

بررسی پاسخ لرزه‌ای اسکله شمع و عرشه تحت اثر جرثقیل‌های بارگیری و تخلیه بار

شهاب‌الدین شاکر اردکانی^۱، روح‌الله امیرآبادی^۲، حمید حیدری ترکمانی^۳

Shahab.Shaaker@gmail.com

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، دانشگاه قم

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

۳- استاد مدعو دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

چکیده

عملکرد لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه توسط محققان بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است، اما تحقیقات بسیار اندکی در مورد اثر جرثقیل‌های بارگیری و تخلیه بار بر روی پاسخ لرزه‌ای این نوع اسکله‌ها صورت پذیرفته است؛ زیرا این باور قدیمی وجود داشت که حضور جرثقیل روی اسکله همانند یک میراگر برای سازه زیرین خود عمل می‌کند و موجب کاهش پاسخ لرزه‌ای اسکله خواهد شد. لذا در نظر نگرفتن اثر آن، موجب افزایش ضریب ایمنی در طراحی‌ها می‌گردد. در این مقاله به بررسی اثری که جرثقیل روی پاسخ لرزه‌ای اسکله شمع و عرشه می‌گذارد، پرداخته می‌شود. برای این منظور از یک نوع اسکله شمع و عرشه رایج در بنادر خلیج فارس با مشخصات ژئوتکنیکی و سازه‌ای معین استفاده و دو مدل از اسکله بدون و با جرثقیل در نرم‌افزار SAP2000 بصورت سه بعدی مدلسازی شده است. برای بررسی پاسخ لرزه‌ای اسکله از تحلیل دینامیکی فزاینده که شامل هشت رکورد زلزله در هفت مقیاس مختلف می‌باشد، استفاده شد. در نهایت با کمک معیارهای خرابی‌ای که از تحلیل پوش‌آور استخراج گردید، منحنی‌های شکنندگی اسکله در سه حالت سرویس‌دهی، تعمیرپذیری و نزدیک فروپاشی ارائه شدند. بعد از انجام تحلیل‌ها و مشاهده نتایج و نمودارها این نتیجه بدست آمد که حضور جرثقیل در راستای موازی ساحل تأثیری روی پاسخ لرزه‌ای و آسیب‌پذیری اسکله ندارد، اما در راستای عمود بر ساحل علی‌رغم کاهش پاسخ لرزه‌ای اسکله، موجب افزایش آسیب‌پذیری آن خواهد شد.

واژگان کلیدی: اسکله شمع و عرشه، پاسخ لرزه‌ای، جرثقیل، تحلیل دینامیکی فزاینده، منحنی شکنندگی.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۷/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۷/۰۷/۲۵

۱- مقدمه

اسکله‌ها سازه‌هایی دریایی هستند که در خطوط ساحلی برای پهلوگیری شناورها بمنظور بارگیری و تخلیه بار و مسافران ساخته می‌شوند. با توجه به ملاحظات ژئوتکنیکی، اقتصادی و عملکردی، انواع مختلفی از اسکله‌ها طراحی و ساخته شده‌اند. یکی از عوامل مهم که تاثیر زیادی روی انتخاب نوع سازه اسکله دارد، شرایط خاک بستر است که با لحاظ نمودن این عامل، سازه‌های اسکله به دو دسته اصلی شامل نوع باز و نوع بسته تقسیم می‌شوند [۱]. اسکله شمع و عرشه از رایج‌ترین اسکله‌های نوع باز است که از یک صفحه افقی به نام عرشه و تعدادی شمع در زیر آن ساخته شده است. از آنجا که هرگونه اختلال در فعالیت و کارکرد اسکله موجب ایجاد ضررهای اقتصادی، سیاسی و اجتماعی فراوانی در منطقه می‌شود، بنابراین می‌بایست عامل زلزله را که از مهم‌ترین عوامل از کار افتادگی اسکله‌ها می‌باشد، مورد بررسی دقیقی قرار داد. یکی از مولفه‌های جدایی ناپذیر در بنادر بخصوص بنادر تجاری، جرثقیل‌ها می‌باشند. تا کنون تحقیقات عددی و آزمایشگاهی متعددی برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه انجام شده است، اما مطالعات بسیار اندکی به بررسی تاثیر حضور جرثقیل روی پاسخ لرزه‌ای اسکله‌ها پرداخته‌اند. بر اساس یک باور قدیمی در بین طراحان این نوع اسکله‌ها، این گونه برداشت می‌شود که حضور جرثقیل‌های بارگیری و تخلیه بار با توجه به جرم بالایی که دارند سبب میرا شدن انرژی ورودی ناشی از حرکت زمین به اسکله شده و در نتیجه باعث کاهش پاسخ لرزه‌ای اسکله‌های می‌شود. لذا هدف اصلی این مقاله بررسی اثر جرثقیل روی پاسخ لرزه‌ای اسکله شمع و عرشه می‌باشد. برای این منظور از یک نوع اسکله شمع و عرشه رایج در خلیج فارس استفاده شده است.

دو مدل سه بعدی از اسکله مورد بررسی (۱- مدل اسکله بدون جرثقیل، ۲- مدل اسکله با جرثقیل) در نرم‌افزار قدرتمند SAP2000 مدل‌سازی شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. مشخصات خاک منطقه و لایه‌بندی آن مطابق با خاک بندر بوشهر لحاظ شده است. برای مدل‌سازی جرثقیل از یک نوع جرثقیل کانتینری مرسوم از دسته پاناماکس^۱ استفاده شد. اندرکنش میان خاک و سازه نیز با استفاده از

فکرهای غیرخطی p-y و t-z صورت گرفته است. تحلیل دینامیکی فزاینده^۲ از جدیدترین، دقیق‌ترین و البته دشوارترین روش‌های حال حاضر برای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. بمنظور انجام تحلیل دینامیکی فزاینده از هشت رکورد زلزله، در هفت مقیاس مختلف که دربرگیرنده حد الاستیک تا حد فروپاشی سازه می‌باشد، استفاده شد. همچنین از تحلیل‌های مودال و استاتیکی غیرخطی^۳ نیز برای دستیابی به زمان تناوب طبیعی اسکله و معیارهای حالات خرابی آن استفاده شده است. در انتها نیز منحنی‌های شکنندگی^۴ اسکله مورد بررسی بمنظور تعیین آسیب‌پذیری سازه ارائه شدند.

۲- مرور ادبیات فنی پیشین

پاسخ لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه بصورت مدل‌سازی عددی و آزمایشگاهی توسط محققان بسیاری مورد تحقیق قرار گرفته است، اما بدلیل این باور قدیمی که می‌پندارد حضور جرثقیل روی اسکله همانند یک میراگر عمل کرده و موجب کاهش پاسخ لرزه‌ای اسکله و در نتیجه افزایش ایمنی در طراحی‌ها می‌شود، تحقیقات بسیار ناچیزی در خصوص بررسی اثر جرثقیل روی پاسخ لرزه‌ای اسکله صورت گرفته است.

امیرآبادی و همکاران در سال ۱۳۹۱ با استفاده از نرم‌افزار FLAC 2D به بررسی لرزه‌ای دو اسکله شمع و عرشه در بندر اوکلند (POOAK) و بندر لس‌آنجلس (POLA) با کمک دو روش تحلیل تقاضای لرزه‌ای احتمالاتی (PSDA) و تحلیل دینامیکی فزاینده (IDA) پرداختند. پس از مقایسه خروجی‌های حاصل از دو تحلیل، یکی از نتایج حاصل از بررسی‌های ایشان این بود که نتایج تحلیل IDA که با حداقل هشت رکورد زلزله صورت پذیرد، سازگاری مناسبی با نتایج حاصل از تحلیل PSDA خواهد داشت [۲ و ۳].

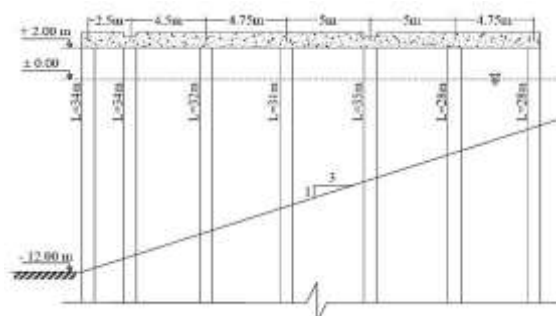
حیدری ترکمانی و برگی در سال ۲۰۱۴ به بررسی تخمین شکست اسکله‌های شمع و عرشه با شمع‌های مایل پرداختند. شاخص‌های خرابی‌ای که در این پژوهش مدنظر قرار گرفت تغییرمکان شکل‌پذیر، نشست نامتقارن میان عرشه و ساحل و همچنین تغییر مکان افقی ماندگار بود. اندرکنش خاک و سازه در نرم‌افزار FLAC 2D مدل‌سازی گردید و برای انجام

³ Pushover⁴ Fragility Curve¹ Panamax² Incremental Dynamic Analysis

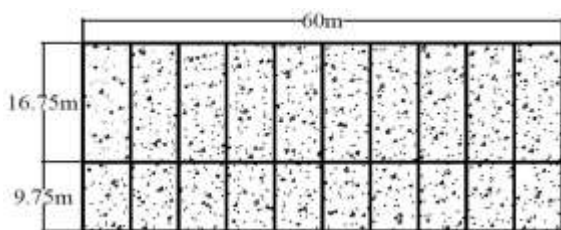
برای ارزیابی لرزه‌ای سازه استفاده کرده است. در تحقیقات وی این نتیجه بدست آمد که طی دو زلزله NGA1642 و NGA1086، پاسخ لرزه‌ای اسکله، با حضور جرثقیل روی آن، افزایش یافته است. او همچنین به بررسی نشست نامتقارن اسکله نیز پرداخت و پی برد که حضور جرثقیل در اسکله موجب افزایش نشست نامتقارن عرشه اسکله مورد بررسی خواهد شد. در ادامه با انجام تحلیل شکنندگی و ترسیم منحنی‌های شکنندگی به این نتیجه دست یافت که وجود جرثقیل موجب آسیب‌پذیری بیشتر اسکله می‌شود [۹].

۳- معرفی اسکله مورد بررسی

بمنظور انجام تحقیقات در این مقاله از یک نوع اسکله شمع و عرشه مرسوم در خلیج فارس استفاده شده است که مقطع عرضی آن در شکل (۱) قابل مشاهده است. اسکله مورد بررسی دارای عرشه‌ای به طول ۶۰ متر و عرض ۲۶/۵ متر می‌باشد. عرشه این اسکله از نوع تیر و دال بتن درجا بوده و تصاویر پلان عرشه و مقطع عرضی تیرها در شکل‌های (۲) و (۳) قابل مشاهده است. شمع‌های اسکله همه از نوع فولادی توخالی با قطر خارجی ۷۶/۲ سانتی‌متر و ضخامت ۱/۶ سانتی‌متر و با طول متغیر ۲۸ تا ۳۵ متر می‌باشند و مقطع عرضی آن‌ها در شکل (۴) ارائه شده است. مشخصات فنی بتن و فولاد استفاده شده نیز در تمامی اجزای اسکله، مانند تیرها، دال‌ها و شمع‌ها مطابق با جدول (۱) است.



شکل (۱) مقطع عرضی اسکله.



شکل (۲) پلان عرشه و نحوه قرارگیری دال‌ها و تیرها.

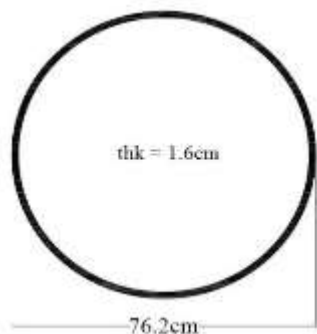
تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، از هشت رکورد زلزله استفاده شد [۴ و ۵].

در سال ۲۰۰۳، عملکرد لرزه‌ای چهار اسکله شمع و عرشه موازی ساحل در بندر اوکلند، توسط مک‌کالوف و همکاران در شرایط آزمایشگاهی تحت دو زلزله متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. سپس با کمک نرم‌افزار FLAC 2D، یکی از اسکله‌ها مدل‌سازی و نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از بررسی‌های آزمایشگاهی مقایسه شد. آنها به این نتیجه دست یافتند که روش طول گیرداری، برای مدل‌سازی اسکله‌های شمع و عرشه حتی در خاک‌هایی که مستعد روانگرایی نیستند هم روشی مناسب و دقیق نمی‌باشد [۶].

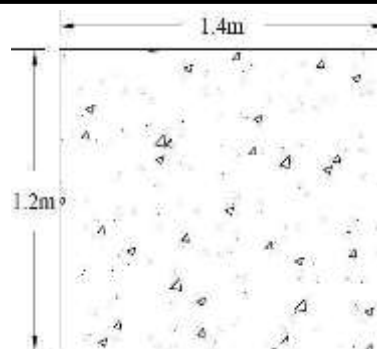
روث و همکاران در سال ۲۰۰۳ تحلیلی دو بعدی از یک نوع اسکله شمع و عرشه، با در نظر گرفتن و نگرفتن اندرکنش خاک و سازه انجام دادند. در تحلیل‌های آن‌ها، اندرکنش خاک و سازه با استفاده از فنرهای الاستوپلاستیک p-y در نظر گرفته شد. از نتایج بررسی‌های آنها این بود که خاک پشت اسکله تاثیر بسزایی روی حرکت رو به دریای اسکله دارد و این مهم در تحلیل‌هایی که اثر اندرکنش خاک و سازه را ندیده بودند، مشاهده نشد [۷].

در سال ۱۳۹۱، خیری و همکاران با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 به بررسی تاثیر بستر شیب‌دار روی عملکرد اسکله‌های شمع و عرشه پرداختند. در تحقیقات آن‌ها اندرکنش خاک و سازه از طریق روش طول‌گیرداری معادل صورت پذیرفت. بعد از انجام تحلیل‌ها در نهایت به این نتیجه دست یافتند که در نظر گرفتن تاثیر شیب بستر موجب کاهش پیروید موده‌های ارتعاشی، افزایش سختی، کاهش شکل‌پذیری سازه، ایجاد پیچش در سازه و ایجاد مفاصل پلاستیک بیشتر در شمع‌های سمت ساحل می‌شود. بطور کلی این نتیجه بدست آمد که لحاظ نمودن شیب بستر باعث بهبود نسبی عملکرد لرزه‌ای اسکله و بحرانی‌تر شدن شمع‌های سمت ساحل می‌شود [۸].

شفیع‌زاده و همکاران در سال ۲۰۱۲ یکی از تحقیقات اندک در مورد تاثیر جرثقیل روی پاسخ لرزه‌ای این نوع اسکله‌ها را انجام داده‌اند. ایشان به بررسی عملکرد لرزه‌ای یک نوع اسکله شمع و عرشه رایج در آمریکا با حضور نوعی مرسوم از جرثقیل کانتینری، در خاک مستعد روانگرایی پرداخته است، که برای این منظور، مدل‌سازی اسکله را بصورت دو بعدی در نرم‌افزار OpenSEES انجام داده و همچنین از تحلیل تاریخچه زمانی



شکل (۴) مقطع عرضی شمع‌ها.



شکل (۳) مقطع عرضی تیرهای عرشه.

جدول (۱) مشخصات فنی بتن و فولاد.

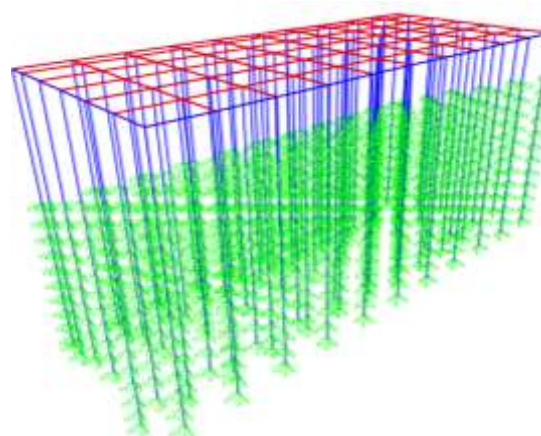
مصلح	وزن مخصوص Kg/m ³	مدول الاستیسیته Kg/m ³	ضریب پواسون	مقاومت فشاری Kg/cm ³	تنش تسلیم Kg/cm ³
بتن	۲۴۰۲	۲/۵۳۵*۱۰ ^۹	۰/۲	۲۸۱	-
فولاد	۷۸۴۹	۲/۱۴۱*۱۰ ^{۱۰}	۰/۳	-	۳۶۲۰

۴- روش مدل‌سازی

در این بخش به فرضیاتی که در طول مدل‌سازی در نظر گرفته شده‌اند اشاره خواهد شد. تصویر نهایی اسکله مدل شده پیشنهادی در نرم‌افزار SAP2000 مطابق شکل (۵) نشان داده شده است.

۴-۱- عرشه

دال‌های عرشه در اسکله مورد بررسی از جنس بتن و دارای ضخامتی حدود ۱ متر می‌باشند. بنابراین بدلیل ضخامت زیاد و صلبیت قابل توجه عرشه، تغییرشکل‌های آن بسیار ناچیز است و در مدل‌سازی بعنوان یک صفحه دیافراگم صلب در نظر گرفته می‌شود.



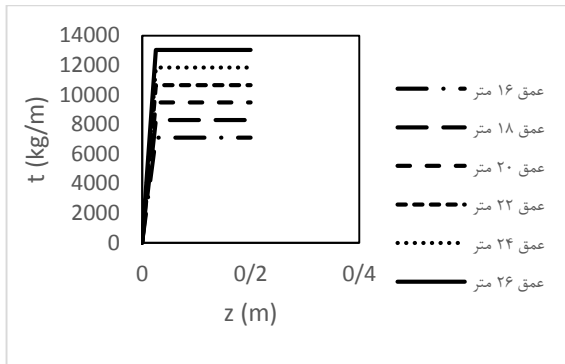
شکل (۵) مدل سه بعدی اسکله.

۴-۲- شمع

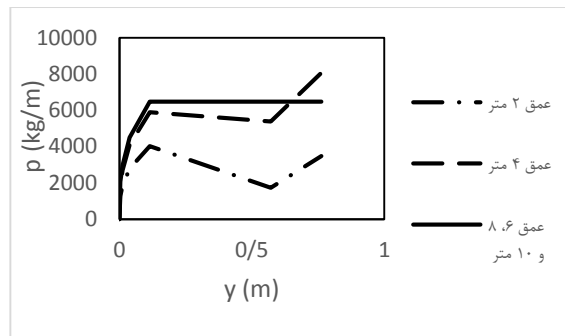
در این مقاله اتصالات شمع و عرشه با صلب فرض کردن ۱ متر بالایی شمع‌ها، مدل شده است. برای اختصاص مفاصل پلاستیک به شمع‌ها دو راه وجود دارد، یکی اختصاص مفاصل به صورت دستی و دیگری اختصاص آن‌ها بطور اتوماتیک می‌باشد.

برای اختصاص دستی مفاصل پلاستیک نیاز به نمودار لنگر - انحنای مقاطع ضروری می‌باشد و از آنجا که در این پژوهش مطالعات آزمایشگاهی بر روی شمع‌ها به منظور دستیابی به نمودار لنگر - انحنای صورت نگرفته است و همچنین اطمینانی به صحت نمودار لنگر - انحنای استخراج شده از قسمت Section Design نرم‌افزار SAP2000 نمی‌باشد، بنابراین برای اختصاص مفاصل پلاستیک به شمع‌ها روش اتوماتیک بکار گرفته می‌شود. اما از آنجا که نرم‌افزار SAP2000 تنها قادر به اختصاص مفاصل پلاستیک به مقاطع قوطی شکل I می‌باشد [۱۰].

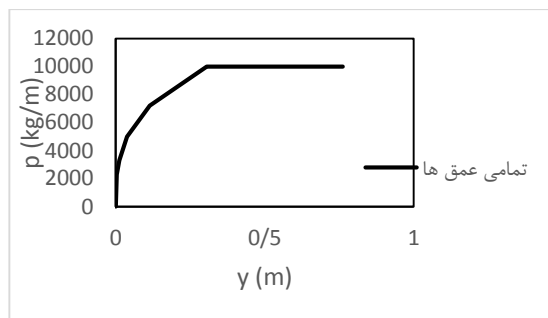
بنابراین با معادل‌سازی مقطع دایره‌ای شمع‌ها به مقطع قوطی شکل با ضلع ۶۶ سانتی‌متر و ضخامت ۱/۴ سانتی‌متر این مشکل حل می‌شود و مفاصل پلاستیک P-M2-M3 بطور اتوماتیک به قسمت‌های مشخصی همچون بخش بالایی شمع‌ها و محدوده‌ای که داخل خاک فرو رفته‌اند، اختصاص داده می‌شود.



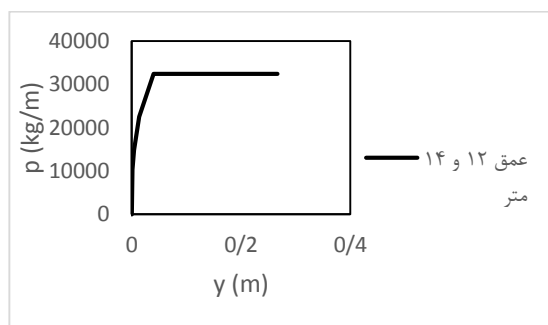
شکل (۷) نمودارهای t-z لایه ماسه.



شکل (۸) نمودارهای p-y لایه رس نرم (بارهای سیکلی).



شکل (۹) نمودار p-y لایه رس نرم (بارهای استاتیکی).



شکل (۱۰) نمودار p-y لایه رس سفت (بارهای سیکلی).

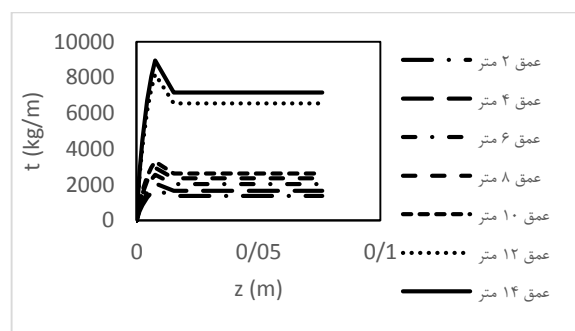
۳-۴- اندرکنش خاک و سازه

اندرکنش خاک و شمع‌ها بوسیله یک سری از فنرهای غیرخطی که سختی‌شان معادل سختی خاک است، مدل‌سازی می‌شود. در صفحه عمود بر محور شمع به دو فنر p-y و در راستای موازی محور شمع به یک فنر t-z نیاز است. در فاصله هر دو متر روی طولی از شمع که در خاک قرار دارد یک گره برای اختصاص سه نوع فنر ذکر شده در نظر گرفته می‌شود. نمودارهای مربوط به فنرها که در نرم‌افزار SAP2000 برای تعریف فنرهای غیرخطی بکار می‌روند با توجه به مشخصات خاک بر طبق آیین‌نامه API برای لایه‌های مختلف خاک بدست می‌آید [۱۱].

مشخصات لایه‌بندی خاک منطقه که مشابه بندر بوشهر در نظر گرفته شده است بدین‌صورت می‌باشد که ابتدا یک لایه رس نرم به ضخامت ۱۰ متر در بالا، سپس یک لایه رس سخت به ضخامت ۴ متر در زیر آن و در نهایت لایه‌ای از سیلت ماسه‌دار متراکم با ضخامتی نامعلوم قرار گرفته است. مشخصات لایه‌های خاک در جدول (۲) قابل مشاهده است. نمودارهای مربوط به فنرهای خاک نیز در شکل‌های (۶) تا (۱۲) قابل مشاهده است.

جدول (۲) مشخصات لایه‌های خاک.

خاک	مقاومت برشی	زاویه اصطکاک	وزن مخصوص
	زهکشی نشده	داخلی (درجه)	خشک
	Kg/cm ²		gr/cm ³
رس نرم	۰/۲	-	۱/۵۴
رس سخت	۱	-	۱/۶۵
سیلت ماسه‌دار	-	۳۳	۱/۸



شکل (۶) نمودارهای t-z لایه‌های رس نرم و سفت.

جدول (۳) مشخصات زمین‌لرزه‌های مورد استفاده.

No	Event	Station	E-W PGA(g)	N-S PGA(g)
1	Loma Prieta	Fremont, Mission san Jose	0.1	0.126
2	Loma Prieta	Monterey, City Hall	0.063	0.073
3	Loma Prieta	APEEL 2E Hayward Muir Sch	0.139	0.171
4	Morgan Hill	San justo Dam (RAbut)	0.059	0.079
5	Northridge	Castaic, Old Ridge Route	0.514	0.568
6	Northridge	Canyon Country-W Lost Cany	0.471	0.403
7	San Fernando	Pasadena, CIT Athenneaum	0.109	0.097
8	San Fernando	Pearblossom Pump	0.137	0.107

۵- خروجی تحلیل‌ها

از آنجا که اسکله مورد بررسی در نرم‌افزار SAP2000 بصورت سه بعدی مدل شده است، تحلیل‌ها، دریافت خروجی‌ها و ارائه آن‌ها در هر بخش بطور مجزا در دو راستای موازی ساحل و عمود بر آن انجام می‌شود.

۵-۱- تحلیل مودال

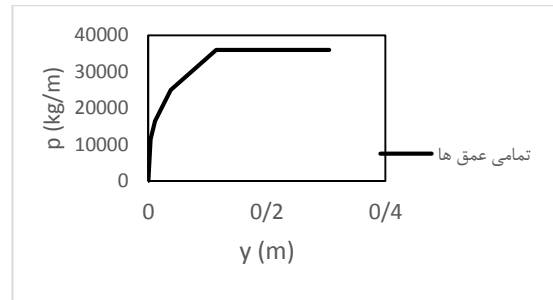
با انجام تحلیل مودال بر روی دو مدل اسکله بدون و با جرثقیل، پریودهای طبیعی مدل‌ها در دو راستای موازی ساحل (مود اول) و عمود بر ساحل (مود دوم) مطابق جدول (۴) استخراج گردید و مشاهده شد که جرثقیل باعث کاهش ۰/۰۲ ثانیه‌ای پریود اسکله در راستای موازی ساحل و کاهش ۰/۲۲ ثانیه‌ای پریود در راستای عمود بر ساحل شده است.

جدول (۴) زمان تناوب طبیعی مدل‌های مختلف اسکله.

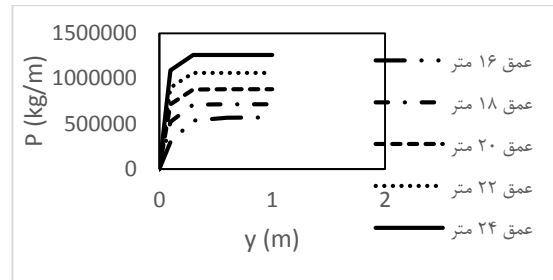
پریود سازه (s)	اسکله بدون جرثقیل	اسکله با جرثقیل
مود اول	۱/۵۳	۱/۵۱
مود دوم	۱/۴۷	۱/۲۵

۵-۲- تحلیل پوش آور

نتایج حاصل از تحلیل‌های پوش آور بر روی دو مدل اسکله در دو راستای موازی و عمود بر ساحل بصورت نمودارهای نیرو - جابجایی در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) ارائه شده است. همانطور که از شکل (۱۴) مشخص است، نمودارهای پوش آور دو مدل اسکله در راستای موازی ساحل بسیار نزدیک به هم بوده و اختلاف چندانی ندارند. در حالیکه در شکل (۱۵)



شکل (۱۱) نمودار p-y لایه رس سفت (بارهای استاتیکی).



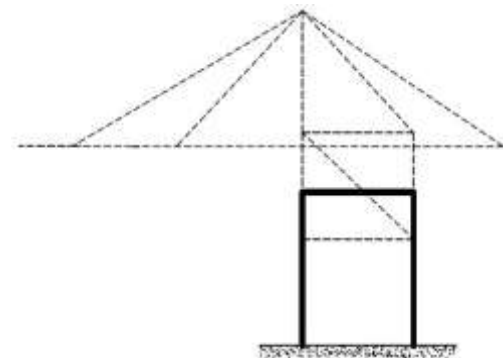
شکل (۱۲) نمودارهای p-y لایه ماسه.

۴-۴- جرثقیل

جرثقیل مورد استفاده در این تحقیق از نوع جرثقیل کانتینری از دسته پاناماکس با وزن ۸۰۰ تن است که دارای دهانه‌ای ۱۴/۲۵ متری و ارتفاع بالابری ۴۵ متر است. همانطور که در شکل (۱۳) قابل مشاهده است مدل‌سازی جرثقیل کانتینری با رسم دو قاب پورتال به ارتفاع ۳۰ متر که توسط دو تیر به هم متصل‌اند ساده‌سازی شده است. وزن جرثقیل بصورت چهار بار ۲۰۰ تنی به بالای ستون‌ها در ارتفاع ۳۰ متری اعمال می‌شود.

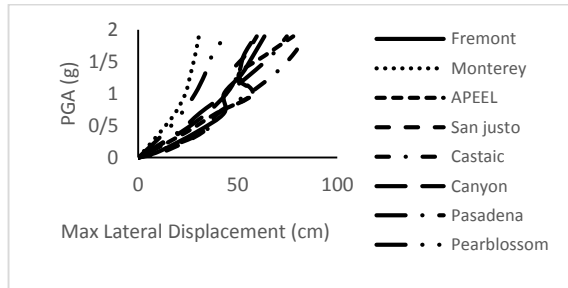
۴-۵- رکوردهای زمین‌لرزه

برای تحلیل دینامیکی فزاینده از ۸ رکورد زلزله در دو راستای موازی و عمود بر ساحل مطابق جدول (۳) استفاده شده است [۱۲].

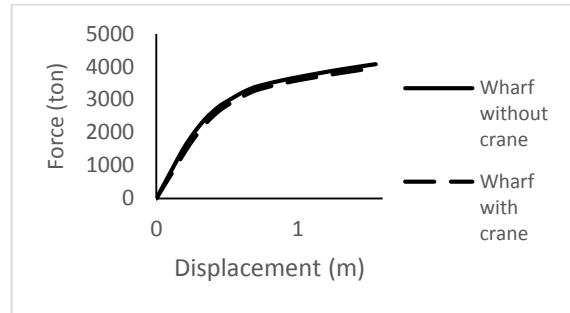


شکل (۱۳) نحوه مدل‌سازی جرثقیل و اختصاص وزن آن.

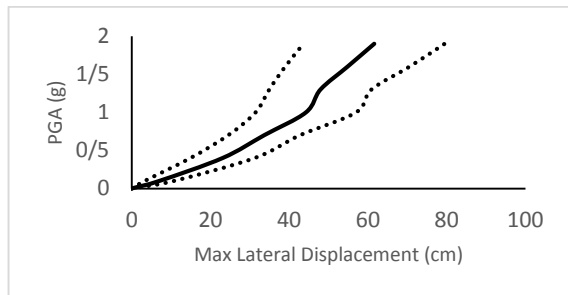
با کنار هم قرار دادن نمودارهای IDA متوسط جابجایی جانبی دو مدل اسکله در شکل (۲۰)، مقایسه‌ای میان پاسخ لرزه‌ای آن‌ها صورت گرفته و براحتی قابل مشاهده است که اختلاف چندانی با هم ندارند.



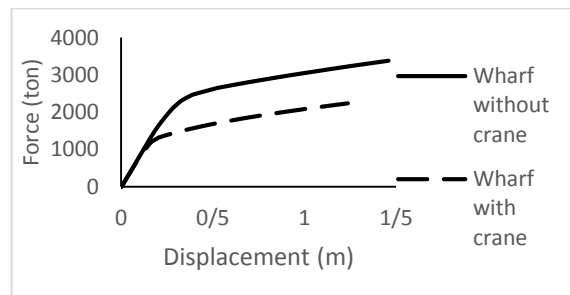
شکل (۱۶) منحنی‌های IDA جابجایی جانبی اسکله بدون جرثقیل در راستای موازی ساحل.



شکل (۱۴) منحنی‌های نیرو - جابجایی در راستای موازی ساحل.



شکل (۱۷) منحنی IDA متوسط جابجایی جانبی اسکله بدون جرثقیل در راستای موازی ساحل.



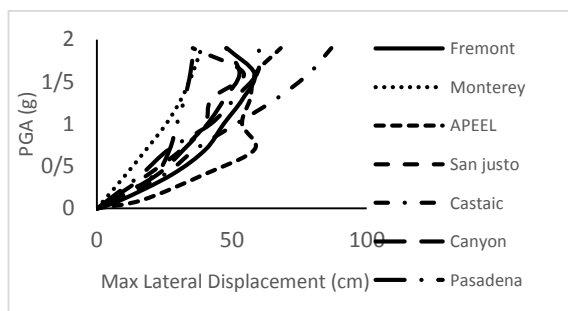
شکل (۱۵) منحنی‌های نیرو - جابجایی در راستای عمود بر ساحل.

۳-۵- تحلیل دینامیکی فزاینده

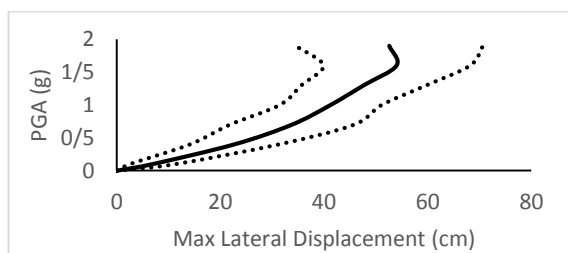
نتایج حاصل از تحلیل‌های دینامیکی فزاینده شامل جابجایی جانبی، نشست نامتقارن ریل‌ها و نشست نامتقارن عرشه بطور جداگانه در دو راستای موازی و عمود بر ساحل ارائه می‌شود. نشست نامتقارن ریل‌ها عبارتست از قدمطلق جابجایی قائم ریل سمت دریا منهای جابجایی قائم ریل سمت خشکی و همچنین نشست نامتقارن عرشه بصورت قدمطلق جابجایی قائم سمت خشکی عرشه منهای جابجایی قائم سمت دریای عرشه تعریف می‌شود.

۳-۱-۵- راستای موازی ساحل:

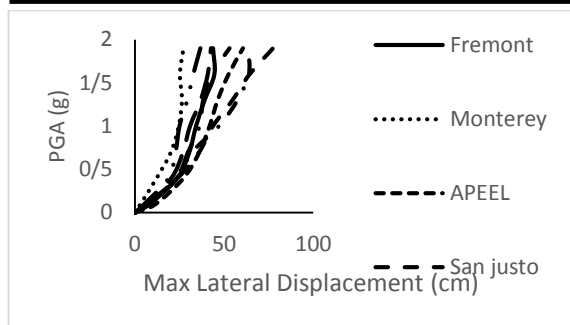
اسکله در راستای موازی ساحل دچار نشست نامتقارن نشده است. بنابراین در این راستا تنها نتایج حاصل از جابجایی جانبی اسکله ارائه می‌شوند. نمودارهای مربوط به منحنی‌های IDA جابجایی جانبی تحت هشت رکورد زلزله و منحنی IDA متوسط جابجایی جانبی برای دو مدل اسکله بدون و با جرثقیل در شکل‌های (۱۶) تا (۱۹) نمایش داده شده است.



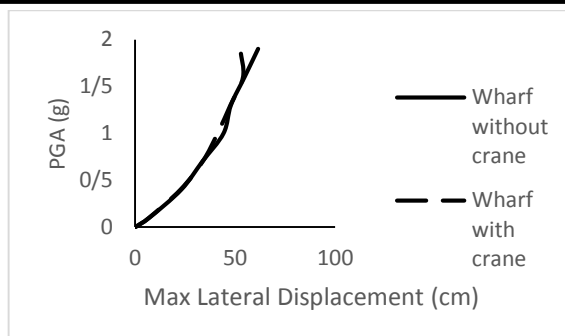
شکل (۱۸) منحنی‌های IDA جابجایی جانبی اسکله با جرثقیل در راستای موازی ساحل.



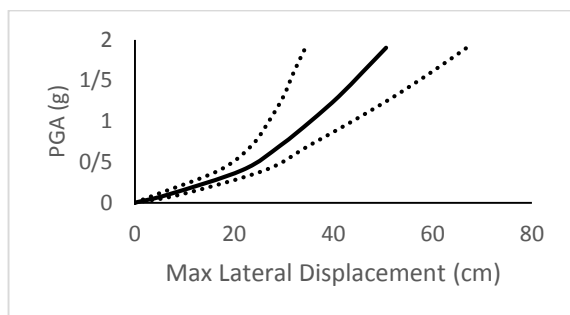
شکل (۱۹) منحنی IDA متوسط جابجایی جانبی اسکله با جرثقیل در راستای موازی ساحل.



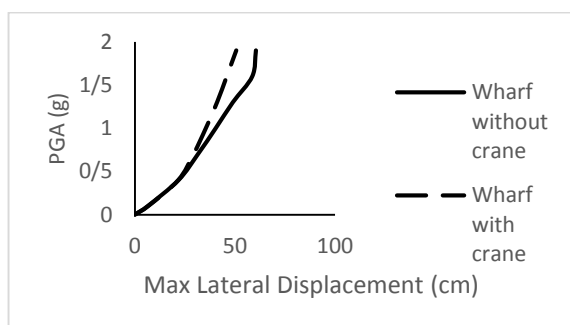
شکل (۲۳) منحنی‌های IDA جانبی اسکله با جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



شکل (۲۰) مقایسه منحنی‌های IDA متوسط جابجایی جانبی دو مدل اسکله در راستای موازی ساحل.



شکل (۲۴) منحنی IDA متوسط جابجایی جانبی اسکله با جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



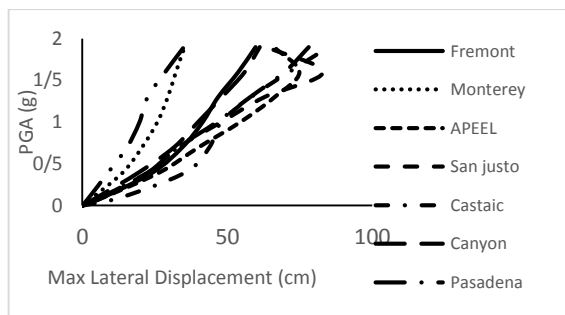
شکل (۲۵) مقایسه منحنی‌های IDA متوسط جابجایی جانبی دو مدل اسکله در راستای عمود بر ساحل.

۵-۳-۲- راستای عمود بر ساحل

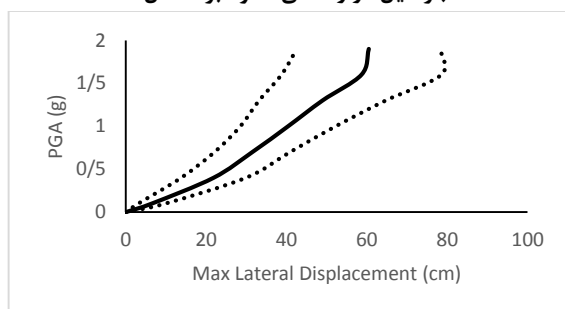
اسکله در راستای عمود بر ساحل علاوه بر جابجایی جانبی، دچار نشست نامتقارن ریل‌ها و عرشه نیز می‌شود. بنابراین نتایج مربوط به این راستا در سه بخش جابجایی جانبی، نشست نامتقارن ریل‌ها و نشست نامتقارن عرشه ارائه می‌شوند.

۵-۳-۳- جابجایی جانبی

منحنی‌های IDA جابجایی جانبی تحت هشت رکورد زلزله و منحنی IDA متوسط جابجایی جانبی برای دو مدل اسکله بدون و با جرثقیل در شکل‌های (۲۱) تا (۲۴) نمایش داده شده است.



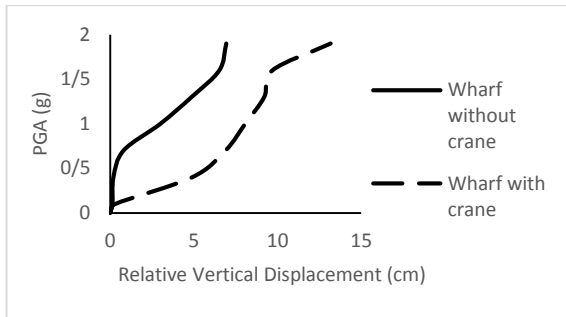
شکل (۲۱) منحنی‌های IDA جابجایی جانبی اسکله بدون جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



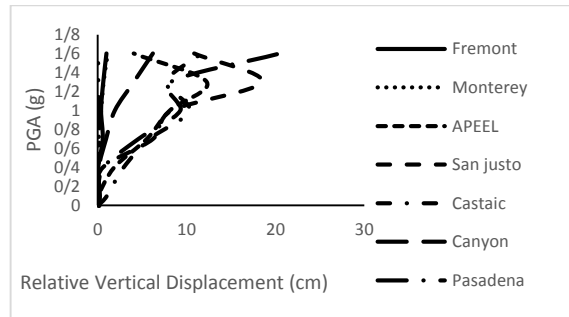
شکل (۲۲) منحنی IDA متوسط جابجایی جانبی اسکله بدون جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.

۵-۳-۴- نشست نامتقارن ریل‌ها

در شکل‌های (۲۶) تا (۲۹) منحنی‌های IDA نشست نامتقارن ریل‌ها تحت هشت رکورد زلزله و منحنی IDA متوسط نشست نامتقارن ریل‌ها برای دو مدل اسکله بدون و با جرثقیل نمایش داده شده است. در شکل (۳۰) نیز نمودارهای IDA متوسط نشست نامتقارن ریل‌های دو مدل اسکله بمنظور مقایسه کنار هم قرار داده شدند که مشاهده شد نشست نامتقارن ریل‌های اسکله با جرثقیل بیشتر از نشست نامتقارن ریل‌های اسکله بدون جرثقیل می‌باشد.



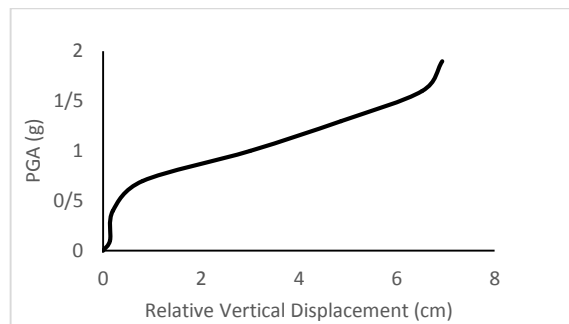
شکل (۳۰) مقایسه منحنی‌های IDA متوسط نشست نامتقارن ریل‌های دو مدل اسکله در راستای عمود بر ساحل.



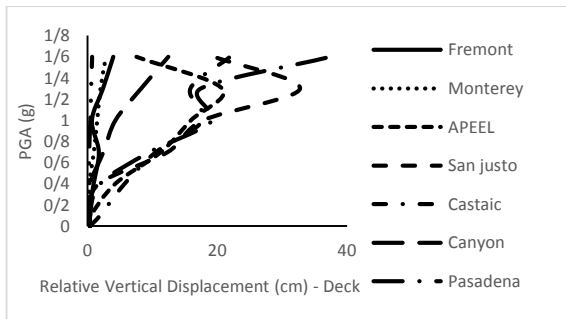
شکل (۲۶) منحنی‌های IDA نشست نامتقارن ریل‌های اسکله بدون جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.

۵-۳-۵- نشست نامتقارن عرشه:

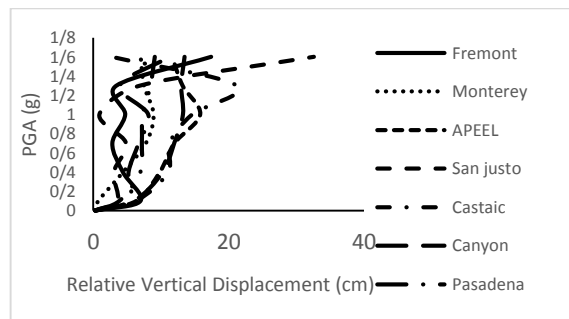
منحنی‌های IDA نشست نامتقارن عرشه تحت هشت رکورد زلزله و منحنی IDA متوسط نشست نامتقارن عرشه برای دو مدل اسکله بدون و با جرثقیل در شکل‌های (۳۱) تا (۳۴) نمایش داده شده است. در شکل (۳۵) نیز با کنار هم قرار دادن نمودارهای IDA متوسط نشست نامتقارن عرشه دو مدل اسکله، مقایسه‌ای صورت گرفت و مشاهده شد که نشست نامتقارن عرشه اسکله با جرثقیل بیشتر از نشست نامتقارن عرشه اسکله بدون جرثقیل می‌باشد.



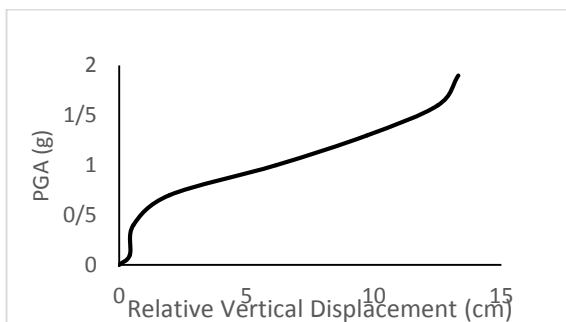
شکل (۲۷) منحنی IDA متوسط نشست نامتقارن ریل‌های اسکله بدون جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



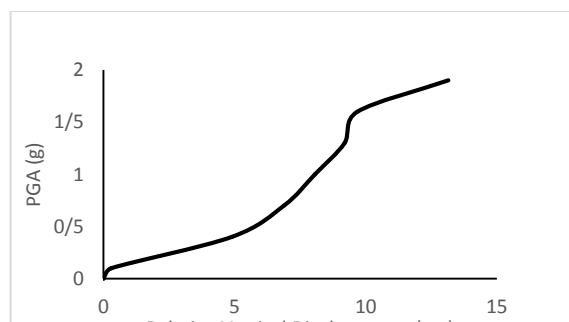
شکل (۳۱) منحنی‌های IDA نشست نامتقارن عرشه اسکله بدون جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



شکل (۲۸) منحنی‌های IDA نشست نامتقارن ریل‌های اسکله با جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



شکل (۳۲) منحنی IDA متوسط نشست نامتقارن عرشه اسکله بدون جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



شکل (۲۹) منحنی IDA متوسط نشست نامتقارن ریل‌های اسکله با جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.

خرابی دو مدل اسلکه در دو راستای موازی و عمود بر ساحل در جدول (۵) قابل مشاهده است.

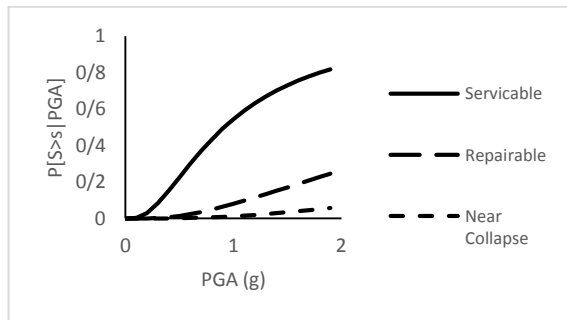
جدول (۵) حدود مختلف خرابی اسلکه در دو راستای موازی و عمود بر ساحل.

موازی ساحل	اسلکه بدون جرثقیل (سانتیمتر)	اسلکه با جرثقیل (سانتیمتر)
سرویس دهی	۳۴/۸	۳۲/۵
تعمیر پذیری	۷۵/۳	۷۰/۷
نزدیک فروپاشی	۱۱۵/۸	۱۰۸/۹

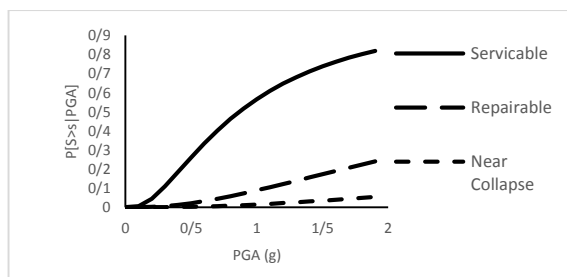
عمود بر ساحل	اسلکه بدون جرثقیل (سانتیمتر)	اسلکه با جرثقیل (سانتیمتر)
سرویس دهی	۳۰/۶	۱۵/۱
تعمیر پذیری	۷۷/۷	۴۹/۲
نزدیک فروپاشی	۱۰۵/۸	۸۳/۴

۵-۴-۱- راستای موازی ساحل:

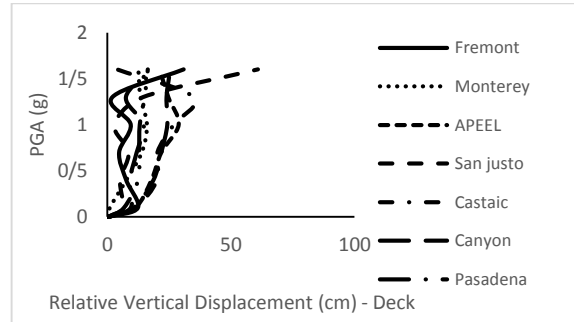
در شکل های (۳۶) و (۳۷) منحنی های شکنندگی دو مدل اسلکه بدون و با جرثقیل در راستای موازی ساحل قابل مشاهده است. با مقایسه آنها در شکل (۳۸) این نتیجه بدست می آید که آسیب پذیری دو مدل اسلکه اختلاف چندانی با هم ندارند.



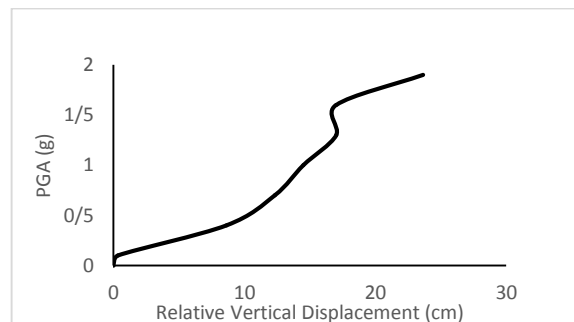
شکل (۳۶) منحنی های شکنندگی اسلکه بدون جرثقیل در راستای موازی ساحل.



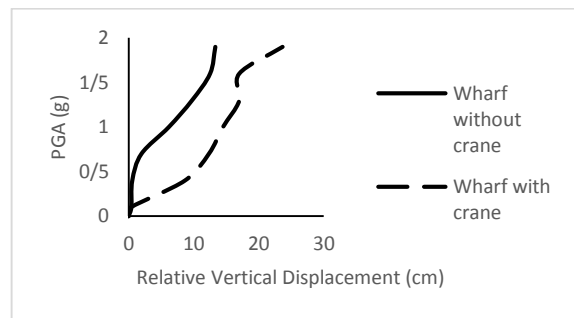
شکل (۳۷) منحنی های شکنندگی اسلکه با جرثقیل در راستای موازی ساحل.



شکل (۳۳) منحنی های IDA نشست نامتقارن عرشه اسلکه با جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



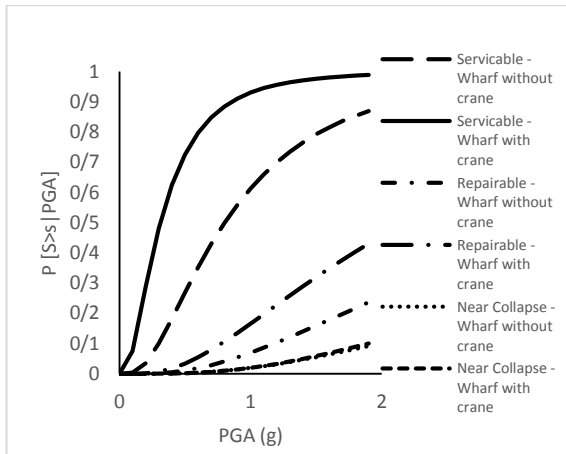
شکل (۳۴) منحنی IDA متوسط نشست نامتقارن عرشه اسلکه با جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



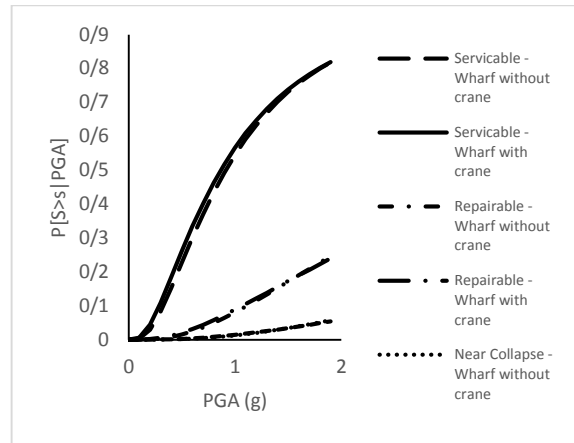
شکل (۳۵) مقایسه منحنی های IDA متوسط نشست نامتقارن عرشه دو مدل اسلکه در راستای عمود بر ساحل.

۵-۴- منحنی های شکنندگی

برای تولید منحنی های شکنندگی مدل های اسلکه شمع و عرشه مورد بررسی، نیاز به حالات حدی خرابی سازه می باشد که این مقادیر حدی از تحلیل پوش آور بدست می آیند [۱۳]. برای دستیابی به معیارهای خرابی اسلکه شمع و عرشه به اینصورت عمل می شود که جابجایی معادل با تشکیل اولین مفصل پلاستیک در بالای شمع ها بعنوان حد سرویس دهی و جابجایی معادل با تشکیل اولین مفصل پلاستیک در قسمت مدفون شمع بعنوان حد نزدیک فروپاشی و میانه این دو مقدار بعنوان حد تعمیر پذیری در نظر گرفته می شود. معیارهای



شکل (۴۱) مقایسه منحنی‌های شکنندگی دو مدل اسکله در راستای عمود بر ساحل.



شکل (۳۸) مقایسه منحنی‌های شکنندگی دو مدل اسکله در راستای موازی ساحل.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی اثر جرثقیل بر روی پاسخ لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه رایج در بنادر خلیج فارس با مشخصات ژئوتکنیکی و سازه‌ای معین پرداخته شد. با توجه به مدلسازی سه بعدی اسکله و جرثقیل در نرم‌افزار SAP2000، نتایج کلی حاصل شده از تحلیل‌ها در دو راستای موازی ساحل و عمود بر آن بطور جداگانه برای اسکله شمع و عرشه بدون و با جرثقیل ارائه می‌شوند.

۶-۱- راستای موازی ساحل

نتیجه‌گیری‌های حاصل از این تحقیق در راستای موازی ساحل بصورت زیر می‌باشد:

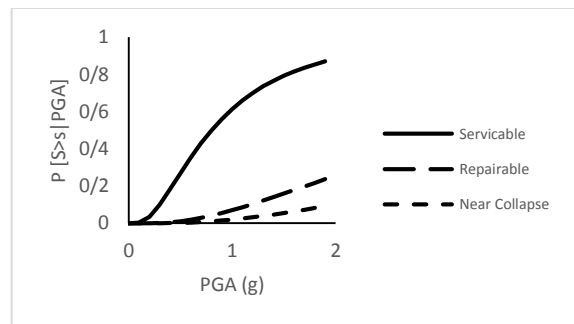
۱- از نتایج تحلیل مودال مشاهده می‌شود که وجود جرثقیل روی اسکله، باعث کاهش ۰/۰۲ ثانیه‌ای پریود سازه از ۱/۵۳ ثانیه به ۱/۵۱ ثانیه می‌شود که مقدار ناچیزی می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که جرثقیل در این راستا تقریباً تاثیری روی پریود اسکله نداشته است.

۲- با مشاهده نمودارهای پوش‌آور، دینامیکی فزاینده و منحنی شکنندگی مربوط به دو مدل اسکله، این نتیجه کلی بدست می‌آید که در این راستا، وجود جرثقیل تاثیر چندانی روی پاسخ لرزه‌ای و آسیب‌پذیری اسکله ندارد؛ بنابراین می‌توان این نتیجه را بیان کرد که از اثر وجود جرثقیل در راستای موازی ساحل که اسکله طول بزرگتری را دارد، چشم‌پوشی می‌شود.

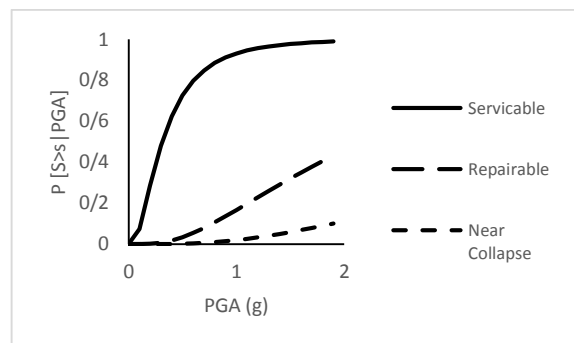
۳- همانطور که از خروجی تحلیل‌ها مشاهده شد، در این راستا، نشست نامتقارن ریل‌ها و عرشه حاصل نمی‌شود.

۵-۴-۲- راستای عمود بر ساحل

منحنی‌های شکنندگی دو مدل اسکله بدون و با جرثقیل در راستای عمود بر ساحل در شکل‌های (۳۹) و (۴۰) ارائه شده است. با مقایسه آن‌ها در شکل (۴۱) مشاهده می‌شود که مدل اسکله با جرثقیل بسیار آسیب‌پذیرتر از مدل اسکله بدون جرثقیل است.



شکل (۳۹) منحنی‌های شکنندگی اسکله بدون جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.



شکل (۴۰) منحنی‌های شکنندگی اسکله با جرثقیل در راستای عمود بر ساحل.

۶-۲- راستای عمود بر ساحل

۱- با بررسی نتایج تحلیل مودال مربوط به دو مدل اسکله مشاهده می‌شود که با حضور جرثقیل روی اسکله، پریود سازه از $1/47$ ثانیه به $1/25$ ثانیه کاهش یافته است که برابر با $0/22$ ثانیه می‌باشد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود جرثقیل در راستای عمود بر ساحل باعث کاهش پریود سازه می‌شود.

۲- از منحنی‌های پوش‌آور مربوط به دو مدل اسکله این نتیجه بدست می‌آید که وجود جرثقیل موجب کاهش حالات حدی خرابی اسکله می‌شود؛ بعبارت دیگر مدل اسکله با جرثقیل در جابجایی کوچکتری نسبت به مدل اسکله بدون جرثقیل، شروع به غیرخطی شدن و شکست می‌کند.

۳- با مقایسه منحنی‌های حاصل از تحلیل دینامیکی فزاینده مربوط به دو مدل اسکله مشاهده می‌شود که وجود جرثقیل در محدوده الاستیک سازه، تاثیری روی جابجایی جانبی اسکله ندارد، اما بعد از شروع غیرخطی شدن، با افزایش شدت زلزله، جابجایی اسکله بیشتر کاهش می‌یابد؛ بنابراین این نتیجه بدست می‌آید که وجود جرثقیل در محدوده الاستیک، بدون اثر و در محدوده غیرخطی باعث کاهش جابجایی اسکله خواهد شد.

۴- همانطور که اشاره شد، در راستای عمود بر ساحل، اسکله دچار نشست نامتقارن می‌شود، که با مشاهده نمودارهای حاصل شده از تحلیل دینامیکی فزاینده مربوط به دو مدل اسکله، نتیجه‌گیری می‌شود که وجود جرثقیل موجب افزایش نشست‌های نامتقارن ریل‌ها و عرشه خواهد شد.

۵- با مشاهده و مقایسه منحنی‌های شکنندگی دو مدل اسکله، نتیجه‌گیری می‌شود که وجود جرثقیل علی‌رغم کاهش جابجایی جانبی اسکله، موجب آسیب‌پذیرتر شدن آن خواهد شد؛ بعبارت دیگر در راستای عمود بر ساحل، جرثقیل احتمال رسیدن اسکله به حد سرویس‌دهی و تعمیرپذیری را افزایش می‌دهد؛ هرچند در معیار حد فروپاشی اسکله تاثیر چندانی ندارد.

۷- تشکر و قدردانی

حال که به لطف پروردگار این تحقیق به سرانجام رسیده است، بر خود واجب می‌دانم که نهایت تشکر و قدردانی را از مهندس محمد شاکری‌نیا رییس اداره سازه‌های دریایی سازمان بنادر و دریانوردی بدلیل مساعدت ایشان در تهیه نقشه‌های اسکله و مشخصات خاک به عمل آورم.

۸- مراجع

- [1] PIANC, "Seismic Design Guidelines for Port Structures", Permanent International Navigation Association, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands, 2001.
- [۲] امیرآبادی، روح‌الله؛ "کاربرد مفهوم طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد برای اسکله‌های شمع و عرشه"؛ رساله دکتری، به راهنمایی دکتر خسرو برگی، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران، اسفند ۱۳۹۱.
- [3] Amirabadi, R., Bargi, Kh., Dolatshahi Piroz, M., Heidary Torkamani, H., & Mccullough, N. "Determination of Optimal Probabilistic Seismic Demand Models for Pile-Supported Wharves". Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 10, No.9, pp.1119-1145, 2014.
- [4] Heidary-Torkamani, H., Bargi, Kh., & Amirabadi, R., "Seismic Vulnerability Assessment of Pile-Supported Wharves Using Fragility Curves". Structure and Infrastructure Engineering, (Taylor & Francis), Vol.10, No.11, pp.1417-1431, 2014.
- [5] Heidary-Torkamani, H., Bargi, Kh., Amirabadi, R., & Mccullough, N. J., "Fragility Estimation and Sensitivity Analysis of an Idealized Pile-Supported Wharf with Batter Piles", Soil Dynamics and Earthquake Engineering (Elsevier), Vol.61, pp.92-106, 2014.
- [6] McCullough, N.J.; Dickenson, S.E.; Scheleter, S.M., "The Seismic Performance of Piles in Waterfront Applications", America's Ports-Gateway to The Gloval Economy, 2004.
- [7] Roth, W.H., Dawson, E.M., Mehraim, M., Sayegh, A., "Analyzing the Seismic Performance of Wharves", Structural Engineering Approach, 2003.
- [۸] خیری، امیر؛ جندقی، علایی؛ عجمی، مهدی؛ "بررسی عملکرد اسکله‌های شمع و عرشه بر روی بستر شیب‌دار"؛ کنفرانس ملی زیرساخت‌های حمل و نقل؛ بهمن ۱۳۹۱.
- [9] Shafieezadeh, A., Kosbab, B.D., DesRoches, R., Leon,R.T., "Dynamic Interaction Behavior of Pile-Supported Wharves and Container Cranes in Liquefiable Soil Embankments", 2012.
- [10] SAP2000, Help.
- [11] Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design, API Recommended Practice 2A-WSD (RP 2A-WSD) Twenty-First Edition, December 2000.
- [12] <https://ngawest2.berkeley.edu/>
- [13] Chiou, J.S., Chiang, C.H., Yang, H.H., Hsu, S.Y., "Developing Fragility Curves for a Pile-Supported Wharf", Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.31, pp.830-840, 2011.