



به کارگیری مهاربندهای کمانش ناپذیر در اعضای قطری سکوه‌های دریایی به منظور بهسازی آنها

محمد رضا تابش پور^۱، یونس کماچی^۲

^۱استادیار، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، tabeshpour@sharif.edu

^۲مربی، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پردیس komachi@pardisiu.ac.ir

چکیده

در این مقاله از سیستم مهاربندهای کمانش ناپذیر (BRB) برای کنترل و بهسازی یک سکوی شابلونی فولادی موجود تحت تحریک زلزله استفاده شده است. این سیستم به عنوان وسیله‌ای برای کنترل لرزه‌ای سازه‌هایی که در مکانهای لرزه‌خیز قرار گرفته‌اند، معرفی خواهد شد. تاثیر سیستم بر رفتار یک سکوی شابلونی موجود به صورت عددی مطالعه می‌شود. در این مقاله نشان داده می‌شود که سیستم BRB، یک گزینه مناسب برای کاهش پاسخ‌های دینامیکی و افزایش مقاومت جانبی سکوه‌های شابلونی است.

کلمات کلیدی: سکوی شابلونی، مقاوم‌سازی لرزه‌ای، سیستم BRB

مقدمه

بارهای دینامیکی نه تنها روند عملیات سکو مانند حفاری و تولید را تحت تاثیر قرار می‌دهد بلکه بر ایمنی و خدمت‌پذیری سازه نیز تاثیر می‌گذارد. عموماً کاهش دامنه تنش‌های دینامیکی سکوی دریایی تا ۱۵ درصد می‌تواند باعث افزایش عمر خدمت دهی سکو تا دو برابر شود و می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های نگهداری و بازرسی شود [1]. امروزه سیستم‌های گوناگونی به منظور کنترل لرزه‌ای سازه‌ها توسعه یافته است. سکوه‌های شابلونی، از جمله سازه‌های با درجه نامعینی پایین هستند که خرابی یکی از اعضای آنها می‌تواند منجر به فروریزش کلی و یا مختل شدن عملکرد کلی سازه شود. از محتمل‌ترین نوع خرابی‌ها در این نوع سازه‌ها، کمانش اعضای قطری آنها است. کمانش یک عضو قطری می‌تواند منجر به رسیدن تراز مربوطه به حد نهایی ظرفیت خود شود. بر این اساس، کنترل کمانش اعضای قطری، موردی است که می‌تواند به منظور بهسازی لرزه‌ای سکوه‌های شابلونی مورد توجه قرار گیرد.

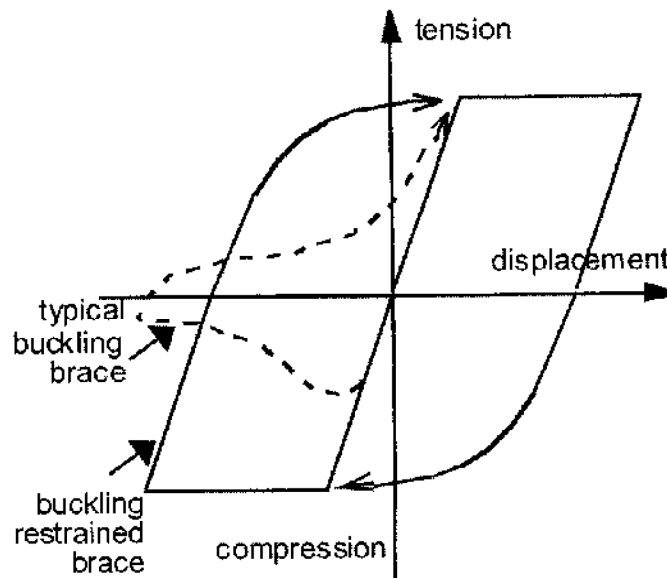
در سالیان اخیر مطالعات بسیاری بر روی بحث بهسازی رفتار سکوه‌های شابلونی تحت بارهای مختلف صورت گرفته است. کوانو و ونکاترامانا و کوانو پاسخ سکوه‌های دریایی با میراگر جرمی میزان شده فعال را بررسی کردند و دریافتند که این سیستم برای کاهش پاسخ سازه در مقابل بار موج کاملاً موثر است [2,3]. عبدالرحمان بر روی کاربرد مکانیسم‌های کنترل فعال و غیرفعال برای کاهش پاسخ دینامیکی سکوه‌های شابلونی فولادی در مقابل بار حاصل از موج مطالعاتی انجام داد [4]. لی با استفاده از آنالیز تصادفی، تاثیر مواد ویسکوالاستیک به کار رفته در پایه‌های سکوی شابلونی را تشریح کرد [5]. سونجا و دتا تاثیر سیستم کنترل فعال را در کمینه کردن پاسخ‌های سکوه‌های با پایه مفصلی در مقابل بار موج تشریح کردند [6,7]. ونگ تاثیر میراگرهای رئولوژی مغناطیسی را در کاهش پاسخ سکوه‌های دریایی در مقابل بار موج بررسی کرد [8]. مَهْدیک و جینجید به مطالعه پاسخ سکوه‌های شابلونی مسلح به میراگر جرم متعادل شده فعال در مقابل بار موج پرداختند [9]. ونداپور و میتوم از تانکرهای ذخیره بر روی سکو میراگرهای مایع متعادل شده به منظور کاهش پاسخ‌ها تحت بار موج استفاده کردند [10]. وینسنزو و راگر از تکنیک کنترل سازگار (میراگر جرمی فعال) برای کاهش پاسخ سکو در مقابل بار حاصل از گردباد استفاده کردند [11]. همچنین آوو و همکاران و دینگ به ترتیب بر روی کنترل سکو با استفاده از میراگر ویسکوالاستیک و ویسکوز در مقابل بار یخ مطالعات عددی و آزمایشگاهی انجام دادند [12,13]. پدیل و جینجید با به کار بردن سه نوع میراگر ویسکوالاستیک، ویسکوز و اصطکاکی بر روی سکو به مطالعه رفتار آن تحت بار موج پرداختند [14]. همچنین آوو و همکاران رفتار سکوی مجهز به جداساز عرشه را تحت بارهای یخ و زلزله مورد ارزیابی قرار دادند [15]. سیستم میراگر اصطکاکی، گزینه دیگری است که به عنوان یک سیستم مناسب



برای بهسازی لرزه‌ای سکوه‌های شابلونی معرفی شده است. کماچی و همکاران و همین طور تابش‌پور و کماچی استفاده از سیستم میراگر اصطکاکی برای سکوه‌های شابلونی را توسعه داده‌اند [16, 17].
استفاده از سیستم BRB برای کاربردهای لرزه‌ای در ژاپن بعد از زلزله ۱۹۹۵ کوبه بسیار متداول شده است [18]. این نوع سیستم سازه‌ای همچنین در آمریکا و پس از زلزله ۱۹۹۴ نرتریج بسیار استفاده شده است [19]. در این مقاله در مورد استفاده از سیستم BRB در اعضای قطری سکوه‌های شابلونی، به منظور بهسازی لرزه‌ای این سازه‌ها مطالبی بیان خواهد شد.

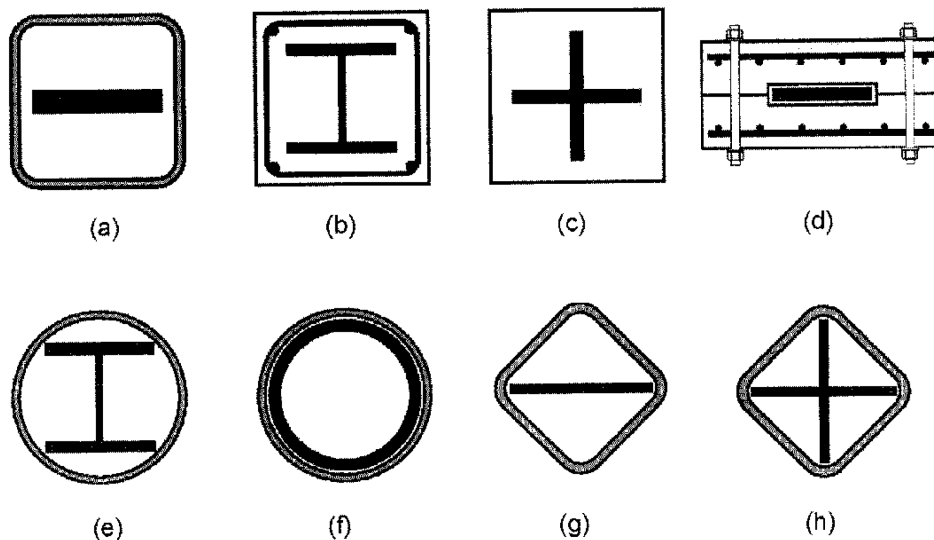
سیستم BRB

سیستم BRB شامل یک هسته فولادی شکل پذیر است که به گونه‌ای طراحی می‌شود که در کشش و فشار، جاری شود. برای جلوگیری از کمانش، ابتدا هسته فولادی در یک مقطع فولادی (معمولاً یک مقطع توخالی) قرار می‌گیرد و سپس داخل مقطع بیرونی با استفاده از ملات یا بتن پر می‌شود. قبل از پر کردن با مصالح، به منظور کمینه کردن یا حذف انتقال نیروی محوری از هسته فولادی به ملات و مقطع توخالی فولادی، یک گپ هوا و یا ماده ضعیف بین فولاد هسته و بقیه اجزا به کار گرفته می‌شود.
در شکل ۱ رفتار چرخه‌ای دو نوع مهاربند معمولی و BRB با یکدیگر مقایسه شده است. ملاحظه می‌شود که استفاده از BRB باعث منتفی شدن مساله کمانش و کامل شدن حلقه‌های هیسترسیز (چرخه‌ای) می‌شود.



شکل ۱- رفتار مهاربندهای معمول بر حسب BRB [19].

در شکل ۲ انواع حالت های متداول استفاده از این سیستم برای مقاطع مختلف نشان داده شده است.



شکل ۲- مقاطع عرضی انواع BRB توسعه یافته در ژاپن [20].

مطالعه موردی

مشخصات سکو

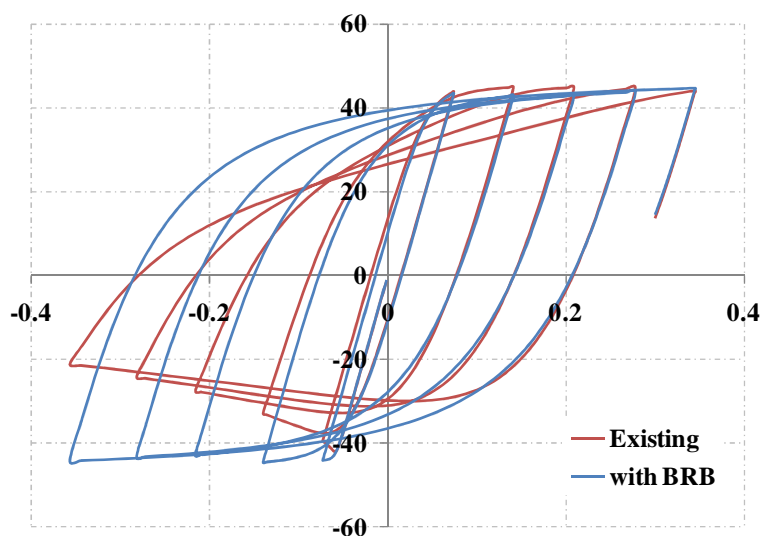
حوزه رسالت در آب‌های خلیج فارس و در فاصله ۸۰ کیلومتری جنوب جزیره لوان، و در عمق ۶۷ متری واقع شده است [21]. مجموعه دور از ساحل رسالت شامل یک سکوی حفاری، یک سکوی تولید، یک سکوی خدمت و یک سه پایه می‌باشد. این حوزه در سال ۱۹۶۸ میلادی توسعه پیدا کرده است. این حوزه در دوران جنگ ایران و عراق و همچنین به دلیل وقایع آب و هوایی دچار آسیب‌هایی شده است. سکوی خدمت رسالت یکی از قسمت‌های این حوزه می‌باشد که در قسمت با عمق ۶۷.۴ متری واقع شده، شامل یک جاکت چهارپایه و قسمت فوقانی می‌باشد و با یک پل به سکوی تولید متصل شده است. عمر خدمت دهی سکو ۲۵ سال است. سکوی مورد نظر جزو سکوهایی با خطرپذیری بالا می‌باشد.

برای مدلسازی از برنامه آپنسیس [22] استفاده شد. شبیه سازی پاسخ اعضای قاب سکو با استفاده از المان‌های تیر-ستون بر مبنای نیرو و با پلاستیسیته گسترده و با مقطع از نوع فیبر صورت گرفته است. مدل اندرکنشی شمع-سازه-خاک شامل سه بخش می‌شود که عبارتند از حوزه دور، حوزه نزدیک و شمع‌ها. شمع‌ها به وسیله المان‌های تیر-ستون غیرخطی مدل می‌شوند. برای مدلسازی حوزه دور از المان‌های چهارگره‌ای برنامه استفاده می‌شود. این المان‌ها دویعدی هستند که توسط چهار گره معرفی می‌شوند. حوزه دور به صورت الاستیک مدل می‌شود و فرض می‌شود که این المان‌ها وارد محدوده غیرخطی نمی‌شوند. برای معرفی تغییر شکل‌های برشی، تغییر مکان افقی نقاطی که در یک تراز هستند به وسیله دستور درجه آزادی مساوی به یکدیگر بسته می‌شود.

برنامه برای مدلسازی حوزه نزدیک (قسمت رابط بین شمع و خاک حوزه آزاد) قابلیت‌های ویژه‌ای را دارا می‌باشد. در این برنامه برای مدلسازی مقاومت جانبی، مقاومت اصطکاکی و مقاومت قائم انتهای شمع به ترتیب از مواد t-z، p-y، q-z استفاده می‌شود. این مواد متشکل از پنج جزء می‌باشند که عبارتند از فنر الاستیک، فنر پلاستیک، فنر غیرخطی درگ (برای منظور کردن حالت جداشدگی شمع و خاک)، فنر غیرخطی تکمیلی و میراگر تابشی (برای منظور کردن میرایی تابشی) [22].

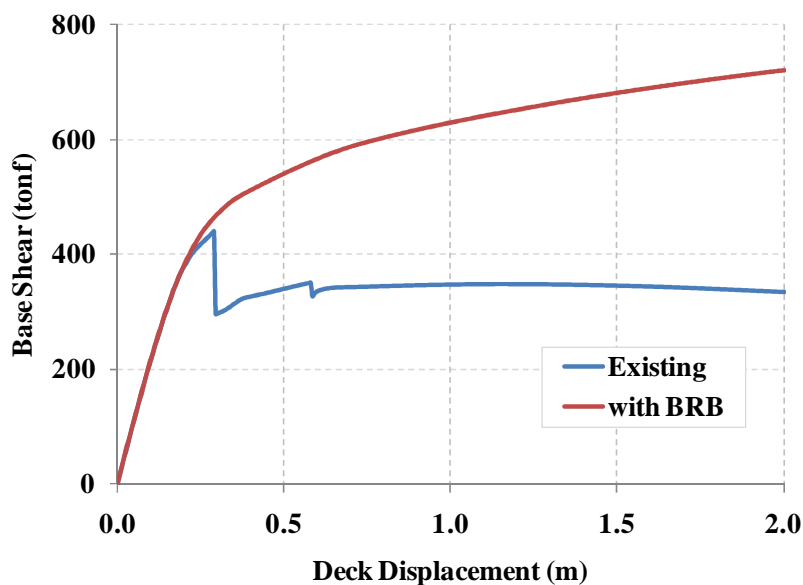
عملکرد سکوی مجهز به BRB

همانطور که قبلاً اشاره شد، استفاده از BRB باعث بهبود رفتار اعضای لوله‌ای در ناحیه فشاری می‌شود. در شکل ۳ به طور نمونه حلقه‌های هیسترسیز مربوط به رفتار چرخه ای یک از اعضای لوله‌ای سکو، نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که با استفاده از سیستم BRB می‌توان از حداکثر ظرفیت اعضا استفاده کرد.



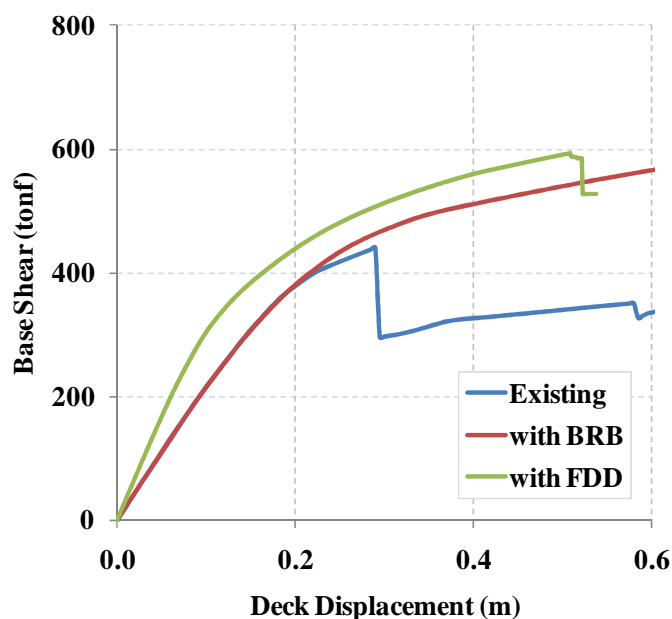
شکل ۳- مقایسه رفتار چرخه ای یک عضو قطری سکو در حالت اصلی و وقتی که از BRB استفاده شده است.

استفاده از BRB برای اعضای قطری سکو، به نحو مناسبی عملکرد سکو را، به خصوص در محدوده غیرخطی، بهبود می‌بخشد. در شکل ۴ نمودار پوش‌اور سکو برای دو حالت با و بدون BRB با یکدیگر مقایسه شده است. ملاحظه می‌گردد که افت شدید مقاومت در سازه دیده نمی‌شود و مشخص می‌شود که در محدوده غیرخطی تاثیر BRB بسیار زیاد است.



شکل ۴- منحنی‌های پوش‌اور سکو در حالت‌های با و بدون BRB.

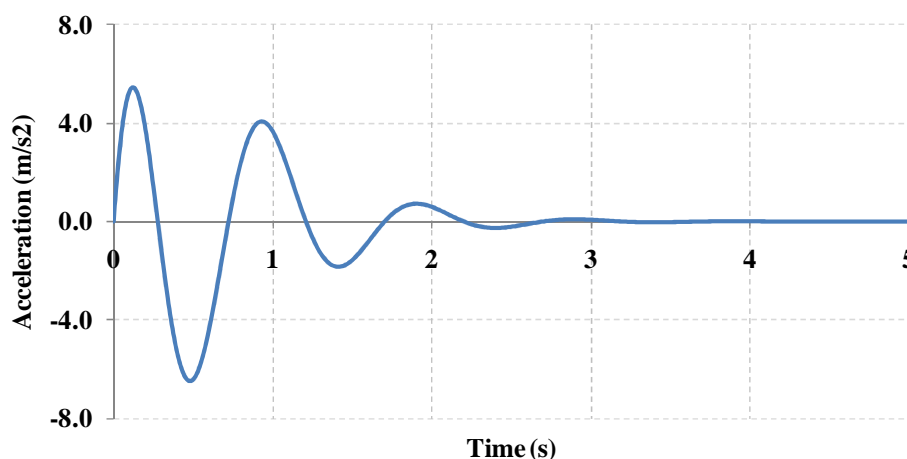
به منظور بررسی بیشتر عملکرد سیستم BRB مقایسه‌ای بین نتایج آن با سکوی مجهز به میراگر اصطکاکی صورت گرفت. در شکل ۵ نمودار پوش‌اور سکو، در حالت‌های موجود، مجهز به BRB و مجهز به سیستم میراگر اصطکاکی (FDD) نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که بر خلاف سیستم FDD، سیستم BRB سختی اولیه سیستم را افزایش نمی‌دهد و تنها در حالت کمانش، به ظرفیت سازه کمک کرده و از بروز شیب منفی در منحنی پوش‌اور جلوگیری می‌کند.



شکل ۵- منحنی‌های پوش‌اور سکو در حالت‌های موجود، با BRB و با میراگر اصطکاکی.

به منظور بررسی دینامیکی رفتار سازه در دو حالت، آنالیز تاریخچه پاسخ غیرخطی برای سکو در دو حالت انجام شد. به این منظور از یک پالس با معادله ۱ استفاده گردید. این پالس از نمونه معادلاتی است که به منظور ایده‌آل سازی پالس حاصل از زلزله نزدیک گسل به کار می‌رود، که اثر بسیار چشمگیری می‌تواند بر رفتار سکوه‌های شابلونی داشته باشد. شکل این پالس برای پارامترهای $\omega_p=3.1416$ ، $T_p=2$ ، $a=1.6$ ، $C=7.0$ و $n=1.1$ در شکل ۶ نشان داده شده است.

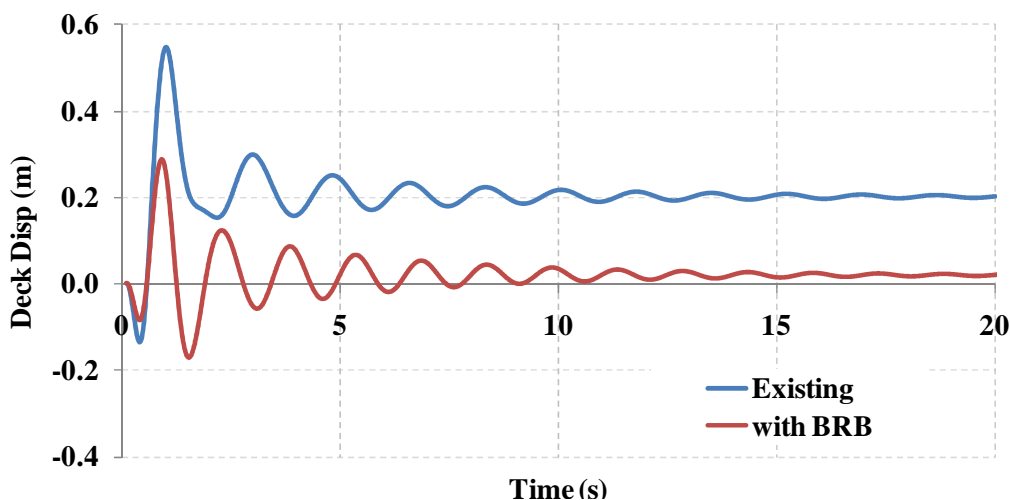
$$\ddot{u}_p = Ct^n e^{-at} \left[\left(\frac{n}{t} - a \right) \sin \omega_p t + \omega_p \cos \omega_p t \right] \quad (1)$$



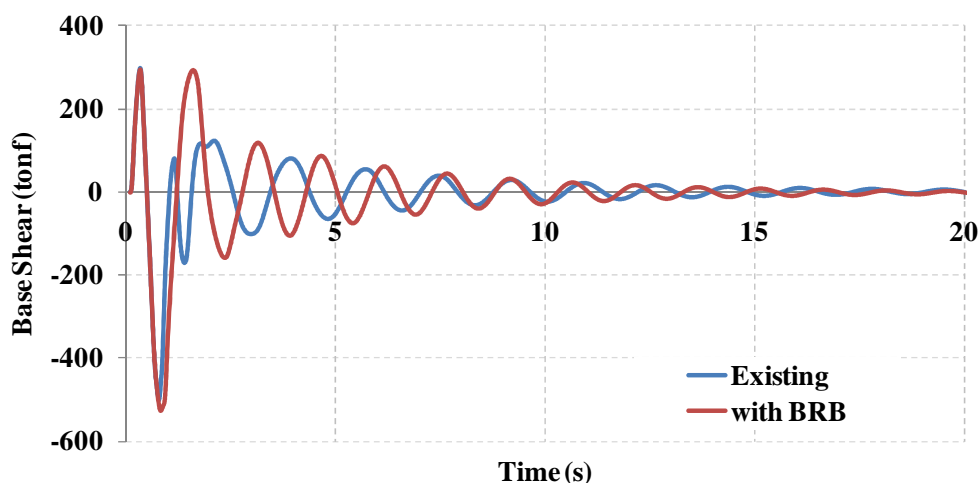
شکل ۶- تاریخچه تحریک پالس مانند اعمالی به سازه

در شکل ۷ تاریخچه پاسخ جابجایی عرشه سکو در دو حالت با یکدیگر مقایسه شده است. ملاحظه می‌شود که استفاده از BRB باعث کاهش پاسخ جابجایی در حدود ۵۰ درصد می‌شود. همچنین با مطالعه تاریخچه پاسخ برش پایه سازه، می‌توان مشاهده کرد که بیشینه پاسخ برش پایه در دو

حالت تفاوت چندانی نخواهد کرد. این مورد در شکل ۸ نشان داده شده است. ملاحظه می شود، که هنگامی که سیستم BRB فعال می شود، در یک جهت باعث افزایش مقدار برش پایه می شود. منتها در نهایت، برش پایه بیشینه بدون تغییر باقی می ماند.



شکل ۷- تاریخچه پاسخ جابجایی عرشه سازه اصلی بر حسب سازه مجهز به سیستم



شکل ۸- تاریخچه برش پایه سازه اصلی بر حسب سازه مجهز به سیستم

جمع بندی

در این مقاله در مورد به کارگیری سیستم BRB برای بهبود رفتار لرزه‌ای سکوه‌های شابلونی تحت تحریک زلزله مطالبی بیان شد. سیستم BRB به عنوان یک گزینه مناسب بهسازی معرفی و تشریح شد. یک سکوی موجود در خلیج فارس مورد بهسازی لرزه‌ای به وسیله این سیستم قرار گرفت. عملکرد سازه در دو حالت بررسی شد. با مقایسه منحنی پوش‌اور سکو مشخص شد که استفاده از این سیستم به نحو مطلوبی عملکرد سازه را بهبود می‌بخشد. در ادامه با استفاده از آنالیز دینامیکی، عملکرد سیستم بازبینی شد. از بحث حاضر اینگونه نتیجه‌گیری شد که استفاده از سیستم BRB با توجه به مواردی مانند هزینه کم، نصب و نگهداری آسان و عملکرد مناسب، می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای بهسازی سکوه‌های موجود در مقابل بارهای شدید مانند زلزله مدنظر قرار گیرد.

- [1] Ou, J., Long, X., Li, Q.S., Xiao, Y.Q., "Vibration control of steel jacket offshore platform structures with damping isolation systems", *Engineering Structure*, 29(7), 1525-1538, 2006.
- [2] Kawano, K., "Active control effects on dynamic response of offshore structures", *Proc. of 3rd ISOPE Conference*, 3, 494-498, 1993.
- [3] Kawano, K., Venkataramana, K., "Seismic response of offshore platform with TMD", *Proc. of 10th World Conference on Earthquake Engineering*, 4, 2241-2246, 1992.
- [4] Abdel-Rohman, M., "Structural control of steel jacket platform", *Structural Engineering and Mechanics*, 4, 25-38, 1996.
- [5] Lee, H.H., "Stochastic analysis for offshore structures with added mechanical dampers", *Ocean Engineering*, 24, 817-834, 1997.
- [6] Suneja, B.P., Datta, T.K., "Active control of ALP with improved performance function", *Ocean Engineering*, 25, 817-835, 1998.
- [7] Suneja, B.P., Datta, T.K., "Nonlinear open-close loop active control of articulated leg platform", *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 9, 141-148, 1999.
- [8] Wang, S., "Semi-active control of wave-induced vibration for offshore platforms by use of MR damper", *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Oslo, Norway, June 23-28, 2002.
- [9] Mahadik, A.S., Jangid, R.S., "Active control of offshore jacket platforms" *International Shipbuilding Progress*, 50, 277-295, 2003.
- [10] Vandiver, J.K., Mitome, S., "Effect of liquid storage tanks on the dynamics response of offshore platform", *Applied Ocean Research*, 1, 67-74, 1979.
- [11] Vincenzo, G., Roger, G., "Adaptive control of flow-induced oscillation including vortex effects", *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 34, 853-68, 1999.
- [12] Ou, J.P., Duan, Z.D., Xiao, Y.Q., "Ice-induced vibration analysis of JZ20-2MUQ offshore platform using in-situ ice force histories", *The Ocean Engineering* 17(2), 70-8, 1999.
- [13] Ou, J.P., Xiao, Y.Q., Duan, Z.D., Zou, X.Y., Wu, B., Wei, J.S., "Ice-induced vibration control of JZ20-2MUQ platform structure with viscoelastic energy dissipators", *The Ocean Engineering*, 18(3), 9-14, 2000.
- [14] Patil, K.C., Jangid, R.S., "Passive control of offshore jacket platforms" *Ocean Engineering*, 32, 1933-1949, 2005.
- [15] Ou, J., Long, X., Li, Q.S., Xiao, Y.Q., "Vibration control of steel jacket offshore platform structures with damping isolation systems", *Engineering Structure*, 29(7), 1525-1538, 2006.
- [16] Tabeshpour, M.R.; & Komachi, Assessment and Rehabilitation of Jacket Platforms, *Earthquake-Resistant Structures - Design, Assessment and Rehabilitation*, Prof. Abbas Moustafa (Ed.), ISBN: 978-953-51-0123-9, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/earthquake-resistant-structures-design-assessment-and-rehabilitation/assessment-and-rehabilitation-of-jacket-platforms>, 2012.
- [17] Komachi, Y., M.R. Tabeshpour, I. Mualla and A.A. Golafshani., "Retrofit of Ressalat Jacket Platform (Persian Gulf) using Friction Damper Device", *Journal of Zhejiang University Sci A (Appl Phys & Eng)*, 12(9):680-691, 2011.
- [18] Reina, P., Normile, D. "Fully braced for seismic survival" *Engineering News Record*, July 21, pp.34-36, 1997.
- [19] Clark, P., Aiken, I., Kasai, K., Ko, E., Kimura, I. "Design procedure for building incorporating hysteretic damping devices" *Proceeding, 69th Annual Covention, SEAOC*, Sacramento, CA, 1999.

- [20] Uang, C.M., Nakashima, M., Tsai, K.C., “Research and Application of Buckling-Restrained Braced Frames”, *Steel Structures* 4, pp 301-313, 2004.
- [21] Resalat (R1) Offshore Complex Renovation and Reconstruction Project, Production Platform-In place Analysis Report, Rsl-P1-St-Cn-1001-C2, Amid Engineering & Development Company.
- [22] OpenSees. Open system for earthquake engineering simulation. Available online: <http://opensees.berkeley.edu>, 2005.