بررسی آئین‌نامه ۶۱-۱۴ ASCE/COPRI جهت طراحی لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه

سید سعید طباطبائی[۱]، سید حمید معافی مدنی[۲]

۱- کارشناس ارشد سازه‌های دریایی – دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- کارشناس ارشد سازه– دانشگاه آزاد اسلامی کرمان

Saeid.tabatabaei۱۹۹۳@gmail.com

چکیده

امروزه اقتصاد بسیاری از کشورها از جمله کشور ایران به حمل و نقل‌های دریایی وابسته شده بطوری که شاهد افزایش ساخت سازه‌های ساحلی به عنوان محل پهلوگیری شناورهای تجاری و نظامی و نیز به عنوان سازه‌های نگهدارنده تأسیسات حمل بار هستیم. لذا در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در زمینه طراحی اسکله‌ها توسط کشورهای مختلف انجام گرفته که در نهایت روش طراحی براساس عملکرد به عنوان روشی با قابلیت اطمینان بسیار بالا جهت طراحی این سازه‌ها توسعه داده شده است. با توجه به اینکه کشور ایران نیز از نظر لرزه‌خیزی در منطقه فعال جهان قرار دارد و به گواهی اطلاعات مستند علمی و مشاهدات قرن بیستم از خطرپذیرترین مناطق جهان در اثر زمین لرزه‌های پرقدرت محسوب می‌شود، به همین دلیل روش طراحی براساس عملکرد در سال‌های اخیر توسط بسیاری از پژوهشگران جهت افزایش قابلیت اطمینان طرح سازه‌های ساختمانی در مقابل بارهای لرزه‌ای توسعه داده شده و جای خالی استفاده از این روش در طراحی سازه‌های حجیم و گران قیمتی مانند اسکله‌های شمع و عرشه دیده می‌شود. اهمیت این موضوع از این جهت است که هزینه‌های ساخت و نگهداری اسکله‌های شمع و عرشه به عنوان قسمت اصلی بنادر بسیار بالا بوده و وقوع آسیب‌های کنترل نشده در این سازه‌ها در هنگام زلزله می‌تواند منجر به صرف هزینه‌های بسیار زیادی شود. لذا در این مطالعه به معرفی و بررسی آئین نامه ۶۱-۱۴ASCE/COPRI جهت طراحی لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه به همراه تمرکز بر روش طراحی براساس عملکرد پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: اسکله شمع و عرشه ، طراحی لرزه ای ، قابلیت اطمینان ، آسیب

۱. مقدمه

از آنجایی که ساخت و نگهداری سازه‌های دریایی در مقایسه با اغلب سازه‌های خشکی بسیار پرهزینه‌تر است، فروپاشی و آسیب‌های کنترل نشده در اینگونه از سازه‌ها در هنگام بارهای طرح منجر به خسارات اغلب جبران ناپذیر جانی و مالی خواهد شد. به همین دلیل است که اغلب در هنگام طراحی چنین سازه‌هایی از ضرایب اطمینان بزرگتری استفاده می‌شود. همچنین طبیعت بارهای اعمالی در سازه‌های دریایی به مراتب پیچیده‌تر بوده، به طوری که مطالعات بسیاری در تعیین مقادیر و نوع اعمال آن‌ها همچنان در حال انجام است[۱]. برای طراحی سازه‌های متعارف به روش‌های معمول (ضریب زلزله) و عملکردی، آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های بسیاری در جهان به چاپ رسیده است که از معتبرترین آن‌ها که در کشور ایران نیز بسیار رایج است می‌توان به آئین‌نامه‌های بارگذاری آمریکا ASCE۷ [۲]، طراحی سازه‌های بتنی آمریکا ACI۳۱۸-۱۴ [۳] و طراحی سازه‌های فولادی آمریکا AISC [۴] اشاره نمود. این آئین‌نامه‌ها مرتباً در حال اصلاح و اضافه نمودن بندهای جدید هستند که در واقع نشأت گرفته از کارهای بسیار بزرگ تحقیقاتی است. همچنین در رابطه با آئین‌نامه‌های طراحی سازه‌های ساحلی می‌توان آئین‌نامه EC اروپا [۵]، BS انگلستان [۶] و OCDI [۷] ژاپن را نام برد. مزیت بزرگ آئین‌نامه‌های کشور آمریکا این است که می‌توان از نسخه‌های قبلی آن‌ها نیز استفاده نمود و نسخه‌های جدید هیچ وقت استفاده از نسخه‌های قبلی را منتفی نمی‌دانند مگر اینکه برای طراحی یک نوع از سازه‌های خاص، استاندارد جدیدی به چاپ برسد. همچنین از آنجایی که آخرین ویرایش مقررات ملی مباحث ۹ و ۱۰ [۸ و ۹] (که مرجع اصلی طراحی سازه‌های متعارف بتنی و فولادی در کشورمان هستند) بر طبق آئین‌نامه‌های کشور آمریکا به همراه اعمال قضاوت‌های مهندسی ایجاد شده‌اند، به نظر می‌رسد که جهت هماهنگی میان بخش‌های مختلف طراحی و انسجام میان آئین‌نامه‌ها در کشورمان بهتر است که برای طراحی سازه‌های خاص مانند سازه‌های دریایی نیز از آئین‌نامه‌های چاپ شده توسط این کشور استفاده نمود. نمونه‌ای از آن را می‌توان در طراحی و تحلیل سکوهای فراساحلی نفتی مشاهده کرد که بر طبق آئین‌نامه API [۱۰] انجام می‌گیرند. تا به امروز در کشورمان جهت طراحی اسکله‌ها و بخصوص اسکله‌های شمع و عرشه، از آئین‌نامه OCDI کشور ژاپن نسخه سال ۲۰۰۲ میلادی آن استفاده شده است و این در حالی است که عملکرد نامطلوب سازه‌های ساحلی در ژاپن تحت زلزله‌های اخیر، باعث شده تا استفاده از آن در این کشور متوقف شده است و از نسخه سال ۲۰۰۹ میلادی آن استفاده شود که به زبان انگلیسی نیز به چاپ رسیده است. همچنین باید یادآور شد که طراحی اسکله‌ها در کشور ژاپن با استفاده از روش عملکردی به یک الزام تبدیل شده است. مزیت آئین‌نامه OCDI ژاپن که باعث شده است تا اغلب مهندسین کشورمان به سمت آن بروند، جامع بودن آن است به طوری که تقریبا به روند و ضوابط طراحی تمام سازه‌های ساحلی اشاره کرده است. بسیاری از طراحان سازه‌های ساحلی در کشورمان بر این نظر هستند که ترجمه این آئین‌نامه در نسخه ۲۰۰۹ به زبان انگلیسی بسیار ضعیف و در بسیاری از بندها غیرقابل فهم است و جای خالی یک آئین‌نامه و یا استاندارد جدید و معتبر در زمینه طراحی اسکله‌ها احساس می‌شود. همچنین جهت تعیین میزان بارهای وارد به اسکله‌ها در کشورمان اغلب از آئین‌نامه BS انگلستان و نشریه ۳۰۰ سازمان بنادر و دریانوردی [۱۱] به همراه اعمال قضاوت‌های مهندسی استفاده می‌شود، در حالی که جهت طراحی قسمت سازه‌ای از آئین‌نامه‌های کشور آمریکا به همراه ضوابط مباحث مقررات ملی ساختمان وزرات راه و شهرسازی استفاده می‌گردد. با توجه به مطالب یاد شده در این مطالعه به معرفی و بررسی کلی آئین‌نامه طراحی لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه که توسط انجمن مهندسین آمریکا[۱] به چاپ رسیده می‌پردازیم.

[۱] American Society of Civil Engineering

۲. تاریخچه

با توجه به هزینه‌های بسیار بالای ساخت و سازهای دریایی، نیاز به ارائه الزاماتی دقیق‌تر جهت رسیدن طراح‌های با قابلیت اطمینان بیشتر در میان جامعه مهندسین آمریکا احساس شد. در همین رابطه، برخی از بنادر ایالات غربی کشور آمریکا مانند بندر لس آنجلس[۱]در سال ۲۰۰۴ میلادی و بندر لانگ بیچ[۲]در سال ۲۰۰۷ میلادی شروع به انتشار الزاماتی جهت طرح لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه مخصوص به خود کردند[۱۲ و ۱۳]. معروف‌ترین و پرکاربردترین استاندارد منتشر شده جهت طراحی اسکله‌های شمع و عرشه توسط ایالت کالیفرنیا آمریکا در سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳ میلادی تحت عنوان MOTEMS[۳] [۱۴] بوده تا اینکه در همین راستا در سال ۲۰۰۵، کمیته استانداردها و آئین‌نامه‌های انجمن مهندسین آمریکا[۴]با همکاری موسسه سواحل-اقیانوس‌ها-بنادر و رودخانه‌ها[۵]با تشکیل کمیته‌ای متشکل از مهندسین سازه و ژئوتکنیک، کارفرمایان و پژوهشگران شروع به نوشتن استانداری ملی جهت طراحی لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه نمودند. در ادامه نیز با توجه به گستردگی پروژه، چندین کمیته فرعی جهت قسمت‌های مختلف استاندارد تشکیل شدند. به عنوان مثال کمیته کار[۶]شماره ۷ به عنوان مسئول تدوین قسمت الزامات ژئوتکنیکی و مباحث اندرکنش خاک-سازه و کمیته کار شماره ۲ به عنوان مسئول تدوین قسمت سطوح عملکرد تشکیل داده شدند. همچنین در دهه اخیر تلاش‌ها و تحقیقات گسترده‌ای در زمینه بازبینی ضوابط و معیارهای حاکم بر طرح لرزه‌ای سازه‌های بندری انجام گرفته است که تأکید آن‌ها عمدتاً بر کنترل رفتار و عملکرد این سازه‌ها در هنگام زلزله می‌باشد. این تلاش‌ها منجر به ارائه فلسفه جدید در طراحی لرزه‌ای به نام «طراحی لرزه‌ای براساس عملکرد» شد که به عنوان مثال می‌توان به دستورالعمل بین‌المللی طراحی لرزه‌ای PIANC[۷] [۱۵] اشاره نمود که روش طراحی براساس عملکرد اسکله‌ها را ارائه نموده ولی به علت ابهامات اساسی موجود در آن، مورد توجه مهندسین قرار نگرفته است. از جمله این ابهامات می‌توان به چگونگی تعریف و انتخاب زمین‌لرزه، سطوح عملکردی، ارزیابی عملکردی و مدیریت عدم قطعیت‌های موجود اشاره نمود[۱۶]، ولی در آئین‌نامه ASCE/COPRI۶۱-۱۴ [۱۷] جهت ارائه مطالب بیشتر و برطرف شدن ابهامات فنی به آئین‌نامه‌های ASCE۷، ACI۳۱۸ و AISC ارجاع داده شده که از این جهت انسجام بسیار خوبی میان مطالب این آئین‌نامه برقرار شده است و این موضوع را می‌توان یکی از مزیت‌های اصلی این آئین‌نامه عنوان کرد.

۳. روند طراحی

در این آئین‌نامه با تشریح روند طراحی و ارجاع هر مرحله از طراحی به قسمت‌های مختلف و نیز آئین‌نامه‌هایی نظیر ASCE۷، ACI۳۱۸ و AISC جهت برطرف شدن ابهامات فنی، انسجام بسیاری خوبی بین مطالب پدید آورده است.

---

[۱] Port of Los Angeles, ۲۰۰۴

[۲] Port of Long Beach, ۲۰۰۷

[۳] Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standards, ۱۹۹۹-۲۰۰۳

[۴] ASCE's Codes and Standards Committee (CSC)

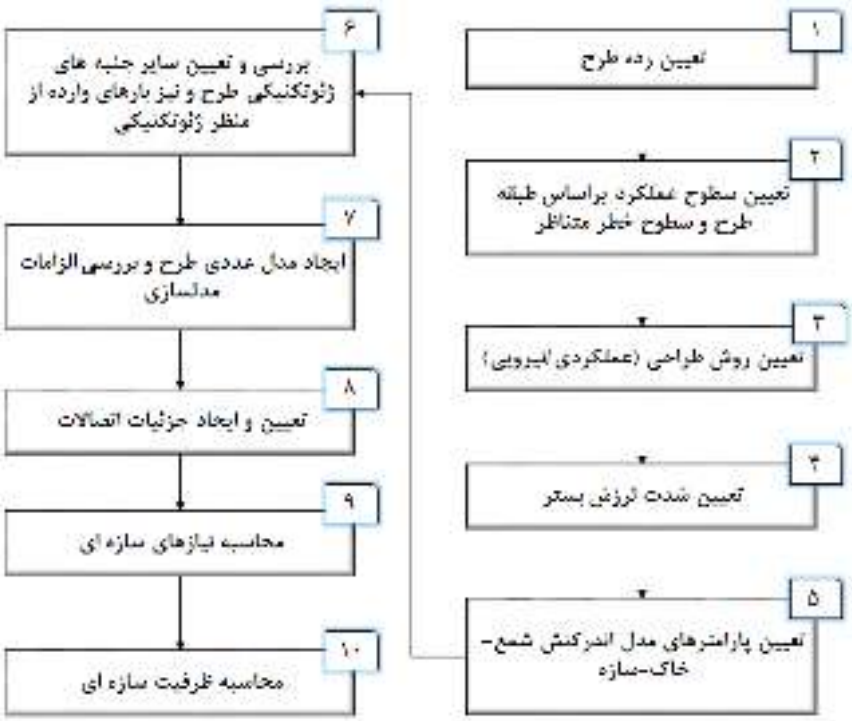
[۵] Coastal, Oceans, Ports and Rivers Institute (COPRI)

[۶] Task Committee ۷ (TC۷)

[۷] Permanent International Association of Navigation Congress

۳-۱ تعیین رده طرح

اسکله‌هایی که با استفاده از این استاندارد طراحی می‌شوند، باید توسط طراح در یکی از رده‌های طرح زیر قرار گرفته و به تایید کارفرما برسد. اساس رده‌بندی طرح[۱] در این بخش، اهمیت سازه از نظر اقتصاد منطقه‌ای و ارائه خدمات پس از حوادث بحرانی[۲] می‌باشد. این سطوح طرح شامل رده‌های شدید، متوسط و آرام می‌شوند.



شکل ۱- روند طراحی اسکله‌های شمع و عرشه مطابق با آئین‌نامه ۶۱-۱۴ ASCE/COPRI [۱۷]

۳-۲ تعیین سطوح عملکرد

در این مرحله باید براساس طبقه طرح و سطح خطر[۳] سطوح عملکرد[۴] متناظر را طبق جدول ۱ تعیین نمود. همانطور که مشاهده می‌شود، زلزله سطح طراحی باید بر طبق آئین‌نامه ASCE۷ تعیین شده و تمام سازه‌ها در تمام طبقات طرح باید در این سطح زلزله بتوانند سطح عملکرد امنیت جانی را ارضاء نمایند. بعلاوه، سطح زلزله عادی برای رده‌های طرح متوسط و شدید متفاوت می‌باشد؛ ولی هر دو باید در هنگام این سطح از زلزله، بتوانند سطح عملکرد خسارت کنترل شده را ارضاء نمایند.

---

[۱] Design classification determination

[۲] Post-event recovery

[۳] Hazard level

[۴] Performance level

همچنین فقط سازه‌هایی که در رده طرح شدید جای می‌گیرند باید بتوانند در هنگام زلزله بهره‌برداری، سطح عملکرد آسیب حداقل را اضاء کنند.

جدول ۱- سطوح خطر و عملکرد متناظر با طبقه طرح [۱۷]

طبقه طرح	سطح زلزله بهره برداری		سطح زلزله محتمل		سطح زلزله طرح	
	احتمال فراگذشت شدت لرزش	سطح عملکرد	احتمال فراگذشت شدت لرزش	سطح عملکرد	احتمال فراگذشت شدت لرزش	سطح عملکرد
شدید	۵۰٪ در ۵۰ سال / دوره بازگشت ۷۲ سال	آسیب حداقل	۱۰٪ در ۵۰ سال / دوره بازگشت ۴۷۵ سال	آسیب کنترل شده و قابل تعمیر	سطح زلزله طرح بر طبق ASCE۷	سطح حفاظت جانی
متوسط	N/A	N/A	۲۰٪ در ۵۰ سال / دوره بازگشت ۲۲۴ سال	آسیب کنترل شده و قابل تعمیر	سطح زلزله طرح بر طبق ASCE۷	سطح حفاظت جانی
آرام	N/A	N/A	N/A	N/A	سطح زلزله طرح بر طبق ASCE۷	سطح حفاظت جانی

۳-۳ تعیین روش طراحی

براساس ضوابطی که در زیر بیان شده است، هر دو روش نیرویی و عملکردی را می‌توان برای طراحی اسکله‌های شمع و عرشه به کار برد.

الف) استفاده از روش عملکردی برای تمام رده‌های طراحی قابل استفاده است.

ب) روش نیرویی برای سازه‌هایی که در رده آرام طراحی قرار دارند، قابل استفاده است.

ج) روش طراحی نیرویی زمانی که Sds<۰٫۳۳ باشد، قابل استفاده برای تمام سطوح طراحی خواهد بود. Sds در این بند، شتاب طیف پاسخ طراحی در پریودهای کوتاه مدت طبق آئین‌نامه ASCE۷ می‌باشد.

د) روش طراحی نیرویی زمانی که از سازه انتظار رفتار صرفا خطی در زمان زلزله باشد، برای تمام سطوح طراحی قابل استفاده است.

ه) روش طراحی نیرویی برای طراحی سازه‌های نگه دارنده خطوط لوله و سایر تاسیسات روی اسکله قابل استفاده است.

الزامات طراحی به روش‌های نیرویی و عملکردی به ترتیب در فصول ۵ و ۶ این آئین‌نامه به تفسیر بیان شده است. باید توجه نمود که مطابق با این آئین‌نامه، جهت طراحی اسکله‌ای که دارای شمع مایل[۱] باشد، طراح ناچار به استفاده از روش طراحی[۲] عملکردی خواهد بود تا بتواند از ارضاء سطوح عملکرد اینگونه از شمع‌ها در هنگام زلزله اطمینان یابد.

[۱] Batter Piles

[۲] Design method

۳-۴ تعیین شدت لرزش بستر

تعیین شدت لرزش‌های زلزله‌های[۱]اعمالی به سازه باید براساس سطوح خطر متناظر صورت پذیرد. سطح لرزش طراحی باید براساس آئین‌نامه ASCE[۷] باشد و نیز جهت تعیین سطح لرزش احتمالی و بهره‌برداری باید با استفاده از یکی از دو روش آنالیز خطر زلزله[۲]زیر اقدام گردد.

الف) داده‌های تولید شده توسط USGS[۳] به همراه درنظر گرفتن شرایط محل از نظر گسلش طبق فصل ۱۱ آئین‌نامه ASCE[۷]

ب) استفاده از آنالیز احتمالاتی خطر لرزه‌ای PSHA[۴]

۳-۵ تعیین پارامترهای مدلسازی اندرکنش شمع-خاک-سازه

بحث اندرکنش شمع-خاک-سازه در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران سازه‌های دریایی واقع شده است. بسیاری به این نتیجه رسیده‌اند که اهمیت این بحث به دلیل تاثیر زیاد عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های ژئوتکنیکی بوده و همچنین مدلسازی آن، هم می‌تواند باعث تشدید و هم باعث تعدیل در تنش‌ها و کرنش‌های بوجود آمده در سازه بشود[۱۸]. لذا باید این وجه از مدلسازی حتماً مورد توجه طراح قرار گیرد تا به طرحی با قابلیت اطمینان بالا رسید. از همین جهت، آئین‌نامه ASCE/COPRI۶۱-۱۴ برای بدست آوردن نیازهای لرزه‌ای، فنرهای غیرخطی p-y [۱۰] را جهت مدلسازی اندرکنش شمع-خاک-سازه پیشنهاد کرده است. همچنین جهت درنظر گرفتن عدم قطعیت‌های یاد شده، باید هم کران بالا و هم پایین مقاومت این فنرها در مدلسازی درنظر گرفته بشود. در روش طراحی نیرویی، زمانی استفاده از روش طول گیرداری مجاز است که هدف طراح تنها محاسبه تغییر شکل‌های سازه باشد؛ همچنین در روش طراحی عملکردی زمانی استفاده از روش طول گیرداری مجاز است که یک لایه سنگی سخت در اعماق بسیار کم وجود داشته و یا اثبات شود که تغییرشکل‌های خاک اطراف شمع‌ها نمی‌تواند بر پاسخ سازه تاثیری داشته باشد و در در غیر اینصورت باید از فنرهای غیرخطی p-y جهت مدلسازی اندرکنش خاک-سازه استفاده نمود. لازم به ذکر است که با توجه به روشی که جهت برآورد مقدار طول گیرداری در این آئین‌نامه ارائه شده، عملا تاثیر ویژگی‌های لایه‌های مختلف خاک درنظر گرفته خواهد شد.

۳-۶ بررسی و تعیین سایر جنبه های ژئوتکنیکی طرح و نیز بارهای وارد از منظر ژئوتکنیکی

در این مرحله از طراحی با استفاده از آئین‌نامه ASCE/COPRI۶۱-۱۴، حداقل‌هایی که باید توسط طراح از منظر ژئوتکنیکی درنظر گرفته شود، ارائه شده است. مواردی که آئین‌نامه به آنها اشاره کرده است و طراح باید این موارد را جهت طراحی درنظر داشته باشد عبارتند از :

الف) روانگرایی[۵]در خاک

ب) زوال مقاومت خاک به دلیل بارگذاری چرخه‌ای زلزله[۶]

---

[۱] Ground motion determination

[۲] Probabilistic seismic hazard analysis (PSHA)

[۳] U.S. Geological Survey

[۴] Probabilistic Seismic Hazard Analysis

[۵] Liquefaction

[۶] Soil cyclic degradation potential

ج) پایداری و تغییرشکل‌های شیروانی‌ها[1]
د) تاثیرات گسلش در بستر[2]
ه) اثرات کینماتیک و اینرسی خاک[3]
و) ظرفیت باربری شمع‌ها
ی) بار ناشی از تغییر شکل احجام خاکی در هنگام زلزله[4]
لازم به ذکر است که آئین‌نامه در قسمت پیوست، تفسیر موارد ذکر شده را ارائه کرده است.

۳-۷ ایجاد مدل عددی طرح و بررسی الزامات مدلسازی عددی

مدل عددی سازه جهت انجام آنالیزهای لرزه‌ای در مقابل بار زلزله باید شامل تمام اجزای اصلی تاثیرگذار بر روی میزان ظرفیت سازه باشند. همچنین توزیع مقاومت و جرم در سازه باید بدرستی انجام گیرد. به عنوان یک حداقل، مدل عددی سازه باید دارای سه قسمت عرشه، اتصال سرشمع[5] و شمع‌ها باشد. همچنین موارد زیر نیز باید به درستی درنظر گرفته شود :

الف) عدم قطعیت‌های موجود در مقاومت خاک اطراف شمع‌ها
ب) پیچش ناشی از فاصله میان مرکز جرم و مرکز سختی سازه
ج) جرم اعضای فرعی سازه مطابق با فصل ۸ آئین‌نامه

یکی از مهمترین نکاتی که این آئین‌نامه به آن اشاره کرده است، امنیت ظرفیتی اعضای[6] عرشه است، به این معنی که تمام اعضای تشکیل دهنده عرشه اسکله به غیر از ناحیه اتصال سرشمع[7] باید در زمان زلزله در منطقه رفتار خطی مصالح قرار داشته و ظرفیت این اعضا به صورتی باشد که هیچ تغییر شکل ناکشسانی در آن‌ها در هنگام تحریکات زمین لرزه رخ ندهد. این امر به دلیل اهمیت تأسیسات قرار داده شده بر روی اسکله‌ها می‌باشد بطوری که اگر آسیبی در این تأسیسات رخ دهد، خسارات جانی و مالی زیادی بوجود خواهد آمد.

۳-۸ تعیین جزئیات اتصالات

در سال‌های اخیر با توجه به مشاهدات میدانی پس از وقوع زمین لرزه‌ها در اسکله‌های شمع و عرشه، مشخص شده است که بیشترین آسیب کنترل نشده در ناحیه اتصال سرشمع‌ها رخ خواهد داد[۱۹]. سرشمع در واقع ناحیه‌ای است که در آن نیروها از طریق عرشه به شمع‌ها منتقل می‌شوند. لذا این قسمت نقش بسیار مهمی در عملکرد سازه داشته و عملکرد مناسب آن در هنگام زلزله نقش بسیار مهمی در پایداری سازه و تأسیسات روی اسکله خواهد داشت. همچنین طراح در صورت نیاز باید جهت ارضاء معیارهای پذیرش از چندین توع اتصال سرشمع در طراحی استفاده نماید. انواع اتصالات سرشمع مجاز از نظر آئین‌نامه در شکل‌های زیر آورده شده است ولی با این حال اگر رفتار مطلوب یک نوع اتصال سرشمع ویژه با استفاده از آزمایش

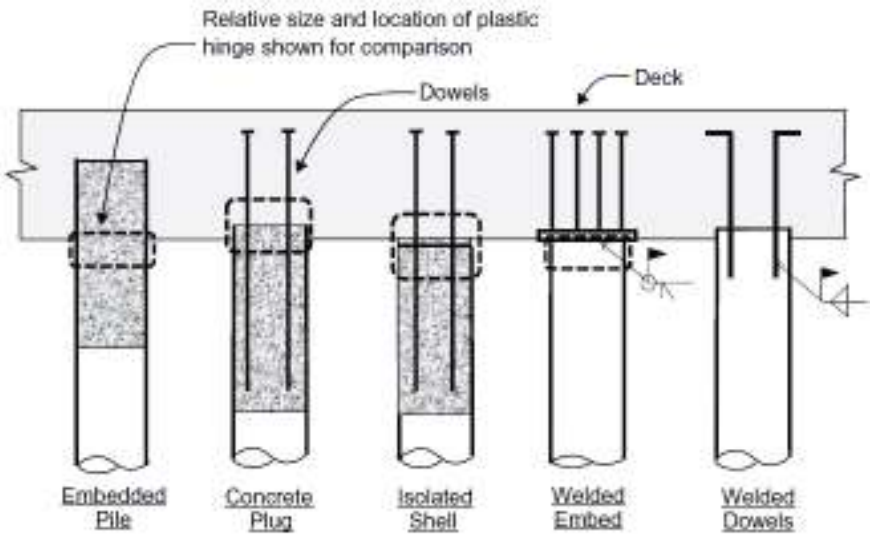
---

[1] Slope stability and lateral ground deformations
[2] Ground surface rupture
[3] Inertial and Kinematic loading
[4] Seismic earth pressures
[5] Pile cap connection
[6] Capacity-protected
[7] Pile cap connection

و یا مدلسازی اجزاء محدود در محدود رفتارهای غیرخطی اثبات گردد، آئین‌نامه استفاده از آن نوع اتصال را نیز مجاز می‌داند. از مسائل بسیار مهمی که این آئین‌نامه در این بخش به آن‌ها توجه داشته است، می‌توان به مواردی همچون ترک خوردگی اتصال در هنگام زلزله، جدایش میان آرماتورها و بتن در هنگام زلزله، جزئیات صحیح اتصالات کاملاً گیردار و نیز نیمه‌گیردار، مقایسه عملکرد غیرخطی انواع اتصالات با یکدیگر، هندسه مقاطع بحرانی برش در پیرامون اتصالات و معیارهای پذیرش انواع اتصالات اشاره نمود که حاصل سال‌ها کار پژوهشگران مختلف می‌باشد. یکی از نکات بسیار مثبت این بخش از آئین‌نامه این است که از اعمال قضاوت‌های مهندسی نادرست در هنگام طراحی اتصالات به عنوان مهم‌ترین بخش سازه جلوگیری خواهد کرد. همچنین یکی دیگر از نکات مهم این بخش از آئین‌نامه این است که، الزامات طراحی اتصالات سرشمع شمع‌های مایل را در یک بخش کاملا مجزا عنوان کرده است. باید توجه داشت که به دلیل اینکه در ایالت کلیفرنیا[1]کشور آمریکا اغلب از شمع‌های بتنی پیش‌تنیده جهت شالوده اسکله‌ها استفاده می‌شود و تمرکز بسیاری از پژوهش‌های آزمایشگاهی بر روی برآورد رفتار اتصالات اینگونه از شمع‌ها بوده، لذا آئین‌نامه در این بخش بیشتر به جزئیات اتصالات شمع‌های پیش‌تنیده پرداخته است.

الف) شمع‌های لوله‌ای فولادی

انواع اتصالات شمع‌های فولادی در شکل زیر نشان داده شده است. از نکاتی که در طراحی لرزه‌ای اتصالات سرشمع شمع‌های فولادی در آئین‌نامه به آنها اشاره شده است می‌توان به میزان گیرداری هر اتصال، مزایا و معایب عملکردی هر اتصال در هنگام زلزله و نکات مدلسازی در نرم‌افزار اشاره نمود. در این میان فالمر و همکاران[2][۲۰] در سال ۲۰۱۳ میلادی با انجام چندین آزمایش دریافتند که اتصال نوع نصب جوشی[3]در شکل ۲ در هنگام بار زلزله به دلیل رخداد کمانش‌های موضعی عملکرد بسیار نامناسبی خواهد داشت و در مناطق با لرزه‌خیزی بالا نباید مورد استفاده قرار گیرد؛ ولی با این حال این آئین‌نامه استفاده از آن را محدود نکرده است.



شکل ۲- اتصالات مجاز سرشمع برای شمع های فولادی [۱۷]

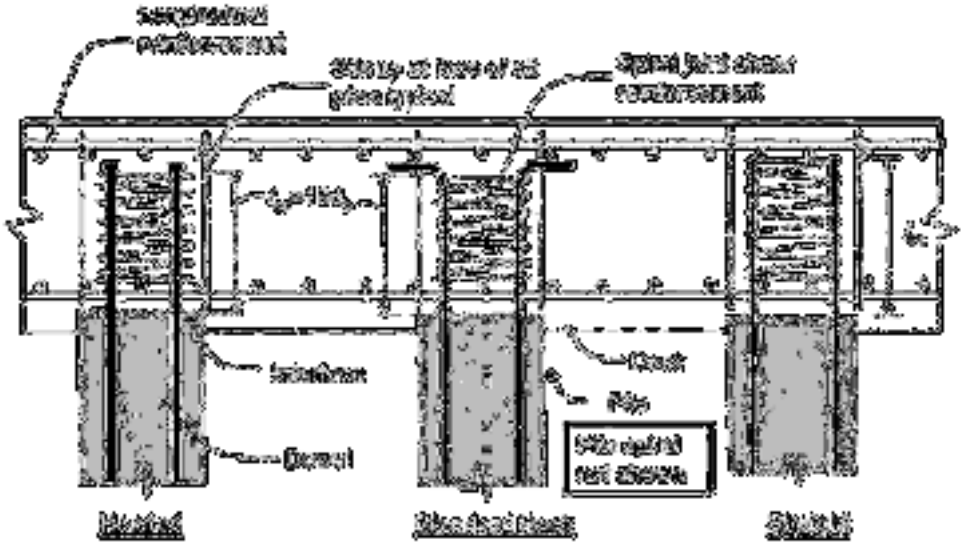
[1] California State

[2] Fulmer et al. ۲۰۱۰

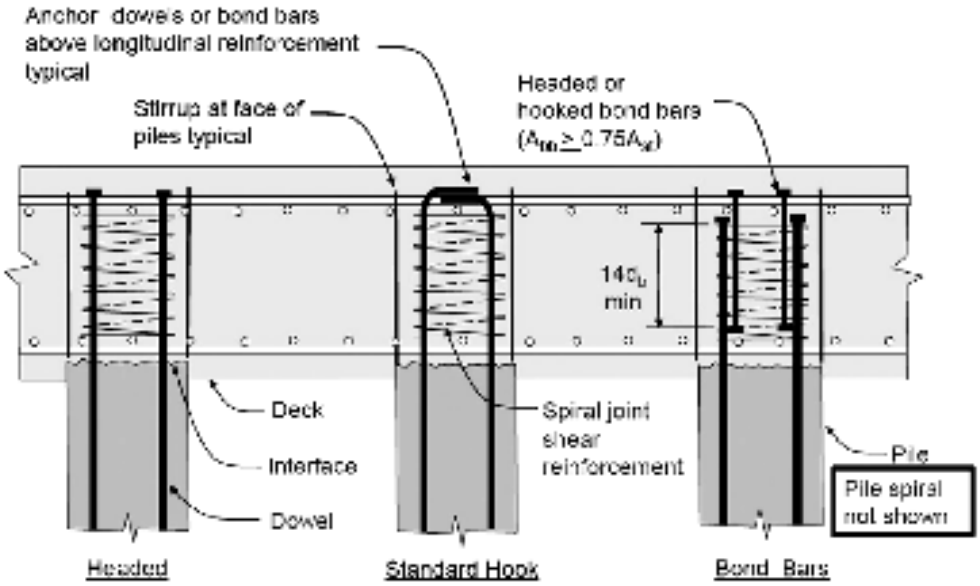
[3] Welded Embed

ب) شمع های بتنی

در این آئین‌نامه همانطور که در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده، آرماتور عرضی دورپیچ[۱] به عنوان تنها گزینه جهت مهار آرماتورهای طولی شمع‌های بتنی ارائه شده است؛ که از دلایل این امر می‌توان به مهار بسیار خوب آرماتورهای طولی، محصورشدگی بسیار مناسب بتن هسته و اتلاف بیشتر انرژی زلزله نسبت به تنگ بسته[۲] اشاره نمود[۲۱].



شکل ۳- جزئیات اتصال ترک نخورده سرشمع شمع بتنی [۱۷]

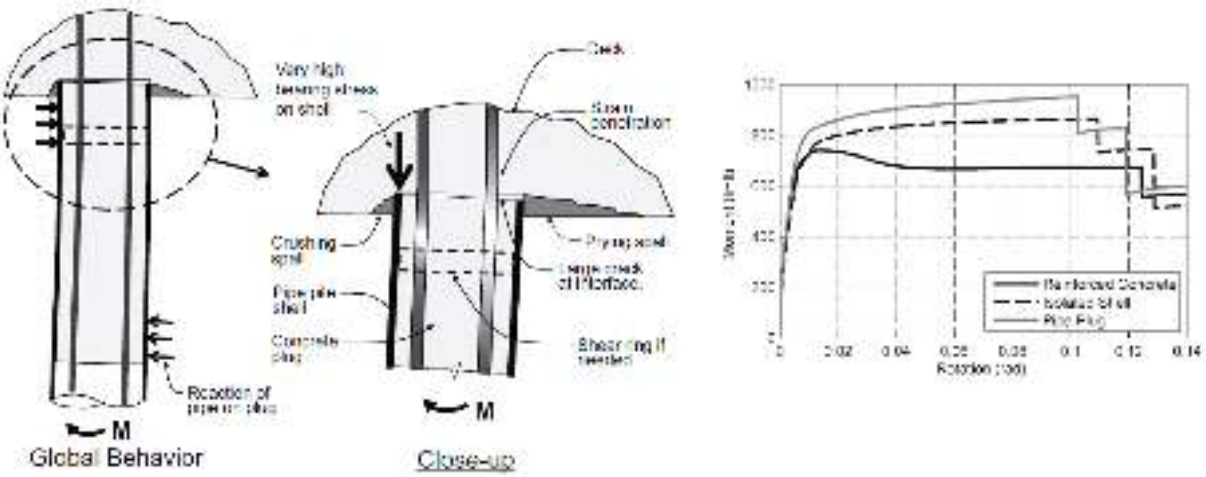


شکل ۴- جزئیات اتصال ترک خورده سرشمع شمع بتنی [۱۷]

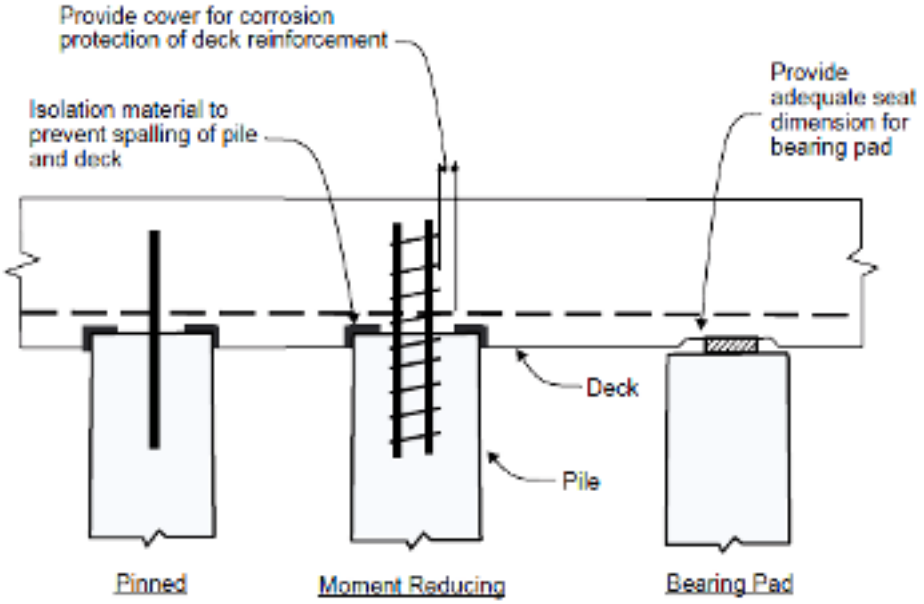
[۱] Spiral transverse reinforcement

[۲] Tied transverse reinforcement

آئین‌نامه در رابطه با شمع‌هایی که دارای مقطع مرکب (نیمرخ لوله‌های فولادی پر شده با بتن مسلح) هستند، اتصال ویژه‌ای به نام پوسته مستقل[۱]را معرفی کرده است که پیشنهاد می‌شود جهت اطلاعات بیشتر در این رابطه به مطالعه انجام شده توسط مانتجو و همکاران[۲][۱۹] مراجعه شود. همچنین با توجه به مطالعه آزمایشگاهی انجام شده توسط برون و همکاران[۳][۲۰] در سال ۲۰۱۳ میلادی، نسبت قطر به ضخامت چنین شمع‌هایی می‌تواند شدیداً بر روی عملکرد آنها در هنگام بار زلزله تاثیر گذار باشد که در رابطه با این مورد نیز در آئین‌نامه الزامی آورده نشده است و بهتر است طراح به این نکته توجه نماید.



شکل ۵- مقایسه عملکرد انواع اتصالات سرشمع‌های شمع‌های بتنی [۱۷]



شکل ۶- انواع اتصالات مفصلی سرشمع [۱۷]

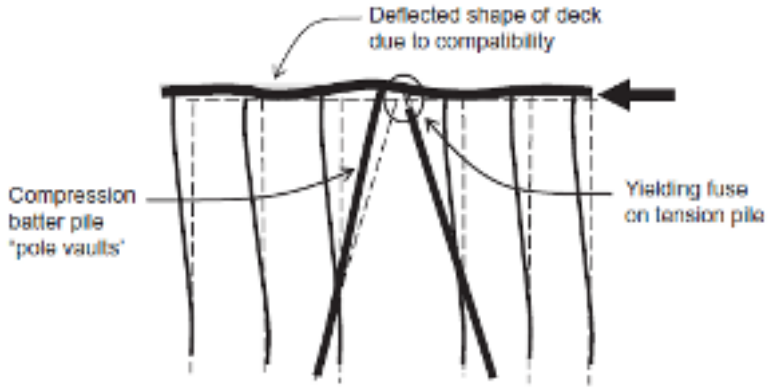
[۱] Isolated shell

[۲] Montejo et al. ۲۰۱۲

[۳] Brown et al. ۲۰۱۳

ج) شمع‌های مایل

می‌توان گفت که بررسی رفتار شمع‌های مایل در اسکله‌های شمع و عرشه یکی از مهمترین چالش‌های طراحی این سازه‌ها می‌باشد. جهت محدود کردن تغییر شکل‌های جانبی اسکله‌ها تحت اثر بارهای زلزله و نیز پهلوگیری شناورها، طراحان از این نوع شمع بهره می‌گیرند که این امر در کل باعث اقتصادی شدن طرح نیز خواهد شد. ولی با توجه به اینکه مشاهدات میدانی حاکی از عملکرد ضعیف این شمع‌ها در هنگام زلزله بوده، این امر باعث شده تا این آئین‌نامه استفاده از روش طراحی براساس عملکرد را جهت طراحی این شمع‌ها ملزم نماید و استفاده از فیوز کششی[1]در اتصال سرشمع را بهترین راه جهت کنترل رفتار این شمع‌ها الزام کند.



شکل ۷- انواع اتصالات مفصلی سرشمع [۱۷]

۳-۹ محاسبه ظرفیت و نیازهای لرزه‌ای سازه

با توجه به اینکه تمرکز اصلی این مطالعه بر روی روش طراحی براساس عملکرد می‌باشد، مراحل محاسبه نیازها و ظرفیت‌های سازه‌ای تنها مطابق با این روش طراحی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نمودارهای رفتار مصالح بتنی محصور شده و محصور نشده و همچنین رفتار کششی فولاد در این آئین‌نامه مطابق با شکل‌های زیر ارائه شده است. نکته قابل توجه در اینجا این است که رفتار فشاری آرماتورهای فشاری در این آئین‌نامه ارائه نشده و طراح باید به این مسئله در هنگام استفاده از اجزاء الیافی[2]توجه داشته باشد. جهت طراحی عملکردی اسکله‌های شمع و عرشه، این آئین‌نامه استفاده از دو روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (بار افزون[3]) دو بعدی و نیز دینامیکی تاریخچه زمانی[4]را مجاز دانسته. طراح براساس قضاوت خود می‌تواند از روش بار افزون سه بعدی نیز استفاده نماید ولی باید اثر صد-سی را در محاسبه نیازهای لرزه‌ای سازه در نظر بگیرد؛ همچنین باید در هنگام استفاده از روش استاتیکی غیرخطی، به فاصله میان مرکز جرم و سختی سازه توجه داشته باشد و در صورت نیاز

[1] Yielding of tension connection
[2] Fiber element
[3] Push-over analysis
[4] Nonlinear time history analysis

جهت در نظر گرفتن مودهای بالاتر سازه، از روش ترکیب مربع کامل[1]جهت ترکیب مودها و آنالیز دینامیکی طیفی استفاده نماید. مقادیر طول مفاصل خمیری براساس جنس شالوده شمعی، طبق جدولی ارائه شده است. با توجه به اینکه در این آئین‌نامه جهت آنالیز غیرخطی، رفتار مصالح و نیز مقادیر طول مفاصل خمیری ارائه شده است، پس می‌توان نتیجه گرفت که این آئین‌نامه عملاً استفاده از دو روش اجزاء الیافی و مفصل خمیری را جهت مدلسازی رفتار غیرخطی اعضاء، مجاز می‌داند. ولی باید به این نکته توجه نمود که ممکن است خاک محل در اثر زلزله دچار روانگرایی شود و این امر باعث تغییر الگوی تشکیل مفاصل خمیری در شمع‌ها خواهد شد [۲۴] و این مسئله باید توسط طراح مورد بررسی دقیق قرار گیرد.

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، این آئین‌نامه جهت مدلسازی رفتار بتن محصور شده و محصور نشده، مدل مندر [۲۵] را پیشنهاد کرده است. از آنجایی که آزمایشات بسیاری نشان از ضعف این مدل در برآورد مقاومت بتن محصور شده در ناحیه غیرخطی است[۲۶]، لذا پیشنهاد می‌شود تا از مدل‌های رفتاری بهبود یافته مقاومت بتن محصور شده در ناحیه غیرخطی استفاده شود.

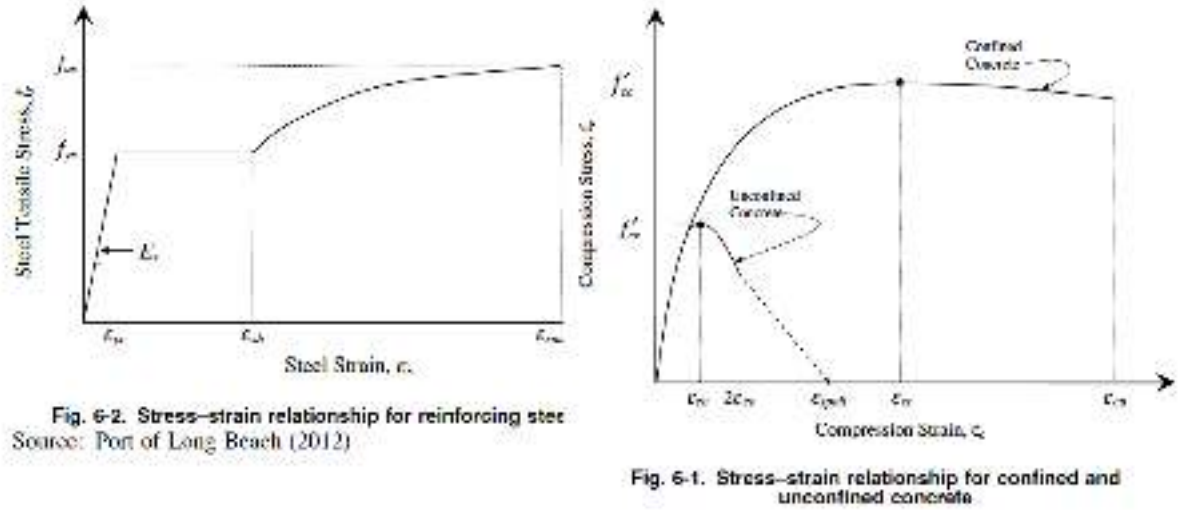


Fig. 6-2. Stress–strain relationship for reinforcing stee
Source: Port of Long Beach (2012)

Fig. 6-1. Stress–strain relationship for confined and unconfined concrete

شکل ۸- انواع اتصالات مفصلی سرشمع [۱۷]

آئین‌نامه در فصل ۳ جهت معیارهای پذیرش طراحی در هر سطح از زلزله و براساس نوع مقطع شمع، حدود کرنش‌های بتن و فولاد را ارائه کرده است. در نهایت نیز الزاماتی جهت طراحی لرزه‌ای اعضای فرعی[2]اسکله‌ها ارائه شده است.

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه روند کلی طراحی اسکله‌های شمع و عرشه با استفاده از آئین‌نامه ASCE/COPRI ۶۱-۱۴ ارائه گردید. بعد از بررسی الزامات ارائه شده در این آئین‌نامه جهت طراحی اتصالات ناحیه سرشمع می‌توان به این نتیجه رسید که از مزایای اصلی این آئین‌نامه می‌توان به شرح کامل روش طراحی براساس عملکرد جهت طراحی دقیق‌تر و با قابلیت اطمینان بیشتر اسکله‌های شمع و عرشه اشاره نمود، این در حالی است که روش طراحی نیرویی را نیز در مواردی مجاز دانسته. همچنین از مزایای دیگر آن برطرف نمودن ابهامات موجود در هر بخش طراحی با استفاده از ارجاع به آئین‌نامه‌های بارگذاری، طراحی سازه‌های بتنی و فولادی کشور آمریکا می‌باشد. طراحی شمع‌های مایل، مسائل ژئوتکنیکی و طراحی ناحیه اتصال سرشمع نیز

[1] Complete quadratic combination (CQC)

[2] Ancillary components

در این آئین‌نامه بسیار مورد توجه قرار گرفته تا از قضاوت‌های مهندسی نادرست در هنگام طراحی جلوگیری به عمل آید. باتوجه به مطالب یاد شده، استفاده از این آئین‌نامه جهت طراحی هر چه دقیق‌تر و مطمئن‌تر اسکله‌های شمع و عرشه پیشنهاد می‌شود.

۵. مراجع

[۱] Thoresen, C. A. (۲۰۱۹). "Port Designers Handbook", ۴th Ed., ICE Publishing, London.

[۲] ASCE. (۲۰۱۶). "Minimum design loads for buildings and other structures." ASCE/SEI ۷-16, Reston, VA.

[۳] ACI (American Concrete Institute). (۲۰۱۴a). "Building code requirements for structural concrete." ACI ۳۱۸-۱۴, Farmington Hills, MI.

[۴] AISC (American Institute of Steel Construction). (۲۰۱۶). "Specification for structural steel buildings." ANSI/AISC ۳۶۰-۱۶, Chicago.

[۵] EN ۱۹۹۷, Eurocode ۷ — "Geotechnical design", European Committee for Standardization, Brussels.

[۶] BSI (British Standards Institute). (۲۰۱۰). "British standard: Maritime works: Code of practice for the design of quay walls, jetties and dolphins." BS-۶349-2 2010, London.

[۷] OCDI. (۲۰۰۲), "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan", The Overseas Coastal Development Institute of Japan.

[۸] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه، ویرایش چهارم ۱۳۹۲، وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان، دفتر مقررات ملی

[۹] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، ویرایش چهارم ۱۳۹۲، وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان، دفتر مقررات ملی ساختمان

[۱۰] API. (۲۰۱۴). "Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms", Working stress design." ۲۲nd Ed. RP-۲A-WSD, Washington, DC.

[۱۱] آئین‌نامه طراحی بنادر و و سازه‌های دریائی ایران، نشریه شماره ۶-۳۰۰، (سازه و تجهیزات پهلوگیری)، ۱۳۸۵

[۱۲] POLA (Port of Los Angeles). (۲۰۱۰). "The Port of Los Angeles code for seismic design, upgrade and repair of container wharves", City of LA Harbor Dept., Los Angeles.

[۱۳] POLB (Port of Long Beach). (۲۰۱۲). "The Port of Long Beach wharf design criteria", Long Beach, CA.

[۱۴] MOTEMS. (۲۰۱۱). "Marine oil terminals engineering and maintenance standards." California Building Code ۲۰۱۰, Long Beach, CA.

[۱۵] PIANC. (۲۰۰۱). "Seismic design guidelines for port structures." Rep. WG ۳۴, MarCom, International Navigation Association, Brussels, Belgium.

[۱۶] امیرآبادی، ر ، برگی، خ. و دولتشاهی، م.، ۱۳۸۸، "کاربرد مفهوم طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد برای سازه‌های بندری"، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساختها، تهران، دانشگاه تهران

[۱۷] ASCE. (۲۰۱۴). "Seismic design of piers and wharves." ASCE/COPRI ۶۱-14, Reston, VA.

[۱۸] Kimiaei, M., Shayanfar, M. A., El Naggar, M. H., & Aghakouchak, A. A. (۲۰۰۴). "Non linear seismic pile soil structure interaction analysis of piles in offshore platforms". In ASME ۲۰۰۴ ۲۳rd

International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (pp. ۹-۱۶). American Society of Mechanical Engineers.

[۱۹] Harn, R. E. (۲۰۰۴, August). “Displacement design of marine structures on batter piles”. In 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada (No. ۵۴۳).

[۲۰] Fulmer S.J., Kowalsky M.J, and Nau J.M, (۲۰۱۳) “Seismic Performance of Steel Pipe Pile to Cap Beam Moment Resisting Connections”. North Carolina State University Raliegh, North Carolina. Prepared for Alaska Department of Transportation.

[۲۱] Moehle, J. (۲۰۱۴). “Seismic design of reinforced concrete buildings”. McGraw Hill Professional.

[۲۲] Montejo, L.A., Gonzalez-Roman, L.A., Kowalsky, M.J., (۲۰۱۳), “Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete-Filled Steel Tube Pile/Column Bridge Bents”, Department of Engineering Science and Materials, University of Puerto Rico.

[۲۳] Brown, N.K, Kowalsky, M.J., Nau J.M., (۲۰۰۴), “Strain Limits for Concrete Filled Steel Tubes in AASHTO Seismic Provisions”, North Carolina State University Raleigh, North Carolina, Prepared for Alaska Department of Transportation,.

[۲۴] Bhattacharya, S., Dash, S. R., & Adhikari, S. (۲۰۰۸). "On the mechanics of failure of pile-supported structures in liquefiable deposits during earthquakes". Current Science (۰۰۱۱۳۸۹۱), ۹۴(۵).

[۲۵] Mander, J.B., Priestley, M.J. and Park, R., (۱۹۹۸). Theoretical stress-strain model for confined concrete. Journal of structural engineering, ۱14(8), pp.1804-1826.

[۲۶] Sakai, J. and Kawashima, K., (۲۰۰۶). “Unloading and reloading stress–strain model for confined concrete”. Journal of Structural Engineering, 132(1), pp.112-122.