



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10-8 آذر ماه (تهران)



ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اسکله‌های شمع و عرشه

محمد علی شبانکاره ، دانشجو ، دانشگاه آزاد اسلامی-واحد بندرعباس ، m.a.shabankare@gmail.com

محمد جواد کتابداری ، دانشیار ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر ، ketabdar@aut.ac.ir

حمید عرب زاده ، مربی ، دانشگاه پیام نور-واحد بوشهر ، arabzadehhamid@gmail.com

کلید واژه: اسکله شمع و عرشه، ارزیابی لرزه‌ای، بهسازی، تحلیل غیر خطی

چکیده

ایران با بیش از 3000 کیلومتر مرز ساحلی یکی از کشورهای پر ساحل دنیا محسوب می شود. بنابراین طراحی، ساخت، ترمیم و تقویت سازه‌های دریایی در نواحی ساحلی ایران به یک ضرورت تبدیل شده است. از این میان، اسکله شمع و عرشه به دلایل متعدد مورد توجه بیشتری واقع است. در طراحی این اسکله ها ضوابط مختلف توصیه شده در آیین نامه‌های معتبر سازه‌های دریایی بایستی رعایت گردد. این ضوابط تأثیرات ناشی از عوامل جوی را در طول عمر سازه در کنار شرایط فوق العاده در خود جای داده اند. بنابراین درجه اهمیت و کاربری این سازه‌ها، بررسی‌های دقیق تر در این خصوص را ایجاب می کند.

در این تحقیق دو مورد اسکله شمع و عرشه یکی با شمعهای قائم و دیگری با شمعهای مایل که از اسکله های مورد بهره برداری در بندر پتروشیمی پارس جنوبی می باشند. به کمک نرم افزار اجزای محدود مدل گردید. پس از تحلیل بار افزون اسکله تحت اثر بار های ذکر شده ، نتایج حاصل از آنالیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. با بررسی پاسخ این سازه ها نقاط ضعف آنها پیدا شده سپس سیستم مقاوم لرزه ای بصورت متناسب با سازه اسکله موجود پیشنهاد گردید. همچنین بار تحریک لرزه‌ای مناسب جهت اعمال به سازه و بدست آمدن بحرانی‌ترین پاسخ انتخاب گردید. به دنبال آن مدل‌سازی اندرکنش خاک - سازه با توجه به نوع خاک محل احداث سازه صورت گرفت و تغییرات خاک در بستر شمع‌های اسکله به روش طول گیرداری معادل که برگرفته از آیین‌نامه سازه‌های دریایی ژاپن می‌باشد انجام شد و پاسخ سازه بهسازی شده با پاسخ سازه در حالت اول مقایسه گردید. نتایج حاصل از مدل سازی و تحلیل‌های عددی نشان می‌دهند روش بهسازی پیشنهادی در این تحقیق به نحو قابل توجهی رفتار سازه را بهبود بخشیده است.

مقدمه

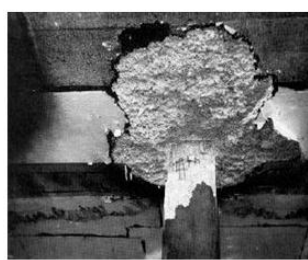
امروزه طیف گسترده‌ای از انواع سازه ها با کاربری های گوناگون همواره در حال ساخت می‌باشند. گسترش رو به رشد اکتشافات منابع عظیم نفتی و گازی از یک سو و مسائل استراتژیکی از سوی دیگر باعث شده است تا سواحل جنوبی ایران دارای اهمیت بسیاری در منطقه باشند و لزوم پیشرفت ساخت اسکله ها و سایر سازه های دریایی در این مناطق امری بدیهی به نظر آید [1]. در بین تمامی سازه های دریایی، اسکله ها با توجه به کاربری های متعدد مورد توجه ویژه قرار گرفته است. این نمونه از اسکله از انواع متعارف در بنادر خلیج فارس است. آب می‌تواند از زیر این نوع سازه عبور کند، بنابراین در محل هایی که در معرض جریان شدید آب قرار دارند مانند اسکله های کنار رودخانه‌ای می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [2].

اسکله های شمع و عرشه به علت مزایای خاص ساخت و بهره برداری خود به عنوان گزینه‌ای بسیار متداول در نقاط مختلف دنیا به کار برده می شود. مرور ادبیات فنی مسئله نشان می دهد که سیستم شمع مایل به همراه شمع قائم از لحاظ لرزه‌ای سیستمی بحث برانگیز در محافل علمی و حرفه‌ای قلمداد می‌شود و شواهد موجود درباره زلزله های گذشته نیز گویای همین امر است. نمونه هایی از عملکرد لرزه ای نامطلوب شمع ها در زلزله در شکل 1 نشان داده شده است. بعد از انجام مطالعات در زمینه مشکلات شمع های مایل، اکنون تلاش های علمی به این سمت و

سو گرایش پیدا کرده است که تا حد امکان با شناخت نقاط ضعف شمع های مایل و اندیشیدن تمهیداتی در این زمان، امکان استفاده بهرتر از سیستم سازه ای شمع و عرشه فراهم آید.



(ب)



(الف)

شکل 1) عملکرد لرزه ای نامطلوب شمع ها در زلزله

در سطوح بین المللی، عدم کفایت استانداردهای شناخته شده طراحی لرزه ای سازه های ساحلی از مدت ها قبل مورد بحث محافل علمی بوده است. استاندارد بین المللی ISO23569 آئین نامه ای موسوم به MOTEMS منتشر نمود که روش هایی برای طراحی انواع سازه های دریایی و فراساحل توصیه می کند که عموماً بر اساس فلسفه طراحی بر اساس عملکرد استوارند [3] و آیین نامه دیگری با عنوان Seismic Design , Guidelines for Port Structures موسوم به دستورالعمل PIANC [4] از جمله تلاش های وسیع بین المللی جهت رفع عدم کفایت روش های دقیق و مناسب طراحی لرزه ای بوده اند . در آیین نامه مقاوم سازی ایران (نشریه 360) ضوابط مختلفی برای انواع تحلیل های استاتیکی خطی، دینامیکی خطی و استاتیکی غیرخطی ارائه شده است و در مورد هر یک از اعضاء سازه های مختلف اقدام به ارائه نوع رفتار عضو شده است که عموماً از FEMA356 و FEMA273 پیروی می نماید [5، 6]. در مورد رفتار جانبی سیستم شمع و عرشه، سیفی و فاخر اقدام به بررسی رفتار شمع های تکی از طریق مدل کردن سازه بوسیله فنر هایی در محدوده رفتاری خطی و غیر خطی نموده اند [7]. در این پژوهش، مکانیزم گسیختگی فنرهای خطی مورد بحث قرار گرفته است. رضوی و همکاران نشان داده اند که استفاده از شمع های مایل در اسکله های شمع و عرشه از طریق بالا بردن سختی جانبی سازه و کاهش تغییر مکان های جانبی سازه به طور چشمگیری، می تواند در کاهش تعداد شمع های قائم و بهبود اقتصاد طرح تأثیرگذار باشد [8]. رضوی و همکاران نشان داده اند که می توان از طریق افزودن یک سیستم مهاربندی برون محور به اسکله شمع و عرشه دارای شمع های مایل، خطی دفاعی برای سایر اعضاء سازه ایجاد نمود که با جاری شدن این سیستم در هنگام بروز زلزله های شدید می تواند نقش فیوز سازه ای را برای اسکله ایفا نموده و از بروز خسارات سازه ای جلوگیری نماید [9]. ارزیابی یک اسکله شمع و عرشه موجود که در زمان طراحی، ضوابط کلیه آیین نامه های روز را برآورده می ساخته است بر اساس آیین نامه های مقاوم سازی موجود، خلاصه ای از کاری است که توسط محرمی و همکاران با همکاری اداره سازه های دریایی و خشکی سازمان بنادر و کشتیرانی کشور انجام شده است [10]. در این پژوهش اقدام به ارزیابی قابلیت سازه از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی بار-افزون شده است.

در این مقاله تلاش شده است یک سازه اسکله دارای سیستم شمع و عرشه که در یکی از سواحل جنوبی ایران مورد بهره برداری است بر اساس روش های توصیه شده در آیین نامه ها مورد ارزیابی قرار گیرد. شکل 2 نمایی از اسکله های مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می دهد.



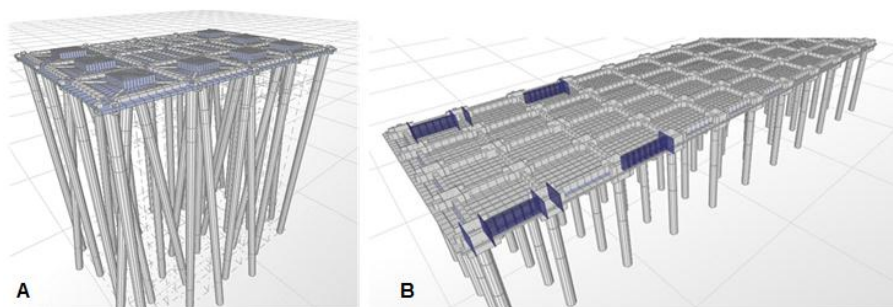
شکل 2) نمودار برش-جابه جایی شمع در اسکله A تحت بار افزون (الف) در جهت محور X، (ب) در جهت محور Y

در این بخش کلیاتی مربوط به مبانی تحلیل‌های غیر خطی در نرم‌افزارهای اجزاء محدود و جزئیات آنالیز ذکر گردیده است. اسکله های مورد مطالعه در دو تیپ اسکله دارای شمع های مایل (A) و اسکله دارای شمع قائم (B) می باشند. در موضوع طراحی اسکله ها راه های مختلف در جهت بهبود عملکرد سازه مطرح گردیده است که از جمله آن ها می توان به اضافه نمودن فیوز سازه ای در حالت استفاده از شمع های مایل (اسکله A) و استفاده از مهاربند بین شمع های اسکله (اسکله B) اشاره نمود. با استفاده از مدل عددی اجزاء محدود سازه اسکله شبیه سازی و آنالیز شده است. اسکله های مورد بررسی از اسکله های مورد بهره برداری در بندر پتروشیمی پارس جنوبی می باشند. اسکله های موجود تحت بارهای مرده و زنده و زلزله است. در اسکله ها معمولاً بار موج در نظر گرفته می شود، اما در این اسکله ها به علت مستقر بودن در پشت یک موج شکن از بار موج صرف نظر می شود. اسکله ها نخست تحت بار های زنده و مرده مطابق با توصیه های آئین نامه ای و مشخصات و جزئیات مصالح بکار رفته قرار گرفته، سپس تحت بارگذاری زلزله قرار گرفته و آنالیز گردیده است.

گیرداری شمع های پایه در خاک در این سازه ها به روش طول گیرداری معادل مدل شده است. در روش طول گیرداری معادل که برگرفته از آیین نامه سازه های دریایی ژاپن می باشد انجام شده به جای مدل کردن شمع با طول موجود شمعی با طول بیشتر مدل می شود که این طول معادل گیرداری پایه مدفون در خاک را شبیه سازی و مدل می کند [11]. در این تحقیق، طول گیرداری معادل شمع های اسکله محاسبه و سپس طول معادل در مدل سازه ای مورد استفاده قرار گرفته است. شمع های مایل که در اسکله ها به کار رفته اند بدین صورت مدل سازی شده اند که قسمت پایه آن در خاک همانند شمع های مستقیم مدل شده و بخش فوقانی آن ها به سرشمع ها متصل شده است. در مدل سازی اسکله های شمع و عرشه، به علت تأثیر مخربی که نیروهای وارد بر روی محل اتصال شمع پایه و دال عرشه می گذارند، در این نقاط از مفاصل پلاستیک استفاده می شود تا در صورت فراتر رفتن جابه جایی ضمن کنترل آسیب وارده به پایه و عرشه حالت رفتار غیر خطی در نظر گرفته شود.

هندسه اسکله A متشکل از دال های عرشه و شمع های پایه در دو نوع قائم و مایل می باشد. ابعاد عرشه این اسکله، $42/6$ متر طول و $29/6$ متر عرض می باشد که از 12 دال بتنی به ابعاد 10 متر طول و 9 متر عرض تشکیل شده است. شمع های پایه بدین صورت می باشند که 20 شمع قائم در 4 ردیف 5 تایی در جهت طول اسکله اجرا شده است. ارتفاع شمع های قائم 35 متر است. همچنین 16 شمع مایل که 8 شمع مایل در جهت طولی و 8 شمع مایل در جهت عرضی اجرا شده است. با این ترتیب شمع گذاری 8 دال از این اسکله هر کدام دارای 2 شمع مایل می باشند. طول این شمع ها برابر 37 متر می باشد. در شکل 3 نمای مدل عددی سه بعدی اسکله های A و B نشان داده شده اند. هندسه اسکله B از قطعات کلی دال های عرشه و شمع های پایه تشکیل شده است. ابعاد عرشه این اسکله، 100 متر طول و 34 متر عرض می باشد که از 40 دال اصلی بتنی به ابعاد 8 متر طول و $7/5$ متر عرض تشکیل شده است. شمع گذاری پایه این اسکله بدین صورت می باشد که تعداد 55 شمع قائم در 11 ردیف 5 تایی در جهت طول اسکله اجرا شده است. به علت شیبی که در پی این اسکله وجود دارد شمع هایی که در ردیف های عرضی قرار می گیرند دارای اختلاف طول می باشند. این شمع ها به ترتیب در ردیف های $9/2$ و $12/4$ و 15 و $17/6$ و 21 متری اجرا شده اند.

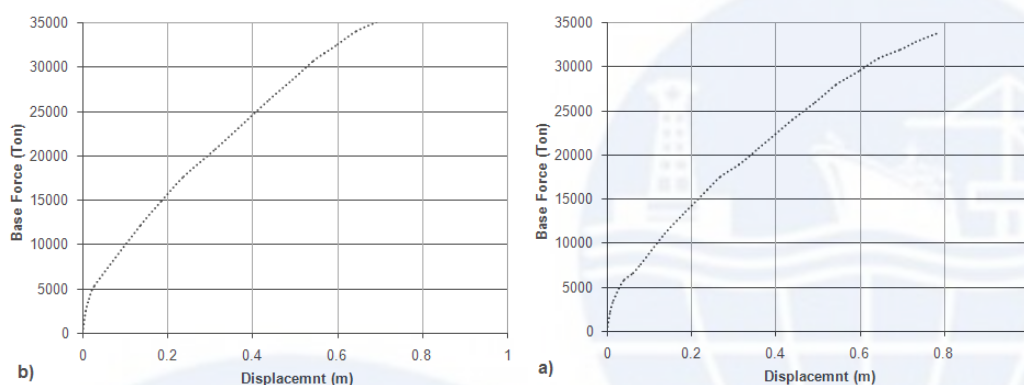
مشخصات هندسی اسکله های مدل سازی شده دقیقاً مشابه اسکله موجود می باشد. بطور خلاصه بارهای وارد شده بر اسکله در مدل عددی عبارتند از بار مرده شامل بار وزن سازه وارد بر دال عرشه، بار زنده که به میزان 4 تن بر متر مربع وارد بر دال عرشه، بار وارد در اثر وجود جرثقیل به وزن 50 تن بر متر، الگوی بارگذاری زلزله در جهت محور X و Y. مدل عددی سازه اسکله مطابق مشخصات ذکر شده ایجاد شده و مورد آنالیز قرار گرفته است.



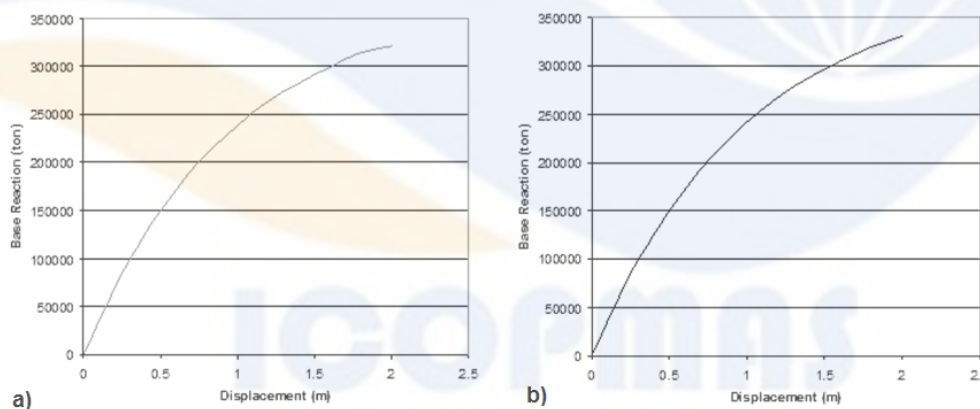
شکل 3) نمای سه بعدی اسکله های A و B

پس از تحلیل بار افزون اسکله تحت اثر بار های ذکر شده ، نتایج حاصل از آنالیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل 4 نمودار برش-جابه‌جایی شمع a رصد شده که در وجه کناری مقطع طولی اسکله A واقع است را تحت بار افزون در جهت محورهای X و Y نشان می‌دهد. همانطور که در شکل های زیر مشاهده می‌گردد، سازه اسکله رفتاری نسبتاً سخت در ابتدای آنالیز از خود بروز می‌دهد، و به دنبال آن سازه تا مقادیر بالایی جابه‌جایی هدف مکانیزم پلاستیک را مقاطع اعضای خود تجربه خواهد کرد. رفتار سازه در این مرحله نیز نسبتاً سخت ملاحظه گردیده است. این حالت می‌تواند سبب شود که سازه تا مقادیر بالایی نیرو در شمع ها رفتار سختی از خود نشان دهد و انتقال چنین نیروهای بزرگی در محل اتصال شمع به عرشه موجب خرابی ناگهانی در دال عرشه گردد که از لحاظ سازه‌ای تهدیدی برای سازه محسوب می‌گردد. در طراحی سازه های اسکله می‌بایست تا حد امکان از طراحی ظرفیت بیش از تقاضای سیستم جلوگیری بعمل آید.

تحلیل های مورد نظر بر روی اسکله B نیز انجام شده اند. در شکل 5 نمودار نیرو - جابه‌جایی برای سر شمع های رصد شده در اسکله B نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که سازه اسکله رفتاری نسبتاً غیر خطی نشان می‌دهد و شکل پذیری قابل توجهی نیز از خود بروز داده است. می‌توان گفت عدم وجود شمع های مایل که نقش عضو مقاوم جانبی را برای سازه اسکله ایفا می‌نماید، سبب آن شده است که پس از مقداری جابه‌جایی، مفاصل پلاستیک در اعضای سازه تشکیل شده و رفتار غیر خطی در سازه شاهد باشیم.



شکل 4) نمودار برش-جابه‌جایی شمع در اسکله A تحت بار افزون الف) در جهت محور X، ب) در جهت محور Y



شکل 5) نمودار برش-جابه‌جایی شمع در اسکله B تحت بار افزون الف) در جهت محور X، ب) در جهت محور Y

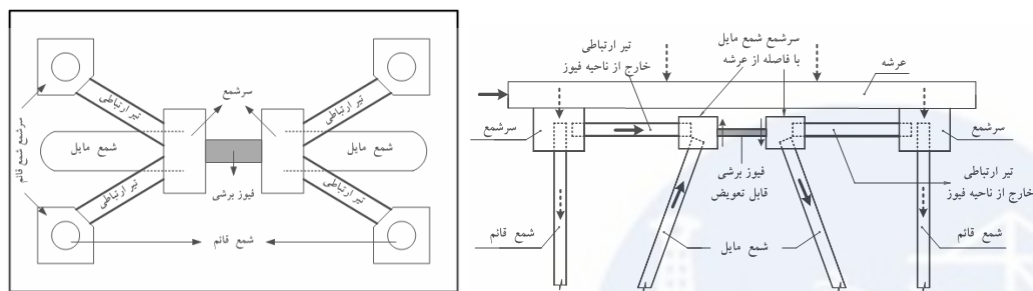
بهسازی لرزه‌ای اسکله های مورد مطالعه

روش های مختلفی مانند تقویت اعضاء سازه ای مانند ستون ها، پی ها، تیرها و اتصالات و همچنین استفاده از سیستم های کنترل لرزه‌ای در بهسازی لرزه ای به کار برده می شوند. در این تحقیق، اسکله های A و B از طریق افزودن سیستم سازه ای بهسازی گردیده اند. برای بهبود عملکرد اسکله A مورد بررسی، بر اساس مقالات موجود، پیشنهادی تحت عنوان بکار گیری فیوز سازه‌ای مطرح گردید که در اسکله دارای شمع های مایل (اسکله A) تعبیه شده است. سازه اسکله با استفاده از این روش مورد بهسازی قرار گرفته و رفتار سازه جدید ارزیابی لرزه‌ای گردیده است.

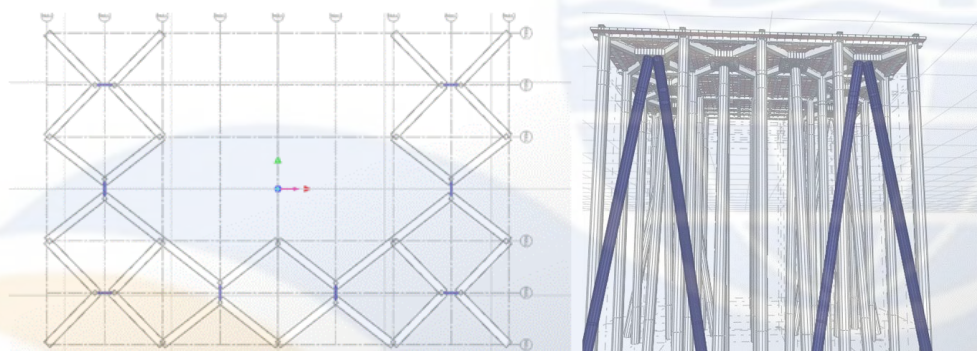
در اسکله های دارای شمع های مایل نیروی جانبی، به طور اهم نیروی زلزله نقش بسیار زیادی در عکس العمل شمع های مایل دارد، به طوری که بیشترین خرابی هنگام زلزله در شمع های مایل رخ می‌دهد. به همین دلیل باید ترتیبی اتخاذ شود که قبل از خرابی شمع های مایل این شمع ها از عکس العمل خارج شوند. به همین دلیل اصطلاح فیوز برای راهکار مورد استفاده به کار رفته است. فیوز یک جزء سازه‌ای است

که با داشتن رفتار شکل پذیر در زلزله های شدید انرژی زلزله را جذب نموده و مانع از آسیب رسیدن به سایر اجزای سازه می شود. یکی از انواع فیوزها تیرهای تسلیم شونده در برش هستند. امروزه این گونه فیوزها در سیستم های ساختمانی موسوم به EBF (قاب های مهار بندی شده و اگر) به وفور مورد استفاده قرار می گیرند. سیستم EBF (قاب مهار بندی شده و اگر) از سیستم های مهار بندی است که اولین بار در سال های 1982 تا 1987 در ژاپن مطرح شد و تحقیقات گسترده ای بر روی آن انجام شد. در این قابها مهاربندهای کششی و فشاری به تیر پیوند متصل می شوند و این تیر در اثر تقاضای تغییر مکان قائم مهاربندها تغییر شکل می دهد، دچار تسلیم برشی یا خمشی می شود. شکل 6 نمای جانبی و پلان طرح فیوز پیشنهادی با استفاده از ایده سیستم های EBF را نشان می دهد. همچنین شکل 7 نمای فیوز سازه ای تعبیه شده در مدل عددی و پلان فیوز های سازه ای اسکله A را نشان می دهد.

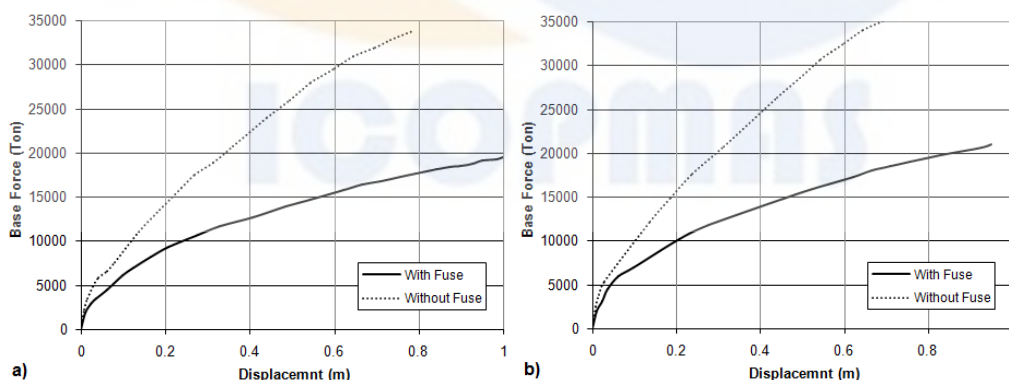
به منظور مقایسه نتایج، منحنی میزان برش پایه بر حسب جابه جایی با هم مقایسه شده است. شکل 8 منحنی برش - جابه جایی سازه اسکله را در دو حالت با فیوز و بدون فیوز در جهت X و Y مقایسه می کند.



شکل 6 جزئیات فیوز سازه ای و نوع اتصال با عرشه (الف) نمای جانبی، (ب) پلان



شکل 7 نمای مدل عددی (الف) فیوز سازه ای تعبیه شده در مدل اسکله A، (ب) پلان فیوز های بکار رفته



شکل 8 مقایسه منحنی برش - جابه جایی اسکله A در دو حالت، (الف) در جهت محور X، (ب) در جهت محور Y

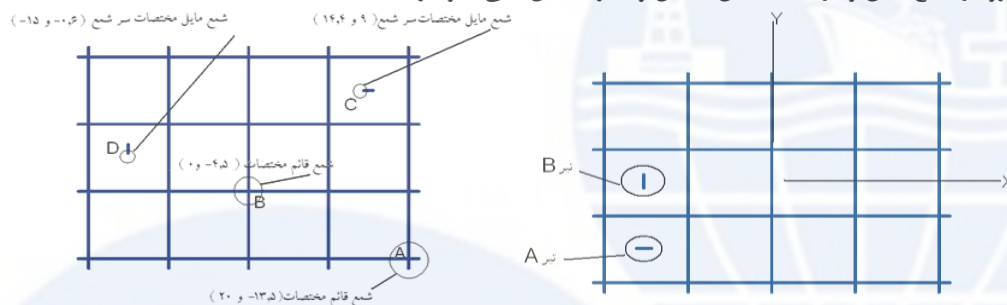
مقایسه منحنی برش - جابه جایی حاصل از آنالیزهای بار افزون سازه اولیه با سازه بهسازی شده نشان می دهد که افزودن فیوز سازه ای پیشنهادی به سازه اسکله موجب افزایش شکل پذیری سازه شده است. همچنین سازه در سطح مشخصی از تغییر شکل نیروی برشی کمتری را تجربه می نماید. نقطه قابل اشاره در مورد اسکله های دارای شمع های مایل، تمایل به کاهش سطح نیرو و جلوگیری از ایجاد مکانیسم های ناخواسته در اتصالات شمع و همچنین خرابی دال می باشد. از این رو این مورد بعضاً به عنوان هدف طرح مورد نظر می باشد.

جدول 1 مقایسه پاسخ دو حالت اسکله را در آنالیز بار افزون نشان می‌دهد. نشان داده شده است که بر خلاف اسکله بدون فیوز که خمشی در مفاصل پلاستیک در اعضای سازه‌ای یعنی شمع مایل تشکیل می‌شود، با افزودن فیوز تشکیل مفاصل پلاستیک بصورت کنترل شده در فیوز سازه‌ای بوقوع می‌پیوندد.

جدول 1) مقایسه پاسخ دو حالت اسکله در آنالیز بار افزون

نوع اسکله	پرپود (S)	سختی اولیه (Ton / m)	برش پایه (Ton)	اولین تسلیم
بدون فیوز	1. 477737	845. 823	30449. 6441	شمع مایل
با فیوز	2. 003262	558. 848	20118. 5382	فیوز سازه‌ای

به منظور مقایسه دقیق‌تر نحوه رفتار سازه اسکله در حالت اول و حالت پس از بهسازی سازه‌ای مقایسه نیروی های محوری و برشی و لنگر خمشی چهار تیپ شمع اسکله A برای دو حالت بدون فیوز و با فیوز انجام شده است که در ادامه می‌آید. شکل 9 موقعیت شمع ها و تیرهای انتخاب شده برای مقایسه در دو حالت را در پلان اسکله A نشان می‌دهد. شمع های مورد نظر به نحوی انتخاب شده اند که وضعیت های مختلف قرار گیری و وضعیت نیرویی را در بر بگیرند. جدول 2 مقایسه نیروی محوری شمع های مورد بررسی را در اسکله A قبل و بعد از بهسازی سازه (بدون فیوز و پس از افزودن فیوز سازه‌ای) نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در شمع های A و B، سازه دارای فیوز سازه‌ای نیروی محوری بیشتری را در عضو تجربه می‌کند. آنچه واضح است، وجود فیوز سازه‌ای پیشنهادی سبب افزایش چند درصدی نیروی محوری در شمع های قائم گردیده و کاهش نسبتا مطلوب نیروی محوری در شمع های مایل را به دنبال داشته است. بدین صورت از ایجاد مقادیر بالای نیرو در شمع مایل و در ادامه انتقال به دال و تخریب دال بتنی جلوگیری شده است.



شکل 9) اعضای سازه‌ای انتخاب شده جهت مقایسه نیروهای داخلی در دو حالت - اسکله A

جدول 3 مقایسه نیروی برشی شمع های انتخاب شده در اسکله A را نشان می‌دهد. مقایسه لنگر خمشی شمع های انتخاب شده در اسکله A نیز در جدول 4 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد شمع های مایل اسکله از نقطه نظر نیرو های برشی و لنگر خمشی نیز در راستای عملکرد تعیین شده برای آن ها وضعیت بهتری پس از افزودن فیوز سازه‌ای تجربه می‌کنند. شمع های قائم نیز مقداری اضافه نیرو را تحمل می‌نمایند. در حقیقت فیوز سازه‌ای نقشی انتقالی داشته و پس از رسیدن به مکانیسم، با خارج ساختن شمع های مایل از عملکرد خود، بخشی از نیرو را به شمع های قائم منتقل نموده است.

جدول 2) مقایسه نیروی محوری شمع های انتخاب شده در اسکله A

Ton , m		Axial Force
Without Fuse	Column A	-28. 56
With Fuse		-37. 108
Without Fuse	Column B	-84. 0684
With Fuse		-107. 037
Without Fuse	Column C	-45. 798
With Fuse		-25. 509
Without Fuse	Column D	-45. 286
With Fuse		-25. 01

جدول (3) مقایسه نیروی برشی شمع های انتخاب شده در اسکله A

Ton , m		Shear 2-2	Shear 3-3
Without Fuse	Column A	1. 188	1. 128
With Fuse		2. 712	3. 0625
Without Fuse	Column B	1. 562	1. 6
With Fuse		3. 9856	3. 14
Without Fuse	Column C	-4. 33	5. 14
With Fuse		1. 2	-3. 126
Without Fuse	Column D	-0. 323	-0. 0623
With Fuse		-0. 0129	-0. 0875

جدول (4) مقایسه لنگر خمشی شمع های انتخاب شده در اسکله A

Ton , m		Moment 2-2	Moment 3-3
Without Fuse	Column A	-32. 733	-33. 274
With Fuse		-68. 29	-57. 212
Without Fuse	Column B	-43. 93	-43. 227
With Fuse		-66. 98	-90. 848
Without Fuse	Column C	8	127. 849
With Fuse		71. 723	42. 34
Without Fuse	Column D	1. 718	8. 253
With Fuse		2. 504	2. 896

از دیگر مواردی که در آنالیز های انجام شده در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، وضعیت دال بتنی عرشه است. با توجه به وجود تیر های پیرامونی در اطراف هر قطعه از دال بتنی عرشه، وضعیت نیرویی در تیرهای اطراف مشخص کننده وضعیت دال فرض گردیده است. بدین منظور دو تیپ تیر از میان تیرهای دال بتنی انتخاب و بررسی شده است.

همانطور که در شکل 8 ملاحظه می شود یک تیپ از تیرهای موازی راستای طولی و یک تیپ از تیرهای عمود بر راستای طولی اسکله جهت مقایسه انتخاب شده اند. همانطور که ملاحظه می گردد، افزودن فیوز سازه ای به سازه اسکله سبب شده است سطح نیروها و لنگر خمشی در تیرهای دال در عرشه اسکله کاهش یابد. عملاً فیوز سازه ای نیروهای وارده از طرف شمع ها را بر روی تیر رابط فیوز سازه ای منتقل می کند و سبب می شود عمده بار از این طریق در سازه پخش شده و لنگر بسیار کوچکی بر روی دال بتنی ایجاد می نماید.

همانطور که در جداول 5 تا 7 نشان داده شده است، نیروی حاصل از شمع مایل بر تیر های پیرامون دال عرشه پس از تشکیل مفصل و خارج شده شمع مایل از عملکرد بسیار ناچیز شده است. این وضعیت عملکرد مناسب فیوز را نشان می دهد. مشاهده گردید که سیستم EBF به کار رفته به خوبی توانسته است با حفظ سختی جانبی کافی و تغییر مکان جانبی در حدود سیستم بدون فیوز از حضور یک عضو شکل پذیر سازه ای بهره مند گردد. در اسکله بدون فیوز اولین مفاصل در شمع های مایل تشکیل می شود، در حالی که در اسکله با فیوز، اولین مفصل پلاستیک به صورت برشی و در امان فیوز تشکیل و شمع های مایل که از اعضای اصلی اسکله هستند، سلام باقی می ماند. همچنین در اسکله A با فیوز بعد از تشکیل مفصل در عضو فیوز، اولین عضوی که دچار تسلیم می شود، شمع قائم است. با توجه به حساسیت شمع مایل و اینکه باربری جانبی اسکله به میزان زیادی توسط این عضو تأمین می شود، عدم ایجاد گسیختگی در شمع مایل را می توان از مزایای این طرح دانست.

جدول (5) مقایسه نیروی محوری تیر های انتخاب شده در اسکله A

Ton,m		Axial Force
Without Fuse	Beam A	-4. 331
With Fuse		-1. 341
Without Fuse	Beam B	-4. 25
With Fuse		-1. 008

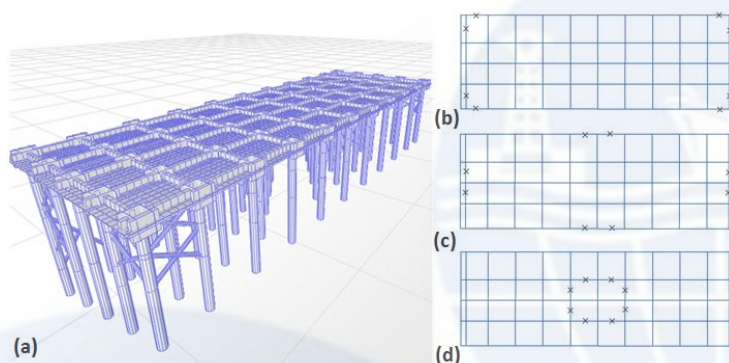
جدول (6) مقایسه نیروی برشی تیر های انتخاب شده در اسکله A

Ton,m		Shear X-X	Shear Y-Y
Without Fuse	Beam A	-174. 461	2. 969
With Fuse		0. 55	-0. 076
Without Fuse	Beam B	-12. 331	1. 782
With Fuse		-0. 0409	0. 0268

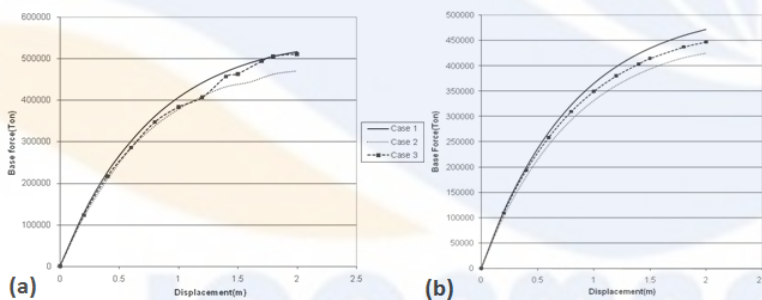
جدول (7) مقایسه لنگر خمشی تیر های انتخاب شده در اسکله A

Ton,m		Moment X-X	Moment Y-Y
Without Fuse	Beam A	-3. 839	118. 499
With Fuse		-0. 013	0. 425
Without Fuse	Beam B	-1. 461	8. 061
With Fuse		0. 0289	-0. 0275

سازه اسکله B از طریق افزودن سیستم مهاربندی بهسازی شده و آنالیز گردیده است. برای بهبود عملکرد لرزه‌ای این اسکله از مقاطع فولادی ضربدری که وظیفه سیستم مقاوم جانبی به صورت مهاربند را به عهده دارند استفاده شده است. به این ترتیب که این مقاطع از سرشمع‌ها به صورت مورب خارج شده و تا عمقی از طول شمع ادامه دارند. شکل 10-a نمای سه بعدی مهاربندهای بکار رفته در اسکله را در مدل عددی نشان می‌دهد. در این مرحله سه وضعیت قرار گیری مهاربند ها در سازه اسکله مورد بررسی قرار گرفته است و پس از مقایسه حالت مطلوب قرارگیری مهاربند ها تعیین شده است. حالت های مختلف قرار گیری اعضای مهاربندی عبارتند از حالتی که بادبند ها در وجه بیرونی اسکله و کنج ها قرار گرفته باشند (حالت اول)، حالتی که بادبند ها در وجه بیرونی اسکله و در بخش میانی هر وجه قرار گرفته باشند (حالت دوم) و حالتی که بادبند ها در هسته مرکزی اسکله قرار گرفته باشند (حالت سوم). این حالت ها در شکل 10 (d-b) نشان داده شده است. سازه تحت بارهای جانبی زلزله و بارهای افزون تحلیل می‌شود و جابه‌جایی نقطه مورد نظر در اسکله مورد رصد قرار می‌گیرد که نمودار نتایج آن در شکل 11 آمده است. مقایسه حالات مختلف مهاربندی برای انتخاب بهترین حالت بادبندی انجام گردیده است. با توجه به هدف از مقاوم سازی و نحوه رفتار سازه اولیه حالت بهینه انتخاب می‌گردد. در نهایت نتایج حاصل از مقاوم سازی اسکله با نتایج حاصل از تحلیل اسکله در حالت اولیه مقایسه شده است. در این تحقیق با توجه به سختی بالاتر در رفتار سازه با حالت اول آرایش مهاربند ها و حفظ شکل پذیری مناسب سازه در هر دو جهت X و Y با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز بار افزون، حالت اول از میان سه حالت پیشنهادی به عنوان آرایش مهاربندی مطلوب انتخاب شده است.

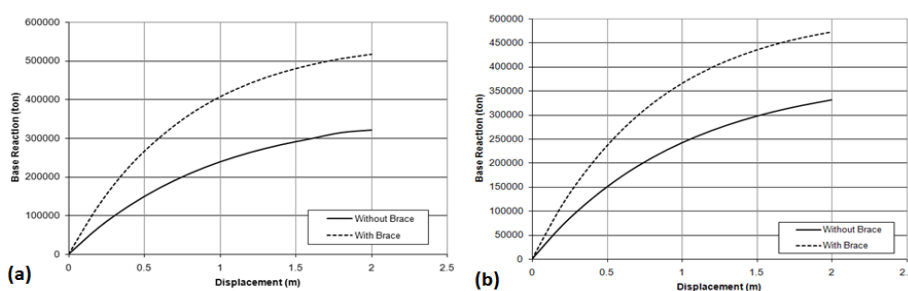


شکل 10 (a) نمای سه بعدی مهاربندهای بکار رفته در اسکله در مدل عددی، (b-d) پلان حالات مختلف قرارگیری مهاربند



شکل 11 مقایسه منحنی نیرو - جابجایی برای انتخاب بهترین حالت بادبندی (a) در جهت X، (b) در جهت Y

منحنی میزان برش پایه بر حسب جابه‌جایی با هم مقایسه شده است و این نمودار نشان می‌دهد که کدام دو سازه در برش پایه کمتر جابه‌جایی یکسانی داشته اند. شکل 12 منحنی برش - جابه‌جایی را در دو حالت سازه اولیه و سازه بهسازی شده با مهاربند مقایسه می‌کند.

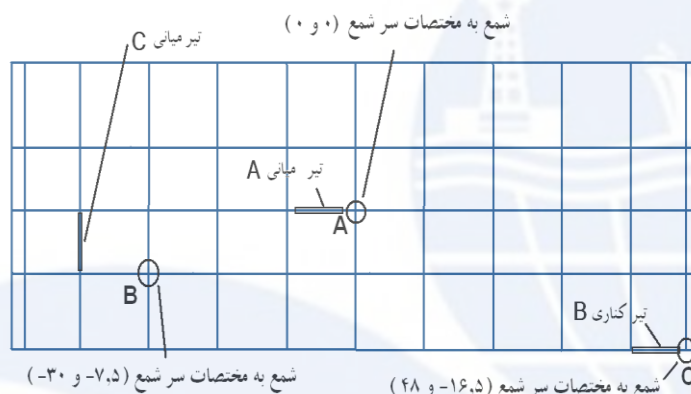


شکل 12 مقایسه منحنی برش - جابجایی در سازه اولیه و سازه بهسازی شده با مهاربند (a) در جهت X، (b) در جهت Y

مقایسه منحنی برش-جابجایی حاصل از آنالیزهای بار افزون سازه اولیه با سازه بهسازی شده نشان می‌دهد که افزودن سیستم مهاربندی به سازه اسکله موجب افزایش سختی سازه شده است. همچنین سازه در سطح مشخصی از تغییرشکل نیروی برشی بیشتری را تجربه می‌نماید. نقطه قابل اشاره در مورد اسکله های دارای شمع های قائم، تمایل به افزایش سطح نیرو به علت توان نه چندان بالای شمع های قائم در تحمل بارهای جانبی می‌باشد. از این رو این مورد بعضا به عنوان هدف طرح مورد نظر می‌باشد.

به منظور مقایسه دقیق تر نحوه رفتار سازه اسکله در حالت اول و حالت پس از بهسازی سازه ای مقایسه نیروی های محوری و برشی و لنگر خمشی چند تیپ شمع اسکله برای دو حالت (سازه اولیه و سازه دارای مهاربند) انجام شده است که در ادامه می‌آید. شکل 13 موقعیت شمع ها و تیر های انتخاب شده برای مقایسه در دو حالت را در پلان اسکله نشان می‌دهد. شمع ها و تیر های مورد نظر به نحوی انتخاب شده اند که وضعیت های مختلف قرار گیری و وضعیت نیرویی را در بر بگیرند. جدول 8 مقایسه نیروی محوری شمع های مورد بررسی را در اسکله قبل و بعد از بهسازی سازه (سازه اولیه و پس از افزودن سیستم مهاربندی) نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در تمامی شمع ها، سازه دارای سیستم مهاربندی نیروی محوری کمتری را در عضو تجربه می‌کند. آنچه واضح است، وجود سیستم مهاربندی می‌تواند تاثیراتی بر روی نیروهای اعضای سازه و نحوه پخش آن ها در سازه داشته باشد که در ادامه بررسی شده است.

جدول 9 مقایسه نیروی برشی شمع های انتخاب شده در اسکله را نشان می‌دهد. مقایسه لنگر خمشی شمع های انتخاب شده در اسکله نیز در جدول 10 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد شمع های اسکله از نقطه نظر نیرو های برشی و لنگر خمشی نیز وضعیت بهتری پس از افزودن سیستم مهاربندی تجربه می‌کنند. در حقیقت سیستم مهاربندی اضافه شده به سازه، با افزایش میزان سختی جانبی و پخش بهتر نیرو در سازه اسکله، موجب می‌گردد تا ضمن افزایش برش پایه تحمل شده توسط سازه، سطح نیرو در اعضای سازه چندان بالا نرود.



شکل 13) شمع های انتخاب شده در پلان اسکله برای مقایسه نتایج

جدول 8) مقایسه نیروی محوری شمع های انتخاب شده در اسکله

Ton-m		Axial Force
A	Without Brace	-193. 89
	With Brace	-192. 19
B	Without Brace	-195. 18
	With Brace	-195. 81
C	Without Brace	-137. 28
	With Brace	-136. 762

جدول 9) مقایسه نیروی برشی شمع های انتخاب شده در اسکله

Ton-m		Shear 2-2	Shear 3-3
A	Without Brace	-30. 129	30. 129
	With Brace	-19. 497	21. 865
B	Without Brace	-37. 825	44. 471
	With Brace	-25. 48	30. 782
C	Without Brace	-47. 518	39. 743
	With Brace	11. 176	-23. 553

جدول 10) مقایسه لنگر خمشی شمع های انتخاب شده در اسکله

Ton-m		Moment 2-2	Moment 3-3
A	Without Brace	322. 603	-321. 18
	With Brace	234. 805	-208. 711
B	Without Brace	432. 594	-367. 55
	With Brace	300. 053	-248. 43
C	Without Brace	335. 141	-400. 971
	With Brace	175. 117	-168. 296

جدول 11 مقایسه نیروی محوری در تیرها را برای دو حالت با و بدون بادبند نشان می‌دهد. در جدول 12 نیروی برشی در تیرها برای دو حالت با و بدون بادبند آمده است. حالت با و بدون بادبند مقایسه شده است. همچنین در جدول 13، مقایسه لنگر خمشی در تیرها برای دو حالت با و بدون بادبند آمده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در تیرهای پیرامونی نظیر تیر B حضور سیستم مهاربندی سبب کاهش مقدار لنگر خمشی در تیر شده است. در حقیقت سیستم مهاربندی بخشی از نیروی وارده را در خود جذب کرده و سهم خمشی تیرهای پیرامونی دال را کمتر می‌نماید. حال آنکه تیرهای A و C که مجاور سیستم مهاربندی نبوده‌اند در جهت‌های مختلف بسته به وضعیت سیستم مهاربندی وضعیتی متفاوت داشته‌اند. تیر A که در جهت طولی اسکله قرار دارد دچار کاهش در لنگر 3-3 شده است. این تیر دور از سیستم مهاربندی قرار دارد و لذا سهم باربری آن تابع وضعیت کلی سازه اسکله در راستای موازی راستای تیر می‌باشد. در عین حال مشاهده می‌شود که تیر C که در همسایگی و با فاصله کمی از سیستم مهاربندی قرار دارد در هر دو جهت لنگر بیشتری را متحمل شده است.

جدول 11) مقایسه نیروی محوری در تیرها برای دو حالت با و بدون بادبند

Ton-m		Axial Force
A	Without Brace	-0.166
	With Brace	-0.397
B	Without Brace	-0.142
	With Brace	0.743
C	Without Brace	-0.117
	With Brace	0.0315

جدول 12) مقایسه نیروی برشی در تیرها برای دو حالت با و بدون بادبند

Ton-m		Shear 2-2	Shear 3-3
A	Without Brace	30.58	0.221
	With Brace	19.856	0.189
B	Without Brace	-74.65	0.046
	With Brace	2.042	0.318
C	Without Brace	10.533	0.564
	With Brace	-2.595	2.611

جدول 13) مقایسه لنگر خمشی در تیرها برای دو حالت با و بدون بادبند

Ton-m		Moment 2-2	Moment 3-3
A	Without Brace	0.315	-30.584
	With Brace	0.417	-19.827
B	Without Brace	-0.296	-161.65
	With Brace	0.196	-132.81
C	Without Brace	0.325	-6.21
	With Brace	1.464	-13.339

نتیجه گیری

همانطور که در ملاحظه گردید، در این تحقیق یک سازه اسکله مورد بررسی قرار گرفت و راهکارهایی جهت بهسازی لرزه‌ای ارائه گردید. سیستم‌های پیشنهادی سبب بهبود رفتار لرزه‌ای سازه گردید. مقایسه منحنی برش-جابه‌جایی حاصل از آنالیزهای بار افزون سازه اولیه با سازه بهسازی شده نشان می‌دهد که :

- در اسکله‌های دارای شمع‌های قائم که شمع‌های قائم علاوه بر بارهای قائم، وظیفه تحمل بارهای جانبی را نیز دارا می‌باشند، استفاده از سیستم مهاربندی پیشنهاد می‌گردد. افزودن سیستم مهاربندی در اسکله‌های فاقد شمع‌های مایل، موجب سخت‌تر شدن رفتار سازه اسکله گردیده و همچنین سطح نیرو را در اعضا در حد مطلوبی حفظ می‌نماید.
- حضور سیستم مهاربندی موجب می‌گردد پخش مطلوبی از نیرو در سطح سازه اسکله صورت پذیرد و در سطح مشخصی از شکل پذیری سازه، برش پایه تحمل شده توسط سازه بیش از حالت بدون سیستم مهاربندی باشد.
- افزودن فیوز سازه‌های پیشنهادی به سازه اسکله موجب افزایش شکل پذیری سازه شده است. همچنین سازه در سطح مشخصی از تغییرشکل نیروی برشی کمتری را تجربه می‌نماید. در اسکله‌های دارای شمع‌های مایل، تمایل به کاهش سطح نیرو و جلوگیری از ایجاد مکانیسم‌های ناخواسته در اتصالات شمع و همچنین خرابی دال می‌باشد. از این رو این مورد بعضاً به عنوان هدف طرح مورد نظر می‌باشد و فیوز پیشنهادی به نحو مطلوبی آن را تامین می‌نماید.
- وجود فیوز سازه‌های پیشنهادی سبب افزایش چند درصدی نیروی محوری در شمع‌های قائم گردیده و کاهش نسبتاً مطلوب نیروی محوری در شمع‌های مایل را به دنبال داشته است. بدین صورت از ایجاد مقادیر بالای نیرو در شمع مایل و در ادامه انتقال به دال و

تخریب دال بتنی جلوگیری شده است. فیوز سازه‌ای نقشی انتقالی داشته و پس از رسیدن به مکانیسم، با خارج شدن شمع‌های مایل از عملکرد خود، بخشی از نیرو را به شمع‌های قائم منتقل نموده است.

- شمع‌های مایل اسکله از نقطه نظر نیروهای برشی و لنگر خمشی نیز در راستای عملکرد تعیین شده برای آن‌ها وضعیت بهتری پس از افزودن فیوز سازه‌ای تجربه می‌کنند. شمع‌های قائم نیز مقداری اضافه نیرو را تحمل می‌نمایند.

مراجع

- [1] معاونت آموزش و تحقیقات و فناوری (2007)، راهنمای طراحی لرزه ای اسکله‌ها، پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه
- [2] قائمی حمید (1385)، آنالیز دینامیکی اسکله‌های دریایی تحت اثر امواج دریا، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی بندرعباس
- [3] نجفی زاده چناری جعفر، کمک پناه علی، محرمی حمید (1387)، بهینه سازی گروه شمع‌ها با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران
- [4] PIANC, (2001), Seismic Design Guidelines for port Structures.
- [5] FEMA-273, (2000), Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
- [6] FEMA-356, (2000), Seismic Rehabilitation of Buildings
- [7] سیفی حامد، فاخر علی، (1386)، مطالعه محلی رفتار جانبی تک شمع در بندر پتروشیمی پارس - عسلویه، نهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران
- [8] رضوی طباطبائی سید علی، فاخر علی، میر قادری سید رسول، (1387)، بررسی بکارگیری فیوز سازه ای برای بهبود عملکرد لرزه ای اسکله‌های شمع و عرشه با شمع مایل پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
- [9] Razavi S. A., Fakher A., and Mirghaderi R., (2006) "study of the problems of batter piles in seismic performance of pile wharves" proceeding of 7th international conference coastes, ports marine structures, Tehran, Iran, November
- [10] محرمی گرگری نگار، راستی اردکانی محمد، شاکری نیا محمد، (1385)، بررسی و مقایسه رفتار لرزه‌ای اسکله طراحی شده بر اساس آئین نامه‌های طراحی با رفتار پیش‌بینی شده توسط آئین‌نامه‌های مقاوم سازی، هفتمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی
- [11] OCDI, (2002), "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, Ministry of Transport "