

## ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌های اسکله‌های شمع و عرشه فلزی در اثر سالخورده‌گی ناشی از خوردگی سازه

باتوجه به نقش بنادر در توسعه کشور می‌توان به اهمیت آن‌ها پی برد. این سازه‌ها پس از طراحی، در حین و پس از ساخت نیز نیازمند رسیدگی و توجه کافی به منظور حفظ سطح سرویس‌دهی خود می‌باشند. اسکله‌های شمع و عرشه‌ی فولادی در مقابل خوردگی و فرسایش بسیار آسیب‌پذیر نشان داده‌اند، بخصوص در محیط مرطوب ساحلی خلیج فارس که دارای یون کلرید فراوانی می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه کشور ما در منطقه لرزه‌خیزی قرار دارد باید توجه ویژه‌ای به ساخت سازه‌های با اهمیت بالا داشت تا در مقابل این پدیده طبیعی قابلیت سرویس‌دهی خود را از دست ندهند. بنابراین با شناخت میزان آسیب‌پذیری این سازه‌ها در مقابل خوردگی، می‌توان میزان آسیب‌های وارده در مقابل زلزله را ارزیابی کرده و در پروسه طراحی و یا در روش‌های نگهداری، این تأثیرات را در نظر گرفته و گام‌هایی در این راستا برداشت تا میزان مقاومت سازه در مقابل بارهای دینامیکی و استاتیکی وارده از جمله بار زلزله در طول عمر بهره‌برداری سازه از حد مجاز تجاوز نکرده و سازه قابل سرویس‌دهی باشد. در این مقاله از یک نوع اسکله شمع و عرشه فولادی رایج در خلیج فارس برای مدل‌سازی سه‌بعدی در نرم‌افزار SAP2000 استفاده شده است. پنج مدل از اسکله در سنین صفر، ۱۲/۵، ۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ سال پس از ساخت سازه مدل‌سازی شدند و برای بررسی پاسخ لرزه‌ای مدل‌ها 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. پس از انجام تحلیل‌ها و مشاهده شد که سالخورده‌گی، موجب تغییر پاسخ لرزه‌ای و منحنی‌های IDA اسکله و افزایش آسیب‌پذیری سازه می‌شود.

**واژگان کلیدی:** اسکله شمع و عرشه، خوردگی، شمع‌های فلزی، رفتار لرزه‌ای، سالخورده‌گی.

روح الله امیرآبادی\*

استادیار، دانشکده فنی  
مهندسی، دانشگاه قم.  
پست الکترونیک:  
r.amirabadi@qom.ac.ir

حسین اربابی

کارشناسی ارشد مهندسی  
سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی،  
دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه  
قم.  
پست الکترونیک:  
Arbabi.hossein@yahoo.com

ابوالفضل آرزومند

مربی، دانشکده فنی مهندسی،  
دانشگاه قم.  
پست الکترونیک:  
arezoomandabolfazl@gmail.com

مهدی صالح

کارشناسی ارشد مهندسی  
سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی،  
دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه  
قم.  
پست الکترونیک:  
m.saleh@stu.qom.ac.ir

### ۱- مقدمه

دریا، پهلوگیری و مهاربندی شناورها و غیره از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. از جمله پرکاربردترین اسکله‌ها می‌توان به اسکله‌های شمع و عرشه اشاره نمود که در تعداد زیادی از بنادر کشور خصوصاً در خلیج فارس و دریای عمان از جمله بنادر کیش، گناوه، قشم، بندر حقانی، بندر عباس و بندر ماهشهر و چندین بندر دیگر، از این نوع سازه استفاده شده است [۱]. از آنجاکه بنادر و اسکله‌ها نقش عمده‌ای در توسعه یک کشور در زمینه‌های

در میان سازه‌های ساحلی، اسکله‌ها به جهت کاربردهای فراوان از جمله تأمین دسترسی خشکی به

\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۹، بازنگری: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹، پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹  
(DOI): 10.22091/cer.2019.3738.1135 شناسه دیجیتال

تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است [۳]. به منظور انجام تحلیل دینامیکی فزاینده از هشت رکورد زلزله، در هفت مقیاس مختلف که دربرگیرنده حد الاستیک تا حد فروپاشی سازه می‌باشد، استفاده شد.

در خصوص بحث خوردگی سازه‌ها در محیط‌های دریایی، مطالعات مختلفی انجام شده است که می‌توان به مواردی نظیر صیادی و همکاران و فرهادی و همکاران اشاره نمود که به بررسی نفوذ یون کلر و اثر آن بر روی خوردگی آرماتورها در سازه‌های بتنی اشاره نمود [۴ و ۵]. ضمناً دشتی و رنجبر نیز در سال ۱۳۹۳ علاوه بر بررسی تأثیر یون کلرید بر اثر حملات سولفاتی و کربناسیون بر سازه‌ها در محیط‌های دریایی پرداخته است [۶]. دنگ و فرانکوویس<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۴، پیش‌بینی رفتار تیرهای بتنی تحت اثر سالخورده‌گی بلندمدت ناشی از خوردگی یون کلراید را مورد مطالعه قرار داده‌اند [۷].

در خصوص ارایه منحنی‌های شکنندگی مطالعات زیادی تاکنون صورت گرفته است. در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۰ محققان، منحنی‌های شکنندگی تحلیلی را برای اسکله‌های وزنی توسعه دادند [۸ و ۹]. کو<sup>۳</sup> و همکاران نیز منحنی‌های شکنندگی را برای اسکله‌های سپری واقع در بندر هوآلین تایوان ارایه نمودند [۱۰]. منحنی‌های شکنندگی برای اسکله‌های شمع و عرشه توسط چیو<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۱ توسعه داده شدند [۱۱]. منحنی‌های شکنندگی وابسته به زمان ناشی از پدیده سالخورده‌گی توسط قوش و پدجت<sup>۵</sup> ارایه گردید [۱۲]. کارپتروس<sup>۶</sup> و همکارانش نیز ایده قوش و پدجت را برای ساختمان‌های بتن مسلح توسعه دادند [۱۳].

## ۲- معرفی اسکله مورد بررسی

مختلف ایفا می‌کنند، باید توجه ویژه‌ای به این نوع سازه‌ها داشت. توجه ویژه فقط به ساخت پی‌پای معطوف نمی‌شود، بلکه باید پس از ساخت، رسیدگی و توجه کافی به این نوع سازه‌ها داشت تا سرویس‌دهی مطلوب را همانند اولین سال‌های تأسیس داشته باشند.

اسکله‌های شمع و عرشه‌ی فولادی در مقابل خوردگی و فرسایش بسیار آسیب‌پذیر نشان داده‌اند، به‌خصوص در محیط مرطوب ساحلی خلیج فارس که دارای یون کلرید فراوانی می‌باشد [۲]. از طرفی با توجه به اینکه کشور ما در منطقه لرزه‌خیزی قرار دارد باید توجه ویژه‌ای به ساخت سازه‌های با اهمیت بالا داشت تا در مقابل این پدیده طبیعی قابلیت سرویس‌دهی خود را از دست ندهند. پس با شناخت میزان آسیب‌پذیری این سازه‌ها در مقابل خوردگی می‌توان میزان آسیب‌های وارده در مقابل زلزله را ارزیابی کرده و در پروسه طراحی و یا در روش‌های نگهداری این تأثیرات را در نظر گرفته و گام‌هایی در این راستا برداشت تا میزان مقاومت سازه در مقابل بارهای دینامیکی و استاتیکی وارده از جمله بار زلزله در طول عمر بهره‌برداری سازه از حد مجاز تجاوز نکرده و سازه قابل سرویس‌دهی باشد.

هدف اصلی این مقاله، بررسی اثر پدیده سالخورده‌گی ناشی از خوردگی محیطی روی پاسخ لرزه‌ای اسکله شمع و عرشه می‌باشد. برای این منظور از یک نوع اسکله شمع و عرشه‌ی رایج در خلیج‌فارس استفاده شده است. مدل سه‌بعدی اسکله مورد بررسی 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. اندرکنش میان خاک و سازه نیز با استفاده از فنرهای غیرخطی  $p-y$  و  $t-z$  صورت گرفته است. تحلیل دینامیکی فزاینده<sup>۱</sup> از جدیدترین، دقیق‌ترین و البته دشوارترین روش‌های حال حاضر برای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد که در این

<sup>2</sup>- Dang & Francois

<sup>3</sup>- Ko

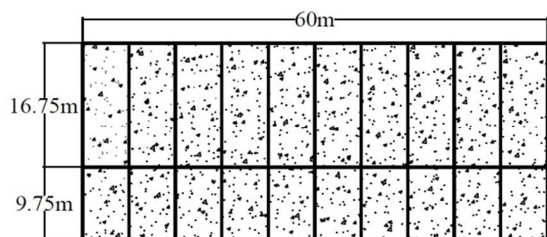
<sup>4</sup>- Chiou

<sup>5</sup>- Ghosh & Padgett

<sup>6</sup>- Karapetrous

<sup>1</sup>- Incremental Dynamic Analysis

تیر و دال بتن درجا بوده که تصاویر پلان عرشه و مقطع عرضی تیرها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- پلان عرشه و نحوه قرارگیری دال‌ها و تیرها

شمع‌های اسکله همه از نوع فولادی توخالی با قطر خارجی ۷۶/۲ و ضخامت ۱/۶ سانتی‌متر و با طول متغیر ۲۸ تا ۳۵ متر می‌باشند. همچنین مشخصات فنی بتن و فولاد استفاده شده در تمامی اجزای اسکله، از قبیل تیرها، دال‌ها و شمع‌ها مطابق با جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات فنی بتن و فولاد

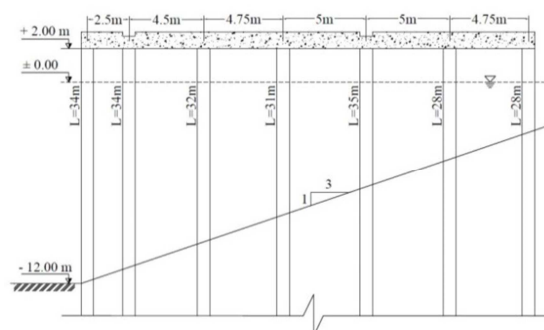
مصلح	وزن مخصوص (Kg/m <sup>3</sup> )	مدول الاستیسیته (Kg/m <sup>3</sup> )	ضریب پواسون	مقاومت فشاری (Kg/cm <sup>3</sup> )	تنش تسلیم (Kg/cm <sup>3</sup> )
بتن	۲۴۰۲	۲/۵۳۵*۱۰ <sup>۹</sup>	۰/۲	۲۸۱	-
فولاد	۷۸۴۹	۲/۱۴۱*۱۰ <sup>۱۰</sup>	۰/۳	-	۳۶۲۰

بتن و دارای ضخامت حدود ۱ متر می‌باشند. بنابراین به دلیل ضخامت زیاد و صلیبیت قابل توجه عرشه، تغییرشکل‌های آن بسیار ناچیز است و در مدل‌سازی به‌عنوان یک صفحه دیافراگم صلب در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۲-۳- شمع

در این مقاله، اتصالات شمع و عرشه با صلب فرض کردن ۱ متر بالایی شمع‌ها، مدل شده است. برای اختصاص دستی مفاصل پلاستیک نیاز به نمودار لنگر - انحنای مقاطع ضروری می‌باشد و از آنجاکه در این پژوهش، مطالعات آزمایشگاهی بر روی شمع‌ها به‌منظور دستیابی به نمودار لنگر - انحنای صورت نگرفته است و همچنین اطمینانی به صحت نمودار لنگر - انحنای استخراج شده از قسمت Section Designer نرم‌افزار SAP2000 نمی‌باشد، بنابراین برای اختصاص مفاصل

در این مقاله برای انجام تحلیل‌ها از یک نوع اسکله شمع و عرشه‌ی رایج در خلیج فارس استفاده شده است که مقطع عرضی آن در شکل ۱ قابل مشاهده است.

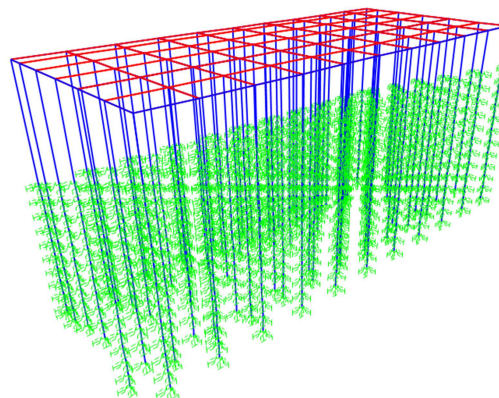


شکل ۱- مقطع عرضی اسکله

اسکله‌ی مورد بررسی دارای عرشه‌ای به طول ۶۰ متر و عرض ۲۶/۵ متر می‌باشد. عرشه‌ی این اسکله از نوع

### ۳- روش مدل‌سازی

تصویر نهایی اسکله‌ی مدل شده در SAP2000 مطابق شکل ۳ می‌باشد.



شکل ۳- مدل سه بعدی اسکله

### ۳-۱- عرشه

دال‌های عرشه در اسکله‌ی مورد بررسی از جنس

t-z نیاز می‌باشد. 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 به کار می‌روند با توجه به مشخصات خاک بر طبق آیین‌نامه API برای لایه‌های مختلف خاک به دست می‌آید [۱۵].

مشخصات لایه‌بندی خاک منطقه که مشابه بندر بوشهر در نظر گرفته شده است بدین صورت 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.

پلاستیک به شمع‌ها روش اتوماتیک به کار گرفته می‌شود. با این حال، نرم‌افزار SAP2000 تنها قادر به اختصاص مفاصل پلاستیک به مقاطع قوطی شکل و I شکل می‌باشد [۱۴]. بنابراین با معادل‌سازی مقطع دایره‌ای شمع‌ها به مقطع قوطی شکل به ابعاد ۶۶ و ضخامت ۱/۴ سانتی‌متر این مشکل حل می‌شود و مفاصل پلاستیک P-M2-M3 به‌طور اتوماتیک به قسمت‌های مشخصی همچون بخش بالایی شمع‌ها و محدوده‌ای که داخل خاک قرار گرفته است، اختصاص داده می‌شود.

### ۳-۳- اندرکنش خاک و سازه

اندرکنش خاک و شمع‌ها به وسیله یک سری از فنرهای غیرخطی که سختی آنها 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

جدول ۲- مشخصات لایه‌های خاک

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

قطرهای خارجی و داخلی شمع،  $r_{corr}$  سرعت خوردگی،  $t$  زمان مورد نظر و  $d(t)$  ضخامت شمع در زمان  $t$  می‌باشد.

$$d(t) = (D_{ext} - D_{int}) - r_{corr} \times t \quad (1)$$

طبق آیین‌نامه NACE (۲۰۰۳) می‌توان سرعت خوردگی شمع‌های فولادی بسته به محیط‌های مختلف را بین ۰/۲ تا ۰/۴ میلی‌متر در سال فرض کرد [۱۰]. در این مقاله، سرعت خوردگی مقدار ۰/۲ میلی‌متر در سال فرض شده است. با توجه به اینکه خوردگی شمع به صورت عمده در محدوده جزر و مدی رخ می‌دهد و از آنجاکه در منطقه مورد بررسی حدوداً ۱ متر جزر و مد وجود دارد، بنابراین کاهش ضخامت به دست آمده در سال‌های مختلف، به این محدوده از شمع‌ها اعمال می‌شود.

### ۳-۴- رکوردهای زمین لرزه

برای تحلیل دینامیکی فزاینده از ۸ رکورد زلزله در دو راستای موازی و عمود بر ساحل مطابق جدول ۳ استفاده شده است. براساس تحقیقات انجام شده توسط امیرآبادی و همکاران، تأکید شده است که استفاده از حداقل ۸ رکورد زلزله در تحلیل دینامیکی فزاینده اسکله‌های شمع و عرشه نتایج مطلوبی را در ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه به دنبال خواهد داشت [۱۶].

### ۳-۵- خوردگی شمع‌ها

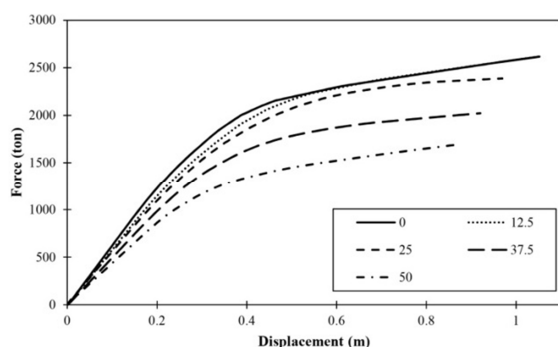
بنابر فرمول (۱)، ضخامت شمع‌ها در سال‌های مورد نظر قابل محاسبه است [۱۰]. در این رابطه،  $D_{int}$  و  $D_{ext}$

جدول ۳- مشخصات زمین لرزه‌های 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

## ۴-۲- تحلیل پوش آور

در تحلیل پوش آور یا تحلیل استاتیکی غیرخطی، بار استاتیکی جانبی به تدریج و به صورت فزاینده به سازه اعمال می‌گردد تا زمانی که تغییرمکان در یک نقطه خاص (نقطه کنترل)، تحت اثر بار جانبی، به مقدار مشخصی (تغییرمکان هدف) برسد و یا اینکه سازه فرو بریزد. شکل ۴، منحنی‌های نیرو-جابجایی در سال‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است، با افزایش عمر اسکله و سالخوردگی ناشی از خوردگی محیطی آن، منحنی پوش آور دچار کاهش شده است. کاهش در سختی سیستم در حدود ۳۰ درصد تخمین زده می‌شود. کاهش ظرفیت باربری سازه نیز در حدود ۴۰ درصد می‌باشد.



شکل ۴- منحنی‌های نیرو- جابه‌جایی در سنین مختلف

## ۴- خروجی تحلیل‌ها

بعد از انجام تحلیل‌های مودال، پوش آور و دینامیکی فزاینده روی مدل اسکله در سال‌های صفر، ۱۲/۵، ۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰، نتایج و نمودارهای حاصل از تحلیل‌ها در این بخش ارائه خواهد شد. در انتها نیز منحنی‌های شکنندگی در سال‌های مختلف ارایه و مقایسه می‌شوند.

## ۴-۱- تحلیل مودال

در جدول ۴، پریودهای سازه در مود دوم که راستای عمود بر ساحل می‌باشد در سال‌های مد نظر نشان داده شده است. مشاهده می‌شود با گذشت زمان و سالخوردگی ناشی از خوردگی محیطی اسکله، پریود آن افزایش می‌یابد. با توجه به جدول، با گذشت ۵۰ سال از عمر اسکله‌ی مورد بررسی، پریود اسکله دچار افزایش ۰/۲۸ ثانیه‌ای شده است.

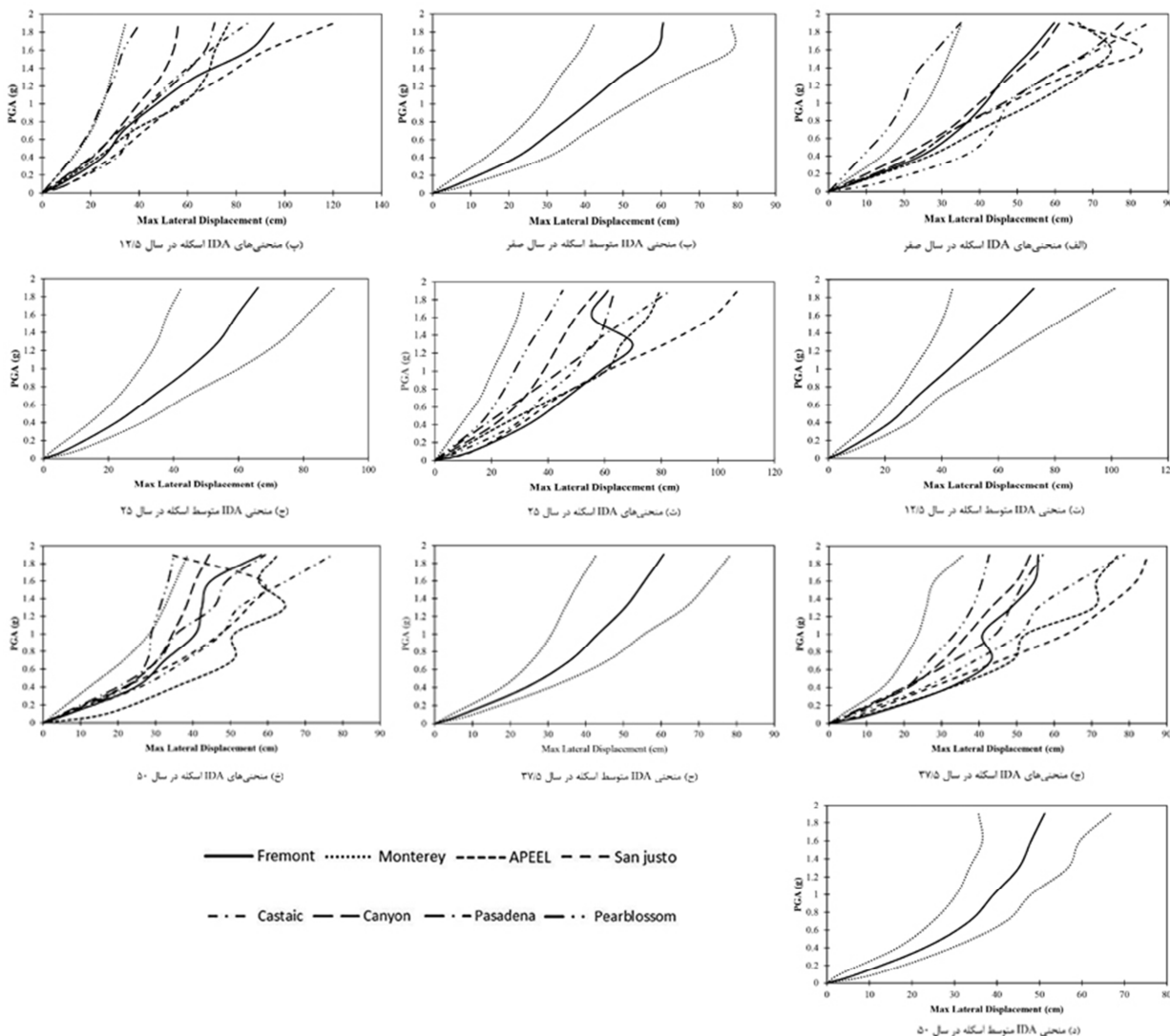
جدول ۴- زمان تناوب طبیعی مدل‌های مختلف اسکله در سنین مختلف

سال‌ها	صفر	۱۲/۵	۲۵	۳۷/۵	۵۰
پریود سازه (S)	۱/۴۱	۱/۴۷	۱/۵۲	۱/۵۸	۱/۶۹

### ۳-۴- تحلیل دینامیکی فزاینده

آورده شده است. در شکل پنج نمودار سمت راست نشان دهنده پاسخ سازه به کلیه رکوردهای زلزله است و نمودار سمت چپ نیز میانگین و پراکندگی پاسخ سازه در اثر رکوردهای زلزله می‌باشد.

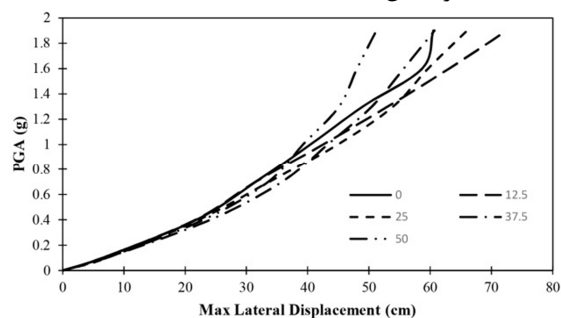
نتایج حاصل از تحلیل‌های دینامیکی فزاینده با شاخص شدت، شتاب حداکثر زمین و پارامتر تقاضای مهندسی، بیشترین جابجایی جانبی عرشه بطور جداگانه در سال‌های مختلف ارائه می‌شود. این نتایج در شکل ۵



شکل ۵- منحنی‌های IDA و IDA متوسط اسکله در سنین مختلف

### ۵- بحث بر روی نتایج

مقایسه‌ای میان منحنی‌های IDA متوسط اسکله صورت گرفته که در شکل ۶ نمایش داده شده است.

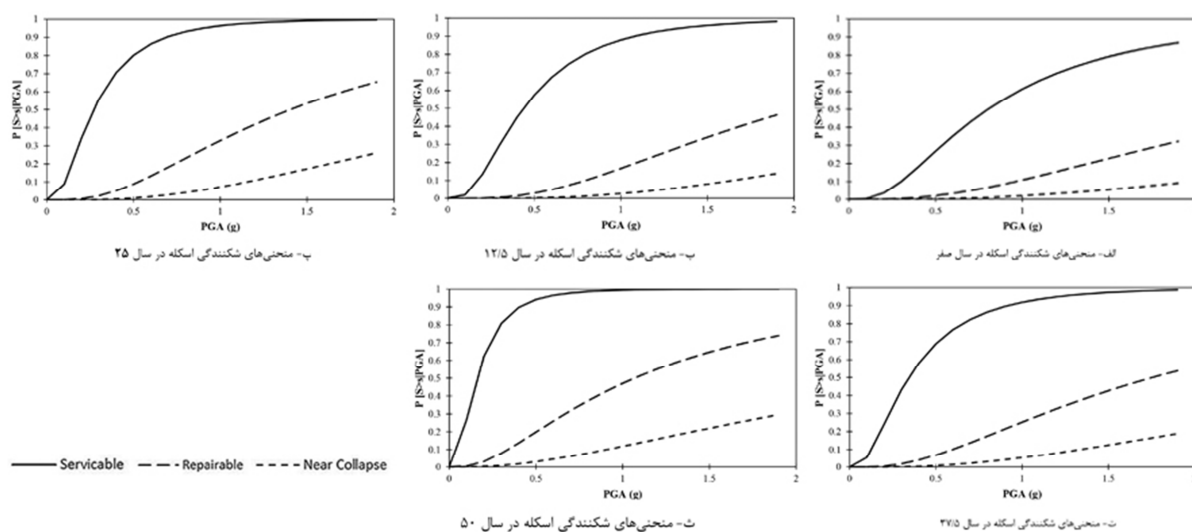


شکل ۶- مقایسه میانگین منحنی‌های IDA در سنین مختلف

### ۵-۱- منحنی‌های شکنندگی

پلاستیک در بالای شمع‌ها به‌عنوان حد سرویس‌دهی و جابه‌جایی معادل با تشکیل اولین مفصل پلاستیک در قسمت مدفون شمع به‌عنوان حد نزدیک فروپاشی و میانه‌ی این دو مقدار به‌عنوان حد تعمیرپذیری در نظر گرفته می‌شود. معیارهای خرابی دو مدل اسلکه در دو راستای موازی و عمود بر ساحل در جدول ۵ قابل مشاهده است.

برای تولید منحنی‌های شکنندگی مدل‌های اسلکه شمع و عرشه‌ی مورد بررسی در شکل ۷، نیاز به حالات حدی خرابی سازه می‌باشد که این مقادیر حدی از تحلیل پوش‌آور به‌دست می‌آیند [۱۱]. برای دستیابی به معیارهای خرابی اسلکه شمع و عرشه به این صورت عمل می‌شود که جابه‌جایی معادل با تشکیل اولین مفصل



شکل ۷- منحنی‌های شکنندگی اسلکه در سنین مختلف

جدول ۵- حدود مختلف خرابی اسلکه در سنین مختلف

سال	صفر	۱۲/۵	۲۵	۳۷/۵	۵۰
سرویس‌دهی	۳۰/۶	۲۰	۱۷/۴	۱۴/۸	۱۰/۱
تعمیرپذیری	۶۸/۲	۶۲	۵۴/۱	۴۶/۲	۳۵/۳
نزدیک فروپاشی	۱۰۵/۸	۱۰۴/۱	۹۰/۹	۷۷/۶	۶۰/۵

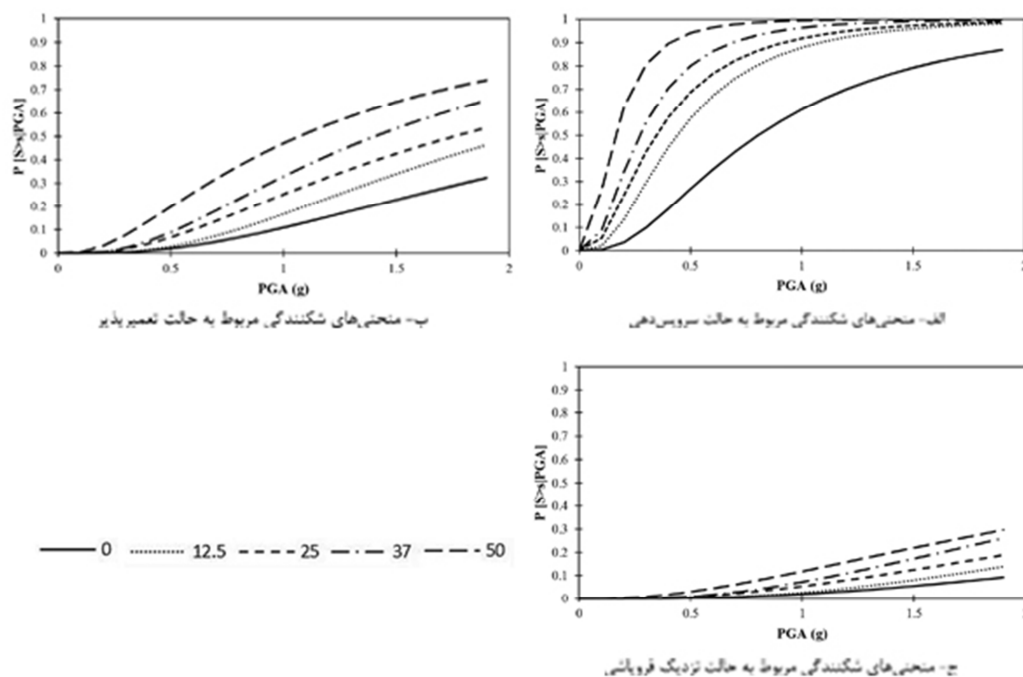
بعد از انجام تحلیل‌های مودال، پوش‌آور، دینامیکی فزاینده، شکنندگی روی مدل اسلکه در سال‌های مشخص و بررسی خروجی‌های حاصل از آن این نتیجه حاصل گردید که پدیده سالخوردگی ناشی از خوردگی محیطی موجب افزایش پریود اسلکه می‌شود. در این تحقیق، پریود سازه طی ۵۰ سال از ۱/۴۱ ثانیه به ۱/۶۹ ثانیه تغییر و دچار افزایش ۰/۲۸ ثانیه‌ای شده است. پدیده سالخوردگی باعث کاهش نمودارهای پوش‌آور و به تبع آن کاهش معیارهای حدی خرابی می‌شود و همچنین موجب تغییر

### ۵-۲- مقایسه نتایج

در این بخش، مقایسه‌ای بین حالات مختلف خرابی اسلکه در سال‌های مختلف صورت گرفته است. نمودارهای حاصل در شکل ۸ ارائه شده است. با مقایسه‌ی منحنی‌های شکنندگی در سال‌های مختلف این نتیجه به‌دست می‌آید که پدیده سالخوردگی موجب افزایش آسیب‌پذیری اسلکه در حالات مختلف خرابی می‌شود.

### ۶- نتیجه‌گیری

در پاسخ لرزه‌ای و نمودارهای IDA اسکله در سال‌های مختلف می‌گردد.



شکل ۸- منحنی‌های شکنندگی به تفکیک سطوح خرابی در سنین مختلف

سالخورده احتمال بیشتری برای رسیدن به معیارهای حدی دارد که این احتمال با افزایش سالخوردگی ناشی از خوردگی محیطی، افزایش می‌یابد.

این پدیده موجب آسیب‌پذیرتر شدن اسکله در سه حالت سرویس‌دهی، تعمیرپذیری و نزدیک فروپاشی می‌شود. به عبارت دیگر، در یک PGA مشخص، سازه‌ی

## مراجع

- [1] Soleimani, K., Ketabdari, M., & Ebadi Manesh, M. (2015). "The system of piles and decks and the development of its use in the coastal areas", 1St National Congress on Construction Engineering and Projects Assessment (in Persian).
- [2] Ebrahimi, A., Baharvandi Askar, M., Deilami, M., & Chegini, V. (2016). "Effect of destruction and corrosion in marine and coastal structures of hot and humid areas", International Conference on Civil and Urban Architecture (in Persian).
- [3] Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2002). "Incremental dynamic analysis", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31(3), 491-514.
- [4] Sayadi, H., Akbarpour Nik Ghalb Rashti, A., & Rabieefar, H. (2016). "Investigation of corrosion of reinforcement in concrete structures on the southern coast of Iran", 2nd International Conference on Research in Science and Technology (in Persian).
- [5] Farhadi, H., Gardandeh, A., & Jafari Abdolmaleki, M. (2016). "The effect of corrosion caused by chloride ions in reinforcement on the bearing capacity of concrete members in marine environments", Second National Conference on Architecture, Civil Engineering & Urban Modern Development (in Persian).
- [6] Dashti Naser Abadi, H., & Ranjbar, R. (2015). "Investigation of the Effects of Chloride, Sulfate, and Carbonation on Structures in Marine Environment", National Conference on Engineering Science, New Ideas, Tonkabon (in Persian).
- [7] Dang, V. H., & François, R. (2014). "Prediction of ductility factor of corroded reinforced concrete beams exposed to long term aging in chloride environment", *Cement and Concrete Composites*, 53, 136-147.
- [8] ICHII, K., IAI, S., SATO, Y., & LIU, H. (2002). "Seismic performance evaluation charts for gravity type quay walls", *Structural Engineering/Earthquake Engineering*, 19(1), 21s-31s.



- [9] Kadkeri, K., & Pitilakis, K. (2010). "Seismic analysis and fragility curves of gravity waterfront structures", In Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I.M. Idriss, San Diego, CA, Paper No. 6.04a.
- [10] Ko, Y.-Y., Yang, H.-H., & Chen, C.H. (2010). "Seismic fragility analysis for sheet pile wharves – Case study of the Hualien harbor in Taiwan", In Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I. M. Idriss, San Diego, CA, Paper No. 6.05a.
- [11] Chiou, J. S., Chiang, C. H., Yang, H. H., & Hsu, S. Y. (2011). "Developing fragility curves for a pile-supported wharf", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(5-6), 830-840.
- [12] Ghosh, J., & Padgett, J. E. (2010). "Aging considerations in the development of time-dependent seismic fragility curves", *Journal of Structural Engineering*, 136(12), 1497-1511.
- [13] Karapetrou, S., Fotopoulou, S., & Pitilakis, K. (2013). "Consideration of aging effects on the time-dependent seismic vulnerability assessment of RC buildings", In *Vienna congress on recent advances in earthquake engineering and structural dynamics*.
- [14] Soltani, K. (2009). "Linear and nonlinear analysis with SAP2000 software", (in Persian).
- [15] 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.
- [16] Amirabadi, R., Bargi, K., Dolatshahi Piroz, M., Heidary Torkamani, H., & McCullough, N. (2014). "Determination of optimal probabilistic seismic demand models for pile-supported wharves", *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(9), 1119-1145.

**R. AmirAbadi\***

Assistant Professor,  
Department of Civil  
Engineering, Faculty of  
Engineering, University of  
Qom.

**e-mail:** r.amirabadi@qom.ac.ir

**H. Arbabi**

MSc, Department of Civil  
Engineering, Faculty of  
Engineering, University of  
Qom.

**e-mail:** Arbabi.hossein@yahoo.com

**A. Arezoumand**

Lecturer, Department of Civil  
Engineering, Faculty of  
Engineering, University of  
Qom.

**e-mail:** arezoomandabolfazl@gmail.com

**M. Saleh**

MSc, Department of Civil  
Engineering, Faculty of  
Engineering, University of  
Qom.

**e-mail:** m.saleh@stu.qom.ac.ir

**Evaluation of the Seismic Vulnerability of Piles and Metal Decks Due to the Aging of the Structure**

*Since ports and docks play a major role in developing a country, they should pay particular attention to these types of structures. Special attention is not just to successive build-ups, but after constructing, paying attention to these types of structures, it should have the optimal service as the first years of establishment. Pile and metal deck have been shown that vulnerable to corrosion and erosion, in the humid coastal area of the Persian Gulf, with high chloride ions. Given our country's position in a seismic region, we must pay attention to high-value buildings against natural phenomena. Therefore, by recognizing the vulnerability of these structures against corrosion, the level of damage to the structure against the earthquake can be assessed and considered in the design process or in maintenance methods. In this paper, a conventional pile and metal deck in the Persian Gulf for 3D modeling in the SAP2000 software has been used. Five models of the docks were modeled at 0, 12.5, 25, 37.5 and 50. To investigate the response of the seismicity of the models, an increasing dynamic analysis, which includes eight seismic records in seven different scales, was used. Finally, with the help of the breakdown criteria that were extracted from the overlapping analysis, the fracturing curves of the dock were presented in three modes: service, repair and close to collapse. After analyzing and observing the data, the result is that aging changes the quiver response and IDA curves and increases the structural vulnerability.*

**Keywords:** Pile and metal deck, Corrosion, Steel Pile, Seismic behavior, Aging.

---

\* Corresponding author