

تحلیل تنش‌ها و تغییر مکان‌های سکوی دریایی تحت اثر برخورد امواج

میلاذ رشیدی نسب^۱، مهدی بهداروندی عسکر^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، پست الکترونیکی: rashidi.mrn@gmail.com

۲- استادیار گروه سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، پست الکترونیکی: sazehenteghal@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۳

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۵

چکیده

هدف از مطالعه حاضر، تحلیل تنش‌ها و تغییر مکان‌های سکوی دریایی تحت اثر برخورد امواج است. بنابراین به کمک مدل عددی Flow3D شرایط مشابه به شرایط واقعی یک سکوی دریایی در خلیج فارس به کمک اطلاعات هندسی و هیدرودینامیکی و سازه‌ای شبیه‌سازی گردید. به این منظور مدل از لحاظ اندرکنش موج با سازه و از لحاظ هیدرودینامیکی تحت شرایط مرزی و شرایط شبکه‌بندی صحیح کالیبره گردید و درصد خطای شبیه‌سازی تحت شرایط موجود بررسی و تعیین شد. سپس با استفاده از نتایج شبیه‌سازی انجام شده مقادیر تغییر مکان حداکثری اعضای سازه تحت شرایط ارتفاع و پریدود مختلف امواج مشخص گردید. بر اساس نتایج این مطالعه تغییرات تنش حداکثر در مدل عددی نشان داد که در اثر افزایش ۲۵٪ ارتفاع امواج مقادیر تنش حداکثر ۳۲٪ افزایش می‌یابد. همچنین افزایش ۵۰٪ ارتفاع امواج باعث افزایش ۶۲٪ تنش حداکثر در اعضای سازه سکوی دریایی می‌گردد. تغییرات تنش حداکثر در مدل عددی نشان داد که در اثر افزایش ۲۵٪ پریدود امواج مقادیر تنش حداکثر ۱۶٪ افزایش می‌یابد. همچنین افزایش ۵۰٪ پریدود امواج باعث افزایش ۳۰٪ تنش حداکثر در اعضای سازه سکوی دریایی می‌گردد.

کلمات کلیدی: سکوی دریایی، مدل عددی، اندرکنش سازه و سیال، Flow3D، برخورد امواج.

۱. مقدمه

غیر منعطف تقسیم بندی نمود. سکویهای منعطف به گونه‌ای طراحی می‌شوند که توانایی تغییر مکان قابل توجهی داشته و با استفاده از این توانایی در مقابل بارهای ناشی از شرایط محیطی مقاومت نمایند. از انواع این نوع سکوها می‌توان برج‌های مهار شده و سکویهای پایه کششی را نام برد. اکثر سکویهای موجود دنیا را سکویهای ثابت غیر منعطف تشکیل می‌دهند که خود شامل انواع فلزی و بتنی هستند. رایج‌ترین نوع سکویهای دریایی در

سکویهای دریایی موجود در دنیا را می‌توان به دو بخش کلی ثابت و متحرک تقسیم‌بندی نمود. انواع سکویهای متحرک به‌طور عمده برای مقاصد حفاری کاربرد داشته و شامل سکویهای خود بالابر، نیمه مستغرق و بارج‌ها یا کشتی‌های حفاری هستند. سکویهای ثابت دریایی را نیز می‌توان به دو دسته کلی منعطف و

می‌شکستند، مشاهده کردند که سرعت‌های پیش‌بینی شده درست در زیر تراز قعر موج به‌طور متوسط ۶٪ بزرگ‌تر از متوسط مقادیر سرعت‌های اندازه‌گیری شده است (Kriebel et al., 1999).

در سال ۱۹۹۳ میلادی یک سری از آزمایش‌های در مقیاس بزرگ در کانال موج دلتای آزمایشگاه هیدرولیک دلفت در کشور هلند انجام پذیرفت. هدف از انجام این آزمایش‌ها بررسی نیروهایی است که از جانب امواج و جریان‌های دریایی روی پایه‌های استوانه‌ای شکل سازه‌های دریایی وارد می‌شود (Mackwood, 1993). برای آزمایش امواج تصادفی از طیف پروژه مشترک موج دریای شمال استفاده شد. نتایج بدست آمده در این مطالعه مربوط به آزمایش امواج تصادفی با تاج‌های طویل و ارتفاع مشخصه ۱/۵ متر و پرپود پیک ۵/۹ هستند.

یکی از معایب عمده آزمایش‌های در مقیاس کوچک این است که به دلیل عدم مطابقت شرایط جریان با شرایط واقعی مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی توصیه‌شده توسط آیین‌نامه API را نمی‌توان در مورد آن‌ها بکار برد و این ضرایب را می‌بایستی از یک مجموعه مجزا از مدل‌های آزمایش شده محاسبه نمود. شرح کامل روش‌های مختلف محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی که در دو حوزه زمانی و فرکانسی قابل انجام است در مراجع آورده شده است (Ebrahimi et al., 2015).

با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و بر داده‌های آزمایشگاهی که در فلوم دانشگاه Delta بدست آمده است، نیروی وارده بر ستون‌های عمودی سکوه‌های دریایی را مورد مطالعه قرار داده‌اند و نمودارهای تغییرات زمانی نیروهای وارده با شرایط مختلف با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی نموده‌اند (Pourtaghi and Yaghin, 2013).

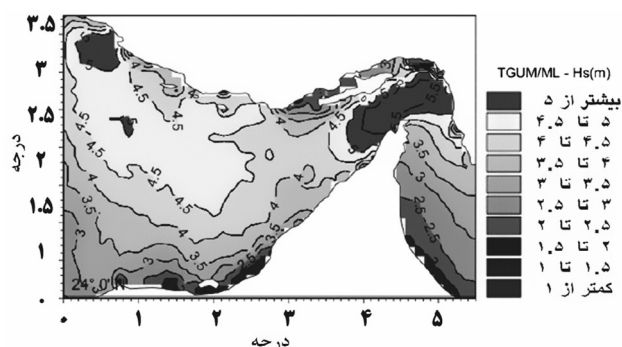
آنالیز دینامیکی یک سکوی دریایی با استفاده از نرم‌افزار 7 ANSYS انجام گرفت. در این مطالعه سعی شد با به‌کارگیری یکی از نرم‌افزارهای المان محدود تحت عنوان ANSYS 7 یک سکوی دریایی شبیه‌سازی شده و با پیروی از رابطه MORISON و به‌کارگیری معادلات موج به‌صورت تئوری خطی موج ایری و تئوری موج استوکس مرتبه ۵ رفتار سازه تحت اثر نیروهای ناشی از جریان آب و امواج نوسانی دریا در جهات مختلف به‌صورت دینامیکی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. با مشاهده نتایج تحلیل‌شده به‌صورت وابسته به زمان می‌توان نیروهای دینامیکی وارد بر سازه و نیز تغییر مکان‌های ایجادشده در اثر اعمال امواج با تئوری‌های ذکرشده را تعیین و با همدیگر مقایسه نمود (لطف-

مناطق با عمق کم و متوسط، سکوه‌های فولادی نوع شابلونی هستند (لطف‌اللهی‌یقین، ۱۳۹۴). قدم اول در بررسی انتشار موج تنها تعیین معادله و شبیه‌سازی عددی موج تنها است (زندى، ۱۳۹۵).

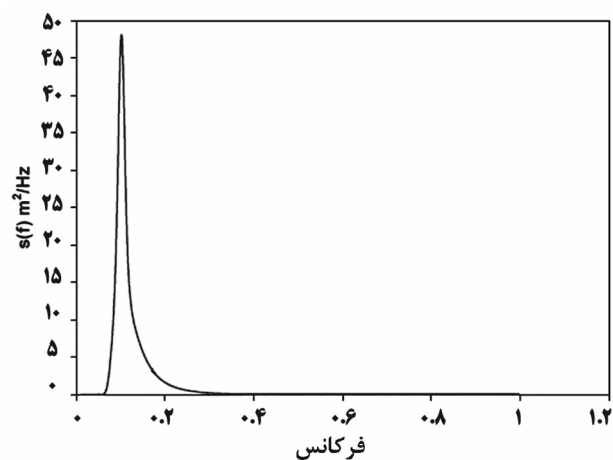
آیین‌نامه API به‌صورت گسترده‌ای در اکثر کشورهای جهان در طراحی سازه‌های دریایی به عنوان یک آیین‌نامه معتبر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که نسبت ابعاد المان‌های سازه به طول موج از ۰/۲ کوچک‌تر باشد از معادله موریسون جهت تخمین نیروهای هیدرودینامیکی حاصل از امواج استفاده می‌گردد (API-RP2A, 2000). اگرچه تاکنون تئوری‌های متعددی برای بیان اندرکنش موج-جریان یکنواخت پیشنهاد شده است، لیکن روش آیین‌نامه API همچنان مبتنی بر روش ساده سوپر پوزیشن است که در آن سینماتیک موج و جریان یکنواخت به‌طور جداگانه محاسبه می‌شوند و سپس جهت استفاده در معادله موریسون به یکدیگر اضافه می‌گردند. این مسئله در واقع نوعی ساده‌سازی از پدیده واقعی اندرکنش موج-جریان یکنواخت است و در این مقاله میزان دقت و مقدار انحراف این روش برای شرایط حدی و فوق‌العاده دریا مورد ارزیابی قرار گرفته است. مطالعات موجود در مورد میزان دقت روش آیین‌نامه API در بارگذاری موج-جریان یکنواخت نسبتاً کم است. بنابراین تعدادی از عدم قطعیت‌ها در مورد میزان کارایی این روش باقی‌مانده است (گلشنی و همکاران، ۱۳۸۵).

مطالعات Petrauskas و Allender (۱۹۸۷) آزمایش‌هایی روی یک سازه مقیاس شده انجام دادند که در آن تاثیر جریان یکنواخت با حرکت مدل از داخل آب ساکن بازسازی شده بود. در آن آزمایش‌ها در مورد امواج منظم مشاهده گردید که در حالت عدم حضور جریان یکنواخت، نیروهای پیش‌بینی شده بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده هستند و در حالتی که جریانات یکنواخت به همراه امواج منظم وجود داشته باشند نیروهای پیش‌بینی شده کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده خواهند بود. مقایسه‌ای بین نیروهای پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده روی اجزای سه سکوی دریایی انجام دادند (Heidman and Heidman, 1992). آن‌ها با مطالعه روی ۴۵۸ موج منفرد این‌طور نتیجه‌گیری کردند که نیروهای پیش‌بینی شده به کمک روش آیین‌نامه API حدوداً ۵٪ از نیروهای اندازه‌گیری شده کوچک‌تر است. تحقیقاتی روی نتایج آزمایش‌های در مقیاس کوچک انجام شد. با مطالعه روی ۱۳۲ موج تصادفی منفرد که بسیاری از آن‌ها روی مدل

است که در مدل عددی Flow3D اعمال شده است. تاکنون مطالعات وسیعی در مورد انتخاب مدل آشفتگی مناسب برای شبیه سازی امواج انجام شده است. با مروری بر مطالعات موجود در منابع مختلف مطالعات نشان می‌دهد که بهترین مدل آشفتگی برای شبیه سازی امواج در Flow3D مدل RNG است. لذا در مطالعه حاضر نیز از مدل آشفتگی RNG برای شبیه سازی امواج استفاده شده است (Basu et al., 2009).



شکل ۱: ارتفاع موج در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بخش‌های خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان.



شکل ۲: طیف موج برای شرایط امواج در محدوده سکوی دریایی فاز ۱۵ پارس جنوبی در خلیج فارس ارتفاع موج ۵/۵ متر با پریود ۸ ثانیه.

برای مدل‌سازی بدنه و سازه یک سکوی دریایی در نرم‌افزار Flow-3D، کل بدنه^۱ صلب^۱ به صورت سه بعدی توسط یک نرم افزار شبیه‌ساز هندسی همانند AutoCAD، CATIA، SolidWorks استفاده و... ساخته شد. با توجه به امکانات مناسب نرم‌افزار SolidWorks 2011 در این پژوهش از این نرم افزار استفاده

الهی و موحدنیا، ۱۳۸۴). مطالعه‌ای با عنوان بررسی ارتعاشات حاصل از امواج نامنظم در سکوهای ثابت دریایی انجام شد. تعیین میزان ارتعاشات سکوهای پایه ثابت دریایی، تحت شرایط مختلف امواج دریا، نقش کلیدی در تعیین عمر و عملکرد این سکوها دارد (سیف و همکاران، ۱۳۸۹).

مطالعه‌ای با عنوان آنالیز پوش‌آور سکوهای دریایی تحت نیروهای ضربه‌ای موج در عرشه انجام شد. نیروهای ضربه‌ای که در سازه‌های دریایی وجود دارد، ۲ تا ۴ برابر بزرگ‌تر از نیروهای غیرضربه‌ای با دامنه مشابه هستند. در این پژوهش ابتدا به تحلیل یک سکوی ثابت دریایی بر اساس تحلیل‌های استاتیکی و پوش-آور در حیطه خلیج فارس بر اساس نیروهای موج در عرشه پرداخته و سپس به بررسی این‌که، آیا سکو توانایی ایستادگی نیروهای موج در عرشه را دارد پرداخته شد. برای انجام مدل‌سازی و تحلیل از نرم‌افزار SACS استفاده گردید (هدایتی فر و مظاهری، ۱۳۹۰).

۲. مواد و روش‌ها

در نرم‌افزار Flow3D انواع مختلف موج با پریودها و ارتفاع موج‌های مختلف قابل تعریف است. به منظور تعریف مشخصات موج، بایستی در بخش شرایط مرزی بلوک شبکه‌بندی مدل شرایط موج مورد نظر به مدل معرفی گردد. شرایط موج نامنظم را بر اساس پارامترهای موجود در آب‌های خلیج فارس می‌توان به مدل عددی تعریف نمود (Deilami-Tarifi et al., 2016). بر طبق مطالعات چگینی و گلشنی (۲۰۰۶) در شرایط عمومی خلیج فارس دارای امواج به ارتفاع ۱ متر و پریود ۳ ثانیه و در شرایط طوفانی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، ارتفاع موج حدود ۵/۵ متر و پریود حدود ۸ ثانیه است (شکل ۱).

از آنجایی‌که طیف موج خلیج فارس به طیف موج طیف JONSWAP نزدیک‌تر است، به همین علت برای استخراج طیف موج از شرایط جدول فوق از طیف موج JONSWAP استفاده شد. بر اساس مطالعات در سال ۲۰۱۱ نزدیک‌ترین طیف موج به امواج آب‌های خلیج فارس طیف JONSWAP است. لذا در این مطالعه طیف امواج برخوردی به سازه سکوی دریایی نیز بر همین اساس انتخاب گردیده است (Ghaderi and Mazaheri, 2011).

بر اساس روابط فوق طیف موج از امواج خلیج فارس در محدوده سکوی دریایی پارس جنوبی در شکل ۲ ارائه گردیده

^۱ Solid

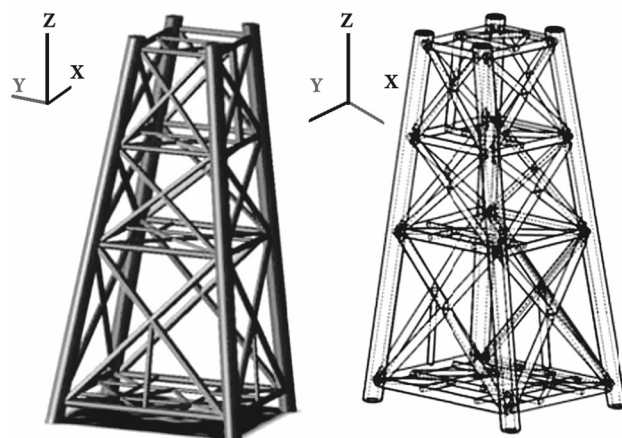
شبکه‌های بزرگتری نسبت به بلوک شبکه بندی داخلی دارد. با استفاده از بلوک شبکه بندی داخلی در این مدل دقت محاسبات در ناحیه متمرکز بر سکوی دریایی افزایش یافت. بلوک داخلی بر هندسه سازه سکوی دریایی منطبق گردید. شرایط مرزی مدل نیز منطبق با شرایط موجود در خلیج فارس به مدل عددی اعمال شد.

۲-۱ صحت‌سنجی و کالیبراسیون مدل عددی

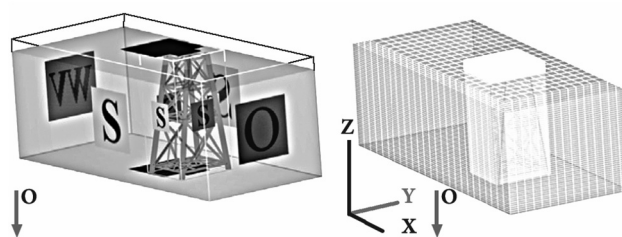
اولین گام در شبیه سازی یک پدیده، کالیبره کردن مدل عددی است. بدین معنی که تأثیرات عوامل خارجی را به حداقل رسانده و شرایط مدل را به شرایط واقعی نزدیک‌تر نمود. مدل عددی حاضر بر مبنای مدل واقعی و بر اساس آنالیز طراحی سکوی دریایی فاز ۱۵ پارس جنوبی است که با استفاده از مدل عددی SACS توسط مشاوره پروژه انجام شده است، کالیبراسیون و صحت‌سنجی می‌گردد (Muk-Pavic, 2007). برای شبیه‌سازی برخورد امواج به سکوی دریایی مد نظر در نهایت سه مدل نهایی انتخاب شده مورد بحث قرار می‌گیرد. در مدل اول کل فضای محاسباتی تنها با یک بلوک شبکه‌بندی و به تعداد $1/500/000$ شبکه به صورت منظم و به ابعاد $0/9$ متر در جهات X, Y, Z در نظر گرفته شده است. پس از اجرای کامل برنامه نتایج از مدل عددی استخراج گردید و با نتایج موجود مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. در جدول ۱ مقادیر حداکثر تنش کششی و فشار ایجاد شده در اعضای سازه‌ای سکوی ناشی از برخورد امواج خطای مدل‌سازی حاضر نسبت به نتایج موجود ارایه گردیده است.

با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌گردد که میانگین خطای شبیه‌سازی مقادیر حداکثر نیروی کششی معادل $20/4\%$ و میانگین حداکثر نیروی فشاری برابر با 21% است. باتوجه به اینکه زمان شبیه‌سازی به ازای $1/500/000$ شبکه معادل ۵۲ ساعت اجرای برنامه می‌باشد، لذا کل فضای محاسباتی را نمی‌توان از سلول‌های کوچکتری شبکه بندی نمود لذا از بلوک‌های شبکه بندی داخلی استفاده گردید. در این حالت تمرکز اصلی شبکه‌بندی روی تعداد شبکه داخلی و محل استقرار سکوی دریایی قرار گرفته است به طوری که بلوک خارجی دارای $20/000$ سلول و بلوک داخلی دارای $1/500/000$ سلول است. پس از اجرای برنامه نتایج مدل عددی استخراج گردیده است. در جدول ۲ مقادیر حداکثر تنش کششی و فشار ایجاد شده در اعضای سازه‌ای سکوی ناشی از

گردید. سکوی بررسی شده در این تحقیق در واقع مدل یکی از سکوهای میادین گازی پارس جنوبی در فاز ۱۵ است که به فاصله ۱۰۰ کیلومتری از ساحل و در آب‌های ایرانی خلیج فارس نصب گردیده است. به منظور اجتناب از پیچیدگی‌های موجود در سازه واقعی، در این تحقیق تنها سازه اصلی سکو شامل پایه‌ها، اعضای افقی و اعضای قطری (مهاربندی‌ها) مدل‌سازی و طراحی گردید و از مدل‌سازی اعضای فرعی و متعلقات شامل راهروها، پلکان، رایزرها، هادی‌های چاه، ضربه‌گیرها و... صرف‌نظر گردید. در شکل‌های ۳ و ۴ شرایط هندسی سه بعدی، پلان، مقاطع محورهای A و ۱ به عنوان نمونه نشان داده شد. لازم به ذکر است ارتفاع اصلی پایه‌های سکوی دریایی انتخاب شده برابر با $75/6$ متر می‌باشد که در عمق آب $66/6$ متر نصب گردیده است.



شکل ۳: شکل هندسی سه بعدی سکوی دریایی طراحی شده در نرم افزار Solidworks



شکل ۴: دو بلوک شبکه بندی و سلول‌های محاسباتی به همراه شرایط مرزی اعمال شده در میدان حل مدل عددی

در شبیه سازی مدل حاضر از دو بلوک شبکه بندی استفاده گردید. بلوک اول یا بلوک خارجی دارای ابعادی به حدود 200 متر طول 100 متر عرض و ارتفاع 77 متر است. این بلوک دارای

مدل عددی استخراج گردیده است. در جدول ۳ مقادیر حداکثر تنش کششی و فشار ایجاد شده در اعضای سازه‌ای سکوی ناشی از برخورد امواج و خطای مدل‌سازی حاضر نسبت به نتایج موجود ارایه گردیده است. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود - گورد خطای شبیه سازی عددی برای مقادیر حداکثر نیروی فشاری در اعضا معادل با ۷/۵٪ و برای اعضای نیروی کششی معادل ۶/۳٪ است. لازم به ذکر است با افزایش ۵۰۰ هزار سلولی در این حالت میزان دقت شبیه‌سازی افزایش یافته و میزان قابل قبولی را دارد. مدت زمان شبیه‌سازی برای اجرای مدل عددی با شرایط شبکه‌بندی جدید ۱۱۴ ساعت است. با توجه به محدودیت‌های سیستم محاسباتی امکان استفاده از شبکه‌بندی بیشتر وجود ندارد و پس از بررسی صحت و کالیبراسیون شرایط هیدرودینامیکی مدل می‌توان شرایط مرزی و شرایط شبکه‌بندی در حالت سوم را بهترین مدل برای ادامه کار معرفی نمود.

برخورد امواج و خطای مدل‌سازی حاضر نسبت به نتایج موجود ارایه گردیده است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد با افزایش تعداد سلول‌ها و تمرکز اصلی آن‌ها در ناحیه استقرار سکوی دریایی خطای مدل عددی برای مقادیر حداکثر نیروی فشاری ۷/۵٪ کاهش یافته است و همچنین برای حداکثر نیروی کششی در اعضای سازه در حدود ۸/۲٪ کاهش یافته است. لازم به ذکر است زمان لازم جهت شبیه‌سازی مدل حاضر با استفاده از بلوک داخلی در حدود ۲۸٪ افزایش یافته است و در حدود ۶۷ ساعت برای شبیه‌سازی مدل حاضر تحت شرایط شبکه بندی مذکور زمان صرف شده است.

به منظور کاهش میزان خطای شبیه‌سازی سعی گردید، در حد توان سیستم محاسباتی تعداد سلول‌های شبکه‌بندی افزایش گردد. در این حالت بلوک خارجی دارای ۲۰/۰۰۰ سلول و بلوک داخلی دارای ۲/۰۰۰/۰۰۰ سلول می‌باشد و پس از اجرای برنامه نتایج

جدول ۱: میزان خطای شبیه‌سازی عددی برخورد امواج به سکوی دریایی در حالت اول شبکه‌بندی

ردیف	نرم افزار SACS		نرم افزار Flow 3D		درصد خطا	
	کشش	فشرده‌گی	کشش	فشرده‌گی	کشش	فشرده‌گی
	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)
۱	۲۹۳۹۸	۴۲۷۷	۲۱۷۸۳	۳۱۵۸	۲۵/۹	۲۶/۲
۲	۳۴۷۲۷	۳۸۴۵	۲۷۷۴۱	۲۸۷۱	۲۰/۱	۲۵/۳
۳	۲۷۹۵۰	۲۶۱۸	۲۳۷۹۴	۲۲۹۸	۱۴/۹	۱۲/۲
۴	۳۵۷۷۲	۲۱۷۱	۲۷۴۶۲	۱۷۸۳	۲۳/۲	۱۷/۹
			میانگین خطا		۲۱	۲۰/۴

جدول ۲: میزان خطای شبیه‌سازی عددی برخورد امواج به سکوی دریایی در حالت دوم شبکه‌بندی

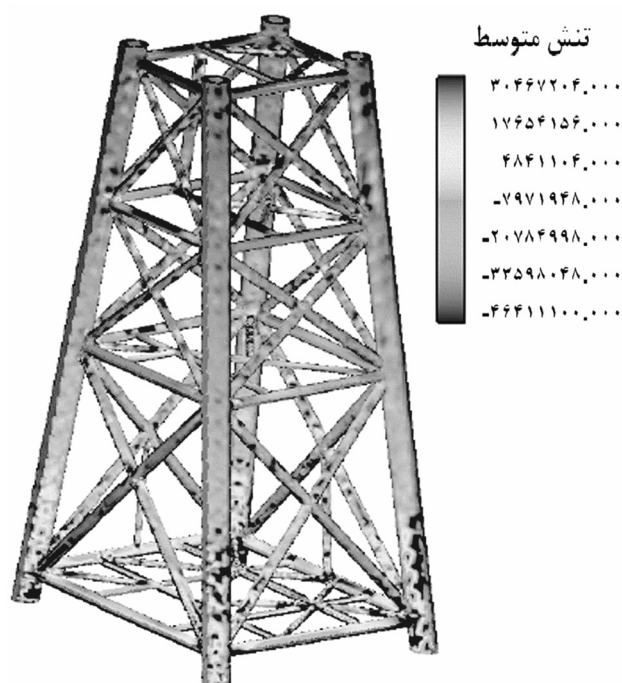
ردیف	نرم افزار SACS		نرم افزار Flow 3D		درصد خطا	
	کشش	فشرده‌گی	کشش	فشرده‌گی	کشش	فشرده‌گی
	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)
۱	۲۹۳۹۸	۴۲۷۷	۲۴۹۸۷	۳۶۶۵	۱۵	۱۴/۳
۲	۳۴۷۲۷	۳۸۴۵	۲۹۹۷۴	۳۲۸۴	۱۳/۷	۱۴/۶
۳	۲۷۹۵۰	۲۶۱۸	۲۴۴۸۰	۲۴۵۷	۱۲/۴	۶/۱
۴	۳۵۷۷۲	۲۱۷۱	۳۱۱۲۵	۱۸۷۴	۱۳	۱۳/۷
			میانگین خطا		۱۳/۵	۱۲/۲

جدول ۳: میزان خطای شبیه‌سازی عددی برخورد امواج به سکوی دریایی در حالت سوم شبکه‌بندی

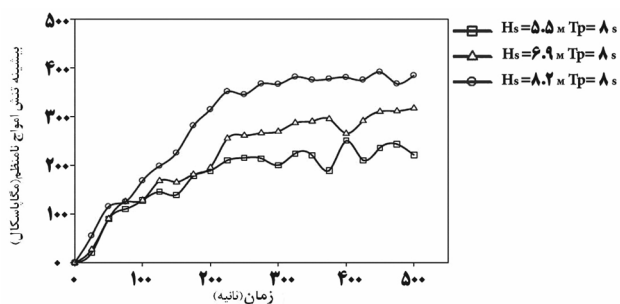
ردیف	نرم افزار SACS		نرم افزار Flow 3D		درصد خطا	
	کشش	فشرده‌گی	کشش	فشرده‌گی	کشش	فشرده‌گی
	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)	مقدار بیشینه (KN)
۱	۲۹۳۹۸	۴۲۷۷	۲۶۸۹۵	۳۹۴۵	۸/۵	۷/۸
۲	۳۴۷۲۷	۳۸۴۵	۳۲۱۲۷	۳۵۱۴	۷/۵	۸/۶
۳	۲۷۹۵۰	۲۶۱۸	۲۵۷۹۴	۲۵۴۱	۷/۷	۲/۹
۴	۳۵۷۷۲	۲۱۷۱	۳۳۴۸۷	۲۰۴۷	۶/۴	۵/۷
			میانگین خطا		۷/۵	۶/۳

۳. نتایج و بحث

با استفاده از شبیه‌سازی برخورد امواج به سکوهای دریایی می‌توان مقادیر تنش در اعضای سازه را نیز از مدل عددی استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. تغییرات میانگین تنش‌های کششی و فشار ایجاد شده در سکوی دریایی مورد مطالعه تحت اثر برخورد امواج در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود مقادیر منفی تنش برای موقعیت‌هایی است که سازه تحت فشار و مقادیر مثبت تنش برای موقعیت‌هایی از سازه که تحت کشش می‌باشد نشان داده شده است. به منظور بررسی تنش‌های ایجاد شده در سازه سکوی دریایی نمودار تغییرات تنش میانگین در اثر برخورد امواج از مدل عددی استخراج شده است.



شکل ۷: تغییرات تنش در اعضای مختلف سازه با برخورد امواج با ارتفاع موج ۵/۵ متر و پریود ۸ ثانیه

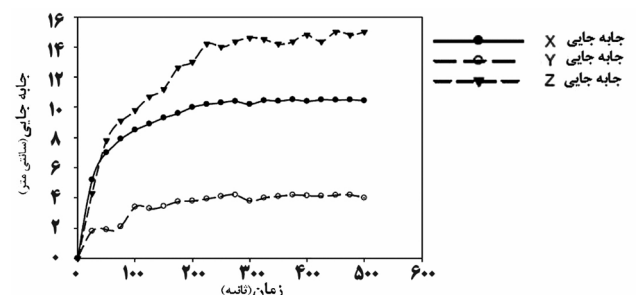


شکل ۸: تغییرات تنش حداکثر در اعضای سازه سکوی دریایی با برخورد امواج نامنظم با ارتفاع مختلف



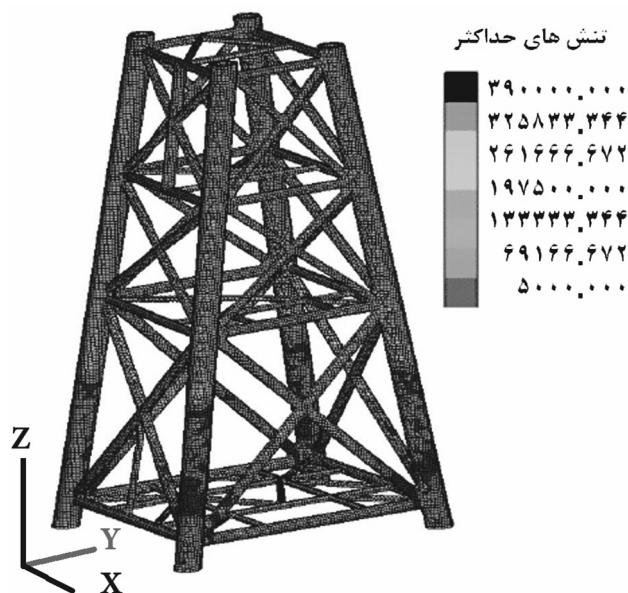
شکل ۹: شبیه‌سازی برخورد امواج به همراه تغییرات سطح آزاد سکوی دریایی در خلیج فارس

به منظور تعیین اندرکنش امواج برخوردی به سازه مقادیر حداکثر تغییر مکان‌های ثبت شده ناشی از برخورد امواج از مدل عددی برای زمان‌های مختلف استخراج شده است. از آنجایی که تغییر مکان‌ها برای اعضا مختلف سازه متغیر است در شکل ۶ حداکثر تغییر مکان اعضای سازه در سه جهت X، Y و Z بر اساس موج برخوردی به سازه با ارتفاع ۵/۵ متر و پریود ۸ ثانیه از مدل عددی استخراج شده است که نمودار تغییرات آن در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود تغییر مکان سازه در مدت زمان شبیه‌سازی تا زمان ۲۰۰ ثانیه به شدت افزایش می‌یابد. زیرا سازه در این زمان تحت حداکثر بارگذاری خود قرار می‌گیرد و پس از آن تغییر مکان‌های حداکثری سازه تقریباً یکنواخت می‌گردد. بر اساس آنالیز مدل عددی موج برخوردی به ارتفاع ۵/۵ متر و پریود ۸ ثانیه حداکثر تغییر مکان اعضای سازه در جهت Z و در حدود ۱۵ سانتی‌متر است.



شکل ۱۰: حداکثری تغییر مکان اعضای سازه سکوی دریایی در سه جهت X، Y و Z از مدل عددی

به اعضای سازه افزایش یافته است. این نتایج حاکی از آن است که طراحی هر سیستم سازه‌ای همانند سکوه‌های دریایی نیازمند به انتخاب معیار و ملاک مناسب و منطقی است. بنابراین در مناطق با پریرود موج بالاتر از پریرود موج غالب، انتخاب و طراحی سازه با پریرودهای بالاتر نیز باید ارزیابی و آنالیز گردد. معیار فون مایسز^۱ ۱۹۱۳ یک معیار تسلیم بر حسب ماکزیمم انرژی سیستم بوده و به تئوری Maxwell-Huber-Hencky-von Mises نیز شناخته شده است. این معیار برای تخمین تسلیم مواد شکل‌پذیر بکار می‌رود. طبق این معیار گسیختگی وقتی رخ می‌دهد که انرژی وارده برابر انرژی تسلیم یا گسیختگی در تنش تک محوره باشد. در فولاد این معیار با تنش تسلیم مقایسه می‌شود. با استفاده از مدل عددی Flow3D می‌توان محدوده حداکثر تنش Von Mises را از مدل عددی استخراج نمود. محدوده تنش حداکثر Von Mises در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در آنالیز شبیه‌سازی سازی برخورد امواج به سازه سکوی دریایی مشاهده می‌گردد. ماکزیمم انرژی سیستم بر اساس معیار فون مایسز در پایه‌های اصلی سکو و در نزدیکی کف می‌دهد و با کاهش عمق آب، معیار فون مایسز کاهش می‌یابد.



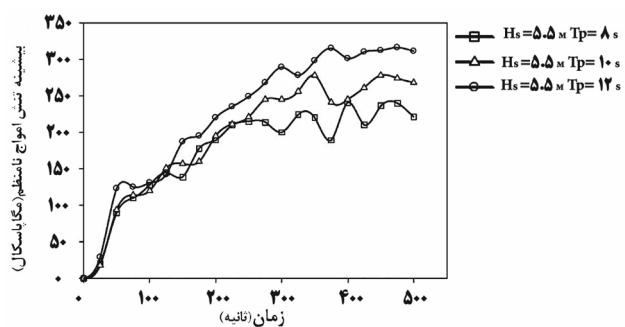
شکل ۱۰: محدوده تغییرات تنش حداکثر

بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت در سازه‌های دریایی اثر اندرکنش خاک و شمع بسیار مهم بوده تا جایی که به عنوان مثال

^۱ Von Mises

در این حالت ارتفاع امواج مختلف در شکل ۸ مقادیر حداکثر تنش در گره بحرانی بر اساس تحلیل زمانی برخورد امواج ارایه شده است. در نمودار شکل ۸ در صورتی که مقادیر ارتفاع امواج از ۵/۵ متر به ترتیب با افزایش ۲۵٪ و ۵۰٪ به مقادیر ۶/۹ متر و ۸/۲ متر تغییر یابد مقادیر تنش حداکثر در سازه ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود حداکثر تنش ایجاد شده در سازه سکوی دریایی در اثر برخورد امواج با ارتفاع ۵/۵ متر در حدود ۲۴۱ مگا پاسکال است. حداکثر تنش ایجاد شده در سازه سکوی دریایی در اثر برخورد امواج با ارتفاع ۶/۹ متر برابر با ۳۱۷ مگا پاسکال می‌باشد. همچنین در اثر برخورد موج به ارتفاع ۸/۲ متر حداکثر تنش ایجاد شده در سازه سکوی دریایی برابر با ۳۹۱ مگا پاسکال است. تغییرات تنش حداکثر در شکل‌های ۷ و ۸ نشان می‌دهند که در اثر افزایش ۲۵٪ ارتفاع امواج مقادیر تنش حداکثر ۳۲٪ افزایش می‌یابد. همچنین افزایش ۵۰٪ ارتفاع امواج باعث افزایش ۶۲٪ تنش حداکثر در اعضای سازه سکوی دریایی می‌گردد.

به منظور بررسی اثر تغییر پریرود بر مقادیر تنش‌های حداکثر در سازه سکوی دریایی با یک ارتفاع موج مشخص مقادیر پریرود پیک امواج نامنظم به ترتیب ۲۵٪ و ۵۰٪ به مقادیر ۱۰ و ۱۲ ثانیه تغییر یافته است. نمودار شکل ۹ مقادیر تنش حداکثر ایجاد شده در سازه سکوی دریایی در سه حالت برخورد امواج با پریرودهای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۹: تغییرات تنش حداکثر در اعضای سکوی دریایی با برخورد امواج نامنظم با پریرودهای مختلف

تغییرات تنش حداکثر در نمودارها نشان می‌دهد که در اثر افزایش ۲۵٪ پریرود امواج مقادیر تنش حداکثر ۱۶٪ افزایش می‌یابد. همچنین افزایش ۵۰٪ پریرود امواج باعث افزایش ۳۰٪ تنش حداکثر در اعضای سازه سکوی دریایی می‌گردد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با افزایش دوره تناوبی به ثانیه، شدت تنش وارده

خلیج فارس و دریای عمان، هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بندر و سازه‌های دریایی، تهران، سازمان بندر و کشتی رانی، صفحات ۶۵-۷۸.

لطف‌اللهی یقین، م.؛ موحدنیا، م.، ۱۳۸۴. آنالیز دینامیکی یک سکوی دریایی با استفاده از نرم افزار ANSYS. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرمان. دانشگاه باهنر کرمان. صفحات ۱۴۱-۱۳۰.

لطف‌اللهی یقین، م.ع.؛ نصیرائی، ح.، ۱۳۹۴. مدل‌سازی عددی نیروهای وارده از طرف امواج سونامی بر سازه‌های ساحلی. نشریه علمی-پژوهشی اقیانوس‌شناسی، دوره ۶، شماره ۲۴، صفحات ۳۰-۲۳.

هدایتی فر. م.؛ مظاهری، س.، ۱۳۹۰. آنالیز پوش آورسکوه‌های دریایی تحت نیروهای ضربه ای موج در عرشه. سیزدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، جزیره کیش. انجمن مهندسی دریایی ایران. صفحات ۴۰-۲۸.

Allender, J.H.; Petrauskas C., 1987. Measured and predicted wave plus current loading on a laboratory scale space frame structure. Offshore Technology Conferences (OTC), 5371: 143-151.

API-RP2A., 2000. Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms, American Petroleum Institute (RP2A-WSD), 21sted.

Basu, Debashis, et al., 2009. Navier-Stokes simulations of surface waves generated by submarine landslides: Effect of slide geometry and turbulence. SPE America Environmental and Safety Conference. Society of Petroleum Engineers, 120-132.

Chakrabarti, S.K.; Technical Note., 1984. On the formulation of jownswap spectrum, Applied Ocean Research, 6(3): 175-176.

Deilami Tarifi, M.; Behdarvandi Askar, M.; Chegini, V.; Haghghi-Pour, S., 2016. Modeling of the changes in flow velocity on seawalls under different conditions using FLOW-3D software. Open Journal of Marine Science, 6: 317-322.

Ebrahimi, A.; Askar, M.B.; Pour, S.H.; Chegini, V., 2015. Investigation of various random wave run-up amounts under the influence of different slopes and roughnesses. Environment Conservation Journal, 16 (SE): 301-308.

در سکوی مورد مطالعه در این پژوهش، در مورد تنش‌های فون-میزس، اثر تنش ماکزیمم در تکیه‌گاه‌ها و در نزدیکی محل بستر خاک به وجود آمده‌اند.

۴. نتیجه‌گیری

امواج بزرگترین نیروی دینامیکی را بر سکو ایجاد می‌کنند. اگر چه در بررسی‌های ساده، تناوبی و هارمونیک فرض می‌شود، اما با در نظر گرفتن خواص غیرخطی امواج، نیرویی متغیر نسبت به زمان خواهند بود. محاسبه نیروی موج وارد بر سازه‌های دریایی و همچنین تحلیل دینامیکی آن‌ها از عوامل مهم در طراحی این سازه‌ها محسوب می‌شود. در سازه‌های لاغر با توجه به ابعاد کوچک سازه نسبت به طول موج و ارتفاع موج، مشخصات و پارامترهای موج در قبل و بعد از برخورد با سازه چندان تغییری نمی‌کنند. در واقع تغییرات به وجود آمده، قابل چشم پوشی است. اما در سازه‌های حجیم با توجه به ابعاد بزرگ سازه نسبت به پارامترهای موج، تغییرات پارامترهای موج قابل چشم پوشی نیست. لذا در این پژوهش سعی گردید با استفاده از یک شبیه‌سازی سه بعدی و کالیبراسیون آن به کمک مدل عددی Flow3D میدان موج برخوردی به سازه مدنظر مشخص گردد و با استفاده از مش‌بندی سازه مورد نظر تنش‌های وارده به سازه به همراه پارامترهای هیدرودینامیکی در نزدیکی سازه‌های سکوی دریایی در این مطالعه به کمک مدل عددی تعیین گردید. بر اساس نتایج این مطالعه تغییر پریود امواج و ارتفاع امواج باعث تغییرات موثری در توزیع تنش در سازه سکو و همچنین تغییر شکل‌های اعضای آن می‌گردد.

منابع

زند، م.؛ رفیع زاده، الف.؛ شانه‌ساززاده، الف.، ۱۳۹۵. شبیه‌سازی انتشار موج تنها به روش بدون شبکه با استفاده از توابع پایه نمایی. نشریه علمی-پژوهشی اقیانوس‌شناسی، دوره ۷، شماره ۲۵، صفحات ۱۱-۱.

سیف، م.؛ مهدیقلی، ح.؛ داستان، م.؛ کاشانی، م.، ۱۳۸۹. بررسی ارتعاشات حاصل از امواج نامنظم در سکوه‌های ثابت. دوازدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، زیباکنار، انجمن مهندسی دریایی ایران. صفحات ۶۵-۵۵.

گلشنی، ع.؛ تائبی، س.؛ چگینی، و.، ۱۳۸۵. مدلسازی پیش‌یابی امواج در

- characteristics in the Persian Gulf. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 64: 572-575.
- Muk-Pavic, E.; Chin, S.; Don, S., 2007. Validation of the CFD code Flow-3D for the free surface flow around the ships. *Journal of Marine Research, Special Issue*, 44: 78-90.
- Pourtaghi, A.; Lotfollahi-Yaghin, M.A., 2013. Hydrodynamic inline force prediction on vertical cylinders: A comparative study of neural network and its adaptive wavelets (wavenets). *Journal of Marine Science and Technology*, 18(3): 418-434.
- Heidman, J.C.; Weaver, T.O., 1992. Static wave loading procedure for platform design. *Proceedings of the Conference on Civil Engineering in the Oceans*, 496-519.
- Kriebel, D.; Berek, E.; Chakrabarti, S.; Waters, J., 1999. Wave-Current Loading on shallow-water Caisson: An evaluation of API recommended practice. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 125(1): 29-38.
- Mackwood, P.R., 1993. Wave and current flows around circular cylinders at large scale. LIP project 10D, 27P.
- Mazaheri, S.; Ghaderi Z., 2011. Shallow water wave

