



## بررسی سطوح عملکرد سکوی ثابت دریایی تحت بار زلزله

علی اکبر گل افشانی<sup>۱</sup>، محمد رشوند<sup>۲</sup>، محمدحسن حائری<sup>۳</sup>

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی شریف، [golafshani@sharif.edu](mailto:golafshani@sharif.edu)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه صنعتی شریف

۳- دانشجوی دکترای زلزله، دانشگاه صنعتی شریف

### چکیده

سکوهای نفتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند به طوری که درآمد کشور گاه به میزان استخراج نفت و گاز بر روی این سازه‌ها وابسته است. لذا وقفه در عملکرد و تولید سکو ضرر زیادی را به کشور تحمیل خواهد کرد. بنابراین محافظت، نگهداری، تعمیر و از همه مهم‌تر تشخیص به موقع خرابی در سکو و نیز هشدار به موقع جهت ادامه روند فعالیت سکو بسیار با اهمیت است. پس از تشخیص خرابی، لازم است به ارزیابی سکو پرداخته شود و تصمیماتی مبنی بر ادامه فعالیت سکو یا متوقف کردن آن اتخاذ گردد. لازمه این امر تعریف سطوح عملکرد برای ارزیابی سازه است. در این تحقیق ابتدا مدلی از سکو در نرم‌افزار المان محدود ساخته می‌شود، سپس به بررسی آئین نامه‌های ساختمانی و سازه‌های دریایی در زمینه ارزیابی سازه‌ها پرداخته خواهد شد و مقایسه‌ای بین این آئین نامه‌ها انجام خواهد شد. در این مقاله پارامترهای  $DSR_L$  و  $RSR_L$  جهت ارزیابی سکوهای دریایی پیشنهاد شده که بسیار مناسب می‌باشد.

کلمات کلیدی: سکوی دریایی، ارزیابی سکو، سطوح عملکرد، بار زلزله

### ۱- مقدمه

از اواخر قرن ۱۹ میلادی سکوهای ثابت دریایی پا به عرصه تولید نفت و گاز گذاشتند. این سکوها معمولاً تحت شرایط سخت محیطی قرار دارند. بارهای دینامیکی شامل باد، موج، جریان و زلزله، در طراحی این سازه‌ها، بارهای غالب می‌باشند [1]. از طرف دیگر، سکوهای دریایی شریان حیاتی برای اقتصاد کشورهای نفت خیز به شمار می‌روند که سود اقتصادی کلان حاصل از تولید آنها، توقف کارکرد آنها را بسیار پرهزینه می‌کند. بنابراین ضروری است که عملکرد آنها با وقوع زلزله و یا تحت اثر جریان موج و باد دچار خدشه نشود. از دیگر سو، با توجه به هزینه بسیار بالای ساخت سکوهای جدید، مرمت و مقاوم‌سازی سکوهای موجود در اولویت قرار دارد.

استفاده از این سازه‌ها در عمق‌های کم و متوسط، بسیار مناسب و اقتصادی است، به همین جهت به طور گسترده‌ای در خلیج فارس مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه طول عمر متوسط این سازه‌ها در حدود ۲۵ سال می‌باشد، بسیاری از سکوهای موجود در خلیج فارس، از

طول عمر مفید خود عبور کرده‌اند، به همین دلیل مقاوم‌سازی و بهسازی آن‌ها به شدت مورد توجه می‌باشد. در مورد سکوه‌های جدید نیز، طراحی آن‌ها به گونه‌ای که در مقابل وقوع زلزله، بخوبی مقاومت کرده و کارکرد خود را بخوبی ایفا نمایند، بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

در زمینه ارزیابی سکوه‌های شابلونی مطالعات محدودی انجام شده است. کریگر و همکاران فرآیند ارزیابی سکوه‌های موجود را توصیف کردند. کریگ<sup>۱</sup> و همکاران [2] معیارهای ارزیابی برای بارگذاری‌های مختلف را توصیف کردند. گل افشانی و همکاران [3] بهبود روش‌ها و معیارهای ارزیابی استاندارد ای پی آی [4]<sup>۲</sup> را به وسیله پیش استاندارد ساختمانی مطرح کردند. در این مقاله با بررسی آیین‌نامه‌های موجود در زمینه سازه‌های دریایی و پیش استانداردهای ساختمانی سطوح عملکرد سکوه‌های ثابت دریایی پس از وقوع زلزله بررسی خواهد شد.

## ۲- بررسی آیین‌نامه‌های موجود در زمینه ارزیابی سازه دریایی و ساختمان‌ها

در این قسمت ابتدا مقایسه‌ای بین آیین‌نامه‌های موجود در زمینه سازه‌های دریایی و ساختمانی انجام داده و سپس پارامترهای مقاومتی جهت تعریف سطوح عملکرد سکوه‌های دریایی ارائه خواهیم کرد. آیین‌نامه‌های موجود در زمینه ارزیابی سکوه‌های دریایی در بحث بارهای محیطی بیشتر با نگرش مقاومت (برش پایه و لنگر واژگونی) به مساله برخورد می‌کنند و در این بخش پارامترهای مقاومتی جهت تعریف سطوح عملکرد سکوه‌های دریایی ارائه خواهد شد.

## ۱-۲ بررسی آیین‌نامه‌های پی‌آی در زمینه ارزیابی سکوه‌های دریایی

این آیین‌نامه در فصل ۱۷ خود به بحث ارزیابی سکوه‌های دریایی پرداخته است که طبق آن سکوی نوع با خطر پذیری بالا برای بار لرزه ای کافی است اگر نیازهای ایمنی جانی همراه با متعلقات سکو را برآورده کند و همچنین با یک آنالیز معقول بتوان نشان داد که سکو می‌تواند در مقابل بارهای زلزله با دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال، بدون فروریزش مقاومت می‌کند. در مورد سکوی با خطر پذیری پایین زلزله با دوره بازگشت ۵۰۰ سال مدنظر قرار می‌گیرد. پارامتری به نام  $RSR^3$  نسبت مقاومت باقیمانده در این آیین‌نامه جهت ارزیابی سکوه‌های ثابت دریایی ارائه شده است که برابر است با نسبت مقاومت حداکثر سازه به مقاومت طراحی، که برای سکوه‌های با اهمیت کم این مقدار برابر حداقل ۰٫۸ و برای سکوه‌های با اهمیت بالا برابر حداقل ۱٫۶ می‌باشد. در این مقاله برای هر سطح عملکرد نسبت مقاومت حداکثر سازه به نیروی مقاوم در سطح عملکرد مورد نظر بدست آورده خواهد شد که آن را با  $RSR_L^4$  نمایش می‌دهیم. پارامتر دیگری که در این مقاله از آن استفاده خواهد شد  $DSR^5$  که برابر است با نسبت مقاومت سازه وقتی که اولین عضو از آن توان باربری خود را از دست بدهد (یا اینکه به شدت آسیب ببیند) به نیروی طراحی سازه، در این مقاله ما از این نسبت به این صورت استفاده می‌کنیم که نسبت حداکثر نیروی مقاوم سازه به نیروی مقاوم در سطح

<sup>1</sup> Craig

<sup>2</sup> API

<sup>3</sup> Reserve Strength Ratio

<sup>4</sup> Reserve Strength Ratio Level

<sup>5</sup> Damage Strength Ratio

عملکرد مورد نظر که با  $DSR_L^1$  نشان می دهیم. نیروی مورد نظر در هر سطح عملکرد را متناسب با تغییر مکان آن سطح عملکرد که از استاندارد فما ۳۵۶<sup>۲</sup> [5] بدست می آید بدست می آوریم.

## ۲-۲ بررسی استاندارد فما ۳۵۶ در زمینه ارزیابی ساختمان ها

این استاندارد در ارزیابی سازه، اعضا و دیگر جزئیات می پردازد. بر مبنای تعریف سطوح عملکرد سازه ای و غیر سازه ای در ساختمان ها، چهار سطح عملکرد مختلف شامل سطح عملیاتی، قابلیت استفاده بی وقفه، ایمنی جانی و جلوگیری از فروریزش تعریف شده است. عمل اعضا به دو دسته نیرو-کنترل و تغییر شکل-کنترل تقسیم بندی می شوند. در این مقاله علاوه بر استفاده از معیارهای سطوح عملکرد ذکر شده در استاندارد فما ۳۵۶ از معیاری که آئین نامه ای پی آی جهت ارزیابی سکو ارائه داده است استفاده خواهد شد.

سکوهای دریایی از جهت رفتار سازه‌ای، مشابه یک قاب فولادی با مهاربند عمل می کنند. پایه های یک سکو دریایی مانند ستون در ساختمان ها و مهاربندهای افقی و قائم یک سکو همانند مهاربندهای ساختمان عمل می کنند. به این جهت ما از استاندارد فما ۳۵۶ می توانیم استفاده کنیم.

## ۳-۲ مقایسه روش ارزیابی فما ۳۵۶ و ای پی آی

فما ۳۵۶ بر خلاف ای پی آی جهت ارزیابی به اعضا توجه دارد که این موضوع دارای مزایایی به شرح زیر می باشد:

- خرابی مجموعه سازه از خرابی اعضای آن آغاز می شود و خرابی یک عضو می تواند سرمنشا عوامل مخربی گردد. در نتیجه نتایج بدست آمده قابلیت اطمینان بیشتر و خطر پذیری کمتر دارند.
  - با توجه به دوره زمانی ارزیابی و با توجه به شرایط هر عضو می توان یک معیار مشخص را برای ارزیابی آن در نظر گرفت. این موضوع به خصوص در سکوهای شابلونی اهمیت ویژه ای می یابد. به عنوان نمونه در این حالت بر اساس عمرخستگی اعضا در مقابل بار موج، می توان ملاک های مختلف را برای هر عضو در نظر گرفت
  - می توان طرح بهسازی بهتری ارائه داد بدین صورت که با اطلاع از مقدار پاسخ اعضا و با تغییر مسیر بارگذاری می توان یک تعادل منطقی بین مقادیر پاسخ تمام اعضای سکو برقرار کرد.
- استاندارد فما ۳۵۶ روش های ساده شده مانند روش ضرایب را به منظور سهولت روند تعیین پاسخ ها ارائه کرده است این روش های می تواند برای بارهای دیگر مانند موج نیز به کار رود.

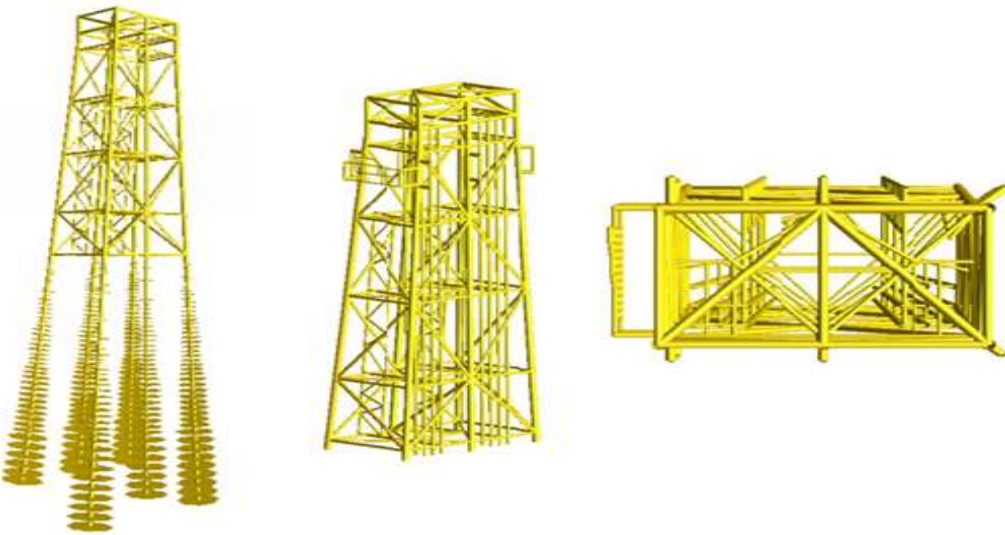
<sup>1</sup> Damage Strength Ratio Level

<sup>2</sup> FEMA 356

### ۳- سکوی مورد مطالعه

سکو مورد مطالعه در این مقاله، سکوی پایه ثابت فلزی SPD2 است که در فاز اول منطقه گازی پارس جنوبی در خلیج فارس در ۱۰۵ کیلومتری عسلویه (جنوب ایران) واقع است. این سکوها در عمق ۶۵ تا ۷۰ متری عمق دریا و در منطقه جدا شدن صفحه عربستان از صفحه اوراسیا (ایران مرکزی) واقع شده اند [۶].

این سازه دریایی در سال ۱۳۸۱ ساخته شده است، که تقریباً چهل درصد عمر مفید آن گذشته است. در شکل شماره ۱ نماهای سه بعدی مختلف این سکو نشان داده شده است.



شکل ۱: نماهای مختلف ۳ بعدی سکوی SPD2 [۶]

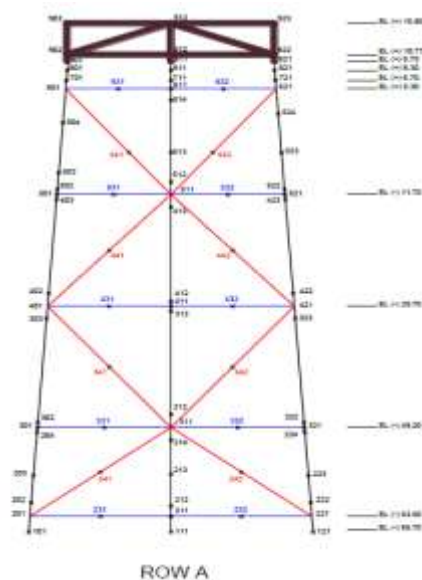
ابعاد پلان این سکو تقریباً برابر ۱۶,۰۰ متر در ۲۷,۵۰ متر در بالاترین تراز و ۲۳,۴ متر در ۳۷,۷ متر در کف دریا است. ارتفاع سازه سکو از کف دریا ۸۱,۵۰ متر است و این سازه به وسیله ۶ شمع گروت شده به کف دریا ثابت شده است. ۴ شمعی که در ۴ گوشه سکو قرار دارند تا عمق ۸۵ متری زیر کف دریا امتداد دارند. در حالی که ۲ شمع میانی تا عمق ۷۹ متری کف دریا امتداد دارند.

### ۴- مدل سازی

#### ۴-۱ مدل سازی سکو

مدلسازی رفتار سکوهایی شابلونی در مقایسه با سازه های دیگر، از پیچیدگی های بیشتری برخوردار است. به منظور کاهش حجم محاسبات و حجم مدل سازی، پاسخ سازه تنها برای یک مدل دو بعدی از سازه صورت گرفته است برای مدل سازی از برنامه OpenSees [7] استفاده شد. مدل سازه شامل قسمت فوقانی سکو، زیر سازه، شمع ها و خاک پیرامون آنها، به منظور در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک-

شمع-سازه می باشد. در این برنامه برای مدل‌سازی مقاومت جانبی، مقاومت اصطکاکی و مقاومت قائم انتهای شمع به ترتیب از مواد  $q-t-z$ ،  $p-y$  استفاده می شود. در این مطالعه در مدل‌سازی رفتار سازه و بررسی آن قسمت فوقانی سکو به دلیل سختی زیاد آن با تعدادی اعضای صلب مدل‌سازی شده است که در شکل شماره ۲ مشخص می باشد. جهت مدل‌سازی اعضای سکو، از مصالح فولاد ۰۲ از کتابخانه نرم‌افزار استفاده شده است. شبیه‌سازی پاسخ اعضای قاب سکو با استفاده از المان‌های تیر-ستون غیرخطی<sup>۱</sup> بر مبنای نیرو و با پلاستیسیتیه گسترده و با مقطع از نوع فایبر<sup>۲</sup> صورت گرفته است.



شکل ۲: مدل دو بعدی سکوی SPD2 مدل‌سازی شده در نرم افزار OpenSees

در جدول ۱ جزئیات مربوط به مدل ایجادشده در نرم‌افزار OpenSees را مشاهده ارائه شده است.

جدول ۱- جزئیات مربوط به مدل ایجادشده در نرم‌افزار OpenSees

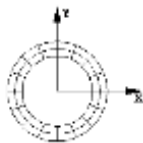
<i>Constrain</i>	<i>Plain</i>
<i>Numberer</i>	<i>RCM</i>
<i>System</i>	<i>Band General</i>
<i>Test</i>	<i>Energy Increment</i>
<i>Algorithm</i>	<i>Newton</i>
<i>Integrator</i>	<i>Newmark</i>
<i>Analysis</i>	<i>Transient</i>

<sup>1</sup> Nonlinear Beam Column Element

<sup>2</sup> Fiber Section

## ۴-۲ مدل‌سازی رفتار مهاربندهای کمانش پذیر متداول (CBF<sup>۱</sup>)

مهم‌ترین پدیده غیرخطی که در هنگام زلزله برای یک قاب مهاربندی شده رخ می‌دهد کمانش عضو مهاربندی است و این مسئله بر رفتار قاب مهاربندی شده در زلزله تأثیر مستقیم دارد. برای مدل‌سازی کمانش عضو مهاربندی بایستی تغییر مکان‌های کوچک عرضی و طولی ناشی از ممان‌های ثانویه را در هنگام تحلیل محاسبه کرد و همچنین اثر نیرو-ممان را با دقت مناسبی در پلاستیک شدن مقطع در نظر گرفت. این کار با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار OpenSees در مدل‌سازی رفتار غیرخطی مواد ممکن می‌باشد. در این نرم‌افزار نوع المان مورد استفاده باید از نوع تیر-ستون ۲ باشد تا توانایی در نظر گرفتن اثر نیرو-ممان را در مقطع عضو داشته باشد. در نرم‌افزار OpenSees سه نوع المان تیر-ستون با این قابلیت وجود دارد. المانی که در اینجا استفاده می‌گردد، المان کتابخانه‌ای تیر-ستون غیرخطی خواهد بود که توانایی در نظر گرفتن اثر پلاستیک شدن را در طول کل عضو دارا می‌باشد. همچنین نوع مقطعی که برای عضو در نظر گرفته شده، به صورت فایبر خواهد بود تا با بیشترین دقت، برنامه به محاسبه تنش‌های موجود در مقطع بپردازد. در این حالت از گزینه پتچ (Patch) دایره‌ای به صورت شکل ۳ استفاده می‌گردد.



شکل ۳ - مقطع متشکل از فایبر در نرم‌افزار OpenSees

نرم‌افزار OpenSees همانند بسیاری از برنامه‌های المان محدود، سختی عضو را ابتدا در حالت محلی محاسبه کرده و سپس توسط تبدیل‌های سختی، آن‌ها را از حالت محلی به حالت کلی تبدیل می‌کند. دقیق‌ترین تبدیل موجود در این نرم‌افزار که توانایی در نظر گرفتن جابجایی‌های ناشی از ممان<sup>۲</sup>‌های ثانویه را نیز دارد، تبدیل چرخشی<sup>۳</sup> می‌باشد که در این مدل‌سازی، از آن استفاده شده است.

برای مدل‌سازی نحوه کمانش غیرالاستیک عضو تحت بار محوری در ابتدای تحلیل در محلی که احتمال ایجاد مفصل پلاستیک ناشی از کمانش عضو را می‌دهیم، باید یک خروج از مرکزیت اولیه در عضو ایجاد نماییم تا برنامه در حین تحلیل، با تشدید این خروج از مرکزیت، نیروی کمانشی را در عضو بیابد. در این مدل‌سازی مهاربندهایی با دو عضو تیر-ستون غیرخطی بکار رفته که در گره میانی آن‌ها، یک خروج از مرکزیت به میزان  $L/1000$  در نظر گرفته شده است. مدل‌سازی پیچیده‌تر استفاده از چهار عضو تیر-ستون غیرخطی می‌باشد. مدل‌سازی انجام شده در شکل ۴ نشان داده شده است.



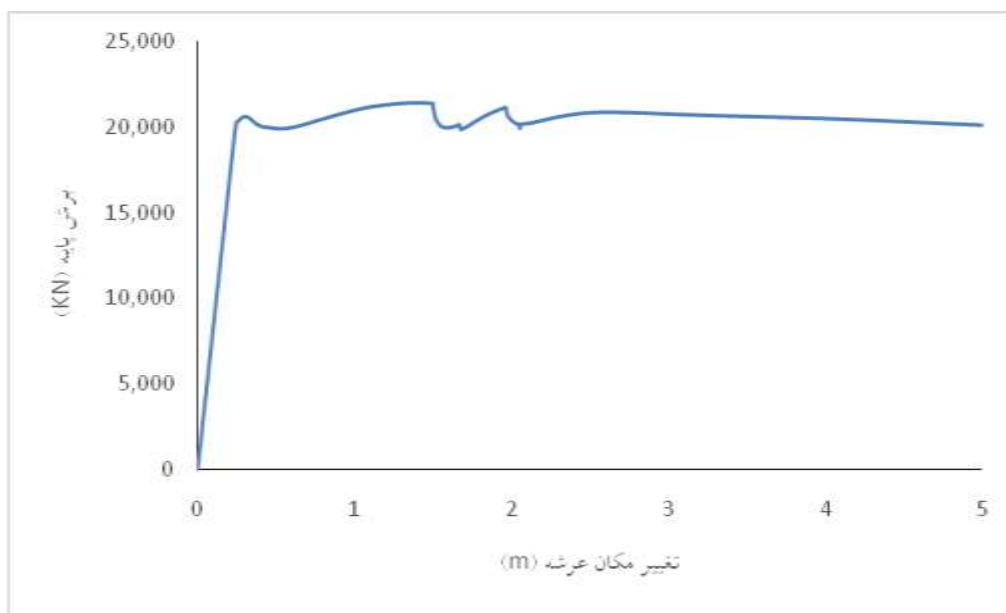
شکل ۴ - استفاده از ۲ عضو تیر-ستون غیرخطی

<sup>۱</sup> Conventional bracing frame  
<sup>۲</sup> Beam Column Element  
<sup>۳</sup> Corotational Transformation

## ۱-۵ پارامترهای ارزیابی اعضا و عملکرد غیرخطی سازه

ارزیابی سازه با استفاده از آنالیز پوش-اور انجام شده است. برای آنالیز پوش اور از طیف طراحی استاندارد مربوط به محل استفاده شده است. پارامترهای ارزیابی اعضا شامل حد پایین مقاومت برای عمل های نیرو-کنترل و مقدار تغییر شکل مجاز برای عمل های تغییر شکل-کنترل می باشد. برای اعضای مهاربند که حالت فشار و کشش در آنها، تغییر شکل-کنترل می باشد.

برای مرور رفتار کلی سازه می توان از منحنی پوش اور آن استفاده کرد. در شکل ۵ منحنی پوش اور سکو برای توزیع بار جانبی مطابق با مود اول ارتعاش سازه نشان داده شده است. به دلیل کارآمد بودن مود اول ارتعاش در این سازه ها به نظر می رسد این توزیع بار جواب های قابل قبولی را ارائه کند.



شکل ۵: منحنی پوش اور سکوی SPD2 برای بارگذاری جانبی مطابق با مود اول

## ۲-۵ ارزیابی به وسیله استاندارد ای پی آی

طبق این استاندارد فروریزش در نقطه ای اتفاق می افتد که سازه عملاً قادر به تحمل بارهای ثقلی نباشد و دچار مکانیزم شود. طبق منحنی پوش اور سازه می توان گفت که بار فروریزش مقدار بیشینه باری است که سازه می تواند قبل از اینکه منحنی بار-خیز آن شروع به حالت نزولی کند تحمل کند. برای سکوی حاضر مقدار جابجایی عرشه مقارن فروریزش در حدود ۲,۶۲ متر می باشد.

طبق نمودار پوش اور حداکثر مقاومت سازه برابر  $21.441 \text{ MN}$  می باشد و نیز مقاومت سازه هنگامی که اولین عضو قدرت باربری خود را از دست داده برابر  $20.6 \text{ MN}$  می باشد. در جدول شماره ۲ مقادیر  $DSR_L$  و  $RSR_L$  نشان داده شده است.

جدول ۲: مقادیر  $DSR_L$  و  $RSR_L$  متناسب با هر سطح عملکرد

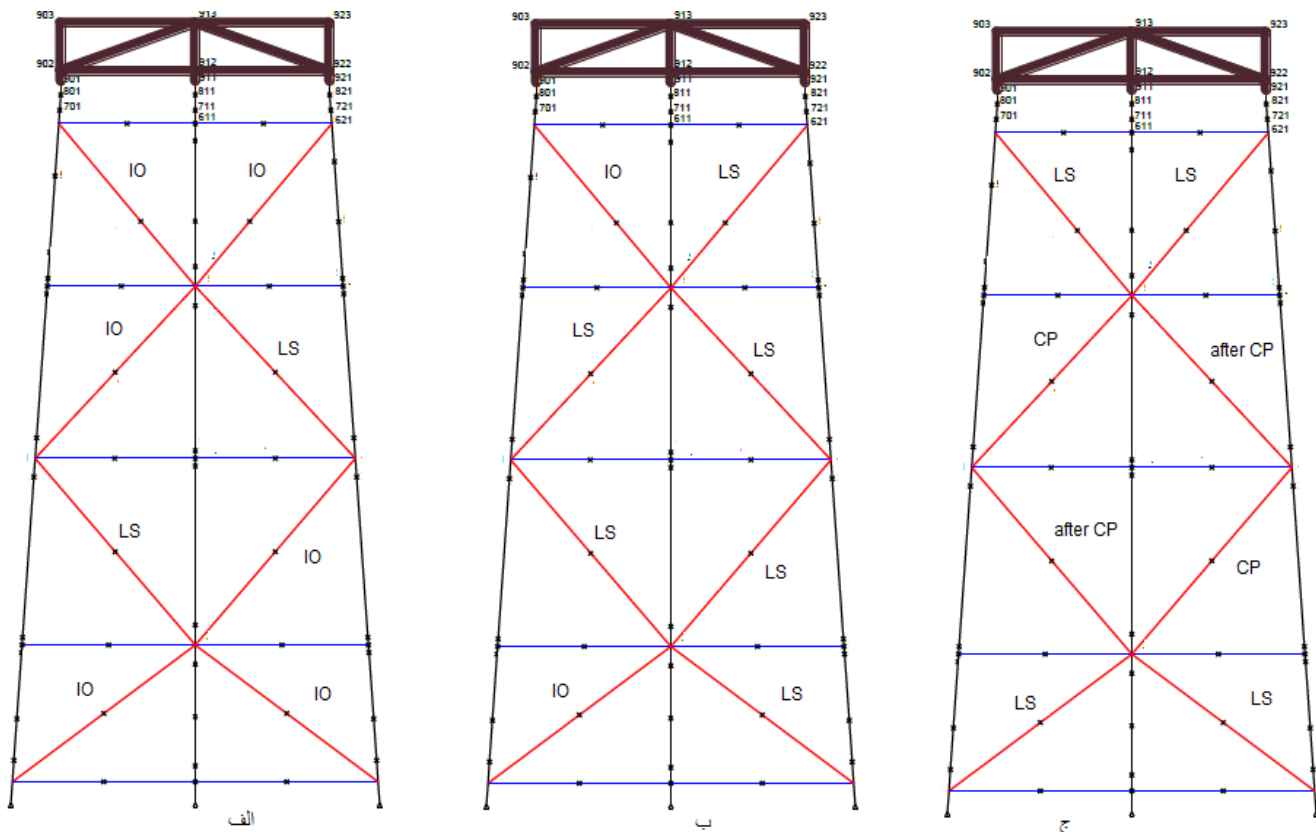
	سطوح عملکرد		
	IO	LS	CP
$RSR_L$	۱,۳۴	۱,۱۳	۱,۰۲
$DSR_L$	۱,۲۹	۱,۰۸	۰,۹۸

طبق مقادیر بدست آمده اگر طبق آئین نامه ای پی آی سکوی ما چون دارای اهمیت زیاد است حداقل  $RSR$  که برابر ۱,۶ می باشد این سطوح عملکرد ارضا نمی کند و سازه احتیاج به مقاوم سازی دارد. البته اعدادی که ای پی آی مطرح می کند قابل نقد می باشد چون طبق نمودار پوش اور سطح عملکرد استفاده بی وقفه در محدوده الاستیک خطی می باشد و سازه کاملاً پایدار و احتیاجی به مقاوم سازی ندارد. اعداد بدست آمده می تواند شروع خوبی برای تعریف سطوح عملکرد در سکوهایی دریایی باشد که احتیاج به پژوهش های بیشتری در این زمینه می باشد.

#### ۲-۵ ارزیابی به وسیله فما ۳۵۶

در این قسمت صرفاً رفتار مهاربندها بررسی می شود. مطابق شکل ۶ دیده می شود که برای زلزله های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ سال تمامی اعضای سکوی مدنظر تا سطح عملکرد ایمنی جانی جوابگو می باشند. از این نظر می توان گفت که قسمت اول از هدف ایمنی مبنای فما ۳۵۶، که سطح عملکرد ایمنی جانی برای زلزله های ۵۰۰ ساله می باشد، به دست آمده است. اما برای زلزله ۲۵۰۰ ساله ملاحظه می گردد که عضو مهاربندی تراز دوم و سوم سکو، از معیار سطح عملکرد جلوگیری از فروریزش هم عبور کرده است و در نتیجه برای تامین شرط دوم از هدف ایمنی مبنای فما ۳۵۶، لازم است پاسخ در محدوده مجاز قرار بگیرد





شکل ۶: سطح عملکرد مهاربندها در زلزله با دوره بازگشت (الف) ۵۰۰ سال، (ب) ۱۰۰۰ سال و (ج) ۲۵۰۰

### ۳-۵ نتیجه گیری

در این مقاله به تشریح روند ارزیابی لرزه ای جهت بررسی سطوح عملکرد سکوهاى ثابت دریایی به وسیله استانداردهای ای پی آی و فمما ۳۵۶ پرداخته شد و مقایسه کمی و کیفی بین روش ارزیابی دو استاندارد ذکر شده انجام شد. پارامترهای مقاومتی  $DSR_L$  و  $RSR_L$  جهت تعریف سطوح عملکرد سکوهاى دریایی در این مقاله برای اولین بار ارائه شد که معرف خوبی از هر سطح از عملکرد سکوهاى دریایی می باشد. به منظور تشریح بهتر مطالب بیان شده پیرامون بحث ارزیابی سکوهاى ثابت دریایی، مراحل ارزیابی قید شده برای یک سکوی موجود در خلیج فارس به کار گرفته شد. در ابتدا بر اساس منحنی پوش اور سکوی حاضر یک مطالعه کلی بر رفتار سکو صورت گرفت. در ادامه سکوی حاضر بر اساس معیارهای دو استاندارد ای پی آی و فمما ۳۵۶ و همچنین پارامترهای ارائه شده توسط نویسنده مورد ارزیابی واقع شد. مشخص شد که روش فمما ۳۵۶ قابلیت اعتماد بالاتری دارد و می توان روند ارزیابی لرزه ای ای پی آی رو با توجه به پیش استانداردهای ساختمانی و پارامترهای ارائه شده توسط نویسنده بهبود بخشید

- [۱] Tabeshpour, M.R., Komachi, Y., and Golafshani, A.A., Assessment and Rehabilitation of Jacket Platforms. 2012. Prof. Abbas Moustafa (Ed.), ISBN: 978-953-51-0123-9, InTech, DOI: 10.5772/29927. Available from: <http://www.intechopen.com/books/earthquake-resistant-structures-design-assessment-and-rehabilitation/assessment-and-rehabilitation-of-jacket-platforms>
- [۲] Craig, M.J.K., Digre, K.A, “Assessment of High-Consequence Platforms; Issues and Applications”, Proceedings of Offshore Technology Conference, OTC 7485, Houston, Texas 1994
- [3] Golafshani, A., Tabeshpour, M. Komachi, Y., “Assessment and retrofit of existing jacket platforms using Friction Damper Devices”, 8<sup>th</sup> international conference of ocean industries, Bushehr university, Bushehr, Iran; 2006
- [4] American Petroleum Institute “recommended practice for planning, design and constructing fixed offshore platforms”, API PR 2A(21<sup>th</sup> edition) American Petroleum Institute, Washington, DC, 2000.
- [5] FEMA-356 (2000) Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building. Report FEMA-356 Federal Emergency Management Agency, Washington, DC
- [۶] ابراهیمیان، حسین. (۱۳۹۰). ارزیابی سکو های دریایی در منطقه خلیج فارس برای افزایش عمر یا تغییر شرایط بهره‌برداری. پایان نامه دکتری. دانشگاه صنعتی شریف
- [۷] OpenSees 2013. Open system for earthquake engineering simulation. Available online: <http://opensees.berkeley.edu>