



دانشگاه گجرات
دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته و گرایش

مهندسی عمران - سازه‌های دریایی

عنوان :

بررسی تاثیر اندرکنش شمع-خاک - سازه بر رفتار دینامیکی

سکوهای ثابت فلزی دریایی

استاد راهنما:

دکتر بهروز عسگریان

استاد مشاور:

دکتر حسن قاسم زاده

نگارش:

سید داود شاه چراغی

زمستان ۱۳۹۰

سلام الغفران

چکیده

چگونگی عملکرد سازه‌های دریایی تحت بارهای جانبی دینامیکی ناشی از بار باد، موج دریا و نیروهای زلزله و تخمین اثرات اندرکنش خاک-شمع-سازه بر عملکرد آن‌ها یکی از موارد پیچیده در مسائل مدل‌سازی سکوها می‌باشد. با توجه به شرایط محیطی که بر این سازه‌ها تحمیل می‌گردد، بررسی خواص دینامیکی سکوها و شناسایی پارامترهای دینامیکی آنها در طراحی اعضای سازه‌ها نقش بسزائی دارند.

در این پایان‌نامه سعی شده است با مقایسه تجربی و عددی پاسخ دینامیکی یک مدل مقیاس شده در دو حالت تکیه‌گاهی پایه مفصلی و فونداسیون شمعی، اثر اندرکنش خاک-شمع-سازه را مورد بررسی قرار دهد.

جهت نیل به این مقصود، از یک نمونه سکوی نفتی در خلیج فارس (SPQ1)، یک مدل فیزیکی با مقیاس ۱:۱۵ ساخته شده است. این سکو در حالت اول روی تکیه‌گاه صلب در آزمایشگاه سازه نصب گردید و آزمایشات در شرایط تکیه‌گاهی مفصلی انجام گردیده است. در حالت دوم این سکو روی هشت شمع مدفون در یک لایه ماسه‌ای نصب گردید.

در این تحقیق برای تحریک مدل آزمایشگاهی از روش ارتعاش اجباری استفاده شده است. به همین منظور از یک مرتعش کننده با دو جرم خارج از مرکز که بر تراز عرشه متصل شده استفاده گردید. این دستگاه یک نیروی هارمونیک با محدوده فرکانسی وسیع اعمال می‌کند.

با پردازش داده‌های حاصل از آزمایشات خصوصیات دینامیکی سکو شامل فرکانس طبیعی، شکل مودها و میرایی متناظر هر مود برای دو حالت تکیه‌گاهی مذکور مقایسه گردیده است. همچنین برای بررسی اثر تغییر در سختی سازه به واسطه افزودن یا برداشتن مهاربند، آزمایشات در ۴ حالت مختلف پیکربندی اعضای سازه‌ای انجام گرفته است.

همچنین با استفاده از قابلیت نرم‌افزارهای SACS و ABAQUS، مدل‌سازی عددی سکو در هر دو حالت تکیه‌گاهی انجام پذیرفته است. برای مدل سه بعدی در نرم افزار ABAQUS از المان solid برای خاک و المان beam برای اعضای سکو و شمع استفاده گردیده است. برای در نظر گرفتن اثر غیرخطی اندرکنش خاک-شمع-

سازه از معیار گسیختگی مور-کولمب و المان interface خاک-شمع استفاده شده است. برای مدلسازی این اثر در نرم افزار SACS فنرهای غیرخطی $P-y$ ، $T-z$ ، $Q-z$ طبق روابط API مدل شده است.

بر اساس نتایج، مشاهده گردید که خصوصیات دینامیکی سکو تحت اثر اندرکنش خاک-شمع-سازه به طور قابل توجهی دستخوش تغییر می‌شود. ضمناً هر دو مدل عددی پیچیده و ساده‌سازی شده (به ترتیب ABAQUS و SACS) می‌تواند این اثر را برای سکوهایی که در معرض بارگذاری دینامیکی با تغییر شکل‌های اندک هستند را با دقت پیش بینی کند. نتایج آنالیز تجربی نشان می‌دهد که اثر اندرکنش سبب کاهش فرکانس طبیعی سازه و افزایش میرایی متناظر هر مود می‌گردد و بر روی خصوصیات دینامیکی سکو در مودهای بالاتر تأثیرات چشمگیری را نسبت به مود اول به همراه دارد. نتایج عددی به دست آمده از مدل‌های SACS و ABAQUS تطابق بیشتری را با مشاهدات آزمایشگاهی در مود اول در قیاس با مودهای بالاتر داراست.

کلید واژه: سکوهای ثابت فلزی دریایی، اندرکنش شمع-خاک-سازه، رفتار دینامیکی سازه، آزمایش ارتعاش

اجباری، نرم‌افزار سه بعدی SACS، نرم‌افزار سه بعدی ABAQUS

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	۱- مقدمه و کلیات.....
۲	۱-۱- معرفی سکوهاى دریایی.....
۲	۱-۱-۱- سکوهاى ثابت شابلونی.....
۶	۱-۱-۲- بررسی سکوهاى مناسب جهت استقرار در خلیج فارس.....
۷	۲-۱- تاریخچه بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی سکوهاى دریایی در مقابل بارهاى دینامیکی.....
۹	۳-۱- اجزای اندرکنش خاک-شمع-سازه.....
۹	۱-۳-۱- اندرکنش سینماتیک.....
۹	۲-۳-۱- اندرکنش اینرسی.....
۱۰	۳-۳-۱- اندرکنش هاى فیزیکی.....
۱۱	۴-۱- هدف و ضرورت انجام تحقیق.....
۱۳	۵-۱- ساختار پایان نامه.....
۱۵	۲- مروری بر ادبیات فنی اندرکنش شمع- خاک- سازه و نحوه مدل سازی آن در نرم افزار.....
۱۶	۱-۲- عوامل موثر بر پاسخ دینامیکی شمع ها.....
۱۸	۲-۲- مروری بر روش های آنالیز پاسخ دینامیکی شمع ها تحت اثر اندرکنش دینامیکی خاک-شمع.....
۱۹	۱-۲-۲- روش تیر بر روی بستر ارتجاعی.....
۲۰	۲-۲-۲- روش محیط پیوسته ارتجاعی.....
۲۱	۳-۲-۲- روش های اجزای محدود و اجزای مرزی.....
۲۳	۴-۲-۲- روش تیر بر پی غیرخطی وینکلر (BNWF).....
۲۳	۳-۲- مروری بر مدل های ارائه شده جهت آنالیز دینامیکی شمع.....
۳۱	۴-۲- برخی دیگر از مطالعات اندرکنش شمع-خاک.....
۳۳	۵-۲- مدل سازی در نرم افزار ABAQUS.....
۳۳	۱-۵-۲- روش اجزاء محدود.....
۳۳	۲-۵-۲- معرفی نرم افزار ABAQUS.....
۳۵	۳-۵-۲- مدلسازی خاک.....
۳۶	۱-۳-۵-۲- معیار گسیختگی مور-کولمب.....
۳۷	۲-۳-۵-۲- سطح تماس خاک و شمع.....
۳۷	۶-۲- مدلسازی در نرم افزار SACS.....

۳۷	۱-۶-۲ مدل کردن سختی خاک.....
۳۸	۱-۱-۶-۲ عکس العمل خاک برای شمع‌های با بار جانبی (منحنی های P-Y).....
۴۰	۲-۱-۶-۲ عکس العمل خاک برای شمع‌های با بار محوری (منحنی های Q-Z و t-Z).....
۴۱	- منحنیهای انتقال نیروی محوری (t-z).....
۴۲	- منحنیهای بار - جابجایی نوک شمع (Q-Z).....
۴۴	۲-۶-۲ آنالیز استاتیکی خطی با در نظر گرفتن اثر اندرکنش شمع-خاک.....
۴۸	۳-۶-۲ بررسی آنالیز مودال.....
۴۸	۱-۳-۶-۲ روش PILESTUB.....
۵۰	۲-۳-۶-۲ روش SUPERELEMET.....
۵۲	۳- روشهای آزمایش دینامیکی سازه و شناسایی پارامترهای آن.....
۵۳	۱-۳- مشخصات دینامیکی سازه.....
۵۳	۱-۱-۳ ارتعاش آزاد.....
۵۴	۲-۱-۳ پاسخ سازه به تحریک هارمونیک و تناوبی.....
۵۷	۲-۳- مروری بر روشهای مختلف آزمایش دینامیکی.....
۵۷	۱-۲-۳ آزمایش ارتعاش آزاد.....
۵۷	۱-۱-۲-۳ آزمایشهای عقب کشیدگی.....
۵۸	۲-۱-۲-۳ آزمایشهای سرعت اولیه.....
۵۹	۳-۱-۲-۳ معایب آزمایش ارتعاش آزاد.....
۵۹	۲-۲-۳ آزمایش ارتعاش اجباری.....
۶۰	۱-۲-۲-۳ تحریک سینوسی پایا.....
۶۲	۲-۲-۲-۳ تحریکات سینوسی با فرکانس متغیر.....
۶۲	۳-۲-۲-۳ تحریکات گذرا.....
۶۳	۴-۲-۲-۳ آزمایشهای دینامیکی به وسیله میز لرزان.....
۶۴	۵-۲-۲-۳ روش آزمایش ارتعاش محیطی.....
۶۵	۳-۳- کاربرد تئوری ارتعاشات تصادفی در شناسایی سیستم.....
۶۵	۱-۳-۳ مقدمه.....
۶۶	۲-۳-۳ ویژگی مانا بودن یک فرآیند تصادفی.....
۶۷	۳-۳-۳ تابع خود همبستگی رابطه تابع چگالی طیفی توان با آن.....
۶۷	۴-۳-۳ دقت فرکانسی طیفهای حاصله.....
۶۸	۵-۳-۳ انعکاس فرکانسی.....
۶۹	۶-۳-۳ نشت Leakage.....

۷۱	۷-۳-۳- فیلتر کردن داده ها
۷۱	۴-۳- روش چهار طیفی برای شناسایی سیستم
۷۳	۱-۴-۳- مبانی نظری روش
۷۴	۲-۴-۳- مانایی نگاشتها
۷۴	۳-۴-۳- محاسبه تابع چگالی طیفی توان PSD از تابع خود همبستگی
۷۵	۴-۴-۳- محاسبه تابع چگالی طیفی توان PSD با استفاده مستقیم از تبدیل فوریه
۷۵	۵-۴-۳- محاسبه طیف توان متقاطع CPS
۷۶	۶-۴-۳- محاسبه طیف ارتباط CS (Coherence Spectra)
۷۷	۴- معرفی مدل آزمایشگاهی و روش انجام آزمایشات
۷۸	۱-۴- معرفی مدل اصلی
۸۳	۲-۴- مقیاس کردن مدل واقعی و محدودیتها
۸۶	۳-۴- طراحی مدل آزمایشگاهی
۹۴	۴-۴- آنالیز و طراحی مدل شمع
۹۶	۵-۴- ساخت مدل آزمایشگاهی
۹۶	۱-۵-۴- برشکاری اعضاء
۹۹	۲-۵-۴- ساخت اعضا تک
۱۰۱	۳-۵-۴- مونتاژ اعضاء و ساخت دیوارها ۱ و ۲
۱۰۱	۴-۵-۴- اتصال دو دیواره ۱ و ۲ به هم
۱۰۵	۶-۴- نصب سکوی مقیاس شده
۱۰۵	۱-۶-۴- مراحل نصب سکو بر روی کف صلب آزمایشگاه
۱۰۸	۲-۶-۴- آماده سازی محل نصب سکو در خاک
۱۰۸	۱-۲-۶-۴- احداث گودال محل انجام مدل سازی فیزیکی
۱۰۸	۲-۲-۶-۴- مشخصات خاک شبیه سازی شده
۱۱۲	۳-۶-۴- مراحل شمع کوبی و نصب سکو در خاک
۱۱۲	۱-۳-۶-۴- تهیه شابلون فلزی:
۱۱۳	۲-۳-۶-۴- عملیات شمع کوبی:
۱۱۶	۳-۳-۶-۴- انتقال و نصب سکو:
۱۱۸	۴-۳-۶-۴- گروت ریزی
۱۱۹	۷-۴- شیوه اعمال نیرو
۱۲۲	۸-۴- انجام آزمایش بر روی کف صلب آزمایشگاه

۱۲۲.....	۴-۸-۱- مشخصات وسایل اندازه گیری.....
۱۲۳.....	۴-۸-۲- کالیبره کردن شتاب سنجها.....
۱۲۵.....	۴-۸-۳- نصب شتاب سنجها.....
۱۲۸.....	۴-۸-۴- مراحل انجام آزمایش.....
۱۲۸.....	۴-۸-۴-۱- آزمایش حالت اولیه.....
۱۳۳.....	۴-۸-۴-۲- آزمایش حالت دوم- اضافه شدن مهاربند.....
۱۳۴.....	۴-۸-۴-۳- آزمایش حالت سوم- برداشتن مهاربندها در تراز سوم.....
۱۳۶.....	۴-۸-۴-۴- آزمایش حالت چهارم باز کردن مهاربندها در تراز دوم.....
۱۳۷.....	۴-۹-۱- انجام آزمایش بر روی پی انعطاف پذیر.....
۱۳۷.....	۴-۹-۱- نصب شتاب سنجها.....
۱۳۹.....	۴-۹-۲- مراحل انجام آزمایش.....
۱۳۹.....	۴-۹-۲-۱- آزمایش حالت اولیه.....
۱۴۲.....	۴-۹-۲-۲- آزمایش حالت دوم- اضافه شدن مهاربند.....
۱۴۳.....	۴-۹-۲-۳- آزمایش حالت سوم- برداشتن مهاربندها در تراز سوم.....
۱۴۴.....	۴-۹-۲-۴- آزمایش حالت چهارم باز کردن مهاربندها در تراز دوم.....
۱۴۶.....	۵- نتایج آزمایشات و تحلیل مودال.....
۱۴۷.....	۵-۱- الگوریتم شناسایی مشخصات دینامیکی.....
۱۴۷.....	۵-۱-۱- محاسبه فرکانس های طبیعی.....
۱۴۹.....	۵-۱-۲- برآورد اشکال مدی.....
۱۴۹.....	۵-۱-۳- محاسبه میرایی مدی.....
۱۴۹.....	۵-۲- نتایج حالت اولیه مدل -سالم.....
۱۴۹.....	۵-۲-۱- آزمایش بر روی کف صلب.....
۱۴۹.....	۵-۲-۱-۱- نتایج آزمایشگاهی.....
۱۵۹.....	۵-۲-۲-۱- نتایج تحلیل مودال.....
۱۶۲.....	۵-۲-۲-۲- آزمایش بر روی پی انعطاف پذیر.....
۱۶۲.....	۵-۲-۲-۱- نتایج آزمایشگاهی.....
۱۶۸.....	۵-۲-۲-۲- بررسی تاثیر نیروی اعمالی به سازه در آزمایش ارتعاش اجباری.....
۱۷۱.....	۵-۲-۲-۳- نتایج تحلیل مودال.....
۱۷۳.....	۵-۳- نتایج حالت دوم مدل - اضافه شدن مهاربند.....
۱۷۳.....	۵-۳-۱- آزمایش بر روی کف صلب.....
۱۷۳.....	۵-۳-۱-۱- نتایج آزمایشگاهی.....

۱۷۵.....	۲-۳-۵- نتایج تحلیل مودال.....
۱۷۷.....	۳-۳-۵- آزمایش بر روی پی انعطاف پذیر.....
۱۷۷.....	۱-۳-۳-۵- نتایج آزمایشگاهی.....
۱۷۹.....	۴-۳-۵- نتایج تحلیل مودال.....
۱۸۱.....	۴-۵- نتایج حالت سوم مدل - برداشتن مهاربندها در تراز سوم.....
۱۸۱.....	۱-۴-۵- آزمایش بر روی کف صلب.....
۱۸۱.....	۱-۱-۴-۵- نتایج آزمایشگاهی.....
۱۸۴.....	۲-۱-۴-۵- نتایج تحلیل مودال.....
۱۸۶.....	۱-۴-۵- آزمایش بر روی پی انعطاف پذیر.....
۱۸۶.....	۱-۱-۴-۵- نتایج آزمایشگاهی.....
۱۸۸.....	۲-۱-۴-۵- نتایج تحلیل مودال.....
۱۸۹.....	۵-۵- نتایج حالت چهارم مدل - برداشتن مهاربند در تراز دوم.....
۱۸۹.....	۱-۵-۵- آزمایش بر روی کف صلب.....
۱۸۹.....	۱-۱-۵-۵- نتایج آزمایشگاهی.....
۱۹۳.....	۲-۱-۵-۵- نتایج تحلیل مودال.....
۱۹۵.....	۱-۵-۵- آزمایش بر روی پی انعطاف پذیر.....
۱۹۵.....	۱-۱-۵-۵- نتایج آزمایشگاهی.....
۱۹۷.....	۲-۱-۵-۵- نتایج تحلیل مودال.....
۱۹۹.....	۶- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات.....
۲۰۰.....	۱-۶- نتیجه‌گیری.....
۲۰۱.....	۲-۶- پیشنهادات برای تحقیقات آتی.....

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۴	شکل ۱-۱ شمای کلی یک نمونه سکوی چهارپایه و یک سکوی هشت پایه
۴	شکل ۲-۱ شمای کلی قرارگیری یک نمونه جاکت سه پایه روی بستر دریا
۵	شکل ۳-۱ شمای کلی جاکتهای از نوع دارای Skirt Sleeves
۵	شکل ۴-۱ شمای کلی نصب شمعهای سکوهایی شابلونی از نوع Pile Through Leg
۱۷	شکل ۱-۲ افزایش سختی و ظرفیت بر اثر سرعت بارگذاری [۱۰]
۱۷	شکل ۲-۲ افزایش لنگر بر اثر بار نوسانی [۱۰]
۱۸	شکل ۳-۲ افزایش تغییر مکان در آزمایش شمع تحت نیروی جانبی [۱۰]
۱۹	شکل ۴-۲ منحنی نیروی عکس العمل خاک در مقابل تغییر مکان جانبی شمع برای مودهای مختلف بارگذاری [۱]
۲۴	شکل ۵-۲ (a) مدل مورد استفاده توسط (b) Matlock عکس العمل خاک در دو سوی شمع [۹]
۲۵	شکل ۶-۲ (a) مدل شکاف در خاک شمع به صورت شماتیک (b) اثر شکاف در منحنی P_Y [۹]
۲۵	شکل ۷-۲ نحوه ترکیب ریزالمانهای دو خطی جهت ایجاد المان غیرخطی Matlock [۹]
۲۶	شکل ۸-۲ مدل تحلیلی مورد استفاده توسط Bea [۱۲]
۲۷	شکل ۹-۲ مدل میدان دور خاک-شمع نوگامی (a) تحریک در حالت قائم (b) تحریک در حالت افقی [۱۳]
۲۷	شکل ۱۰-۲ مدلهای میدان دور و میدان نزدیک خاک-شمع نوگامی (a) تحریک در حالت قائم (b) تحریک در حالت افقی [۱۳]
۲۹	شکل ۱۱-۲ مدل عددی مورد استفاده به وسیله El Nagar [۱۴]
۲۹	شکل ۱۲-۲ مدل سازی المان داخلی و خارجی (a) سختی خاک (b) میرایی خاک [۱۴]
۲۹	شکل ۱۳-۲ نمونه ای از منحنی P_Y محاسبه شده به وسیله El Nagar [۱۴]
۳۰	شکل ۱۴-۲ طیف پاسخ شتاب آزمایش شده و محاسبه شده [۱۵]
۳۱	شکل ۱۵-۲ رکورد زلزله در عمقهای مختلف الف) تحلیل شده ب) آزمایش شده [۱۵]
۳۶	شکل ۱۶-۲ مدل گسیختگی مور-کولمب [۱۸]
۳۸	شکل ۱۷-۲ منحنیهای بار-جابجایی (P-Y) در امتداد طول شمع [۲۰]
۳۹	شکل ۱۸-۲ ضرایب C1, C2, C3 بر حسب زاویه اصطکاک داخلی ϕ [۲۰]
۴۰	شکل ۱۹-۲ ضریب واکنش بستر بر حسب زاویه اصطکاک داخلی ϕ [۲۰]
۴۲	شکل ۲۰-۲ منحنی t-z برای خاک های دانه ای و چسبنده [۲۰]
۴۳	شکل ۲۱-۲ منحنی Q-Z برای خاکهای دانهای و چسبنده [۲۱]
۴۵	شکل ۲۲-۲ شمای کلی از یک شمع مجزا تحت اثر نیرو و لنگر در سر آن
۴۶	شکل ۲۳-۲ نمای کلی از نمودار غیر خطی نیرو - تغییر مکان
۴۷	شکل ۲۴-۲ یک طرح کلی از سکو با پایه های شمع
۴۹	شکل ۲۵-۲ شمای کلی شمع معادل خطی
۵۳	شکل ۱-۳ ارتعاش آزاد یک سیستم بدون میرایی در مود اول ارتعاش (۱) قاب برشی دو طبقه (۲) منحنی تغییر شکل در زمانهای a, b و c (۳) تاریخچه تغییر مکان [۲۳]

- شکل ۳-۲ ارتعاش آزاد یک سیستم بدون میرایی در مود دوم ارتعاش (۱) قاب برشی دو طبقه (۲) منحنی تغییرشکل در زمانهای a, b و c (۳) تاریخچه تغییر مکان [۲۳] ۵۴
- شکل ۳-۳ پاسخ سیستم میرا به نیروی هارمونیک با مقادیر $\dot{u}(0) = \omega_n p_o / k, u(0) = 0, \xi = 0.05, \omega / \omega_n = 0.2$ ۵۵
- شکل ۳-۴ پاسخ سیستم میرا به نیروی هارمونیک با مقادیر $\dot{u}(0) = 0, u(0) = 0, \xi = 0.05, \omega = \omega_n$ ۵۶
- شکل ۳-۵ ضریب پاسخ تغییرشکل برای سیستم میرا تحت نیروی هارمونیک [۲۳] ۵۷
- شکل ۳-۶ نمایش تنزل دامنه ارتعاشی در ارتعاش آزاد ۵۸
- شکل ۳-۷ دستگاه مرتعش کننده ساخته شده در دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ۶۰
- شکل ۳-۸ نمایش روش پهنای باند نیمتوان ۶۱
- شکل ۳-۹ نمونه مورد آزمایش بر روی میز لرزان [۲۵] ۶۴
- شکل ۳-۱۰ نمایش نمونه برداری از سیگنال آنالوگ (تبدل آنالوگ به دیجیتال) الف) فرکانس نمونه برداری دو برابر فرکانس سیگنال اصلی است ب) فرکانس نمونه برداری از دو برابر فرکانس سیگنال اصلی کوچکتر است ۶۹
- شکل ۳-۱۱ نمایش نحوه ظهور پدیده نشت، الف) موج سینوسی با فرکانس $2Hz$ با ۸ سیکل ارتعاش و طیف فوریه آن ب) موج سینوسی با فرکانس $2Hz$ با $7/5$ سیکل ارتعاش و طیف فوریه آن ج) موج سینوسی با فرکانس $2Hz$ بار با $7/5$ سیکل ارتعاش با اعمال دریچه هانینگ بر روی آن و طیف فوریه آن ۷۰
- شکل ۳-۱۲ تابع چگالی طیفی متغیر و ثابت نیرو، و عکس العمل سیستم یک درجه آزادی ۷۳
- شکل ۴-۱ پلان سکوی float over, SPQ1 ۷۹
- شکل ۴-۲ نمای C سکوی float over, SPQ1 ۸۰
- شکل ۴-۳ نمای ۱ سکوی float over, SPQ1 ۸۱
- شکل ۴-۴ جزئیات اتصال غلاف به پایه سکوی SPQ1 ۸۳
- شکل ۴-۵ مدل SACS سکوی مقیاس شده SPQ1 ۸۷
- شکل ۴-۶ نمای ۱ و ۲ سکوی مقیاس شده SPQ1 ۸۸
- شکل ۴-۷ نمای A و C سکوی مقیاس شده SPQ1 ۸۹
- شکل ۴-۸ پلان سکوی مقیاس شده SPQ1 در پایه و ارتفاع 0.21 و 1.81 و 2.91 و 4.01 متر ۹۲
- شکل ۴-۹ پلان عرشه سکوی مقیاس شده SPQ1 در ترازهای 5.21 و 5.71 متر ۹۲
- شکل ۴-۱۰ جزئیات اتصالات فلنجی سکوی مقیاس شده SPQ1 ۹۳
- شکل ۴-۱۱ برش لوله‌ها در طولهای مشخص و نامگذاری آنها ۹۷
- شکل ۴-۱۲ برش انتهای لوله‌ها با توجه به منحنی خط برش در محل هر اتصال ۹۸
- شکل ۴-۱۳ برش صفحات اتصال توسط دستگاه هوا برش گردبر ۹۸
- شکل ۴-۱۴ برش اولیه صفحات اتصال و لچکی ها توسط دستگاه برش ۹۹
- شکل ۴-۱۵ ساخت قطعات مختلف از اعضاء ستون ۱۰۰
- شکل ۴-۱۶ جوش نفوذی و لب به لب لوله نازکتر به لوله ضخیمتر در ناحیه joint can از ستون ۱۰۰
- شکل ۴-۱۷ اتصال اولیه اعضاء قطری در دیوارهای ۱ و ۲ به ستونها با خال جوش ۱۰۱
- شکل ۴-۱۸ تنظیم فاصله و ثابت سازی دو دیواره بر روی چهارچوب فلزی ۱۰۲
- شکل ۴-۱۹ نصب اعضاء واقع در پلان ترازهای ۰/۲۱، ۱/۸۱، ۲/۹۱، ۴/۰۱، ۵/۲۱ و ۵/۷۱ ۱۰۳
- شکل ۴-۲۰ تکمیل ساخت سکوی SPQ1 مقیاس شده در کارگاه ۱۰۴

- شکل ۴-۲۱ فاصله تیرهای کف صلب آزمایشگاه سازه..... ۱۰۵
- شکل ۴-۲۲ مشخصات چهارچوب فولادی قرار گرفته بر روی تیر کف صلب..... ۱۰۶
- شکل ۴-۲۳ پایه کوتاه اتصال به چهارچوب فلزی..... ۱۰۶
- شکل ۴-۲۴ اتصال مدل آزمایشگاهی به چهارچوب فلزی و کف صلب آزمایشگاه..... ۱۰۷
- شکل ۴-۲۵ مراحل ساخت گودال انجام مدل سازی فیزیکی..... ۱۰۸
- شکل ۴-۲۶ نمایی از گودال مدل سازی پر شده از ماسه و عایق پلاستیکی اجرا شده در پیرامون گودال..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۷ نمودارهای $p-y$ استخراج شده برای عمقهای مختلف..... ۱۱۱
- شکل ۴-۲۸ نمودارهای $q-z$ استخراج شده برای عمقهای مختلف..... ۱۱۱
- شکل ۴-۲۹ نمودارهای $t-z$ استخراج شده برای عمقهای مختلف..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۰ پلان شابلون شمع کوبی..... ۱۱۳
- شکل ۴-۳۱ مدفون نمودن شابلون فلزی زیر بستر خاک..... ۱۱۴
- شکل ۴-۳۲ مراحل تراز کردن و اتصال شمعها..... ۱۱۵
- شکل ۴-۳۳ کوبیدن شمعهای فلزی با کمک دستگاه لولهکوب..... ۱۱۶
- شکل ۴-۳۴ قرارگیری سکو روی شمعها به کمک جرثقیل..... ۱۱۷
- شکل ۴-۳۵ جوشکاری صفحات اتصال به شمعها..... ۱۱۷
- شکل ۴-۳۶ ریختن گروت در فضای بین شمع و غلاف..... ۱۱۸
- شکل ۴-۳۷ دستگاه مولد ارتعاش ۱- وضعیت اولیه ۲- وضعیت مکانی جرمها و نیروهای حاصل در زمان t [۳۱]..... ۱۲۰
- شکل ۴-۳۸ دستگاه مرتعش کننده جهت اعمال بار سینوسی به سازه..... ۱۲۱
- شکل ۴-۳۹ دستگاه مبدل برق تکفاز به سه فاز و صفحه نمایش تعداد دور موتور..... ۱۲۱
- شکل ۴-۴۰ نیروی سینوسی اعمالی به سازه..... ۱۲۲
- شکل ۴-۴۱ شتاب سنجهای مورد استفاده در این تحقیق..... ۱۲۳
- شکل ۴-۴۲ دستگاه دیتالاگر TMR..... ۱۲۳
- شکل ۴-۴۳ نمونه کوچک آزمایشگاهی مورد استفاده جهت کالیبره کردن شتاب سنجها..... ۱۲۴
- شکل ۴-۴۴ تبدیل فوریه رکورد ثبت شده از شتاب سنج جهت کالیبره کردن آن..... ۱۲۴
- شکل ۴-۴۵ جهت X و Y فرض شده در آزمایشها..... ۱۲۵
- شکل ۴-۴۶ نحوه نصب شتاب سنجها بر روی سازه و نامگذاری آنها..... ۱۲۶
- شکل ۴-۴۷ موقعیت شتاب سنجها و LVDT نصب شده در جهت X ۱۲۷
- شکل ۴-۴۸ موقعیت شتاب سنجها و LVDT نصب شده در جهت Y ۱۲۷
- شکل ۴-۴۹ آزمایش اول حالت سالم در دو جهت X و Y ۱۲۹
- شکل ۴-۵۰ رکوردهای ثبت شده از تحریک دستگاه مرتعش کننده با فرکانس متغیر در جهت X ۱۳۱
- شکل ۴-۵۱ رکوردهای ثبت شده از تحریک دستگاه مرتعش کننده با فرکانس متغیر در جهت Y ۱۳۲
- شکل ۴-۵۲ اضافه کردن مهاربندها به تراز بالایی سازه در دو جهت X و Y (اعضاء با رنگ قرمز)..... ۱۳۳
- شکل ۴-۵۳ فرم کلی سازه در حالت دوم با اضافه شدن مهاربندها به تراز بالایی سازه در دو جهت X و Y ۱۳۴
- شکل ۴-۵۴ آزمایش حالت سوم باز کردن مهاربندها در تراز سوم..... ۱۳۵
- شکل ۴-۵۵ آزمایش حالت چهارم باز کردن مهاربندها در تراز دوم..... ۱۳۷
- شکل ۴-۵۶ موقعیت شتاب سنجها و LVDT نصب شده در جهت X ۱۳۸

- شکل ۴-۵۷ موقعیت شتاب سنجها و LVDT نصب شده در جهت Y ۱۳۸
- شکل ۴-۵۸ رکوردهای ثبت شده از تحریک دستگاه مرتعش کننده با فرکانس 2.73Hz در جهت X ۱۴۰
- شکل ۴-۵۹ رکوردهای ثبت شده از تحریک دستگاه مرتعش کننده با فرکانس متغیر در جهت Y ۱۴۲
- شکل ۴-۶۰ اضافه شدن مهاربندها به تراز بالایی سازه در دو جهت X و Y ۱۴۳
- شکل ۴-۶۱ آزمایش حالت سوم باز کردن مهاربندها در تراز سوم ۱۴۴
- شکل ۴-۶۲ آزمایش حالت چهارم باز کردن مهاربندها در تراز دوم ۱۴۵
- شکل ۵-۱ چگالی طیفی PSD شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت X ۱۵۰
- شکل ۵-۲ چگالی طیفی مقاطع شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت X نسبت به شتاب سنج D2-1 ۱۵۱
- شکل ۵-۳ دامنه طیف ارتباط CS شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت X نسبت به شتاب سنج D2-1 ۱۵۱
- شکل ۵-۴ اختلاف فاز طیف CPS شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت X نسبت به شتاب سنج D2-1 ۱۵۲
- شکل ۵-۵ چگالی طیفی PSD شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت Y ۱۵۳
- شکل ۵-۶ چگالی طیفی مقاطع شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت Y نسبت به شتاب سنج D2-2 ۱۵۴
- شکل ۵-۷ دامنه طیف ارتباط CS شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت Y نسبت به شتاب سنج D2-2 ۱۵۴
- شکل ۵-۸ اختلاف فاز طیف CPS شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت Y نسبت به شتاب سنج D2-2 ۱۵۵
- شکل ۵-۹ چگالی طیفی PSD مود پیچشی ۱۵۷
- شکل ۵-۱۰ چگالی طیفی مقاطع CPS مود پیچشی ۱۵۷
- شکل ۵-۱۱ دامنه طیف ارتباط CS مود پیچشی ۱۵۸
- شکل ۵-۱۲ اختلاف فاز طیف CPS مود پیچشی ۱۵۸
- شکل ۵-۱۳ شکل مود اول و دوم سازه در جهت X ۱۶۰
- شکل ۵-۱۴ شکل مود اول و دوم سازه در جهت Y ۱۶۱
- شکل ۵-۱۵ شکل مود اول و دوم سازه در جهت پیچشی ۱۶۱
- شکل ۵-۱۶ چگالی طیفی PSD شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت X ۱۶۲
- شکل ۵-۱۷ چگالی طیفی مقاطع شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت X نسبت به شتاب سنج T2-1 ۱۶۳
- شکل ۵-۱۸ دامنه طیف ارتباط CS شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت X نسبت به شتاب سنج T2-1 ۱۶۳
- شکل ۵-۱۹ اختلاف فاز طیف CPS شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت X نسبت به شتاب سنج T2-1 ۱۶۴
- شکل ۵-۲۰ چگالی طیفی PSD شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت Y ۱۶۵
- شکل ۵-۲۱ چگالی طیفی مقاطع شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت Y نسبت به شتاب سنج T2-2 ۱۶۶
- شکل ۵-۲۲ دامنه طیف ارتباط CS شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت Y نسبت به شتاب سنج T2-2 ۱۶۶
- شکل ۵-۲۳ اختلاف فاز طیف CPS شتاب سنجهای واقع در ستون A در جهت Y نسبت به شتاب سنج T2-2 ۱۶۷
- شکل ۵-۲۴ فرکانس مود اول برای مقادیر مختلف نیروی جانبی ۱۶۹
- شکل ۵-۲۵ فرکانس مود اول برای مقادیر مختلف نیروی جانبی ۱۶۹
- شکل ۵-۲۶ مود اول و دوم در جهت X برای مقادیر مختلف نیروی جانبی ۱۷۰
- شکل ۵-۲۷ مود اول و دوم در جهت Y برای مقادیر مختلف نیروی جانبی ۱۷۰
- شکل ۵-۲۸ شکل مود اول و دوم سازه در جهت X ۱۷۲
- شکل ۵-۲۹ شکل مود اول و دوم سازه در جهت Y ۱۷۲
- شکل ۵-۳۰ شکل مود اول و دوم سازه در جهت X ۱۷۶

۱۷۶.....	شکل ۳۱-۵ شکل مود اول و دوم سازه درجهت Y
۱۷۷.....	شکل ۳۲-۵ شکل مود اول سازه درجهت پیچشی
۱۸۰.....	شکل ۳۳-۵ شکل مود اول و دوم سازه درجهت X
۱۸۰.....	شکل ۳۴-۵ شکل مود اول و دوم سازه درجهت Y
۱۸۴.....	شکل ۳۵-۵ شکل مود اول و دوم سازه درجهت X
۱۸۵.....	شکل ۳۶-۵ شکل مود اول و دوم درجهت Y
۱۸۵.....	شکل ۳۷-۵ شکل مود اول و دوم سازه درجهت پیچشی
۱۸۸.....	شکل ۳۸-۵ شکل مود اول و دوم سازه درجهت X
۱۸۹.....	شکل ۳۹-۵ شکل مود اول و دوم درجهت Y
۱۹۳.....	شکل ۴۰-۵ شکل مود اول و دوم سازه درجهت X
۱۹۴.....	شکل ۴۱-۵ شکل مود اول و دوم درجهت Y
۱۹۴.....	شکل ۴۲-۵ شکل مود اول و دوم سازه درجهت پیچشی
۱۹۷.....	شکل ۴۳-۵ شکل مود اول و دوم سازه درجهت X
۱۹۸.....	شکل ۴۴-۵ شکل مود اول و دوم درجهت Y

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ منحنیهای پیشنهادی توسط API جهت تعیین منحنیهای t-z [۲۰].....	۴۱
جدول ۲-۲ مقادیر ارائه شده توسط API جهت محاسبه منحنیهای Q-Z [۲۱].....	۴۳
جدول ۱-۴ مشخصات هندسی سکوی SPQ1.....	۸۲
جدول ۲-۴ مشخصات وزنی سکوی SPQ1.....	۸۲
جدول ۳-۴ مشخصات اتصال غلاف و شمع درون آن در سکوی SPQ1.....	۸۲
جدول ۴-۴ متغیرهای موثر در مقیاس کردن.....	۸۴
جدول ۵-۴ بارهای اعمالی به سازه.....	۸۷
جدول ۶-۴ ترکیب بارها.....	۸۷
جدول ۷-۴ مقادیر پارامترهای طراحی برای خاکهای غیر چسبنده [۲۰].....	۹۵
جدول ۸-۴ محاسبات تعیین ظرفیت باربری شمع مدل مقیاس شده.....	۹۵
جدول ۹-۴ خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ماسه مورد استفاده.....	۱۰۹
جدول ۱۰-۴ نیروی وارده توسط دستگاه مرتعش کننده در فرکانسهای مختلف.....	۱۲۲
جدول ۱۱-۴ نامگذاری شتاب سنجها.....	۱۲۶
جدول ۱-۵ نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت X با فرکانس طبیعی $f_1=3.096\text{Hz}$	۱۵۲
جدول ۲-۵ نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت X با فرکانس طبیعی $f_2=19.785\text{Hz}$	۱۵۲
جدول ۳-۵ محاسبه میرایی در جهت X.....	۱۵۳
جدول ۴-۵ نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_1=3.224\text{Hz}$	۱۵۵
جدول ۵-۵ نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_2=19.258\text{Hz}$	۱۵۵
جدول ۶-۵ محاسبه میرایی در جهت Y.....	۱۵۶
جدول ۷-۵ نحوه محاسبه شکل مود پیچشی با فرکانس طبیعی $f_1=6.152\text{Hz}$	۱۵۹
جدول ۸-۵ نحوه محاسبه شکل مود مود پیچشی با فرکانس طبیعی $f_2=24.86\text{Hz}$	۱۵۹
جدول ۹-۵ محاسبه میرایی مود پیچشی.....	۱۵۹
جدول ۱۰-۵ فرکانسهای طبیعی حالت اولیه (سالم) مدل آزمایشگاهی.....	۱۶۰
جدول ۱۱-۵ نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت X با فرکانس طبیعی $f_1=2.754\text{Hz}$	۱۶۴
جدول ۱۲-۵ نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت X با فرکانس طبیعی $f_2=11.016\text{Hz}$	۱۶۴
جدول ۱۳-۵ محاسبه میرایی در جهت X.....	۱۶۵
جدول ۱۴-۵ نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_1=2.891\text{Hz}$	۱۶۷
جدول ۱۵-۵ نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_2=11.777\text{Hz}$	۱۶۷
جدول ۱۶-۵ محاسبه میرایی در جهت Y.....	۱۶۸
جدول ۱۷-۵ مقادیر فرکانس حاصل از تحلیل مودال در نرم افزار SACS به ازای مقادیر مختلف نیروی جانبی.....	۱۶۸
جدول ۱۸-۵ فرکانس های طبیعی حالت اولیه (سالم) مدل آزمایشگاهی.....	۱۷۱
جدول ۱۹-۵ نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_1=7.86\text{Hz}$	۱۷۳
جدول ۲۰-۵ محاسبه میرایی در جهت Y.....	۱۷۳

جدول ۵-۲۱	نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت X با فرکانس طبیعی $f_1=8.18\text{Hz}$	۱۷۴
جدول ۵-۲۲	محاسبه میرایی در جهت X	۱۷۴
جدول ۵-۲۳	نحوه محاسبه شکل مود پیچشی با فرکانس طبیعی $f_1=16.357\text{Hz}$	۱۷۵
جدول ۵-۲۴	محاسبه میرایی مود پیچشی	۱۷۵
جدول ۵-۲۵	فرکانس های طبیعی حالت دوم مدل آزمایشگاهی	۱۷۵
جدول ۵-۲۶	نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت X با فرکانس طبیعی $f_1=4.08\text{Hz}$	۱۷۸
جدول ۵-۲۷	نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت X با فرکانس طبیعی $f_2=14.12\text{Hz}$	۱۷۸
جدول ۵-۲۸	محاسبه میرایی در جهت X	۱۷۸
جدول ۵-۲۹	نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_1=4.67\text{Hz}$	۱۷۹
جدول ۵-۳۰	نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_2=16.875\text{Hz}$	۱۷۹
جدول ۵-۳۱	محاسبه میرایی در جهت Y	۱۷۹
جدول ۵-۳۲	فرکانس های طبیعی حالت دوم مدل آزمایشگاهی	۱۷۹
جدول ۵-۳۳	نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت X با فرکانس طبیعی $f_1=1.416\text{Hz}$	۱۸۱
جدول ۵-۳۴	نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت X با فرکانس طبیعی $f_2=14.961\text{Hz}$	۱۸۱
جدول ۵-۳۵	محاسبه میرایی در جهت X	۱۸۲
جدول ۵-۳۶	نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_1=1.797\text{Hz}$	۱۸۲
جدول ۵-۳۷	نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_2=15.83\text{Hz}$	۱۸۲
جدول ۵-۳۸	محاسبه میرایی در جهت Y	۱۸۳
جدول ۵-۳۹	نحوه محاسبه شکل مود پیچشی با فرکانس طبیعی $f_1=3.408\text{Hz}$	۱۸۳
جدول ۵-۴۰	نحوه محاسبه شکل مود مود پیچشی با فرکانس طبیعی $f_2=17.813\text{Hz}$	۱۸۳
جدول ۵-۴۱	محاسبه میرایی مود پیچشی	۱۸۴
جدول ۵-۴۲	فرکانسهای طبیعی حالت سوم مدل آزمایشگاهی	۱۸۴
جدول ۵-۴۳	نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت X با فرکانس طبیعی $f_1=1.348\text{Hz}$	۱۸۶
جدول ۵-۴۴	نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت X با فرکانس طبیعی $f_2=9.043\text{Hz}$	۱۸۶
جدول ۵-۴۵	محاسبه میرایی در جهت X	۱۸۷
جدول ۵-۴۶	نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_1=1.7\text{Hz}$	۱۸۷
جدول ۵-۴۷	نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_2=9.2\text{Hz}$	۱۸۷
جدول ۵-۴۸	محاسبه میرایی در جهت Y	۱۸۸
جدول ۵-۴۹	فرکانس های طبیعی حالت سوم مدل آزمایشگاهی	۱۸۸
جدول ۵-۵۰	نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت X با فرکانس طبیعی $f_1=2.207\text{Hz}$	۱۹۰
جدول ۵-۵۱	نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت X با فرکانس طبیعی $f_2=8.652\text{Hz}$	۱۹۰
جدول ۵-۵۲	محاسبه میرایی در جهت X	۱۹۰
جدول ۵-۵۳	نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_1=2.373\text{Hz}$	۱۹۱
جدول ۵-۵۴	نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_2=9.697\text{Hz}$	۱۹۱
جدول ۵-۵۵	محاسبه میرایی در جهت Y	۱۹۱
جدول ۵-۵۶	نحوه محاسبه شکل مود پیچشی با فرکانس طبیعی $f_1=4.209\text{Hz}$	۱۹۲

جدول ۵-۵۷ نحوه محاسبه شکل مود پیچشی با فرکانس طبیعی $f_2=11.602\text{Hz}$	۱۹۲
جدول ۵-۵۸ محاسبه میرایی مود پیچشی.....	۱۹۲
جدول ۵-۵۹ فرکانس های طبیعی حالت سوم مدل آزمایشگاهی.....	۱۹۳
جدول ۵-۶۰ نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت X با فرکانس طبیعی $f_1=2.07\text{Hz}$	۱۹۵
جدول ۵-۶۱ نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت X با فرکانس طبیعی $f_2=8.34\text{Hz}$	۱۹۵
جدول ۵-۶۲ محاسبه میرایی در جهت X.....	۱۹۶
جدول ۵-۶۳ نحوه محاسبه شکل مود اول در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_1=2.188\text{Hz}$	۱۹۶
جدول ۵-۶۴ نحوه محاسبه شکل مود دوم در جهت Y با فرکانس طبیعی $f_2=8.691\text{Hz}$	۱۹۶
جدول ۵-۶۵ محاسبه میرایی در جهت Y.....	۱۹۷
جدول ۵-۶۶ فرکانس های طبیعی حالت چهارم مدل آزمایشگاهی.....	۱۹۷

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- معرفی سکوهای دریایی

رشد روزافزون مردمان کره خاکی و تلاش برای رسیدن به جامعه صنعتی، سبب افزایش نیاز به انرژی گردیده است. نیاز به انرژی از یک سو و برداشت از ذخیره‌های در دسترس سبب آن شده که این منابع رو به پایان نهند و بهره برداری از دیگر میدان‌های زیرزمینی که نخست دستیابی به آن‌ها دشوار می‌نمود، دارای توجیه اقتصادی گردد. بدون شک یکی از برجسته ترین این میدان‌ها، ذخیره‌های نفت و گاز موجود در ژرفای آب اقیانوس‌ها و دریاها می‌باشد؛ که امروزه حدود ۳۰ درصد از منابع انرژی مورد نیاز جهانیان از این میدان‌ها برداشت می‌گردد. سکوهای دریایی برای برداشت نفت و گاز از چنین میدان‌هایی ساخته می‌شوند [۱].

در طول سال‌های گذشته دو نوع مهم از سکوهای ثابت دریایی^۱ متداول شده: نوع پروفیل فلزی^۲ که از خلیج مکزیک شروع شد و نوع وزنی بتنی^۳ (GBS) که در بخش‌های انگلیسی و نروژی دریای شمال و کانادا مورد استفاده قرار گرفته اند. نوع سومی از سکوهای ثابت دریایی، موسوم به سکوی پایه کششی^۴ اخیراً مورد استفاده قرار می‌گیرد که همچنان در حال توسعه است. اساس این نوع سکو، مهار کردن سازه شناور آن در یک محل ثابت به کمک کابل‌های متعدد کشیده شده به کف دریاست.

بر پایه‌ی آمارهای موجود درباره سکوهای دریایی بیش از ۹۰ درصد سکوهای موجود در جهان از نوع سکوهای ثابت شابلونی فلزی می‌باشند. با توجه به این که بیشتر سکوهای دریایی به کار برده شده در ایران از این نوع می‌باشند، پس بررسی چگونگی رفتار آن‌ها در برابر بارهای وارده از اهمیت بیشتری نسبت به دیگر گروه‌های سکوهای دریایی برخوردار است.

۱-۱-۱ سکوهای ثابت شابلونی^۵

این نوع سکو معمولاً در محل آب‌های کم عمق نصب می‌گردد. البته امروزه از این نوع در اعماق ۳۱۵/۵ متری نیز نصب شده است ولی معمولاً بیشتر تا عمقی حدود ۱۰۰ متر از آنها استفاده می‌گردد. به این نوع

^۱ Fixed Offshore Platforms

^۲ Steel Template

^۳ Concrete Gravity

^۴ Tension Leg Platforms

^۵ Jacket Platforms

سکوها اصطلاحاً سکوی جاکت نیز اتلاق می‌شود. این نام‌گذاری بدان جهت است که از پایه‌های سکو به عنوان هادی، جهت نصب شمع‌ها استفاده می‌شود (شمع‌ها از داخل پایه سکو یا از خارج آن و متصل به پایه سکو کوبیده می‌شوند).

این سکوها شامل قسمت‌های ذیل می‌باشند :

الف – عرشه سکو^۱ : که در واقع یک خرپای فضایی سه بعدی است که کلیه وسایل و تجهیزات بهره برداری از سکو بالاتر از سطح آب بر روی آن نصب می‌گردد.

ب) پایه سکو(جاکت)^۲ : در واقع یک خرپای فضایی سه بعدی متشکل از اعضای فولادی (معمولاً لوله‌ای) در داخل آب می‌باشد. وظیفه اصلی این قسمت، دریافت و انتقال بارهای محیطی دریایی (نظیر امواج و جریان‌های دریایی)، به سیستم فونداسیون عملکرد به عنوان شابلون برای هدایت و کوشش شمع‌ها در برخی موارد نیز هدایت و انتقال مستقیم بارهای عرشه به سیستم فونداسیون سازه می‌باشد.

ج شمع‌ها^۳ : که در واقع سیستم فونداسیون سکو را تشکیل می‌دهند. کلیه بارهای عرشه و بارهای محیطی وارد بر سکو نهایتاً از طریق شمع‌ها به خاک منتقل می‌گردند.

فونداسیون پایه سکو بوسیله شمع‌های فلزی لوله‌ای با انتهای باز با قطری تا ۲ متر تهیه شده است. شمع‌ها تقریباً ۴۰-۸۰ متر در کف عمق دریا و در بعضی نمونه ها ۱۲۰ متر کوبیده شده‌اند. شمای کلی یک نمونه سکوی چهار پایه و یک سکوی هشت پایه در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است.

بدیهی است اولین بخشی که در دریا نصب می‌گردد، جاکت می‌باشد (شکل ۱-۲). جاکت بطور موقت، به

کمک فونداسیون‌های^۴ خود به حالت قائم می‌ایستد تا پس از آن، بتوان عملیات شمع‌کوبی را اجرا نمود.

^۱Deck

^۲Jacket

^۳Piles

^۴Mudmats



شکل ۱-۱ شمای کلی یک نمونه سکوی چهارپایه و یک سکوی هشت پایه



شکل ۲-۱ شمای کلی قرارگیری یک نمونه جاکت سه پایه روی بستر دریا

تا این مرحله روش نصب در میان سکوهای شابلونی مشترک می باشد. ولی براساس سیستم سازه ای و باربری آنها دو نوع اصلی سکوهای شابلونی را می توان تمیز داد که این تفاوت ناشی از نحوه قرارگیری و نصب شمع ها و طریقه اتصال عرشه با زیرسازه می باشد [۲]:

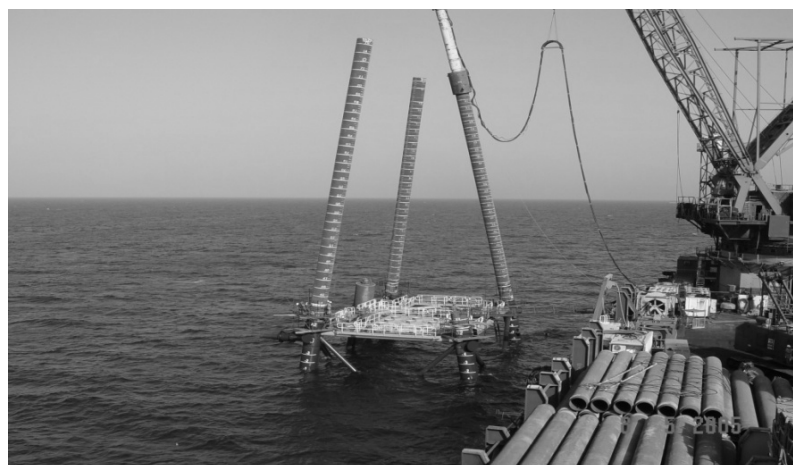
نوع اول: سکوهای شابلونی از نوع Skirt Piles می باشد. در این نوع سکوها در تراز پایینی پایه جاکت، غلاف هایی تحت عنوان Skirt Sleeves تعبیه می گردد (شکل ۱-۳) و شمع کوبی از داخل این غلاف ها صورت می گیرد (شمع کوبی از نوع زیر آبی می باشد). در داخل غلاف ها تعداد مشخصی برش گیر در فواصل مشخص وجود دارند و در نهایت پس از اتمام شمع کوبی فضای بین شمع و غلاف با گروت پر می گردد. ارتباط سازه ای بین شمع و جاکت بوسیله همین گروت و برش گیرهای مذکور تامین می گردد. عرشه مستقیماً بر روی بالاترین تراز خود

پایه جاکت مستقر شده و جوش می‌گردد. بدیهی است در این نوع سکوی شابلونی بار عرشه ابتدا به جاکت و سپس از طریق جاکت به شمع‌ها منتقل می‌گردد.



شکل ۳-۱ شمای کلی جاکت‌های از نوع دارای Skirt Sleeves

نوع دوم: سکوه‌ای شابلونی از نوع Pile Through Legs می‌باشند. در این نوع سکو، پس از استقرار جاکت، شمع‌ها در داخل پایه‌های جاکت کوبیده می‌شوند (شکل ۴-۱). در حقیقت پایه جاکت، خود نقش غلاف کوبش شمع را نیز ایفا می‌نماید. شمع‌کوبی از نوع بیرون آب می‌باشد.



شکل ۴-۱ شمای کلی نصب شمع‌های سکوه‌ای شابلونی از نوع Pile Through Leg

در نهایت پس از اتمام شمع کوبی، در تراز Connection Joint با کمک ورق‌های ضخیمی^۱ اتصال سازه‌ای شمع و جاکت برقرار می‌شود. این نقطه تنها اتصال بین شمع و جاکت و از نوع کاملاً گیردار می‌باشد. پس از آن عرشه بر روی بالاترین تراز خود شمع مستقر شده و جوش می‌گردد.

بدیهی است در این نوع سکوی شابلونی، بار عرشه به شمع منتقل می‌گردد و شمع و جاکت در نقطه اتصال مشترک، نسبت به یکدیگر کاملاً گیردار شده‌اند. در حقیقت سازه جاکت، به نوعی از بالای شمع آویزان گردیده است و دو وظیفه مقابله با بارهای جانبی و نیز کاهش طول مهار نشده جانبی شمع‌ها را برعهده دارد.

۱-۱-۲- بررسی سکوهای مناسب جهت استقرار در خلیج فارس

اصولاً عمق آب در خلیج فارس کم است و ارتفاع ستون آبی که در حال حاضر سکوها در آن نصب شده‌اند از اعماق ۲۵ متری تا حداکثر ۷۲ متری می‌باشد. بطور کلی عمق متوسط در خلیج فارس حدود ۴۵ متر بوده که در نواحی و نوار عمیق‌تر خلیج فارس عمق آب حدود ۷۰ متر می‌باشد و به ندرت اعماق بیشتر که عمدتاً تا عمق ۸۰ متر می‌باشد، موجود است. در مکان‌هایی خاص و نادر، اعماق بیشتر از ۸۰ متر نیز دیده شده است که بطور کلی نقشی را ایفا نمی‌کند.

سکوهای ثابت نوع شابلونی، به علت در دسترس بودن تکنولوژی آن جهت ساخت، حمل و نصب و مقرون به صرفه بودن احداث آنها در اعماق کمتر از ۱۰۰ متر، همچنین پایین بودن هزینه نصب آنها، پایدار بودن سکو در مقابل امواج و نداشتن تغییر مکان و نوسان مهمی بر روی عرشه‌های آن از نظر بهره برداری، قابلیت نگهداری و تعمیر آنها با توجه به شرایط جوی و وضعیت آب خلیج فارس، همچنین موجود بودن چند کارگاه سکوسازی از این نوع در خلیج فارس مناسب‌ترین نوع، جهت استقرار در خلیج فارس تشخیص داده شده است کما اینکه تمامی سکوهای نصب شده در این خلیج از نوع شابلونی بوده و سکوهای در دست احداث نیز از این نوع می‌باشد [۳].

^۱ Crown Shim plates

۱-۲- تاریخچه بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی سکوها در مقابله با بارهای دینامیکی

سازه‌های دریایی نظیر انواع سازه‌های دیگر در حالت کلی تحت تأثیر سه نوع بارگذاری (بارهای بهره برداری، نصب و محیطی) می‌باشند [۴].

بدیهی است که بارهای محیطی دریایی همگی دارای خصوصیات و ویژگی‌های متغیر با زمان می‌باشند و لذا این گونه بارها همگی در محدوده بارهای دینامیکی قرار می‌گیرند.

Bea در سال ۱۹۸۴ ذکر می‌کند که عملکرد سکوها دریایی در مقابل بارهای دینامیکی (مخصوصاً بارهای دینامیکی که بصورت جانبی بر روی سکو عمل می‌نمایند) بنا به دلایل زیر به طرز محسوسی در حوزه رفتار غیرخطی قرار خواهد گرفت [۵].

۱- خاک به عنوان تکیه‌گاه نهایی کل سیستم سازه که بارهای وارده را تحمل می‌نماید فقط در شرایط بسیار محدود (مثلاً کرنش‌های ایجاد شده در محدوده 10^{-4} و یا حتی کوچکتر از آن) رفتار خطی از خود نشان خواهند داد. علاوه بر این، عملکرد متفاوت خاک در فشار و کشش باعث بروز تفاوت در عملکرد کل سیستم در چرخه‌های رفت و برگشتی بارگذاری خواهد شد.

۲- اندر کنش آب-خاک-شمع که نهایتاً با توجه به نوع خاک می‌تواند باعث ایجاد حفره و فضای خالی در حد فاصل خاک-شمع و توسعه این فضاهای خالی در برخی از انواع خاک و یا پر شدن آنی این فضاهای خالی در برخی دیگر از انواع خاک گردد. ایجاد، توسعه و یا پر شدن این فضاهای خالی باعث بروز عملکرد غیرخطی در پاسخ شمع نسبت به بارهای دینامیکی خواهد شد.

۳- مدت و اندازه بارگذاری (دینامیکی) می‌تواند موجب ایجاد تنش‌های بزرگ در سیستم رو سازه (پایه سکو) و یا زیر سازه (شمع‌ها) و بالطبع بروز رفتار غیرخطی تنش-کرنش برای مصالح مورد استفاده گردد.

۴- شدت و اندازه بارگذاری (دینامیکی) که می‌تواند باعث تولید تغییر شکل‌های بزرگ جانبی در کل سیستم سکو و بالطبع لزوم در نظر گرفتن رفتار غیرخطی هندسی (اثرات $(P-\Delta)$) گردد.

به دلیل پیچیدگی‌های بسیار زیاد ناشی از اثرات متقابل آب، خاک، سیستم زیر سازه (شمع)، سیستم رو سازه (پایه سکو) و وجود عملکردهای غیرخطی برای هر یک از حوزه‌های فوق الذکر و همچنین با توجه به پیچیدگی‌های خاص هندسی در تعریف مدل‌های جامع از کلیه اعضا و اجزای یک سکو، تا کنون هیچ توصیه و راهکار مشخصی در ارائه یک تحلیل واقعی از رفتار دینامیکی سکوها (دریایی) بصورت یک مجموعه کامل) تحت تاثیر بارهای محیطی (مخصوصاً زلزله) ارائه نگردیده است [۱].

در سال ۱۹۸۰ Zayas و همکارانش دو قاب مهاربندی شده از اعضای فولادی لوله‌ای را تحت اثر بارهای رفت و برگشتی در سطوح غیرخطی مورد مطالعه قرار دادند. این قاب‌ها مدل‌های کوچک مقیاسی از سکوها جنوب کالیفرنیا هستند. در هر دو قاب، کاهش مقاومت در هر سیکل بصورت تدریجی صورت گرفته که این کاهش مقاومت ناشی از کاهش مقاومت اعضا پس از کمانش و یا تسلیم بوده است. ضمناً در هر دو قاب کاهش تدریجی مقاومت تحت اثر بارهای رفت و برگشتی مشاهده می‌گردد [۶].

قناعت و Clough نیز در طی یک تحقیق آزمایشگاهی، مدل ۵/۴۸ از یک سکوی واقعی واقع در جنوب کالیفرنیا را در سال ۱۹۸۲ تحت اثر حرکات میز لرزان که مبین زلزله در پای سازه می‌باشد، را مورد آزمایش قرار دادند. هدف اصلی از این تحقیق سنجش پاسخ دینامیکی و مکانیزم خرابی یک سکوی دریایی تحت اثر زلزله بوده است. هدف اصلی این مطالعه مشخص نمودن رفتار یک قاب لوله‌ای با مهار بندی X تحت اثر حرکات میز لرزان بوده است، این قاب به دلیل محدودیت ابعاد میز لرزان، مدل با مقیاس ۵/۸ نمونه آزمایش شده توسط Zayas می‌باشد [۷].

Novak و El-Neggar در سال ۱۹۹۶ پاسخ دینامیکی غیرخطی سکوها دریایی را در مقابل بارگذاری امواج و نیروهای باد بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که در نظر گرفتن اثرات اندر کنش خاک-شمع-سازه از یک طرف به طرز چشمگیری باعث کاهش حداکثر پاسخ تشدید یافته سکو در مقابل بارهای وارد شده و از طرف دیگر به طرز بسیار موثری باعث افزایش پاسخ سکو در مقابل بارهای وارده به ازای فرکانس‌های بزرگتر از فرکانس تشدید می‌شود [۸].