دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران
گرایش سازه های دریائی

عنوان پایان‌نامه:

تحلیل دینامیکی سکوی پایه کششی تحت تاثیر بار ضربه ای

استاد راهنما :

دکتر کیوان صادقی

استاد مشاور:

دکتر بابک شکرالهی زاده

نگارش:

سبحان سجودی

اسفند ۱۳۹۰

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران
گرایش سازه های دریائی

عنوان پایان‌نامه:

تحلیل دینامیکی سکوی پایه کششی تحت تاثیر بار ضربه ای

استاد راهنما :

دکتر کیوان صادقی

استاد مشاور:

دکتر بابک شکرالهی زاده

نگارش:

سبحان سجودی

اسفند ۱۳۹۰

تأییدیهٔ هیأت داوران جلسهٔ دفاع از پایان‌نامه

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: سبحان سجودی

را با عنوان: تحلیل دینامیکی سکوی پایه کششی تحت تاثیر بار ضربه ای

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱ – استاد راهنما			
۲ – استاد مشاور			
۳ – استاد مشاور			
٤ – استاد ممتحن خارجی			
٥ – استاد ممتحن داخلی			
٦ – نماینده تحصیلات تکمیلی			

کلیه حقوق اعم از چاپ، تکثیر، ترجمه، نسخه برداری، اقتباس و ... از این پایان نامه برای نویسندگان و دانشگاه هرمزگان محفوظ است.
نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

چکیده

سکوهای پایه کششی از جمله سکوهای دریایی اقتصادی برای استفاده در آب های عمیق به شمار می روند. پیش بینی درست پاسخ دینامیکی سکو به بارهای محیطی در طراحی اقتصادی و ایمن آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق رفتار دینامیکی سکوی پایه کششی، تحت اثر همزمان نیروهای هیدرودینامیکی و بار ضربه ای بررسی شده است. بارهای ضربه ای به صورت مستطیلی، نیم سینوسی، مثلثی و نیم مثلثی و در زوایای مختلف نسبت به جهت موج (جهت surge) در نظر گرفته شده اند. مقدار حداکثر و همچنین زمان اعمال این بارها برابر بوده و محل اعمالشان بر ستون کناری و در اعماق مختلف نسبت به سطح آزاد می باشد. نیروهای هیدرودینامیکی با استفاده از معادله موریسن اصلاح شده بدست آمده اند و برای محاسبه سینماتیک ذرات آب از تئوری غیرخطی استوکس مرتبه پنجم استفاده شده است. علاوه بر این در این تحقیق تاثیر عوامل متعددی نظیر وابستگی درجات آزادی، جابجایی های بزرگ سکو، نوسان سطح آزاد آب و حضور عبارت مرتبه دوم سرعت در نیروی درگ، که باعث غیرخطی شدن مسئله می شوند، در نظر گرفته شده اند. برای حل معادلات غیر خطی حرکت سکو در حوزه زمان از روش عددی رونگه-کوتا مرتبه چهارم استفاده شده است. نمودار پاسخ سکو در درجات آزادی مختلف بر حسب زمان رسم شده است. بر طبق این نتایج، بار ضربه ای مستطیلی در بین بارها بیشترین تاثیر را در افزایش پاسخ سازه دارد. با افزایش زاویه بارگذاری ضربه ای، پاسخ در درجات آزادی sway و roll افزایش و در سایر درجات آزادی کاهش می یابد و همچنین اگر بار ضربه ای در عمق بیشتری نسبت به سطح آزاد به ستون ها وارد شود پاسخ سکو در درجات آزادی roll و pitch افزایش زیادی می یابد و این در حالی است که در سایر درجات آزادی تغییری در مقدار پاسخ سکو مشاهده نمی شود.

واژه‌های کلیدی

سکوی پایه کششی، بار ضربه ای، پاسخ دینامیکی

تقدیم به

به خانواده‌ام، به پاس قلب‌های بزرگشان و محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

تشکر و قدردانی

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

حال که توفیق جمع آوری و تهیه این پایان‌نامه را یافته‌ام بر خود واجب می دانم از تمامی عزیزانی که در طی انجام این پژوهش از راهنمایی و یاری شان بهره‌مند گشته‌ام تشکر و قدردانی کنم و برای ایشان از پروردگار مهربان آرزوی سعادت و پیروزی نمایم.

در ابتدا صمیمانه‌ترین تقدیرها تقدیم به خانواده عزیز و مهربانم که همواره حامی و مشوقم بوده‌اند و پیمودن روزهای سخت و آسان زندگی‌ام بدون الطافشان غیرممکن بود.

از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر کیوان صادقی که با سعه صدر و صبوری مرا راهنمایی نموده و با ارائه نظرات سازنده و رهنمودهای بی‌دریغشان در پیشبرد این پایان نامه سعی تمام مبذول داشتند، کمال تشکر را دارم.

از استاد مشاور ارجمند جناب آقای دکتر بابک شکرالهی زاده که در طول این تحقیق با رهنمودها و حمایت‌های علمی خود مرا مورد لطف خویش قرار دادند، صمیمانه سپاسگزارم.

از همه ی دوستان عزیزم که در طول این مدت افتخار آشنایی و مصاحبت با آنها را داشتم، به پاس محبت‌های بی‌دریغشان سپاسگزارم.

فهرست مطالب

فهرست جدول‌ها.....نه
فهرست شکل‌ها.....ده
۱ فصل اول: مقدمه.....۱
۱-۱ دلایل بررسی و هدف کلی پایان‌نامه.....۱
۱-۲ مروری بر تاریخچه فعالیت‌های انجام شده.....۳
۲ فصل دوم: مختصری بر سکوهای پایه کششی.....۸
۲-۱ مقدمه.....۸
۲-۲ سکوهای پایه کششی:.....۹
۲-۲-۱ بدنه سکو:.....۱۲
۲-۲-۲ تجهیزات روی عرشه :.....۱۲
۲-۲-۳ پایه های کششی:.....۱۲
۲-۲-۴ رایزرها:.....۱۲
۲-۲-۵ فونداسیون سکو:.....۱۳
۲-۲-۶ مزایای سکوی پایه کششی:.....۱۳
۲-۲-۷ سکوهای TLP نصب شده در سراسر دنیا:.....۱۴
۳ فصل سوم: نیروهای اعمالی به سکو.....۱۶
۳-۱ مقدمه.....۱۶
۳-۲ نیروهای ناشی از امواج.....۱۶
۳-۲-۱ معادلهٔ موریسون برای اعضای قائم.....۱۷
۳-۲-۲ معادله موریسن با حضور نیروی ناشی از جریان.....۲۰
۳-۲-۳ ضرایب هیدرودینامیکی.....۲۰
۳-۲-۴ سینماتیک ذرات موج.....۲۱
۳-۳ بارهای ضربه ای.....۲۱
۳-۳-۱ بار ضربه ای مستطیلی.....۲۲
۳-۳-۲ بار ضربه ای نیم سینوسی.....۲۲
۳-۳-۳ بار ضربه ای مثلثی.....۲۳
۳-۳-۴ بار ضربه ای نیم مثلثی.....۲۴
۴ فصل چهارم: تحلیل دینامیکی سکو.....۲۵
۴-۱ مقدمه.....۲۵
۴-۲ هندسه ی سکو.....۲۶

۴-۳ ماتریس جرم ۲۷
۴-۳-۱ ماتریس جرم فیزیکی ۲۷
۴-۳-۲ ماتریس جرم اضافی سکو: ۲۸
۴-۴ ماتریس سختی سکو ۳۵
۴-۵ ماتریس میرائی ۴۵
۴-۶ بردار نیرو ۴۶
۴-۶-۱ محاسبه نیروهای ناشی از موج با استفاده از تئوری خطی ۴۷
۴-۶-۲ اثرات غیر خطی نوسان سطح آزاد: ۵۴
۴-۶-۳ محاسبه نیروهای ناشی از موج با استفاده از تئوری غیرخطی استوکس مرتبه پنجم ۵۴
۴-۷ روش حل معادلات حرکت ۵۵
۵ فصل پنجم: نتایج ۵۶
۵-۱ مشخصات اموج: ۵۶
۵-۲ پاسخ سازه در درجات آزادی مختلف در مقابل نیروی امواج (بدون اعمال ضربه) ۵۷
۵-۳ تاثیر نوع ضربه بر پاسخ دینامیکی سکو ۵۹
۵-۴ تاثیر جهت اعمال بار ضربه بر پاسخ دینامیکی سکو ۶۶
۵-۵ تاثیر محل اعمال بار ضربه بر پاسخ دینامیکی سکو ۷۰
۵-۶ نتیجه گیری کلی ۷۳
۵-۷ پیشنهادات جهت ادامه ی کار: ۷۴
مراجع ۷۵
پیوست ۱ ..... ۷۸
پیوست ۲ ..... ۸۱
پیوست ۳ ..... ۸۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۵-۱ : مشخصات سکوی مورد مطالعه [14] ۵۶
جدول ۵-۲ : حداکثر مقدار پاسخ سکو در درجات آزادی مختلف ۶۵
جدول ۵-۳ : حداکثر مقدار پاسخ سکو در درجات آزادی در اثر اعمال بار ضربه ای مستطیلی در زوایای مختلف ۶۹
جدول ۵-۴ : حداکثر مقدار پاسخ سکو در درجات آزادی در اثر اعمال بار ضربه ای مستطیلی در قسمت انتهای عمق مغروق ستون ۷۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ : نمای TLP و اجزای آن ۹
شکل ۲-۲ : سکوی ETLP ۱۰
شکل ۲-۳ : سکوی سی استار و سکوی موسز [۲۱] ۱۱
شکل ۲-۴ : تجهیزات روی عرشه سکو ۱۳
شکل ۲-۵ : سکوهای پایه کششی ساخته شده در سراسر دنیا تا سال ۲۰۱۰ میلادی ۱۵
شکل ۳-۱ : بار ضربه ای مستطیلی ۲۲
شکل ۳-۲ : بار ضربه ای نیم سینوسی ۲۳
شکل ۳-۳ : بار ضربه ای مثلثی ۲۳
شکل ۳-۴ : بار ضربه ای نیم مثلثی ۲۴
شکل ۴-۱ : درجات آزادی سکو ۲۵
شکل ۴-۲ : مدل هندسی سکوی مورد نظر [۴] ۲۶
شکل ۴-۳ : نما و پلان سکو ۲۶
شکل ۴-۴ : نحوه آرایش پانتون های تحتانی ۲۸
شکل ۴-۵ : نحوه ی آرایش ستون ها ۳۲
شکل ۴-۶ : جابجائی اختیاری در درجه آزادی surge ۳۶
شکل ۴-۷ : جابجائی اختیاری در درجه آزادی sway ۳۸
شکل ۴-۸ : جابجائی اختیاری در درجه آزادی roll ۴۰
شکل ۴-۹ : جابجائی اختیاری در درجه آزادی $pitch$ ۴۲
شکل ۴-۱۰ : جابجائی اختیاری در درجه آزادی yaw ۴۳
شکل ۴-۱۱ : شماره گذاری ستون ها و پانتون ها ۴۹
شکل ۵-۱: پاسخ سکو در درجات آزادی مختلف در مقابل بار امواج در مدت زمان ۷۰۰ ثانیه (الف تا ج)، تنش دینامیکی (د) ۵۷
شکل ۵-۲: پاسخ سکو در درجات آزادی مختلف در مقابل بار امواج در مدت زمان ۱۰ ثانیه (الف تا ج)، تنش دینامیکی (د) ۵۸
شکل ۵-۳: پاسخ سکو در درجات آزادی مختلف در اثر اعمال بار ضربه ای مستطیلی (الف تا ز)، تنش دینامیکی (د) ۶۱
شکل ۵-۴: پاسخ سکو در درجات آزادی مختلف در اثر اعمال بار ضربه ای نیم سینوسی (الف تا ز)، تنش دینامیکی (د) ۶۳
شکل ۵-۵: پاسخ سکو در درجات آزادی مختلف در اثر اعمال بار ضربه ای نیم مثلثی (الف تا و)، تنش دینامیکی (ز) ۶۵
شکل ۵-۶: پاسخ سکو در اثر اعمال بار ضربه ای مستطیلی در زاویه ۳۵ درجه (الف تا و)، تنش دینامیکی (ز) ۶۸
شکل ۵-۷: پاسخ سکو در اثر اعمال بار ضربه ای مستطیلی در قسمت انتهای ستون (الف تا و)، تنش دینامیکی (ز) . ۷۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ دلایل بررسی و هدف کلی پایان‌نامه

با توجه به وجود منابع بسیار عظیم انرژی در بستر دریاها و اقیانوس ها اهمیت کشف و بهره برداری از این منابع مشهود می باشد. با کاهش ذخایر انرژی در اعماق کم، اکتشاف و تولید نفت در آب های عمیق چالش بزرگی در صنعت فراساحل می باشد. میادین نفتی و گازی جدیدی در مناطق با عمق بسیار زیاد کشف شده است. بسیاری از این میادین کوچک بوده و توسعه اقتصادی آن ها با توجه به تکنولوژی حاضر با تردید همراه است. تلاش برای تولید و برداشت نفت و گاز از چنین میادینی به دهه ی هفتاد میلادی بر می گردد. استفاده از سازه های ثابت برای چنین مناطقی به شدت غیر اقتصادی می باشد. دلیل این امر این است که افزایش عمق آب و به دنبال آن شرایط نامساعدتر آب و هوائی، ابعاد فیزیکی سازه های ثابت را برای فراهم کردن سختی و مقاومت مورد نیاز به شدت بالا می برد. در چنین شرایطی راه حل مهندسی، استفاده از سکو های شناور و دسته دیگری از سکوهای معروف به سکوهای تطبیقی[1] است. سکوهای تطبیقی را می توان به صورت تلفیقی از سکوهای ثابت و شناور فرض کرد. این نوع سکوها توسط مهارهای عمودی به بستر دریا متصل می شوند. در نتیجه رفتار این سکوها در برابر نیروهای عمودی شبیه به سکوهای ثابت بوده ولی در برابر نیروهای جانبی مانند سکوهای شناور می توانند از دامنه نوسان زیادی برخوردار باشند [۱,۲].

سکوی پایه کششی[2] که به طور خلاصه به آن TLP گفته می شود یکی از انواع سکوهای تطبیقی می باشد که در چند دهه ی گذشته در بسیاری از میادین آب عمیق دنیا به عنوان سکوی حفاری و استخراج نفت وگاز به کار گرفته شده است. این سکو به صورت قائم مهار می شود و سیستم مهاری آن شامل چندین لوله ی فولادی قائم می باشد. این لوله ها در هر گوشه از ستون های TLP واقع شده اند و به صورت عمودی تا کف دریا امتداد یافته اند. در اصطلاح فنی به این لوله ها تندون[3] گفته می شود. این سکو طوری نصب می شود که نیروی شناوری آن از وزنش بیشتر شود و در نتیجه

[1] Compliant platform
[2] Tension Leg Platform
[3] Tendon

مهارها همیشه در کشش باقی بمانند. این سکو برای استفاده در آب عمیق بسیار مناسب است و دلیل این امر هزینه بالای استفاده از سکو های ثابت در این شرایط می باشد. لازم به ذکر است که جابجائی بدنه ی سکو و سختی محوری تندون ها به گونه ای انتخاب می شود که پریود طبیعی حرکت انتقالی و حرکـت زاویه ای قائم سکو کوچک و یا به عبارتی پایین تر از پریـود غالب موج قرار گیرد [۱]. شاید مهمترین مزیـت سکوی TLP مقید شدن حرکت قائم سکو می باشد که این امر در دوام و همچنین نگهداری و مراقبت رایزرها، چاهای نفت و مهارها بسیار موثر است [۳].

سکوی پایه کششی باید به طور ایمنی نیروی ناشی از عوامل محیطی نظیر موج، باد، جریان را تحمل کند. علاوه بر نیروهای ذکر شده، نیروی ناشی از ضربه نیز باید در تحلیل دینامیکی این نوع سکو مد نظر قرار گیرد.

نیروهای ناشی از ضربه کشتی ها به سکو و یا برخورد اجسام بزرگ دریائی نظیر کوه یخ، مثال هایی از بار ضربه ای می باشند که اگرچه احتمال اعمالشان نسبت به سایر بارها کمتر است ولی این نیروها نیز به نوبه ی خود می توانند تأثیر بسزائی در پاسخ سکو ایجاد کرده و پایداری آن را تحت الشعاع قرار دهند [۴].

هدف اصلی تحقیق حاضر، بررسی رفتار دینامیکی سکوی پایه کششی مربعی در مقابل بارهای ضربه ای و در حضور بار امواج منظم و جریان می باشد. برای انجام این کار ابتدا معادلات حرکت حاکم بر رفتار دینامیکی سکو بدست می آید. این بخش شامل محاسبه ی ماتریس های جرم و جرم اضافی، میرائی، سختی و بردار نیروهای خارجی وارد بر جسم می شود. نهایتاً با حل معادلات حرکت، پاسخ سکو در درجات آزادی مختلف بدست می آیند و از روی این پاسخ ها، تنش دینامیکی موجود در پایه های کششی سکو نیز بررسی می شوند.

در این پایان نامه در فصل اول به معرفی کار انجام شده و هدف از انجام پروژه پرداخته شده است و پیشینه ای از تحقیقات انجام شده در زمینه TLP بیان گردیده است. در فصل دوم مختصری درباره انواع سکوهای نفتی و تفاوت آنها با یکدیگر توضیح داده می شود. در فصل سوم مختصری در باره ی بارهای محیطی وارد بر سازه و همچنین انواع بارهای ضربه ای توضیح داده می شود. در فصل چهارم معادلات حرکت سکوی پایه کششی بدست آمده و نحوه ی حل این معادلات تشریح می شود. در فصل پنجم تاثیر خصوصیات مختلف بار ضربه ای از جمله نوع، جهت، مقدار و محل اعمال ضربه در پاسخ سکو بررسی شده است . این کار با مطالعه ی عددی برای یک سکوی پایه کششی با خصوصیات مشخص، انجام شده است. نتایج حاصله تحلیل شده و با نتایج موجود در دبیره فنی مقایسه می شوند. در انتهای این فصل نیز پیشنهاداتی جهت ادامه ی کار ارائه می شود.

۱-۲ مروری بر تاریخچه فعالیت‌های انجام شده

سکوهای پایه کششی را می‌توان نسل جدید از سکوهای تطبیقی دانست. پژوهش های اولیه در زمینه ی شناخت این نوع سکوها در دهه ی ۷۰ میلادی آغاز شد. نتایج این تحقیقات با ساخت و نصب اولین سکوی پایه کششی در دریای شمال دیده شد و پس از آن برای پیش بینی دقیق تر رفتار این سکوها تحقیقات فراوانی صورت گرفت. از جمله این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

پائولینگ و هورتن[1] [۵] در سال ۱۹۷۰ روشی را برای پیش بینی تغییرمکان سکوی پایه کششی و نیروهای موجود در مهارهای سکو تحت اثر امواج منظم ، ارائه کردند. آنها در مطالعه خود فرض کردند که نیروی هیدرودینامیکی وارد بر سازه با مجموع نیروهای وارد بر اجزای سازه برابر است (اصل برهم نهی خطی) . در این تحقیق تمامی اعضای سکو به صورت استوانه ای در نظر گرفته و سطح مقطع آنها در مقابل طولشان و همچنین طول موج، کوچک فرض شده بود. از تاثیر متقابل اعضای متصل و اعضای مجاور نیز صرف نظر شد. عبارات مربوط به نیروی درگ خطی شده و همچنین اثر نوسانات سطح آب نادیده گرفته شده بود. نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از مدل های آزمایشگاهی تطابق خوبی داشت و پاسخ سکو و همچنین تنش موجود در تدرها به صورت خطی با دامنه موج تغییر می کرد.

آنجلایدز[2] و همکارانش [۶] در سال ۱۹۸۲ اثرات هندسه بدنه، ضرائب نیرو، عمق آب، تنش اولیه و سختی مهارها را بر پاسخ دینامیکیTLP بررسی کردند. قسمت شناور TLP به صورت یک جسم صلب با شش درجه آزادی و مهارها به صورت فنرهای محوری خطی مدل شدند. نیروهای موج با استفاده از معادله اصلاح شده موریسون در موقعیت جابجا شده سازه و با در نظر گرفتن اثر تغییر سطح آزاد دریا ارزیابی شده بودند.

لیونز[3] و همکارانش [۷] در سال ۱۹۸۳ مقایسه هایی بین نتایج حاصل از تحلیل‌های هیدرودینامیکی و دو مجموعه آزمایش بزرگ مقیاس برای پاسخ های TLP تحت تحریک موج انجام دادند. نتایج تحلیل و آزمایش برای حرکت surge دارای انطباق خوبی بوده ولی در مورد کشش مهارها در فرکانس‌های معینی از امواج با هم اختلاف داشتند. تئوری موج اری[4] مورد استفاده قرار گرفته و از تقابل بین اعضاء صرفنظر شده بود. میرایی غیر خطی با فرض اتلاف انرژی یکسان در تشدید، به صورت خطی تبدیل شده بود.

[1] Pauling & Horton
[2] Angelides
[3] Lyons
[4] Airy

تایگن[1] [۸] در سال ۱۹۸۳ پاسخ سکوی پایه کششی در درجات آزادی مختلف برای امواج با تاج بلند و امواج با تاج کوتاه را در غالب تست های آزمایشگاهی بررسی کرد. او اظهار داشت که پاسخ های سکو در درجات آزادی افقی و در بخش فرکانس پایین، برای امواج با تاج بلند در مقایسه با امواج با تاج کوتاه بزرگتر می باشند.

مورگان و ملایب[2] [۹] در سال ۱۹۸۳ پاسخ دینامیکی سکوی پایه کششی را با استفاده از آنالیز قطعی بررسی کردند. آنها در این تحقیق امواج را به صورت منظم در نظر گرفتند. اثرات غیرخطی در نظر گرفته شده در آنالیز آنها شامل غیرخطی بودن سختی سازه به جهت وابستگی درجات آزادی ، جابجایی های بزرگ سکو و غیر خطی بودن نیروی درگ به جهت حضور عباراتی با توان دوم سرعت، می شود. آنها نتیجه گرفتند که این وابستگی در سختی، به صورت چشم گیری در رفتار سازه تاثیر می گذارد و این وابستگی بین درجات آزادی heave ، surge یا sway بسیار مشهود است.

چاکرابارتی[3] [۱۰] در سال ۱۹۹۰ اظهار داشت که در محاسبه نیروی امواج بر اعضای مختلف یک سازه ی فراساحل، نیاز به یک تئوری جامع می باشد که در آن پارامترهای مختلف موج حضور داشته باشند. پارامترهای مهمی که در توصیف تئوری های موج لازم است، عبارتند از: عمق آب، ارتفاع موج، پریود موج. خطی بودن یا نبودن موج بر اساس ارتفاع یا شیب موج مشخص می شود. او اظهار داشت که اگر پاسخ یک سازه ی فراساحل بر اساس تئوری اری محاسبه شود، مقدار این پاسخ لزوماً خطی نخواهد بود. او در این تحقیق روابطی برای سرعت و شتاب موج بر اساس تئوری اری و در سطح آزاد موج ارائه داد و بر اساس کاربرد این روابط در تحلیل دینامیکی سازه نتیجه گرفت که غوطه وری متغیر نقش مهمی در پاسخ سازه ایفا می کند.

آرمنیس[4] و همکارانش [۱۱] در سال ۱۹۹۱ رفتار دینامیکی سکوی پایه کششی را در دامنه ی زمان بررسی کردند. اثرات غیر خطی منظور شده در مسئله شامل تغییر مکان های بزرگ سکو، وابستگی درجات آزادی به هم و اثر ست دان[5] بود. در این تحقیق، سکو به صورت یک جسم صلب با شش درجه آزادی در نظر گرفته شد. در محاسبه نیروها اثرات تفرق موج[6] نیز مد نظر قرار گرفت. آن ها تحلیل اجزا محدود را به روی یک سکوی مربعی انجام داده و نتایج حاصل را با نتایج تجربی مقایسه کردند. که البته بین این نتایج تطابق خوبی مشاهده شد.

[1] Teigen
[2] Morgan & Malaeb
[3] Chakrabarti
[4] Armenis
[5] set-down
[6] wave diffraction

مخا[1] و همکارانش [۱۲] در سال ۱۹۹۴ تاثیر نیروی موج بر یک سکوی پایه کششی را در حدفاصل سطح متوسط آب تا سطح آزاد موج ، بررسی کردند. چندین روش تقریبی برای نیروی امواج منظم و نا منظم، با در نظر گرفتن جریان و بدون در نظر گرفتن جریان بررسی و با نتایج حاصل از بکارگیری تئوری مرتبه دوم استوکس مقایسه شد. مهارهای تحت کشش به صورت فنرهای بدون جرم که تنها در محل اتصالشان به سکو سختی محوری و سختی جانبی دارند، در نظر گرفته شدند. آنها برای محاسبه سرعت و شتاب ذرات موج در حد فاصل سطح متوسط آب[2] تا سطح آزاد موج، از برونیابی هذلولوی، برونیابی خطی، روش های استرچینگ[3] و روش برونیابی یکنواخت استفاده کردند. آنها اظهار داشتند که برای امواج منظم دامنه حرکت surge به روش انتخابی بستگی ندارد، در حالی که دامنه حرکت heave به روش انتخابی وابسته می باشد. البته مقادیرآن با مقادیر محاسبه شده از روشی که نیروها فقط تا سطح متوسط آب محاسبه می شوند، تفاوت زیادی ندارد.

لاتسبرگ[4] [۱۳] در سال ۱۹۹۱ طراحی احتمالاتی تدرهای سکوی پایه کششی را مورد بررسی قرار داد. او در این مطالعه جنبه های مختلف دینامیکی را در نظر گرفته و قابلیت اعتماد سکو را تحت بارهای مرسوم محیطی نظیر موج، جریان و باد ارزیابی کرد. او اظهار داشت که زاویه بارگذاری در پایداری دینامیکی سکو نقش مهمی دارد.

جین و چاندراسکاران[5] [۱۴] در سال ۲۰۰۲ رفتار دینامیکی سکوهای پایه کششی مربعی و مثلثی را تحت بار امواج منظم و بر اساس تئوری اری بررسی کردند. در این تحقیق وابستگی بین تمام درجات آزادی در نظر گرفته شد. آنها یک مدل سکوی پایه کششی مثلثی را پیشنهاد دادند و پاسخ آن را با یک سکوی پایه کششی مربعی معادل مقایسه کردند. این مقایسه در دو حالت صورت گرفت. در حالت اول کشش اولیه ی کل در تدرها و وزن سکوها یکسان در نظر گرفته شد. در این وضعیت کشش اولیه در هریک از پایه های سکوی مثلثی بیشتر از سکوی مربعی می باشد. در حالت دوم کشش اولیه در هر یک از تدرهای سکوها و نیروی شناوری کل برای دو سکو یکسان در نظر گرفته شد. در این وضعیت وزن سکوی مثلثی بیشتر از سکوی مربعی می باشد. آنها اظهار داشتند که که سکوی مثلثی در درجات آزادی surge و heave جابجایی کمتری نسبت به سکوی پایه کششی مربعی از خود نشان می دهد و در حرکت pitch پاسخ سکوی مثلثی بیشتر است.

چاندراسکاران [۱۵] در سال ۲۰۰۴ تاثیر ضرایب هیدرودینامیکی (ضریب درگ، ضریب اینرسی) را در پاسخ سکوی پایه کششی تحت تاثیر امواج منظم بررسی کرد. او کاربرد معادله موریسن را برای حالتی که ضرایب درگ و اینرسی نسبت به عمق آب ثابت فرض شده بودند، بررسی کرد و نتیجه گرفت که

[1] Mekha
[2] MWL
[3] Stretching
[4] Lotsburge
[5] Chandrasekaran & Jain

پاسخ سازه در این حالت تا حد زیادی با رفتار واقعی سازه که درآن ضرایب تابعی از عمق آب می باشند ، تفاوت داشته و بالاتر است. این تفاوت در درجات آزادی افقی بسیار مشهود است.

کان[1] و همکارانش [۴] در سال ۲۰۰۴ قابلیت اعتماد پذیری به تدرهای سکوی پایه کششی را تحت بار ضربه ای بررسی کردند. این کار از طریق آنالیز دینامیکی غیرخطی تدرها در دامنه زمان انجام شد. بارهای ضربه ای به صورت سینوسی، نیم مثلثی و مثلثی در نظر گرفته شدند و قابلیت اعتمادپذیری مهارهای سکو با استفاده از تئوری فون میسز[2] انجام شد. آنها اظهار داشتند که اگر بار ضربه ای به ستون های سکو اعمال شود، شرایط بحرانی بوجود می آید و در صورت اعمال بار ضربه ای به پانتون[3] ها تغییر آنچنانی در پاسخ سکو بوجود نخواهد آمد.

باتاچاریا[4] [۱۶] در سال ۱۹۹۵ رابطه پراکندگی را برای موج مرتبه ۵ استوکس، ارائه داد. این رابطه هم اکنون در آئین نامه های طراحی سازه های فراساحل به طور گسترده استفاده می شود. در این روش پروفیل سطح آب دریا، به صورت موجی با سه تاج نشان داده می شود.

تئوفانیس و کریستوفر[5] [۱۷] در سال ۱۹۹۸ تئوری غیرخطی استوکس را برای امواج مانا توسعه دادند. مبنای کار آنها حل شرایط مرزی دینامیکی و سینماتیکی برای سطح آزاد آب می باشد. آنها الگوریتمی عددی را با استفاده از روش تکرار، ارائه دادند که به طور نسبی خطای کمتری در شرایط مرزی سطح آزاد ایجاد می کند. روش پیشنهادی به تئوری مرتبه ۵ استوکس در آب عمیق و متوسط بسیار نزدیک بود.

لازم به ذکر است که مقاله نقد و مرور نوشته شده توسط آدرزین[6] و همکارانش [۱۸] فهرستی از طیف وسیعی از مطالعات مربوط به جنبه های مختلف دینامیک سکوهای TLP را در بر دارد.

همان طور که مشاهده می شود تحقیقات فراوانی در زمینه ی تحلیل دینامیکی سکوی پایه کششی توسط محققین انجام شده است. در اکثر این مقالات تحلیل دینامیکی سکو در اثر بارهای محیطی از جمله بار امواج و جریان و بر اساس تئوری خطی موج، مد نظر بوده است و مطالعات کمی در مورد پاسخ دینامیکی سکوی TLP مربعی تحت بار ضربه ای و استفاده از تئوری های غیرخطی موج برای محاسبه بار امواج در دبیره ی فنی وجود دارد. در این بین تنها یکی دو مورد این مسئله برای سکوی TLP مثلثی بررسی شده است. در این پایان نامه سعی بر آن بوده است تا با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی موجود در مسئله از جمله وابستگی درجات آزادی، فرض جابجایی های بزرگ برای سازه و

[1] Khan
[2] Von-Mises
[3] Pantoon
[4] Bhattacharya
[5] Theofanis & Christopher
[6] Adrezin

نوسان سطح آزاد آب و همچنین استفاده از تئوری موج غیرخطی استوکس مرتبه پنجم، تحلیلی منطقی از تغییر مکان سکو TLP مربعی در درجات آزادی مختلف، تحت اثر بار امواج، جریان و بار ضربه ای صورت گیرد.

فصل دوم: مختصری بر سکوهای پایه کششی

۲-۱ مقدمه

سکوهای دریایی به سه دسته سکوهای ثابت و سکوهای شناور و سکوهای تطبیقی تقسیم‌بندی می شوند که هرکدام بر حسب شرایط آب وهوایی و عمق آب دارای انواع گوناگونی می‌باشند.

سکوهای ثابت، همان طور که از نامشان پیداست، در تمام درجات آزادی تقریباً مقید بوده و دارای حرکات بسیار محدودی می باشند. این سکوها تا کف دریا کشیده شده و از طریق وزن خود یا شمع های کوبیده شده در خاک، ثابت می شوند. این نوع سکوها برای مناطقی با عمق آب کم تا متوسط مناسب می باشند. از انواع متداول سکوهای دریایی ثابت، سکوهای شابلونی، سکوهای وزنی و سکوهای خود بالابر[1] را می‌توان نام برد.

در مناطقی که عمق آب زیاد باشد به دلایل اجرایی و اقتصادی کاربرد سکوهای ثابت مقرون به صرفه نیست و انواع دیگری از سکوها مطرح می‌شوند. یک دسته از این سکوها، سکوهای شناور می باشند. سکو های شناور نسبت به نیروهای خارجی پاسخ بیشتری در درجات آزادی مختلف از خود نشان می دهند. این نوع از سکوها دارای بدنه ای شناور بوده و حرکاتشان بوسیله سیستم مهاری که به کف دریا متصل می شود، کنترل می شوند. از انواع متداول سکوهای شناور و متحرک می‌توان نیمه مغروق‌ها[2]، کشتی‌های تولید، ذخیره و تخلیه بار[3] را نام برد.

در مناطق با عمق آب زیاد، دسته دیگری از سکوها که به سکوهای تطبیقی مشهورند مطرح می‌باشند. رفتار این سکوها در برابر نیروهای عمودی شبیه سکوهای ثابت بوده ولی در برابر نیروهای جانبی دارای رفتاری شبیه سکوهای شناور می باشند. لازم به ذکر است که درآب عمیق یکی از محدودیت-های کاربرد سکوهای ثابت مشکل بودن عملیات شمع‌کوبی یا اجرای پی‌های وزنی و قطور شدن المان‌های سازه‌ای مورد استفاده در این شرایط است که با کاربرد پی‌های انعطاف‌پذیر یا مفصلی در سکوهای تطبیقی این مشکل برطرف می‌شود و این مورد یک مزیت بزرگ این سکوها نسبت به انواع

[1] Jack-up
[2] Semi Submersible
[3] Floating Production, Storage & Offloading Ships