر و طناب های فایبری استفاده می شود.

۲-۱- انتقال میعانات گازی و نفت خام

به طور کلی دو روش برای انتقال میعانات گازی یا نفت خام در ایران مورد استفاده قرار می گیرد:

۱-۲-۱- انتقال از طریق On Shore

در این روش کشتی ها و نفتکش ها جهت بارگیری در اسکله های دریایی نزدیک خشکی پهلوگیری کرده و عمل انتقال انجام می پذیرد.

این روش معمولاً زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که امکان پهلوگیری برای کشتی ها با توجه به انواع کشتی ها، نفتکش ها و شرایط ساحل امکان پذیر باشد.

۲-۲-۱- انتقال از طریق Near shore

در این روش از ترمینال های شناور دریایی برای انتقال استفاده می گردد. این روش معمولاً به یکی از دلایل زیر جایگزین روش اول می گردد:

۱-۲-۲-۱- نوع کشتی ها

در شرایطی که نوع کشتی ها و نفتکش ها جهت بارگیری از انواع خاص ^۱VLCC یا ^۲ULCC باشد، در این حالت این کشتی ها به فضایی در حدود حداقل ۳۰۰ متر جهت مانور و عمق زیاد آب جهت بارگیری نیازمند بوده که معمولاً چنین فضایی در اسکله های دریایی فراهم نمی باشد و در صورت فراهم بودن مقدمات ورود و پهلوگیری این کشتی ها به این محیط حساس و زمانبر است.

۱-۲-۲-۲- بار ترافیکی بالا در محل بارگیری

در صورتی که در محل بارگیری ترافیک کشتی ها و نفتکش ها بالا باشد و زمان در محل انتقال حائز اهمیت گردد، از این ترمینال ها استفاده می شود زیرا زمان پهلوگیری کشتی، بارگیری، جدا شدن و حرکت از ترمینال نسبت به روش اول بسیار کوتاه تر خواهد شد.

۱-۲-۲-۳- تجهیزات تولید در بستر دریا

در مواردی که امکانات و تجهیزات تولید محصولات در عمق دریا واقع شده باشند، ترمینال های شناور دریایی بهترین روش انتقال هستند. در این نوع پایانه ها دیگر نیازی به نصب خط لوله از میدان تا خشکی و همچنین ساخت اسکله جهت بارگیری در خشکی نیست.

۱-۲-۲-۴- جهت بارگیری

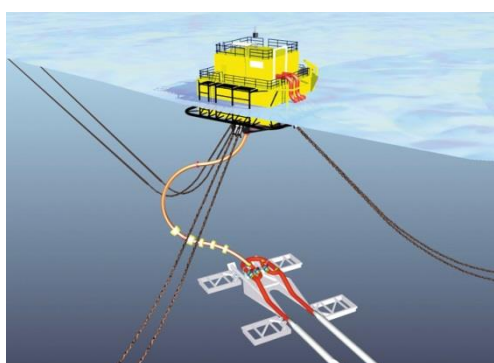
نزدیک شدن و بارگیری در این پایانه ها از هر جهت امکان پذیر می باشد ولی در حالت اول تنها از طریق پهلوگیری امکان پذیر است. لذا سرعت عملیات بارگیری یا تخلیه به صورت قابل ملاحظه ای بیشتر خواهد بود.

۱-۲-۲-۵- پدافند غیر عامل

بنا بر مسائل امنیتی و حفظ حریم بنادر، علی الخصوص بنادر استراتژیک ایران مانند خارگ، عسلویه و بندرعباس، به حداقل رساندن ریسک بارگیری محموله های نفتی و احتمال هرگونه خرابکاری شامل انفجار کشتی، اخلاف در نظم بارگیری، اخلاف در ورود و خروج کشتی های نظامی و تجاری دیگر در بندر که می تواند عواقب شدیدی را برای امنیت اقتصادی کشور به همراه داشته باشد، می توان از پایانه های نفتی شناور (SPM) استفاده نمود. به عنوان مثال انفجار به عمد یک کشتی نفتی در سال جاری در یکی از بنادر کشورهای حاشیه خلیج فارس باعث آتش سوزی گسترده، خسارت مالی و جانی و همچنین تبعات اقتصادی و امنیتی بسیار برای آن کشور مذکور گردید.

مسائل متعددی در طراحی یک سیستم مهاربندی کنتری مطرح است که شامل دینامیک سیستم مهار، خستگی خط مهار، سختی ناشی از سیستم مهار و غیره می باشد.

سختی الیاف در تعیین پاسخهای خطوط مهاربند در آبهای عمیق را مورد بررسی قرار دادند. استانسبرگ [۶] در سال ۲۰۰۸ تأثیر جریان به تنهایی و تأثیر جریان توأم با امواج را بر یک سازه شناور مهار شده در شرایط مختلف دریا بررسی نمودند. اولاف والس [۷] در سال ۲۰۰۹ تأثیر جهت امواج بر حرکتیهای با فرکانس پایین سازه شناور و همچنین نیروهای مهاربندها را مورد بررسی قرار داد. تام لاسن و همکاران [۸] در سال ۲۰۰۹ رفتار اجزای یک زنجیر مهاربند را هم در آزمایشگاه و هم با مدل عددی تحت تأثیر پیش تنیدگی و دوران خارج از صفحه مورد بررسی قرار دادند. ژانگ سو و همکاران [۹] در سال ۲۰۰۹ مشکلات ناشی از شل شدن خطوط مهاربندی به دلیل کاهش کشش را مورد مطالعه قرار دادند. هانگ ژو و جینپینگ او [۱۰] نیز در سال ۲۰۱۱ رفتار هیدرودینامیکی یک سکوی نیمه شناور را در مواجهه با امواج دریا و باد مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه به بررسی و تحلیل هیدرودینامیکی سکوی SPM به روش عددی تحت اثر امواج نامنظم در منطقه خلیج فارس خواهیم پرداخت. برای تحلیل هیدرودینامیکی خطوط مهار، اولین قدم محاسبه بارهای محیطی وارد بر سکو می باشد. یکی از رایج ترین روش ها برای محاسبه این نیروها استفاده از روشهای عددی و حل مسئله با استفاده از نرم افزارهای هیدرودینامیک سیالات محاسباتی می باشد. در تحلیل حاضر باد، جریان و نیروی رانش موج به عنوان نیروهای عمل کننده بر پایانه نفتی شناور در نظر گرفته می شوند. سخت ترین شرایط هنگامی است که تمامی این نیروها در یک جهت و در راستای یک خط مهار به پایانه اعمال شوند. بنابراین این وضعیت مبنای تحلیل حاضر خواهد بود.



شکل ۲- ترمینال شناور دریایی

۲- تئوری تحلیل

۲-۱- نیروی امواج

امواج دریایی که دارای ماهیتی اتفاقی بوده و به صورت تناوبی و تکرارپذیر هستند، باعث ایجاد نیروهای بزرگی بر سازه های دریایی می شوند. اتفاقی بودن و جهت های مختلف و انرژی های متفاوت

پایانه های شناور دریایی که معمولاً از نوع SPM هستند، با توجه به کوتاه بودن زمان ساخت، عملیات آسان، قابلیت تعمیر و نگهداری راحت، دامنه وسیع عملکرد در بنادر و سواحل مختلف و قابلیت پهلوودهی تانکریهای با ظرفیت بالا یا سوپر تانکرها، بسیار مورد توجه واقع شده اند.

همچنین ترمینال های SPM قابلیت انتقال به مناطق عملیاتی را دارا بوده که این خود امتیاز بسیار مهم و حائز اهمیتی می باشد. در مناطقی که ساخت اسکله های بارگیری نفت و گاز از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبوده یا از نظر عملیات اجرایی مشکلاتی وجود داشته باشد می توان از پایانه های نفتی شناور به کمک مهار تک نقطه ای استفاده نمود.

SPM در حقیقت به معنای تأسیسات یک پایانه نفتی تک نقطه ای است که بدون نیاز به امکانات خارجی می باشد. این تأسیسات امکانات لازم برای مهار و جابه جایی بار از شناورهای نفتکش بسیار بزرگ یا از سازه های دریایی شناور را فراهم می سازد.



شکل ۱- پایانه نفتی شناور

فناوری های ساخت و اجرای این سازه پیشرفته شناور برای صنعت نفت ایران از نظر کاربردی بسیار ضرورت دارد. همچنین تحلیل سازه ای و بررسی هیدرودینامیکی آن از مسائل مهم برای دستیابی به تکنولوژی خاص این سازه می باشد.

در گذشته تحقیقات زیادی بر روی مهاربندها انجام شده که از آن جمله می توان به تحقیقات زیر اشاره نمود. فالتینسن [۱] به معرفی معادلات حاکم بر مهار کنتری یکپارچه و استخراج روابط استاتیکی مربوط به آنها پرداخته و روابط سختی این مهارها در برخی جهات حرکت را ارائه کرده است. جین [۲] در سال ۱۹۸۰ روشی برای محاسبه سختی مهارهای کنتری ارائه داد. راسل و کولین [۳] در سال ۲۰۰۱ به بررسی معادلات حاکم بر یک خط مهار شامل دو کابل با جنس های متفاوت و یک بویه که این دو کابل را به یکدیگر متصل کرده و تأمین بویانسی می کند، پرداخته و روابط استاتیکی مربوط به آنها را استخراج کرده است. مظاهری و اینچپیک [۴] در سال ۲۰۰۴ از روش پاسخ محور برای پیش بینی نیروی مهاربند استفاده کردند. پیتر دیویس و همکاران [۵] در سال ۲۰۰۸ تأثیر

لاغر استفاده می‌گردد. در این تحقیق SPM چهار مهاره در نرم افزار انسیس آکوا مدل‌سازی شده است.

۳- مدل‌سازی

پروژه‌های امروزی نیازمند طراحی و تحلیل مؤثر سازه در فازهای هزینه و زمان هستند. با توجه به جامعیت و مقبولیت نرم افزار مهندسی انسیس آکوا در بین جوامع علمی و نتایج معتبر آن در بحث تحلیل‌های دریایی؛ در تحقیق حاضر نیز از این نرم افزار استفاده گردیده است. گسترده بودن قابلیت‌های مدل‌سازی و تحلیل در نرم‌افزار مورد استفاده، باعث کاهش هزینه‌های کلی پروژه و صرفه‌جویی در زمان می‌گردد.

مدل‌سازی پایانه شناور نفتی در سه مرحله صورت می‌پذیرد:

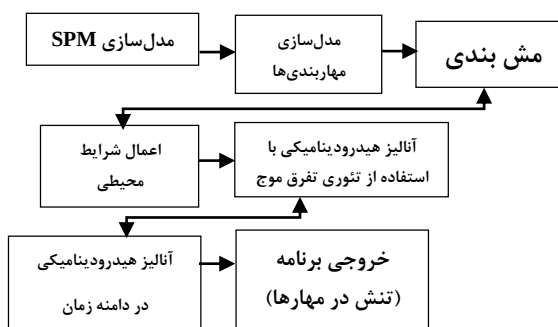
۱- ترسیم مدل در قسمت Geometry

۲- اعمال شرایط هیدرودینامیکی به محیط و سازه و انجام تحلیل

هیدرودینامیکی در قسمت Hydrodynamic Diffraction

۳- اعمال شرایط محیطی به سازه و بررسی خروجی تنش‌ها و جابه

جایی‌ها در قسمت Hydrodynamic Response



شکل ۳- فلوچارت مدل‌سازی در نرم افزار انسیس آکوا

از نکات اساسی که در شبیه‌سازی‌های عددی بایستی مد نظر قرار گیرد، اعمال شرایط مرزی است. با توجه به اینکه نرم‌افزار انسیس آکوا برای شبیه‌سازی شناور در دریا به کار می‌رود، بسیاری از شرایط مرزی به صورت اتوماتیک توسط نرم‌افزار بر مدل اعمال می‌گردد. از جمله شرایط مرزی که به صورت اتوماتیک به سازه اعمال می‌شود عبارتند از: شرط مرزی دینامیکی و سینماتیکی سطح، شرط بستر دریا و شرط مرزی جسم نوسان‌کننده. مهم‌ترین شرط مرزی که برای استفاده از این نرم‌افزار باید رعایت گردد مشخص کردن سطحی از جسم شناور است که در زیر سطح آب قرار می‌گیرد. برای مدل‌سازی سازه‌های شناور دو نوع مش تعریف می‌گردد. اگر قسمتی از سازه زیر سطح آب باشد المان تفرق تعریف می‌شود و اگر بالای سطح آب باشد، المان مربعی تعریف می‌گردد که المان‌های تعریف شده در بالای سطح آب در عملکرد ترمینال

امواج همگی سبب می‌شود تا برای پیش‌بینی اثرات آن بر روی سازه پیچیدگی‌های زیادی وجود داشته باشد. همین امر و نیز تنوع ابعاد سازه‌های دریایی سبب شده است تا تئوری‌های مختلفی برای محاسبه نیروهای حاصل از امواج ارائه شود.

امروزه تئوری‌هایی در دسترس هستند که با استفاده از آنها در کنار نرم افزارهای موجود می‌توان بارگذاری امواج روی سازه‌های دریایی مختلف را با دقت قابل قبولی تعیین نمود.

۲-۱-۱- معادله موريسون^۳

جهت بیان نیروی افقی وارد بر طول پایه قائم استوانه‌ای ناشی از امواج معمولی، موريسون در سال ۱۹۵۰ میلادی رابطه زیر را پیشنهاد نمود [۱۱]:

$$F = C_m \rho \frac{\pi}{4} D^2 \dot{u} + C_d \frac{1}{2} \rho D u |u| \quad (۱)$$

در معادله فوق F بردار نیرو در واحد طول، ρ چگالی سیال، D قطر سازه، u سرعت سیال، $\dot{u}$ شتاب سیال C_d و به ترتیب ضریب درگ و ضریب اینرسی هستند.

۲-۱-۲- تئوری تفرق^۴

یکی از موارد محدودیت در رابطه موريسون، نسبت قطر پایه به طول موج است. در این حالت می‌توان از تأثیر 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 تأثیر پایه بر میدان جابجایی سیال را در نظر گرفت. در این حالت نیروی درگ از نیروی اینرسی بسیار کمتر بوده و حتی قابل صرف نظر کردن است. مک کمی، فوکس، موگرچ و جیمسون با فرض تئوری موج دامنه کوتاه و المان صلب این مسئله را بررسی نموده‌اند. این تئوری به نام تئوری تفرق نامیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که وجود المان قطور باعث تغییر ضریب اینرسی در معادله موريسون و ایجاد زاویه عقب افتادگی می‌شود. نیروی وارد بر واحد طول پایه در مرکز المان برابر است با [۱۱]:

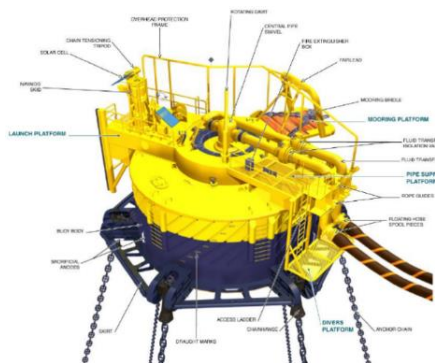
(۲)

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

که در این رابطه ε زاویه عقب افتادگی بوده و y از کف دریا اندازه‌گیری می‌شود.

از آنجا که در آبهای عمیق از سازه‌های شناور استفاده می‌شود، تئوری تفرق- انتشار برای محاسبه نیروهای هیدرودینامیکی امواج به کار می‌رود البته با توجه به اینکه سازه‌ها دارای اعضای لاغر (خطوط مهار) نیز هستند از معادله موريسون در تحلیل این اعضای

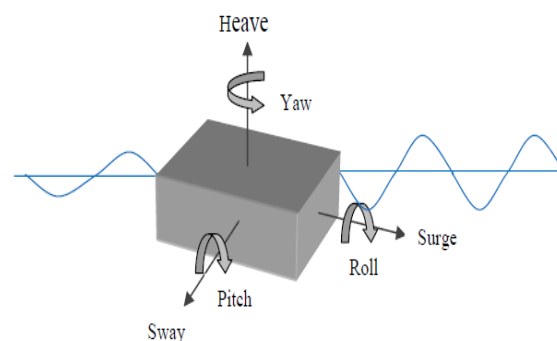
شناور تأثیر چندانی ندارند. ماکزیمم اندازه المان‌های مورد استفاده با توجه به ماکزیمم فرکانس، موج برخوردی به سازه تعریف می‌شود.



شکل ۵ - SPM مورد مطالعه



شکل ۶- موقعیت SPM فرضی



شکل ۴ - حرکات SPM

۳-۲-۱- ورودی نرم افزار

مشخصات SPM فرض شده در جدول زیر آمده است:

حدود ۱- مشخصات SPM

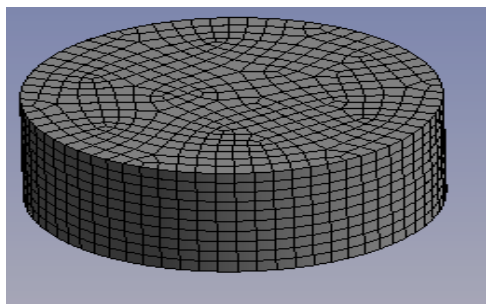
۱۲/۵	قطر
۵/۳	عمق
۱۶/۶۳	قطر پایه
۱/۰	ارتفاع پایه
۳/۵۷	قطر مون پول
۱/۹۹۳	درفت زیر آب
۳/۳۰۷	درفت بالای آب
۳/۲۶۶	درفت طراحی شده
۲/۰۳۴	درفت آزاد نصب شده
۱۹۶/۲۶	وزن SPM
۹۳/۷۲	وزن صفحه دوار
۲۸۹/۹۸	وزن کلی SPM

۳-۲-۲-اطلاعات محیطی

با استفاده از تئوری موج جان سوآپ^۵ که بر اساس امواج غیرخطی و نامنظم^۶ استوار است، رفتار هیدرودینامیکی سازه SPM تحلیل خواهد شد. لازم به ذکر است که متوسط سرعت جریان ۰/۸ متر بر ثانیه می باشد.

۳-۲- مشخصات سازه و محیط مورد مطالعه

سازه مورد مطالعه، از نوع پایانه شناور نفتی CALM Buoy و فقط ابعاد آن برگرفته شده از یکی از نمونه های این نوع پایانه ها در خلیج فارس می باشد که جرم آن در حدود ۲۹۰ تن، قطر آن ۱۲/۵ متر و ارتفاع آن ۵/۳ متر می باشد. در این تحقیق ابعاد سازه مورد بررسی به جهت مقیاس درست از روی پایانه فوق الگوبرداری

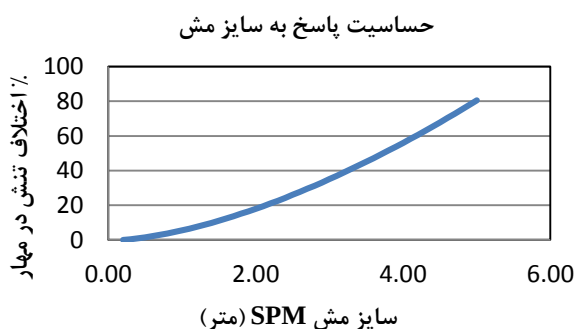


شکل ۸- نحوه مش بندی سطح سازه در نرم افزار انسیس آکوا

بدین منظور با تحلیل حساسیت پاسخ به سائز مش مقدار مناسب سائز مش به اندازه حداکثر ۲ متر با خطایی کمتر از ۱۵٪ در پاسخ آن انتخاب گردید. برای کمترین مقدار مش نیز با توجه به بازه فرکانس های موجود در طیف امواج جان سوآپ مقدار ۰/۵ متر در نظر گرفته شده است. اطلاعات مربوط به نحوه مش بندی، تعداد نودها و المان ها در جدول زیر مشاهده می شود.

جدول ۳- اطلاعات مربوط به نحوه مش بندی

پارامترهای مش	
بازه شکست مش	۰/۵
بیشترین سائز المان	۲
بیشترین فرکانس مجاز	۰/۳۷۱
نوع مش	مش ترکیبی
اطلاعات مش ایجاد شده	
تعداد گره ها	۳۷۷
تعداد المان ها	۳۷۷
تعداد گره های پراکندگی	۲۱۰
تعداد المان های پراکندگی	۱۹۳

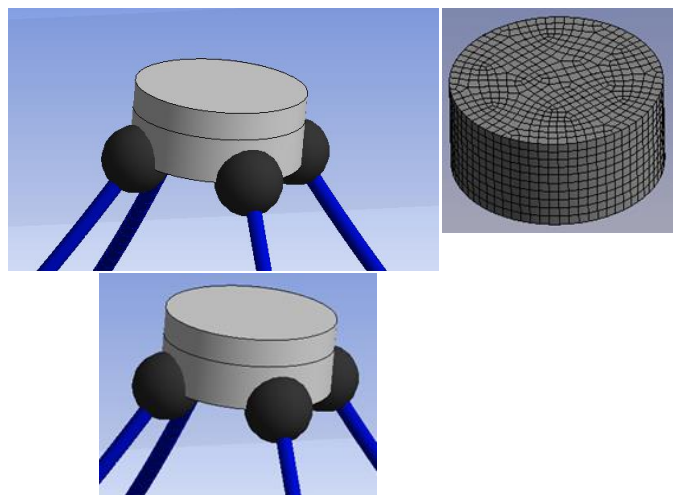


شکل ۹- حساسیت پاسخ به سائز مش

۵- مهاربندی

سیستم مهاربندی قادر به کنترل و کاهش پاسخ های محوری یک پایانه شناور می باشد و تأثیر قابل توجهی در کنترل دوران های حول محوری آن ندارند. در واقع

از برخورد جریان باد به سازه به دلیل مقدار کم سطح تماس سازه و چگالی کم آن نسبت به هوا می توان صرف نظر کرد. ضریب درگ و ضریب جرم افزوده برابر ۱ در نظر گرفته شده است. چگالی سیال برابر با ۱۰۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب اعمال گردیده است.



شکل ۷- تقسیم بندی محیط زیر آب و بالای آب و تعریف گره ها

جدول ۲- اطلاعات محیطی SPM

دوره بازگشت				
ردیف	۱ ساله	۱۰ ساله	۱۰۰ ساله	توضیحات
Wave $H_{max}(m)$	۴/۷	۷/۵	۶/۹	از W به NW
$TH_{max}(s)$	۷/۵	۸/۰	۸/۵	
$H_s(m)$	۲/۶	۳/۲	۳/۹	
$T_p(s)$	۷/۵	۸/۰	۸/۵	
باد پایدار در ارتفاع ۱۰ متری $V_{1hr}(m/s)$	۲۲	۲۵	۲۶	از W به NW
گردباد در ارتفاع ۱۰ متری $V_{10mn}(m/s)$	۲۴	۲۷	۲۸	
$V_{1mn}(m/s)$	۲۶	۳۰	۳۲	
$V_{3s}(m/s)$	۳۰	۳۴	۳۶	
جریان $U_{surface}(m/s)$	۰/۷	۰/۸	۰/۸	به SE
خصوصیات		مقدار		
چگالی در محدوده بویه		$1023 \text{ kg} \times m^{-3}$ تا 1029		
مقاومت الکتریکی آب		$0.19 \text{ Ohm} \times m$		
ویسکوزیته دینامیکی		1.05 cp		
شوری آب		28 تا 40 psu		
ویسکوزیته سینماتیکی		$1/2 \text{ m}^2 \times S^{-1}$		

۴- نحوه مش بندی

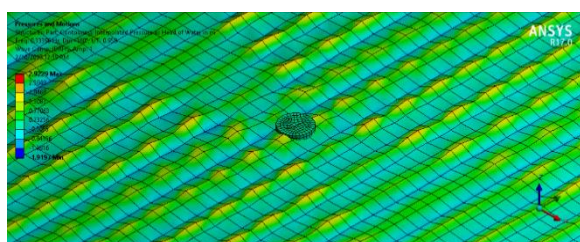
در تحقیق حاضر با توجه به فرکانس های موجود در امواج محیط، شرایط مش بندی مشخص می گردد. تصویر زیر نحوه مش بندی سطح سازه را در نرم افزار انسیس آکوا نشان می دهد.

مشخصات سطح مقطع	
وزن بر واحد طول	۱۵۰ کیلوگرم بر متر
سطح مقطع معادل مهار	۰/۰۱ متر مربع
سختی	۶۰۰۰۰۰۰ نیوتن
تنش ماکزیمم	۷۵۰۰۰۰ نیوتن
سختی خمشی	۰/۰ نیوتن متر مربع
مشخصات هیدرودینامیکی سطح مقطع	
وزن اضافی	۱
درگ عرضی	۱
قطر معادل مهار	۰/۰۱ متر
درگ طولی	۰/۰۲۵

۶- تحلیل هیدرودینامیکی

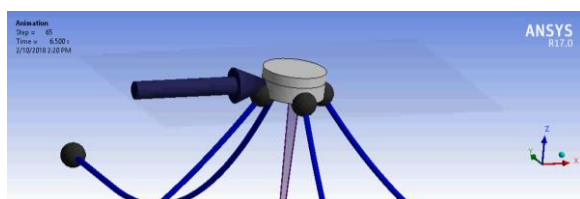
در نرم افزار انسیس آکوا تحلیل هیدرودینامیکی در دو مرحله اصلی صورت می گیرد:

۱- تحلیل هیدرودینامیکی در دامنه فرکانس با استفاده از تئوری های تفرق و موریسون برای محاسبه مقدار نیروی وارده به SPM و حرکات آن.



شکل ۱۱- تحلیل در دامنه فرکانس

۲- تحلیل هیدرودینامیکی در دامنه زمان برای محاسبه مقدار نیروی وارده در مهارها در بازه زمانی مشخص. تصویر زیر تحلیل در بازه زمانی در نرم افزار انسیس آکوا را نشان می دهد.



شکل ۱۲- تحلیل در دامنه زمان

در این نرم افزار هر دو مرحله تحلیل به یکدیگر مرتبط بوده و نمی توان بدون انجام یکی از آنها، تحلیل را با نتایج مورد نظر به اتمام رسانید.

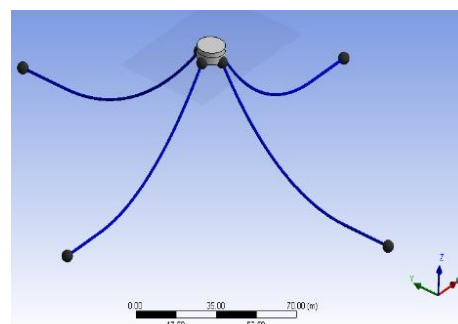
۶-۱- صحت سنجی نرم افزار انسیس آکوا

منظور از صحت سنجی یک نرم افزار، مقایسه بین پاسخ به دست آمده از نرم افزار و پاسخ به دست آمده در واقعیت برای مدل مورد

عامل اصلی و تعیین کننده در کاهش این نوع پاسخ ها ابعاد و شکل پایانه شناور می باشد. بدین منظور علاوه بر میزان اهمیت نحوه مهاربندی، باید با بهینه سازی شکل ظاهری نیز در کاهش پاسخ های هیدرودینامیکی اقدام نمود. همانطور که گفته شد مهاربندی SPM با توجه به وظیفه مهمی که این سازه شناور به عهده دارد، بسیار حائز اهمیت می باشد. مهاربندی مناسب منجر به افزایش کارایی و طول عمر می شود. انتخاب تعداد و شکل مهار بستگی به شرایط محیطی و محدودیت حرکت SPM دارد. جنس این مهارها اغلب از زنجیرهای فولادی، کابل های نایلونی - فولادی و پلی استر است و معمولاً در مهاربندی به روش کشیده از کابل ها استفاده می شود.

در این پژوهش از سیستم مهاربندی متقارن چهار نقطه ای برای سازه SPM در نرم افزار انسیس آکوا استفاده شده است و مهارها با فواصل ۹۰ درجه ای نصب گردیده اند. این نوع مهاربندی متقارن باعث می گردد تغییر جهت نیروهای محیطی تأثیر چندانی در پاسخ پایانه شناور استوانه ای نداشته باشد.

در تحلیل هیدرودینامیکی به وسیله این نرم افزار معمولاً نیروهای موج و جریان بر روی کابل ها و مهاربندی ها در نظر گرفته نمی شود و نیروهای به وجود آمده در کابل ها حاصل مهار حرکت جسم در برابر امواج و جریان های دریایی هستند. شکل زیر نحوه مهاربندی چهار نقطه ای سازه مورد مطالعه را در نرم افزار انسیس آکوا نشان می دهد.



شکل ۱۰- سیستم مهاربندی چهار نقطه ای برای SPM

مهارهای استفاده شده در این تحلیل از نوع کتری زنجیری با طول ۱۱۰ متر بوده و خصوصیات مربوط به سطح مقطع آنها در جدول زیر قابل مشاهده است.

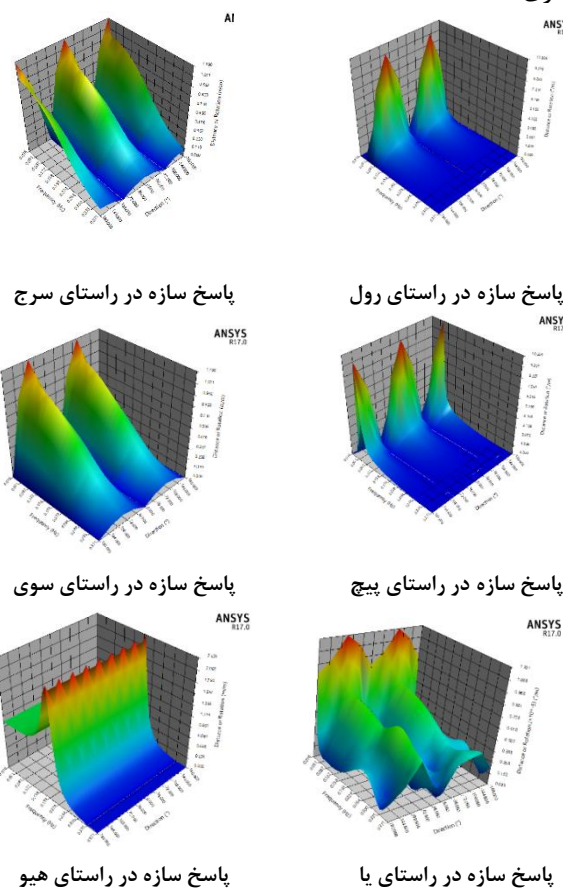
جدول ۴- مشخصات سطح مقطع SPM

جزئیات سطح مقطع مهار ۱	اسم
سطح مقطع ۱	

مطالعه می‌باشد. به بیان دیگر در این مرحله، صحت مدل‌سازی انجام شده توسط کاربر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به منظور صحت‌سنجی مدل‌سازی انجام شده در نرم افزار انسیس آکوا، ابتدا مدل سازه SPM با ابعاد مشابه با نمونه انجام گرفته در تحقیقات پیشین، مدل‌سازی و نتایج آن مقایسه شد. برای این منظور از مقاله تحلیل خستگی مهاربندی سازه SPM با توجه به طول خطوط مهار و جهت برخورد امواج نوشته آقایان مهرداد یزدان دوست و روزبه پناهی استفاده شده است [۱۱]

شایان ذکر می‌باشد که پژوهشگران در خصوص صحت‌سنجی مقاله مذکور مدل آزمایشگاهی سازه را با استفاده از تست‌هایی مانند UOU fast و decay test و همچنین کدهایی مانند UOU fast انجام داده اند. در سال ۲۰۱۳ یک صحت‌سنجی برای نرم افزار انسیس آکوا در همین راستا انجام شده که در تحقیق حاضر نیز مورد استفاده قرار گرفته است. شکل زیر نشان می‌دهد که نرم افزار دارای پاسخ های مناسبی بوده و مدل‌سازی موفقیت آمیز می‌باشد. در شکل ذیل، تصاویر سمت راست مربوط به خروجی‌های مدل ایجاد شده می‌باشد که همخوانی مناسبی دارد. پس از به دست آمدن پاسخ‌های سازه و مشخص شدن رفتار آن تحت فرکانس‌ها و جهت‌های مختلف، سازه در شرایط محیطی واقعی با مهاربندی مدل‌سازی شده است.



شکل ۱۵ - رفتار سازه در مقابل امواج با فرکانس‌های مختلف با ارتفاع یک متر

با توجه به رفتار سازه، فرکانس‌های طبیعی برای یک SPM استوانه ای شکل با شرایط مدل شده در راستای رول، پیچ، سرج و سوی بزرگ بوده و در مورد راستای هیو و یا این فرکانس کوچکتر می باشد. این نتایج گویای آن است که تأثیرگذارترین عامل حرکتی در عملیات یک پایانه شناور SPM حرکت هیو آن است و در تقابل با امواج ۱۰۰ ساله با حدود فرکانس امواج ۰.۱۹۳، هرتز دچار تشدید می‌گردد.

بررسی تنش در مهار شماره ۱: همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار تنش ماکزیمم در مدت آنالیز که ۱۰۰ ثانیه بوده است کمتر از ماکزیمم تنش مجاز برای مهار در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۶- تنش در مهار شماره ۱

همانطور که از نتایج به دست آمده مشخص است هر چه زاویه موج برخوردی به زاویه یکی از خطوط مهار نزدیکتر باشد، تنش در آن خط مهار از خطوط مهار دیگر بیشتر خواهد بود.

با توجه به هزینه های نصب و نگهداری و هزینه های خود این مهارها آنالیزهای اقتصادی از دیگر مواردی است که حتماً باید در تعیین طول خطوط مهار در کنار دیگر آنالیزها صورت گیرد تا بهینه ترین طول خط مهار از لحاظ خستگی و بهره برداری از سازه شناور و اقتصادی بودن مورد تأیید باشد.

۸- نتیجه گیری

در نتایج به دست آمده از مدل‌سازی SPM مفروض در شرایط محیطی خلیج فارس با استفاده از نرم افزار انسیس آکوا، مقدار بیشینه تنش در مهارها اندازه گیری و با مقدار بیشینه مجاز طراحی شده آن مقایسه گردید. تنش این مهارها کمتر از مقدار بیشینه مجاز هستند. علاوه بر این رفتار سازه مذکور در فرکانس‌های مختلف بررسی و تحلیل گردید و برآیند نیروهای وارد بر آن استخراج شد.

با توجه به رفتار هیدرودینامیکی یک SPM استوانه ای ، فرکانس‌های طبیعی در راستای رول، پیچ، سرج و سوی بزرگ بوده و در مورد راستای هیو و یا این فرکانس کوچکتر می باشد. این نتیجه گویای آن است که تأثیرگذارترین عامل حرکتی در عملیات یک پایانه شناور SPM حرکت هیو ناشی از امواج برخوردی به آن است و در تقابل با

مراجع

- 1- Faltinsen, O.M., (1998), *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*, Cambridge University Press, ISBN 0521458706.
- 2- Jain, R. K., (1980), *A Simple Method of Calculating the Equivalent Stiffnesses in Mooring Cables*, Applied Ocean Research 2.
- 3- Russell, J.Smith, Cloin, J.MacFarlane, (2001), *Statics of a three Component Mooring Line*, Ocean Engineering 28.
- 4- Mazaheri S. & Incesik A., (2004), *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.
- 5- Davies P., Baron P., Salomon K., Bideaud C., Labbe J.p., Toumit S., Francois M., Grosjean F., Bunsell T. & Moysan A.G., (2008), *Influence of Fiber Stiffness on Deepwater Mooring Line Response*, 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 2008-57147, Estoril, Portugal.
- 6- Stansberg C.T., (2008), *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.
- 7- Waals O.J., (2009), *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.
- 8- Lassen T., Storvoll E. & Bech A., (2009), *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.
- 9- Su-xia Z., You-gang T. & Hai-xiao L., (2009), *Study on Snap Tension in Mooring Lines on Deep Water Platform*, 28th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 2009-79881, Honolulu, Hawaii, USA.
- 10- Zhu, h. and Ou, Jinping., (2011), *Dynamic Performance of a Semi-Submersible platform subject to wind and waves*, Journal of Ocean univ, China, Vol.10, NO.2, P.127-134.
- 11- Sabziyan H., Ghassemi H, Azarsina F., & Kazemi S., (2014), *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, Tehran, Iran.
- 12- Panahi R & Yazdan dust M., (2015), *Fatigue analysis of SPM mooring due to length of mooring line and direction of wave incident*, Tehran, Iran.

امواج ۱۰۰ ساله با حدود فرکانس امواج ۰/۱۹۳ هرتز دچار تشدید می‌گردد.

برای طراحی سازه SPM، مشخص شدن مشخصات دقیق سازه ای آن از جمله ضخامت ورق‌ها، مقدار مورد نیاز سختی سطحی، نحوه دقیق شبکه بندی داخلی سازه، اطلاع از بازه دقیق نیروهای وارد شده بر آن در داخل دریا از اهمیت بالایی برخوردار است.

جمع‌بندی نتایج حاصل از تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:

با توجه به نیاز روز افزون صنعت نفت ایران به پایانه‌های دریایی شناور، دانش فنی طراحی و ساخت آنها بیشتر از قبل مورد توجه قرار گرفته است و سعی بر آن می‌باشد که بتوان فناوری طراحی و ساخت آنها را به کشور منتقل و بر توان فنی مهندسی در این بخش از صنعت دریایی کشور افزود. از مزایای اقتصادی آن می‌توان به کاهش خروج مقادیر قابل توجهی ارز از کشور اشاره نمود.

علاوه بر شرکت نفت فلات قاره ایران، از متقاضیان احتمالی دیگر ترمینال‌های شناور دریایی می‌توان، سازمان بنادر و دریانوردی، شرکت صنعتی دریایی ایران و سایر شرکت‌های دریایی بخش خصوصی نام برد.

ارزیابی هیدرودینامیکی سازه‌های دریایی ثابت و متحرک، کاربرد بسیاری در طراحی آنها داشته و پیشرفت توان رایانه‌ها، دینامیک سیالات محاسباتی را به عنوان یک ابزار مناسب در این زمینه مطرح نموده است.

نتایج عددی متنوع ارائه شده، بیانگر وسعت کاربرد نرم افزار در حال تهیه و توسعه می‌باشد. بدین ترتیب، امکان بررسی رفتار آنچه در نتیجه این پژوهش روشن شد این است که در طراحی خطوط مهار پایانه های نفتی شناور اهمیت وزن مخصوص مهار در شعاع لنگر اندازی دیده می‌شود و در دیگر موارد تأثیر چشمگیری روی پاسخ استاتیکی مهار ندارد. البته این به معنای بی تأثیر بودن وزن مخصوص نیست و باتوجه به ابعاد کم و محدودیت در دامنه حرکات پایانه‌های نفتی شناور، این مسئله می‌تواند در برخی شرایط مورد توجه جدی قرار گیرد. همچنین دیده شده که توجه به طراحی استاتیکی می‌تواند در انتخاب محدوده امن برای حرکت پایانه های نفتی شناور بسیار مفید و مؤثر باشد

کلید واژگان

- 1- Very Large Crude Carriers
- 2- Ultra Large Crude Carriers
- 3- Morrison theorem
- 4- Diffraction Theorem
- 5- JONSWAP (Joint North Sea Wave Project)
- 6- Nonlinear and Irregular Waves