نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)

بررسی طراحی اسکله‌های شمع و عرشه به روش عملکردی

سید سعید طباطبائی[1*]، سید حمید معافی مدنی[2]

۱-کارشناس ارشد سازه‌های دریائی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
پست الکترونیکی: saeid_tabatabaei@civileng.iust.ac.ir
۲-کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، تهران، ایران
پست الکترونیکی: hamid.madani2017@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۲۶

چکیده

امروزه اقتصاد بسیاری از کشورها از جمله کشور ایران به حمل و نقل‌های دریایی وابسته شده است، به طوری که شاهد افزایش ساخت سازه‌های ساحلی به عنوان محل پهلوگیری شناورهای تجاری و نظامی و نیز به عنوان سازه‌های نگهدارنده تاسیسات 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 آسیب هایی کنترل نشده در این سازه‌ها در هنگام زلزله می‌تواند منجر به صرف هزینه‌های اقتصادی بسیار زیادی برای کشور شود. لذا در این مطالعه به معرفی و بررسی آئین‌نامه طراحی لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه انجمن مهندسین آمریکا به همراه تمرکز بر روش طراحی براساس عملکرد پرداخته شده است.

کلمات کلیدی : اسکله‌های شمع و عرشه، طراحی براساس عملکرد، قابلیت اطمینان، خرابی،

۱- مقدمه

از آنجایی که ساخت و نگهداری سازه‌های دریایی در مقایسه با اغلب سازه‌های خشکی بسیار پرهزینه‌تر است، فروپاشی و آسیب های کنترل نشده در اینگونه از سازه‌ها در هنگام بارهای طرح منجر به خسارات اغلب جبران ناپذیر جانی و مالی خواهد شد. به همین دلیل

www.SID.ir

است که اغلب در هنگام طراحی چنین سازه‌هایی از ضرایب اطمینان بزرگتری استفاده می‌شود[۱]. 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. 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 ASCE7 [۲]، طراحی سازه‌های بتنی آمریکا ACI318-14 [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. از آنجایی که آخرین ویرایش مقررات ملی مباحث ۹ و ۱۰ [۸ و ۹] (که مرجع اصلی طراحی سازه‌های متعارف بتنی و فولادی در کشور ایران 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. تا به امروز در کشور 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؛ ولی 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 دیده می‌شودبا 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[1] به چاپ رسیده پرداخته می شود.. همچنین اتصالات سرشمع[2] در اسکله‌های شمع و عرشه مهمترین نقش در حفظ عملکرد این سازه‌ها را در هنگام بار زلزله دارند. 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[۱۰]. لذا با توجه به مطالب یاد شده، در این مطالعه به معرفی و بررسی کلی آئین‌نامه طراحی لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه ASCE/COPRI 61-14 و همچنین الزامات طراحی اتصالات سرشمع این سازه‌ها از منظر طراحی براساس عملکرد پرداخته خواهد شد

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[3] در سال ۲۰۰۴ میلادی و بندر لانگ بیچ[4] در سال ۲۰۰۷ میلادی شروع به انتشار الزاماتی جهت طرح لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه مخصوص به خود کردند[۱۱ و ۱۲]. 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[5] [۱۳] بوده تا اینکه در همین راستا در سال ۲۰۰۵، کمیته استانداردها و آئین‌نامه‌های انجمن مهندسین آمریکا[6] با همکاری موسسه سواحل-اقیانوس‌ها-بنادر و رودخانه‌ها[7] 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

[1] American Society of Civil Engineering
[2] Pilecap connection
[3] Port of Los Angeles, 2004
[4] Port of Long Beach, 2007
[5] Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standards, 1999-2003
[6] ASCE's Codes and Standards Committee (CSC)
[7] Coastal, Oceans, Ports and Rivers Institute (COPRI)

www.SID.ir

نیز با توجه به گستردگی پروژه، چندین کمیته فرعی جهت قسمت‌های مختلف استاندارد تشکیل شدند. به عنوان مثال کمیته کار[1] 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 تاکید 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[2] [۱۴] 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[۱۵]، ولی در آئین‌نامه ASCE/COPRI61-14 [۱۶] جهت ارائه مطالب بیشتر و برطرف شدن ابهامات فنی به آئین‌نامه‌های ASCE7، ACI318 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 ASCE7، ACI318 و AISC جهت برطرف شدن ابهامات فنی، انسجام بسیاری خوبی بین مطالب پدید آورده است.

۳-۱- تعیین رده طرح

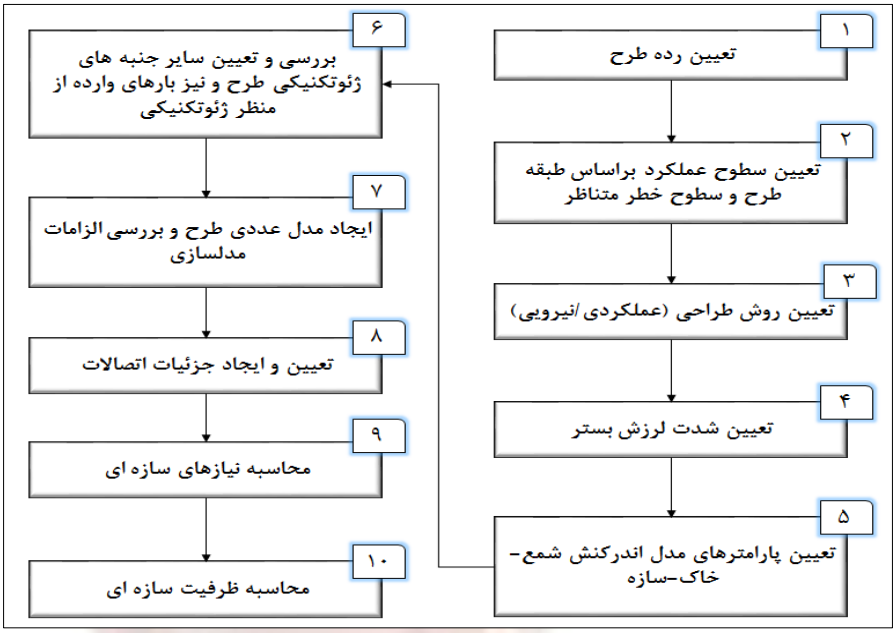
اسکله‌هایی که با استفاده از این استاندارد طراحی می‌شوند، باید توسط طراح در یکی از رده‌های طرح زیر قرار گرفته و به تایید کارفرما برسد. اساس رده‌بندی طرح[3] در این بخش، اهمیت سازه از نظر اقتصاد منطقه‌ای و ارائه خدمات پس از حوادث بحرانی[4] می‌باشد. این سطوح طرح شامل رده‌های شدید، متوسط و آرام می‌شوند.

۳-۲- تعیین سطح عملکرد

در این مرحله باید براساس طبقه طرح و سطح خطر[5]، سطوح عملکرد[6] متناظر را طبق جدول ۱ تعیین نمود. همانطور که مشاهده می‌شود، زلزله سطح طراحی باید بر طبق آئین‌نامه ASCE7 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. همچنین فقط سازه‌هایی که در رده طرح شدید جای می‌گیرند باید بتوانند در هنگام زلزله بهره‌برداری، سطح عملکرد آسیب حداقل را ارضاء کنند.

[1] Task Committee 7 (TC7)
[2] Permanent International Association of Navigation Congress
[3] Design classification determination
[4] Post-event recovery
[5] Hazard level
[6] Performance level

www.SID.ir



شکل ۱- روند طراحی اسکله‌های شمع و عرشه مطابق با آئین‌نامه ASCE/COPRI 61-14

جدول ۱- سطوح خطر و عملکرد متناظر با طبقه طرح [۱۶]

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<0.33 باشد، قابل استفاده برای تمام سطوح طراحی خواهد بود. Sds در این بند، شتاب طیف پاسخ طراحی در پریودهای کوتاه مدت طبق آئین‌نامه ASCE7 می‌باشد.

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

www.SID.ir

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[1] باشد، طراح ناچار به استفاده از روش طراحی[2] عملکردی خواهد بود تا بتواند از ارضاء سطوح عملکرد اینگونه از شمع‌ها در هنگام سطوح مختلف زلزله اطمینان یابد.

۳-۴- تعیین شدت لرزش بستر

تعیین شدت لرزش‌های زلزله‌های[3] اعمالی به سازه باید براساس سطوح خطر متناظر صورت پذیرد. سطح لرزش طراحی باید براساس آئین‌نامه ASCE7 باشد و نیز جهت تعیین سطح لرزش احتمالی و بهره‌برداری باید با استفاده از یکی از دو روش آنالیز خطر زلزله[4] زیر اقدام گردد.

الف) داده‌های تولید شده توسط USGS[5] به همراه درنظر گرفتن شرایط محل از نظر گسلش طبق فصل ۱۱ آئین‌نامه ASCE7

ب) استفاده از آنالیز احتمالاتی خطر لرزه‌ای PSHA[6]

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[۱۷]. 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/COPRI61-14 برای بدست آوردن نیازهای لرزه‌ای، فنرهای غیرخطی p-y 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.

۳-۶- بررسی سایر جنبه های ژئوتکنیکی

در این مرحله از طراحی با استفاده از آئین‌نامه ASCE/COPRI61-14، 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 روانگرایی[7] در خاک، زوال مقاومت خاک به دلیل بارگذاری چرخه‌ای زلزله[8] ، پایداری و تغییرشکل‌های شیروانی‌ها[9] ، تاثیرات گسلش در

[1] Batter Piles
[2] Design method
[3] Ground motion determination
[4] Probabilistic seismic hazard analysis (PSHA)
[5] U.S. Geological Survey
[6] Probabilistic Seismic Hazard Analysis
[7] Liquefaction
[8] Soil cyclic degradation potential
[9] Slope stability and lateral ground deformations

www.SID.ir

بستر[1] ، اثرات کینماتیک و اینرسی خاک[2] ، ظرفیت باربری شمع‌ها و بار ناشی از تغییر شکل احجام خاکی در هنگام زلزله[3]. همچنین لازم به ذکر است که آئین‌نامه در قسمت پیوست، تفسیر موارد ذکر شده را ارائه کرده است.

۳-۷- ایجاد مدل عددی و بررسی الزامات مدلسازی

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[4] و شمع‌ها باشد.

یکی از مهمترین نکاتی که این آئین‌نامه به آن اشاره کرده است، امنیت ظرفیتی اعضای[5] عرشه است، به این معنی که تمام اعضای تشکیل دهنده عرشه اسکله به غیر از ناحیه اتصال سرشمع[6]، باید در زمان زلزله در منطقه رفتار خطی مصالح قرار داشته و ظرفیت این اعضا به صورتی باشد که هیچ تغییر شکل غیرالاستیکی در آن‌ها در هنگام تحریکات زمین لرزه رخ ندهد. این امر به دلیل اهمیت تاسیسات قرار داده شده بر روی اسکله‌ها می‌باشد بطوری که اگر آسیبی در این تاسیسات رخ دهد، خسارات جانی و مالی زیادی بوجود خواهد آمد.

۳-۸- تعیین جزئیات اتصالات

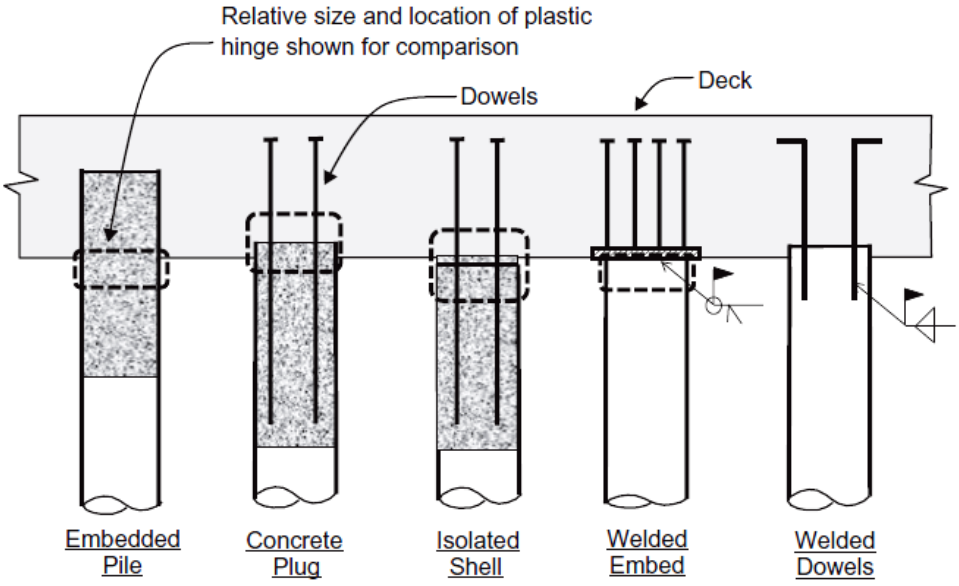
در سال‌های اخیر با توجه به مشاهدات میدانی پس از وقوع زمین لرزه‌ها در اسکله‌های شمع و عرشه، مشخص شده است که بیشترین آسیب کنترل نشده در ناحیه اتصال سرشمع‌ها رخ خواهد داد[۱۰]. سرشمع در واقع ناحیه‌ای است که در آن نیروها از طریق عرشه به شمع‌ها منتقل می‌شوند. لذا این قسمت نقش بسیار مهمی در عملکرد سازه داشته و عملکرد مناسب آن‌ها در هنگام زلزله نقش بسیار مهمی در پایداری سازه و تاسیسات 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 ادامه آورده شده است ولی با این حال اگر رفتار مطلوب یک نوع اتصال سرشمع ویژه با استفاده از آزمایش و یا مدلسازی المان 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 کاملا 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 کار پژوهشگران در سال‌های اخیر 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.

۳-۸-۱- شمع های فولادی

انواع اتصالات سرشمع شمع‌های فولادی در شکل ۲ آورده 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.

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

www.SID.ir



شکل ۲- اتصالات مجاز سرشمع برای شمع های فولادی [۱۶]

۳-۸-۱-۱- شمع نفوذی

در اتصال گیردار شمع نفوذی[1]، آرماتورگذاری زیادی جهت انتقال محل مفصل پلاستیک به بیرون از تیر سرشمع نیاز خواهد بود. آزمایشات بیشتری نیز جهت برآورد عملکرد لرزه‌ای این نوع اتصال باید صورت گیرد تا بتوان مقاومت آن را در مدلسازی به درستی در نظر گرفت. ولی آئین‌نامه جهت طراحی عملکردی آن، چرخش‌های برابر با چهار، هشت و پانزده برابر چرخش تسلیم را معادل با سطوح عملکرد حداقل آسیب، خسارت کنترل شده و قابل تعمیر و سطح عملکرد ایمنی جانی معرفی می‌کند. استفاده از این نوع اتصال به دلیل ابهامات موجود درباره عملکرد مورد انتظار آن در زلزله، پیشنهاد نمی‌گردد. جهت اطلاعات بیشتر به مطالعه انجام شده توسط استفانس و مکتریک [۱۸] مراجعه شود.

۳-۸-۱-۲- پلاگین بتنی

اگر آرماتور گذاری به مقدار کافی در اتصال پلاگین بتنی[2] صورت پذیرد، این اتصال یک اتصال گیردار خواهد بود و در غیر اینصورت به مانند یک اتصال نیمه گیردار رفتار خواهد کرد. آزمایشات بسیاری جهت بررسی عملکرد لرزه‌ای این نوع اتصال انجام شده است که جهت طراحی عملکردی، طراح باید از نتایج گزارش فنی استفانس و همکاران بهره گیرد.

۳-۸-۱-۳- پوسته مستقل

در اتصال پوسته مستقل[3]، سعی می‌شود جهت تخریب بتن تیر سرشمع توسط جداره فولادی شمع جداره فولادی شمع، تماسی میان این دو رخ ندهد؛ لذا فاصله‌ای میان جداره فولادی شمع و تیر سرشمع در نظر گرفته خواهد شد. در عین حال، این جداره می‌تواند محصور شدگی بسیار مناسبی جهت بتن هسته تامین نماید. در کل این نوع اتصال عملکرد مناسبی در هنگام زلزله از خود نشان می‌دهد. جهت اطلاعات بیشتر در این رابطه به مطالعه انجام شده توسط مانتجو و همکاران [۱۹] مراجعه شود. همچنین با توجه به مطالعه آزمایشگاهی انجام شده توسط برون و همکاران [۲۰] در سال ۲۰۱۳ میلادی، نسبت قطر به ضخامت چنین شمع‌هایی می‌تواند شدیداً بر روی عملکرد

[1] Embedded Pile
[2] Concrete Plug
[3] Isolated Shell

www.SID.ir

آن‌ها و به خصوص بر روی مقاومت کمانش موضعی 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.

۳-۸-۱-۴- نصب جوشی

طراحی اتصال کاملا گیردار نصب جوشی[1] باید براساس ضوابط زیر صورت گیرد:

الف) طراحی صفحه فولادی براساس آئین نامه AISC براساس ۱/۳ برابر لنگر پلاستیک مقطع شمع
ب) طراحی جوش کاملا نفوذی محل اتصال شمع و صفحه براساس آئین‌نامه ANSI/AISC
ج) حداقل ده سانتی‌متر خروج از مرکزیت باید به جهت درنظر گرفتن رواداری شمع کوبی، در طراحی اعمال گردد.

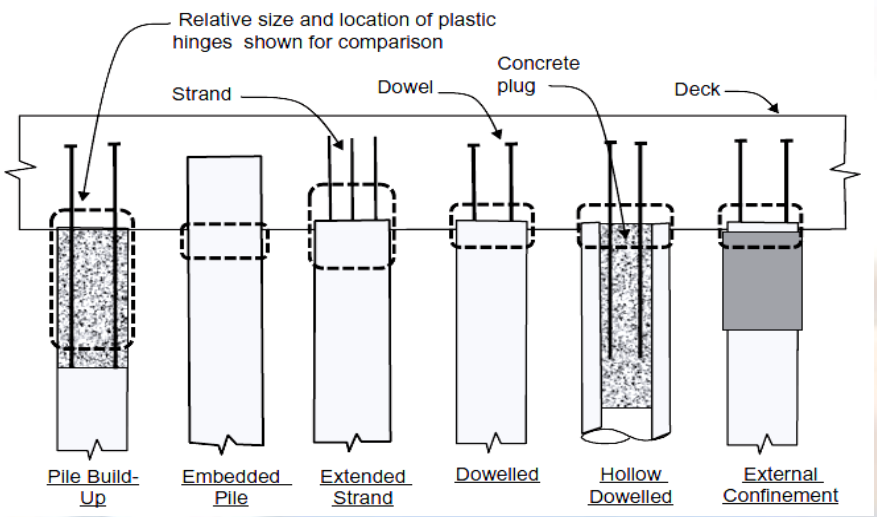
با این حال فالمر و همکاران[2] [۲۱] در سال ۲۰۱۳ میلادی با انجام چندین آزمایش دریافتند که اتصال نوع نصب جوشی در شکل ۲ در هنگام بار زلزله به دلیل رخداد کمانش‌های موضعی عملکرد بسیار نامناسبی خواهد داشت و در مناطق با لرزه‌خیزی بالا نباید مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۸-۱-۵- آرماتور انتظار جوشی

استفاده از اتصال آرماتور انتظار جوشی[3] در صورت نیاز به استفاده از ظرفیت تغییرشکل‌های غیرخطی، مجاز نمی‌باشد. همچنین در سطح زلزله طراحی باید برای رفتار کاملا الاستیک طراحی گردد.

۳-۸-۲- شمع های بتنی پیشتنیده و معمولی

به دلیل هزینه بالای نگهداری از شمع‌های فولادی اگر پروفیل لایه‌های خاک محل احداث اسکله مناسب باشد، می‌توان از شمع‌های بتنی استفاده نمود. در این حالت مقاومت فشار بتن بسیار بیشتر از بتن معمولی خواهد بود تا تنش‌های وارد شده به آن در هنگام شمع کوبی باعث ایجاد ترک در جداره شمع نشود. همچنین در صورتی که بار وارد از طرف عرشه اسکله بسیار زیاد باشد و نیاز به سختی زیادی از طرف فونداسیون باشد، از شمع‌های پیش‌تنیده بتنی استفاده خواهد شد[۲۲].



شکل ۳- اتصالات مجاز سرشمع برای شمع‌های بتنی معمولی و پیش‌تنیده [۱۶]

[1] Welded to Embed
[2] Fulmer et al. 2010
[3] Welded Dowels

www.SID.ir

۳-۸-۲-۱- شمع درونی

اتصال گیردار شمع درونی[1] را می‌توان جهت اتصال شمع‌های بتنی به تیرهای سرشمع به کاربرد. در این حالت آرماتورهای طولی شمع بتنی با طول مهاری مناسبی در تیر سرشمع ادامه داده می‌شوند. جهت طراحی براساس عملکرد این اتصال، می‌توان آن را دقیقاً طبق ضوابط لرزه‌ای ACI318 و ASCE41-17 به مانند یک ستون با اتصال گیردار طراحی نمود. این اتصال زوال[2] بسیار کمی در رفتار لرزه‌ای از خود نشان می‌دهد که عملکرد بسیار مطلوبی از نظر لرزه‌ای محسوب می‌شود. همچنین مفصل پلاستیک در این حالت در محل تماس شمع به تیر سرشمع رخ خواهد داد.

۳-۸-۲-۲- کابل های نفوذی

اتصال کابل‌های نفوذی[3] را می‌توان جهت ایجاد یک اتصال گیردار برای شمع‌های پیش‌تنیده مورد استفاده قرار داد. در این حالت کابل‌های پیش‌تنیدگی[4] به مقدار کافی باید در تیرسرشمع ادامه داده شوند. مفصل پلاستیک نیز در محل تماس شمع با تیر سرشمع رخ خواهد داد به طوری که نمودار ظرفیت آن برابر با نمودار ظرفیت مقطع شمع بتنی پیش‌تنیده خواهد بود.

۳-۸-۲-۳- شمع نفوذی

اتصال گیردار شمع نفوذی با پیش بینی حفره‌ای با عرضی برابر با عرض شمع و انتقال شمع به داخل آن مهیا گردید.. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مقدار فرورفتی شمع به درون عرشه به مقدار عرض شمع کافی خواهد بود تا اتصالی گیردار ایجاد شود. ولی باید طراح محل لنگر حداکثر را در طول شمع در این حالت مورد بررسی دقیق قرار دهد.

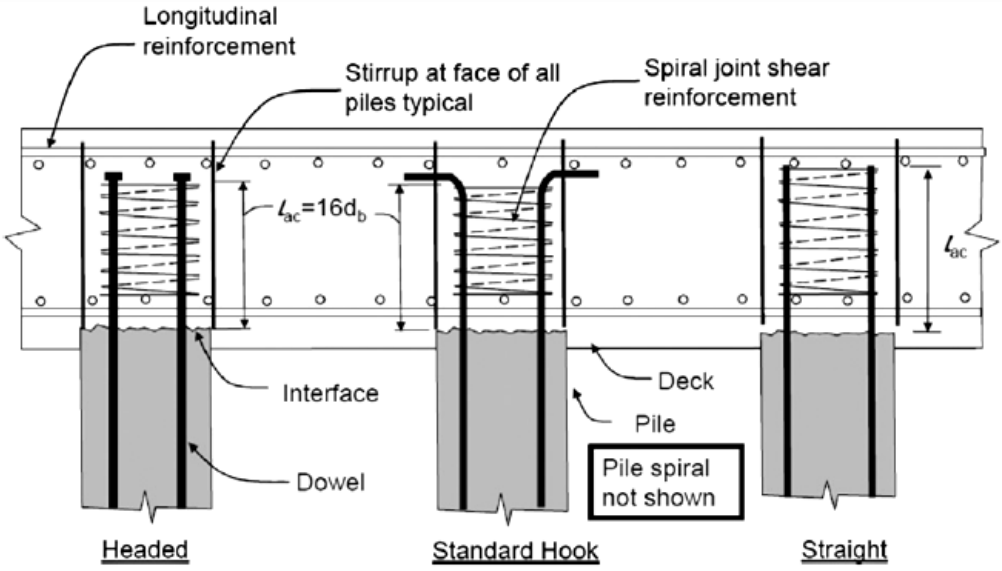
۳-۸-۲-۴- مهاری

اتصال مهاری[5] در واقع رایج‌ترین نوع اتصال گیردار برای اتصال شمع‌های بتنی پیش‌تنیده به عرشه می‌باشد. استفاده از خاموت‌های دورپیچ متمرکز در ناحیه مهاری میلگردهای طولی، عملکرد این اتصال را در هنگام زلزله شدیداً بهبود خواهد داد. در این آئین‌نامه همانطور که در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده، آرماتور عرضی دورپیچ[6] به عنوان تنها گزینه جهت مهار آرماتورهای طولی شمع‌های بتنی ارائه شده است؛ که از دلایل این امر می‌توان به مهار بسیار مناسب آرماتورهای طولی، محصورشدگی بسیار مناسب بتن هسته و اتلاف بیشتر انرژی زلزله نسبت به خاموت‌های تنگ بسته[7] اشاره نمود[۲۳].

همچنین برحسب تنش کششی بر روی شمع‌ها، این اتصال به دو دسته ترک خورده و ترک نخورده تقسیم‌بندی می‌شود و برای هر حالت مقدار طول مهاری میلگردها و همچنین نوع خم آن‌ها متفاوت خواهد بود.

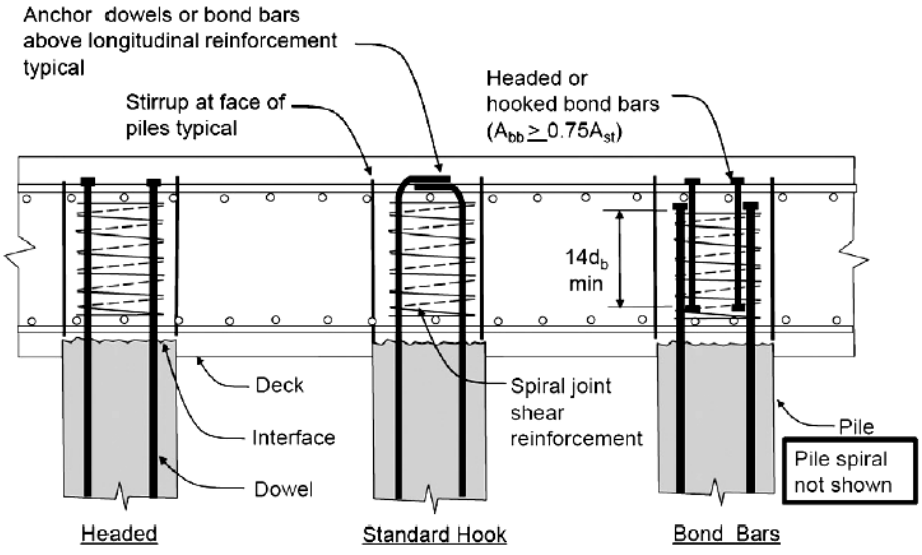
[1] Pile Build-up
[2] Deterioration
[3] Extended Strand
[4] Prestressing Strands
[5] Dowelled
[6] Spiral transverse reinforcement
[7] Tied transverse reinforcement

www.SID.ir



شکل ۴- جزئیات اتصال ترک نخورده سرشمع شمع بتنی [۱۶]

همانطور که در شکل بالا مشاهده می‌شود، طول مهاری اتصال ترک نخورده نباید به میزانی باشد که میلگردهای مهاری وارد شبکه بالایی آرماتور های طولی تیر سرشمع بشوند.

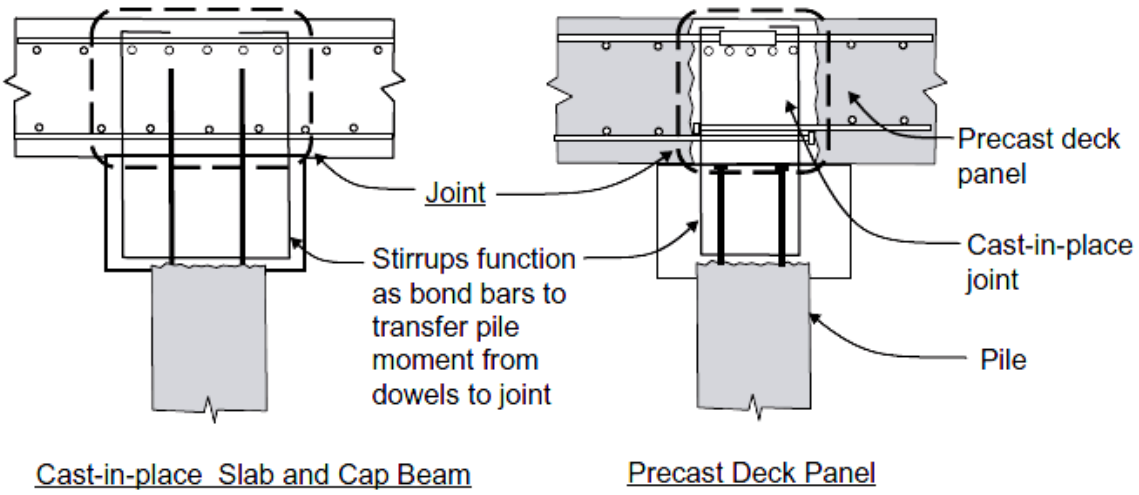


شکل ۵- جزئیات اتصال ترک خورده سرشمع شمع بتنی [۱۶]

باتوجه به شکل بالا نیز در حالت اتصال مهاری ترک خورده، طول مهاری به میزانی باید باشد که میلگرهای مهاری وارد شبکه آرماتورهای بالایی تیر سرشمع بشوند.

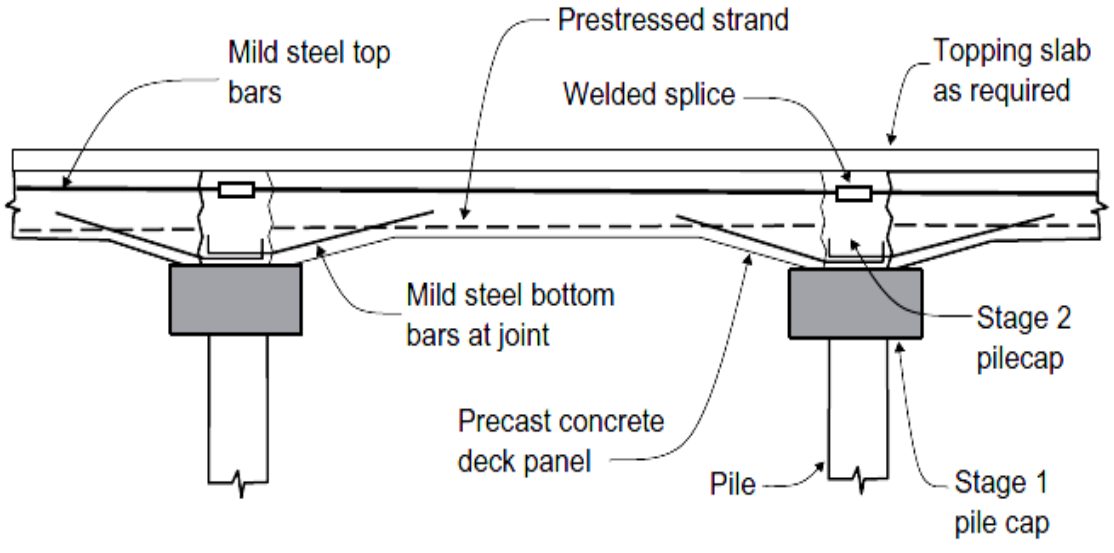
آئین‌نامه ASCE/COPRI 61-14 همچنین به بررسی الزامات و نکارت طراحی دو اتصال رایج مورد استفاده در اسکله‌های شمع و عرشه پرداخته است. این دو اتصال رایج در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. در این حالت یا کل عرشه و تیر سرشمع را باید بتن‌ریزی نمود و یا فقط تیر سرشمع را بتن‌ریزی کرده و سپس المان‌های پیش‌ساخته دال عرشه را در میان تیرها قرار داد. برای هر دو حالت باید از الزامات اتصال شمع‌های مهاری جهت طراحی استفاده نمود.

www.SID.ir



شکل ۶- جزئیات اتصال ترک نخورده سرشمع شمع بتنی [۱۶]

همچنین زمانی که از المان‌های پیش‌ساخته دال عرشه جهت تسریع عملیات و یا کاهش حجم بتن‌ریزی در محل استفاده می‌شود، باید این المان‌ها به خوبی به یکدیگر دوخته شوند تا بار وارد از طرف تیرهای سرشمع به خوبی در عرشه توزیع گردند. یکی دیگر از انواع رایج سیستم‌های شمع و عرشه در شکل ۷ نشان داده شده است؛ که در این حالت نیز پیوستگی خوبی را باید میان المان‌های دال عرشه از طریق مهار آرماتورهای طولی المان‌های پیش ساخته و خم آنها در انتها برقرار نمود تا لنگر ناشی از اتصال به خوبی درون عرشه توزیع گردد.



شکل ۷- جزئیات اتصال ترک نخورده سرشمع شمع بتنی [۱۶]

www.SID.ir

۳-۸-۲-۵- مهاری شمع لوله‌ای

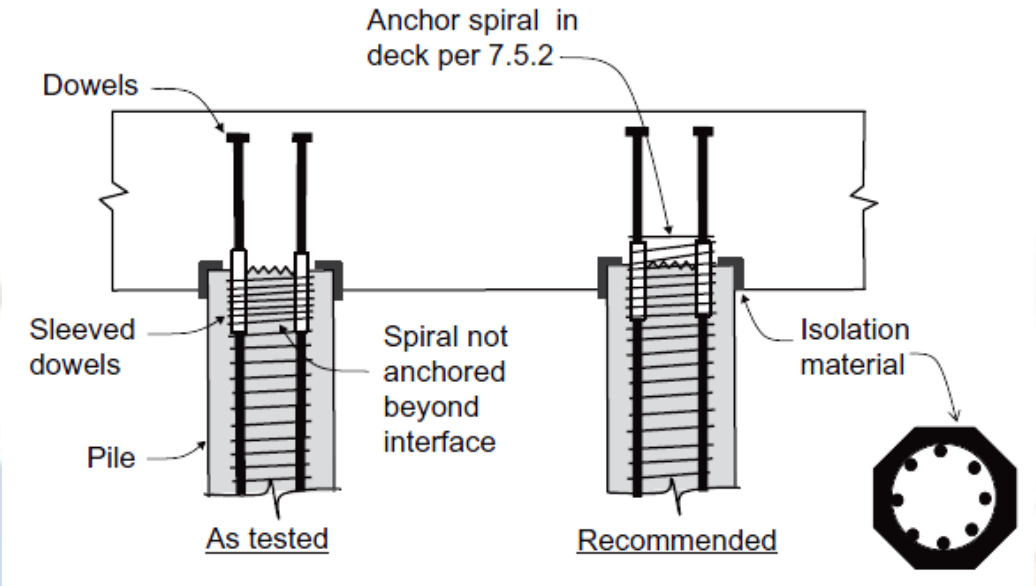
اتصال مهاری شمع‌های لوله‌ای[1] بتنی پیش‌تنیده به دلیل مشکلات اجرایی در مهار کردن میلگردها به جداره شمع‌های لوله‌ای بتنی پیش‌تنیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. براساس میزان تراکم میلگردهای مهاری، این اتصال می‌تواند یک اتصال نیمه‌گیردار و یا یک اتصال کاملا گیردار باشد. یکی از مشکلات مشاهده شده در این نوع اتصال این است که اگر تراکم میلگردهای مهاری زیاد باشد، ترک‌های طولی در جداره شمع بتنی پیش‌تنیده بوجود خواهد آمد.

۳-۸-۲-۶- انحصار خارجی

از اتصال انحصار خارجی[2] بیشتر جهت بهسازی و مقاوم‌سازی اتصالات شمع‌های بتنی معمولی و پیش‌تنیده استفاده می‌شود. میزان محصورکنندگی این پوشش فولادی باید در محاسبه مقاومت اتصال در نظر گرفته بشود.

۳-۸-۲-۷- تماس جدا یافته

اتصال تماس جدا یافته[3] از نظر سختی و اتلاف انرژی، عملکردی مشابه با اتصالات مهاری خواهد داشت؛ ولی تخریب بتن شمع خیلی کمتر خواهد بود و این امر باعث بهبود عملکرد اتصال در طول زمان و کاهش هزینه‌های بازسازی خواهد شد. همچنین بهتر است که در ناحیه میلگردهای مهاری درون تیر سرشمع ، از خاموت دورپیچ جهت افزایش مقاومت برشی استفاده شود.



شکل ۸- جزئیات اتصال ترک نخورده سرشمع شمع بتنی [۱۶]

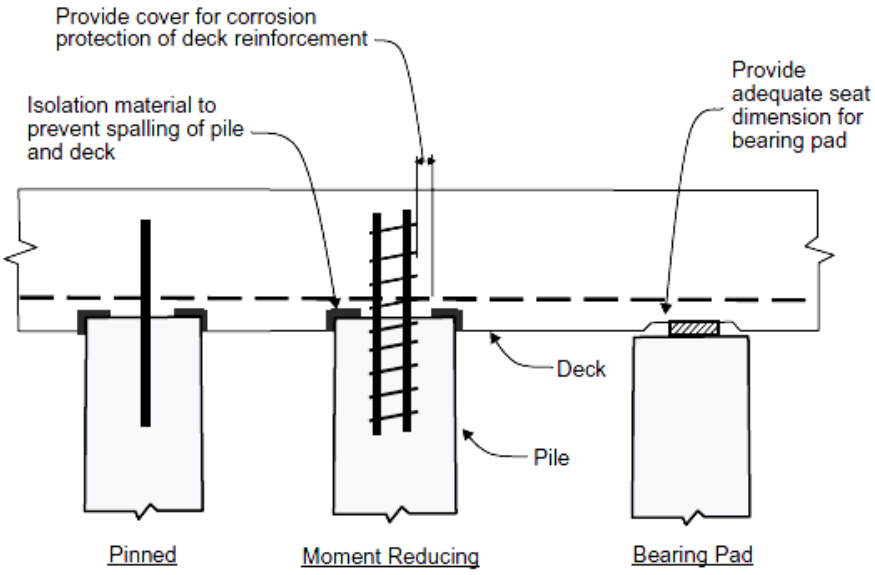
۳-۸-۳- اتصال مفصلی

اتصال مفصلی می‌تواند مقدار لنگر در را در محل تماس شمع و عرشه بشدت کاهش دهد ولی با توجه به استعداد بالای این اتصال برای چرخش، باید از خرد شدن بتن شمع و عرشه باید جلوگیری کرد (به خصوص برای سطح زلزله طراحی). از اتصال مفصلی می‌توان هم

[1] Hollow Dowelled Piles
[2] External Confinement
[3] Isolated Interface

www.SID.ir

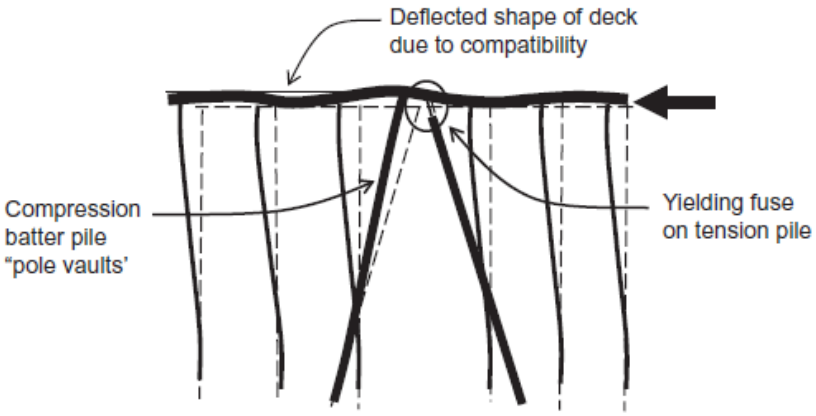
در رابطه با شمع‌های لوله‌ای فولادی و هم بتنی توپر معمولی و پیش‌تنیده استفاده نمود. کالترانس در سال ۲۰۱۰ میلادی، جزئیاتی برای اتصالات مفصلی پایه پل‌ها ارائه نمود که می‌توان برای اسکله‌های شمع و عرشه نیز به کار برد.



شکل ۹- انواع اتصالات مفصلی سرشمع [۱۶]

۳-۸-۴- شمع های 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 ۱۰- انواع اتصالات مفصلی سرشمع [۱۶]

[1] Yielding of tension connection

www.SID.ir

۳-۳- محاسبه ظرفیت و نیازهای لرزه ای 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 المان فایبر[۱] توجه داشته باشد. جهت طراحی عملکردی اسکله‌های شمع و عرشه، این آئین‌نامه استفاده از دو روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور[۲]) دو بعدی و نیز دینامیکی تاریخچه زمانی[۳] را مجاز دانسته. طراح براساس قضاوت خود می‌تواند از روش پوش‌آور 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 جهت در نظر گرفتن مودهای بالاتر سازه، از روش ترکیب مربع کامل[۴] جهت ترکیب آن‌ها و آنالیز دینامیکی طیفی استفاده نماید. مقادیر طول مفاصل پلاستیک براساس جنس فونداسیون شمعی، طبق جدولی ارائه شده است. با توجه به اینکه در این آئین‌نامه جهت آنالیز غیرخطی، رفتار مصالح و نیز مقادیر طول مفاصل پلاستیک ارائه شده است، پس می‌توان نتیجه گرفت که این آئین‌نامه عملاً استفاده از دو روش المان فایبر و مفصل پلاستیک 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 پلاستیک در شمع‌ها خواهد شد [۲۳] 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 [۲۴] را پیشنهاد کرده است. از آنجایی که آزمایشات بسیاری نشان از ضعف این مدل در برآورد مقاومت بتن محصور شده در ناحیه غیرخطی است[۲۵]، لذا پیشنهاد می‌شود تا از مدل‌های رفتاری بهبود یافته مقاومت بتن محصور شده در ناحیه غیرخطی استفاده شود.

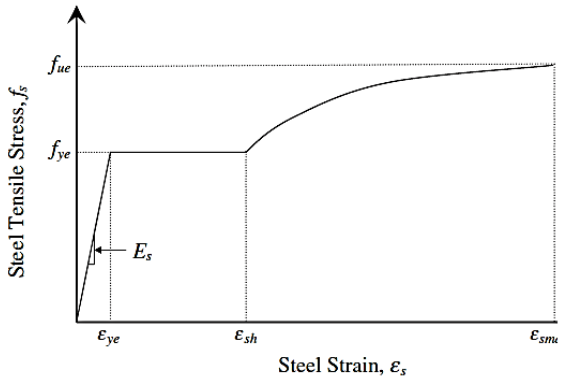


Fig. 6-2. Stress–strain relationship for reinforcing stee
Source: Port of Long Beach (2012)

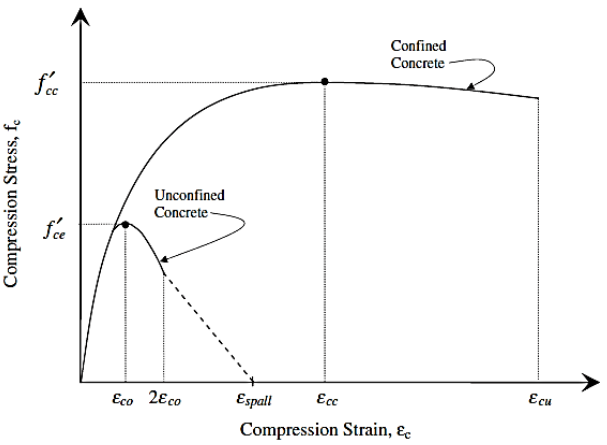


Fig. 6-1. Stress–strain relationship for confined and unconfined concrete

شکل ۸- انواع اتصالات مفصلی سرشمع [۱۶]

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[۵] اسکله‌ها ارائه شده است.

[1] Fiber element
[2] Push-over analysis
[3] Nonlinear time history analysis
[4] Complete quadratic combination (CQC)
[5] Ancillary components

www.SID.ir

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه روند کلی طراحی اسکله‌های شمع و عرشه با استفاده از آئین‌نامه ASCE/COPRI 61-14 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 است. 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 آمریکا می‌باشد. طراحی شمع‌های مایل، مسائل ژئوتکنینکی و طراحی ناحیه اتصال سرشمع نیز 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.

مراجع

[1] Thoresen, C. A. (2019). Port Designers Handbook. 4th Ed. London: ICE Publishing.
[2] ASCE. (2016). *Minimum design loads for buildings and other structures*. ASCE/SEI 7-16, Reston, VA.
[3] ACI (American Concrete Institute). (2014a). *Building code requirements for structural concrete*. ACI 318-14, Farmington Hills, MI.
[4] AISC (American Institute of Steel Construction). (2016). *Specification for structural steel buildings*. ANSI/AISC 360-16, Chicago.
[5] EN 1997, Eurocode 7 — *Geotechnical design*., European Committee for Standardization, Brussels.
[6] BSI (British Standards Institute). (2010). British standard: Maritime works: *Code of practice for the design of quay walls, jetties and dolphins*. BS-6349-2 2010, London.
[7] OCDI. (2002), *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, The Overseas Coastal Development Institute of Japan.
[8] 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
[10] Harn, R. E. (2004, August). Displacement design of marine structures on batter piles. *In 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, BC, Canada (No. 543).
[11] POLA (Port of Los Angeles). (2010). *The Port of Los Angeles code for seismic design, upgrade and repair of container wharves*, City of LA Harbor Dept., Los Angeles.
[12] POLB (Port of Long Beach). (2012). *The Port of Long Beach wharf design criteria*, Long Beach, CA.
[13] MOTEMS. (2011). *Marine oil terminals engineering and maintenance standards*. California Building Code 2010, Long Beach, CA.
[14] PIANC. (2001). *Seismic design guidelines for port structures*. Rep. WG 34, MarCom, International Navigation Association, Brussels, Belgium.
[۱۵] 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
[16] ASCE. (2014). *Seismic design of piers and wharves*. ASCE/COPRI 61-14, Reston, VA.
[17] Kimiaei, M., Shayanfar, M. A., El Naggar, M. H., & Aghakouchak, A. A. (2004). Non linear seismic pile soil structure interaction analysis of piles in offshore platforms. In ASME 2004 23rd *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (pp. 9-16). American Society of Mechanical Engineers.
[18] Stephens, J. E., and McKittrick, L. R. (2005). Performance of steel pipe pile-to-concrete bent cap connections subject to seismic or high transverse loading: Phase 2. Civil Engineering Department, Montana State University, Report No. FHWA/MT-05-001/8144, March, Bozeman, MT.
[19] Montejo, L.A., Gonzalez-Roman, L.A., Kowalsky, M.J., (2013), Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete-Filled Steel Tube Pile/Column Bridge Bents, Department of Engineering Science and Materials, University of Puerto Rico.

www.SID.ir

[20] Brown, N.K, Kowalsky, M.J., Nau J.M., (2004), Strain Limits for Concrete Filled Steel Tubes in AASHTO Seismic Provisions, North Carolina State University Raleigh, North Carolina, Prepared for Alaska Department of Transportation.
[21] Fulmer S.J., Kowalsky M.J, and Nau J.M, (2013), 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.
[22] Tomlinson, M. and Woodward, J. (2014). *Pile Design and Construction Practice*, 6th Ed., CRC Publishing, London.
[23] Moehle, J. (2014). *Seismic design of reinforced concrete buildings*. McGraw Hill Professional.
[24] Mander, J.B., Priestley, M.J. and Park, R., (1998). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of structural engineering*, 114(8), pp.1804-1826.
[25] Sakai, J. and Kawashima, K., (2006). Unloading and reloading stress–strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, 132(1), pp.112-122.

www.SID.ir