

رسالة محمد



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران

گروه سازه های هیدرولیکی

ارزیابی مقایسه ای روش های طرح لرزه ای متداول اسکله های باز (شمع و عرشه) معرفی شده
توسط آیین نامه ها و منابع معتبر دریایی

دانشجو: محمد حسین یزدان ۹۱۲۳۷۶۴

استاد راهنما:

دکتر مهدی عجمی

استاد مشاور:

دکتر فرشید جندقی علایی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی عمران

گروه : سازه های هیدرولیکی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد حسین یزدان

تحت عنوان :

ارزیابی مقایسه ای روش های طرح لرزه ای اسکله های باز (شمع و عرشه) معرفی شده در آیین نامه
ها و منابع معتبر دریایی

در تاریخ توسط کمیته ی تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد سازه های
هیدرولیکی مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیرم بہ شہداءِ گمنام و ظنم

تشکر و قدر دانی

اکنون که بار دیگر در آستانه ی فراغت از تحصیل قرار دارم خداوند را به خاطر تمامی نعمت ها و موهبت هایی که به من عطا کرده و خود را شایسته ی آن نمی بینم شاکر هستم و امیدوارم بتوانم در مقام عمل نیز با حرکت در مسیر رضای او شکر گزار او باشم.

در این فرصت لازم می دانم از عزیزانی که در خلال انجام این پایان نامه از کمک ها و راهنمایی هایشان بهره مند شدم، تشکر نمایم.

از استاد عزیز و گران قدر جناب آقای دکتر عجمی به خاطر زحماتی که در طوی انجام این تحقیق متحمل شدند و در تمام مراحل با وقت گذاری ها، تلاش ها و همکاریشان پیشرفت کار را فراهم کردند، نهایت تشکر را دارم.

هم چنین از استاد عزیز و گران قدر جناب آقای دکتر جندقی علایی که زحمت مشاوره پایان نامه را بر عهده داشتند و در آشنایی با مسائل سازه ای راهنمایی های ارزنده ای نمودند، کمال تشکر را دارم.

در مدت انجام تحقیق، برای آشنایی با جوانب موضوع و پیدا کردن دید نسبت به روند مدل سازی و طراحی سازه های دریایی و مسائل مربوط به آن، ضروری بود تا با مهندسیین با تجربه مشورت هایی داشته باشم. از مهندس جواد رضوان دوست، مهندس امیر خیری، مهندس محمد رضا مهر دوست، مهندس رامین تقی نژاد و ... به خاطر تمامی زحماتی که کشیدند و همچنین منابع ارزشمندی که در اختیار این جانب قرار دادند کمال تشکر را دارم.

از شرکت مشاوره پویا طرح پارس نیز به دلیل منابع مفیدی که در زمینه ی پروژه ی اسکله ی شمع و عرشه بندر شیف در اختیارم قرار دادند سپاسگذارم.

در نهایت از خانواده عزیز و پدر و مادر مهربانم که در تمام مراحل زندگی دلسوزانه، فداکارانه و صبورانه از هیچ تلاشی و همکاری برای تربیت و فراهم کردن زمینه ای برای پیشرفتم کوتاهی نکردند، تشکر می نمایم. امیدوارم خداوند گوهر وجود این عزیزان را از من سلب ننماید. هم چنین از همسر عزیزم که در مدت انجام این پژوهش نهایت همکاری و همفکری را با این جانب داشته اند تشکر می کنم.

هم چنین از تمامی معلمین دل سوز و اساتید محترم و فداکارم که در رشد، تربیت و بالندگی من در تمام مراحل تحصیل نقش کلیدی و موثری داشتند و خود را وام دار آن ها می دانم قدر دانم.

امید وارم این تحقیق پاسخگوی زحمات همه این عزیزان باشد و با انجام آن کمک هر چند کوچکی به جامعه ی علمی و مهندسی کشور کرده باشم.

محمد حسین یزدان

تعهد نامه

اینجانب محمد حسین یزدان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه های هیدرولیکی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه " ارزیابی مقایسه ای روش های طرح لرزه ای اسکله های باز (شمع و عرشه) معرفی شده در آیین نامه ها و منابع معتبر دریایی " تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی به عنوان استاد راهنمای اول متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام <<دانشگاه صنعتی شاهرود>> و یا <<shahrood university of technology>> به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق و نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

بنادر یکی از گلوگاه های مهم اقتصادی، نظامی و سیاسی محسوب می شوند. این موضوع سازه های بندری را جزء سازه های با اهمیت ویژه قرار می دهد که تاثیر بسزایی در ادامه حیات کشورها دارند.

در میان سازه های ساحلی، اسکله ها به جهت کاربردهای فراوان از جمله تامین دسترسی خشکی به دریا، پهلوگیری و مهاربندی شناورها و ... اهمیت ویژه ای دارند.

اسکله های شمع و عرشه به دلایل متعدد به گزینه ای بسیار متداول و مطلوب در نقاط مختلف دنیا تبدیل شده اند. امروزه هزینه ناچیز حمل و نقل دریایی در مقایسه با سایر روش های حمل و نقل این گزینه را یکی از بهترین گزینه ها برای امر حمل نقل مبدل کرده است. کشور ایران نیز از موهبت الهی دسترسی وسیع به دریا از شمال و جنوب به خوبی استفاده کرده است. به دلیل در دسترس بودن امکانات و تجهیزات اجرایی و شرایط محیطی مناسب و دانش فنی کافی، اسکله های شمع و عرشه فراوانی جهت تامین نیازهای بازرگانی، نفتی، صنعتی، صیادی و تفریحی کشور احداث شده اند.

با توجه به خطر بالای لرزه خیزی کشور عزیزمان و امکان وقوع زلزله های مخرب در مناطق شمالی و جنوبی و همچنین آسیب دیدن سازه های ساحلی و اسکله ها در زلزله های اخیر در جهان، ضرورت طراحی مناسب لرزه ای سازه های مذکور بیش از پیش عیان گردیده است. ضروری است طراحی این سازه ها در برابر بارهای ناشی از زلزله به درستی انجام گیرد.

در این پژوهش روش های مختلف تحلیل لرزه ای اسکله شمع و عرشه با یکدیگر مقایسه شده اند. برای نیل به این هدف ابتدا دوازده اسکله ی متفاوت شمع و عرشه به روش طول گیرداری در محیط برنامه SAP2000 مدل سازی شده اند. تمامی اسکله های مدل سازی شده موازی ساحل و به صورت منظم می باشند.

که از این اسکله ها می توان به اسکله ی بندر شیف، اسکله ی کاتانیا جزیره ی سیسیل ایتالیا و ده اسکله ی فرضی دیگر نام برد.

در گام بعدی بر روی اسکله های مدل سازی شده تحلیل لرزه ای استاتیکی و تحلیل لرزه ای طیفی صورت پذیرفته است و نتایج با یکدیگر مقایسه شده اند.

لغات کلیدی: اسکله شمع و عرشه ، تحلیل لرزه ای استاتیکی و طیفی

فهرست

فصل اول

- ۱-۱- طرح موضوع و اهمیت بحث ۱
- ۲-۱- ساختار پایان نامه ۴

فصل دوم

- ۱-۲- انواع سازه های دریایی ۶
- ۲-۲- سازه های پهلوگیری ۷
- ۲-۲- سازه های پهلوگیری ۷
- ۱-۲-۲- انواع اسکله ها از نظر نوع سازه ۷
- ۱-۲-۲-۱- اسکله های بسته ۷
- ۱-۲-۲-۱-۱- اسکله های وزنی ۸
- ۱-۲-۲-۱-۱-۱- اسکله های بلوک بتنی ۸
- ۱-۲-۲-۱-۱-۲- دیوار های بتنی پیش ساخته ۹
- ۱-۲-۲-۱-۱-۳- صندوقه های بتنی ۱۰
- ۱-۲-۲-۱-۱-۴- دیوارهای سپری سلولی ۱۱
- ۱-۲-۲-۱-۱-۵- دیوار های سپری فولادی دو دیواره ۱۲
- ۱-۲-۲-۱-۲- اسکله های سپری ۱۳
- ۱-۲-۲-۱-۲-۱- انواع اسکله های سپری از نظر سیستم سازه ای ۱۳
- ۱-۲-۲-۱-۲-۱-۱- اسکله های سپری تکی مهار شده ۱۳
- ۱-۲-۲-۱-۲-۱-۲- اسکله های سپری طره ای ۱۴
- ۱-۲-۲-۱-۲-۱-۳- اسکله های دیوار تکی با عرشه تقویت کننده ۱۵
- ۱-۲-۲-۱-۲-۲- انواع دیوار های سپری از نظر نوع اجرا و نوع ساخت دیوار ۱۶
- ۱-۲-۲-۱-۲-۲-۱- دیوارهای سپری بتنی پیش ساخته ۱۶

۱۶	۲-۲-۱-۱-۲-۲- دیوارهای سپری فولادی
۱۷	۲-۲-۱-۱-۲-۲- دیوارهای جدا کننده
۱۸	۲-۲-۱-۲- اسکله های باز
۱۸	۲-۲-۱-۲- اسکله های شمع و عرشه
۱۹	۲-۲-۱-۲- دلفین
۲۰	۲-۲-۱-۳- اسکله های شناور
۲۱	۲-۲-۲- عوامل و ملاحظات در انتخاب نوع اسکله
۲۲	۲-۳- اجزای اسکله های شمع و عرشه
۲۳	۲-۳-۱- فندر
۲۵	۲-۳-۲- بولارد
۲۵	۲-۳-۳- جراثقال
۲۶	۲-۴- سیستم های سازه ای اسکله های شمع و عرشه
۲۸	۲-۴-۱- اثرات مطلوب و نا مطلوب شمع های مایل
۳۰	۲-۴-۲- تفاوت پاسخ و آسیب شمع های مایل بتنی و فولادی
۳۱	۲-۴-۳- دلایل محتمل بروز گسیختگی در اسکله ها
۳۲	۲-۵- روش های مدل سازی اسکله شمع و عرشه
۳۲	۲-۵-۱- روش عمق گیرداری
۳۳	۲-۵-۱-۱- خاک های چسبنده
۳۴	۲-۵-۱-۲- روش وزارت راه ژاپن
۳۴	۲-۵-۲- روش فنر خطی وینکلر
۳۶	۲-۵-۱-۲- رابطه چن
۳۷	۲-۵-۲-۱- روش موسسات نفت آمریکا
۳۷	۲-۵-۳- روش محیط پیوسته

۳۸	۶-۲- بارهای وارد بر اسکله ها
۴۰	۷-۲- ترکیب بارها
۴۲	۹-۲- آیین نامه های معتبر در طراحی اسکله ها
۴۲	۱۰-۲- نرم افزار های مدل سازی اسکله ها
۴۳	فصل سوم
۴۴	۱-۳- مروری بر تحقیقات انجام گرفته بر روی عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه
۴۴	۱-۱-۳- تحقیقات انجام شده روی اندرکنش شمع و خاک تحت بارهای لرزه ای
۴۶	۱-۱-۱-۳- روش وینکلرو مفهوم منحنی های P-Y
۴۸	۱-۱-۲-۳- مفهوم منحنی های P-Y
۴۸	۱-۱-۳-۳- نمونه هایی از منحنی های P-Y موجود
۴۹	۱-۱-۴-۳- بررسی اثر خصوصیات شمع روی منحنی های P-Y
۵۲	۱-۲-۳- بررسی پاسخ لرزه ای شمع در خاک های روان گرا
۵۲	۱-۳-۳- نمونه هایی از آزمایش روی شمع با مقیاس واقعی
۵۳	۱-۴-۳- تحقیقات انجام گرفته روی عملکرد لرزه ای اتصالات اسکله های شمع و عرشه
۵۴	۱-۵-۳- تحقیقات انجام شده بر روی اثر شمع مایل و فیوز سازه ای در عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه
۵۵	۱-۶-۳- تحقیقات انجام گرفته شده روی عملکرد لرزه ای اسکله هایی که با آیین نامه قدیمی طراحی شده اند
۵۵	۱-۷-۳- سایر تحقیقات انجام شده بر روی عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه
۵۸	۲-۳- سایر تحقیقات انجام شده بر روی اسکله شمع و عرشه
۶۱	فصل چهارم
۶۲	۱-۴- ضعف عملکرد اسکله ها در زلزله های گذشته و اهمیت موضوع
۶۲	۱-۱-۴- زلزله آلاسکا
۶۳	۱-۲-۴- زلزله لوماپریتا
۶۴	۲-۴- دستورالعمل ها، آیین نامه ها، استانداردها و مراجع مورد استفاده

۶۴	۳-۴- مبانی راهنمای طرح لرزه ای در شرایط فعلی
۶۶	۴-۴- روش های تحلیل سازه های ساحلی
۶۷	۴-۴-۱- روش های تحلیل لرزه ای سازه های متکی به شمع
۶۷	۴-۴-۱-۱- روش های شبه استاتیکی برای تحلیل سازه های متکی به شمع
۶۸	۴-۴-۱-۲- روش های شبه دینامیکی برای تحلیل سازه های متکی به شمع
۶۸	۴-۴-۱-۳- تحلیل دینامیکی برای سازه های متکی به شمع
۶۹	۴-۴-۲- متغیر های ورودی و نتایج خروجی روش های تحلیلی
۷۱	۴-۵- روش های تحلیل پاسخ لرزه ای اسکله های شمع و عرشه
۷۱	۴-۵-۱- روش الف : روش مود اول معادل
۷۲	۴-۵-۱-۱- روش تجربی
۷۳	۴-۵-۱-۲- روش استاتیکی معادل
۷۵	۴-۵-۲- روش ب : روش طیفی
۷۵	۴-۵-۳- روش ج : روش Pushorver
۷۷	۴-۵-۴- روش د: روش تحلیل دینامیکی غیر خطی
۷۸	۴-۵-۴-۱- تحلیل تاریخچه زمانی مودال
۸۳	فصل پنجم
۸۴	۵-۱- مدل سازی اسکله بندر شیف در نرم افزار SAP2000
۸۵	۵-۱-۱- مشخصات اسکله
۸۶	۵-۱-۲- بارهای وارده براسکله
۸۸	۵-۱-۳- مدل سازی در نرم افزار
۸۹	۵-۱-۳-۱- تعیین طول گیرداری
۹۰	۵-۱-۳-۲- جرم اضافی
۹۰	۵-۲- مدل سازی اسکله شمع و عرشه کاتانیا ایتالیا

۹۲	۳-۵- مدل سازی سایر اسکله های فرضی
۹۵	۴-۵- بررسی نتایج تحلیل استاتیکی و طیفی
۹۷	فصل ششم
۹۸	۱-۶- نتیجه گیری
۹۸	۱-۱-۶- نتیجه گیری از مدل سازی به روش طول گیر داری
۹۸	۲-۶- پیشنهاد جهت تحقیق آینده
۱۰۱	پیوست ۱
۱۰۲	پ-۱- انجام آنالیز تاریخچه زمانی بر روی مدل ها
۱۰۲	پ-۱-۱- شتاب نگاشت های مورد استفاده شده
۱۰۷	پ-۱-۱- معرفی شتاب نگاشت های انتخاب شده برای هر مدل
۱۰۸	پ-۱-۲- مقایسه ی نتایج
۱۱۱	پ-۱-۳- مقایسه نتایج تحلیل استاتیکی با تحلیل های تاریخچه زمانی صورت گرفته
۱۱۷	مراجع

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۱): مدل یک اسکله شمع و عرشه موازی ساحل به همراه جراثقال و محیط های خاک و بستر دریا ۴
- شکل (۱-۲): سازه ی فراساحلی ۹
- شکل (۲-۲): سازه های ساحلی ۹
- شکل (۳-۲): نمونه ای از دیوار های بلوکی با بلوک های تو خالی ۱۰
- شکل (۴-۲): نمونه ای از دیوار های بلوکی ۱۱
- شکل (۵-۲): نمونه ای از دیوار های پیش ساخته با بتن مسلح ۱۲
- شکل (۶-۲): نمونه ای از دیوار های صندوقه ای بتنی ۱۲
- شکل (۷-۲): نمونه ای از دیوارهای سپری محفظه ای ۱۳
- شکل (۸-۲): نمونه ای از دیوارهای سپری فولادی دو دیواره ۱۴
- شکل (۹-۲): نمونه ای از اسکله سپری مهار شده ۱۵
- شکل (۱۰-۲): نمونه ای از اسکله های سپری طره ۱۶
- شکل (۱۱-۲): نمونه ای از اسکله های دیوار تکی با عرشه تقویت کننده ۱۶
- شکل (۱۲-۲): نمونه ای از سپر های فولادی ۱۷
- شکل (۱۳-۲): نمونه ای از دیوارهای سپری بتنی پیش ساخته ۱۸
- شکل (۱۴-۲): نمونه ای از مقاطع دیوار های دیافراگم بتنی ۱۹
- شکل (۱۵-۲): نمایی از یک Pier ۲۰
- شکل (۱۶-۲): نمونه ای از یک Wharf ۲۰
- شکل (۱۷-۲): مقطع اسکله شمع و عرشه عمود بر ساحل ۲۰
- شکل (۱۸-۲): مقطع اسکله شمع و عرشه موازی ساحل ۲۰
- شکل (۱۹-۲): دلفین ۲۱

- شکل (۲-۲۰): دلفین تک شمع ۲۲
- شکل (۲-۲۱): دلفین با شمع مایل ۲۲
- شکل (۲-۲۲): اسکله شناور ۲۲
- شکل (۲-۲۳): عرشه و تیرهای آن ۲۴
- شکل (۲-۲۴): انواع شمع ها ۲۴
- شکل (۲-۲۵): فندر ۲۵
- شکل (۲-۲۶): بولارد ۲۶
- شکل (۲-۲۷): نمونه هایی از جراثقال ۲۷
- شکل (۲-۲۸): مقطع انواع اسکله های شمع و عرشه موازی ساحل ۲۸
- شکل (۲-۲۹): مقطع یک اسکله شمع و عرشه ۳۵
- شکل (۳-۱): مفهوم روش وینکلر ۴۶
- شکل (۳-۲): منحنی های $p-y$ برای ماسه ۴۹
- شکل (۳-۳): آسیب شمع های کوتاه سمت ساحل در زلزله سوماترا ۲۰۰۴ ۵۷
- شکل (۳-۴): مراحل تحقیق مک کالوف و همکاران، الف: ساخت مدل اسکله، ب: نصب اسکله در محیط آبی و خاکی، ج: مقطع شمع به همراه شیب بستر و تفاوت در طول شمع ها، د: اسکله مدل شده در نرم افزار FLACK2D ۵۸
- شکل (۴-۱): نمونه هایی از خرابی شمع های مایل در اثر زلزله لوما ۶۳
- شکل (۴-۲): مدل سیستم شمع و عرشه یک اسکله ۷۲
- شکل (۴-۳): استخراج طیف طرح از طیف بازتاب ۷۵
- شکل (۴-۴): تحلیل بار افزون یک اسکله شمعی ۷۶
- شکل (۴-۸): توصیف گرافیکی تحلیل تاریخچه پاسخ مودی سیستم چند درجه آزادی ۸۱

- ۸۴ شکل (۱-۵): موقعیت بندر شیف
- ۸۵ شکل (۲-۵): آلودگی سواحل بندر شیف و عدم وجود اسکله
- ۸۶ شکل (۳-۵): پلان اسکله شیف
- ۸۷ شکل (۴-۵): طیف بازتاب معرفی شده به نرم افزار
- ۸۸ شکل (۵-۵): نمای اسکله شماره ۱ مدل شده در نرم افزار
- ۹۰ شکل (۶-۵): بندر کاتانیا
- ۹۱ شکل (۷-۵): پلان تیر ریزی اسکله شمع و عرشه کاتانیا
- ۱۰۵ شکل (پ-۱): قسمت مربوط به فیلتر کردن شتاب نگاشت در پایگاه PEER
- ۱۰۹ شکل (پ-۲): مکان شمع ها و تیر

فهرست جدول ها

۲۳	جدول (۱-۲): مزایا و معایب انواع اسکله ها
۲۹	جدول (۲-۲): جمع بندی مودهای گسیختگی در اعضای مختلف اسکله
۳۰	جدول (۳-۲) مودهای گسیختگی مربوط به شمع مایل و عوامل ایجاد آن ها
۳۳	جدول (۴-۲): مقادیر نمونه برای n_H
۳۵	جدول (۵-۲): مقدار تقریبی ضریب عکس العمل بستر برای خاک های مختلف
۴۰	جدول (۶-۲): ترکیب بار طراحی فلزی
۴۰	جدول (۷-۲): ترکیب بار طراحی بتنی
۵۳	جدول (۱-۳): نمونه هایی از آزمایشات روی شمع
۶۶	جدول (۱-۴): روش های تحلیل لرزه ای سازه های بندری و اسکله
۶۷	جدول (۲-۴): روشهای تحلیلی و مراجع
۷۰	جدول (۳-۴): متغیر های ورودی مهم
۷۰	جدول (۴-۴): خروجی های تحلیل
۷۳	جدول (۵-۴): مقدار شتاب مبنای طرح بر اساس منطقه
۷۴	جدول (۶-۴): ضریب اهمیت اسکله
۹۲	جدول (۱-۵): مشخصات اسکله کاتانیا
۹۳	جدول (۲-۵): مشخصات اسکله های فرضی
۹۵	جدول (۳-۵): برش پایه بدست آمده برای اسکله های مختلف

- ۱۰۳ جدول (پ-۱): مشخصات شتاب نگاشت های ابتدایی
- ۱۰۴ جدول (پ-۲): نیروی برشی بدست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی اولیه
- ۱۰۵ جدول (پ-۳): مشخصات ده شتاب نگاشت پایان نامه شفیع زاده
- ۱۰۶ جدول (پ-۴): نام گذاری شتاب نگاشت ها
- ۱۰۷ جدول (پ-۵): نیروهای بدست آمده برای مدل ۱
- ۱۰۸ جدول (پ-۶): شتاب نگاشت های انتخابی برای هر مدل
- ۱۱۲ جدول (پ-۷): خروجی نتایج تحلیل استاتیکی تحلیل های تاریخچه زمانی

فصل اول : مقدمه

۱-۱- طرح موضوع و اهمیت بحث

کشور عزیزمان ایران دارای بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر مرز آبی می باشد. این ویژگی استثنایی امکان تجارت دریایی که از ارزان ترین انواع تجارت به شمار می آید را به راحتی برای ما فراهم کرده است. از این رو سواحل و بنادر^۱ و تجهیزات آن ها به عنوان لازمه و اساس تجارت دریایی، اهمیت بنادر را دو چندان کرده است. از مهم ترین بخش های یک بندر، اسکله^۲ ها می باشند که جهت مصارف بازرگانی، نفتی، صیادی، تفریحی و ... ارتباط دریا و خشکی را فراهم می کنند.

اسکله ها بخش مهمی از شبکه های حمل و نقل را تشکیل می دهند که تاثیر بسزایی در اقتصاد کشور دارند. خارج شدن حتی بخشی از این امکانات زیر بنایی از سرویس دهی می تواند تاثیر جدی بر حمل و نقل مسافری و باری داشته باشد. گاهی بنادر و اسکله ها به عنوان گلوگاه حیاتی- اقتصادی کشور عمل می کنند. در کشور ما با توجه به روند توسعه ی اقتصادی کنونی، گسترش بنادر و احداث اسکله ها و سازه های دریایی در سال های اخیر شتاب قابل توجهی گرفته است. این امر در سواحل جنوبی و شمالی کشور چه با اهداف پایانه های بار و مسافر و چه به صورت تاسیسات صنایع نفت و گاز در حال انجام می باشد.

با توجه به خطر بالای لرزه خیزی کشور عزیزمان و امکان وقوع زلزله های مخرب در مناطق شمالی و جنوبی و همچنین آسیب دیدن سازه های ساحلی و اسکله ها در زلزله های اخیر در جهان، ضرورت طراحی مناسب لرزه ای سازه های مذکور بیش از پیش عیان گردیده است. ضروری است طراحی این سازه ها در برابر بارهای ناشی از زلزله به درستی انجام گیرد.

در حال حاضر با توجه به خرابی های سازه های ساحلی در برابر زلزله های سهمگین اخیر، تلاش بسیار زیادی در سطح بین المللی در خصوص ارائه استاندارد ها و دستورالعمل های طراحی صورت می گیرد و با این

¹ Ports

² Berth or Quay

حال با توجه به پیچیدگی رفتاری این سازه ها در برابر زلزله و تفاوت رفتار آن ها در مقایسه با سازه های معمولی، دستورالعمل های موجود علیرغم تغییرات بسیار اساسی در چندین سال اخیر هنوز راه زیادی جهت کامل شدن دارند.

در شرایط حاضر در کشورمان طراحی اسکله ها توسط شرکت های مشاوره ی دریایی صورت می پذیرد. باتوجه به تحقیقات صورت پذیرفته در مورد آنالیز های لرزه ای مورد استفاده در طراحی اسکله شمع و عرشه^۳ این نتیجه حاصل شد که در اکثر شرکت ها تنها از روش استاتیکی معادل و روش تحلیل طیفی استفاده می شود، که این روش ها از لحاظ علمی و آیین نامه ای دارای صحت و اعتبار می باشند.

هدف این تحقیق بررسی این امر می باشد، که پاسخ های لرزه ای در روش های استاتیکی و طیفی چه میزان با یکدیگر متفاوت می باشند. در این تحقیق دوازده اسکله ی متفاوت^۴ از نظر ابعاد، جنس شمع و سیستم سازه ای به روش طول گیرداری در محیط نرم افزار SAP2000 مدل سازی شدند. پس از مدل سازی و اعمال کلیه ی بارگذاری^۵ ها بر روی مدل ها، آنالیز لرزه ای طیفی و استاتیکی انجام پذیرفت.

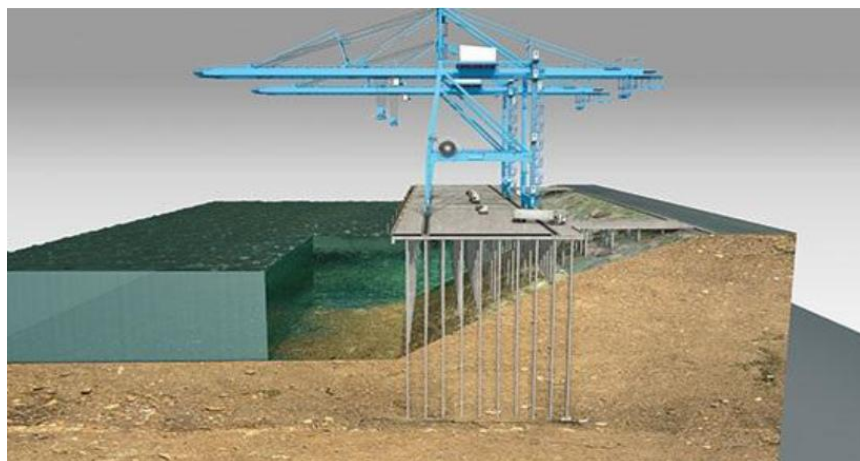
در این پژوهش نیروهای برشی ناشی از آنالیز های لرزه ای متفاوت در سه شمع متفاوت در هر اسکله با یکدیگر مقایسه شده است.

جهت درک بهتر موضوع در شکل (۱-۱) مدل یک اسکله شمع و عرشه موازی ساحل به همراه جراثقال آن که برای جابجایی کالاها مورد استفاده قرار می گیرد و هم چنین محیط های اطراف آن شامل خاک بستر و آب دریا نشان داده شده است.

^۳ Deck and Pile Berth

^۴ این دوازده اسکله طی فرایندی با استفاده از مدل های واقعی و آیین نامه های طراحی بنادر و سازه های دریایی انتخاب شده است که در فصل ۵ به تفصیل به آن اشاره شده است.

^۵ بارگذاری مدل ها به صورت کامل در فصل پنجم بیان شده است.



شکل (۱-۱): مدل یک اسکله شمع و عرشه موازی ساحل به همراه جراثقال و محیط های خاک و بستر دریا

۱-۲- ساختار پایان نامه

در نگارش پایان نامه سعی بر این شده است که از بیشتر منابع مرتبط با موضوع استفاده شود. جهت مرور ادبیات فنی و آشنایی با کار های گذشته، از پایان نامه های داخلی و خارجی در دسترس که از لحاظ علمی هم قابل قبول هستند استفاده حد اکثر شده است. در ذیل ترتیب فصول آمده است.

در فصل دوم ابتدا به معرفی انواع سازه های دریایی پرداخته شده است. سپس به معرفی سازه های پهلوگیری یا همان اسکله ها پرداخته شده است. در ادامه اجزای اسکله ی شمع و عرشه معرفی شده است. در ادامه سیستم سازه ای اسکله شمع و عرشه، روش های مدل سازی اسکله شمع و عرشه، بارهای وارده بر اسکله شمع و عرشه، ترکیب بارهای پیشنهادی جهت طراحی این نوع اسکله و در آخر آیین نامه های معتبر دریایی و نرم افزار های موجود برای طراحی این نوع سازه دریایی معرفی شده است.

در فصل سوم به مروری بر کارهای گذشته در مورد عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه و سایر تحقیقات انجام شده پیرامون اسکله شمع و عرشه پرداخته شده است.

به دلیل اهمیت نیروی زلزله و این که آنالیز این نیرو از موضوعات اصلی این تحقیق می باشد، فصل چهارم به معرفی روش های آنالیز لرزه ای در اسکله و بررسی این موضوع در آیین نامه های دریایی پرداخته شده است.

در فصل پنجم مدل سازی اسکله به روش طول گیرداری انجام شده است. ابتدا چندین اسکله شمع و عرشه به روش طول گیرداری در نرم افزار SAP2000 مدل سازی شده است. که از میان آن ها می توان به اسکله ی شمع و عرشه ی بندر شیخ، اسکله شمع و عرشه کاتانیای جزیره ی سیسیل ایتالیا و همچنین ۱۰ اسکله فرضی دیگر نام برد. بار گذاری به طور کامل و با در نظر گرفتن همه ی بار مرده، بار زنده، زلزله و ... انجام شده و سپس بر روی مدل های ساخته شده تحلیل استاتیکی و شبه دینامیکی انجام شده است. در ادامه فصل نتایج و خروجی های بدست آمده توسط نرم افزار برای مدل های مختلف با هم مقایسه شده است. که از آن ها می توان به نیروی برشی ناشی از تحلیل لرزه ای در چندین شمع در هر اسکله را نام برد.

در فصل ششم نتایج کلی از پایان نامه و پیشنهادهایی جهت تحقیقات آینده ارائه شده است.

فصل دوم : آشنایی با اسکله ها

همان گونه که قبلا اشاره شد موضوع این تحقیق بررسی روش های متداول تحلیل لرزه ای برای سازه اسکله شمع و عرشه می باشد. اسکله ها یکی از مهم ترین ارکان در بخش حمل و نقل دریایی می باشند به صورتی که می توان گفت که در صورت عدم وجود این سازه در سازه های دریایی، موضوع بارگیری جهت ترانزیت کالا و هم چنین بحث جابجایی مسافران شناورهای دریایی امکان پذیر نمی باشد. این فعالیت های مذکور به فضایی نیازمند است که محیط دریا را به محیط خشکی متصل نماید؛ که این کار توسط اسکله ها انجام می پذیرد.

در این فصل ابتدا به معرفی انواع سازه های دریایی پرداخته شده است. سپس به معرفی سازه های پهلوگیری یا همان اسکله ها پرداخته شده است. در ادامه اجزای اسکله ی شمع و عرشه معرفی شده است. سپس سیستم سازه ای اسکله شمع و عرشه، روش های مدل سازی اسکله شمع و عرشه، بارهای وارده بر اسکله شمع و عرشه، ترکیب بارهای پیشنهادی جهت طراحی این نوع اسکله و در آخر آیین نامه های معتبر دریایی و نرم افزار های موجود برای طراحی این نوع سازه دریایی معرفی شده است.

۲-۱- انواع سازه های دریایی

سازه های دریایی برحسب فاصله ای که از ساحل دارند، به دو دسته ی سازه های ساحلی^۶ مانند اسکله ها و موج شکن ها و سازه های فراساحلی^۷ مانند سکوها^۸ تقسیم می شوند. در شکل های (۲-۱) و (۲-۲) نمایی از سازه های فراساحلی و ساحلی مشاهده می شود.

^۶ Onshore

^۷ Offshore

^۸ Platform



شکل (۲-۲): سازه های ساحلی



شکل (۱-۲): سازه ی فراساحلی

۲-۲- سازه های پهلوگیری

بنادر یکی از گلوگاه های مهم اقتصادی، نظامی و سیاسی محسوب می شوند. یکی از مهم ترین قسمت های بنادر ، سازه های پهلو گیری و مهار بندی شناور ها یا همان اسکله ها هستند که برای مصارف اختصاصی برای تخلیه و بار گیری کالا های خاص مانند نفت، ذغال سنگ، سنگ معدن، غلات و ... استفاده می شود.

۱-۲-۲- انواع اسکله ها از نظر نوع سازه

- اسکله های بسته^۹
- اسکله های باز^{۱۰}
- اسکله های شناور^{۱۱}

۱-۱-۲-۲- اسکله های بسته

اسکله های بسته دارای جسم ثقیلی هستند و عمدتاً در زمین های خوب و با مقاومت مناسب ساخته می شوند. این نوع اسکله ها به دو دسته کلی تقسیم می شوند.

- اسکله های وزنی

⁹ Closed Wharf

¹⁰ Open Wharf

¹¹ Floating Wharf

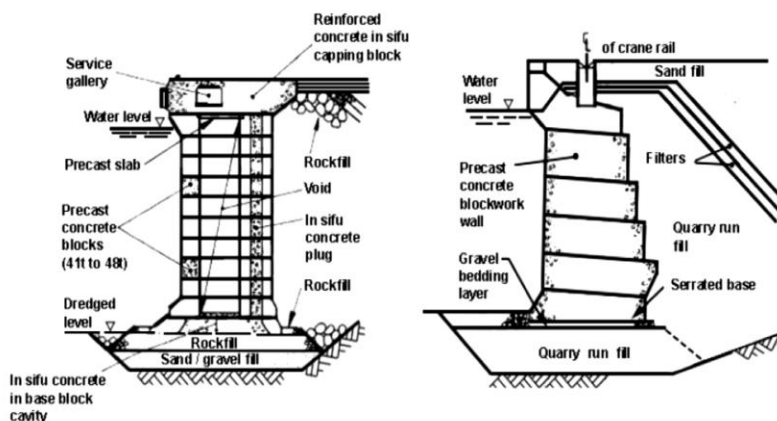
• اسکله های سپری یا دیواره ای

۱-۱-۱-۲-۲- اسکله های وزنی

اسکله های وزنی با استفاده از وزن خود در برابر بارهای ثقلی و جانبی مقاومت می کنند. این نوع اسکله ها عمدتاً در محیط های آبی آرام و قسمت هایی که بستر دریا از استحکام کافی برخوردار باشد و در مقابل وزن اسکله و بارهای وارده نشست نکند، به طور کلی دیوارهای وزنی را می توان به چند دسته ی کلی تقسیم نمود:

۱-۱-۱-۱-۲-۲- اسکله های بلوک بتنی (Concrete Block Work Walls)

در این نوع اسکله های وزنی، یک سری بلوک های بتنی پیش ساخته به محل ساخت اسکله منتقل و در محل مورد نظر بر روی بستر آماده شده دریا قرار گرفته و تا تراز طراحی روی هم قرار می گیرند. در مرحله بعد قسمت فوقانی دیوار ساحلی به صورت بتن درجا روی قطعات پیش ساخته اجرا می شود. اندازه و ابعاد این بلوک ها چنان انتخاب می شود که در ساخت گاه از نظر دسترسی و قابلیت انجام عملیات اجرایی مشکل ساز نباشد. معمولاً کمترین وزن این قطعات برابر ۱۵ تن است. قطعات سنگین تر و بزرگتر معمولاً در طرح های بزرگ، اقتصادی تر هستند [۱]. در اشکال (۲-۳) و (۲-۴) نمونه ای از این نوع اسکله را مشاهده می کنید.



شکل (۲-۳): نمونه ای از دیوارهای بلوکی با بلوک های تو خالی و مقداری بتن ریزی درجا برای زمین نسبتاً ضعیف [۱]

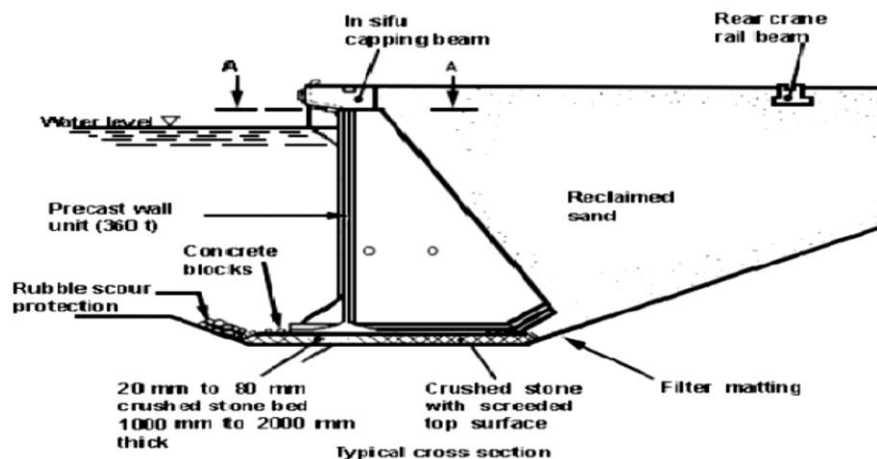


شکل (۲-۴) نمونه ای از دیوارهای بلوکی [۲]

۲-۲-۱-۱-۱-۲-۲- دیوارهای بتنی پیش ساخته

دیوارهای بتنی پیش ساخته ممکن است به صورت وزنی یا طره ای و پشت بند دار باشند. البته دیوارهای طره ای و پشت بند دار از نوع مسلح هستند و وزنی محسوب نمی شوند ولی در همین بخش به آن ها پرداخته می شود.

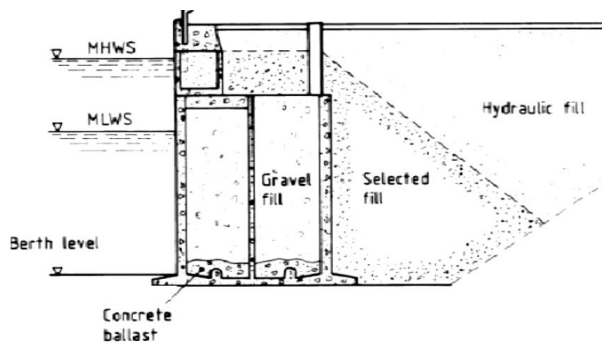
در مقایسه با دیگر سازه های وزنی این دیوارهای وزنی و پشت بند دار حجم بتن ریزی کمتری نیاز دارند ولی حجم آرماتور بندی و کارهای فولادی آن ها بالا می باشد. به همین دلیل تدابیری برای خوردگی باید اتخاذ شود. مصالح پشت دیوار باید از نوع مصالح دانه ای و سنگ ریزه ای بوده و حداکثر اندازه ی سنگ مصالح پشت دیوار با توجه به بارهایی که به خاک پشت دیوار اعمال می شود تعیین می گردد. در تراز فوقانی دیواره، تیره سرپوش به صورت بتن درجا اجرا می شود و درزهای اجرایی در دیوار وزنی در فواصلی حداقل ۳۰ متر تامین می گردد (شکل (۲-۵)) [۱].



شکل (۲-۵): نمونه ای از دیوارهای پیش ساخته با بتن مسلح [۱]

۲-۲-۱-۱-۱-۳- صندوقه های بتنی (Caisson)

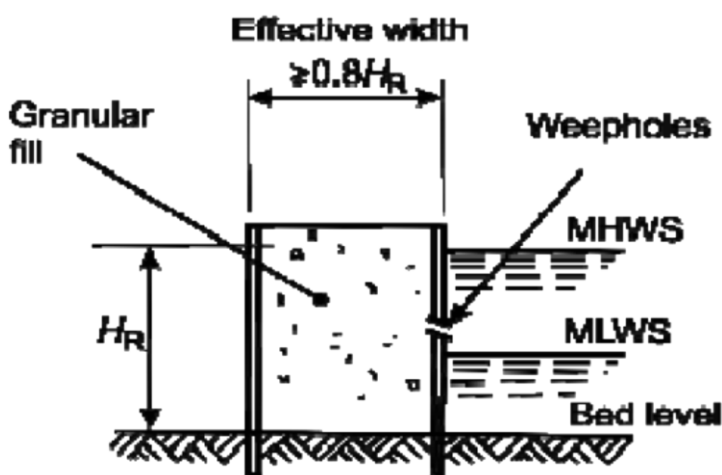
صندوقه های بتنی از محفظه هایی تشکیل شده اند که سر آنها باز بوده و در خشکی عملیات آرماتوربندی، قالب بندی و بتن ریزی آنها انجام می شوند و پس از آن به دریا منتقل شده و در محل قرار گیری غرق میشوند. معمولاً درون سلول ها توخالی با مصالحی شبیه شن پر می شود. روی این دیواره های وزنی معمولاً از نوعی بتن در جا می باشد که نمونه ای از آن در شکل (۲-۶) نشان داده شده است. در صورتی که موج شکن ها از نوع دیوارهای صندوقه ای اجرا شوند می توانند به عنوان اسکله های پهلوگیری نیز کاربرد داشته باشند. معمولاً صندوقه های بزرگ باید به کمک دیواره های داخلی تقویت شوند [۱] و [۳].



شکل (۲-۶): نمونه ای از دیوارهای صندوقه ای بتنی [۱]

۲-۲-۱-۱-۱-۴- دیوارهای سپری سلولی (محفظه ای) (Cellular Sheet-piled Structure)

این نوع دیوارهای وزنی که در شکل (۷-۲) مشاهده می شوند، از محفظه هایی تشکیل شده اند که معمولاً با استفاده از سپرهای فولادی به وجود می آیند. سپرها در مسیر مورد نظر کوبیده می شوند تا محفظه های مورد نظر ایجاد گردند. معمولاً درون این محفظه ها با مصالح دانه ای پر شده و قسمت فوقانی این نوع اسکله ها به صورت بتن درجا اجرا می شود. البته می توان به جای این تیر سرپوش^{۱۲} که به صورت درجا اجرا می شود از یک دیوار حائل بتنی که در پشت آن مصالح دانه ای تا بالای سطح قرار می گیرند استفاده کرد. معمولاً این نوع سازه های وزنی هم برای پهلوگیری شناورها و هم به عنوان اسکله دیوار ساحلی و هم به عنوان اسکله عمود بر ساحل مورد استفاده قرار می گیرند. معمولاً این دیوارهای وزنی به دو صورت مدور^{۱۳} و یا دیافراگمی^{۱۴} اجرا می شوند [۱].



شکل (۷-۲): نمونه ای از دیوارهای سپری محفظه ای [۱]

۲-۲-۱-۱-۵- دیوارهای سپری فولادی دو دیواره (Double-Wall Sheet-piled Walls)

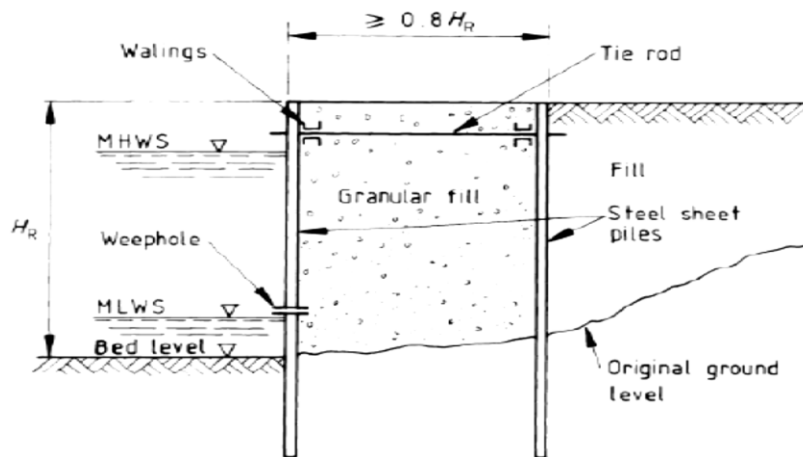
این نوع سازه های وزنی از دو ردیف سپر فولادی موازی هم تشکیل شده است که توسط میله های مهاری درون ترازهای بالایی دیوار به هم متصل می شوند و بین آنها با مصالح پرکننده پر می شود. معمولاً این

¹² Capping Beam

¹³ Circular type

¹⁴ Diaphragm type

نوع دیوارهای سپری دو دیواره علاوه بر اسکله پهلوگیری موازی ساحل به عنوان اسکله عمود بر ساحل هم مورد استفاده قرار می گیرند [۱]. در شکل (۸-۲) مقطعی از این دیوار مشاهده می شود.



شکل (۸-۲): نمونه ای از دیوارهای سپری فولادی دو دیواره [۱]

۲-۲-۱-۱-۲-۲- اسکله های سپری

اسکله های سپری را عموماً می توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱. اسکله های سپری مهار شده (دارای یک دیواره)
۲. اسکله های سپری طره ای (بدون مهار)
۳. اسکله های دیوار تکی با عرشه تقویت کننده

معمولاً از عناصر مختلفی برای ساخت دیواره استفاده می شود که در زیر به آن ها اشاره می شود:

- سپر های فولادی
- شمع های بتنی در کنار یکدیگر
- دیوارهای بتنی جدا کننده در جا
- دیوارهای ترکیب سپر و شمع

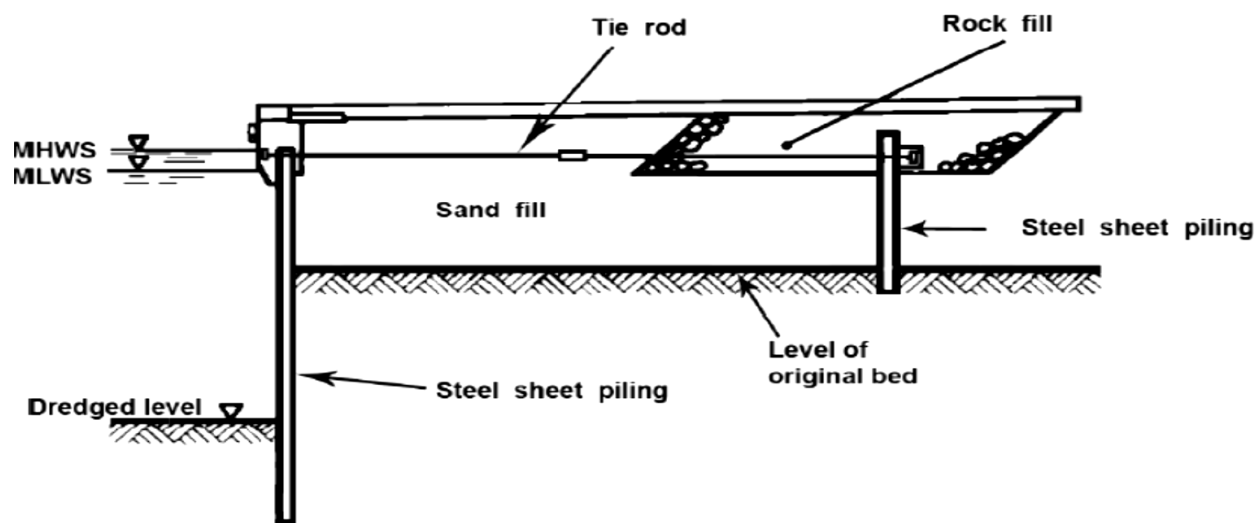
عملکرد دیواره ها و سپر ها در انتقال بار پشت دیوار از طریق ممان اینرسی مقطع دیوار و تبدیل بارهای وارده به لنگر صورت می گیرد. به همین دلیل پایداری کلی سازه در برابر بارهای وارده چه از نظر

سازه ای و چه از نظر پایداری کلی دیوار مد نظر است. استفاده از دیوارهای سپری می تواند هم به عنوان اسکله و هم به عنوان جدا کننده باشد. [۴]

۱-۲-۱-۱-۲-۲- انواع اسکله های سپری از نظر سیستم سازه ای

۱-۱-۲-۱-۱-۲-۲- اسکله های سپری تکی مهار شده (Anchored Single Walls)

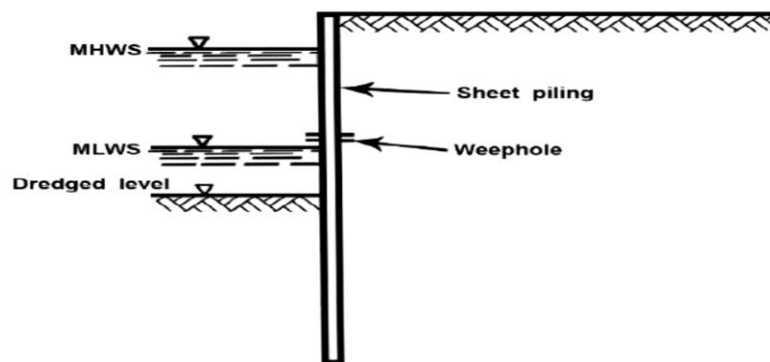
در این نوع دیوارها مقاومت در برابر نیروهای ناپایدار کننده و خصوصا فشار محرک خاک پشت دیوار از طریق مقاومت خمشی دیوار تامین می گردد. این نوع دیوارها از طریق اجزایی که درون خاک به فاصله مناسبی از دیوار قرار گرفته اند در یک یا دو تراز مهار می شوند. در شکل (۹-۲) نمونه ای از اسکله های سپری مهار شده نشان داده شده است. هر اسکله سپری معمولا دارای سه جزء اصلی سپر (دیواره اصلی)، مهار (دیواره مقاوم درون خاک) و میل مهار (رابط سپر و مهار) است. معمولا محل قرار گیری المان های مهار در تراز حداکثر سطح آب و یا بالاتر می باشد. دلیل این امر مشکل بودن اجرای المان های مهار در زیر تراز مذکور است. هرچه میل مهار در تراز بالاتری مهار گردد معمولا اجرای آن راحت تر است ولی تاثیر میل مهار کمتر می شود [۱] و [۳].



شکل (۹-۲) نمونه ای از اسکله سپری مهار شده [۱]

۲-۲-۱-۱-۱-۲-۲- اسکله های سپری طره ای (Cantilevered Single Walls)

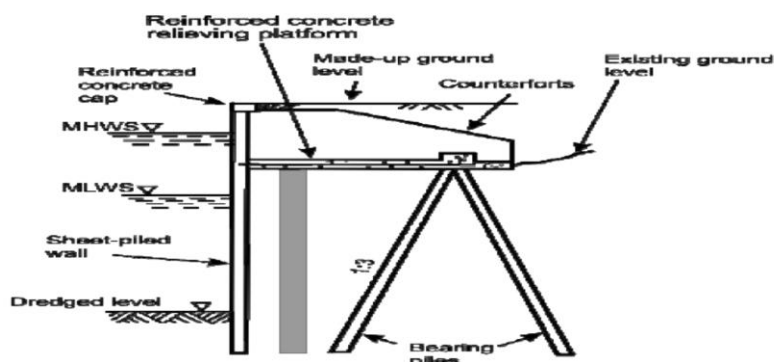
معمولا زمانی که ارتفاع خاک پشت دیوار تا تراز لای رومی خیلی کم (حداکثر ۵ متر) باشد از این نوع اسکله استفاده می شود. مهم ترین مزیت این نوع از دیوارها نسبت به نوع مهار شده را می توان عدم نیاز به اجرای میل مهار ذکر کرد. به دلیل تغییر شکل زیاد خاک برای بسیج شدن فشار غیر فعال خاک در جلوی دیوار، این سازه ها خصوصا در تراز های بالایی تغییر شکل های بزرگی را تجربه می کنند. در شکل (۲-۱۰) نمونه ای از این سپر ها نشان داده شده است [۱] و [۳].



شکل (۲-۱۰): نمونه ای از اسکله های سپری طره ای [۱]

۲-۲-۱-۱-۲-۳- اسکله های دیوار تکی با عرشه تقویت کننده (Single walls with Relieving Platform)

در این نوع دیوارها عرشه تقویت کننده در پشت دیوار سپری بر روی خاک موجود در محل شمع ساخته می شود. در حقیقت این نوع عرشه که معمولا بر روی شمع استوار است برای انتقال سربار پشت اسکله به زمین از طریق شمع ها مورد استفاده قرار می گیرد. در این نوع دیوارها، نیروی قائم توسط شمع ها و همین طور خود دیوار سپری تحمل می شود در حالی که شمع های مایل در حقیقت نوعی مهار برای دیوار سپری اصلی فراهم می آورند. هم چنین نیروی ناشی از برکنش (Uplift) نیز در اثر وزن سازه عرشه تا حد زیادی کاهش بار قائم وارد بر سیستم سازه ای دیوار سپری و شمع ها می توان از عرشه های بتنی توخالی استفاده کرد [۱].



شکل (۲-۱۱): نمونه ای از اسکله های دیوار تکی با عرشه تقویت کننده [۱]

۲-۲-۱-۱-۲-۲- انواع دیوار های سپری از نظر نوع اجرا و نوع ساخت دیوار

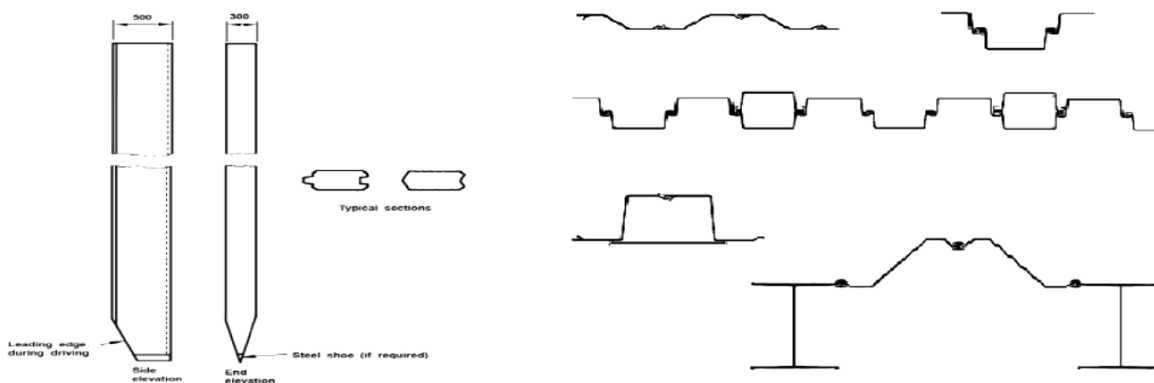
۲-۲-۱-۱-۲-۲- دیوارهای سپری بتنی پیش ساخته

از این نوع دیوارها برای ساختن دیوارهای با ارتفاع متوسط در خاک هایی که امکان فروردن این المان ها در خاک وجود دارد استفاده می شود. این فرورفت را می توان به کمک پیش حفاری و یا جت آب آسان تر نمود. مهم ترین مزیت این دیوارهای بتنی، دوام و کیفیت مناسب مصالح آن ها به دلیل پیش ساخته بودن می باشد. هم چنین با توجه به این که این دیوارها برای باربری نیروهای قائم مورد استفاده قرار می گیرند، کشش بوجود آمده ناشی از لنگر نیروهای ناپایدار کننده وارد بر آن نیز تا اندازه ی زیادی کاهش یافته و جبران می شود.

۲-۲-۱-۱-۲-۲- دیوارهای سپری فولادی

این دیوار ها که در شکل های (۲-۱۲) و (۲-۱۳) مشاهده می شوند، از ورق های فولادی تشکیل شده- اند که به صورت گسترده ای در اسکله ها مورد استفاده قرار می گیرند. وزن این قطعات سبک بوده و به راحتی می توان آن ها را جابجا نمود. این نوع سپری های فولادی تا عمق زیادی می توانند کوبیده شوند. به همین دلیل در محدوده وسیعی از انواع خاک ها و همین طور در بسترهای سنگی سست و هوازده در صورت رعایت نکات طراحی و اجرایی می توان از این مقاطع استفاده کرد. از مهم ترین مشکلات این مقاطع مشکل خوردگی آن ها در محیط های خورنده دریایی است که باید در طراحی مقطع حتما لحاظ گردد. متداول ترین مقاطع فولادی موجود مورد استفاده در این رابطه سپرهای فولادی و مقاطع U و Z هستند که می توانند در حالات مختلف

مطابق با شکل (۲-۱۲) با هم ترکیب شوند. هم چنین برای بالا بردن ظرفیت خمشی این مقاطع می توان از ورق های تقویتی که به بال یا جان مقاطع موجود جوش می شوند استفاده کرد [۱].



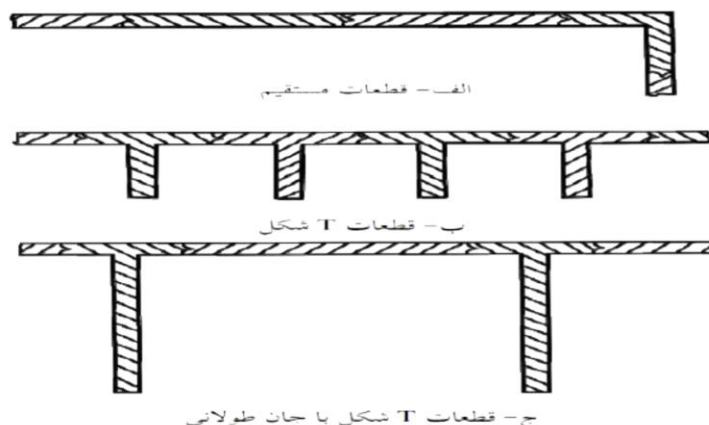
شکل (۲-۱۳): نمونه ای از دیوارهای سپری بتنی پیش ساخته

شکل (۲-۱۲): نمونه ای از سپر های فولادی

۲-۲-۱-۱-۲-۲- دیوارهای جدا کننده

این نوع دیوارها در محدوده ی وسیعی از خاک ها می توانند اجرا شوند. هر چند بهتر است در مواردی که لایه های آرتزین در محل وجود داشته باشد از این نوع گزینه استفاده نشود. این نوع دیوارهای بتنی درجا در مواردی که ارتفاع دیوار زیاد و هم چنین سربار قائم نسبت به فشار های محرک وارد بر دیوار زیاد است، استفاده می شود.

در شکل (۲-۱۴) نمونه هایی از مقطع متداول این نوع دیوارهای دیافراگمی ارائه گردیده است. معمولا دیوارهای دیافراگمی با مقاطع ساده و مستقیم با ضخامت ۰.۵ تا ۱.۵ متر اجرا می شوند. برای بالا بردن ممان اینرسی مقطع و افزایش باربری از مقاطع T شکل برای پانل های میانی و مقاطع L شکل برای پانل هایی که در گوشه دیوار قرار می گیرند استفاده می شود. طول متداول هر یک از پانل ها بین ۴.۵ تا ۵ متر است گرچه محدوده حداقل و حداکثر طول این پانل ها ۲ تا ۱۰ متر می باشد.



شکل (۲-۱۴): نمونه ای از مقاطع دیوارهای دیافراگم بتنی [۱]

۲-۲-۱-۲-۲ اسکله های باز

اسکله های باز متکی بر شمع ها می باشند و آب در زیر آن ها جریان دارد. متداول ترین نوع اسکله های باز، اسکله های شمع و عرشه و دلفین ها هستند.

۲-۲-۱-۲-۲-۱ اسکله های شمع و عرشه^{۱۵}

در اسکله های شمع و عرشه بارهای قائم و جانبی از طریق شمع هایی که درون خاک تا عمق زیادی فرورفته اند به خاک منتقل می شوند. میزان شکل پذیری این سازه ها به نوع مصالح، وضعیت لایه های خاک بستر و نوع اسکلت بندی و سیستم سازه ای شمع ها بستگی دارد.

اگر اسکله شمع و عرشه موازی ساحل احداث شود به آن اسکله ساحلی (Wharf) می گویند که امکان پهلوگیری شناور از یک طرف را دارند. اگر اسکله عمود بر ساحل باشد به آن اسکله فراساحلی گفته می شود که از دو طرف امکان پهلوگیری دارند. اگر اسکله فراساحلی چسبیده به ساحل باشد به آن (Pier) و اگر دسترسی به اسکله از طریق پل میسر باشد به آن (Jetty) می گویند [۴]. در شکل (۲-۱۵) نمونه ای از یک Wharf و در شکل (۲-۱۶) نمونه ای از یک Pier مشاهده می شود.

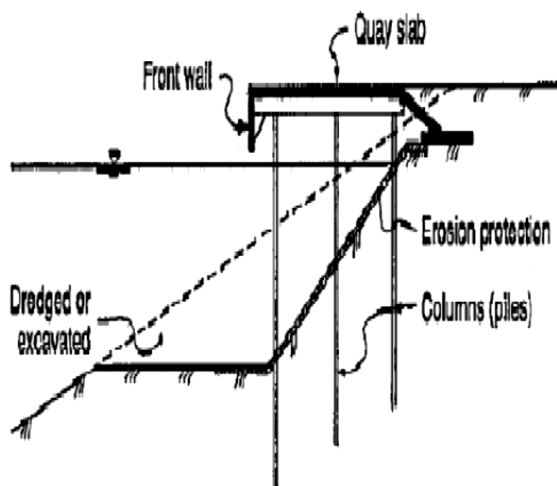
¹⁵ Deck and Pile Wharf



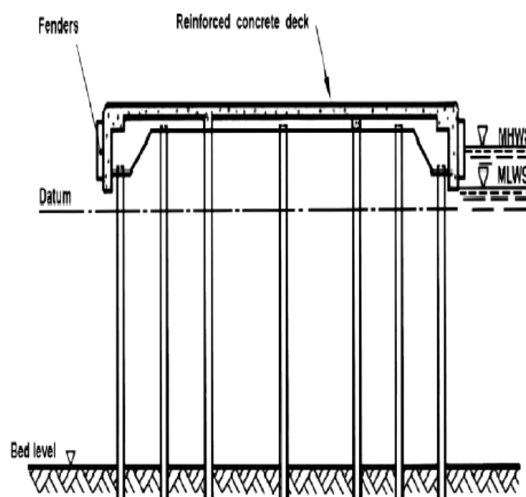
شکل (۲-۱۶): نمونه ای از یک Wharf



شکل (۲-۱۵): نمایی از یک Pier



شکل (۲-۱۸): مقطع اسکله شمع و عرشه موازی ساحل [۳]



شکل (۲-۱۷): مقطع اسکله شمع و عرشه عمود بر ساحل

۲-۲-۱-۲-۲-۲ دلفین

دلفین سازه ای است که تنها جهت پهلوگیری و مهار بندی شناور استفاده می شود. در شکل (۲-۱۹)

نمونه هایی از دلفین ها دیده می شود.



شکل (۲-۱۹): دلفین [۲]

انواع دلفین ها عبارتند از:

- دلفین تک شمع (مونوپایل) که در شکل (۲-۲۰) مشاهده می شود.
- دلفین انعطاف پذیر (فقط دارای شمع قائم)
- دلفین با شمع مایل (صلب) که در شکل (۲-۲۱) مشاهده می شود.



شکل (۲-۲۰): دلفین تک شمع



شکل (۲-۲۱): دلفین با شمع مایل

۲-۲-۱-۳- اسکله های شناور

اسکله های شناور معمولاً شامل کیسون های شناور می باشد که توسط زنجیر مهار می شوند. این نوع اسکله معمولاً در مکان هایی که تحت اثر امواج با ارتفاع کم قرار دارند استفاده می شوند. کیسون ها می توانند فلزی و یا بتنی باشند.



شکل (۲-۲۲): اسکله شناور [۲]

۲-۲-۲- عوامل و ملاحظات در انتخاب نوع اسکله

عوامل بسیار زیادی از جمله عوامل اقتصادی شامل هزینه تامین مصالح، هزینه های اجرایی، هزینه ی تامین ماشین آلات، هزینه های بهره برداری و نگه داری و هم چنین شرایط محیطی و ژئوتکنیکی محل، زمان اجرا و ... در انتخاب نوع اسکله دخالت دارند.

با نگاهی اجمالی می توان مزایا و معایب اسکله ها را در قالب جدول (۲-۱) بررسی کرد.

جدول (۱-۲): مزایا و معایب انواع اسکله ها

شرح	مورد مقایسه
با توجه به افزایش حساسیت در مقابل ضربات شناور و نیروهای وارده متناسب با افزایش لاغری، اسکله سپر مهار شده و وزنی دارای عملکرد بهتری نسبت به اسکله شمع و عرشه می باشد.	عملکرد سازه ای
با توجه به لزوم تقویت سازه ای و لایروبی مقابل اسکله در همه ی گزینه ها حساسیت نسبت به این مورد تقریبا یکسان است.	حساسیت نسبت به تغییر کاربری
مشکلاتی نظیر لزوم اجرای شمع از دریا یا لایروبی زیر عرشه در صورت اجرای شمع ها از خشکی در اسکله شمع و عرشه موجود می باشد.	هزینه های ساخت و زمان اجرا
با توجه به اینکه اسکله شمع و عرشه میزان سطح در معرض خوردگی بیشتر است نیاز به حفاظت بیشتری در قبال خوردگی نیاز دارد.	تعمیر و نگه داری

اسکله های شمع و عرشه در مقایسه با اسکله های بسته، در صورت وجود شرایط زیر، مناسب تر می باشند [۵]:

۱. مقاومت بستر دریا برای تحمل سازه های وزنی سنگین، مناسب نباشد.
۲. ظرفیت باربری لایه های فوقانی بستر دریا کم بوده و مقاومت لایه های تحتانی مناسب باشد.
۳. عمق آب زیاد باشد.
۴. نیاز به حداقل تغییرات در شرایط و وضعیت هیدرولیکی باشد.
۵. دسترسی به مصالح مناسب جهت پر کردن فضای پشت اسکله های دیواری، مشکل باشد.

۲-۳- اجزای اسکله های شمع و عرشه

مهم ترین قسمت های اسکله ی شمع و عرشه، شمع ها و عرشه ها می باشد. عرشه به صورت قالب یک پارچه، قالب بندی با تیر و یا به صورت پیش ساخته احداث می شود. شمع ها می توانند به صورت چوبی و فولادی با مقطع H شکل و لوله ای، بتنی در جاریز و یا بتنی پیش تنیده سانترفیوژ باشد. البته در مورد سازه های دریایی، شمع های بتنی بایستی که همراه با غلاف فولادی اجرا شود.

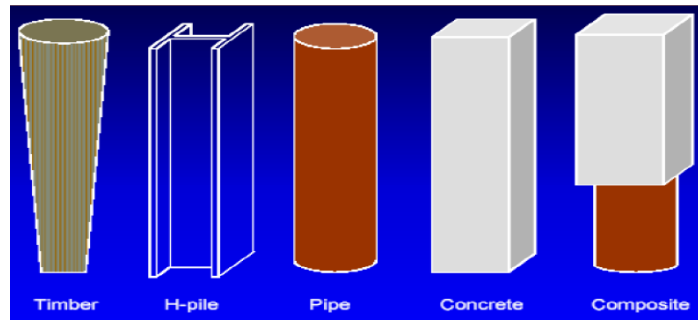
شمع های بتنی پیش تنیده ی سانترفیوژ نسبت به سایر شمع ها دارای مزایای زیر هستند [۶] و [۷]:

- ✓ کاهش نسبت آب به سیمان و وجود میکروسیلیس و مقاومت فشاری بالا در حدود ۸۰ Mpa
- ✓ تولید شمع یکپارچه تا طول ۴۵ متر
- ✓ مقاومت بالای فولادها در برابر کشش و همچنین مقاومت در برابر خوردگی
- ✓ هزینه ای تقریباً نصف شمع های فولادی

در شکل (۲-۲۶) عرشه و تیرهای آن و در شکل (۲-۲۷) انواع شمع ها نشان داده شده است.



شکل (۲-۲۳): عرشه و تیرهای آن [۲]



شکل (۲-۲۴): انواع شمع ها

۲-۳-۱-۱۶ فندر

از دیگر بخش های مهم اسکله، فندر ها می باشند که هنگام پهلوگیری شناورها، لایه میانی مورد نیاز

بین شناور و سازه اسکله را به وجود می آورند. وظیفه ی اصلی فندر، تبدیل ضربه و انرژی ناشی از پهلوگیری شناور به عکس العمل های قابل تحمل توسط شناور و سازه می باشد.

فندر ها به دو دسته ی فندر های محافظ سطحی و فندرهای جذب کننده ی انرژی تقسیم می شوند [۸]. فندر های محافظ سطحی، در ازای انرژی جذب شده، نیروی عکس العمل بزرگی را به اسکله وارد می کنند ولی در فندر های جذب کننده ی انرژی، در ازای انرژی جذب شده، نیروی عکس العمل کوچکی به اسکله وارد می شود و باعث صرفه جویی در طراحی می گردد.



شکل (۲-۲۵): فندر

¹⁶ Fender

۲-۳-۲- بولارد^{۱۷}

بولارد قطعه ای است که در زمان پهلو گیری یک شناور، طناب شناور به آن بسته می شود تا از حرکت شناور، جلوگیری شود. انواع بولارد در شکل (۲-۲۹) دیده می شود. نیروی کششی وارد بر بولارد به صورت مایل اعمال می گردد.



شکل (۲-۲۶): بولارد

۲-۳-۳- جراثقال

برای جابه جایی کالاها از کشتی ها به بندر و بالعکس از جراثقال استفاده می شود. در شکل (۲-۳۰) یک نمونه از جراثقال ها را مشاهده می کنیم.



شکل (۲-۲۷): نمونه هایی از جراثقال

¹⁷ Bollard

۲-۴- سیستم های سازه ای اسکله های شمع و عرشه

باتوجه به نوع مصالح مصرفی در ساخت اسکله، شرایط ژئوتکنیکی لایه های زمین و نحوه ی طراحی اجزا ی سازه، پاسخ سازه به بارهای افقی متفاوت خواهد بود.

در اسکله های شمع و عرشه بارهای ثقلی توسط شمع های قائم تحمل می شود ولی باربری جانبی اسکله متفاوت می باشد. در اسکله های دور از ساحل، به طور معمول از سه نوع سیستم سازه ای برای تحمل بارهای جانبی استفاده می شود:

۱. قاب خمشی (انعطاف پذیر)

۲. قاب مهار بندی شده (نیمه صلب)

۳. شمع مایل (صلب)

در سیستم های قاب خمشی و قاب مهاربندی شده، انتقال نیروی جانبی توسط مقاومت خمشی جانبی شمع فرو رفته در خاک و مقاومت جانبی خاک انجام می شود ولی در شمع های مایل، انتقال نیروهای جانبی توسط مقاومت محوری شمع های مایل در خاک (به صورت فشار و یا کشش) صورت می پذیرد. در شکل (۲-۲۳) انواع سیستم های سازه ای اسکله شمع و عرشه عمود بر ساحل نشان داده شده است. [۵]

در اسکله های نزدیک ساحل نیز سه روش کلی برای تحمل بارهای جانبی وجود دارد:

• اسکله های ساحلی مجزا

• اسکله ساحلی همراه با سازه نگه دارنده

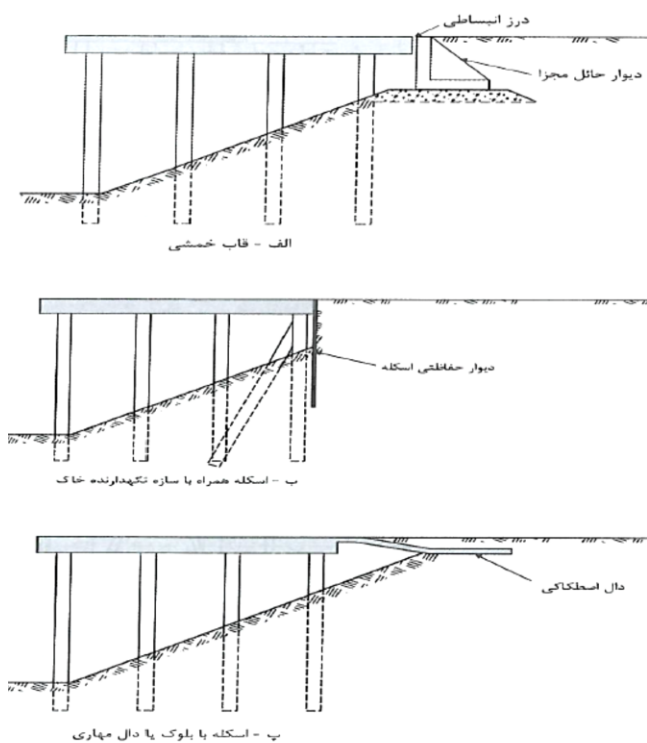
• اسکله ساحلی همراه با سازه مهاری

در اسکله ساحلی مجزا کلیه ی نیروهای جانبی توسط اجزای اسکله (عرشه و شمع) تحمل می شود و می توان آن ها را در سه سیستم ارائه شده برای اسکله های فراساحلی طراحی و اجرا کرد.

در اسکله ساحلی با سازه نگه دارنده، اسکله به صورت یک پارچه با سازه نگه دارنده می باشد و نیروهای جانبی با عملکرد ترکیبی دو بخش تحمل می شوند.

در اسکله ی ساحلی با سازه مهاری، عملکرد مجموعه در برابر بارهای جانبی مشابه حالت قبل است ولی نیروهای جانبی وارد به سازه مهاری به وسیله ی اصطکاک بین خاک و سازه مهاری منتقل می شود.

از انواع سازه های نگه داری و مهاری می توان به دیوار حایل، دال مهاری و دیوار حفاظتی اسکله اشاره کرد. در طراحی اسکله های ساحلی، یکی از مهم ترین موضوعات تحلیل اثرات ناشی از فشار خاک بر اسکله و پایداری شیروانی منتهی به اسکله می باشد لذا اندرکنش خاک و سازه از اهمیت به سزایی برخوردار است. در شکل (۲-۲۴) مقطع انواع اسکله های موازی ساحل مشاهده می شود [۵].



شکل (۲-۲۸): مقطع انواع اسکله های شمع و عرشه موازی ساحل [۵]

۲-۴-۱- اثرات مطلوب و نا مطلوب شمع های مایل

زمانی که نیروی جانبی وارد بر اسکله خیلی زیاد باشد معمولاً از شمع های مایل استفاده می شود. استفاده از شمع های مایل گرچه تعداد کل شمع های قائم را کاهش می دهد اما به دلیل داشتن معایب فراوان استفاده از آن جای شک و تردید فراوانی در محافل علمی به وجود آورده است.

زلزله های اخیر در جهان همانند لوماپریتا، نورثریچ، کاستاریکا، کوبه و ... ثابت کرد در تمامی اسکله هایی که در آن ها از ترکیب شمع مایل و قائم استفاده شده است (اسکله های صلب) این شمع های مایل بودند که بیشترین آسیب را دیدند و شمع های قائم خسارت کمتری متحمل شدند. سپس مدل سازی های عددی نیز این مطلب را به اثبات رسانده اند. با مرور مراجع فنی در یک جمع بندی کلی می توان خرابی های اتفاق افتاده در اعضای مختلف اسکله را به صورت جدول (۲-۲) خلاصه کرد [۹].

جدول (۲-۲): جمع بندی مودهای گسیختگی در اعضای مختلف اسکله [۹]

شمع	گسیختگی فشاری مصالح	عضو سازه ای اسکله
	کمانش کلی شمع تحت اثر نیروی فشاری	
	کمانش موضعی آرمانتور یا مقطع شمع	
	ایجاد مفصل پلاستیک خمشی در بالا و یا پایین شمع	
	گسیختگی کششی شمع از داخل بستر	
	گسیختگی کششی مقطع ناشی از نبود طول مهاری کافی	
	عدم کفایت ظرفیت باربری محوری شمع در بستر	
	گسیختگی برشی سر شمع	
کنده شدن بتن سر شمع		
جدایی کششی شمع از سر شمع		
عرشه	سوراخ شدن عرشه در اثر برش پانچ ناشی از شمع مایل	عرشه
	جدا شدگی و انقطاع شمع از عرشه در اثر برش یا کشش	
	جابجایی نسبی قطعات عرشه در اثر حرکت افقی، عمودی و یا پیچش	

مود های گسیختگی مربوط به شمع های مایل و عامل ایجاد هر یک در جدول (۲-۳) عنوان شده است.

جدول (۲-۳) مودهای گسیختگی مربوط به شمع مایل و عوامل ایجاد آن ها [۹]

عامل اصلی ایجاد گسیختگی	موارد گسیختگی
نیروی محوری فشاری زیاد در شمع مایل	کمانش شمع مایل (کلی و موضعی)
نیروی محوری فشاری زیاد در شمع مایل	کنده شدن بتن سر شمع
برش پانچ در اثر نیروی محوری شمع مایل	سوراخ شدن عرشه
نیروی محوری کششی زیاد در شمع مایل	جدا شدگی شمع از سر شمع
نیروی محوری کششی زیاد در شمع مایل	گسیختگی کششی شمع
نیروی کششی زیاد و عدم کفایت ظرفیت کششی	گسیختگی کششی شمع از داخل بستر
خمش یا اندر کنش خمش-نیروی محوری	مفصل پلاستیک خمشی در بالا و پایین شمع
نیروی برشی زیاد در شمع مایل	گسیختگی برشی شمع مایل

در مجموع با توجه به مشاهدات و گزارش های ثبت شده، می توان گفت اکثر مودهای خرابی شمع های مایل در ناحیه ی اتصال شمع و عرشه متمرکز است. هم چنین چنان که در جدول بالا مشهود است، بسیاری از مودهای گسیختگی در اثر نیروی محوری زیاد در شمع مایل پدید می آید؛ لذا در صورتی که به توان نیروی محوری ایجاد شده در شمع مایل را محدود ساخت و یا کاهش داد، احتمالا می توان از بروز بسیاری از گسیختگی ها جلوگیری کرد.

۲-۴-۲- تفاوت پاسخ و آسیب شمع های مایل بتنی و فولادی

شمع های مایل بتنی و فولادی بعضا عملکرد متمایزی دارند و آسیب های متفاوتی را تجربه می کنند. دلیل اصلی این امر تفاوت ذاتی مصالح فولادی و بتن است که در مقاومت آن ها بروز پیدا می کند. مقاومت فشاری بتن تقریبا یک دهم مقاومت فشاری فولاد است. همچنین مقاومت کششی بتن با مقاومت فشاری آن تفاوت عمده ای دارد، حال آن که نمودار نیرو-تغییر مکان فولاد در کشش و فشار بصورت همسان است. از طرفی مقاومت برشی که تابعی از مقاومت کششی است، برای بتن بسیار کمتر است.

باتوجه به این امر، انتظار می رود گسیختگی کششی و ایجاد ترک های کششی عمود بر راستای بارمحوری در شمع های بتنی زود تر از گسیختگی فشاری اتفاق می افتد. هم چنین بروز گسیختگی برشی در نواحی حداکثر برش (سر شمع) در شمع های بتنی بسیار محتمل است. اما در شمع های فولادی که مقاومت برشی مقاطع نسبتا زیاد تر است، گسیختگی برشی محتمل نخواهد بود و گسیختگی فشاری که معمولا ناشی از رسیدن بار به بار بحرانی کمانش یا کمانش موضعی است، زودتر از گسیختگی کششی اتفاق می افتد. این مطلب با مشاهده عملکرد شمع مایل در زلزله ای گذشته مطابقت دارد [۹].

۲-۴-۳- دلایل محتمل بروز گسیختگی در اسکله ها

اساسا بر مبنای فلسفه های نوین طراحی، بروز گسیختگی های شکل پذیر، قابل ترمیم و موضعی از اهدافی است که طراح در فرآیند طراحی دنبال می کند. اما در کنار این نوع گسیختگی ها، برخی گسیختگی ها به صورت پیش بینی نشده و نا مطلوب بوده اند و بروز آن ها مورد نظر طراح نبوده است. بروز چنین مودهای گسیختگی می تواند حاصل یک یا ترکیبی از عوامل زیر باشد [۹].

- ضعف ذاتی برخی روش ها
- تخمین اشتباه و نا مناسب نیروهای ایجاد شده و تغییر شکل های لرزه ای وارد بر سازه
- عدم استفاده از تحلیل های غیر خطی در ارزیابی رفتار سازه
- صلبیت بالای سازه و جذب نیروی دینامیکی بیشتر در اثر فرضیات حاکم بر طراحی الاستیک
- جزئیات بندی نا مناسب اتصال شمع به عرشه نظیر طول مهاری ناکافی
- عدم تامین شکل پذیری مناسب در نقاط با تقاضای تغییر شکل بالا نظیر سرشمع
- عدم محصور شدگی مناسب بتن

- عدم دقت در ارزیابی صحیح رفتار خاک (روان گرایی، گسیختگی، و...)

علاوه بر این در کشور ما با وجود مشکلات و اجرایی و نگه داری، بروز گسیختگی های نا مطلوب محتمل تر به نظر می رسد. به طور خلاصه برخی از این عوامل عبارتند از:

- اجرای نامناسب
- مصالح غیر استاندارد
- عمل آوری نامناسب بتن به ویژه در هوای گرم مناطق جنوب
- طرح اختلاط نامناسب
- مساله ی خوردگی و عدم نگه داری مناسب
- بهره برداری نامناسب از اسکله (پهلویی نا مناسب، بارگذاری بیش از حد و ...)

برای کاهش خسارت ناشی از شمع های مایل راه کارهایی ارائه شده است مانند استفاده از فیوز سازه ای به عنوان عضوی شکل پذیر و قابل تعویض که در هنگام زلزله مانع از انتقال نیروی جانبی به شمع های مایل شده و نیروی محوری شمع های مایل را کاهش می دهد اما تاکنون این روش جنبه ی عملی نداشته است [۹].

۲-۵- روش های مدل سازی اسکله شمع و عرشه

برای انجام مدل سازی اسکله های شمع و عرشه از چهار روش می توان استفاده کرد [۵].

۱. استفاده از روش عمق گیرداری
۲. استفاده از روش فنر خطی وینکلر برای مدل سازی خاک
۳. استفاده از روش های غیر خطی (P-Y) برای مدل سازی خاک
۴. مدل سازی خاک به صورت یک محیط پیوسته و در نظر گرفتن اندرکنش کامل خاک و سازه

۲-۵-۱- روش عمق گیرداری

در این روش اندرکنش خاک و شمع به صورت طول گیرداری در نظر گرفته می شود. یعنی فرض می شود بعد از فرورفتن شمع در خاک به اندازه طول محاسباتی گیرداری، شمع به صورت گیردار عمل می کند. طول شمع مدل سازی شده در نرم افزار، برابر مجموع طول آزاد شمع (قسمت بیرون از خاک) و عمق گیرداری

محاسبه شده می باشد. انتهای شمع هم به صورت گیردار، در نظر گرفته می شود. این روش رایج ترین و ساده ترین روش مدل سازی اسکله ها در پروژه های واقعی می باشد.

در ذیل به بعضی از روش ها و فرمول های محاسبه طول گیرداری اشاره می کنیم [۵]:

$$Z_f = 1.8 T = \text{طول گیرداری} \quad (۱-۲)$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n h}} \quad (۲-۲)$$

$n h$ از جدول (۲-۶) به دست می آید.

جدول (۲-۴): مقادیر نمونه برای $n h$ [۵]

$n_h(\text{kn/m}^3)$	نوع خاک
۱۸۰۰-۲۲۰۰ شل:	ماسه خشک یا مرطوب
۵۵۰۰-۷۰۰۰ متوسط:	
۱۵۰۰۰-۱۸۰۰۰ متراکم:	
۱۰۰۰-۱۴۰۰ شل:	ماسه غوطه ور
۳۵۰۰-۴۵۰۰ متوسط:	
۹۰۰۰-۱۲۰۰۰ متراکم:	

۲-۵-۱-۱- خاک های چسبنده

$$Z_f = 1.4 R = \text{طول گیرداری} \quad (۳-۲)$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{k}} \quad (۴-۲)$$

در خاک های چسبنده فرض می شود که ضریب واکنش بستر (K) تقریباً با عمق ثابت است. ویسک رابطه (۲-۵) را برای تخمین K پیشنهاد می کند هر چند که روابط دیگری برای محاسبه k وجود دارد.

$$K = 0.65 \sqrt[12]{\frac{E_s D^4}{E_p I_p}} \quad (۵-۲)$$

در رابطه فوق

E_p : مدول الاستیسیته شمع

I_p : ممان اینرسی شمع

E_s : مدول الاستیسیته خاک

۲-۱-۵-۲- روش وزارت راه ژاپن (برای شمع های فولادی) [۱]

در این روش عمق گیرداری Z_f برابر $\frac{1}{\beta}$ می باشد که:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K(h-sub)Dp}{4EpIp}} \quad (۶-۲)$$

$K(h-sub)$: ضریب واکنش افقی بستر می باشد که از آزمایش های ژئوتکنیک به دست می آید. در صورت عدم انجام آزمایش از رابطه پیشنهادی چانگ در محاسبه K_h استفاده می شود.

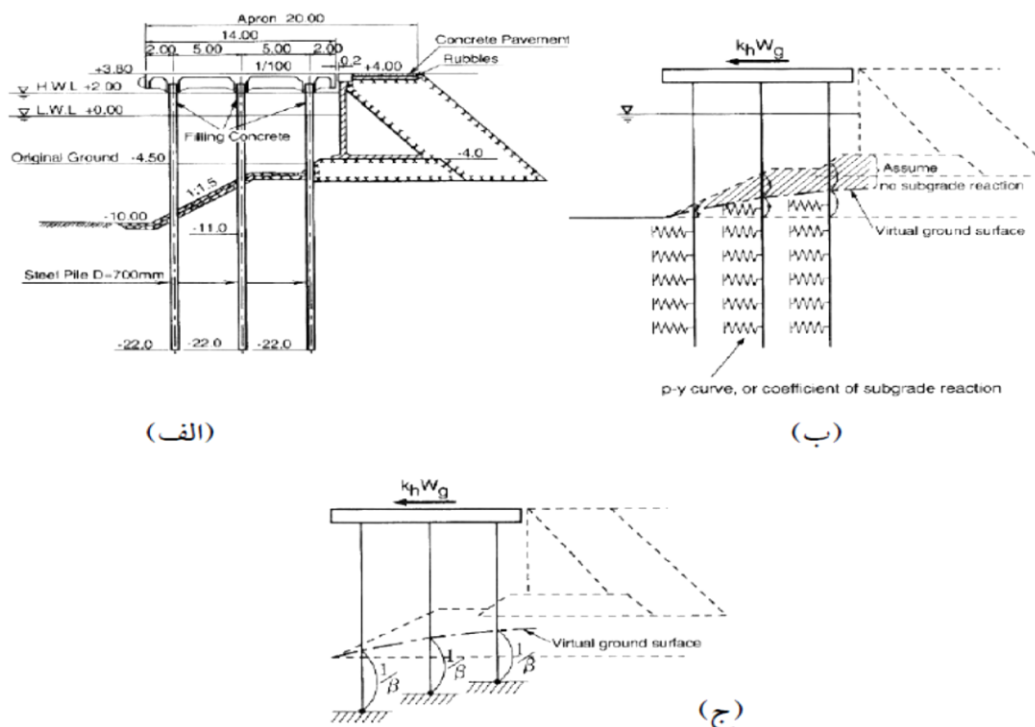
$$K_h = 1.5 N \quad (۴-۲)$$

N : متوسط عدد SPT بستر تا عمق گیرداری

۲-۵-۲- روش فنر خطی وینکلر

در این روش اجزای اسکله (شمع و عرشه) با استفاده از اجزای خمشی مدل سازی می شوند و عملکرد خاک به صورت مجموعه ای از فنرهای جانبی و قائم خطی که سختی آن ها بر اساس شرایط خاک تعیین می شود، در فواصل مشخص در طول شمع (مثلا یک متر به یک متر) مدل سازی می گردند.

در این روش فرض می شود که ضریب واکنش بستر (K_s) با عمق ثابت است. این فرض نادرستی است زیرا ضرایب واکنش بستر، با افزایش عمق، زیاد می گردند. در شکل (۲-۳۱) مدل سازی یک اسکله شمع و عرشه موازی ساحل را به روش های طول گیرداری و استفاده از فنر نشان داده شده است.



شکل (۲-۲۹): الف: مقطع یک اسکله شمع و عرشه، ب: مدل سازی خاک با استفاده از فنر، ج: مدل سازی با استفاده از طول گیرداری

مقدار تخمینی ضریب عکس العمل بستر را می توان از آزمایش های ژئوتکنیکی یا جدول (۲-۶) به دست آورد

جدول (۲-۵): مقدار تقریبی ضریب عکس العمل بستر برای خاک های مختلف [۵]

Ton/m ³	MN/m ³	نوع خاک
۲۲۰۰۰-۴۰۰۰۰	۲۲۰-۴۰۰	شن ماسه دار متراکم
۱۱۰۰۰-۳۰۰۰۰	۱۱۰-۳۰۰	ماسه با تراکم متوسط
۸۰۰۰-۲۰۰۰۰	۸۰-۲۰۰	ماسه ریز لای دار
۶۰۰۰-۲۲۰۰۰	۶۰-۲۲۰	رس سخت
۳۰۰۰-۱۱۰۰۰	۳۰-۱۱۰	رس سخت اشباع شده
۴۰۰۰-۱۴۰۰۰	۴۰-۱۴۰	رس با تراکم متوسط
۲۰۰-۴۰۰۰	۲-۴۰	رس نرم

هم چنین محققان زیادی روابطی را جهت محاسبه K_s ارائه کردند که به ذکر یک نمونه می پردازیم:

۲-۵-۱-۲- رابطه چن [۱۰]

$$K_s = \frac{3Es}{D}$$

برای خاک های دانه ای (۲-۹)

$$K_s = \frac{1.6Es}{D}$$

برای خاک های چسبنده (۲-۱۰)

E_s : مدول ارتجاعی خاک

D: قطر شمع

۲-۵-۳- مدل سازی با روش های فنرهای غیرخطی (P-Y)

این روش نیز بر اساس مدول عکس العمل بستر می باشد ولی در این روش خاک به صورت فنر وینکلر و با رفتار الاستوپلاستیک و به طور مجزا در فواصل مشخص مدل می شود.

برای بدست آوردن منحنی های P-Y روابط بسیار زیادی ارائه شده است که به ذکر مرسوم ترین آن ها می پردازیم.

۲-۵-۱-۲- روش موسسات نفت آمریکا [۱۱]

این روش مرسوم ترین روش به دست آوردن منحنی های P-Y برای شمع های سازه های دریایی می باشد.

در این روش، برای خاک ها و شرایط مختلف، از مجموعه ای از منحنی های P-Y که بیان گر ارتباط میان عکس العمل خاک بر واحد سطح جانبی شمع P بر حسب KN/m^2 در عمق مفروض Y و میزان تغییر مکان جانبی شمع در همان عمق Y بر حسب متر می باشد استفاده می گردد. این روش برای حالات خاک رسی نرم و ماسه متفاوت می باشد.

۲-۵-۳- روش محیط پیوسته

تعیین تغییر شکل و لنگر در شمع تحت بارهای جانبی براساس تئوری پاسخ بستر به دلیل در نظر نگرفتن جرم خاک رضایت بخش نمی باشد. در این روش خاک به صورت محیط پیوسته مدل می شود. برخی مدل ها تحلیلی برای حالت الاستیک رفتار خاک وجود دارد ولی غالباً از مدل سازی عددی مانند اجزای محدود و یا المان های مرزی برای حل استفاده می شود.

با استفاده از مدل های عددی مبتنی بر مکانیک محیط پیوسته می توان شمع را تحت بار های افقی مدل کرد. همان طور که گفته شد، در این مدل ها خاک به صورت مدل پیوسته مدل می شود. شمع ها نیز اغلب با المان های خمشی شبیه سازی می شوند. با استفاده از برنامه های کامپیوتری تجاری در دسترس می توان این مدل سازی را انجام داد. این مدل سازی باید در شرایط سه بعدی انجام شود.

با توجه به پیچیدگی بسیار مساله اندرکنش خاک و شمع و این نکته که هنوز هیچ مدل صریحی قادر به در نظر گیری تمام شرایط حاکم بر مساله نمی باشد. روش های عددی از قدیم مورد استفاده بسیاری از محققین قرار گرفته اند و به خوبی قدرت خود را در ارائه راه حل ها در مساله اندرکنش خاک و شمع نشان داده اند.

روش اجزای محدود برای انجام تحلیل های کامل دوبعدی و سه بعدی برای اشکال مختلف سیستم های شمع-خاک-سازه قابلیت دارد. این روش شامل روش زیر سازه و روش مستقیم می باشد [۱۲].

در روش زیر سازه، سازه و شالوده شمعی همراه با بی نظمی های هندسی و نا هماهنگی های خاک، تشکیل یک محیط اجزای محدود را می دهند. خاک نامحدود در این روش به شکل لایه ای منظم و همگن در یک دامنه نیمه نا محدود مدل می شود.

در روش مستقیم، ناحیه ی اجزای محدود شامل سازه، شالوده شمعی و پروفیل خاک برای ایجاد مرزهای ساختگی به کار گرفته می شوند. خاک به صورت نیم فضای نا محدود با مرزهای ساختگی، انتشار موج و پخش و استهلاک انرژی را طوری مدل می کنند که هیچ بازتابی از انتشار موج به خارج ایجاد نمی شود. روش زیر سازه معمولاً در دامنه فرکانس فرموله شده و بنابراین شامل پاسخ غیر خطی زلزله سیستم شمع-خاک-سازه نبود و نمی توان از آن در تحلیل های غیر خطی استفاده کرد. ولی روش مستقیم اثرات غیر خطی دامنه خاک اطراف را در نظر گرفته و شامل تعداد زیادی درجه آزادی می باشد. دلیل زیاد بودن درجات آزادی در این مدل استفاده از نواحی بزرگ اجزای محدود نسبت به روش زیرسازه می باشد.

بنابراین این روش نیاز به نرم افزارهای کامپیوتری دقیق داشته و با تمام این تفاسیر در تحلیل دینامیکی سیستم های شمع-خاک-سازه نسبت به روش زیر سازه کاربرد بیشتری دارد.

یکی از سوالاتی که از ابتدا در این تحقیق وجود داشت این بود که در شرایط حاضر روش هایی که برای طراحی لرزه ای یک اسکله شمع و عرشه در شرکت های مشاوره ای داخلی انجام می شود چه مقدار به واقعیت نزدیک است. برای همین سعی بر این شد که با توجه به مستندات آیین نامه ای و علمی تا جایی که امکان دارد اسکله ها به همان صورت رایج در شرکت ها مدل سازی شود. به همین دلیل با توجه به مطرح شدن روش مدل سازی عمق گیرداری در آیین نامه ژاپن و اینکه در شرایط فعلی اکثر طراحی ها و مدل سازی ها طبق این روش انجام می شود، این روش در مدل سازی اسکله های این تحقیق استفاده شده است.

۲-۶- بارهای وارد بر اسکله ها

در ذیل مجموعه ای از بارهای احتمالی که بر سازه اسکله وارد می گردد، نام برده شده است. در ادامه بارهایی که در اسکله ی شمع و عرشه دارای اهمیت بیشتری هستند، شرح داده شده اند.

۱. بارهای مرده
۲. بارهای زنده
۳. بارهای تغییرات دما
۴. بار باد
۵. بارهای ناشی از جمع شدگی و خزش مصالح
۶. بار پهلوگیری شناور
۷. بار ناشی از جریان آب
۸. بار ناشی از موج
۹. بار زلزله
۱۰. بار فشار خاک
۱۱. بار فشار یخ

۲-۶-۱- بارهای مرده

بارهای مرده، شامل وزن اجزای مختلف سازه می باشند. این اجزا شامل اجزای باربر اصلی نظیر شمع، تیر ها، عرشه ی بتنی، فندر و ... و اجزای ثانویه و غیر بار هستند. در طراحی سازه های ثابت نظیر اسکله های باز و بسته، تاثیر بارهای زنده و جانبی بیشتر از بارهای مرده می باشد، به همین دلیل در نظر گرفتن مقادیر محافظه کارانه برای بارهای مرده تاثیر بسزایی بر هزینه های ساخت نخواهد داشت.

۲-۶-۲- بارهای زنده

بارهای زنده شامل دو دسته ی عمده ی بار های گسترده و بار های متمرکز می باشد. بار گسترده را می توان با توجه به نوع کاربری اسکله و با مراجعه به مراجع معتبر دریایی بدست آورد. برای بار زنده متمرکز هم با توجه به انتخاب نوع وسیله ی نقلیه ای که باری تخلیه بار در اسکله تردد می کند و هم چنین انتخاب مسیر عبوری آن وسیله در نرم افزار این بار را بر سازه اعمال نمود.

۲-۶-۳- بار های تغییرات دما

بار های ناشی از تغییرات دما که به صورت انبساط و انقباض و گرادیان حرارتی می باشد، با توجه به وضعیت آب و هوایی منطقه، در طراحی اسکله باید در نظر گرفته شوند. مقدار تغییرات دما، برای اسکله های مختلف بر اساس آیین نامه های معتبر دریایی مانند نشریه ۳۰۰ در جدول هایی ارایه شده است.

۲-۶-۴- بارهای زلزله

در صورتی که سازه های دریایی در منطقه ی لرزه خیز واقع شده باشند، نیروهای زلزله باید در طراحی سازه ها در نظر گرفته شوند. نیروی زلزله باید به صورت افقی و در مرکز جرم سازه اعمال گردد. در صورت استفاده از روش استاتیکی معادل، مقدار این نیرو از ضرب وزن سازه در ضریب زلزله بدست می آید. وزن مورد استفاده در این روش شامل کل بار مرده به علاوه ی بخشی از بار زنده اعمالی به سازه می باشد. با توجه به توصیه نشریه ۳۰۰ برای بخش زلزله ی اسکله شمع و عرشه، می توان از نشریه ۴۶۳ که مربوط به طراحی لرزه ای پل های راه آهن است استفاده کرد.

البته برای تعیین نیروی زلزله روش های جدید دیگری نیز وجود دارد که در فصول بعدی به آن ها پرداخته خواهد شد.

۷-۲- ترکیب بارها

ترکیب بارهای متنوعی از سوی آیین نامه های معتبر در زمینه ی طراحی اسکله ی شمع و عرشه ارائه شده است که در آنها به ذکر ترکیب بارهای آیین نامه طراحی بنادر و سازه های دریایی ایران (نشریه ۱۱-۳۰۰) برای اسکله های فولادی و بتنی در جداول (۲-۴) و (۲-۵) بسنده می کنیم.

جدول (۲-۶): ترکیب بار طراحی فلزی [۳]

Allowable strength design						
Load Case	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Dead	1	1	1	1	1	1
Live	1	1	1	0.2	—	0.1
Wave & Current	—	1	1	—	—	—
Temperature	—	—	1	—	—	—
Earthquake	—	—	—	1	1	—
Berthing	—	—	—	—	—	1
% Allowable Stress Increase	100	125	125	133	133	100

جدول (۲-۷): ترکیب بار طراحی بتنی [۳]

Ultimate strength design						
Load Case	U1	U2	U3	U4	U5	U6
Dead	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Live	1.7	1.3	.3	0.2	—	0.17
Wave & Current	—	1.3	1.3	—	—	—
Temperature	—	—	1.3	—	—	—
Earthquake	—	—	—	1.3	1.3	—
Berthing	—	—	—	—	—	1.7

از آن جایی که موضوع اصلی این تحقیق بحثی در مورد زلزله سازه ی اسکله ی شمع و عرشه می باشد، ترکیب بار انتخابی هم بایستی به صورتی انتخاب شود که این موضوع یعنی بحث زلزله را پوشش دهد. بدین سان برای طراحی فولادی ترکیب بار S_4 و S_5 و برای طراحی بتنی ترکیب بار U_4 و U_5 انتخاب شده است.

۹-۲- آیین نامه های معتبر در طراحی اسکله ها

در طراحی اسکله ها آیین نامه های معتبری وجود دارد که اسامی آن ها را به اختصار در جدول (۲-۷) آورده ایم.

معروف ترین آیین نامه در این زمینه **PIANC** ، **MOTEMS** و آیین نامه ژاپن (**OCDI**) می باشند. در ایران نیز آیین نامه طراحی بنادر و سازه های دریایی (نشریه ی ۳۰۰) و آیین نامه کارهای دریایی ایران و همچنین راهنمای طراحی لرزه ای اسکله های ایران تدوین شده است که غالباً ترجمه آیین نامه های کشور های دیگر می باشد. هم چنین به علت شباهت اسکله به پل پیشنهاد شده است بارگذاری زلزله اسکله ها در ایران مطابق آیین نامه پل (نشریه ۴۶۳) صورت گیرد که البته در این تحقیق برای بار گذاری لرزه ای از نشریه ۴۶۳ استفاده شده است [۸].

۱۰-۲- نرم افزار های مدل سازی اسکله ها

نرم افزار های مدل سازی اسکله ها به سه دسته تقسیم می شوند:

- نرم افزار های ژئوتکنیکی مانند **FLAC** و **PLAXIS** که تنها توانایی مدل کردن شمع و خاک را دارند.
- نرم افزار های سازه ای مانند **PERFORM**، **SAP2000** و **SACS** و ... که قابلیت مدل سازی سازه اسکله را دارا بوده و اثرات خاک را از طریق فنر در نظر می گیرند.
- نرم افزار هایی که قابلیت مدل کردن هم زمان خاک و سازه را دارند مانند **ANSYS** و **ABACUS**.
- نرم افزار هایی که قابلیت مدل سازی سازه ای اسکله را دارند و با استفاده از روش عمق گیر داری در مدل سازی می توانند اسکله شمع و عرشه را مدل سازی نمایند مانند **SAP2000**.

فصل سوم : مروری بر تحقیقات گذشته

در این فصل به بررسی کارهای گذشته در مورد عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه و سایر تحقیقات انجام شده پیرامون اسکله شمع و عرشه پرداخته خواهد شد.

۳-۱- مروری بر تحقیقات انجام گرفته بر روی عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه

تحقیقات زیادی روی رفتار دینامیکی اسکله های شمع و عرشه در خارج و داخل کشور انجام شده است.

کاواماتا [۱۳] مطالعات انجام گرفته در این زمینه را این گونه بیان می کند.

۳-۱-۱- تحقیقات انجام شده روی اندرکنش شمع و خاک تحت بارهای لرزه ای

شمع با بارگذاری جانبی را بیشتر می توان در سازه های فراساحل مشاهده کرد. بارهای جانبی ناشی از باد و موج معمولا مهم ترین عامل در طراحی این نوع سازه ها هستند. روش طراحی شمع ها در برابر بارهای جانبی در سازه های فراساحل را می توان برای سازه های نزدیک به ساحل از قبیل اسکله های شمع و عرشه نیز به کار برد، با این تفاوت که بارهای جانبی بیشتر ناشی از اثر زلزله یا ضربه شناور به سازه هستند و باد و موج بارهای به نسبت کمتری به این سازه ها اعمال می کنند. به گفته داویس در طراحی شمع ها در برابر بارهای جانبی دو ضابطه مهم باید ارضا شود:

۱. شمع باید مقاومت کافی در برابر بارهای اعمالی را داشته باشد.

۲. تغییر شکل ایجاد شده در اثر اعمال بیشترین بار جانبی در حد مقاومت سازه بالا سری باشد.

روش های عددی بسیاری برای مسائل شمع با بارگذاری جانبی وجود دارد، ولی هیچ کدام از آن ها نمی توانند همه فاکتور های تاثیر گذار در این مساله را در نظر بگیرند. آئین نامه طراحی لرزه ای بنادر لس- آنجلس یکی از عمومی ترین روش های طراحی شمع در برابر بارهای جانبی را روش بار افزون معرفی می کند، که

شرایط تنش را در طول شمع و رابطه نیرو-تغییر مکان را برای سیستم خاک-عرشه-سازه فراهم می کند. در این روش تحلیلی، دو نوع بار برای طراحی در نظر گرفته می شود:

۱. نیروی اینرسی در شمع

۲. نیروی سینماتیک ناشی از حرکت زمین

نیروی ناشی از اینرسی را می توان بر مبنای طیف های جابجایی و شتاب و با داشتن نسبت میرایی و زمان تناوب سازه و بار سینماتیکی ناشی از جابجایی زمین را می توان از تحلیل پایداری شیروانی با روش اجزای محدود و یا روش بلوک لغزنده نیومارک محاسبه کرد. نقطه ی شروع این نوع تحلیل، تیر عمیق الاستیکی بوده که به صورت محوری بارگذاری شده بود و مجموعه ای از فنرهای خطی در طول آن به عنوان تکیه گاه عمل می کردند. این فنرهای خطی نشانگر عکس العمل های خاک بودند.

به دلیل سادگی، این روش به صورت گسترده ای در مهندسی پی استفاده شد. با این وجود، روش بارافزون با فنرهای خطی در حرکات شدید زمین نمی توانست دارای دقت بالایی باشد، زیرا در این موارد تغییر شکل های زیاد شمع و رفتار غیر خطی خاک رخ می دهد. به همین دلیل اندرکنش غیر خطی خاک و شمع برای شبیه سازی دقیق تر شمع ها تحت بارگذاری جانبی لازم بود. محققین زیادی روی مجموعه ای از فنرها که نشانگر خاک هستند و با منحنی های P- γ خاک شناخته می شوند، کار کردند. برای مثال رس، متلوک، اسماعیل [۱۳].

در آیین نامه طراحی بنادر لس آنجلس دو نوع بار را در نظر گرفته می شود:

۱. باری که ناشی از سازه ی بالاسری و عرشه اسکله است.

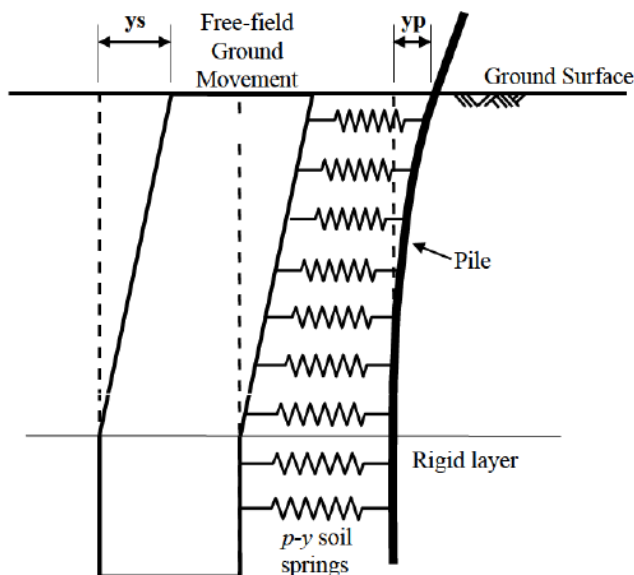
۲. باری که از تغییر شکل خاک بوجود می آید.

منحنی های P-Y حاصل شده توسط این آیین نامه ها از آزمایشات میدانی حاصل شده اند. در ادامه

خلاصه ای در مورد روش P-Y و مثال هایی از منحنی های P-Y بیان خواهد شد.

۱-۱-۱-۳- روش وینکلرو مفهوم منحنی های P-Y

روش وینکلر، که گاهی با عنوان روش عکس العمل بستر نیز شناخته می شود، هنوز هم یکی از پرکاربردترین روش های طراحی برای شمع ها در برابر بارگذاری جانبی و اسکله های شمع و عرشه است. این روش برای اولین بار توسط وینکلر (۱۸۷۶) برای تحلیل تیر روی یک بستر الاستیک که با مجموعه ای از فنرهای خطی الاستیک مدل سازی می شد، مورد استفاده قرار گرفت.



شکل (۱-۳): مفهوم روش وینکلر [۱۳]

برتری این روش را نسبت به روش الاستیک پیوسته را می توان در این مورد دانست:

۱. این روش برای حل عددی ساده تر است.
۲. رفتار غیر خطی خاک و لایه های متفاوت آن را به راحتی می توان با فنرهای خطی الاستیک جایگزین کرد.

این روش برای تحلیل های دینامیکی هم قابل کاربرد است. (به شرط استفاده از منحنی های P-Y برای بارگذاری های تناوبی). بین فشار وارد بر سطح و جابجایی ناشی از آن می توان این رابطه را بیان کرد:

$$k = \frac{P}{y} \quad (1-3)$$

P: عکس العمل خاک در واحد طول شمع

Y: جابجایی شمع

K: مدول عکس العمل بستر

با استفاده از مفهوم عکس العمل بستر، پاسخ شمع در معرض بار جانبی را می توان از حل معادله ی زیر محاسبه کرد:

$$EpLp \frac{d^4 y}{d^4 z} + ky = 0 \quad (2-3)$$

Ep: مدول الاستیسیته شمع

Ip: ممان اینرسی شمع

Z: عمق

معادله (۲-۳) را فقط با k ثابت می توان به صورت تحلیلی حل کرد و با این وجود به دلیل رفتار غیر خطی خاک این معادله معمولا با روش تفاضل محدود حل می شود. هتنبی حل های تحلیلی را برای تیرهای نامحدود روی بستر الاستیک ارائه کرد. با این وجود مدول عکس العمل بستر معمولا با افزایش عمق افزایش می یابد. باربر حل هایی را برای تعیین تغییر مکان و چرخش شمع ها در سطح زمین ارائه کرد. متلوک و کیس توابعی را برای توزیع مدول عکس العمل بستر با عمق ارائه دادند. مدول بستر را می توان از آزمایش های درجا از

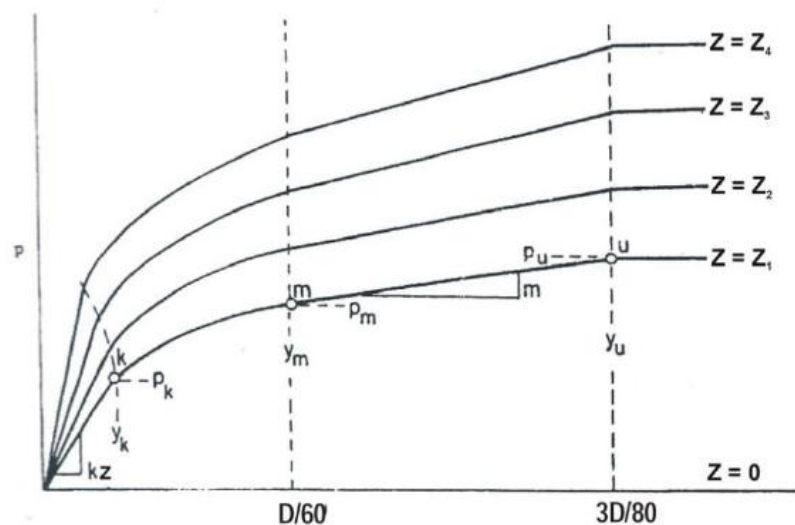
قبیل بارگذاری صفحه تعیین کرد. ترازقی ضرایب عکس العمل را برای رس سخت و ماسه را به وسیله تحلیل پاسخ شمع ارائه کرد. [۱۳]

۳-۱-۱-۲- مفهوم منحنی های P-Y

رفتار خاک مخصوصا در جابجایی های بزرگ بسیار غیر خطی خواهد بود. رفتار غیر خطی خاک مخصوصا در طراحی لرزه ای سازه ها به دلیل این که زلزله معمولا تغییر شکل های بزرگی را در سازه ایجاد می کند، بسیار اهمیت دارد. به این دلیل فنرهای خطی به مجموعه ای از فنرهای خطی که نشانگر مقاومت خاک در برابر جابجایی بودند جایگزین شدند. منحنی های P-Y برای خاک های مختلف گسترش پیدا کردند و با استفاده از نتایج آزمایشگاهی به روز رسانی شدند. محققین زیادی بر مبنای نتایج آزمایشگاهی منحنی های P-Y را برای انواع خاک ها ارائه دادند.

۳-۱-۱-۳- نمونه هایی از منحنی های P-Y موجود

رییس [۱۴] برای ماسه تحت بارگذاری های استاتیکی و تناوبی روابطی را ارائه کردند. اونیل و مارچسون (۱۹۹۱) [۱۴] روش ساده ای را برای منحنی های P-Y ماسه ارائه دادند که توسط موسسه API مورد پذیرش قرار گرفت. آیین نامه طراحی لرزه ای بنادر لوس آنجلس منحنی های P-Y را برای طراحی لرزه ای سازه های بندری ارائه کرده است. این منحنی ها بر مبنای مطالعات میدانی برای خاک های ماسه ای ارائه شده اند. برخی از محققین هم به تصحیح منحنی های P-Y به وسیله ی نتایج آزمایشگاهی پرداخته اند. بیشتر منحنی های P-Y بر مبنای نتایج آزمایشگاهی که روی شمع هایی با مقیاس بزرگ یا واقعی انجام شده اند به دست آمده اند. آزمایش بهترین روش برای محاسبه ی مستقیم این منحنی هاست ولی هزینه های زیاد و تکنولوژی مورد نیاز برای اندازه گیری از کاستی های این روش است.



شکل (۳-۲): منحنی های $p-y$ برای ماسه [۱۴]

۳-۱-۱-۴- بررسی اثر خصوصیات شمع روی منحنی های $P-Y$

۳-۱-۱-۴-۱- بررسی اثر شکل مقطع شمع روی منحنی های $P-Y$

بیشتر منحنی های $p-y$ بر مبنای آزمایش روی شمع هایی با مقطع دایره ای حاصل شده اند. ریس و ون (۲۰۰۰) [۱۵] مفهوم قطر معادل را برای شمع های غیر دایره ای بیان کردند. آن ها قطر معادل را برای مقاطع مستطیلی به صورت معادله زیر بیان کردند.

$$be = w * \frac{Puc + 2d - w}{Puc} \quad (۳-۳)$$

d: طول مقطع

w: عرض مقطع

Puc: مقاومت نهایی مقطع با قطر w

نوریس و آشور (۲۰۰۰) [۱۶] منحنی های $p-\gamma$ را به صورت تحلیلی برای شمع های مربعی و دایروی با عرض و سختی خمشی یکسان با استفاده از مدل های قبلی گسترش دادند.

۳-۱-۱-۲-۴-۲- بررسی اثر قطر شمع روی منحنی های $P-\gamma$

ترزاقی اثر قطر شمع روی ضرایب عکس العمل بستر را با استفاده از مفهوم حباب تنش توضیح داد. او این گونه نتیجه گیری کرد که ضرایب عکس العمل به صورت خطی به صورت معکوس با قطر شمع رابطه دارند. ریس [۱۷] از منحنی های $p-\gamma$ برای شمع با قطر ۶۵ سانتی متر برای پیش بینی رفتار شمعی با قطر ۱۵ سانتی متر استفاده کردند. نتیجه ی این تحقیق این گونه بیان شد که عکس العمل در واحد طول شمع ممکن است در شمع با قطر کمتر، کمتر باشد و نظر ترزاقی نادرست است.

۳-۱-۱-۳-۴-۳- بررسی اثر سختی خمشی روی منحنی های $P-\gamma$

نوریس و آشور [۱۳] به مقایسه منحنی های $p-\gamma$ تحلیلی برای ۲ شمع با سختی خمشی متفاوت پرداختند. بقیه پارامترها برای این دو شمع یکسان در نظر گرفته شده بود. در شکل (۳-۳) نتایج این تحقیق نشان داده شده است. آن ها این گونه نتیجه گیری کردند که سختی خمشی تاثیر بسیار مهمی برای ماسه های متراکم و تاثیر کمتری برای ماسه های شل و رس سخت دارد در حالی که هیچ تاثیری برای رس نرم ندارد.

کاتلی و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیق خود روش ساده ای برای محاسبه ی پاسخ لرزه ای پی های شمعی ارائه کردند. آن ها برای محاسبه ی پاسخ شمع ها روشی بر مبنای منحنی های $p-\gamma$ ارائه دادند. روش ارائه شده شامل دو مرحله تحلیل پاسخ بستر و تحلیل استاتیکی شمع می باشد. [۱۸].

چو و همکاران (۲۰۱۰) یک اسکله شمع و عرشه موازی ساحل با طول شمع های نابرابر را در برنامه SAP2000 مدل کرده و پس از تنظیم منحنی $p-y$ خاک، بر روی مدل آنالیز بارافزون انجام دادند و مقادیر جابجایی عرشه را در سطوح مختلف عملکرد محاسبه نمودند [۱۹].

روح الله امیر آبادی و خسرو برگی (۱۳۸۵) یک اسکله شمع و عرشه موازی ساحل را در نرم افزار ANSYS به روش های طول گیرداری و در نظر گرفتن فنر های غیر خطی مدل سازی کردند. میزان کرنش ها، طول مفاصل پلاستیک و نیروی جانبی وارد بر کل سازه در مدل هایی که اندر کنش خاک و سازه با فنر های $p-y$ لحاظ شده است کمتر از اسکله هایی است که با روش طول گیرداری مدل شده اند [۲۰].

حامد سیفی و علی فاخر (۱۳۸۵) آزمایش های بارگذاری جانبی شمع های با قطر زیاد در بندر عسلویه را انجام دادند. سپس آزمایش های خود را در نرم افزار SAP2000 و با تنظیم منحنی های $p-y$ مدل سازی کردند و با مقایسه نتایج مدل سازی با آزمایش ها، ضرایب اصلاحی منحنی های $p-y$ را برای خاک عسلویه ارائه نمودند [۲۱].

غلامرضا سنایی و همکاران (۱۳۷۹) یک اسکله شمع و عرشه را یک بار به روش طول گیرداری و بار دیگر با روش فنر های غیر خطی $p-y$ در نرم افزار SAP2000 مدل سازی کردند و با مقایسه نتایج اعلام کردند، اگر به طول گیرداری محاسبه شده برای شمع، ۰.۵ متر اضافه کنیم و سپس اسکله را به روش طول گیرداری مدل سازی نماییم، نتایج تقریباً با مدلسازی با فنر های $p-y$ یکسان می شود [۲۲].

آقاخانی و همکاران (۱۳۸۵) یک اسکله شمع و عرشه را به همراه خاک اطراف آن در نرم افزار FLACK مدل سازی کردند. انواع لایه بندی خاک از جمله رس و شن یکنواخت و ... در نظر گرفته شد و پس از اعمال بارها به صورت بار افزون، منحنی های $p-y$ برای هر خاک رسم گردید [۲۳].

فیاضی و برگی (۱۳۸۸) به بهسازی روش فنر معادل $p-y$ برای مدل سازی اندرکنش خاک و سازه در اسکله های شمع و عرشه پرداختند. آن ها یک اسکله شمع و عرشه را یک بار در نرم افزار SAP2000 و به همراه فنر غیر خطی $p-y$ و بار دیگر در نرم افزار FLACK 2D به صورت محیط پیوسته خاک مدل کردند. حساسیت مدل ها نسبت به اثر قطر شمع، اثر فاصله میان شمع ها، اثر تعداد دهانه ها، محل قرارگیری شمع در گروه و اثر شتاب وارده بررسی گردید [۲۴].

۳-۱-۲- بررسی پاسخ لرزه ای شمع در خاک های روان گرا

فین و فوجیتا [۲۵] به بررسی رفتار های لرزه ای شمع در خاک روان گرا پرداخته اند. آن ها در تحقیق خود به روش های مختلف تحلیل و طراحی شمع در برابر بارهای لرزه ای پرداخته اند و اثر وجود لایه خاک روان گرا را در رفتار شمع بررسی کرده اند.

بابو و هالدار [۲۶] مکانیزم های خرابی پی های شمعی را در خاک روان گرا مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق اثر چگالی خاک، فرکانس غالب زلزله، جنس شمع و قطر شمع روی پاسخ شمع در خاک روان گرا مورد بررسی قرار گرفت.

تاکاهاشی (۲۰۰۵) به بررسی روانگرایی و جابجایی های بزرگ در اسکله های شمع و عرشه پرداختند. آن ها ضمن انجام آزمایش های سانتریفیوژی، مدل های عددی نیز از نمونه های خود ارائه نمودند [۲۷].

۳-۱-۳- نمونه هایی از آزمایش روی شمع با مقیاس واقعی

آزمایشات زیادی برای بررسی رفتار اندر کنشی خاک-سازه روی شمع ها با مقیاس واقعی انجام شده است؛ که در آن ها بارگذاری به صورت جانبی صورت پذیرفته است. در جدول (۳-۱) لیستی از این آزمایشات ارائه شده است.

جدول (۳-۱): نمونه هایی از آزمایشات روی شمع [۱۳]

	Reference (Year)	Pile Type	Soil condition	
Single Pile	1	Chai and Hutchinson (1999)	4 Concrete piles	Loose and dense sand
	2	Ismael (1990)	12 Bored shaft	Medium dense cemented sand
	3	Little and Briaud (1988)	4 Drilled shaft 1 Square prestressed concrete pile 1 Steel pipe pile	Medium dense sand
	4	Morison (1988)	1 Steel pipe pile	Stiff clay and compacted sand
	5	Trucker and Briaud (1988)	2 H-piles	Medium to dense sand
	6	Bhushan <i>et al.</i> (1981)	7 Drilled shaft	Medium to dense sand
	7	Reese <i>et al.</i> (1974)	2 Steel pipe piles	Submerged dense sand
	8	Alizadeh and Davisson (1970)	3 Pipe Piles, 4 H-piles 1 Timber pile, 3 Concrete piles	Medium dense sand
	9	Alizadeh (1969)	4 Timber piles	Sand, and gravel
	10	Davisson and Salley (1969)	4 Drilled shaft	Medium dense sand
	11	McNully (1956)	3 Taper concrete piles	Medium dense silty sand
	12	Ashford and Juimmarongrit (2005)	5 CIDH piles	Cemented sand
	13	Diaz <i>et al.</i> (1984)	2 Prestressed concrete piles	Large size rockfill
Pile Group	14	Rollins <i>et al.</i> (2005)	3x5 steel pile group	Sand
	15	Ashford and Rollins (2002)	3x3 steel pile group	Sand

۳-۱-۴- تحقیقات انجام گرفته روی عملکرد لرزه ای اتصالات اسکله های شمع و عرشه

عملکرد لرزه ای اتصالات در اسکله های شمع و عرشه برای درک رفتار لرزه ای این نوع اسکله ها اهمیت

زیادی دارد. با این وجود تحقیقات نسبتاً کمی در این زمینه انجام گرفته است.

پیزانو (۱۹۸۴) به بررسی رفتار اتصالات شمع های بتنی پیش تنیده در دانشگاه واشنگتن پرداخت [

۲۸].

پارک (۲۰۰۰) بر روی شکل پذیری و مقاومت شمع های پیش تنیده و سر شمع های بتنی آزمایشاتی در نیوزلند انجام دادند [۲۹].

۳-۱-۵- تحقیقات انجام شده بر روی اثر شمع مایل و فیوز سازه ای در عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه

اسکله های شمع و عرشه و موضوعات مرتبط با آن ها به ویژه شمع های مایل مورد توجه محققین زیادی در کشورمان بوده است که از جمله آن ها می توان به موارد زیر اشاره کرد.

سید علی رضوی و فاخر (۱۳۸۵) به مطالعه مشکلات استفاده از شمع های مایل در اسکله های شمع و عرشه پرداختند. آن ها یک اسکله را در دو حالت دارای شمع مایل و بدون آن در نرم افزار SAP2000 مدل سازی کردند. نتایج حاکی از آن است که سختی زیاد شمع های مایل باعث افزایش سختی کل سازه و افزایش تقاضای لرزه ای می گردد و پیروود و شکل پذیری سازه کاهش می یابد [۹].

حسن امید علی و همکاران (۱۳۸۶) رفتار شمع های مایل در گروه شمع ها در اسکله های شمع و عرشه را بررسی کردند. تحقیق به روش عددی تفاضل محدود و با نرم افزار FLAC3D انجام شد. خاک بصورت الاستو پلاستیک و شمع و سر شمع با معیار های الاستیک مدل شدند. نتایج حاکی از آن است که گروه های شمع مایل و قائم، تحت اثر بارهای قائم از نظر نشست قائم با گروه های دارای شمع مایل تفاوت چندانی ندارند اما در صورت اعمال بار جانبی، در محل اتصال سر شمع به شمع، تمرکز تنش برشی داریم که این تمرکز در شمع های مایل به مراتب بیشتر از شمع های قائم است [۳۰].

معماری و فاخر (۱۳۹۰) جهت بهبود عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه دارای شمع مایل، استفاده از فیوز سازه ای را پیشنهاد کردند. استفاده از فیوز سازه ای باعث افزایش شکل پذیری سازه و کاهش

تقاضای لرزه ای، جذب انرژی بیشتر، متمرکز کردن خسارت ها در فیوز، جلوگیری از آسیب رساندن به شمع های مایل و امکان تداوم کاربری اسکله بعد از زلزله می گردد [۳۱].

۳-۱-۶- تحقیقات انجام گرفته شده روی عملکرد لرزه ای اسکله هایی که با آیین نامه قدیمی طراحی شده اند

والش و آشفورد در تحقیق خود به بررسی رفتار لرزه ای یک اسکله شمع و عرشه واقعی، با انجام آزمایشات میدانی پرداختند. هدف آن ها بررسی حدود تغییر مکان شمع های طراحی شده با آیین نامه های قدیمی بود. آن ها هم چنین قصد داشتند که منحنی های $p-v$ خاک های سیلتی را از روی نتایج آزمایشات خود محاسبه کنند. آزمایش های آن ها هم روی شمع تکی و هم روی شمع های گروهی انجام شد [۱۲].

محرمی و اردکانی (۱۳۸۹) رفتار لرزه ای اسکله های طراحی شده بر اساس آیین نامه های طراحی را بررسی و با رفتار پیش بینی شده توسط آیین نامه های مقاوم سازی مقایسه کردند. در این تحقیق به مقایسه سطوح عملکرد پیش بینی شده توسط آیین نامه مقاوم سازی پرداخته شده است. این مطالعات نشان می دهد که الگوهای متفاوت بارگذاری نتایج متفاوتی را بدست می دهند که از نظر کلی کم و بیش مشابه هستند لیکن در جزئیات با هم تفاوت دارند. [۱۵]

۳-۱-۷- سایر تحقیقات انجام شده بر روی عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه

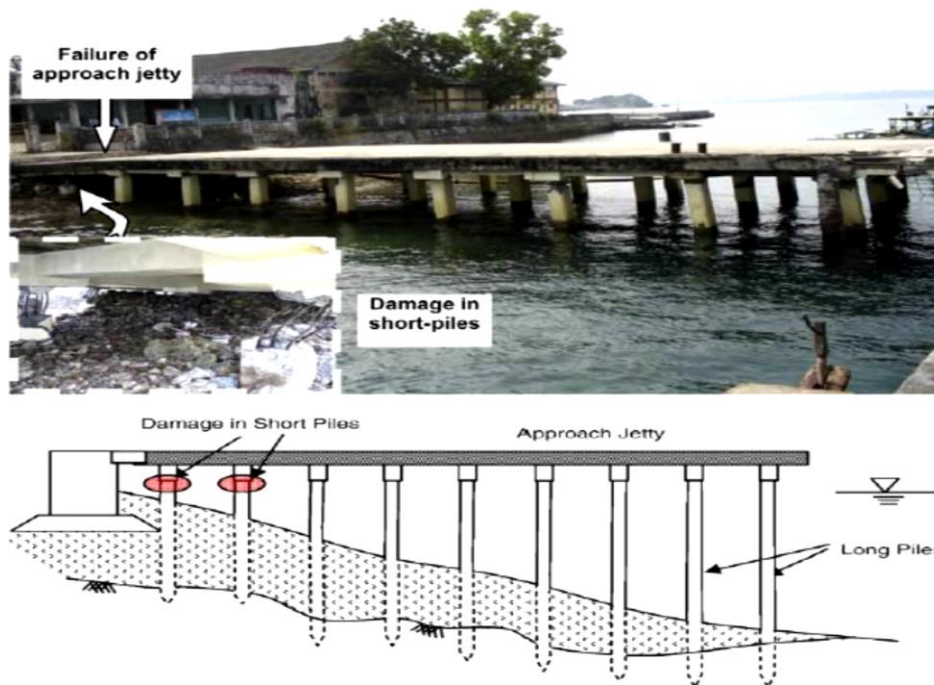
سینگ و همکارانش (۲۰۰۱) رفتار لرزه ای اسکله شمع و عرشه موازی ترمینال شماره ۷ بندر اوکلند را تحت زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا مورد ارزیابی قرار دادند و با تغییرات پارامتریک مشخص خاک، میزان خرابی شمع ها و لنگرهای خمشی موجود در آن ها را ارائه نمودند [۳۲].

لوبدان و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی عملکرد و تدوین برنامه مقاوم سازی اسکله های بندر اوکلند که در اثر زلزله لوماپریتا آسیب دیده بودند، پرداختند [۳۳].

راوس و داوسون (۲۰۰۳) یک اسکله شمع و عرشه را توسط سه نرم افزار SAP 2000 ، PERFORM ، 2D و FLAC مدل سازی کرده و با مقایسه نتایج اعلام کردند، که نرم افزار FLAC رفتار لرزه ای اسکله های شمع و عرشه را به صورت مناسب تری بیان می کند [۳۴] و [۳۵].

تاکاهاشی (۲۰۰۳) در تحقیق خود به ارزیابی عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه با استفاده از روش اجزای محدود پرداخت. او برای صحت سنجی نتایج مدل عددی خود آن ها را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرد و اعلام کرد که نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی انطباق خوبی دارد [۳۶].

موندال و رای (۲۰۰۷) به بررسی عملکرد سازه ای بندر جزیره ی آندامان پس از زلزله سال ۲۰۰۴ در سوماترا پرداختند. همان گونه که در شکل (۳-۳) ملاحظه می شود، بیشترین خسارت وارده در سر شمع های کوتاه سمت ساحل و پل دسترسی ساحل به اسکله رخ می دهد که این امر ناشی از تاثیر شیب بستر در نزدیکی ساحل می باشد [۳۷].



شکل (۳-۳): آسیب شمع های کوتاه سمت ساحل در زلزله سوماترا ۲۰۰۴ [۳۷]

بروسچک و همکاران (۲۰۱۰) از طریق تست های آزمایشگاهی به تعیین میزان میرایی اسکله های شمع و عرشه پرداختند آن ها پس از انجام آزمایش بر روی مدل های خود اعلام کردند، برای اسکله ها میرایی در حدود ۳ الی ۴ درصد مناسب می باشد [۳۸].

شفیع زاده (۲۰۱۰) مدل های ساده شده و پیچیده و کامل اسکله های شمع و عرشه به همراه خاک و جراثقال آن ها را در برنامه OPENSEES مدل سازی نمود بر روی مدل ها آنالیز های بار افزون و تاریخچه زمانی انجام داد. مدل های ساده شده اسکله جواب های قابل قبولی نسبت به مدل های پیچیده و دشوار داشتند [۳۹].

عبدالهی و طاحونی (۱۳۸۵) در قالب مطالعی کاربردی به بررسی تاثیر زلزله با تکیه بر تحلیل الاستیک و پلاستیک در اسکله ۱۵۰ هزار تنی بندر امام خمینی پرداختند. در این تحقیق تحلیل های خطی و غیر خطی بر روی مهم ترین اسکله های شمع و عرشه کشور انجام شده است [۴۰].

شبانکاره و کتابداری (۱۳۸۹) به بررسی رفتار یک اسکله شمع و عرشه دارای شع های قائم و مقاوم سازی آن با سیستم های مهاربندی پرداختند. آنالیز توسط نرم افزار SAP2000 صورت پذیرفت. افزودن سیستم های مهاربندی در اسکله های فاقد شمع مایل، موجب سخت تر شدن اسکله می گردد و سبب بهبود رفتار لرزه ای اسکله شده و موجب افزایش برش پایه تحمل شده توسط سازه می گردد [۴۱].

۳-۲- سایر تحقیقات انجام شده بر روی اسکله شمع و عرشه

خیپو و دیگران (۲۰۰۰) به بررسی جابجایی شیب هایی که با شمع تقویت شده اند پرداختند. آن ها از روشی که بر مبنای تئوری الایسیسته است برای محاسب ی بار جانبی ناشی از شمع ها استفاده کردند [۴۲]. کاتلی و ماجری (۱۹۹۵) در تحقیق خود روش ساده ای را برای محاسبه ی پاسخ لرزه ای پی های شمعی ارائه کردند. آن ها برای محاسبه ی پاسخ شمع ها روشی بر مبنای منحنی های $p-y$ ارائه دادند؛ که روش فوق شامل دو قسمت است: تحلیل پاسخ بستر و تحلیل استاتیکی شمع [۴۳].

هارن در تحقیقی روند طراحی لرزه ای بر مبنای عملکرد برای یک اسکله شمع و عرشه بزرگ نظامی را تشریح کرده است [۴۴].

مکلوف و مکاران (۲۰۰۳ و ۲۰۰۴) عملکرد لرزه ای ۴ اسکله شمع و عرشه موازی ساحل را در بندر اوکلند در شرایط آزمایشگاهی به صورت سانتریفیوژی تحت دو زلزله متفاوت مورد بررسی قرار داد. آن ها شیب بستر را نیز در نظر گرفتند. سپس یکی از اسکله ها را به کمک نرم افزار FLAC2D مدل سازی نموده و نتایج را با نتایج حاصل از آزمایشگاه مقایسه کرد [۴۵]. در شکل (۳-۴) نمونه های آزمایشگاهی و مدل های نرم افزاری آن ها را مشاهده می کنید.



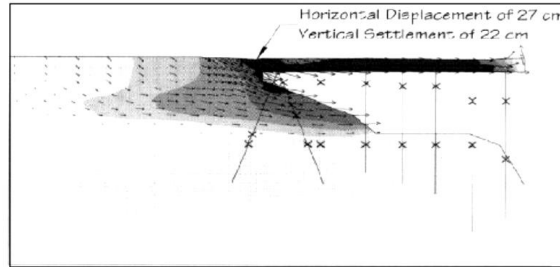
الف



ب



ج



د

شکل (۳-۴): مراحل تحقیق مک کالوف و همکاران، الف: ساخت مدل اسکله، ب: نصب اسکله در محیط آبی و خاکی، ج: مقطع

شمع به همراه شیب بستر و تفاوت در طول شمع ها، د: اسکله مدل شده در نرم افزار FLACK2D [۴۵]

چپارمونت (۲۰۱۱) چندین اسکله شمع و عرشه موازی ساحل در بندر اوکلند را توسط برنامه Opensees مدل سازی کردند. وی ابتدا سازه اسکله و سپس سازه به همراه محیط پیوسته خاک و در نهایت سازه-خاک-جرثقیل اسکله را مدل نمودند. او هم چنین در مدل سازی ها شیب بست را هم در نظر گرفته بود [۴۵].

سید علی رضوی و فاخر (۱۳۸۵) یک اسکله شمع و عرشه را یک بار به روش طول گیرداری و بار دیگر به روش فنر های غیر خطی در نرم افزار SAP2000 مدل کردند و روی مدل ها آنالیز بار افزون انجام دادند. اسکله مدل شده به روش طول گیرداری، دارای پریود ارتعاشی بیشتر و برش پایه کمتری می باشد [۴۶].

ابراهیم زاده عطاری و همکاران (۱۳۸۵) رفتار شمع های یک اسکله شمع و عرشه بتنی را قبل و بعد از ایجاد خوردگی در آرماتورها و ریختن پوشش بتنی، ترمیم پوشش بتنی و محصور کردن شمع با پوسته های الیاف پلیمری CFRP تحت اثر بارهای جانبی و سیکلی به همراه بار محوری را توسط نرم افزار ANSYS بررسی

کردند. نتایج تحلیل ها نشان دهنده کارایی مناسب کامپوزیت های CFRP در ترمیم و جبران مقاومت و شکل پذیری و میزان اتلاف انرژی شمع های آسیب دیده بر اثر خوردگی آرماتورهاست [۴۶].

محمد رضا الهی و عباس قلندری (۱۳۸۸) رفتار گروه های شمع را در شیروانی بررسی کردند. بدین منظور مدل های آزمایشگاهی و سانترفیوژی 1g از گروه های شمع را در شیروانی خاکی تهیه کردند و مورد آزمایش قرار دادند. سپس با توسعه برنامه PSPG-Slope و مقایسه نتایج تحلیل خود با آزمایش ها، برنامه ی خود را اعتبار سنجی نمودند. در پایان یک اسکله شمع و عرشه را در برنامه فوق مدل کردند. اثر شیب بر رفتار گروه شمع باعث افزایش مدل لنگرها و فشار های وارد بر شمع ها می شود و رفتار شمع های پایین شیب با شمع های بالای شیب متفاوت است [۴۷].

امیر خیری و فرشید جندقی علایی (۱۳۹۲)، یک اسکله شمع و عرشه را ۳ بار و در حالات بستر صاف، بستر دارای شیب کم و بستر دارای شیب زیاد در نرم افزار SAP2000 مدل سازی کردند. نتایج مدل سازی به روش طول گیرداری بیانگر کاهش دوره تناوب، افزایش برش پایه، افزایش سختی سازه، افزایش لنگر خمشی شمع های سمت ساحل، ایجاد پیچش در سازه، کاهش شکل پذیری اسکله واقع بر بستر شیب دار در مقایسه با بستر صاف می باشد [۴].

فصل چهارم : روش های تحلیل سازه های

دریایی در برابر زلزله

در میان بار های جانبی وارد بر اسکله نیروی زلزله از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و غالباً این نیرو حاکم می باشد. ضعف عملکرد اسکله های طراحی شده بر اساس آیین نامه های قدیمی در زلزله های اخیر، محققین را به سمت تحلیل های غیر خطی و طراحی بر اساس عملکرد سوق داده است. در این فصل با روش های تحلیل لرزه ای اسکله ها، سطوح عملکرد، آنالیز بار افزون، آنالیز تاریخچه زمانی و ... آشنا خواهیم شد.

۴-۱-۱-۴ ضعف عملکرد اسکله ها در زلزله های گذشته و اهمیت موضوع

ضعف عملکرد اسکله ها در زلزله های اخیر در جهان و هم چنین لرزه خیزی بالای کشورمان، لزوم تحقیق و پژوهش را در مورد این سازه ها و بررسی آن ها با جدیدترین دستاوردهای مهندسی را به اثبات رسانیده است. چند نمونه از خرابی های اسکله ها در زلزله های اخیر را بررسی می کنیم:

۴-۱-۱-۴-۱-۱ زلزله آلاسکا (۱۹۶۴)

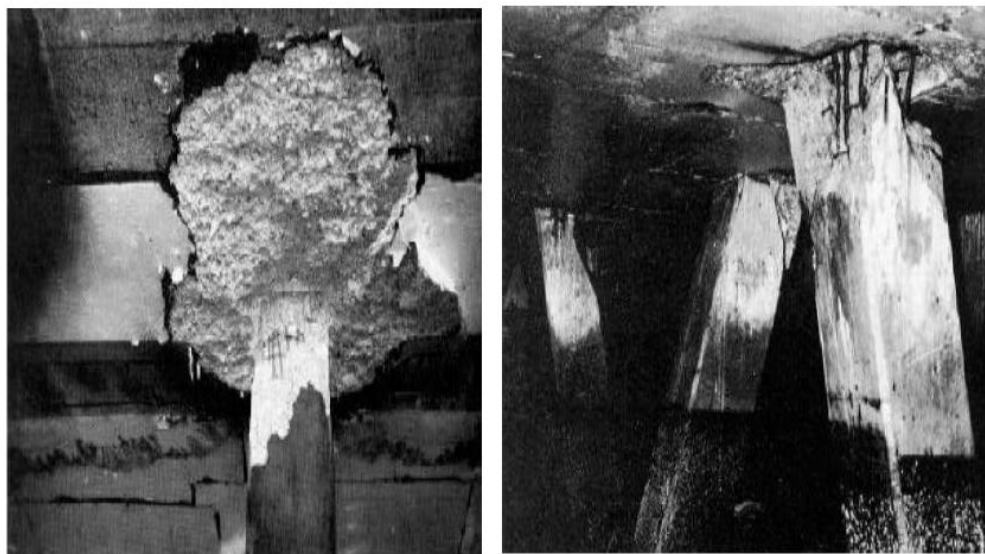
بزرگی این زلزله ۸.۳ ریشتر بود که آسیب های زیادی به پل های بزرگراه ها وارد کرد. اسکله سیتی داگ یک سازه بتن مسلح بود و بر روی شمع های قائم فولادی با قطر ۴۰ الی ۱۰۰ سانتی متر و شمع های مایل فولادی به قطر ۳۵ الی ۵۰ سانتی متر و در خاک رس سفت قرار گرفته بود صدمات شدیدی دید. شتاب بیشینه ی افقی زمین g ۰.۳ تخمین زده شد [۴۸]. بار اینرسی اضافی ناشی از یخ زدن آب اسکله پاسخ لرزه ای مجموعه را افزایش داد. لنگرگاه نزدیک به ۱.۲ متر نشست کرد و در جنوب به میزان ۲۰ سانتی متر و در شمال به میزان ۴۳ سانتی متر به سمت خارج تغییر مکان داد.

شمع های مایل در اثر خم شدگی و کمانش آسیب دیده اند ولی بعضی از شمع ها قائم بدون آسیب مانده اند [۴۹].

۴-۱-۲- زلزله لوماپریتا (۱۹۸۹)

بزرگای این زلزله ۷ ریشتر بود و در اثر آن به شمع های تاسیسات بندر و سازه های دریایی اطراف سانفرانسیسکو صدمه متوسطی وارد شد. بیشینه شتاب افقی زلزله $0.45g$ اندازه گیری شده بود که باعث ایجاد صدمات شدیدی در ترمینال شماره ۷ گردید و اسکله آن 0.1 متر تغییر مکان جانبی داد [۵۰].

در این ترمینال شمع های مایل مرکزی در خاک ریز شل هیدرولیکی قرار گرفته بودند. این خاک نشست کرده و دچار روان گرایی شد. در نتیجه این شمع ها تحت اثر نیروی محوری ناشی از نیروی جانبی زلزله دچار نشست و گسیختگی برشی شدند. در حدود 600 شمع مایل، اکثرا در نواحی اتصال به سر شمع دچار ترک خوردگی و شکستگی شدند [۳۰]. در شکل (۱-۴) نمونه هایی از خرابی شمع های مایل در اثر زلزله ی لوماپریتا مشاهده می شود.



شکل (۱-۴): نمونه هایی از خرابی شمع های مایل در اثر زلزله لوما [۹]

۴-۲-دستورالعمل ها، آیین نامه ها ، استاندارد ها و مراجع مورد استفاده

در سطوح بین المللی ، عدم کفایت استاندارد های شناخته شده طراحی زلزله ای سازه های ساحلی از مدت ها قبل مورد بحث محافل علمی بوده است. در این خصوص، در کنفرانس سال ۱۹۹۲ که توسط انجمن مهندسی عمران آمریکا در سیاتل آمریکا برگزار گردید، در بخشی موسوم به “proposed seismic design methods for piers and wharves” و پیشنهاداتی جهت ارائه ی دستورالعمل جدید ارائه گردیده است. طی کنفرانس ۱۹۹۵، آیین نامه ای تحت عنوان “Recommendations for Waterfront Structures Codes” ارائه گردید [۱].

تخریب وسیع سازه های ساحلی به خصوص اسکله های دیوار ساحلی در زلزله ۱۹۹۵ کوه ژاپن، توجه بین المللی را به ناپایداری و عملکرد ضعیف این گونه سازه ها جلب و ضرورت بازنگری در روش های طراحی لرزه ای را نمایان ساخت. در سال ۱۹۹۸، مدرک فنی تحت عنوان “Seismic Guidelines of Ports” توسط ASCE منتشر گردید که شامل مرور کامل ارزیابی روش های موجود در این زمینه بود. هم چنین در این ارتباط، دستورالعمل ها و استاندارد های جدید دیگر از قبیل “Technical Standard and Commentaries for port and Harbor Facilities in Japan” ، استاندارد بین المللی ISO023469، آیین نامه “Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standard” موسوم به MOTEMS و “Seismic Design Guidelines for Port Structures” موسوم به PIANC از جمله تلاش های وسیع بین المللی جهت رفع عدم کفایت روش های دقیق و مناسب طراحی لرزه ای بوده اند [۱].

۴-۳- مبانی راهنمای طرح لرزه ای در شرایط فعلی

روش طراحی لرزه ای سازه ها، بخصوص سازه های اسکله ای و ساحل ها بعد از وقوع زلزله های دهه ۱۹۹۰ بخصوص ۱۹۹۴ نورت ریج آمریکا و ۱۹۹۵ کوبه دچار تغییرات اساسی شد. قبل از این عموماً سازه ها برای

یک زلزله طرح واحد و با روش های ساده شبه استاتیکی طراحی می شدند. حتی در صورت بکار گیری تحلیل های دینامیکی پیچیده تر ، عموماً روش های موسوم به تنش مجاز مورد استفاده قرار می گرفتند. اما سازه های ساحلی که با این روش طراحی شده بودند و برای طراحی آن ها از یک ضریب معادل لرزه ای مورد استفاده شده بود، در زلزله ۱۹۹۵ کوبه دچار آسیب های شدید شدند. با توجه به این که این آسیب ها برای سازه هایی اتفاق افتاد عملکرد بهتری از آن ها انتظار می رفت و تخریب آن ها باعث توقف بهره دهی امکانات مهمی می شد، این تفکر به وجود آمد که عملکرد مطلوب می تواند به عنوان شاخص مناسب طراحی لرزه ای تلقی گردد. از طرفی دیگر روش های شبه استاتیکی به تنهایی قادر نبودند نوع عملکرد و پاسخ عملکردی سازه ها را ارائه نماید. از طرفی دیگر مشخص گردید که عملکرد سازه ها به ازای زلزله های با احتمال وقوع بیشتر در مقایسه با زلزله ها با احتمال وقوع کمتر می تواند با توجه به اهمیت سازه و عملکرد مورد انتظار متفاوت باشد. متعاقباً این تفکر، روش طراحی جدیدی بر مبنای عملکرد سازه ها در برابر زلزله ارائه گردید. امروزه در روش مدرن طراحی سازه های ساحلی و بندری، روش طراحی بر مبنای عملکرد از سه جزء مهم برای طراحی مطلوب لرزه ای مطلوب می باشد. در این روش، زلزله ی طرح به بیش از یک زلزله افزایش یافته است. به عبارت دیگر سازه برای دو یا تعداد بیشتری زلزله طرح، طراحی می گردد. زلزله های طرح با توجه به طراحی مطلوب مورد انتظار شامل لرزه های متوسط و شدید می گردند. برای حصول به یک سطح عملکرد خاص ضروری است که سازه به ازای هر دو نوع زلزله تحلیل گردد. بدیهی است پاسخ سازه به دو زلزله متوسط و شدید یکسان نخواهد بود؛ لکن با توجه به پاسخ محاسبه شده برای هر دو سطح زلزله، پاسخ بدست آمده بایستی سطح عملکرد مورد نظر را ارضا نماید. علاوه بر سطح زلزله طرح و سطح عملکرد که دو جزء مهم طراحی بر مبنای عملکرد هستند، انتخاب روش های تحلیل لرزه ای مناسب جهت محاسبه پاسخ سازه ها در سطوح مختلف زلزله طرح با توجه به تفاوت دقت و هزینه های مربوط به محاسبه، جزء موارد مهم این روش طراحی هستند. در واقع یکی از وجوه تمایز این روش با روش های

قدیمی استفاده از روش های تحلیلی کامل تر دینامیکی به همراه روش های شبه استاتیکی و نتیجه گیری از استفاده توأم این روش ها می باشد [۱].

۴-۴- روش تحلیل سازه های ساحلی

روش تحلیل سازه های ساحلی بستگی به نوع سیستم سازه ای آن ها دارد. مناسب ترین روش تحلیل این سازه ها را می توان به کمک جدول (۴-۸) تعیین نمود. همان طور که در جدول (۴-۸) و (۴-۹) نشان داده شده است، روش های تحلیل سازه های ساحلی بر اساس نوع سازه می تواند به دو دسته ی مهم تقسیم بندی شود که عبارت اند از: سازه های حائل یا سازه های خاکی نظیر اسکله های دیوار ساحلی، خاک ریز ها، شیروانی ها و موج شکن ها و همین طور سازه های متکی به شمع نظیر اسکله های شمع و عرشه یا اسکله های ترکیبی شمع و سپری.

جدول (۴-۱): روش های تحلیل لرزه ای سازه های بندری و اسکله [۱]

تحلیل دینامیکی		تحلیل شبه دینامیکی	تحلیل شبه استاتیکی	روش تحلیل
مدلسازی ژئوتکنیکی	مدلسازی سازه ای			
* FEM یا FDM تحلیل خطی و خطی معادل یا غیرخطی ** 2D یا 3D	سیستم یک یا چند درجه آزادی یا روش * FEM یا FDM تحلیل خطی یا غیرخطی ** 2D یا 3D	روشهای مبتنی بر روش نیومارک یا نمودارهای ساده شده بر اساس مطالعه پارامتریک (جدول ۱-۹)	روشهای شبه استاتیکی یا تجربی با یا بدون در نظر گرفتن اثر روانگرایی	دیوار (اسکله) وزنی اسکله سپری
		روش Pushover و روش طیف پاسخ	روش طیف پاسخ	اسکله شمع و عرشه
		روش های مبتنی بر روش نیومارک	تحلیل شبه استاتیکی	دیوار محفظه ای
		مشابه اسکله شمع و عرشه	مشابه اسکله شمع و عرشه	جرتقیل
		روشهای مبتنی بر روش نیومارک	تحلیل شبه استاتیکی	موج شکن

* FEM یا FDM : روشهای المانهای مجزا یا روش المانهای محدود

** 2D یا 3D : سه بعدی یا دو بعدی

۴-۴-۱- روش های تحلیل لرزه ای سازه های متکی به شمع

بخشی از اسکله های رایج به صورت سازه های متکی به شمع هستند. روش های سه گانه ی تحلیل در این قسمت برای این گونه سازه ها معرفی شده اند.

جدول (۴-۲): روشهای تحلیلی و مراجع [۱]

تحلیل دینامیکی	تحلیل شبه دینامیکی	تحلیل شبه استاتیکی	نوع و روش تحلیل	
FEM/FDM(2D) دوبعدی تحلیل خطی ژئوتکنیکی: (مدلسازی به کمک نرم افزار FLUSH). تحلیل غیر خطی ژئوتکنیکی: (FLIP)	روش Pushover و روشهای طیف پاسخ (SDOF/MDOF)	روش طیف پاسخ برای تعیین حد پاسخ سازه در محدوده الاستیک	روش تحلیل	شمع و عرشه در اسکله های متکی به شمع، جراثیل
Lysmer et. al.(1975) (تنش کل یا تحلیل خطی معادل) Iai (1998b) (تنش موثر یا تحلیل غیرخطی) Ferritto et. al.(1999) (غیرخطی)	Ferritto(1997a), Werner(1998), Yokota et. al.(1999), Ferritto et. al.(1999)	Ferritto(1997a), Wemer(1998), Yokota et. al.(1999) , Ferritto et. al.(1999)	مراجع	

۴-۴-۱-۱- روش های شبه استاتیکی برای تحلیل سازه های متکی به شمع

در این روش ها ، سیستم های سازه ای مورد بررسی نظیر شمع و عرشه و یا سیستم جراثیل به صورت سیستم های یک یا چند درجه آزادی مدل شده و مورد تحلیل قرار می گیرند. در این نوع تحلیل ها، تحرک ناشی از زلزله عموماً در قالب طیف پاسخ مورد استفاده واقع می شوند. معمولاً جابجایی دایک یا شیروانی نا چیز و قابل صرف نظر فرض می گردد. نتایج تحلیل های یک درجه آزادی یا چند درجه آزادی برای ارزیابی پاسخ حالت

حدی سیستم شمع و عرشه و یا سیستم جراثقال به صورت تقریبی مورد استفاده قرار می گیرد . این نتایج حداقل قابل ترمیم بودن سازه را در نظر عملکرد در سطح L_1 مشخص می کند .

۴-۴-۱-۲- روش های شبه دینامیکی برای تحلیل سازه های متکی به شمع

در این نوع روش ها، روش های تحلیلی یک درجه آزادی یا چند درجه آزادی معمولاً در ترکیب با روش تحلیلی بارافزون برای ارزیابی ضریب شکل پذیری یا حد کرنش ایجاد شده در سازه مورد استفاده قرار می گیرد. در این نوع روش ها معمولاً از حرکت و تغییر مکان شیروانی صرف نظر می شود ولی در بعضی از موارد نیز می توان میزان این تغییر مکان را به کمک تغییر مکان بلوک لغزشی خاک محاسبه کرد. در نهایت مقدار تغییر مکان سیستم عرشه متکی به شمع ها در این روش برابر با مجموع تغییر مکان دایک یا شیروانی و تغییر شکل سازه ای سیستم خواهد بود. هم چنین در این نوع تحلیل ها، اثر اندر کنش خاک و سازه بر روی نتایج و پاسخ کلی سیستم در نظر گرفته نمی شود که یکی از محدودیت های این روش تحلیل می باشد. اندر کنش اسکله های متکی بر شمع و جراثقال ها ی روی آن ها به کمک تحلیل سیستم یک درجه آزادی یا چند درجه آزادی می تواند در این محاسبات وارد شوند. تغییر مکان ضریب شکل پذیری یا کرنش و محل تسلیم یا کمانش در این نوع سازه ها معمولاً پس از انجام تحلیل توسط این روش می توان تعریف کرد. مود های گسیختگی نظیر لغزش دیوار ها ی حائل، دایک ها یا شیروانی ها در این روش تحلیلی بررسی و محاسبه نشده بلکه مستقلاً فرض می شود که این امر نیز یکی دیگر از محدودیت های این روش تحلیلی محسوب می شود .

۴-۴-۱-۳- تحلیل دینامیکی برای سازه های متکی به شمع

تحلیل دینامیکی با اعمال بار ها ی لرزه ای به صورت تاریخچه ی زمانی و تحلیل عملکرد غیر خطی سازه با در نظر گرفتن اندر کنش خاک - سازه انجام می گیرد.

لازم به ذکر است که نرم افزار های متعددی چه به صورت تجارتي و چه به صورت تحقیقاتی جهت انجام انواع مختلف تحلیل های دینامیکی ساده و دینامیکی کامل وجود دارند. همان گونه که قبلا اشاره شد، نتایج حاصل از این تحلیل ها یا با موارد مشاهده شده ی واقعی در زلزله ها و یا با نتایج آزمایش های مدل فیزیکی مقایسه شده و مورد تایید قرار می گیرند.

۴-۴-۲- متغیر های ورودی و نتایج خروجی روش های تحلیلی

جدول (۴-۹) متغیر های ورودی مورد نیاز برای انواع مختلف روش های تحلیلی را ارائه کرده است. نکته مهم و حائز اهمیت این است که اعتبار و صحت جواب ها و قابلیت اعتماد به آن ها نه تنها به نوع تحلیل مربوطه، بلکه به درستی و صحت متغیر های ورودی نیز به شدت وابسته است. به این ترتیب بهترین حالتی که در آن دقیق ترین و قابل اعتماد ترین جواب را می توان بدست آورد زمانی است که مطالعات ژئوتکنیک کامل و داده های ورودی مناسب به همراه جامع ترین و کارا ترین روش تحلیل در بررسی مساله به کار گرفته شود. در بسیاری از موارد انجام آزمون ژئوتکنیکی و مطالعات دقیق و کامل متغیر های خاک نظیر تکنیک های انجماد برای نمونه گیری از خاک ماسه ای امکان پذیر نیست. بعضی از پیچیده ترین و مشکل ترین متغیر های ژئوتکنیکی مصالح را می توان به کمک روابط تجربی تهیه شده برای منطقه مورد نظر بدست آورد و با توجه به وضعیت خاص ژئوتکنیکی منطقه مورد مطالعه در محاسبات طراحی مورد استفاده قرار داد.

جدول (۴-۱۰) نتایج خروجی تحلیل ها و روش های تحلیلی مختلف را ارائه کرده اند همان طور که در جداول مشخص است روش های جامع تر و پیچیده تر تحلیل، اطلاعات دقیق تر و کامل تری در مورد عملکرد لرزه ای سیستم سازه ای در اختیار قرار می دهند که در نهایت می توانند سطح خرابی سازه را نیز تعیین کنند. ارزیابی و بررسی عملکرد سازه می تواند در مقایسه بین نتایج خروجی و معیار های خرابی کامل شود.

جدول (۴-۳): متغیرهای ورودی مهم [۱]

روش تحلیل	روش تحلیل طیف پاسخ	روش Pushover و روش تحلیل طیف پاسخ	FEM یا FDM
متغیرهای طراحی	سازه شمع - عرشه : طیف پاسخ طراحی در حد الاستیک یا سطح تنش مجاز : $\beta = 4 \sqrt{\frac{k_{h-sub} \cdot D_p}{4EI}}$ و یا منحنی P-y برای تعیین رفتار جانبی شمع دایک و دیوار حائل پشت اسکله شمع و عرشه در صورت وجود: مشابه اسکله‌های وزنی	علاوه بر متغیرهای مورد نیاز برای تحلیل شبه استاتیکی، مشخصات مصالح معرف حالات حدی سازه‌ها شامل حالات تنش تسلیم و تنش نهایی سازه شمع - عرشه	علاوه بر موارد ذکر شده برای دیوارهای وزنی، ابعاد سازه و مشخصات مصالح سازه شمع و عرشه : - برای تحلیل خطی سازه : مشخصات الاستیک مصالح شامل A, I, E و تنش تسلیم. - برای تحلیل غیرخطی سازه : تنش تسلیم و منحنی M-φ مصالح
متغیرهای ورودی	نتایج تحلیل پاسخ ساختمانگاه و ارزیابی پتانسیل روانگرایی، سازه شمع و عرشه : ابعاد و مشخصات مصالح برای شمع‌ها و عرشه، شامل Dp, A, E, I و تنش مجاز. k h-sub : ضریب عکس‌العمل جانبی پستری یا منحنی P-y شمع‌ها دایک یا دیوار حائل : متغیرهای مشابه اسکله‌های وزنی و اسکله‌های سپری	مشابه بالا	

اسکله‌های شمع و عرشه

جدول (۴-۴): خروجی‌های تحلیل [۱]

نوع تحلیل	روش شبه استاتیکی	روش شبه دینامیکی	تحلیل دینامیکی
سطح عملکردی نوع سازه	سطح عملکرد C: L1: قابل ترمیم L2: اجازه فروریختن به سازه می‌دهد بدون اثرات مخرب در محیط اطراف آن	سطح عملکرد B: L1: قابل بهره‌دهی L2: نزدیکی به گسیختگی کامل	سطح عملکرد A, S1, S2: L1: قابل بهره‌دهی (برای سازه‌های گروه S1, S2 و A) L2: قابل ترمیم (برای گروه A) قابل بهره‌دهی (برای سازه‌های گروه S1 و S2) L3: بهره‌دهی برای سازه‌های گروه S1
اسکله شمع و عرشه	شمع و عرشه: حد آستانه گسیختگی دایک یا دیوار حائل: حد آستانه گسیختگی، حدود تقریبی تغییر مکان اسکله	شمع و عرشه: تغییر مکان، تنش یا شکل پذیری، دایک یا دیوار حائل: تغییر مکان، تنش یا شکل پذیری	مودهای گسیختگی یا پاسخ سازه تغییر مکان حداکثر و ماندگار اسکله، تنش یا شکل پذیری

۴-۵- روش های تحلیل پاسخ لرزه ای اسکله های شمع و عرشه

انواع روش های تحلیل پاسخ لرزه ای اسکله های شمع و عرشه به شرح زیر می باشند:

الف - روش مود اول معادل

ب - روش طیفی چند مودی

ج - روش بار افزون

د- روش تحلیل تاریخچه زمانی

از نقطه نظر ماهیت تحلیل، چهار روش فوق به صورت زیر به تحلیل های شبه استاتیکی، شبه دینامیکی

و دینامیکی که در مباحث قبلی مطرح شد، مرتبط می گردند:

روش های شبه استاتیکی : روش الف

روش های شبه دینامیکی : ترکیب روش ج با روش الف و یا ب

روش های شبه دینامیکی : روش د

۴-۵-۱- روش الف : روش مود اول معادل

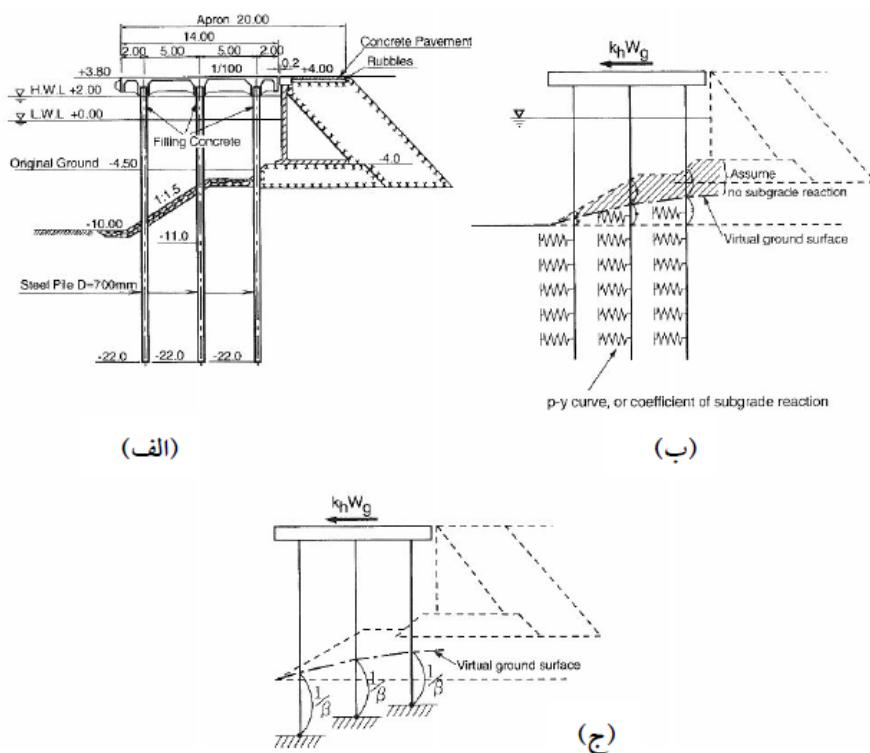
در این روش فرض می گردد که سیستم شمع و عرشه به مانند یک سیستم یک درجه آزادی معادل

رفتار می نماید. به عبارت دیگر سازه تنها یک مود ارتعاشی خواهد داشت. با استفاده از این فرض می توان نیرو

زلزله را تنها به عرشه یعنی نقطه ای که جرم سیستم شمع و عرشه در آن متمرکز شده است اعمال نمود.

۴-۵-۱-۱- روش تجربی

در روش های تجربی، میزان نیروی جانبی وارد به شمع و تغییر مکان جانبی ناشی از آن استفاده از روابط تجربی که مبنای آن ها تاثیر نوع و تعداد لایه های خاک بر عملکرد سیستم می باشد بدست می آید. همان طور که در شکل (۴-۵) ملاحظه می گردد، اثر خاک با فنر مطابق شکل ۵-ب و یا عمق گیرداری معادل مطابق شکل ۵-ج مدل می شود و سپس سازه اسکله به یک سازه ساده تبدیل می گردد که با روش های مختلف قابل تحلیل است.



شکل (۴-۲): مدل سیستم شمع و عرشه یک اسکله الف: مدل واقعی ب: مدل سازی سیستم همراه با فنر های وینکلر

ج: مدل سازی سیستم با در نظر گرفتن عمق گیرداری معادل [۱]

۴-۵-۱-۲- روش استاتیکی معادل

در این روش بار زلزله به صورت یک نیروی استاتیکی به مرکز عرشه وارد می شود. مقدار این نیرو برابر درصدی از وزن موثر سازه می باشد.

$$V = CW \quad (۱-۴)$$

W وزن موثر سازه که مطابق با آیین نامه ایران برابر بار مرده به همراه ۴۰ درصد بار زنده می باشد [۳]. هر چند برخی از آیین نامه ها میزان مشارکت بار زنده را ۵۰ درصد در نظر میگیرند.

مطابق آیین نامه پل (نشریه ۴۶۳) اگر میزان بار مرده بیشتر از بار زنده باشد نیازی به لحاظ بار زنده نیست ولی اگر بار زنده بیشتر از بار مرده باشد، دو سوم مجموع بار زنده و مرده را به عنوان وزن موثر باید در نظر گرفت [۵۱].

$$C = ABI/R \quad (۲-۴)$$

جدول (۴-۵): مقدار شتاب مبنای طرح بر اساس منطقه [۵۲]

مقدار شتاب مبنای طرح A	خطر نسبی پهنه	منطقه
0.35	خیلی زیاد	۱
0.3	زیاد	۲
0.25	متوسط	۳
0.2	کم	۴

B ضریب بازتاب اسکله است که از طیف بازتاب طرح و یا روابط زیر بدست می آید؛

$$B = 1 + S \left(\frac{T}{T_s} \right) \quad 0 < T < T_s \quad (3-4)$$

$$B = 1 + S \quad T_s < T < T_s \quad (4-4)$$

$$B = 1 + S \left(\frac{T_s}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad T > T_s \quad (5-4)$$

T زمان تناوب اصلی اسکله می باشد که از فرمول زیر بدست می آید:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} \quad (6-4)$$

T، T_s و S مقادیری هستند که بسته به تیپ خاک محل از جداولی به دست می آیند.

ا ضریب اهمیت اسکله می باشد که طبق نشریه ۴۶۳ از جدول (۴-۱۲) به دست می آید هر چند با مقادیر مندرج در برخی از آیین نامه های سازه ای دریایی تفاوت دارد.

جدول (۴-۶): ضریب اهمیت اسکله [۵۱]

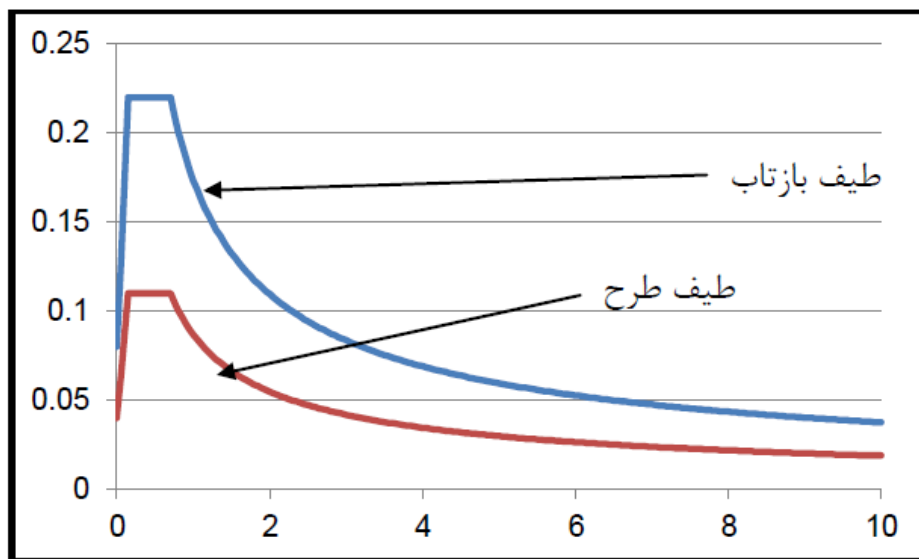
ضریب اهمیت I	گروه اسکله
۱.۲	اسکله با اهمیت زیاد
۱	اسکله با اهمیت متوسط

R ضریب رفتار اسکله می باشد که از جدولی مطابق جدول ۳ نشریه ی ۴۶۳ به دست می آید. برای اسکله ی شمع و عرشه این میزان برای اسکله های دارای شمع های فولادی به ترتیب ۵ و ۲.۵ برای روسازه و زیرسازه و در اسکله ها با شمع های بتنی برابر ۳ و ۱.۵ می باشد. با توجه به جدول، می بایست، روسازه یعنی قسمت هایی که بالای سطح آب قرار می گیرند مانند عرشه و تیرهای آن و سر شمع ها باید با ضریب رفتار R و زیر سازه

مانند شمع ها که درون آب قرار می گیرند به علت صعوبت در تعمیرات خرابی ناشی از زلزله، با ضریب رفتار $R/2$ تحلیل شوند. می توان گفت برای در نظر گرفتن شرایط سخت تعمیرات و هم چنین آسیب دیدن شمع ها در زلزله های گذشته، میزان نیروی زلزله برای این المان دو برابر محاسبه می شود.

۴-۵-۲- روش ب : روش طیفی

در این روش طیف بازتاب بر اساس تیپ خاک محل و با توجه به روابط (۳-۴)، (۴-۴)، (۵-۴) رسم می شود. سپس با کاهش به میزان A_I/R طیف طرح به دست می آید.

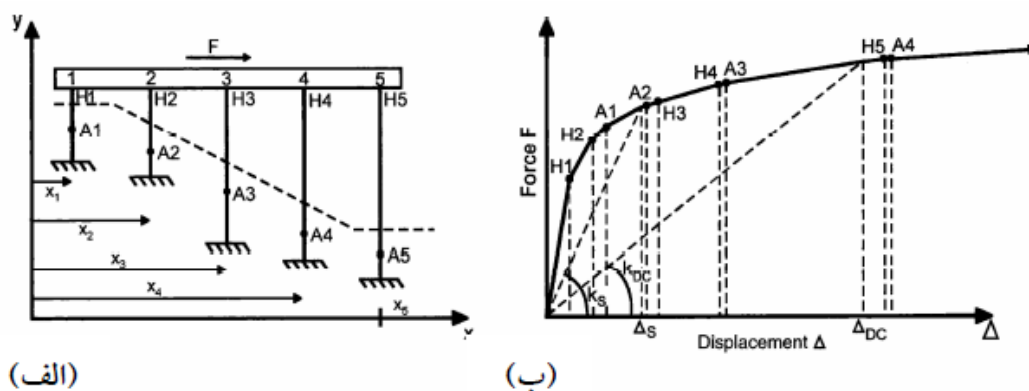


شکل (۳-۴): استخراج طیف طرح از طیف بازتاب

۴-۵-۳- روش ج : روش Pushover

منحنی بار - تغییر مکان روش پاسخ طیفی که در شکل (۷-۴) نشان داده شده است از تحلیل Pushover به دست می آید. در این روش شبه استاتیکی چند مرحله ای می باشد، در هر مرحله میزان بار خارجی واردی به صورت جانبی به سازه افزایش می یابد. در این تحلیل سیستم شمع و عرشه را می توان با و یا

بدون فنر های مربوطه به عکس العمل خاک به منظور تعیین وضعیت بخش مدفون سازه در هر مرحله بارگذاری مدل نمود. در هر مرحله افزایش میزان بار جانبی خارجی، سیر رسیدن سازه به حد تسلیم و انتقال وضعیت از حالت الاستیک به حالت حدی گسیختگی مشخص می شود.



شکل (۴-۴): تحلیل بار افزون یک اسکله شمعی: الف) مقطع عرضی

ب) پاسخ نیرو تغییر مکان و روند تشکیل مفاصل پلاستیک

۴-۵-۳-۱- کنترل های مربوط به طراحی بر اساس ظرفیت

هنگامی که تحلیل Pushover بر روی المان ها شمع و عرشه با فرض تخمین محافظه کارانه ای از مشخصات مصالح جهت تعیین مفاصل پلاستیک صورت گیرد، نیرو هایی که در اعضا به وجود می آیند از مقادیری که در حالت واقعی انتظار می رود در آن حالت حدی، در اعضا به وجود آیند کمتر خواهد بود و لذا استفاده از این نتایج برای بر آورد مقاومت مورد نیاز اعضا مناسب نخواهد بود. لذا برای تعیین حد بالای محافظه کارانه مقاومت مورد نیاز برای اعضای که قرار است در هنگام زلزله الاستیک باقی بمانند، بایستی دسته دومی از تحلیل های Pushover با احتساب محدوده های بالا تر برای مقاومت مصالح انجام گیرد.

۴-۵-۴- روش د: روش تحلیل دینامیکی غیر خطی

نحوه ی اعمال نیروهای جانبی را نمی توان دقیقا از طریق نیروی جانبی معادل ارزیابی نمود. در مواردی که ارزیابی دقیق تری از رفتار سازه ها و تلاش های لرزه ای ایجاد شده، مد نظر باشد، لازم است از روش های دینامیکی بهره جست. تحلیل دینامیکی این اجازه را به متخصصی که بر روی طراحی لرزه ای کار می کند، می دهد که عملکرد سازه را که به طریق استاتیکی طراحی شده و در واقعیت تحت نیروهای دینامیکی ناشی از زلزله قرار دارد، مورد بررسی قرار دهد و در مورد ایمنی رفتار سازه قضاوت صحیح تری انجام دهد.

تحلیل دینامیکی نیز به دو محدوده زیر تقسیم بندی می شود:

- تحلیل دینامیکی در محدوده فرکانس (تحلیل دینامیکی طیفی)
- تحلیل دینامیکی در محدوده زمان (تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی)

برای بدست آوردن رفتار دینامیکی سازه های بزرگ که تحت اثر زلزله های بزرگ قرار می گیرند معمولا از تحلیل غیر ارتجاعی استفاده می شود. تحلیل دینامیکی غیر خطی به دو صورت طیفی و تاریخچه زمانی صورت می پذیرد. این مقادیر با مقادیر مجاز آیین نامه ها و دستور العمل های بهسازی مقایسه شده و برای ارزیابی آسیب پذیری سازه ها و مقاوم سازی مورد استفاده قرار می گیرند. این مقادیر با مقادیر مجاز آیین نامه ها و دستورالعمل ها مقایسه شده و برای ارزیابی آسیب پذیری سازه ها و مقاوم سازی مورد استفاده قرار می گیرند. در صورتی که عضو و یا اعضای از سازه دارای وضعیت بحرانی باشند مورد تقویت و اصلاح قرار گرفته و سپس تحلیل دینامیکی مجددا انجام گرفته و این مراحل تا زمان حصول نتایج مطلوب تکرار می شود.

تفاوت این روش با روش شبه استاتیکی این است که، در روش دینامیکی غیر خطی، محاسبات براساس تحلیل تاریخچه زمانی صورت می پذیرد. در روش دینامیکی غیر خطی تغییر مکان های طراحی بر اساس تغییر

مکان هدف تعیین نمی شود، بلکه بطور مستقیم از تحلیل دینامیکی با استفاده از تاریخچه زمان تکان زمین تعیین می شوند، بازتاب محاسبه شده، بطور محسوسی وابسته به شتاب نگاشت های انتخابی است، بنا براین توصیه می شود، شتاب نگاشت های انتخابی از لحاظ نوع خاک با هم مشابهت حداکثری داشته باشند. از آن جایی که در مدل تحلیلی اثرات غیر خطی بودن مصالح را در نظر می گیرد، نیروی داخلی محاسبه شده، در صورت انتخاب دقیق معیار های مصالح، تقریب نزدیکی به مقادیر پیش بینی شده تحت زلزله خواهد بود.

مهم ترین نتایج حاصل از یک تحلیل دینامیکی شامل، مقادیر تغییر مکان جانبی، تغییر مکان نسبی میان طبقات، مقادیر نیروی های برشی ناشی از زلزله در تک تک المان ها و ... می باشد.

۴-۵-۴-۱- تحلیل تاریخچه زمانی مودال

معادله دیفرانسیل حاکم بر واکنش یک سیستم چند درجه آزادی که تحت اثر شتاب زمین $u_g(t)$ قرار دارد به صورت زیر است:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \quad (۷-۴)$$

که در آن u بردار تغییر مکان افقی نسبی طبقات نسبت به زمین، m و c و k ماتریس های جرم، میرایی و سختی جانبی سیستم می باشد و \ddot{u}_g بردار تاثیر می باشد که برای مولفه ی افقی زلزله تمام عناصر آن برابر یک است.

طرف راست معادله (۷-۴) را می توان بصورت نیروهای موثر زلزله نوشت:

$$P_{eff}(t) = -mi\ddot{u}_g(t) \quad (۸-۴)$$

نحوه ی توزیع این نیرو در ارتفاع سازه توسط بردار $S=mi$ مشخص می شود و $ug''(t)$ تغییرات شتاب زمین را نشان می دهد. نیروی اینرسی کلی که به سازه اعمال می شود به صورت مجموع نیروهای اینرسی است که در هر یک از مود ها به سازه اعمال می شود.

$$mi = \sum_{n=1}^N S_n = \sum_{n=1}^N \Gamma_n m \Phi_n \quad (9-4)$$

$$S_n = \Gamma_n m \Phi_n \quad (10-4)$$

در رابطه فوق ϕ_n مود ارتعاشی طبیعی n ام ساختمان و :

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} \quad L_n = \Phi_n^T m i \quad M_n = \Phi_n^T m \Phi_n \quad (11-4)$$

نیروهای موثر زلزله می تواند به صورت زیر بست پیدا کند:

$$P_{eff}(t) = \sum_{n=1}^N P_{eff,n}(t) = \sum_{n=1}^N -S_n u_g''(t) \quad (12-4)$$

با به کار گرفتن اصل تعامد مدها می توان نشان داد که ارتعاش هر مود در رفتار خطی سازه مستقل از مود های دیگر بوده و وقتی سازه در یک مود خاص ارتعاش می کند میزان مشارکت سایر مودها در پاسخ مود ارتعاشی برابر صفر است. پس معادله مربوط به پاسخ سیستم در مود n ام برابر است با:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -s_n \ddot{u}_g(t) \quad (13-4)$$

و تغییر مکان طبقات برابر خواهد بود با:

$$u_n(t) = \Phi_n q_n(t) \quad (14-4)$$

که در آن $q_n(t)$ از معادله دیفرانسیل زیر به دست می آید:

$$\ddot{q} + 2\zeta_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t) \quad (15-4)$$

که در آن ω_n فرکانس دورانی طبیعی و ζ_n نسبت میرایی برای مود n ام می باشند.

جواب این معادله، $q_n(t)$ ، با مقایسه رابطه ی (۴-۱۵) با معادله حرکت سیستم یک درجه آزادی ارتجاعی مود n ام با خصوصیات ارتعاشی ζ_n و ω_n که تحت شتاب زمین برابر $\ddot{u}_g(t)$ قرار گرفته بدست می آید:

$$\ddot{D} + 2\zeta_n \omega_n \dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = -\ddot{u}_g(t) \quad (16-4)$$

با مقایسه روابط (۴-۱۵) و (۴-۱۶) خواهیم داشت:

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t) \quad (17-4)$$

و با جای گذاری در رابطه (۴-۱۴) خواهیم داشت:

$$u_n(t) = \Gamma_n \phi_n D_n(t) \quad (18-4)$$

اگر تاریخچه پاسخ خاصی از یک سازه مد نظر باشد، هر کدام از کمیات این پاسخ $r(t)$ ، مثلا تغییر مکان نسبی طبقات، نیروهای داخلی اعضا و ... می تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$r_n(t) = r_n^{st} A_n(t) \quad (19-4)$$

که در آن r_n^{st} نشان دهنده پاسخ استاتیکی مودی به نیروی خارجی S_n می باشد و

$$A_n(t) = \omega_n^2 D_n(t) \quad (20-4)$$

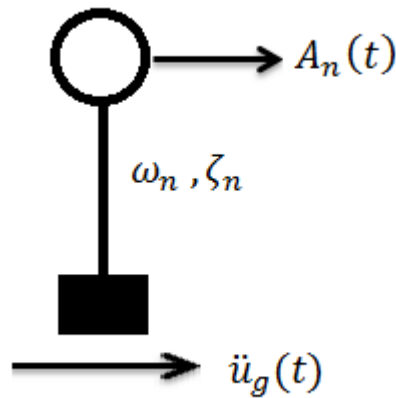
برابر پاسخ شبه شتاب سیستم یک درجه آزادی برای مود n ام می باشد.

نحوه ی انجام این دو تحلیل که منجر به محاسبه ی مقادیر r_n^{st} و $A_n(t)$ می شوند بطور شماتیک در شکل (۸-۴) نشان داده شده است.

روابط (۱۸-۴) و (۱۹-۴) نشان دهنده ی پاسخ سیستم چند درجه آزادی به نیروی موثر $P_{eff,n}(t)$ می باشد. بنا بر این پاسخ کل سیستم از اصل روی هم گذاری برابر خواهد بود با:

$$u(t) = \sum_{n=1}^N u_n(t) \quad (۲۱-۴)$$

$$r(t) = \sum_{n=1}^N r_n(t) \quad (۲۲-۴)$$



شکل (۸-۴): توصیف گرافیکی تحلیل تاریخچه پاسخ مودی سیستم چند درجه آزادی

این روند تشریح شده در حقیقت روند انجام آنالیز تاریخچه زمانی مودال است که برنامه هایی مانند

SAP 2000 و ETABS از این روش برای انجام آنالیز استفاده می کنند.

فصل پنجم : مدل سازی

در این فصل به بررسی کامل شرایط مدل سازی اسکله شمع و عرشه به روش طول گیر داری پرداخته شده است. در ادامه چندین اسکله شمع و عرشه به روش طول گیرداری در نرم افزار SAP2000 مدل سازی شده است. که از میان آن ها می توان به اسکله ی شمع و عرشه ی بندر شیف، اسکله شمع و عرشه کاتانیای جزیره ی سیسیل ایتالیا و ۱۰ اسکله فرضی دیگر نام برد؛ که در ادامه فصل به تشریح کامل آن ها می پردازیم. بار گذاری به طور کامل و با در نظر گرفتن همه ی بار مرده، بار زنده، زلزله و ... انجام شده و سپس بر روی مدل های ساخته شده تحلیل استاتیکی و شبه دینامیکی طیفی انجام شده است.

۱-۵- مدل سازی اسکله بندر شیف در نرم افزار SAP2000

در این قسمت اسکله بندر شیف بررسی شده است. بندر شیف یکی از قطب های صیادی کشور، واقع در استان بوشهر می باشد. شکل (۱-۵) موقعیت بندر را نشان می دهد.



شکل (۱-۵): موقعیت بندر شیف

همان طور که در تصاویر شکل (۲-۵) مشاهده می شود، متاسفانه بندر شیف علیرغم آلودگی سواحل آن و نیاز مبرم به اسکله جهت سهولت در در صیادی، از وجود اسکله بی بهره بود تا این که با در خواست های مردمی و پیگیری مسئولین بنا شد یک اسکله شمع و عرشه موازی ساحل در این بندر طراحی و ساخته شود.

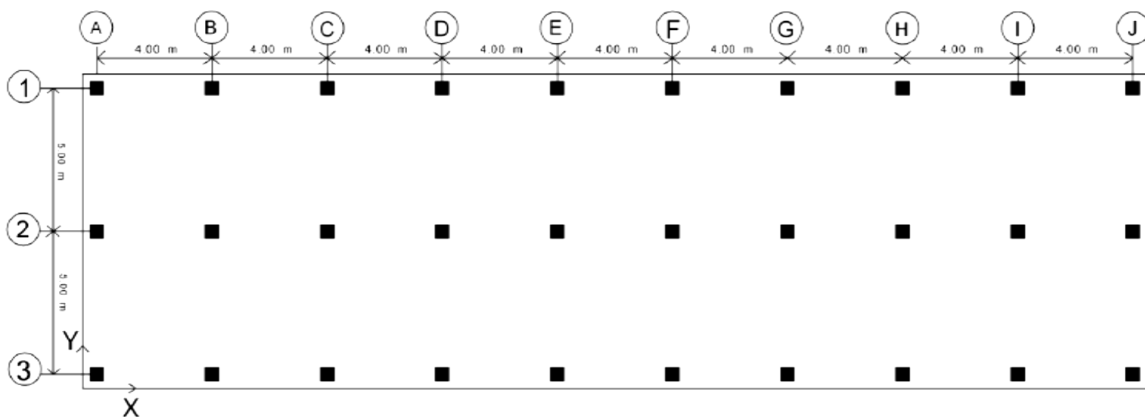


شکل (۵-۲): آلودگی سواحل بندر شیف و عدم وجود اسکله

۵-۱-۱- مشخصات اسکله

اسکله بندر شیف که مقطع و پلان آن در شکل (۵-۳) مشاهده می شود یک اسکله شمع و عرشه موازی ساحل است که تنها دارای شمع های قائم می باشد. اسکله مذکور دارای ابعاد ۳۷ متر در جهت موازی ساحل (X) و ۱۱ متر در جهت عمود بر ساحل (Y) است. تراز آب خور اسکله ۵- و تراز عرشه ۳+ نسبت به سطح آب می باشد. طول کل شمع ها ۳۵ متر محاسبه شده است [۵۳].

عرشه اسکله بتنی و دارای سیستم سازه ای دال و تیر است. شمع ها از جنس فولادی و دارای مقطع دایروی به قطر ۷۶۲ میلیمتر و ابعاد تیرهای عرشه ۵۰×۴۰ و ضخامت دال عرشه ۳۰ سانتیمتر می باشد. مقاومت فشاری بتن عرشه و شمع ها و تیر ها نیز 350 kg/cm^2 و مدول الاستیسیته بتن 200000 kg/cm^2 و همچنین برای فولاد سازه ای مقاومت تسلیم 4200 kg/cm^2 و مقاومت نهایی کششی 5200 kg/cm^2 در نظر گرفته شده است [۵۳].



شکل (۵-۳): پلان اسکله شیف [۵۳]

۵-۱-۲- بارهای وارده بر اسکله

بارهایی که به اسکله وارد می شود به شرح زیر است:

۵-۱-۲-۱- بار مرده

بار مرده وارده به سازه ناشی از وزن سازه بوده و برنامه SAP2000 قادر به در نظر گرفتن وزن اجزا می باشد. ۵ درصد افزایش بار مرده جهت لحاظ کردن مواردی که مدل نمی شوند و یا بارشان در نظر گرفته نشده، منظور گردیده است. لذا در ترکیب بار، ضریب ۱.۰۵ علاوه بر ضرایب معمول، ضرب خواهد شد.

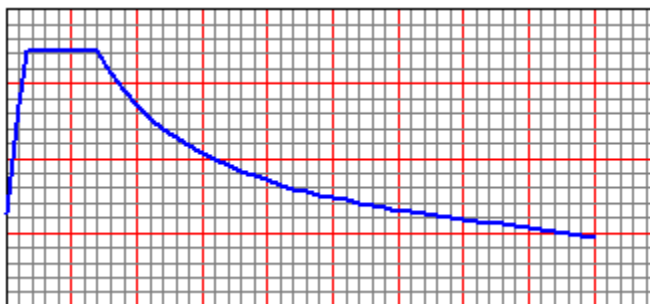
۵-۱-۲-۲- بار زنده یکنواخت

در مورد بار زنده آیین نامه ها مقدار مشخصی را الزام نکرده اند و آن را وابسته به نوع کاربری اسکله و تجهیزات عبوری از روی آن دانسته اند. ولی در سایر مراجع معتبر مانند (By Port Designer Handbook (Carl A. Thoresen در بخش ۶-۵-۲ حداقل بار زنده گسترده برای اسکله های صیادی ۱.۵ تن بر متر مربع پیشنهاد شده است [۳].

بار گذاری زلزله مطابق آیین نامه پل ایران (نشریه ی ۴۶۳) انجام شده است. تحلیل های اولیه به صورت استاتیکی معادل و شبه دینامیکی (طیفی) بوده که پس از تحلیل، برش های پایه استاتیکی و دینامیکی یکسان سازی سازی شده اند.

شتاب مبنای طرح (A) برابر ۰.۲۵ و ضریب اهمیت سازه (I) برابر ۱ در نظر گرفته شده است. خاک محل تپ II آیین نامه ۲۸۰۰ فرض شده است. پیرو مودهای ارتعاشی از آنالیز مودال سازه به دست آمد و سپس با توجه به شرایط خاک تپ II، مقدار ضریب بازتاب سازه (B) محاسبه شده است. مطابق جدول ۳ نشریه ۴۶۳ ضریب رفتار (R) اسکله دارای شمع های فولادی برابر ۵ می باشد. لذا روسازه (عرشه و تیرهای آن) با ضریب رفتار ۵ و زیر سازه (شمع ها) با ضریب رفتار ۲.۵ تحلیل می شوند [۵۱].

طیف بازتاب مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ برای خاک تپ II استخراج شده و با کاهش آن به میزان AI/R طیف طرح به دست می آید. در شکل (۵-۵) طیف بازتاب به تصویر کشیده شده است.



شکل (۵-۴) : طیف بازتاب معرفی شده به نرم افزار

در تمام آنالیزهای مربوط به زلزله در هر راستا با ۳۰ درصد زلزله ی راستای متعامد آن ترکیب شده است.

$$EQ_1 = EQ_x + 0.3 EQ_y$$

$$EQ_2 = EQ_y + 0.3 EQ_x$$

از زلزله قائم نیز مطابق تمامی آیین نامه صرف نظر شده است.

میزان بیشینه شتاب در تراز کف عرشه در سطح خطر زلزله یک (L_1) برابر g ۰.۲۵ و سطح خطر زلزله

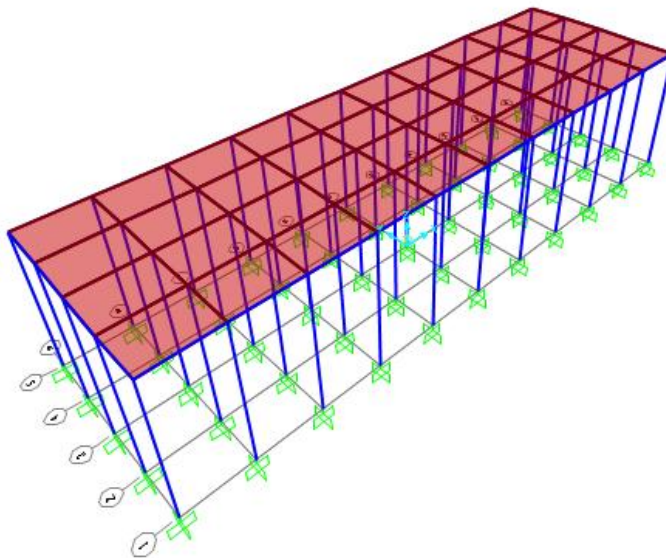
دو (L_2) برابر g ۰.۴ در نظر گرفته شده است

۵-۱-۳- مدل سازی در نرم افزار

برای مدل سازی و تحلیل اسکله از نرم افزار SAP2000 به دلیل قابلیت منحصر به فرد آن استفاده شده

است که در طراحی اسکله ها عموماً مورد استفاده قرار می گیرد. در شکل (۵-۶) نمای یکی از اسکله های مدل

شده در نرم افزار مشاهده می شود.



شکل (۵-۵) : نمای اسکله شماره ۱ مدل شده در نرم افزار

۱-۳-۱-۵- تعیین طول گیرداری

برای مدل سازی خاک در اطراف شمع و تاثیر آن بر روی سازه از مفهوم عمق گیرداری استفاده شده است. این عمق با توجه به مشخصات خاک و مشخصات شمع، تعیین می گردد. با توجه به گزارش ژئوتکنیک مورد استفاده در این پروژه، ضریب واکنش افقی بستر 25 N/cm^3 اعلام شده است. طول گیرداری برای شمع مورد استفاده با توجه به رابطه (۱-۵) از محاسبات زیر بدست می آید:

$$K_h = 25 \text{ n/cm}^3$$

$$EI_{pile} = (2e7) * (209872) = 4.2 \text{ e}12$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h D}{EI_{pile}}} = 0.0031 \text{ cm}^{-1}$$

$$\text{Virtual fixed point: } \frac{1}{\beta} = 314 \text{ cm} \approx 4 \text{ m}$$

لذا مقدار طول گیرداری $\frac{1}{\beta_i}$ برابر ۴ متر محاسبه می شود.

در این روش می توان مشخصات سختی شمع ها و زمان تناوب طبیعی ارتعاش سیستم شمع و عرشه را از روابط زیر بدست آورد [۱]:

$$K_{Hi} = \frac{12EL_i}{(L_i + \frac{1}{\beta_i})^3} \quad (1-5)$$

E: مدول الاستیسیته شمع

I: ممان اینرسی شمع

L_i: طول شمع

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \sum K_{Hi}}} \quad (2-5)$$

۵-۱-۳-۲- جرم اضافی (AD)

در بدست آوردن مدهای ارتعاشی در آنالیز زلزله باید جرم اضافی آب در اطراف شمع لحاظ شود. بدین منظور جرم گسترده ای برابر با مقادیر زیر در طول شمع (در جهت اطمینان) به مدل معرفی شده است:

$$\text{Pile outer area: } A_{out} = \frac{\pi}{4} * D_{out}^2 = \pi/4 * 0.762^2 = 0.456 \text{ m}^2$$

$$\text{Added Mass: } AM = A_{out} * \rho_{water} = 0.456 * 1025 = 467.4 \text{ kg/m}$$

۵-۲- مدل سازی اسکله شمع و عرشه کاتانیا ایتالیا

بندر کاتانیا در جزیره ی سیسیلی در جنوب ایتالیا واقع شده است. این بندر در منطقه ای لرزه خیز و احاطه شده با گسل های فراوان واقع شده است. با مراجعه به نقشه خطر لرزه ای (OPCM-3519, 2006) منطقه دارای $PGA = 0.22g$ برای ۱۰ درصد خطر زلزله در ۵۰ سال می باشد. که البته ما این میزان را برای هماهنگ تر شدن جواب ها و نیل به هدف مورد نظر همان مقدار $0.25g$ در نظر گرفتیم [۵۴].

گسترش این بندر در سال ۲۰۰۵ شروع شد و تا سال ۲۰۰۹ ادامه یافت. مطابق شکل (۵-۷) این

گسترش به دو بخش تقسیم می شود:



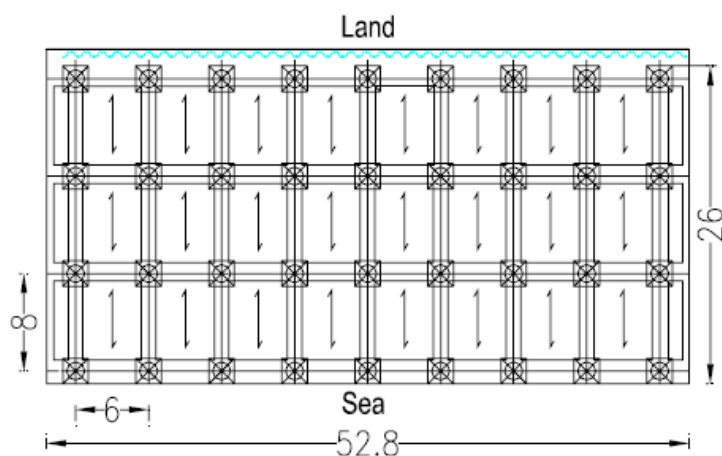
۱. اسکله شمع و عرشه

۲. اسکله بسته

شکل (۵-۶): بندر کاتانیا [۵۴]

قسمت اصلی اسکله شمع و عرشه به طول ۵۲ متر و به عرض ۲۶ متر می باشد؛ این اسکله دارای شمع های فولادی با قطر ۱.۱ می باشد. در شکل (۵-۸) مقطع عرضی این اسکله را به تصویر کشیده شده است. لازم به ذکر است که برای مدل سازی این اسکله سطح بستر صاف و بدون شیب فرض شده است. در رابطه با مشخصات مصالح بکار رفته نیز از همان مصالحی با مشخصات مذکور در مدل قبلی استفاده شده است.

در شکل (۵-۹) پلان تیرریزی این اسکله آمده است. در جدول (۵-۱) سایر مشخصات و ملزومات مدل سازی این اسکله جمع آوری شده است.



شکل (۵-۷): پلان تیرریزی اسکله شمع و عرشه کاتانیا [۵۴]

جدول (۵-۱): مشخصات اسکله کاتانیا

کاربری	ابعاد کشتی طرح	ابعاد اسکله (m)	ارتفاع شمع تا بستر (m)	جنس شمع	سیستم سازه ای	ابعاد شمع و تیر (cm)	ضخامت بتن عرشه (cm)	بار زنده گسترده (T/m ²)	Added Mass (kg/m)
حمل و نقل بار	۱۰۰۰T	۵۲.۸*۲۶	۱۳	بتنی	شمع قائم	۱۱۰*۶۰*۶۰	۳۳	۶	۹۷۴

لازم به ذکر است که تمامی مراحل بارگذاری همانند اسکله شیف برای این اسکله نیز انجام شده است که به دلیل جلوگیری از طولانی شدن مطلب از آوردن آن ها خودداری شده است. این اسکله با شرایط مذکور در برنامه SAP2000 مدل سازی شد سپس تحت آنالیزهای استاتیکی و شبه دینامیکی قرار گرفت که در ادامه به برخی از نتایج آن ها اشاره خواهد شد.

۵-۳- مدل سازی سایر اسکله های فرضی

از آن جا که یکی از اهداف این پایان نامه مقایسه ی نیروهای لرزه ای به دست آمده از روش های مختلف (استاتیکی، طیفی، تاریخچه زمانی) و در نهایت اصلاح و به روز رسانی روش استاتیکی می باشد؛ برای نیل به این هدف می بایستی که از نمونه های مختلفی برای مدل سازی و بدست آوردن خروجی های متعدد استفاده کنیم. این امر در پژوهش انجام شده توسط دو مدل موجود معرفی شده در بخش های قبل و تعداد ۱۰ مدلی که در این قسمت معرفی می شوند، صورت پذیرفته است. این مدل ها از لحاظ ابعاد، طول شمع، جنس شمع و نوع سیستم سازه ای با هم متفاوت بوده که همین امر باعث رسیدن به یک مجموعه ی کامل از انواع اسکله های شمع و عرشه شده است.

مراحل انتخاب این مدل ها به این صورت بوده است: ابتدا کاربری مدل ها انتخاب شد، بعد از آن با مراجعه به آیین نامه OCDI کشتی طرح مناسب هر کدام از اسکله ها انتخاب شد. البته از این مرحله به بعد به دلیل این که در آیین نامه ها بازه هایی برای هر نوع اسکله وجود داشت، از قضاوت مهندسی در انتخاب ابعاد اسکله و طول شمع و استفاده شد. با توجه به ابعاد کشتی طرح انتخابی ابعاد اسکله و هم چنین طول شمع از کف عرشه و تا بستر دریا انتخاب شد. برای بار زنده ی یکنواخت نیز با مراجعه به مرجع Port Designer Handbook (By Carl A. Thoresen) و با توجه به کاربری اسکله این میزان بار زنده انتخاب شد. در آخر چند نوع مقطع برای تیرها و شمع ها در نظر گرفته شد که با توجه به طول و عرض اسکله، میزان بار زنده، طول شمع، کاربری اسکله و مقاطع اسکله های موجود قبلی به این اسکله ها اختصاص داده شد. در جدول (۵-۲) نام و مشخصات کامل این اسکله ها آمده است.

شماره اسکله	کاربری اسکله	ابعاد کفشی طرح I	جنس شمع	سیستم سازه	طول اسکله m	عرض اسکله m	ارتفاع شمع m	ابعاد شمع mm	ابعاد تیر cm	ضخامت عرشه cm	بار زنده گسترده tm^2	جرم اضافی kg/m
۱	صیادی	۴۰۰	فولاد	شمع قائم	۴۰	۱۲	۹	۷۶۲-۹۰۵	۵۰*۴۰	۲۰	۱.۵	۴۶۷
۲	نفتی	۱۰۰۰۰	فولاد	شمع قائم	۱۲۰	۴۰	۱۲	۱۰۱۶-۱۴	۶۰*۵۰	۲۵	۹	۸۲۰
۳	پاری (سنگین)	۷۰۰	فولاد	شمع قائم	۷۰	۲۰	۱۰	۸۸۹-۱۱	۵۵*۴۵	۲۵	۷	۶۲۵
۴	معمولی	۴۰۰	فولاد	شمع قائم	۴۹	۲۵	۸	۷۶۲-۹۰۵	۵۰*۴۰	۲۰	۲	۴۶۷
۵	معمولی	۴۰۰	فولاد	شمع قائم	۴۹	۲۵	۲۰	۸۸۹-۱۱	۵۰*۴۰	۲۰	۲	۶۲۵
۶	معمولی	۴۰۰	بتن	شمع قائم	۴۹	۲۵	۸	۴۵*۴۵	۵۵*۴۵	۲۰	۲	۲۰۷
۷	پاری	۷۰۰	بتن	شمع قائم	۶۰	۱۵	۱۲	۴۵*۴۵	۵۵*۴۵	۲۵	۵	۲۰۷
۸	نفتی	۶۰۰۰	بتن	شمع قائم	۱۲۰	۴۰	۱۲	۶۵*۶۵	۶۰*۵۰	۲۵	۹	۲۱۰
۹	صیادی	۴۰۰	بتن	شمع قائم	۲۵	۱۲	۸	۴۵*۴۵	۵۵*۴۵	۲۰	۱.۵	۲۰۷
۱۰	پاری (سنگین)	۱۰۰۰۰	بتن	شمع قائم	۸۰	۶۰	۱۵	۶۵*۶۵	۶۰*۵۰	۲۵	۸	۴۲۲

مشخصات اسکله های فرضی

۴-۵- بررسی نتایج تحلیل استاتیکی و طیفی

پس از تحلیل استاتیکی معادل و شبه دینامیکی و یکسان سازی برش های پایه، نتایج به صورت جدول

(۴-۵) اعلام می شود.

جدول (۳-۵): برش پایه بدست آمده برای اسکله های مختلف

برش پایه جهت Y (ton)	برش پایه جهت X (ton)	پریود جهت Y (s)	پریود جهت X (s)	نام اسکله
167.5	171	1.6	1.55	شیف
443.1	458.7	0.58	0.55	کاتانیا
487.2	487.2	0.5	0.51	1
4265.7	4265.7	1.7	1.69	2
1042.7	921.8	1.07	1.16	3
875.7	853	0.72	0.74	4
450.9	440.6	2.14	2.21	5
913.6	913.6	0.73	0.75	6
651.1	662.96	1.77	1.72	7
4237.5	4237.6	1.7	1.7	8
471.1	471.1	0.66	0.61	9
8991.4	8986.3	1.21	1.22	10

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری

با مدل سازی اسکله های شمع و عرشه مورد بررسی در این پایان نامه در حالت های مختلف و به روش طول گیرداری در نرم افزار SAP2000 نتایج ذیل بدست آمد است:

۶-۱-۱- نتیجه گیری از مدل سازی به روش طول گیر داری

✓ در کلیه حالات نیروهای بدست آمده از روش تحلیل استاتیکی نزدیک به نیروهای بدست آمده از روش طیفی می باشد.

✓ شتاب نگاشت های یکسان می بایستی از ویژگی های زیر بهره مند باشند:

- بیشینه شتاب، سرعت و جابجایی نزدیکی با یکدیگر داشته باشند.
- از لحاظ نوع خاک و نوع ریخت شناسی خاک منطقه در یک رده باشند.
- از لحاظ قدرت و نوع زلزله نیز در یک رده باشند.
- از لحاظ فاصله تا گسل نیز در یک بازه نزدیکی با یکدیگر قرار داشته باشند.

۶-۲- پیشنهاد جهت تحقیق آینده

همواره در جریان انجام فعالیت های تحقیقاتی، با روشن شدن ابعاد جدید مساله مورد بررسی سوالات و مسائل جدیدی پیش روی محققان قرار می گیرد و زمینه ی ساز کارهای آینده می شود. تحقیق حاضر نیز از این فاعده مستثنی نیست. مواردی که در خلال انجام پایان نامه و پس از اتمام آن برای تحقیقات آینده در نظر گرفته شد، عبارتند از:

- انجام تحلیل لرزه ای بار افزون بر روی مدل ها و مقایسه نتایج با سایر نتایج تحلیل های لرزه ای
- مدل سازی اسکله و خاک اطراف آن در نرم افزار Abaqus و ... که قابلیت مدل سازی خاک را داشته باشند

➤ مدل سازی اسکله های نا منظم و بررسی این که منظم یا نا منظم بودن اسکله در میزان جواب ها چه مقدار تاثیر گذار است

➤ مدل سازی اسکله با شمع های مایل فولادی و بتنی و انجام فرایند طی شده بر روی آن ها

پیوست ۱: تحلیل تاریخچه زمانی خطی بر

روی مدل ها

در این قسمت بر روی مدل‌ها تحلیل تاریخچه زمانی خطی انجام شده است. هرچند پاسخ‌ها در این روش به دلیل ورود سازه به ناحیه غیر خطی از صحت لازم بر خوردار نیستند.

پ-۱- انجام آنالیز تاریخچه زمانی خطی بر روی مدل‌ها

در زمینه‌ی ارزیابی رفتار سازه‌های دریایی و صحت سنجی دقت روش‌های استاتیکی و دینامیکی جهت تخمین عملکرد دینامیکی سازه‌ها در زلزله واقعی مطالعاتی زیادی تا کنون انجام نشده است. در این تحقیق با توجه به این که در روش تاریخچه زمانی سازه با توجه به رکورد شتاب نگاشت زلزله که به پی سازه اعمال می‌شود، مورد آنالیز قرار می‌گیرد و این که این روش در نگاه اول از دو روش ابتدایی (استاتیکی و شبه دینامیکی) به روز تر و از لحاظ علمی توجیه پذیر تر بوده، روش آنالیز تاریخچه زمانی به عنوان روش معیار انتخاب شده و نتایج سایر تحلیل‌ها با این روش آنالیز مقایسه خواهند شد.

پ-۱-۱- شتاب نگاشت‌های مورد استفاده شده

با توجه به حساسیت خروجی تحلیل تاریخچه زمانی نسبت به شتاب نگاشت‌های ورودی، انتخاب این شتاب نگاشت‌ها بایستی که مورد توجه خاصی قرار گیرد. به همین دلیل در انجام این تحقیق سیر طولانی برای نیل به این شتاب نگاشت‌های مناسب طی شد که در ذیل به آن اشاره خواهد شد.

در ابتدا چند شتاب نگاشت از پایگاه لرزه شناسی PEER وابسته به دانشگاه برکلی ایالات متحده انتخاب شد. در انتخاب این شتاب نگاشت‌ها تنها سعی بر این بود که بیشینه شتاب (PGA) آن‌ها همانند مقدار مشخص شده در آیین نامه برای پهنه لرزه خیزی و نوع خاک مشخص همان مقدار ۰.۲۵ باشد. در ادامه با استفاده از همان شتاب نگاشت‌های انتخابی تحلیل تاریخچه زمانی بر روی چند مدل ایجاد شده، صورت پذیرفت که نتایج از هم‌گرایی مد نظر برخوردار نبودند. سپس بر روی یافتن علت این مورد تحقیقاتی انجام شد. بعد از مطالعه چند پایان نامه که در آن‌ها از آنالیز تاریخچه زمانی استفاده شده بود، این نتیجه بدست آمد که شتاب

نگاشت های انتخابی نه تنها به بیشینه ی شتاب وابسته اند بلکه به نوع خاک زمین، نوع ریخت شناسی زمین منطقه، فاصله گسل تا محل ثبت شتاب نگاشت، PGV ، PGD و... وابسته اند.

در ذیل به چند نمونه از مراحل ابتدایی برای یافتن شتاب نگاشت مناسب اشاره می شود. ابتدا همان گونه که اشاره شد تنها مقدار بیشینه ی شتاب ها یکسان و برابر ۰.۲۵ بود. که در جدول (پ-۱) مشخصات این شتاب نگاشت ها آمده است.

جدول (پ-۱): مشخصات شتاب نگاشت های ابتدایی

زلزله	PGA(g)	PGV(cm/s)	PGD(cm)
Chi-chi	0.25	42.1	46.07
Coalinga	0.25	4.3	0.11
Morgan Hill	0.25	9.6	1.14

در جدول (پ-۲) نیروی برشی یک شمع از اسکله شماره ۱ به این ۳ شتاب نگاشت آورده شده است. همان گونه که مشخص است میزان تغییرات پاسخ ها زیاد بوده و در کل نمی توان به این چند شتاب نگاشت اکتفا کرد. این شد که در گام بعد علاوه بر بیشینه شتاب بر روی میزان بیشینه سرعت و بیشینه جابجایی هم بازه هایی اعمال شد تا شتاب نگاشت های بدست آمده یکسان تر باشند؛ اما باز هم به آن صورت دلخواه جواب ها هم گرا نشد.

جدول (پ-۲): نیروی برشی بدست آمده از تحلیل تاریچه زمانی اولیه

زلزله	Chi-chi	Coalinga	Morgan Hill
نیروی برشی ton	24.3	7	11.6

یکی از منابعی که مطالعه شد پایان نامه شفیع زاده (۲۰۱۰) بود که در بخشی از تحقیق خود به انجام آنالیز تاریخچه زمانی با استفاده از ده شتاب نگاشت متفاوت بر روی سازه اسکله شمع و عرشه پرداخته بود از آن ده شتاب نگاشت نه مورد در پایگاه PEER یافت شد. مشخصات لرزه ای این ده رکورد در جدول (۵-۵) آورده شده است. با توجه به امکاناتی که در پایگاه برای فیلتر کردن شتاب نگاشت ها قرار داده شده است. نه شتاب نگاشت مشابه دیگر نیز برای انجام آنالیز تاریخچه زمانی بر روی مدل ها انتخاب شد. در کل هجده شتاب نگاشت بدست آمد.

طبق آیین نامه در شرایطی که جواب ها هم گرا نمی باشد به هفت شتاب نگاشت نیاز می باشد. با این حال برای هر مدل از هجده شتاب نگاشت موجود برای آنالیز تاریخچه زمانی استفاده شد. ولی در انتخاب خروجی جهت انجام مقایسه نتایج از هفت خروجی که از نزدیک ترین هم گرایی در هر مدل برخوردارند استفاده شد. بدین سان هم شرط آیین نامه لحاظ شد و هم این که جواب ها از هم گرایی بالاتری برخوردار شدند. تنها جای ابهام میزان بیشینه شتاب های متفاوت بود که این مشکل هم با استفاده از امکانی که در نرم افزار SAP200 فراهم شده است، تمامی شتاب نگاشت ها به همان میزان ۰.۲۵ هم پا شدند.

در شکل (پ-۱) قسمت مربوط به فیلتر کردن رکوردها در پایگاه PEER به تصویر کشیده شده است.

1: Search earthquake or station characteristics and peak values

Earthquake

Mechanism

Magnitude (Range) - ML M MS Any

Distance (km) - Closest Hypocentral Projection of fault plane (JB distance) Any

Site Classification USGS ([Compare to NEHRP classifications](#))

Geomatrix

Taiwan CWB

Mapped Local Geology

Instrument Housing

Data Source

PGA (g) - Range 0.001 ... 2.086

PGV (cm/sec) - Range 0.1 ... 263.1

PGD (cm) - Range 0.01 ... 430.00

شکل (پ-۱): قسمت مربوط به فیلتر کردن شتاب نگاشت در پایگاه PEER، [۵۵]

جدول (پ-۳): مشخصات ده شتاب نگاشت پایان نامه شفیع زاده [۴۴]

Record Number	Earthquake Name	Station Name	Earthquake Magnitude (Mw)	Closest Distance to Rupture (km)	PGA (g)	PGV (m/s)	PGD (m)
448	Morgan Hill, 1984	Anderson Dam (Downstream)	6.19	3.30	0.423	0.253	0.046
451	Morgan Hill, 1984	Coyote Lake Dam	6.19	0.50	0.711	0.516	0.12
669	Whittier Narrows-01, 1987	Orange Co. Reservoir	5.99	22.8	0.185	0.102	0.01
753	Loma Prieta, 1989	Corralitos	6.93	3.90	0.644	0.551	0.108
810	Loma Prieta, 1989	UCSC Lick Observatory	6.93	18.4	0.45	0.187	0.038
1008	Northridge-01, 1994	LA - W 15th St	6.69	29.7	0.104	0.116	0.088
1085	Northridge-01, 1994	Sylmar - Converter Sta	6.69	5.20	0.828	1.175	0.345
1086	Northridge-01, 1994	Sylmar - Olive View Med FF	6.69	5.30	0.604	0.781	0.241
1642	Sierra Madre, 1991	Cogswell Dam - Right Abut	6.69	22.0	0.302	0.149	0.241
3469	Chi-Chi, 1999	TCU068	6.3	35.7	0.045	0.087	0.025

در جدول (پ-۴) هجده شتاب نگاشت مورد استفاده نام گذاری شده اند. در ادامه تحقیق هر جا که نیاز

شد از این نام ها استفاده خواهد شد.

جدول (پ-۴): نام گذاری شتاب نگاشت ها

نام شتاب نگاشت	نام زلزله	PGA
A	MORGAN HILL	0.423
B	MORGAN HILL	0.711
C	WHITTIER NARROWS-01	0.185
D	LOMA PRIETA	0.644
E	LOMA PRIETA	0.45
F	NORTHRIDGE-01	0.104
G	NORTHRIDGE-01	0.828
H	NORTHRIDGE-01	0.604
I	CHI-CHI	0.45
J	DUZDCE	0.203
K	ERZIKAN	0.248
L	IMP VALL	0.246
M	KOCAELI	0.164
N	LANDERS	0.109
O	LOMA PRIETA	0.159
P	NORTHRIDGE	0.306
Q	SAN FERNADO	0.21
R	SUPERHILLS	0.156

پ-۱-۱-۱- معرفی شتاب نگاشت های انتخاب شده برای هر مدل

همان گونه که قبلا اشاره شد در این تحقیق از هجده شتاب نگاشت متفاوت برای آنالیز تاریخچه زمانی استفاده شد. که از این هجده نمونه برای هر مدل ساخته هفت عدد شتاب نگاشت بایستی که انتخاب گردد. در ذیل نتایج بدست آمده برای یک نمونه از مدل ها شرح داده شده است. همین کار برای دوازده مورد دیگر نیز تکرار شده است که برای جلوگیری از طولانی شدن مطلب از شرح کامل آن ها پرهیز شده و در آخر در جدول (پ-۶) شتاب نگاشت های انتخاب شده برای هر مدل آورد شده است.

برای اسکله شماره ۱ ابتدا شتاب نگاشت ها به برنامه معرفی شده و آنالیز استاتیکی، طیفی و تاریخچه زمانی بر روی مدل انجام پذیرفت. دو شمع از مدل انتخاب شدند و هجده نیروی مختلف که از هجده آنالیز تاریخچه زمانی بدست آمده بود، در جدولی در برنامه اکسل گردآوری شدند. از میان این هجده نیرو هفت نیرویی که بیشتر از همه به هم دیگر نزدیک بودند انتخاب شده و بدین سان هفت شتاب نگاشتی که متعلق به همان نیرو ها بودند برای این کیس یعنی اسکله شماره ۱ انتخاب گردیدند. در جدول (پ-۵) این نیروها و شتاب نگاشت های متعلق به آن ها آمده اند.

جدول (پ-۵): نیرو های بدست آمده برای مدل ۱

TH CASE	A	B	C	D	E	F	G	H	I
نیروی بدست آمده برای یک شمع	11.8552	8.1535	12.7094	-12.8325	6.7693	8.4903	-8.9638	-13.0889	7.008
TH CASE	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
نیروی بدست آمده برای یک شمع	5.7166	6.6981	4.5356	-7.9557	4.2788	9.3455	4.6782	6.7685	6.3112

در جدول (پ-۶) کلیه شتاب نگاشت های انتخاب شده برای مدل های مختلف ساخته شده گردآوری شده است.

جدول (پ-۶): شتاب نگاشت های انتخابی برای هر مدل

شتاب نگاشت های انتخاب شده							نام اسکله
Q	N	L	K	H	E	A	شیف
R	Q	N	M	J	F	E	کاتانیا
R	Q	P	N	L	K	J	1
Q	M	L	K	G	F	D	2
R	Q	P	L	J	D	A	3
N	L	K	J	H	F	A	4
Q	M	L	K	F	D	A	5
R	L	K	J	H	E	C	6
Q	M	L	K	J	F	D	7
N	M	L	K	J	F	D	8
R	Q	N	M	G	B	A	9
P	K	J	F	E	D	B	10

پ-۱-۲- مقایسه ی نتایج

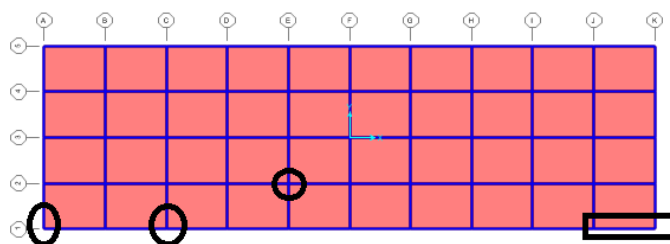
در این قسمت قصد داریم نتایج بدست آمده از تحلیل های مختلف را با یکدیگر مقایسه نماییم. موارد

مورد قیاس واقع شده در هر مدل بدین شرح است:

- نیروهای ناشی از تحلیل های لرزه ای استاتیکی، طیفی و هفت تحلیل تاریخچه زمانی برای سه شمع متفاوت در هر اسکله. سعی شده که این شمع ها در هر اسکله به صورتی انتخاب گردد که یکی از آن ها از شمع های گوشه، یکی از آن ها از شمع های کناری و یکی از آن ها از شمع های وسط باشند.

- نیروهای ناشی از تحلیل های لرزه ای استاتیکی، طیفی و هفت تحلیل تاریخچه زمانی برای یک تیر در هر اسکله (لازم به ذکر است که در جهت اطمینان برای این بخش هم از ضریب رفتار ۲.۵ و ۱.۵ به ترتیب برای اسکله های دارای شمع فولادی و بتنی استفاده شده است)

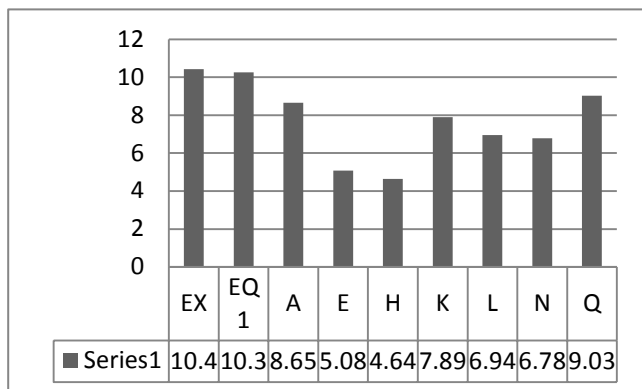
در شکل (پ-۲) مکان شمع ها، تیر و نقطه ای که در هر اسکله برای مقایسه ی نیروها و تغییر مکان در نظر گرفته شده است، به تصویر کشیده شده است.



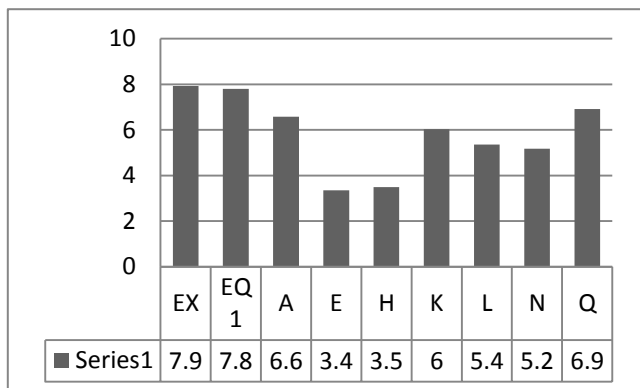
شکل (پ-۲): مکان شمع ها و تیر

پ-۱-۲-۱- مقایسه نتایج اسکله شیف

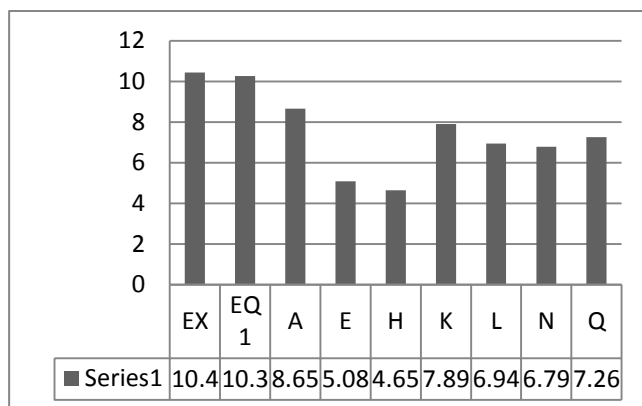
در شکل های (پ-۳)، (پ-۴) و (پ-۵) زیر به ترتیب نمودارهای مقایسه ی نیروی لرزه ای در سه شمع مشخص شده در اسکله شیف آمده است. در این نمودار ها نیروی برشی ایجاد شده تحت آنالیز های استاتیکی، طیفی و هفت آنالیز تاریخچه زمانی با هم مقایسه شده اند.



شکل (پ-۴): نیروی برشی شمع ۲ بر حسب تن

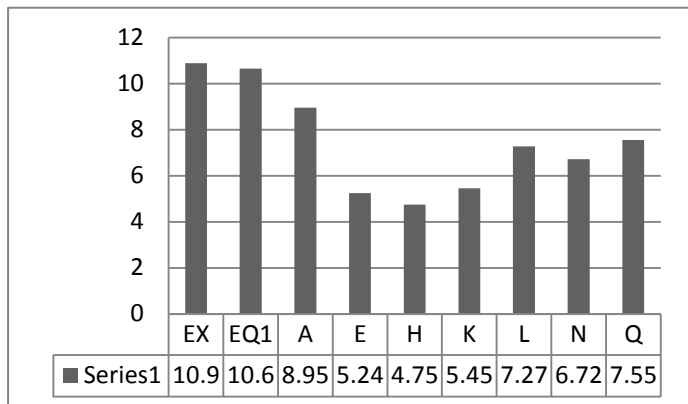


شکل (پ-۳): نیروی برشی شمع ۱ بر حسب تن

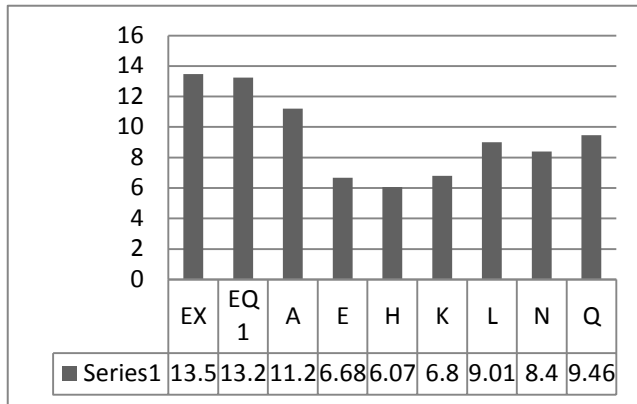


شکل (پ-۵): نیروی برشی شمع ۳ بر حسب تن

در شکل های (پ-۶) و (پ-۷) زیر به ترتیب نمودارهای مقایسه ی نیروی برشی و ممان خمشی لرزه ای در وسط دهانه تیر مشخص شده در اسکله شیف آمده است. در این نمودار ها نیروی برشی و لنگر خمشی ایجاد شده تحت آنالیز های استاتیکی، طیفی و هفت آنالیز تاریخچه زمانی با هم مقایسه شده اند.



شکل (پ-۷): ممان خمشی در وسط دهانه تیر بر حسب تن متر



شکل (پ-۶): نیروی برشی در وسط دهانه تیر بر حسب تن

پ-۱-۳- مقایسه نتایج تحلیل استاتیکی با تحلیل های تاریخچه زمانی صورت گرفته

در این قسمت با توجه به خروجی های تحلیل های تاریخچه زمانی و استاتیکی سعی بر آن شد که این نتایج به صورت دقیق تر در هر مدل با هم مقایسه شوند. برای نیل به این هدف ابتدا اسکله ها از نظر جنس شمع می بایستی که از یک دیگر جدا شوند. که دلیل این امر هم تفاوت ضریب رفتار سازه برای این دو نوع اسکله می باشد. از دوازده مدل ساخته شده در این تحقیق شش مدل دارای شمع فولادی بوده و شش مدل دیگر دارای شمع بتنی می باشند. در جدول (پ-۷)، جدول (پ-۸)، جدول (پ-۹) و جدول (پ-۱۰) مقادیر نیرو های برشی ایجاد شده در شمع ها در هر اسکله به تفصیل آمده است.

جدول (پ-۷) : خروجی نتایج تحلیل استاتیکی تحلیل های تاریخچه زمانی برای اسکله های دارای شمع های فولادی

نیروی برشی تاریخچه زمانی ton							نیروی برشی استاتیکی ton	شمع	نام اسکله
تحلیل ۷	تحلیل ۶	تحلیل ۵	تحلیل ۴	تحلیل ۳	تحلیل ۲	تحلیل ۱			
6.9114	5.173	5.3544	6.033	3.4886	3.3576	6.5806	7.9247	شمع ۱	شیف
9.0303	6.784	6.944	7.8923	4.6431	5.0787	8.6527	10.4253	شمع ۲	
7.2613	6.786	6.9367	7.8926	4.6455	5.0764	8.6544	10.4297	شمع ۳	
6.2159	5.443	4.6782	4.2788	4.5356	6.5362	5.1158	7.1911	شمع ۱	1
7.4713	6.444	5.5339	5.0682	5.3682	7.7425	6.7681	8.6215	شمع ۲	
7.8861	6.802	5.8412	5.3495	5.6662	8.1723	7.1438	9.1893	شمع ۳	
41.1378	32.88	37.376	30.668	47.401	30.497	25.198	52.7316	شمع ۱	2
48.8542	38.56	51.007	35.97	55.637	35.755	29.553	63.1044	شمع ۲	
51.5179	40.66	53.788	37.931	58.671	37.705	31.164	67.3828	شمع ۳	
9.2565	16.1	11.677	12.378	14.092	13.674	11.072	18.4432	شمع ۱	3
11.1626	19.62	14.037	14.959	17.05	16.521	13.377	22.5458	شمع ۲	
12.1683	19.65	15.305	16.304	18.581	18.006	14.58	24.7577	شمع ۳	
11.502	14.45	7.1439	6.2478	10.909	8.9839	12.493	13.7332	شمع ۱	4
13.7565	17.26	8.5207	7.4585	13.015	10.748	14.909	16.6467	شمع ۲	
14.9394	18.75	9.253	8.0997	14.134	11.672	16.191	18.4118	شمع ۳	
3.2739	4.542	4.3425	5.2823	6.0678	4.5395	5.6829	7.5266	شمع ۱	5
3.6173	5.245	5.0063	6.1022	7.0026	5.2383	6.7785	8.8298	شمع ۲	
3.9274	5.441	5.1936	6.3305	7.2646	5.4343	7.0321	9.3135	شمع ۳	

جدول (پ-۸) : خروجی نتایج تحلیل استاتیکی تحلیل های تاریخچه زمانی برای اسکله های دارای شمع های بتنی

نیروی برشی تاریخچه زمانی ton							نیروی برشی استاتیکی ton	شمع	نام اسکله
تحلیل ۷	تحلیل ۶	تحلیل ۵	تحلیل ۴	تحلیل ۳	تحلیل ۲	تحلیل ۱			
6.0492	7.573	7.1944	7.8542	7.5555	8.228	6.1491	10.1101	شمع ۱	کاتانیا
7.1433	8.949	8.4843	8.6424	8.885	9.3002	7.2521	12.1006	شمع ۲	
7.5883	9.507	9.0127	9.8412	9.4383	9.8792	7.7038	13.2639	شمع ۳	
7.8352	7.777	7.5257	6.6331	11.473	9.5937	6.6029	15.1212	شمع ۱	6
9.2213	9.178	8.877	7.8311	13.535	11.338	7.7823	18.063	شمع ۲	
9.7671	9.721	9.4026	8.2949	14.337	12.01	8.2432	19.4919	شمع ۳	
13.9344	12.78	16.386	15.65	13.764	10.299	13.278	18.6652	شمع ۱	7
16.3932	17.35	15.757	10.211	14.558	10.898	14.038	20.0292	شمع ۲	
17.2067	13.12	16.607	14.984	14.234	10.656	13.726	19.8718	شمع ۳	
25.198	30.5	20.468	30.668	43.496	32.875	41.559	52.3847	شمع ۱	8
29.5527	35.76	24.009	35.97	51.007	38.559	48.729	62.6893	شمع ۲	
31.1641	37.7	25.318	37.931	53.788	40.662	51.386	66.9395	شمع ۳	
2.1087	3.404	2.7643	3.5872	2.2836	2.8362	2.8028	5.1799	شمع ۱	9
2.4757	4.003	3.248	4.2133	2.6845	3.3365	3.4915	6.1464	شمع ۲	
2.5385	4.104	3.3302	4.3201	2.7524	3.4209	3.5797	6.3885	شمع ۳	
8.6727	5.947	8.1993	9.683	5.5589	10.65	7.0859	16.0174	شمع ۱	10
9.9124	6.801	9.3729	11.066	6.3561	12.176	8.1046	18.4684	شمع ۲	
10.0513	6.896	9.5041	11.221	6.445	12.346	8.2179	18.9246	شمع ۳	

جدول (پ-۹) : خروجی نتایج تحلیل استاتیکی تحلیل های تاریخچه زمانی برای اسکله های دارای شمع های فولادی

		ES/TH bar میانگین	ES/TH bar	میانگین تاریخچه زمانی	شمع	نام اسکله
میانگین کلیه ی نسبت های تحلیل استاتیکی به تحلیل تاریخچه زمانی، برای اسکله ها با شمع های فولادی	1.46	1.51234271	1.503387662	5.271228571	شمع ۱	شیف
			1.488578206	7.003528571	شمع ۲	
			1.545062261	6.750342857	شمع ۳	
		1.36659427	1.367742198	5.257642857	شمع ۱	1
			1.359361837	6.342314286	شمع ۲	
			1.372678773	6.694428571	شمع ۳	
		1.50529585	1.505678706	35.02181429	شمع ۱	2
			1.495692523	42.19075714	شمع ۲	
			1.514516321	44.4913	شمع ۳	
		1.484681563	1.462928318	12.60704286	شمع ۱	3
			1.478723404	15.2468	شمع ۲	
			1.512392965	16.36988571	شمع ۳	
		1.361917167	1.34027831	10.24652857	شمع ۱	4
			1.36017056	12.23868571	شمع ۲	
			1.385302631	13.29081429	شمع ۳	
		1.584012129	1.561975067	4.818642857	شمع ۱	5
			1.585230173	5.570042857	شمع ۲	
			1.604831146	5.803414286	شمع ۳	

جدول (پ-۱۰): خروجی نتایج تحلیل استاتیکی تحلیل های تاریخچه زمانی برای اسکله های دارای شمع های بتنی

		ES/TH bar میانگین	ES/TH bar	میانگین تاریخچه زمانی	شمع	نام اسکله
میانگین کلیه ی نسبت های تحلیل استاتیکی به تحلیل تاریخچه زمانی برای اسکله ها با شمع های بتنی	1.70	1.43902448	1.398544753	7.229014286	شمع ۱	کاتانیا
			1.444066918	8.379528571	شمع ۲	
			1.47446177	8.995757143	شمع ۳	
		1.86989161	1.842758208	8.205742857	شمع ۱	6
			1.865940799	9.680371429	شمع ۲	
			1.900975822	10.25362857	شمع ۳	
		1.385555062	1.359647352	13.72797143	شمع ۱	7
			1.413332285	14.17161429	شمع ۲	
			1.383685548	14.3615	شمع ۳	
		1.660714243	1.631481393	32.10867143	شمع ۱	8
			1.664854199	37.65452857	شمع ۲	
			1.685807138	39.70768571	شمع ۳	
		1.842295562	1.832517967	2.826657143	شمع ۱	9
			1.8345898	3.350285714	شمع ۲	
			1.85977892	3.435085714	شمع ۳	
		2.028073239	2.009455689	7.971014286	شمع ۱	10
			2.026685144	9.112614286	شمع ۲	
			2.048078885	9.240171429	شمع ۳	

مراجع

[۱] پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری، (۱۳۸۸)، "راهنمای طراحی لرزه ای اسکله ها"، چاپ اول، تهران

[۲] فاخر ع، (۱۳۹۰)، "جزوه ی درسی اجرای سازه های دریایی"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[۳] وزارت راه و شهر سازی، (۱۳۸۴)، "آیین نامه طراحی بنادر و سازه های دریایی ایران (نشریه ی شماره ۳۰۰)"، تهران

[۴] خیری ا، (۱۳۹۲)، "بررسی رفتار اسکله های شمع و عرشه احداث شده بر روی بستر شیب دار"، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

[۵] کارل ای تورسن، (۱۳۸۸)، "مهندسی سواحل و بنادر"، طاحونی ش، میر گلوی بیات م، چاپ اول، انتشارات علم و ادب، تهران

[۶] محمدی ع، (۱۳۸۳)، "استفاده از شمع های بتنی پیش تنیده سانتریفیوژدر سازه های دریایی"، یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، دانشگاه هرمزگان

[۷] مهندسین مشاور پویا طرح پارس، (۱۳۸۳)، "بررسی مطالعات مرحله دوم پروژه پر کننده های اسکله های بازرگانی بندر بوشهر"، تهران

[۸] سازمان بنادر و دریا نوردی، (۱۳۹۰)، "آیین نامه کارهای دریایی ایران"، چاپ اول، تهران

[۹] رضوی طباطبایی ع، پایان نامه ارشد: "بررسی به کار گیری فیوز سازه ای برای بهبود عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه با شمع مایل"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[10] Tamlinson M.J. (1987), "Pile Design and Construction Practice", 3st edition, Palladian Publications Limited

[11] American Petroleum Institute (API), (2000), "Recommended Practice for Planning Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms", RP 2A-WSD, 21st Edition, USA.

[۱۲] رحیمی م، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: "آرایش مناسب شمع مایل در بررسی رفتار لرزه ای اسکله های شمع و عرشه با در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[13] Kavamata. Y, (2009), "Seismic Performance of a Pile-Supported Container Wharf Structures in Rockfill", Ph.D. Dissertation, Oregon State University Oregon State

[14] Reese, L. C., and Welch, R. C. (1975), "Lateral loading of deep foundation in stiff clay", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 101(7), pp. 633-649

[15] Reese, L. C., and Van Impe, W. F. (2001), *Single Piles and Pile Groups under Lateral Loading*, Balkema, Rotterdam, Brookfield

[16] Ashour, M. and Norris, G. (2000), "Modeling Lateral Soil-Pile Response based on Soil- Pile Interaction", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp. 420-428, May

[17] Reese, L. C., Cox, W. R., and Koop, F. D. (1974), "Analysis of laterally loaded piles in sand," *Proceeding of 6th Offshore Technology Conference, Paper 2080*, Houston, Texas, pp. 473-483

[18] Catelli F., and Maugeri M., (2009), "Simplified Approach for the Seismic Response of a Pile Foundation", *J. of. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135, No 10

[19] Chiou J., Chiang Ch., and Yang H. H., (2011), "Developing Fragility Curves for a Pile-supported Wharf", *J. of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, pp 830-840

[۲۰] امیر آبادی ر، برگی خ، (۱۳۸۵)، بررسی رفتار سازه های شمع و عرشه تحت بارگذاری چرخه ای"، هفدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران

[۲۱] سیفی ح، (۱۳۸۶)، پایان نامه ارشد: "رفتار مونوپایل تحت بار جانبی"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[۲۲] سنایی غ (۱۳۷۹)، "بررسی عملکرد مدل های غیر خطی در مقاومت جانبی خاک"، چهارمین کنفرانس بین المللی سواحل بنادر و سازه های دریایی، بندر عباس

[۲۳] غفوری پور الف، (۱۳۸۵)، "تجزیه و تحلیل عددی رفتار شمع تحت بار جانبی"، هفتمین همایش بین المللی سواحل بنادر و سازه های دریایی، تهران

[۲۴] فیاضی م، (۱۳۸۸)، پایان نامه ارشد: "بررسی و بهسازی روش فنر معادل برای مدل سازی اندرکنش خاک و سازه در اسکله های شمع و عرشه"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[25] Finn, W., and Fujita. N. (2002), "Piles in liquefiable soils: seismic analysis and design issues", *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, 22, pp. 731-742

[26] Babu, G.L., and Haldar. S. (2010), "Failure Mechanisms of Pile Foundations in Liquefiable Soil: Parametric Study", *International Journal of Geomechanics*, Vol. 10, No. 2, April

[27] Takahashi A., and Takemura J., (2005), "Liquefaction-induced large displacement of pile-supported wharf", *J. of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, pp 811-825

[28] Pizzano, Barbara A. 1984. "Behavior of Prestressed Concrete Piles Under Seismic Loading". Thesis submitted in partial fulfillment of the Master of Science in Civil Engineering, University of Washington, Seattle, WA

[29] Pam, Hoat Joen and Robert Park. 1990. "Simulated Seismic Load Tests on Prestressed Concrete Piles and Pile-Pile Cap Connections." *PCI Journal*. Nov-Dec: 42-61.

[۳۰] امید علی ح، (۱۳۸۶)، پایان نامه ارشد: "تاثیر شمع مایل بر رفتار گروه شمع در اسکله های شمع و عرشه"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[۳۱] معماری م، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "بهبود عملکرد لرزه ای اسکله های شمع و عرشه با بکار گیری فیوز سازه ای"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

[32] Singh J.P., Tabatabaie M., and French J.B., (2001), "Geotechnical and Ground Motion Issues in Seismic Vulnerability Assessment of Existing Wharf Structures", Proceedings of the ASCE Ports 2001 Conference. Norfolk, Virginia

[33] Lobedan F., LaBasco T., and Ogunfunmi K., (2002), "Wharf embankment and strengthening program at the Port of Oakland", J. of. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, pp 1125–1130

[34] Roth W.H., Dawson E, Mehraim M., and Sayegh A., (2003), "Analyzing the Seismic Performance of Wharves, Part 1: Structural Engineering Approach", Conference and Workshop on Lfeline Earthquake Engineering. ASCE, Long Beach, California

[35] Roth W.H., and Dawson E, (2003), "Analyzing the Seismic Performance of Wharves, Part 2: SSI Analysis with Non-Linear, Effective-Stress Soil Models", Conference and Workshop on Lfeline Earthquake Engineering. ASCE, Long Beach, California

[36] Takahashi A., (2003), "Seismic Performance Evaluation of Pile-supported Wharf by 3D Finite Element Analysis", 12th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, vol. 1

[37] Mondal G., Rai D., (2008), "Performance of Harbour Structures in Andaman Islands During 2004 Sumatra Earthquake", J. of. Engineering Structures, 30, pp 174–182

[38] Boroschek R. L., Baesler H., and Vega C., (2010), "Experimental evaluation of the dynamic properties of a wharf structure", j. of. Engineering Structures, 33, pp 344–356

[39] Shafieezadeh.A , "SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT OF WHARF

STRUCTURES", Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology, 2011

[۴۰] عبد الهی م، (۱۳۸۵)، پایان نامه ارشد: "بررسی تاثیر زلزله بر سازه های دریایی و تحلیل اسکله ۱۵۰ هزار

تنی بندر امام خمینی"، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۴۱] شبانکاره، (۱۳۸۹)، "برسی عملکرد و بهسازی اسکله های شمع و عرشه"، اولین همایش سازه-زلزله-

ژئوتکنیک، بابلسر

[42] Reese, L. C., and Welch, R. C. (1975), "Lateral loading of deep foundation in stiff clay", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 101(7), pp. 633-649

[43] Catelli . F.,Maugeri .M ,” Simplified Approach for the Seismic Response of a Pile Foundation”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 135, No. 10, October 1, 2009

[44] Klusmeyer, A.” Seismic Performance Evaluation of Pile-supported Wharf by 3D Finite Element Analysis

[45] McCullough N.J., and Dickenson S.E., (2003a), "The Seismic Performance of Pile Supported Wharves" J. of. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. American Society of Civil Engineers (ASCE)

[۴۶] رضوی طباطبایی ع، (۱۳۸۵)، "مطالعه ی مشکلات شمع های مایل در عملکرد لرزه ای شمع های

مایل" هفتمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران

[۴۷] الهی ح، (۱۳۸۸)، رساله دکترا: "بررسی رفتار لرزه ای گروه شمع در شیروانی خاک"، دانشکده فنی،

دانشگاه تهران

[48] Margasson E., (1977), "Pile Bearing During Earthquake", Design, Construction and Performance of Deep Foundation Seminar, ASCE, Berkely

[49] Helwany, S., (2007), "Applied Soil Mechanics: with ABAQUS Applications", John Wiley & Sons, Inc

[50] SEAOC, (1991), "Reflections on the October 17, 1989 Loma Prieta Earthquake", Ad Hoc Earthquake Reconnaissance Committee, Sacramento

[۵۱] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهور، (۱۳۸۷)، "آیین نامه طرح پل های راه آهن در

برابر زلزله (نشریه ۴۶۳)"، تهران

[۵۲] (۱۳۸۵)، مقررات ملی ساختمان، مبحث ۶، بارهای وارده بر ساختمان

[۵۳] مهندسین مشاور پویا طرح پارس، (۱۳۹۱)، "گزارش طراحی اسکله بندر شیف"، تهران

[54] CARL BORG.R , "SEISMIC PERFORMANCE, ANALYSIS AND DESIGN OF WHARF STRUCTURES: A COMPARISON OF WORLDWIDE TYPOLOGIES", Ms.C. Dissertation, ROSE SCHOOL, 2007

Abstract

Wharfs are known as one of the most important Key Structures in terms of economical, industrial, political, and military points of view around the world. This matter makes the marine structure very important and very influential for our world.

Among the marine structures, wharfs are very important in terms of many aspects such as, getting access to the sea from the earth, landing and bracing the free floated. Open typed wharfs are commonly used around the world because of the variety of their options.

Taking to consideration, that our beloved country is in a very high risks of having earthquake specially on Northern and Southern regions, and also, consider the amount of damages that marine structures and wharfs had during the recent earthquakes, developing a perfect design for those structures are essential more than before.

In this study, comparisons of different seismic analysis over open typed wharfs were taken into consideration. To achieve that goal, first, the twelve different open typed wharfs have been modeled in SAP2000 and three different analyses were done such as, Static analysis and Spectral analysis; and, at the end the results were compared and studied all together.

Key Words: Deck and Pile Wharf, Seismic Hazard, Seismic Forces