

The effect of the side bearing resistant system of the rocking brace - viscous damper on the performance of shear frames

Ali Kachooee*

Faculty of Organizational Resource Sciences and Techniques, Amin Comprehensive University of Police Sciences, Tehran, Iran

ABSTRACT: According to the experiences gained from past earthquakes, the need for a structure that has less damage and can be easily repaired after an earthquake is essential. One of the methods of depreciating seismic energy and having a repairable structure is to use the rocking brace system. In this study, the effect of using swing brace along with liquid viscous damper in improving the seismic fragility of structures has been investigated. The swing brace is formed by adding a liquid viscous damper. The set of this system has been installed at the base of the structure and in two ways of connecting the cables to the first floor and the last floor. For numerical studies, a three-story shear structural model with nonlinear behavior is considered. The examined structures in an uncontrolled state and equipped with a brace-swing-damper system have been subjected to the vibration of 60 earthquake records recommended in the seismic regulations with different specifications and frequency content. The results of dynamic analyzes are subjected to regression analysis to obtain the relationship between the intensity of earthquake excitation and the response of the structure and to estimate the seismic demand of the structure. Finally, the fragility curves for mild, mild, extensive, and complete performance levels for three performance criteria including drift ratio of structural members, drift ratio of non-structural members sensitive to drift and acceleration of non-structural members sensitive to acceleration have been determined and compared. The results indicate the effective performance of the brace-swing-damper system in improving the seismic fragility of the studied structures, so that the fragility has decreased by 35%.

Review History:

Received: Apr. 05, 2023
Revised: May, 08, 2024
Accepted: Jul. 06, 2024
Available Online: Jul. 12, 2024

Keywords:

Swing Brace
Viscous Damper
Fragility Curve

1- Introduction

The swing brace system was first proposed by Kang and Tagawa [1] as shown in the figure below. They used the viscoelastic damper in the swing brace structure and investigated the performance of this system in controlling the vibration of a three-story steel bending frame. In this study, different number of swing brace structure and viscoelastic damper were considered. Also, the installation of only one base system of the structure and the connection of cables to the last floor, as well as the installation of three systems installed between the floors, were investigated.

In further research, Kang and Tagawa [3] used liquid viscous damper in the swing brace structure. In this study, the effect of using this system in the form of installation at the base of the structure and connecting its cables to the top floor was investigated for three-story and six-story structures. The results show the effective performance of the swing brace structure with viscous liquid damper in improving the vibration of the structure under earthquake excitation.

Nowrozi [4] used magnetorheological damper (MR) in a swing brace structure in a master's thesis and investigated

its performance in reducing the responses of two three- and five-story structures. In this research, the magnetorheological damper was used in passive mode with zero voltage and maximum voltage, which are called passive off and passive on. The results of this research also show the

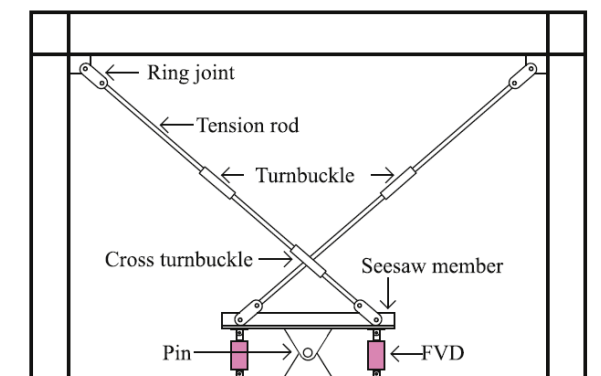


Fig. 1. Schematic of brace-swing system [2]

*Corresponding author's email: ali.kachooee@semnan.ac.ir



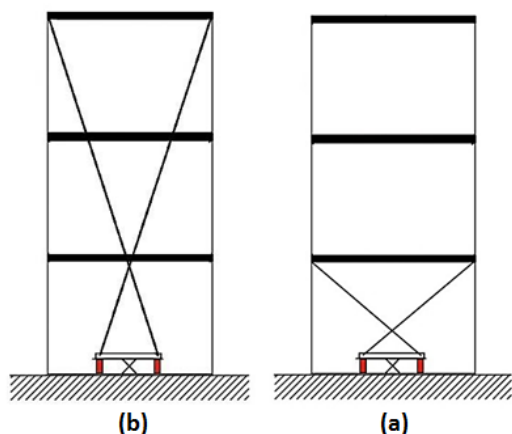


Fig. 2. Schematic of the three-story shear frame with the connection of brace-swing-damper system cables to a) the first floor (case 1) and b) the last floor (case 2).

proper efficiency of the swing brace structure along with the magnetorheological damper. It was also shown that the efficiency of this system was the best with the maximum voltage of the magnetorheological damper or in other words passive on.

As mentioned before, all the previous researches related to rocker brace with damper were only related to the evaluation of these systems in reducing the response of the structure and fragility analysis was not done for these structures. Therefore, in this study, the fragility analysis of the structure equipped with swing brace with liquid viscous damper is considered.

2- Methodology

In this part of the article, numerical studies and discussion regarding the obtained results are presented. The brace-swing system along with viscous liquid damper is installed at the base of the structure to improve the seismic performance of the structure. The connection of the swing brace to the structure is considered in two ways, which includes connection to the first floor and also connection to the last floor of the structure. The number of 60 real earthquake records with the probability of different occurrences recommended in seismic regulations have been selected for fragility analysis.

To evaluate the performance of the swing-damper system in improving the seismic fragility of the structure, a three-story shear frame numerical model with nonlinear behavior is considered. The investigated structures have been subjected to dynamic time history analysis and the responses of the structure under 60 earthquake records have been determined and extracted for fragility analysis. In the following, the parameters of the structure's probabilistic requirements are determined by linear regression analysis and used to determine the fragility functions. The fragility curves of the structure equipped with the swing brace system in two

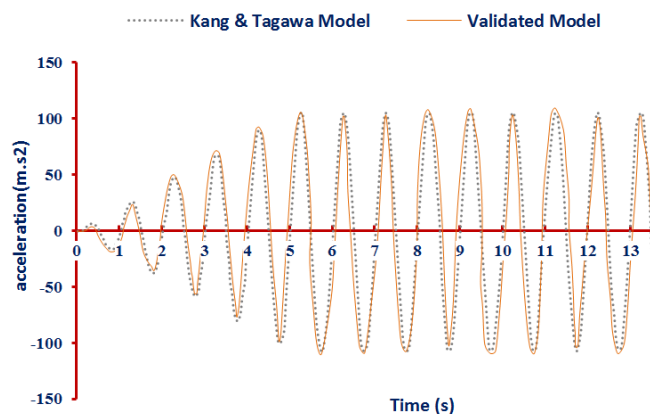


Fig. 3. Comparison of the time history acceleration response of Kang and Tagawa's single degree of freedom model [23] with the numerical model in order to validate the numerical results

installation modes on the first floor and the last floor have been determined according to the numerical model of the three-story structure and compared with the fragility curves of the structure without energy consumption tools. Also, in this study, assumptions are included, which include the following:

It is assumed that the behavior of materials is nonlinear with bilinear behavior

The floor of all floors of the building is assumed to be solid.

The structure is assumed to have a fixed foundation and the effect of the interaction between the soil and the structure is neglected.

The deformations created in the cables of the swing brace have been ignored.

It is worth mentioning that all the models have been analyzed and studied using algorithm writing in MATLAB software.

In order to ensure the results obtained from numerical studies, the model of one degree of freedom is simplified in the study of Kang and Tagawa [3] in MATLAB software using modeling algorithm and time history acceleration response of this model with the obtained results. It is compared to the original model in Figure 3.

According to the above diagram, it can be seen that the results of the numerical model made in MATLAB software are in good agreement with the results of Kang and Tagawa's model. Therefore, the results obtained from numerical studies can be trusted.

3- Results and Discussion

In this section, the fragility curves of the three-story structure in the uncontrolled state are drawn under 60 earthquake records

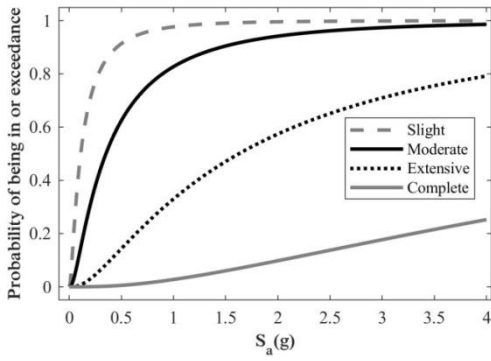


Fig. 4. The fragility curve of the uncontrolled structure related to different performance levels and the performance criterion of the drift ratio of structural members

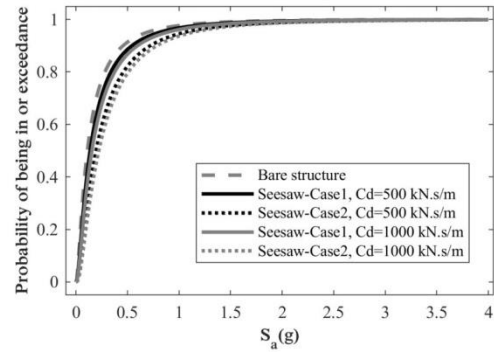


Fig. 6. The fragility curve of the uncontrolled structure equipped with the brace-swing-damper system related to the mild performance level and the performance criterion of the drift ratio of the structural members.

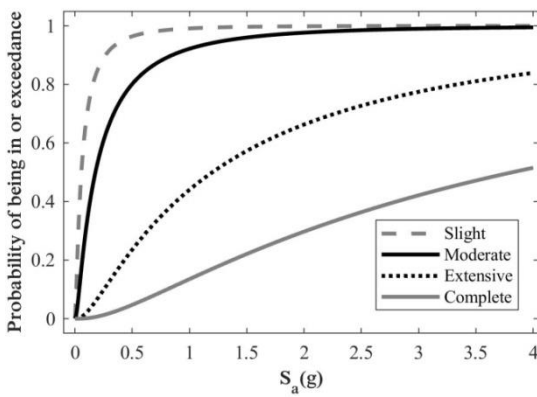


Fig. 5. The fragility curve of the uncontrolled structure related to different performance levels and the performance criterion of the drift ratio of non-structural members

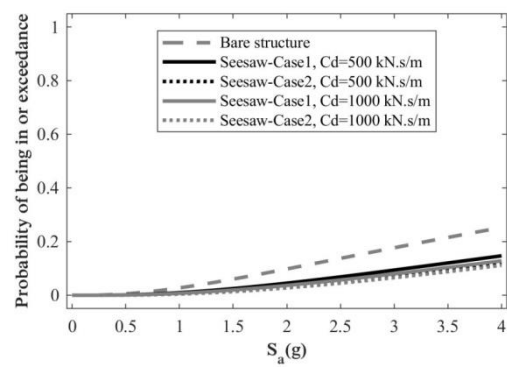


Fig. 7. The fragility curve of the uncontrolled structure equipped with brace-swing-damper system related to the full performance level and the performance criterion of the drift ratio of the structural members.

In Figures 4 and 5, the fragility curves of the uncontrolled structure are shown, respectively, related to the functional criterion of the drift ratio of structural members, and the drift ratio of non-structural members sensitive to drift for mild, mild, wide and full performance levels.

In this section, a number of fragility curves of the three-story structure have been extracted in the case where the brace-swing-liquid viscous damper system is used in the two cases of connecting the cable to the first floor (case 1) and connecting the cable to the last floor (case 2).

In Figures 6 to 9, the fragility curves of the uncontrolled structure with the fragility curves of the structure equipped with brace-swing-liquid viscous damper system in four cases (1) connecting the cable to the first floor and the

damping coefficient of the damper equal to $c_d=500$ kN.s/m, (2) connecting the cable to the last floor and the damping coefficient of the damper equal to $c_d=500$ kN.s/m, (3) connecting the cable to the first floor and the damping coefficient of the damper equal to $c_d=1000$ kN.s/m, (4) connecting The cable is compared to the last floor and the damping coefficient of the damper equal to $c_d=1000$ kN.s/m. Figures 6 to 7 present the fragility curves considering the functional criterion of drift ratio of structural members for mild, mild, extensive, and complete functional levels, respectively. In Figures 7 to 8, the fragility curves related to the functional measure of the drift ratio of drift-sensitive non-structural members are compared for these four functional levels. Finally, the fragility curves related to the functional

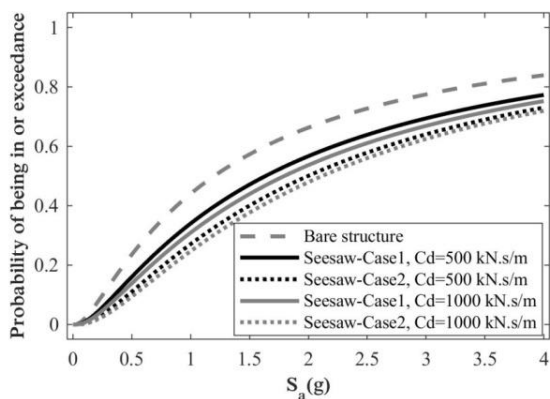


Fig. 8. The fragility curve of the uncontrolled structure equipped with brace-swing-damper system related to the wide performance level and the performance criterion of the drift ratio of non-structural members

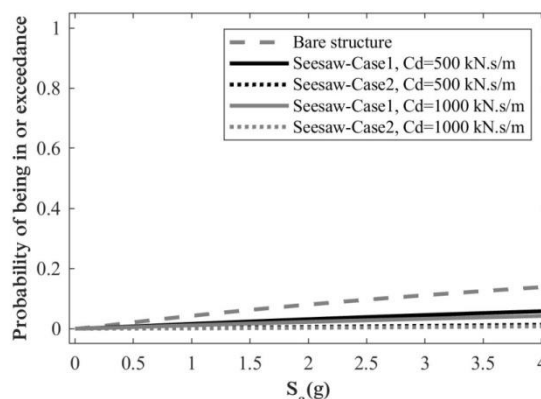


Fig. 9. The fragility curve of the uncontrolled structure equipped with brace-swing-damper system related to the full functional level and the performance criterion of the acceleration of non-structural members

criterion of acceleration of non-structural members sensitive to acceleration are also shown in Figures 7 to 8.

4- Conclusion

In this part of the article, the summary and conclusions of the numerical studies are presented. In this study, the effect of using swing brace along with liquid viscous damper in improving the seismic fragility of structures has been investigated. The rocking brace is formed by adding liquid viscous damper, and the set of this system has been installed at the base of the structure and examined in two cases of connecting the cables to the first floor and the last floor. For numerical studies, a three-story shear structure with nonlinear behavior is considered. The examined structures in an uncontrolled state and equipped with a brace-swing-damper system have been subjected to the vibration of 60 earthquake records recommended in the seismic regulations with different specifications and frequency content. The results of dynamic analyzes are subjected to regression analysis to obtain the relationship between the intensity of earthquake excitation and the response of the structure and to estimate the seismic demand of the structure. Finally, the fragility curves for mild, mild, extensive, and complete performance levels for three performance criteria including drift ratio of structural members, drift ratio of non-structural members sensitive to drift and acceleration of non-structural members sensitive to acceleration have been determined and compared. The results of numerical studies can be summarized as follows.

1. The use of swing brace system along with liquid viscous damper is effectively effective in improving the seismic fragility of the three-story structure.

2. By increasing the thresholds of functional levels and actually by increasing the amount of seismic damage, the

fragility of the structure decreases, which has also been observed in the uncontrolled structure and the structure equipped with the brace-swing-viscous damper system.

3. The comparison of the cable connection mode of the brace-swing system shows that the cable connection to the last floor (case 2) has shown a more effective performance in reducing the seismic fragility of the structure than the cable connection mode to the first floor in structure three. However, the force created in the cables of the swing system when connected to the last floor is significantly more than when connected to the first floor. This phenomenon can be due to the greater angle of connection to the last floor with the horizon, which will be a limiting factor.

4. The comparison of the damping coefficient of the damper also shows that the larger damping coefficient for the liquid viscous damper has led to a greater reduction in seismic fragility. Of course, it should be noted that two values of the damping coefficient are considered as examples in the studied models. In general, the design of the liquid viscous damper should be done according to the seismic demand of the damper itself, such as the change of position and speed of the two ends of the damper and the resistive force created in it. Also, the necessary considerations for the design of the cables of the swing brace system should be made with regard to creating a significant force in it.

5. The fragility curves of the functional criterion of the drift ratio of structural members are always larger than the fragility curves of the functional criterion of the drift ratio of non-structural members sensitive to drift. This phenomenon is due to the fact that both these fragility curves are based on the same seismic demand, which is the drift ratio, and the thresholds of the standard performance levels of the drift ratio of structural members are always lower than the thresholds

of the standard performance levels of the drift ratio of non-structural members sensitive to drift.

6. In general, it can be said that in a three-story structure, the use of a viscous liquid brace-swing-damper system has been able to reduce the seismic fragility of the structure by about 35% compared to the uncontrolled seismic fragility of the structure.

References

- [1] J.D. Kang, H. Tagawa, Seismic response of steel structures with seesaw systems using viscoelastic dampers, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 42(5), (2012), 779-794.
- [2] A. N. Kulkarni and S. R. Patil, Magneto-Rheological (MR) and Electro-Rheological (ER) Fluid Damper: A Review Parametric Study of Fluid Behavior, *Journal of Engineering Research and Applications*, 3(6), (2013), 1879-1882.
- [3] J.D. Kang and H. Tagawa, Seismic performance of steel structures with seesaw energy dissipation system using fluid viscous dampers, *Engineering Structures*, 56, (2013), 431-442.
- [4] A. Norouzi, Using the MR damper in the structure of the Seesaw brace and checking the efficiency improvement of the system, Master's thesis of Gilan University, (2022).



تاثیر سیستم مقاوم باربر جانبی مهاربند الاکلنگی - میراگر ویسکوز بر عملکرد قاب‌های برشی

علی کچوئی*

دانشکده علوم و فنون منابع سازمانی، دانشگاه جامع علوم انتظامی امین، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶
بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶
ارائه آنلاین: ۱۴۰۳/۰۴/۲۲

کلمات کلیدی:

مهاربند الاکلنگی
میراگر ویسکوز
منحنی شکنندگی

خلاصه: با توجه به تجربه‌های بدست آمده از زلزله‌های گذشته، نیاز به سازه‌ای که بعد از وقوع زلزله، خسارت و زیان کمتری داشته و به آسانی قابل تعمیر باشد، امری ضروری است. یکی از روش‌های استهلاک انرژی لرزه‌ای و داشتن سازه‌ای تعمیرپذیر بکارگیری سیستم مهاربند الاکلنگی است. در این مطالعه به بررسی اثر استفاده از مهاربند الاکلنگی به همراه میراگر ویسکوز مایع در بهبود شکنندگی لرزه‌ای سازه‌ها پرداخته شده است. مهاربند الاکلنگی با اضافه کردن میراگر ویسکوز مایع تشکیل شده است. مجموعه این سیستم در پایه سازه نصب و در دو حالت اتصال کابل‌ها به طبقه اول و طبقه آخر مورد بررسی قرار گرفته است. برای مطالعات عددی مدل سازه‌ای سه طبقه برشی با رفتار غیرخطی در نظر گرفته شده است. سازه‌های مورد بررسی در حالت کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر تحت ارتعاش ۶۰ رکورد زلزله توصیه شده در آیین نامه‌های لرزه‌ای با مشخصات و محتوای فرکانسی متفاوت قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از تحلیل‌های دینامیکی تحت تحلیل رگرسیون قرار گرفته تا رابطه بین شدت تحریک زلزله و پاسخ سازه حاصل شده و نیاز لرزه‌ای سازه تخمین زده شود. در نهایت منحنی‌های شکنندگی به ازای سطوح عملکردی خفیف، ملایم، وسیع، و کامل به ازای سه معیار عملکردی شامل نسبت دررفت اعضای سازه‌ای، نسبت دررفت اعضای غیرسازه‌ای حساس به دررفت و شتاب اعضای غیرسازه‌ای حساس به شتاب، تعیین و با هم مقایسه شده‌اند. نتایج حاکی از عملکرد موثر سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در بهبود شکنندگی لرزه‌ای سازه‌های مورد مطالعه است، به طوری که شکنندگی به میزان ۳۵٪ کاهش یافته است.

۱- مقدمه

طراحی ساختمان‌ها در مقابل زلزله را می‌توان به دو دسته، روش‌های متداول و روش‌های مدرن تقسیم نمود. در روش متداول، سازه با مقاومت و سختی و قابلیت جذب انرژی کافی برای تحمل زلزله طراحی می‌شود که این امر با اضافه کردن اجزائی مانند دیوارهای برشی، مهاربندها، قاب‌های خمشی و... تامین می‌گردد تا منجر به سیستمی مقاوم در برابر بارهای جانبی گردد. در مقابل در روش مدرن علاوه بر طراحی سازه به روش متداول، از ابزارهای استهلاک انرژی غیرفعال برای کاهش پاسخ‌های سازه نظیر تغییرمکان، سرعت و شتاب طبقات استفاده می‌شود. این ابزارهای استهلاک انرژی در قسمت‌های مختلف نظیر محل اتصال بادبندها، بین پی و کف ساختمان و برخی در پشت بام نصب می‌گردند [۱ و ۲].

سیستم‌های کنترل برحسب میزان انرژی موردنیاز و نیز نحوه عملکرد، به

چهار گروه کلی زیر طبقه بندی می‌شوند:

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ali.kachooee@semnan.ac.ir

- کنترل غیرفعال^۱
- کنترل فعال^۲
- کنترل نیمه فعال^۳
- کنترل ترکیبی^۴

از آنجاییکه محور اصلی این پژوهش بررسی تاثیر مهاربند الاکلنگی به همراه میراگر ویسکوز مایع است که جزء ابزارهای استهلاک انرژی غیرفعال دسته بندی می‌شوند، لذا در این بخش به معرفی سیستم‌های کنترل غیرفعال پرداخته شده است.

کنترل غیرفعال را می‌توان به شکل سیستمی تعریف نمود که جهت عملکرد، نیازی به یک منبع انرژی خارجی نداشته و سیستم با استفاده از حرکت سازه نیروهای کنترل را بوجود می‌آورد. نیروهای کنترل به صورت

- 1 Passive Control
- 2 Active Control
- 3 Semi-active Control
- 4 Hybrid Control





شکل ۱. بلوک دیاگرام کنترل غیر فعال سازه [۲]

Fig. 1. Block diagram of passive structure control

جدول ۱. سیستم‌های کنترل غیر فعال [۳]

Table 1. Passive control systems

اتلاف انرژی غیر فعال	جداسازهای لرزه‌ای
میراگر فلزی	تکیه‌گاه الاستومری (لاستیکی)
میراگر اصطکاکی	تکیه‌گاه لاستیکی با هسته سربی
میراگر ویسکوز	سیستم پاندولی اصطکاکی
میراگر ویسکوالاستیک	
میراگر جرمی تنظیم شونده	
میراگر مایع تنظیم شونده	

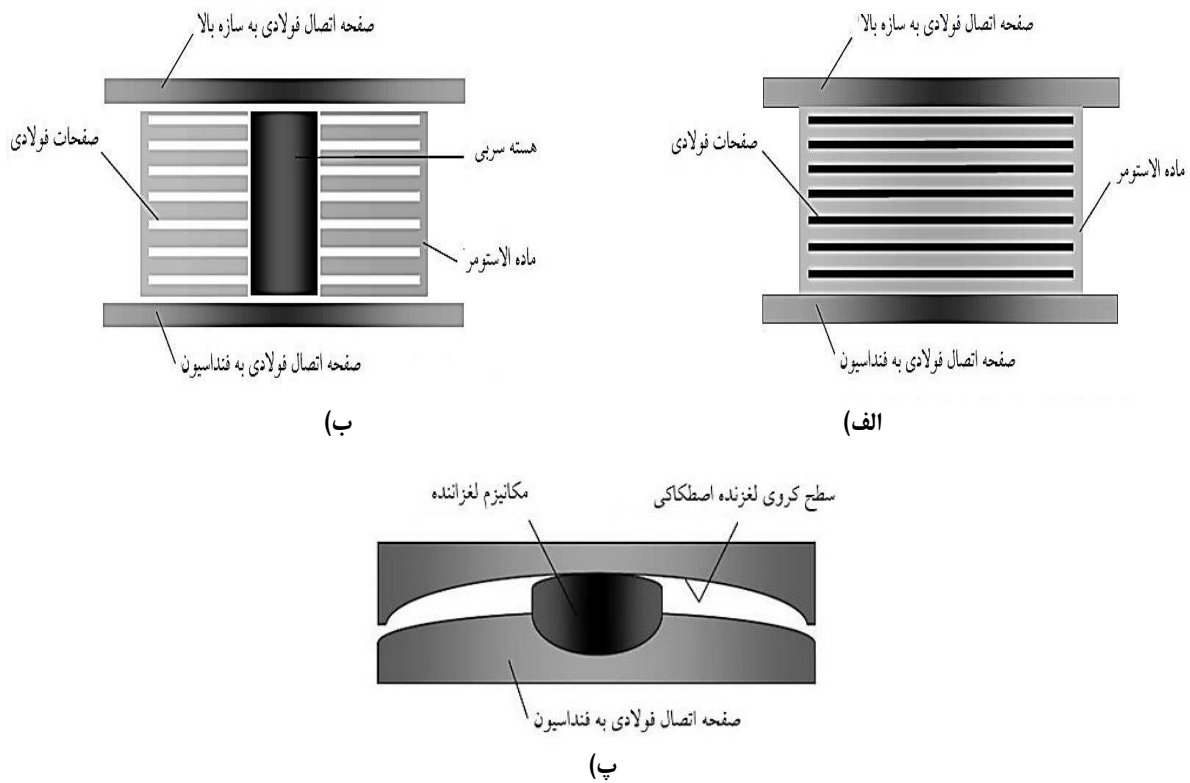
شکل ۱ دیاگرام یک سازه مجهز به یک سیستم اتلاف انرژی غیر فعال^۱ (PED) را نشان می‌دهد.

جداسازهای لرزه‌ای^۲ یکی از پرکاربردترین ابزارها برای کنترل غیر فعال می‌باشند. وسایلی که در جهت افقی انعطاف پذیر و در جهت قائم کاملاً سخت هستند. این ابزار بین فونداسیون و سازه قرار می‌گیرند و آن‌ها را از اثرات ویرانگر ناشی از نیروی جانبی زلزله جدا می‌کنند. گستره‌ای از جداسازها در کشورهایی مانند ایالات متحده، ژاپن، ایتالیا، نیوزیلند و غیره برای طراحی ضد لرزه‌ای ساختمان‌های زیادی به کار گرفته شده است [۴]. نمونه‌ای از معروف ترین سیستم‌های جداسازی شامل تکیه‌گاه الاستومری^۳ (لاستیکی)،

تابعی از پاسخ سازه در محل قرار گیری سیستم کنترل غیر فعال ایجاد می‌شوند. در این سیستم، الگوریتم کنترلی مورد نیاز نمی‌باشد و در مدت زمان تحریک عملکرد آن ثابت می‌باشد. از مزایای استفاده از سیستم‌های کنترل غیر فعال نگهداری کم هزینه و آسان آن و همچنین به دلیل عدم نیاز به منبع انرژی قابل اطمینان می‌باشند. از معایب آن‌ها نیز می‌توان به محدود شدن کارایی و عملکرد این سیستم‌ها در شرایط مختلف بارگذاری همچون زلزله که ماهیت نامشخصی دارد، اشاره کرد. این سیستم‌ها طبق مکانیسم‌های مختلفی نظیر تسلیم فولاد، عملکرد ویسکوالاستیک مایعات و جامدات، اصطکاک و غیره انرژی وارد شده به سازه را هدر می‌دهند. جداسازهای لرزه‌ای شکل دیگری از سیستم‌های کنترل غیر فعال می‌باشند، که در جدول

۱ چند نمونه از این سیستم‌ها معرفی شده‌اند [۱].

- 1 Passive Energy Dissipation
- 2 Seismic Isolation
- 3 Elastomeric bearing



شکل ۲. سیستم های جداسازهای لرزه‌ای [۵]، الف) تکیه گاه الاستومری، ب) تکیه گاه لاستیکی با هسته سربی، پ) تکیه گاه اصطکاکی - لغزشی

Fig. 2. Seismic isolation systems, A) Elastomer support b) Rubber support with lead core c) Friction-sliding support

های فولادی اتلاف کننده انرژی مورد بررسی قرار گرفتند. آن‌ها یک میراگر ضربردی و یک میراگر مثلی با میرایی و سختی افزوده شده را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج بدست آمده از مطالعه نشان داد رفتار هیسترتیک^۴ تجهیزات ADAS تا نقطه شکست ورق پایدار باقی می ماند و مقاومت خستگی کافی برای تحمل تعداد زیادی از چرخه های برگشتی تسلیم را دارا می باشند. در میراگرهای اصطکاکی از ایجاد اصطکاک بین دو جسم صلب که نسبت به هم می لغزند، برای اتلاف انرژی استفاده می شود. در اوایل دهه ۱۹۸۰ پال و همکاران [۹]، پیشگام استفاده از میراگرهای اصطکاکی غیرفعال جهت بهبود پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها بودند. پس از آن سیستم میراگرهای اصطکاکی پیشرفت و توسعه بیشتری یافته و انواع مختلفی از این میراگرها مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است [۲-۵]. شکل (۴) دو نمونه از میراگرهای اصطکاکی را نشان می دهد که در شکل الف) یک میراگر مهاری

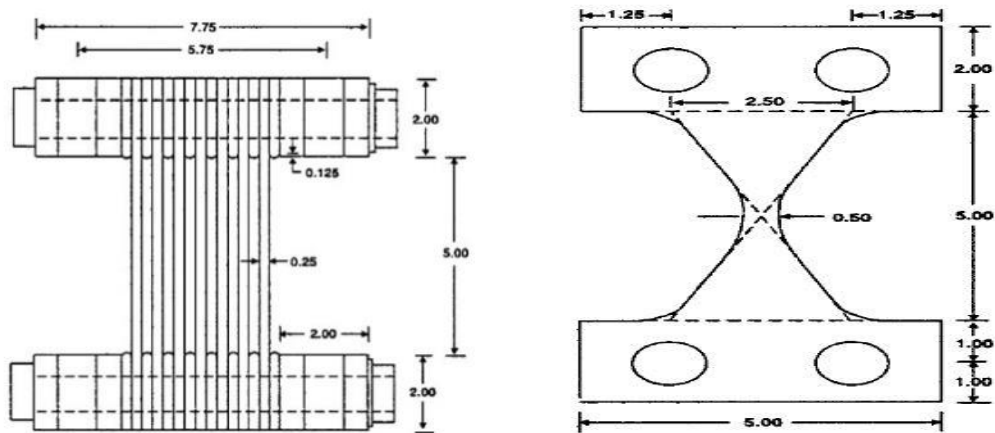
تکیه گاه لاستیکی با هسته سربی^۱، سیستم پاندولی اصطکاکی^۲ که در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.

میراگرهای فلزی یکی از ابزارهای موثر در اتلاف انرژی لرزه‌ای وارد به سازه می باشند، که از طریق تغییر شکل غیرالاستیک مواد فلزی همچون فولاد این انرژی وارده را مستهلک می نمایند. به طور معمول این وسایل از صفحات فولادی نرم مثلی یا ضربردی تشکیل شده‌اند، تا تقریباً تمام ماده به صورت یکنواخت جاری شود. از ویژگی های مطلوب این دستگاه‌ها می توان به قابلیت اطمینان طولانی مدت، رفتار هیسترتیزس پایدار و حساسیت کم به دمای محیط اشاره نمود [۲-۶]. شکل ۳ نمای میراگر ضربردی با میرایی و سختی افزوده شده (ADAS^۳) را نشان می دهد:

نخستین بار کلی و همکاران [۷]، در سال ۱۹۷۲ میراگرهای فلزی را معرفی کردند. پس از آن طی مطالعه‌ای توسط برگمن و همکارانش [۸]، ورق

- 1 Lead-Rubber Bearings
- 2 Friction Pendulum Systems
- 3 Added Damping And Stiffness

4 Hysteretic



شکل ۳. دستگاه ADAS [۶]

Fig. 3. ADAS device

۲- مهاربند الاکلنگی به همراه میراگر

سیستم مهاربند الاکلنگی^۵ اولین بار توسط کانگ و تاگاوا [۲۱] مطابق شکل ذیل، پیشنهاد شده است. آنها از میراگر ویسکو الاستیک در ساختار مهاربند الاکلنگی بهره گرفتند و عملکرد این سیستم را در کنترل ارتعاش یک قاب خمشی فولادی سه طبقه مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تعداد مختلف از ساختار مهاربند الاکلنگی و میراگر ویسکو الاستیک مد نظر قرار گرفت. همچنین نصب تنها یک سیستم پایه سازه و اتصال کابل‌ها به طبقه آخر و همچنین نصب سه سیستم که بین طبقات نصب شده مورد بررسی قرار گرفت.

در ادامه تحقیقات، کانگ و تاگاوا [۲۳] میراگر ویسکوز مایع را در ساختار مهاربند الاکلنگی مورد استفاده قرار دادند. در این مطالعه تاثیر استفاده از این سیستم به صورت نصب در پایه سازه و اتصال کابل‌های آن به طبقه آخر برای سازه سه طبقه و شش طبقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده عملکرد موثر ساختار مهاربند الاکلنگی به همراه میراگر ویسکوز مایع در بهبود ارتعاش سازه تحت تحریک زلزله بوده است.

نوروزی [۲۴] در یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد از میراگر مگنتورئولوژیک^۶

(MR) در ساختار مهاربند الاکلنگی بهره گرفت و عملکرد آن را در کاهش

ضربدردی^۱ که از اصطکاک بین ورق‌های فولادی برای مستهلک نمودن انرژی استفاده می‌کند. [۹] و در شکل ب) یک میراگر اصطکاکی تک‌محور^۲، دارای پدهای اصطکاکی که در سطح داخلی یک سیلندر سر می‌خورد و در اثر لغزش انرژی زیادی از طریق اصطکاک مستهلک می‌شود، نمایش داده شده است [۶].

در این مطالعه از میراگر ویسکوز مایع برای تجهیز مهاربند الاکلنگی استفاده شده است. میراگرهای ویسکوز به دلیل سادگی در نصب، تنوع ابعاد، اندازه و توانایی هماهنگی با سایر اعضا کاربرد بسیاری در اجزای سازه‌ای پیدا کرده‌اند. [۲-۱۸]، طی مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۱ لی و تیلور [۱۹]، اجزای مختلف یک میراگر ویسکوز را معرفی کرده (مطابق شکل ۵) و به شرح تکنولوژی آن پرداختند. سپس رفتار یک میراگر در برابر بارهای دینامیکی را ارزیابی نموده و همچنین روش‌های مختلف نصب میراگر در سازه را معرفی کرده‌اند.

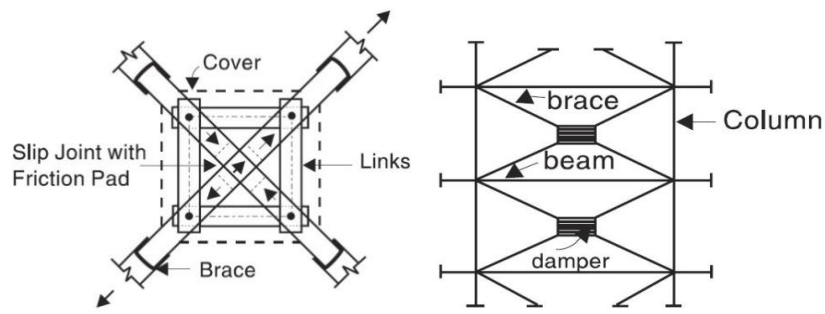
از انواع دیگر آنها می‌توان به میراگرهای دیگ استوانه‌ای^۳ و سیستم دیوار

میراگر ویسکوز^۴ اشاره کرد که در شکل ۶ نمایش داده شده است. [۲۰]

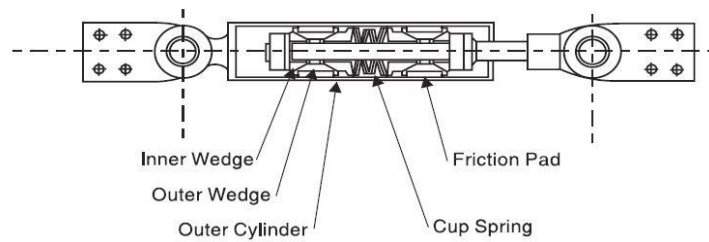
- 1 X-braced Dampers
- 2 Uniaxial Friction Dampers
- 3 Cylindrical Pot Fluid
- 4 Viscous Damping Wall Systems

5 Seesaw

6 Magnetorheologic



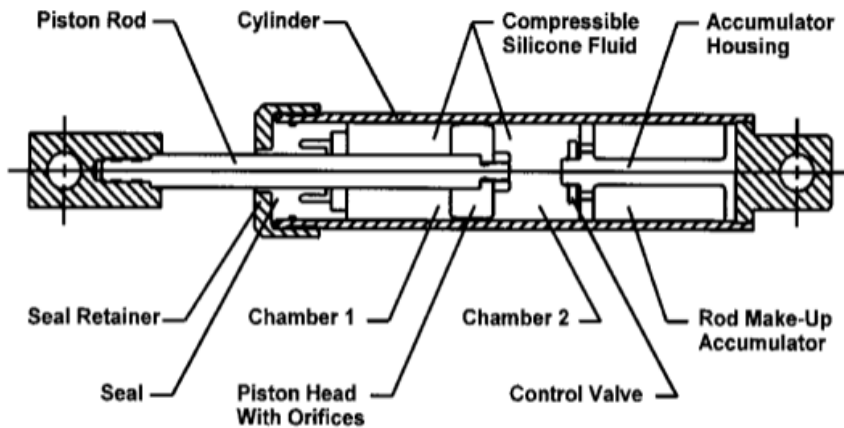
(الف)



(ب)

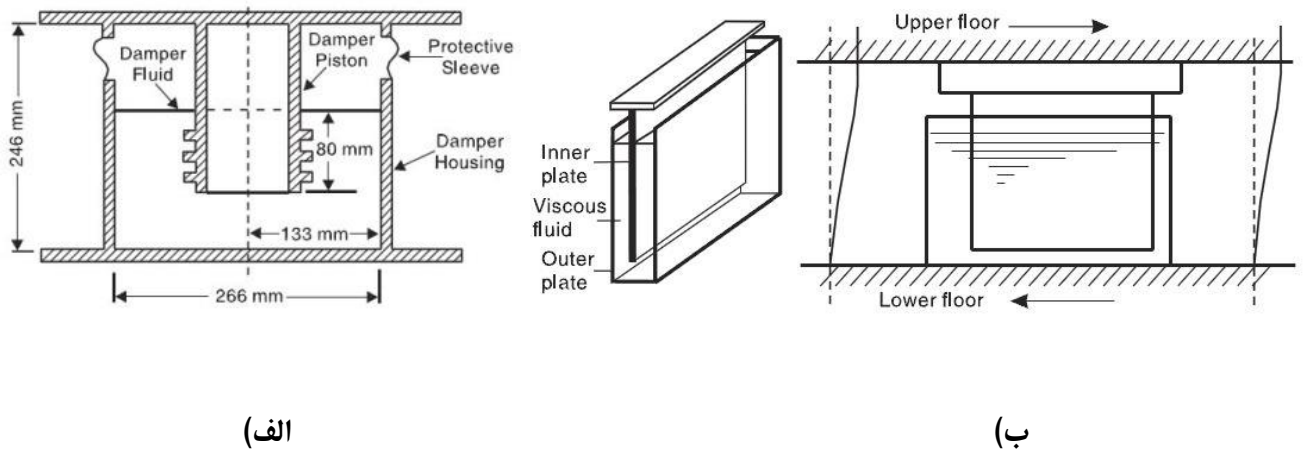
شکل ۴. نمونه‌هایی از میراگر اصطکاکی. الف) میراگر مبهاری ضربدری، ب) میراگر اصطکاکی تک محور

Fig. 4. Examples of friction damper, A) Cross inhibition damper, b) Single axis friction damper



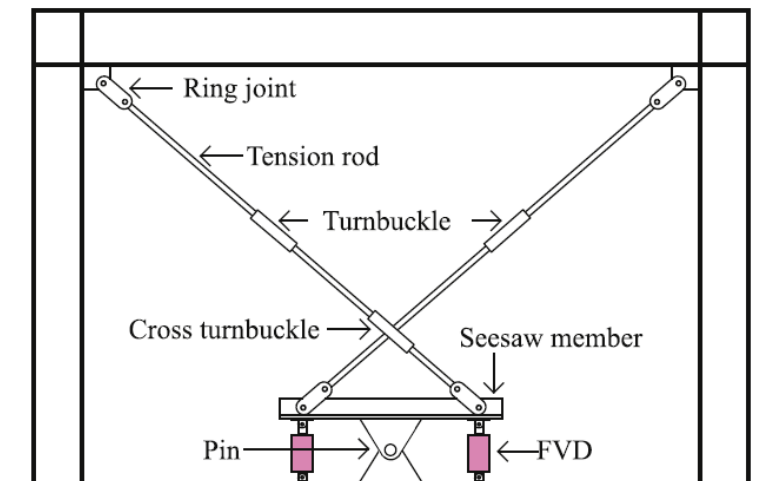
شکل ۵. مقطع طولی از میراگر ویسکوز [۱۱]

Fig. 5. Longitudinal section of viscous damper



شکل ۶. دو نمونه از میراگر های ویسکوز [۱۲]. الف) سیستم دیوار میراگر ویسکوز ، ب) میراگر مایع دیگ استوانه‌ای

Fig. 6. Two examples of viscous dampers, A) Viscose damper wall system, b) liquid damper of cylindrical boiler



شکل ۷. شماتیک سیستم مهاربند-الاکلنگ [۲۲]

Fig. 7. Schematic of brace-swing system

- سازه با پایه ثابت فرض شده و از اثر اندرکنش خاک و سازه صرف نظر شده است.
 - از تغییرشکل‌های ایجاد شده در کابل‌های مهاربند الاکلنگی صرف نظر شده است.
- شایان ذکر است تمامی مدل‌ها با استفاده از الگوریتم‌نویسی در نرم افزار متلب مورد تحلیل و مطالعه قرار گرفته‌اند.

۳-۱- مشخصات ساختمان‌های مورد بررسی

در این بخش مشخصات ساختمان‌های مورد بررسی در این تحقیق که به صورت قاب برشی سه طبقه هستند، ارائه شده است. قاب برشی به عنوان نماینده یک ساختمان واقعی در نظر گرفته شده و می‌تواند ارائه دهنده کلیت رفتار سازه تحت تحریک زلزله باشد. در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در زمینه ابزارهای استهلاک انرژی لرزه‌ای از مدل قاب برشی بهره گرفته شده است. در واقع مدل قاب برشی یک تقریب از یک سازه است و به ازای هر طبقه یک جرم لرزه‌ای و یک درجه آزادی انتقالی برای سازه در نظر گرفته می‌شود. سختی مجموعه ستون‌های یک طبقه به عنوان سختی طبقه برای قاب برشی منظور می‌شود. قاب برشی سه طبقه به عنوان سازه مورد مطالعه انتخاب شده و مشخصات آن در ادامه تشریح شده است.

این مدل شامل یک ساختمان قاب برشی با تعداد سه طبقه است. جرم طبقات این سازه یکسان و برابر ۱۰۰ تن است. سختی الاستیک اولیه طبقه اول و دوم برابر ۳۰۶۳۲ کیلونیوتن بر متر و سختی الاستیک اولیه طبقه سوم نیز ۲۰۴۲۱ کیلونیوتن بر متر می‌باشد. برای رفتار سختی غیرخطی سازه مدل سختی دوخطی^۱ که در شکل ۸ نشان داده شده، در نظر گرفته شده است. در این مدل، سه پارامتر وجود دارد که شامل، سختی الاستیک اولیه، سختی الاستیک پس از تسلیم و تغییرمکان تسلیم است. مطابق با تحقیقات پیشین که تخمینی از رفتار غیرخطی سازه داشته‌اند، سختی الاستیک پس از تسلیم معادل ۱۰ درصد سختی الاستیک اولیه در نظر گرفته شده است. همچنین تغییرمکان تسلیم نیز برابر ۲/۴ سانتی‌متر منظور شده است. میرایی ویسکوز خطی هر طبقه یکسان و برابر ۷۰ کیلونیوتن ثانیه بر متر است. فرکانس زاویه‌ای و دوره تناوب مودهای مختلف این سازه با فرض رفتار خطی (فرض سختی الاستیک اولیه) در جدول ۲ گزارش شده است. ارتفاع طبقات سازه نیز ۳/۲ متر فرض شده است.

در این مثال نصب سیستم مهاربند-لاکلنگ به همراه میراگر ویسکوز

پاسخ‌های دو سازه سه و پنج طبقه مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق از میراگر مگنتورئولوژیک در حالت غیرفعال با ولتاژ صفر و ولتاژ حداکثر که اصطلاحاً به آن‌ها *passive off* و *passive on* اطلاق می‌شود، استفاده گردید. نتایج این پژوهش نیز نشان دهنده کارایی مناسب ساختار مهاربند الاکلنگی به همراه میراگر مگنتورئولوژیک بوده است. همچنین نشان داده شد که کارایی این سیستم با ولتاژ حداکثر میراگر مگنتورئولوژیک یا به عبارت دیگر *passive on* بهترین کارایی را داشته است.

همانطور که پیش از این اشاره شد، تمامی تحقیقات پیشین در رابطه با مهاربند الاکلنگی به همراه میراگر تنها در رابطه با ارزیابی این سیستم‌ها در کاهش پاسخ سازه بوده و تحلیل شکنندگی برای این سازه‌ها صورت نگرفته است. از این رو در این مطالعه تحلیل شکنندگی سازه مجهز به مهاربند الاکلنگی به همراه میراگر ویسکوز مایع مد نظر است.

۳- مطالعات عددی

در این قسمت از مقاله، مطالعات عددی و بحث در رابطه با نتایج بدست آمده ارائه گردیده است. سیستم مهاربند-لاکلنگ به همراه میراگر ویسکوز مایع برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه در پایه نصب شده است. اتصال مهاربند الاکلنگی به سازه در دو حالت مد نظر قرار گرفته است که شامل اتصال به طبقه اول و همچنین اتصال به طبقه آخر سازه است. تعداد ۶۰ رکورد زلزله واقعی با احتمال رخدادهای متفاوت توصیه شده در آیین نامه های لرزه‌ای برای تحلیل شکنندگی انتخاب شده است.

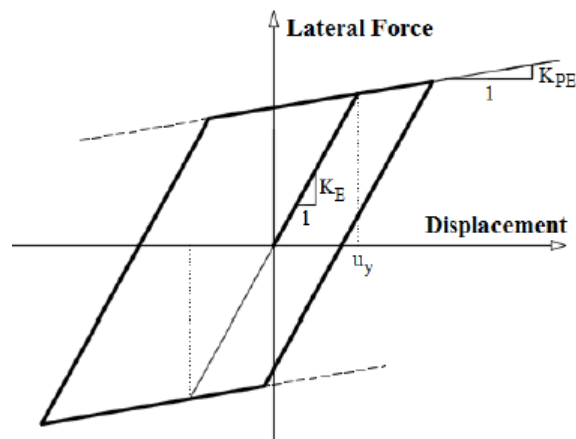
برای ارزیابی عملکرد سیستم الاکلنگ-میراگر در بهبود شکنندگی لرزه‌ای سازه یک مدل عددی قاب برشی سه طبقه با رفتار غیرخطی در نظر گرفته شده است. سازه‌های مورد بررسی تحت تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی قرار گرفته‌اند و پاسخ‌های سازه تحت ۶۰ رکورد زلزله تعیین و برای تحلیل شکنندگی استخراج شده است. در ادامه با تحلیل رگرسیون خطی پارامترهای نیاز احتمالاتی سازه تعیین و برای تعیین توابع شکنندگی مورد استفاده قرار گرفته است. منحنی‌های شکنندگی سازه مجهز به سیستم مهاربند الاکلنگی در دو حالت نصب در طبقه اول و طبقه آخر به ازای مدل عددی سازه سه طبقه تعیین و با منحنی‌های شکنندگی سازه بدون ابزار استهلاک انرژی مقایسه شده‌اند. همچنین در این مطالعه فرضیاتی لحاظ شده که شامل موارد زیر است:

- فرض شده است رفتار مصالح غیرخطی با رفتار دوخطی است
- کف تمامی طبقات ساختمان صلب فرض شده است.

جدول ۲. فرکانس و دوره تناوب مدهای مختلف قاب برشی سه طبقه

Table 2. Frequency and periodicity of different modes of three-story shear frame

دوره تناوب Ti (s)	فرکانس زاویه‌ای ωi (Hz)	مود
۰/۸۲۹۱	۷/۵۸	۱
۰/۳۲۶۱	۱۹/۲۷	۲
۰/۲۰۹۶	۲۹/۹۸	۳



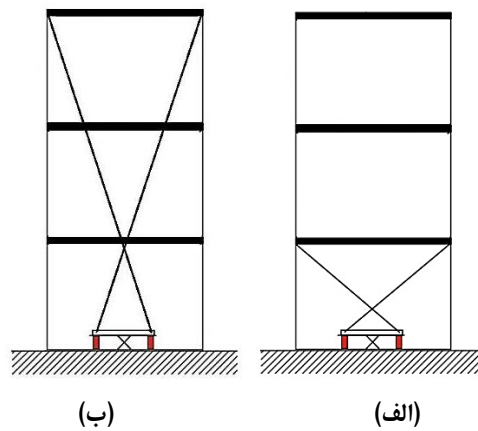
شکل ۸. مدل سختی دوخطی برای رفتار غیرخطی سازه

Fig. 8. Bilinear stiffness model for nonlinear behavior of structure

شده است. در این مدل ضمن بررسی اثر سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه در مقایسه با سازه کنترل نشده، مقایسه نصب کابل‌های این سیستم در طبقه اول و آخر نیز مد نظر است. شایان ذکر است تمامی قاب‌های مورد مطالعه با توجه به جرم‌های لرزه‌ای و سختی‌های برشی ارائه شده برای طبقات مختلف که پیش از این به آن اشاره شد، با استفاده از الگوریتم نویسی مربوطه در نرم افزار متلب مدل‌سازی شده، تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی مربوطه از طریق اعمال ۶۰ رکورد انتخابی به این مدل‌ها صورت پذیرفته و در نهایت نتایج مربوطه از نرم افزار متلب استخراج شده است.

مایع در دو حالت در نظر گرفته شده است. در هر دو حالت تنها یک سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در پایه سازه نصب شده است. با این تفاوت که در حالت اول که با عنوان case1 نامگذاری شده کابل‌های سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر به طبقه اول اتصال یافته است. در حالت دوم که با عنوان case2 نامگذاری شده، کابل‌های سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر به طبقه آخر سازه متصل شده است. شماتیک قاب برشی سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع در دو حالت اتصال به طبقه اول و آخر در شکل ۹ نشان داده شده است.

مطالعات عددی و بحث پیرامون نتایج این مدل در بخش بعدی ارائه



شکل ۹. شماتیک قاب برشی سه طبقه با اتصال کابل‌های سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر به الف) طبقه اول (case ۱) و ب) طبقه آخر (case ۲)

Fig. 9. The schematic of the three-story shear frame with the connection of brace-swing-damper system cables to a) the first floor (case 1) and b) the last floor (case 2)

یک درجه آزاد ساده سازی شده در مطالعه کانگ و تاگاوا [۲۳] در نرم افزار متلب با استفاده از الگوریتم نویسی مدلسازی و پاسخ شتاب تاریخچه زمانی این مدل با نتایج به دست آمده از مدل اصلی در شکل ۱۴ مقایسه شده است. با توجه به نمودار فوق مشاهده می شود نتایج مدل عددی ساخته شده در نرم افزار متلب با نتایج مدل کانگ و تاگاوا انطباق خوبی داشته است. به همین خاطر می توان به نتایج به دست آمده از مطالعات عددی اطمینان نمود.

۵- منحنی های شکنندگی مدل مورد مطالعه

در این بخش به ترسیم منحنی‌های شکنندگی سیستم مهاربند-الاکلنگ به همراه میراگر ویسکوز مایع پرداخته شده است. ابتدا حداکثر پاسخ‌های سازه تحت ۶۰ رکورد زلزله تعیین و با استفاده از رگرسیون خطی مشخصات نیاز لرزه‌ای سازه تعیین شده است. از این مشخصات برای تعیین تابع شکنندگی استفاده شده است. در ادامه منحنی‌های شکنندگی برای سازه بدون مهاربند الاکلنگی و سازه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ به همراه میراگر ویسکوز مایع تعیین و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. همچنین همانطور که پیش از این اشاره شد تنها یک سیستم مهاربند-الاکلنگ به همراه میراگر ویسکوز مایع در پایه سازه نصب شده و در دو حالت اتصال کابل‌ها به طبقه اول (case 1) و اتصال کابل‌ها به طبقه آخر (case 2) مورد

۳-۲- رکورد زلزله‌های مورد استفاده

در این مطالعه، برای انجام تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی از تعداد ۶۰ رکورد زلزله با شدت و احتمال رخداد‌های مختلف استفاده شده است. این زلزله‌ها برای منطقه لس‌آنجلس پیشنهاد شده و شامل ۲۰ رکورد زلزله با احتمال رخداد ۲ درصد در ۵۰ سال، ۲۰ رکورد زلزله با احتمال رخداد ۱۰ درصد در ۵۰ سال و ۲۰ رکورد زلزله با احتمال رخداد ۵۰ درصد در ۵۰ سال می‌باشند. مشخصات این زلزله‌ها در تصاویر ۱۰، ۱۱ و ۱۲ به ترتیب به ازای احتمال رخداد ۲، ۱۰ و ۵۰ درصد گزارش شده است. همچنین، طیف پاسخ شتاب این ۶۰ زلزله و طیف پاسخ شتاب میانگین در شکل ۱۳ به نمایش درآمده است. این شکل مربوط به طیف پاسخ شتاب ۶۰ زلزله به ازای شدت تحریک است که مربوط به زمان تناوب مود اول سازه سه طبقه و میرایی ۲ درصد می‌باشد. شایان ذکر است تمامی ۶۰ رکورد مورد استفاده در مطالعه با استفاده از نرم افزار SeisSignal نرمالایز شده و سپس در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین ضرایب مقیاس مربوط به هر رکورد در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ ارائه شده است.

۴- صحت سنجی مطالعه انجام شده

به منظور حصول اطمینان از نتایج به دست آمده از مطالعات عددی، مدل

2/50 Set of Records (2475 years Return Period)						
Designation	Record Information	Duration (sec.)	Magnitude Mw	R (km)	Scale	PGA (in/sec ²)
LA21	1995 Kobe	59.98	6.9	3.4	1.15	495.3
LA22	1995 Kobe	59.98	6.9	3.4	1.15	355.4
LA23	1989 Loma Prieta	24.99	7.0	3.5	0.82	161.4
LA24	1989 Loma Prieta	24.99	7.0	3.5	0.82	182.6
LA25	1994 Northridge	14.95	6.7	7.5	1.29	335.3
LA26	1994 Northridge	14.95	6.7	7.5	1.29	364.3
LA27	1994 Northridge	59.98	6.7	6.4	1.61	357.8
LA28	1994 Northridge	59.98	6.7	6.4	1.61	513.4
LA29	1974 Tabas	49.98	7.4	1.2	1.08	312.4
LA30	1974 Tabas	49.98	7.4	1.2	1.08	382.9
LA31	Elvysian Park (simulated)	29.99	7.1	17.5	1.43	500.5
LA32	Elvysian Park (simulated)	29.99	7.1	17.5	1.43	458.1
LA33	Elvysian Park (simulated)	29.99	7.1	10.7	0.97	302.1
LA34	Elvysian Park (simulated)	29.99	7.1	10.7	0.97	262.8
LA35	Elvysian Park (simulated)	29.99	7.1	11.2	1.10	383.1
LA36	Elvysian Park (simulated)	29.99	7.1	11.2	1.10	424.9
LA37	Palos Verdes (simulated)	59.98	7.1	1.5	0.90	274.7
LA38	Palos Verdes (simulated)	59.98	7.1	1.5	0.90	299.7
LA39	Palos Verdes (simulated)	59.98	7.1	1.5	0.88	193.1
LA40	Palos Verdes (simulated)	59.98	7.1	1.5	0.88	241.4

شکل ۱۰. مشخصات زلزله های پیشنهاد شده برای لس آنجلس با احتمال رخداد ۲٪ در ۵۰ سال

Fig. 10. Proposed earthquake profile for Los Angeles with a probability of 2% in 50 years

10/50 Set of Records (475 years Return Period)						
Designation	Record Information	Duration (sec.)	Magnitude Mw	R (km)	Scale	PGA (in/sec ²)
LA01	Imperial Valley. 1940	39.38	6.9	10.0	2.01	178.0
LA02	Imperial Valley. 1940	39.38	6.9	10.0	2.01	261.0
LA03	Imperial Valley. 1979	39.38	6.5	4.1	1.01	152.0
LA04	Imperial Valley. 1979	39.38	6.5	4.1	1.01	188.4
LA05	Imperial Valley. 1979	39.08	6.5	1.2	0.84	116.4
LA06	Imperial Valley. 1979	39.08	6.5	1.2	0.84	90.6
LA07	Landers. 1992	79.98	7.3	36.0	3.20	162.6
LA08	Landers. 1992	79.98	7.3	36.0	3.20	164.4
LA09	Landers. 1992	79.98	7.3	25.0	2.17	200.7
LA10	Landers. 1992	79.98	7.3	25.0	2.17	139.1
LA11	Loma Prieta. 1989	39.98	7.0	12.4	1.79	256.9
LA12	Loma Prieta. 1989	39.98	7.0	12.4	1.79	374.4
LA13	Northridge. 1994. Newhall	59.98	6.7	6.7	1.03	261.8
LA14	Northridge. 1994. Newhall	59.98	6.7	6.7	1.03	253.7
LA15	Northridge. 1994. Rinaldi	14.95	6.7	7.5	0.79	206.0
LA16	Northridge. 1994. Rinaldi	14.95	6.7	7.5	0.79	223.9
LA17	Northridge. 1994. Sylmar	59.98	6.7	6.4	0.99	219.9
LA18	Northridge. 1994. Sylmar	59.98	6.7	6.4	0.99	315.5
LA19	North Palm Springs. 1986	59.98	6.0	6.7	2.97	393.5
LA20	North Palm Springs. 1986	59.98	6.0	6.7	2.97	380.9

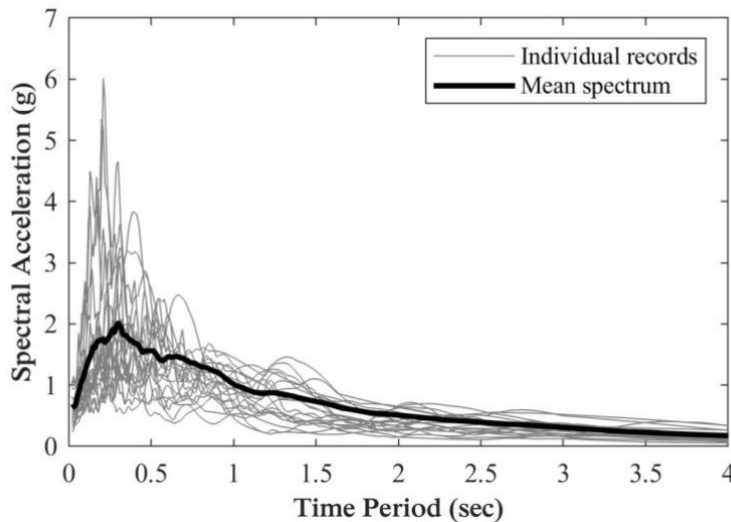
شکل ۱۱. مشخصات زلزله های پیشنهاد شده برای لس آنجلس با احتمال رخداد ۱۰٪ در ۵۰ سال

Fig. 11. Proposed earthquake profile for Los Angeles with a 10% probability of occurrence in 50 years

50/50 Set of Records (72 years Return Period)						
Designation	Record Information	Duration (sec.)	Magnitude M_w	R (km)	Scale	PGA (in/sec ²)
LA41	Covote Lake, 1979	39.38	5.7	8.8	2.28	227.7
LA42	Covote Lake, 1979	39.38	5.7	8.8	2.28	128.7
LA43	Imperial Valley, 1979	39.08	6.5	1.2	0.40	55.4
LA44	Imperial Valley, 1979	39.08	6.5	1.2	0.40	43.1
LA45	Kern, 1952	78.60	7.7	107.0	2.92	55.7
LA46	Kern, 1952	78.60	7.7	107.0	2.92	61.4
LA47	Landers, 1992	79.98	7.3	64.0	2.63	130.4
LA48	Landers, 1992	79.98	7.3	64.0	2.63	118.8
LA49	Morgan Hill, 1984	59.98	6.2	15.0	2.35	123.0
LA50	Morgan Hill, 1984	59.98	6.2	15.0	2.35	211.0
LA51	Parkfield, 1966, Cholame 5W	43.92	6.1	3.7	1.81	301.4
LA52	Parkfield, 1966, Cholame 5W	43.92	6.1	3.7	1.81	243.8
LA53	Parkfield, 1966, Cholame 8W	26.14	6.1	8.0	2.92	267.7
LA54	Parkfield, 1966, Cholame 8W	26.14	6.1	8.0	2.92	305.1
LA55	North Palm Springs, 1986	59.98	6.0	9.6	2.75	199.8
LA56	North Palm Springs, 1986	59.98	6.0	9.6	2.75	146.3
LA57	San Fernando, 1971	79.46	6.5	1.0	1.30	97.7
LA58	San Fernando, 1971	79.46	6.5	1.0	1.30	89.2
LA59	Whittier, 1987	39.98	6.0	17.0	3.62	296.7
LA60	Whittier, 1987	39.98	6.0	17.0	3.62	184.7

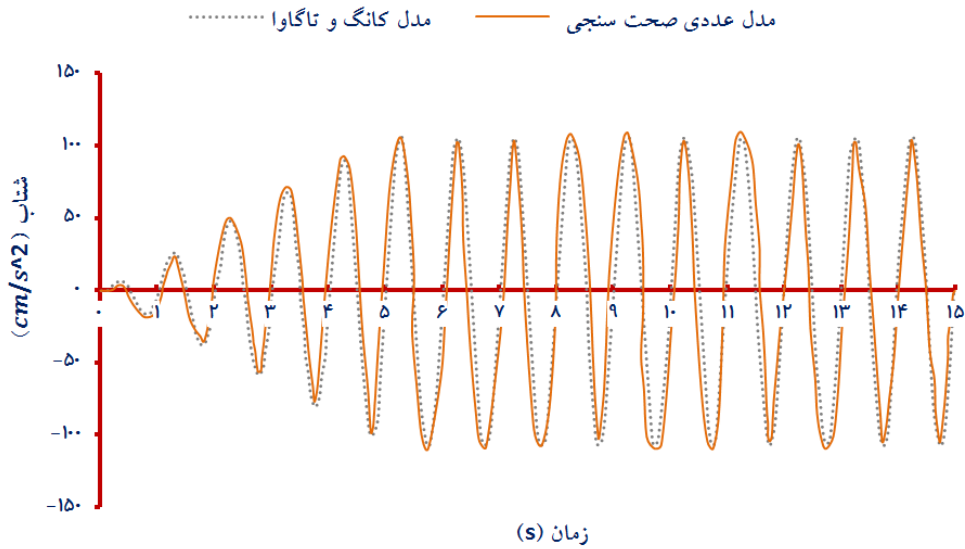
شکل ۱۲. مشخصات زلزله های پیشنهاد شده برای لس آنجلس با احتمال رخداد ۵۰٪ در ۵۰ سال

Fig. 12. Proposed earthquake characteristics for Los Angeles with a 50% probability of occurrence in 50 years



شکل ۱۳. طیف پاسخ شتاب ۶۰ رکورد زلزله به ازای دوره تناوب $T_1 = 0.83$ s و نسبت میرایی $\xi = 2\%$

Fig. 13. Acceleration response spectrum of 60 earthquake records per period $T_1 = 0.83$ s and damping ratio $\xi = 2\%$



شکل ۱۴. مقایسه پاسخ شتاب تاریخچه زمانی مدل تک درجه آزاد کانگ و تاگاوا [۲۳] با مدل عددی به منظور صحت سنجی نتایج عددی

Fig. 14. Comparison of the time history acceleration response of Kang and Tagawa's single degree of freedom model [23] with the numerical model in order to validate the numerical results.

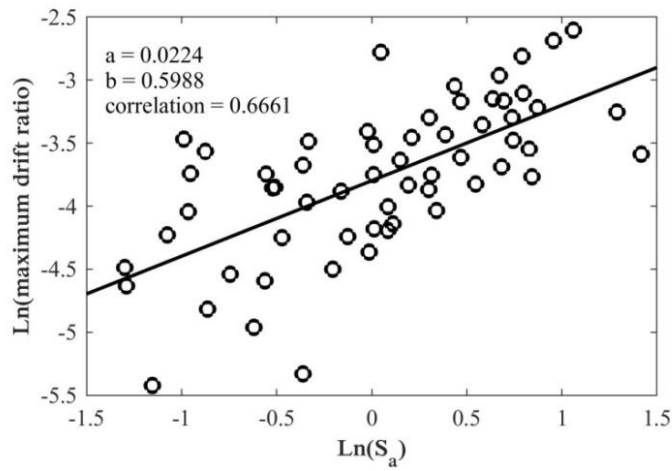
دریافت سازه برابر 0.271 بدست آمده است. همچنین می‌توان ملاحظه نمود میانگین حداکثر شتاب سازه حدود $6/34$ متر بر مجذور ثانیه و میانگین حداکثر تغییرمکان سازه حدود $0/2$ متر بدست آمده است.

برای تولید منحنی‌های شکنندگی لازم است یک رابطه بین شدت تحریک زلزله و نیاز لرزه‌ای سازه که همان پاسخ سازه است برقرار شود. معیار شدت تحریک زلزله در این مطالعه پاسخ شتاب طیفی در زمان تناوب مود اول سازه انتخاب شده است. یک تحلیل رگرسیون بین شدت تحریک و پاسخ سازه انجام شده تا پارامترهای نیاز لرزه‌ای سازه شامل a ، b و D_u تعیین شود. تحلیل رگرسیون برای پاسخ نسبت دریافت و شتاب انجام شد و این پارامترهای نیاز لرزه‌ای تعیین گردید.

در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ به ترتیب نتایج تحلیل رگرسیون به ازای پاسخ نسبت دریافت و شتاب ارائه شده است. در این شکل‌ها نقاط دایره‌ای در واقع حداکثر پاسخ سازه (نسبت دریافت یا شتاب) هستند که متناظر با شدت تحریک زلزله متناظر ترسیم شده‌اند. از آنجاییکه تعداد ۶۰ رکورد زلزله در نظر گرفته شد، تعداد ۶۰ پاسخ متناظر تعیین شده و بنابراین در هر نمودار رگرسیون تعداد ۶۰ نقطه وجود دارد. نتیجه تحلیل رگرسیون تخمین یک خط راست بین لگاریتم طبیعی شدت تحریک و لگاریتم طبیعی حداکثر پاسخ است. از روی شیب و عرض از مبدا این خط تعیین شده پارامتر a

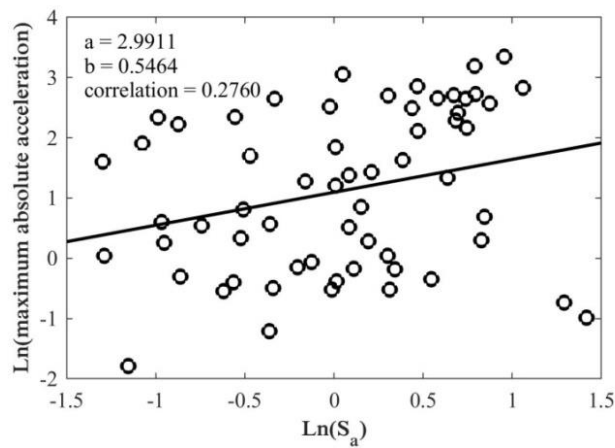
بررسی قرار گرفته است.

۵-۱- منحنی‌های شکنندگی سازه مورد مطالعه در حالت کنترل نشده در این بخش، منحنی‌های شکنندگی سازه سه طبقه در حالت کنترل نشده تحت ۶۰ رکورد زلزله ترسیم شده است. جدول ۳ ارائه دهنده حداکثر پاسخ، نسبت دریافت، شتاب، و تغییرمکان در بین تمام طبقات سازه در حالت کنترل نشده تحت تحریک زلزله‌های مختلف است. در سطر آخر این جدول نیز میانگین پاسخ‌ها تحت تمام زلزله‌ها در نظر گرفته شده، گزارش شده است. سازه‌هایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند دارای رفتار غیرخطی بوده و مشخصات آن‌ها در ارتفاع تقریباً یکنواخت است. در سازه سه طبقه، جرم طبقات یکسان و سختی طبقه سوم کمتر از دو طبقه دیگر است. از داده این جدول می‌توان ملاحظه نمود که زلزله‌های با احتمال رخداد ۲ درصد در ۵۰ سال که از زلزله‌های دیگر شدیدتر است منجر به بیشترین پاسخ‌ها گردیده‌اند. پس از آن زلزله‌های با احتمال رخداد ۱۰ درصد در ۵۰ سال بیشترین پاسخ‌ها را ایجاد نموده‌اند. در نهایت زلزله‌های با احتمال رخداد ۵۰ درصد در ۵۰ سال که خفیف‌ترین زلزله‌ها هستند کمترین پاسخ‌ها را در سازه ایجاد نموده‌اند. با بررسی میانگین پاسخ‌ها تحت ۶۰ زلزله که در سطر آخر جدول گزارش شده ملاحظه می‌شود میانگین حداکثر نسبت



شکل ۱۵. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر نسبت دریفت سازه سه طبقه کنترل نشده تحت ۶۰ رکورد زلزله

Fig. 15. Regression analysis for maximum drift ratio response of uncontrolled three-story structure under 60 earthquake records



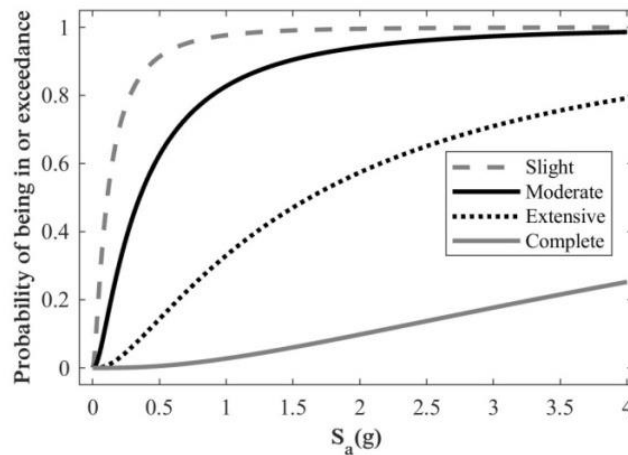
شکل ۱۶. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر شتاب سازه سه طبقه کنترل نشده تحت ۶۰ رکورد زلزله

Fig. 16. Regression analysis for maximum acceleration response of uncontrolled three-story structure under 60 earthquake records

جدول ۳. حداکثر نسبت دریفت، شتاب و تغییر مکان، سازه سه طبقه در حالت کنترل نشده

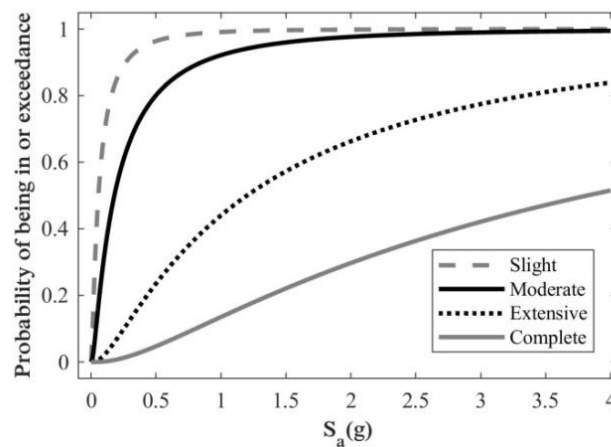
Table 3. Maximum ratio of drift, acceleration and displacement, three-story structure in uncontrolled state

رکورد زلزله	حداکثر نسبت دریفت (-)	حداکثر شتاب (m/s ²)	حداکثر تغییر مکان (m)
۱	۰.۰۲۳۶	۶.۳۶	۰.۱۸
۲	۰.۰۲۶۹	۸.۲۶	۰.۲۰
۳	۰.۰۳۳۱	۱۲.۳۸	۰.۲۶
۴	۰.۰۲۸۳	۹.۲۷	۰.۲۱
۵	۰.۰۲۳۶	۱۰.۴۳	۰.۱۹
۶	۰.۰۳۰۶	۱۴.۱۹	۰.۲۵
۷	۰.۰۱۲۷	۰.۶۰	۰.۰۹
۸	۰.۰۱۴۴	۰.۹۴	۰.۱۰
۹	۰.۰۱۵۹	۰.۸۴	۰.۱۱
۱۰	۰.۰۱۱۱	۰.۸۶	۰.۰۸
۱۱	۰.۰۲۰۶	۳.۵۹	۰.۱۵
۱۲	۰.۰۲۹۸	۳.۳۵	۰.۲۱
۱۳	۰.۰۲۱۶	۱.۳۳	۰.۱۵
۱۴	۰.۰۲۰۹	۱.۰۵	۰.۱۵
۱۵	۰.۰۳۷۰	۱۴.۹۴	۰.۲۹
۱۶	۰.۰۴۱۹	۱۷.۴۵	۰.۳۲
۱۷	۰.۰۱۷۷	۰.۸۳	۰.۱۲
۱۸	۰.۰۲۶۳	۲.۳۵	۰.۱۹
۱۹	۰.۰۳۲۳	۵.۰۹	۰.۲۳
۲۰	۰.۰۳۱۶	۴.۱۹	۰.۲۲
۲۱	۰.۰۳۸۶	۰.۴۸	۰.۲۷
۲۲	۰.۰۲۷۷	۰.۳۷	۰.۱۹
۲۳	۰.۰۲۵۱	۹.۸۵	۰.۲۰
۲۴	۰.۰۳۱۰	۸.۶۹	۰.۲۳
۲۵	۰.۰۶۰۱	۲۴.۳۲	۰.۴۷
۲۶	۰.۰۶۸۲	۲۸.۴۰	۰.۵۲
۲۷	۰.۰۲۸۸	۱.۳۵	۰.۲۰
۲۸	۰.۰۴۲۹	۳.۸۲	۰.۳۰
۲۹	۰.۰۳۷۰	۱۴.۱۰	۰.۲۹
۳۰	۰.۰۴۲۱	۱۱.۱۹	۰.۳۰
۳۱	۰.۰۷۳۹	۱۶.۹۹	۰.۵۵
۳۲	۰.۰۵۱۷	۱۵.۰۸	۰.۳۸
۳۳	۰.۰۳۴۹	۱۴.۲۳	۰.۲۷
۳۴	۰.۰۴۰۰	۱۳.۱۳	۰.۳۱
۳۵	۰.۰۴۷۵	۱۲.۱۴	۰.۳۶
۳۶	۰.۰۴۴۹	۱۵.۲۳	۰.۳۳
۳۷	۰.۰۲۱۸	۰.۷۱	۰.۱۵
۳۸	۰.۰۲۳۴	۰.۶۰	۰.۱۶
۳۹	۰.۰۱۵۲	۰.۶۸	۰.۱۱
۴۰	۰.۰۱۸۹	۰.۶۱	۰.۱۳
۴۱	۰.۰۶۲۲	۲۱.۱۵	۰.۴۸
۴۲	۰.۰۳۱۱	۱۰.۳۸	۰.۲۴
۴۳	۰.۰۱۱۲	۴.۹۶	۰.۰۹
۴۴	۰.۰۱۴۶	۶.۷۵	۰.۱۲
۴۵	۰.۰۰۴۴	۰.۱۷	۰.۰۳
۴۶	۰.۰۰۴۸	۰.۳۰	۰.۰۳
۴۷	۰.۰۱۰۱	۰.۶۷	۰.۰۷
۴۸	۰.۰۰۹۸	۱.۰۴	۰.۰۷
۴۹	۰.۰۱۰۷	۱.۷۲	۰.۰۸
۵۰	۰.۰۱۷۵	۱.۸۲	۰.۱۲
۵۱	۰.۰۲۳۷	۱.۳۰	۰.۱۷
۵۲	۰.۰۲۱۲	۱.۴۰	۰.۱۵
۵۳	۰.۰۲۱۳	۲.۲۶	۰.۱۵
۵۴	۰.۰۲۵۴	۱.۷۶	۰.۱۸
۵۵	۰.۰۱۸۳	۳.۹۸	۰.۱۳
۵۶	۰.۰۱۴۳	۵.۴۶	۰.۱۱
۵۷	۰.۰۰۸۱	۰.۷۴	۰.۰۶
۵۸	۰.۰۰۷۰	۰.۵۸	۰.۰۵
۵۹	۰.۰۲۳۱	۲.۰۰	۰.۱۶
۶۰	۰.۰۱۵۱	۱.۶۷	۰.۱۱
میانگین	۰.۰۲۷۱	۶.۳۴	۰.۲۰



شکل ۱۷. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده مربوط به سطوح عملکردی مختلف و معیار عملکردی نسبت دررفت اعضای سازه‌ای

Fig. 17. The fragility curve of the uncontrolled structure related to different performance levels and the performance criterion of the drift ratio of structural members

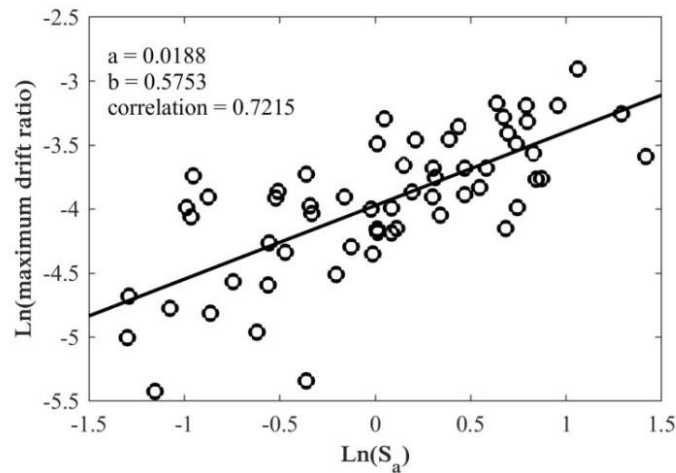


شکل ۱۸. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده مربوط به سطوح عملکردی مختلف و معیار عملکردی نسبت دررفت اعضای غیرسازه‌ای

Fig. 18. The fragility curve of the uncontrolled structure related to different performance levels and the performance measure of drift ratio of non-structural members

در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ منحنی‌های شکنندگی سازه کنترل نشده به ترتیب مربوط به معیار عملکردی نسبت دررفت اعضای سازه‌ای، و نسبت دررفت اعضای غیرسازه‌ای حساس به دررفت به ازای سطوح عملکردی خفیف، ملایم، وسیع و کامل به نمایش در آمده است.

و b تعیین شده است. همچنین عدم قطعیت تخمین این خط نیز با پارامتر Du محاسبه شده است. همبستگی این خط با عنوان correlation نمودارها به نمایش درآمده است. از پارامترهای a ، b ، و Du برای تشکیل تابع شکنندگی استفاده می‌شود.



شکل ۱۹. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر نسبت دررفت سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت case ۱ و ضریب میرایی میراگر $cd=500 \text{ kN.s/m}$

Fig. 19. Regression analysis for the response of the maximum drift ratio of the three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 1 and the damping coefficient of the damper $cd=500 \text{ kN.s/m}$

و طبقه آخر و همچنین دو ضریب میرایی متفاوت برای میراگر می‌توان پیشنهادت زیر را ارائه نمود:

- بهترین عملکرد در کاهش میانگین حداکثر پاسخ های سازه مربوط به نصب کابل‌های مهاربند به طبقه آخر (case2) و ضریب میرایی بزرگ‌تر برای میراگر ویسکوز ($cd=1000 \text{ kN.s/m}$) است که توانسته 32% ، 74% ، و 35% کاهش به ترتیب در میانگین حداکثر نسبت دررفت، شتاب و تغییرمکان نسبت به سازه کنترل نشده ایجاد کند.

- مقایسه دو حالت اتصال کابل به طبقه اول (case1) و اتصال کابل به طبقه آخر (case2) نشان می‌دهد که اتصال کابل به طبقه آخر در کاهش پاسخ‌های سازه موثرتر است. به طوری که اتصال کابل به طبقه آخر حداکثر پاسخ‌های سازه را نسبت به اتصال به طبقه اول حدود 12% ، 48% و 19% به ترتیب در میانگین حداکثر نسبت دررفت، شتاب و تغییرمکان در حالت ضریب میرایی میراگر برابر با $cd=500 \text{ kN.s/m}$ کاهش داده است. این کاهش پاسخ‌ها به ازای ضریب میرایی میراگر برابر با $cd=1000 \text{ kN.s/m}$ نیز حدود 11% ، 50% ، و 13% بوده است.

- مقایسه ضریب میرایی میراگر نیز نشان می‌دهد که ضریب میرایی

۵-۲- منحنی‌های شکنندگی سازه سه طبقه مجهز به مهاربند الکلنگی-میراگر

در این بخش، منحنی‌های شکنندگی سازه سه طبقه در حالتی که سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع در دو حالت اتصال کابل به طبقه اول (case1) و اتصال کابل به طبقه آخر (case2) استخراج شده است. در هر کدام از این حالت‌ها نیز به ترتیب ضریب میرایی میراگر ویسکوز برابر $cd=500 \text{ kN.s/m}$ و $cd=1000 \text{ kN.s/m}$ در نظر گرفته شده است. این دو مقدار به عنوان نمونه برای بررسی و مقایسه عملکرد سیستم مهاربند الکلنگی در نظر گرفته شده است. در ادامه در جداول ۴ تا ۷ پاسخ‌های سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع در حالت اتصال به طبقه اول و آخر و همچنین دو ضریب میرایی متفاوت برای میراگر ویسکوز مایع ارائه شده است.

در سطر آخر این جداول میانگین حداکثر پاسخ تحت 60 زلزله ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های دینامیکی و مقایسه میانگین حداکثر پاسخ‌های سازه کنترل نشده و سازه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع در حالت‌های مختلف نصب در طبقه اول

جدول ۴. حداکثر پاسخ های سازه و سیستم میراگر مربوط به سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ- میراگر در حالت case ۱ و ضریب میرایی میراگر برابر $cd=500 \text{ kN.s/me}$

Table 4. The maximum responses of the structure and the damper system related to the three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 1 and the damping coefficient of the damper equal to $cd=500 \text{ kN.s/me}$

رکورد زلزله	حداکثر نسبت دریفت (-)	حداکثر شتاب (m/s^2)	حداکثر تغییر مکان (m)	حداکثر تغییر مکان (m)	حداکثر سرعت میراگر (m/s)	حداکثر نیروی میراگر (kN)	حداکثر نیروی کابل (kN)
۱	۰.۰۱۵۷	۳.۵۸	۰.۱۲	۰.۰۴	۰.۱۴	۱۴۳	۲۴۱
۲	۰.۰۲۰۵	۴.۹۱	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۲۴	۲۳۸	۴۰۳
۳	۰.۰۱۸۳	۶.۰۷	۰.۱۴	۰.۰۵	۰.۲۱	۲۱۳	۳۶۱
۴	۰.۰۲۰۲	۵.۹۴	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۲۴	۲۳۶	۴۰۰
۵	۰.۰۱۴۱	۶.۴۶	۰.۱۲	۰.۰۴	۰.۲۵	۲۴۸	۴۲۰
۶	۰.۰۱۷۷	۸.۹۶	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۳۴	۳۴۴	۵۸۲
۷	۰.۰۱۲۹	۰.۵۸	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۰۴	۳۵	۶۰
۸	۰.۰۱۳۶	۰.۶۱	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۰۴	۳۸	۶۴
۹	۰.۰۱۵۷	۰.۴۷	۰.۱۱	۰.۰۴	۰.۰۴	۴۰	۶۸
۱۰	۰.۰۱۱۰	۰.۵۹	۰.۰۸	۰.۰۳	۰.۰۵	۴۸	۸۱
۱۱	۰.۰۲۰۱	۳.۱۸	۰.۱۴	۰.۰۵	۰.۱۶	۱۶۲	۲۷۴
۱۲	۰.۰۳۰۵	۲.۳۹	۰.۲۲	۰.۰۸	۰.۱۹	۱۸۹	۳۲۰
۱۳	۰.۰۲۱۰	۱.۰۱	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۱۰	۱۰۳	۱۷۴
۱۴	۰.۰۲۰۲	۰.۸۰	۰.۱۴	۰.۰۵	۰.۰۸	۷۹	۱۳۴
۱۵	۰.۰۲۵۳	۹.۵۲	۰.۲۰	۰.۰۶	۰.۳۷	۳۶۵	۶۱۸
۱۶	۰.۰۲۵۳	۸.۲۱	۰.۱۹	۰.۰۶	۰.۳۶	۳۵۸	۶۰۵
۱۷	۰.۰۱۷۴	۰.۶۰	۰.۱۲	۰.۰۴	۰.۰۴	۳۸	۶۵
۱۸	۰.۰۲۵۷	۲.۱۲	۰.۱۸	۰.۰۷	۰.۱۶	۱۵۹	۲۶۸
۱۹	۰.۰۳۱۷	۳.۸۱	۰.۲۲	۰.۰۸	۰.۱۸	۱۸۰	۳۰۵
۲۰	۰.۰۳۱۴	۳.۸۵	۰.۲۲	۰.۰۸	۰.۲۱	۲۱۲	۳۵۹
۲۱	۰.۰۳۸۶	۰.۴۴	۰.۲۷	۰.۱۰	۰.۰۷	۶۶	۱۱۲
۲۲	۰.۰۲۷۷	۰.۴۰	۰.۱۹	۰.۰۷	۰.۰۴	۴۳	۷۲
۲۳	۰.۰۱۵۸	۴.۸۳	۰.۱۲	۰.۰۴	۰.۲۱	۲۱۴	۳۶۲
۲۴	۰.۰۱۸۵	۴.۷۶	۰.۱۴	۰.۰۵	۰.۲۰	۲۰۰	۳۳۸
۲۵	۰.۰۴۱۱	۱۵.۵۰	۰.۲۳	۰.۱۰	۰.۵۹	۵۹۴	۱۰۰۶
۲۶	۰.۰۴۱۱	۱۳.۳۶	۰.۲۱	۰.۱۰	۰.۵۸	۵۸۲	۹۸۵
۲۷	۰.۰۲۸۴	۰.۹۷	۰.۲۰	۰.۰۷	۰.۰۶	۶۲	۱۰۶
۲۸	۰.۰۴۱۹	۳.۴۴	۰.۲۹	۰.۱۱	۰.۲۶	۲۵۸	۴۳۷
۲۹	۰.۰۳۰۵	۷.۲۲	۰.۲۳	۰.۰۸	۰.۳۰	۳۰۰	۵۰۸
۳۰	۰.۰۳۳۲	۷.۹۸	۰.۲۴	۰.۰۸	۰.۲۷	۳۷۰	۶۲۷
۳۱	۰.۰۵۴۷	۹.۴۶	۰.۴۰	۰.۱۴	۰.۴۳	۴۳۹	۷۲۶
۳۲	۰.۰۳۷۵	۱۰.۳۷	۰.۲۸	۰.۱۰	۰.۴۸	۴۸۴	۸۱۹
۳۳	۰.۰۲۵۳	۵.۳۱	۰.۱۸	۰.۰۶	۰.۲۴	۲۳۹	۴۰۴
۳۴	۰.۰۲۳۲	۵.۰۰	۰.۱۷	۰.۰۶	۰.۲۵	۲۵۳	۴۲۸
۳۵	۰.۰۳۴۹	۶.۳۶	۰.۲۵	۰.۰۹	۰.۲۹	۲۸۶	۴۸۴
۳۶	۰.۰۳۶۲	۸.۲۱	۰.۲۶	۰.۰۹	۰.۳۰	۳۰۱	۵۱۰
۳۷	۰.۰۲۱۷	۰.۷۶	۰.۱۵	۰.۰۶	۰.۰۶	۵۷	۹۷
۳۸	۰.۰۲۳۴	۰.۵۵	۰.۱۶	۰.۰۶	۰.۰۴	۴۴	۷۴
۳۹	۰.۰۱۵۳	۰.۷۱	۰.۱۱	۰.۰۴	۰.۰۵	۵۰	۸۵
۴۰	۰.۰۱۸۸	۰.۶۲	۰.۱۳	۰.۰۵	۰.۰۴	۳۹	۶۶
۴۱	۰.۰۳۷۱	۱۰.۳۸	۰.۲۹	۰.۰۹	۰.۴۴	۴۳۷	۷۳۹
۴۲	۰.۰۱۸۶	۵.۱۵	۰.۱۴	۰.۰۵	۰.۲۵	۲۴۶	۴۱۶
۴۳	۰.۰۰۶۷	۳.۰۷	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۱۲	۱۱۸	۲۰۰
۴۴	۰.۰۰۸۴	۴.۲۶	۰.۰۷	۰.۰۲	۰.۱۶	۱۶۳	۲۷۷
۴۵	۰.۰۰۴۴	۰.۱۵	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۲	۱۹	۳۱
۴۶	۰.۰۰۴۸	۰.۲۲	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۱۲	۲۱
۴۷	۰.۰۱۰۱	۰.۵۸	۰.۰۷	۰.۰۳	۰.۰۴	۴۴	۷۴
۴۸	۰.۰۰۹۳	۰.۷۴	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۴	۴۲	۷۲
۴۹	۰.۰۱۰۴	۱.۵۶	۰.۰۷	۰.۰۳	۰.۰۷	۶۶	۱۱۲
۵۰	۰.۰۱۷۲	۱.۵۰	۰.۱۲	۰.۰۴	۰.۰۹	۸۸	۱۵۰
۵۱	۰.۰۲۳۷	۱.۲۳	۰.۱۷	۰.۰۶	۰.۱۰	۹۵	۱۶۱
۵۲	۰.۰۱۹۹	۱.۰۷	۰.۱۴	۰.۰۵	۰.۰۶	۶۰	۱۰۱
۵۳	۰.۰۲۱۰	۲.۱۱	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۱۳	۱۲۶	۲۱۴
۵۴	۰.۰۲۴۱	۱.۳۳	۰.۱۷	۰.۰۶	۰.۱۰	۱۰۵	۱۷۷
۵۵	۰.۰۱۸۵	۳.۰۲	۰.۱۳	۰.۰۵	۰.۱۵	۱۴۷	۲۵۰
۵۶	۰.۰۱۳۱	۲.۷۵	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۱۳	۱۳۵	۲۲۸
۵۷	۰.۰۰۸۱	۰.۷۳	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۵	۴۶	۷۸
۵۸	۰.۰۰۷۰	۰.۴۹	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۴	۴۰	۶۸
۵۹	۰.۰۲۳۱	۱.۶۲	۰.۱۶	۰.۰۶	۰.۱۱	۱۱۱	۱۸۸
۶۰	۰.۰۱۵۲	۱.۴۴	۰.۱۱	۰.۰۴	۰.۰۹	۸۷	۱۴۷
میانگین	۰.۰۲۱۹	۳.۷۲	۰.۱۶	۰.۰۶	۰.۱۷	۱۷۵	۲۹۶

جدول ۵. حداکثر پاسخ‌های سازه و سیستم میراگر مربوط به سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت ۲ case و ضریب میرایی میراگر برابر $cd=500 \text{ kN.s/m}$

Table 5. The maximum responses of the structure and the damper system related to the three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 2 and the damping coefficient of the damper equal to $cd=500 \text{ kN.s/m}$

رکورد زلزله	حداکثر نسبت	حداکثر شتاب	حداکثر	حداکثر تغییر مکان	حداکثر سرعت	حداکثر نیروی	حداکثر نیروی
	دریفت (-)	(m/s^2)	تغییر مکان (m)	میراگر (m)	میراگر (m/s)	میراگر (kN)	کابل (kN)
۱	۰.۰۱۳۹	۱.۶۰	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۰۸	۰.۸۱	۰.۸۶۸
۲	۰.۰۲۰۲	۲.۴۴	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۱۳	۱.۳۲	۱.۴۱۲
۳	۰.۰۲۲۱	۲.۸۹	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۱۴	۱.۳۹	۱.۴۸۴
۴	۰.۰۱۶۱	۳.۰۸	۰.۱۱	۰.۰۳	۰.۱۱	۱.۱۱	۱.۱۸۶
۵	۰.۰۰۹۳	۳.۶۹	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۱۳	۱.۳۲	۱.۴۰۴
۶	۰.۰۰۷۶	۳.۴۶	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۱۲	۱.۱۷	۱.۲۴۸
۷	۰.۰۱۲۶	۰.۳۴	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۲۶	۰.۲۷۹
۸	۰.۰۱۳۰	۰.۳۴	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۲۴	۰.۲۵۴
۹	۰.۰۱۵۶	۰.۳۶	۰.۱۱	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۳۰	۰.۳۲۰
۱۰	۰.۰۱۰۹	۰.۵۵	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۳۸	۰.۴۰۳
۱۱	۰.۰۱۹۹	۱.۸۵	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۰۸	۰.۸۲	۰.۸۷۶
۱۲	۰.۰۲۹۸	۱.۹۶	۰.۲۱	۰.۰۶	۰.۱۳	۱.۳۲	۱.۴۰۶
۱۳	۰.۰۲۰۴	۰.۹۱	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۰۸	۰.۷۶	۰.۸۱۴
۱۴	۰.۰۱۹۸	۰.۶۰	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۵۱	۰.۵۴۳
۱۵	۰.۰۱۷۲	۴.۵۲	۰.۱۲	۰.۰۴	۰.۱۶	۱.۵۷	۱.۶۷۹
۱۶	۰.۰۱۶۶	۴.۸۶	۰.۱۲	۰.۰۳	۰.۲۰	۱.۹۵	۲.۰۸۶
۱۷	۰.۰۱۷۴	۰.۴۱	۰.۱۲	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۳۰	۰.۳۱۸
۱۸	۰.۰۲۴۹	۱.۴۴	۰.۱۷	۰.۰۵	۰.۱۱	۱.۱۰	۱.۱۷۱
۱۹	۰.۰۳۱۲	۲.۱۰	۰.۲۲	۰.۰۶	۰.۱۳	۱.۳۴	۱.۴۳۴
۲۰	۰.۰۲۹۵	۲.۱۶	۰.۲۰	۰.۰۶	۰.۱۵	۱.۴۷	۱.۵۶۹
۲۱	۰.۰۳۸۵	۰.۳۹	۰.۲۷	۰.۰۸	۰.۰۵	۰.۵۲	۰.۵۵۸
۲۲	۰.۰۲۷۷	۰.۳۳	۰.۱۹	۰.۰۶	۰.۰۳	۰.۳۴	۰.۳۶۰
۲۳	۰.۰۱۲۶	۲.۴۷	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۱۰	۱.۰۰	۱.۰۶۲
۲۴	۰.۰۱۴۳	۲.۵۷	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۱۴	۱.۴۲	۱.۵۱۶
۲۵	۰.۰۲۸۱	۷.۳۶	۰.۲۰	۰.۰۶	۰.۲۶	۲.۵۶	۲.۷۳۳
۲۶	۰.۰۲۷۱	۷.۹۰	۰.۱۹	۰.۰۶	۰.۳۲	۳.۱۸	۳.۳۹۵
۲۷	۰.۰۲۸۳	۰.۶۶	۰.۲۰	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۴۹	۰.۵۱۸
۲۸	۰.۰۴۰۵	۲.۳۵	۰.۲۸	۰.۰۸	۰.۱۸	۱.۷۸	۱.۹۰۵
۲۹	۰.۰۲۵۲	۳.۲۰	۰.۱۷	۰.۰۵	۰.۱۶	۱.۵۹	۱.۶۹۹
۳۰	۰.۰۳۰۲	۳.۹۵	۰.۲۱	۰.۰۶	۰.۱۷	۱.۶۸	۱.۷۹۸
۳۱	۰.۰۴۱۱	۴.۱۴	۰.۲۹	۰.۰۹	۰.۱۹	۱.۹۳	۲.۰۵۷
۳۲	۰.۰۳۵۸	۴.۲۱	۰.۲۵	۰.۰۷	۰.۲۴	۲.۴۴	۲.۶۰۲
۳۳	۰.۰۲۳۵	۲.۷۸	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۱۵	۱.۴۸	۱.۵۷۵
۳۴	۰.۰۲۱۴	۲.۲۷	۰.۱۵	۰.۰۴	۰.۱۵	۱.۵۳	۱.۶۲۹
۳۵	۰.۰۳۰۷	۲.۵۹	۰.۲۱	۰.۰۶	۰.۱۷	۱.۶۶	۱.۷۷۰
۳۶	۰.۰۳۳۹	۳.۶۲	۰.۲۴	۰.۰۷	۰.۱۵	۱.۴۶	۱.۵۵۹
۳۷	۰.۰۲۱۴	۰.۶۴	۰.۱۵	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۴۱	۰.۴۳۵
۳۸	۰.۰۲۳۴	۰.۴۲	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۳۲	۰.۳۴۶
۳۹	۰.۰۱۵۰	۰.۵۲	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۳۳	۰.۳۵۱
۴۰	۰.۰۱۸۷	۰.۴۷	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۲۹	۰.۳۰۸
۴۱	۰.۰۱۹۵	۴.۷۹	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۲۳	۲.۳۱	۲.۴۶۹
۴۲	۰.۰۱۱۶	۲.۰۹	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۱۱	۱.۱۳	۱.۲۰۴
۴۳	۰.۰۰۴۴	۱.۷۶	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۶	۰.۶۳	۰.۶۶۸
۴۴	۰.۰۰۳۶	۱.۶۵	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۶	۰.۵۶	۰.۵۹۴
۴۵	۰.۰۰۴۴	۰.۱۲	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۱۲	۰.۱۳۳
۴۶	۰.۰۰۴۸	۰.۲۱	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۰۹۶
۴۷	۰.۰۱۰۱	۰.۳۷	۰.۰۷	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۲۹	۰.۳۱۰
۴۸	۰.۰۰۹۲	۰.۴۹	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۳۴	۰.۳۶۲
۴۹	۰.۰۰۹۶	۰.۷۶	۰.۰۷	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۳۸	۰.۴۱۰
۵۰	۰.۰۱۶۴	۰.۸۹	۰.۱۱	۰.۰۳	۰.۰۶	۰.۵۹	۰.۶۳۰
۵۱	۰.۰۲۳۵	۰.۷۹	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۷۸	۰.۸۳۷
۵۲	۰.۰۱۹۲	۰.۶۱	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۴۲	۰.۴۴۶
۵۳	۰.۰۲۰۸	۱.۴۷	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۱۰	۱.۰۱	۱.۰۷۹
۵۴	۰.۰۲۳۸	۰.۸۵	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۸۴	۰.۸۹۸
۵۵	۰.۰۱۶۷	۱.۷۸	۰.۱۲	۰.۰۳	۰.۰۷	۰.۷۴	۰.۷۸۷
۵۶	۰.۰۱۱۵	۱.۵۲	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۰۹	۰.۸۵	۰.۹۱۱
۵۷	۰.۰۰۷۹	۰.۴۸	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۳۵	۰.۳۷۴
۵۸	۰.۰۰۷۰	۰.۴۱	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۲۸	۰.۲۹۷
۵۹	۰.۰۲۳۱	۱.۰۱	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۰۹	۰.۸۵	۰.۹۱۲
۶۰	۰.۰۱۴۴	۰.۹۱	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۰۷	۰.۶۸	۰.۷۲۹
	۰.۰۱۹۳	۱.۹۲	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۱۰	۰.۹۹	۱.۰۵۱

جدول ۶. حداکثر پاسخ‌های سازه و سیستم میراگر مربوط به سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت case ۱ و ضریب میرایی میراگر برابر $cd=1000 \text{ kN.s/me}$

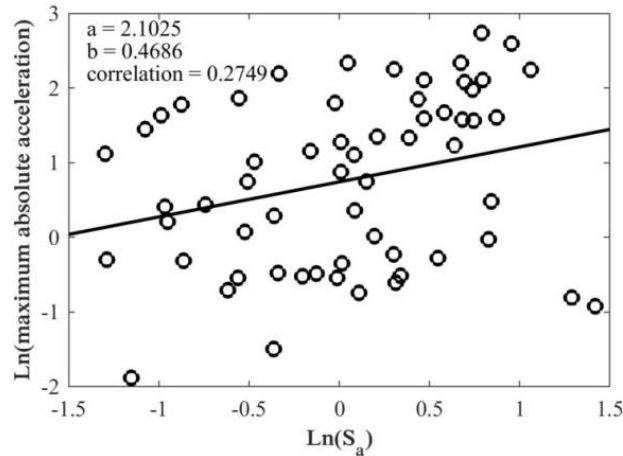
Table 6. The maximum responses of the structure and the damper system related to the three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 1 and the damping coefficient of the damper equal to $cd=1000 \text{ kN.s/m}$

حداکثر نیروی کابل (kN)	حداکثر نیروی میراگر (kN)	حداکثر سرعت میراگر (m/s)	حداکثر تغییرمکان میراگر (m)	حداکثر تغییرمکان (m)	حداکثر شتاب (m/s^2)	حداکثر نسبت دریفت (-)	رکورد زلزله
۰۴۲۴	۰۲۵۱	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۱۱	۳.۱۷	۰.۰۱۴۱	۱
۰۷۰۸	۰۴۱۸	۰.۲۱	۰.۰۵	۰.۱۴	۴.۳۰	۰.۰۲۰۴	۲
۰۶۲۷	۰۳۷۰	۰.۱۹	۰.۰۴	۰.۱۳	۵.۳۱	۰.۰۱۶۵	۳
۰۶۳۶	۰۳۷۶	۰.۱۹	۰.۰۵	۰.۱۴	۵.۴۰	۰.۰۱۹۱	۴
۰۷۷۴	۰۴۵۷	۰.۲۳	۰.۰۳	۰.۱۰	۶.۲۶	۰.۰۱۲۱	۵
۰۸۷۲	۰۵۱۵	۰.۲۶	۰.۰۳	۰.۱۲	۷.۱۰	۰.۰۱۳۳	۶
۰۱۱۳	۰۱۱۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۹	۰.۵۳	۰.۰۱۲۸	۷
۰۱۱۶	۰۱۶۹	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۹	۰.۵۲	۰.۰۱۳۴	۸
۰۱۳۳	۰۱۷۸	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۱۱	۰.۴۳	۰.۰۱۵۷	۹
۰۱۶۱	۰۱۹۵	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۸	۰.۵۹	۰.۰۱۰۹	۱۰
۰۴۷۶	۰۲۸۱	۰.۱۴	۰.۰۵	۰.۱۴	۳.۰۹	۰.۰۱۹۹	۱۱
۰۶۱۳	۰۳۶۲	۰.۱۸	۰.۰۸	۰.۲۲	۲.۲۹	۰.۰۳۰۱	۱۲
۰۳۳۵	۰۱۹۸	۰.۱۰	۰.۰۵	۰.۱۴	۱.۰۷	۰.۰۲۰۷	۱۳
۰۲۶۰	۰۱۵۴	۰.۰۸	۰.۰۵	۰.۱۴	۰.۸۶	۰.۰۱۹۹	۱۴
۰۹۷۷	۰۵۷۷	۰.۲۹	۰.۰۵	۰.۱۷	۸.۱۱	۰.۰۲۰۹	۱۵
۰۱۰۵۹	۰۶۲۶	۰.۳۱	۰.۰۵	۰.۱۶	۷.۱۴	۰.۰۲۰۹	۱۶
۰۱۲۴	۰۱۷۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۱۲	۰.۶۰	۰.۰۱۷۵	۱۷
۰۴۸۰	۰۲۸۴	۰.۱۴	۰.۰۶	۰.۱۸	۱.۹۶	۰.۰۲۵۵	۱۸
۰۵۴۰	۰۳۱۹	۰.۱۶	۰.۰۸	۰.۲۲	۳.۳۱	۰.۰۳۱۵	۱۹
۰۶۸۸	۰۴۰۷	۰.۲۰	۰.۰۸	۰.۲۲	۳.۶۳	۰.۰۳۰۸	۲۰
۰۲۲۱	۰۱۳۱	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۲۷	۰.۴۵	۰.۰۲۸۵	۲۱
۰۱۴۳	۰۰۸۴	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۱۹	۰.۴۱	۰.۰۲۷۷	۲۲
۰۵۴۸	۰۳۲۴	۰.۱۶	۰.۰۳	۰.۱۰	۴.۰۲	۰.۰۱۳۵	۲۳
۰۶۴۳	۰۳۸۰	۰.۱۹	۰.۰۴	۰.۱۲	۴.۴۸	۰.۰۱۶۵	۲۴
۰۱۵۹۱	۰۹۴۰	۰.۴۷	۰.۰۹	۰.۲۸	۱۳.۲۰	۰.۰۲۴۱	۲۵
۰۱۷۲۴	۰۱۰۱۹	۰.۵۱	۰.۰۹	۰.۲۶	۱۱.۶۱	۰.۰۳۴۰	۲۶
۰۲۰۲	۰۱۱۹	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۲۰	۰.۹۸	۰.۰۲۸۴	۲۷
۰۷۸۱	۰۴۶۱	۰.۲۳	۰.۱۱	۰.۲۹	۳.۱۹	۰.۰۴۱۵	۲۸
۰۸۴۰	۰۴۹۶	۰.۲۵	۰.۰۷	۰.۲۱	۶.۱۸	۰.۰۲۷۶	۲۹
۰۱۰۱۴	۰۵۹۹	۰.۳۰	۰.۰۸	۰.۲۴	۶.۶۵	۰.۰۳۲۲	۳۰
۰۱۱۶۸	۰۶۹۰	۰.۳۵	۰.۱۲	۰.۳۵	۷.۵۵	۰.۰۴۸۶	۳۱
۰۱۲۷۷	۰۷۵۴	۰.۳۸	۰.۰۹	۰.۲۷	۷.۸۳	۰.۰۳۶۳	۳۲
۰۷۰۷	۰۴۱۸	۰.۲۱	۰.۰۶	۰.۱۷	۴.۴۳	۰.۰۲۳۸	۳۳
۰۷۰۸	۰۴۱۸	۰.۲۱	۰.۰۶	۰.۱۶	۳.۶۰	۰.۰۲۲۸	۳۴
۰۷۶۴	۰۴۵۱	۰.۲۳	۰.۰۹	۰.۲۵	۵.۳۳	۰.۰۳۳۸	۳۵
۰۷۵۹	۰۴۴۸	۰.۲۲	۰.۰۹	۰.۲۵	۶.۳۷	۰.۰۲۵۱	۳۶
۰۱۸۷	۰۱۱۱	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۱۵	۰.۸۱	۰.۰۲۱۶	۳۷
۰۱۴۴	۰۸۵	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۱۶	۰.۵۵	۰.۰۲۳۴	۳۸
۰۱۶۰	۰۹۵	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۱۱	۰.۷۲	۰.۰۱۵۲	۳۹
۰۱۲۸	۰۷۶	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۱۳	۰.۶۲	۰.۰۱۸۷	۴۰
۰۱۱۸۲	۰۶۹۸	۰.۳۵	۰.۰۷	۰.۲۲	۸.۷۲	۰.۰۲۸۳	۴۱
۰۶۸۷	۰۴۰۶	۰.۲۰	۰.۰۴	۰.۱۲	۴.۰۶	۰.۰۱۵۴	۴۲
۰۳۶۸	۰۲۱۷	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۰۵	۲.۹۸	۰.۰۰۵۸	۴۳
۰۴۱۵	۰۲۴۵	۰.۱۲	۰.۰۲	۰.۰۶	۳.۳۸	۰.۰۰۶۳	۴۴
۰۶۰	۰۳۵	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۱۵	۰.۰۰۴۴	۴۵
۰۴۰	۰۲۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۲۲	۰.۰۰۴۸	۴۶
۰۱۴۳	۰۸۴	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۷	۰.۵۵	۰.۰۱۰۱	۴۷
۰۱۳۹	۰۸۲	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۶	۰.۶۷	۰.۰۰۹۲	۴۸
۰۲۰۱	۰۱۱۸	۰.۰۶	۰.۰۳	۰.۰۷	۱.۴۳	۰.۰۱۰۱	۴۹
۰۲۸۷	۰۱۶۹	۰.۰۸	۰.۰۴	۰.۱۲	۱.۴۵	۰.۰۱۶۹	۵۰
۰۳۲۴	۰۱۹۱	۰.۱۰	۰.۰۶	۰.۱۶	۱.۲۱	۰.۰۲۳۵	۵۱
۰۱۹۴	۰۱۱۴	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۱۴	۱.۰۵	۰.۰۱۹۷	۵۲
۰۴۱۶	۰۲۴۶	۰.۱۲	۰.۰۵	۰.۱۵	۲.۰۶	۰.۰۲۰۷	۵۳
۰۳۴۹	۰۲۰۶	۰.۱۰	۰.۰۶	۰.۱۶	۱.۲۳	۰.۰۲۳۷	۵۴
۰۴۲۷	۰۲۵۲	۰.۱۳	۰.۰۵	۰.۱۳	۲.۸۸	۰.۰۱۸۰	۵۵
۰۴۲۶	۰۲۵۱	۰.۱۳	۰.۰۳	۰.۰۹	۲.۴۰	۰.۰۱۲۳	۵۶
۰۱۴۶	۰۸۶	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۶	۰.۷۳	۰.۰۰۸۱	۵۷
۰۱۲۸	۰۷۶	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۵۰	۰.۰۰۷۰	۵۸
۰۳۲۹	۰۱۹۴	۰.۱۰	۰.۰۶	۰.۱۶	۱.۵۳	۰.۰۲۳۱	۵۹
۰۲۹۸	۰۱۷۶	۰.۰۹	۰.۰۴	۰.۱۱	۱.۲۸	۰.۰۱۴۹	۶۰
۰۵۰۶	۰۲۹۹	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۱۵	۰.۳۲	۰.۰۰۲۰۷	میانگین

جدول ۷. حداکثر پاسخ‌های سازه و سیستم میراگر مربوط به سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت ۲ case و ضریب میرایی میراگر برابر $cd=1000 \text{ kN.s/me}$

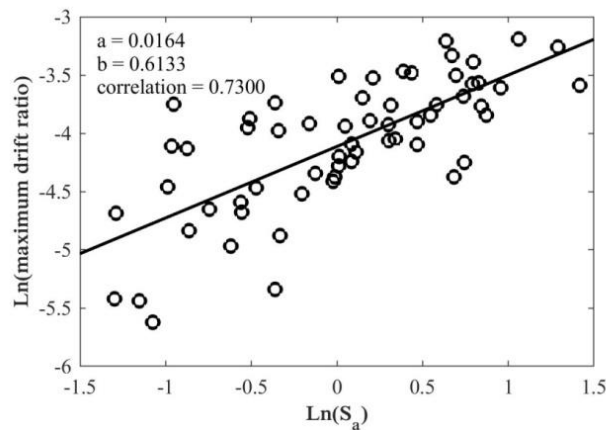
Table 7. The maximum responses of the structure and the damper system related to the three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 2 and the damping coefficient of the damper equal to $cd=1000 \text{ kN.s/m}$

رکورد زلزله	حداکثر نسبت دریفیت (-)	حداکثر شتاب (m/s^2)	حداکثر تغییرمکان (m)	حداکثر تغییرمکان (m)	حداکثر سرعت میراگر (m/s)	حداکثر نیروی میراگر (kN)	حداکثر نیروی کابل (kN)
۱	۰.۱۳۶	۱.۰۴	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۰۶	۱۱۹	۱۲۷۴
۲	۰.۲۰۰	۱.۷۸	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۱۰	۱۹۹	۲۱۲۸
۳	۰.۱۱۷	۱.۶۵	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۱۰	۱۹۷	۲۱۰۲
۴	۰.۱۴۰	۱.۷۷	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۰۸	۱۶۶	۱۷۷۰
۵	۰.۰۸۸	۲.۲۸	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۷	۱۵۰	۱۵۹۸
۶	۰.۰۶۷	۲.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۷	۱۳۴	۱۴۳۱
۷	۰.۱۲۳	۰.۳۶	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۰۲	۴۷	۵۰۷
۸	۰.۱۲۶	۰.۳۴	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۰۲	۴۳	۴۵۵
۹	۰.۱۵۵	۰.۳۴	۰.۱۱	۰.۰۳	۰.۰۳	۵۷	۶۰۹
۱۰	۰.۱۰۷	۰.۵۳	۰.۰۷	۰.۰۲	۰.۰۳	۶۴	۶۸۵
۱۱	۰.۱۹۳	۱.۳۶	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۰۸	۱۵۵	۱۶۵۸
۱۲	۰.۲۷۰	۱.۹۸	۰.۱۸	۰.۰۵	۰.۱۱	۲۱۱	۲۲۵۷
۱۳	۰.۲۰۳	۰.۸۴	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۰۷	۱۴۲	۱۵۲۰
۱۴	۰.۱۹۳	۰.۴۹	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۰۵	۹۱	۹۶۹
۱۵	۰.۱۴۹	۴.۵۴	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۱۰	۱۹۷	۲۱۰۷
۱۶	۰.۱۷۰	۶.۳۷	۰.۱۱	۰.۰۳	۰.۱۱	۲۲۱	۲۳۶۴
۱۷	۰.۱۶۹	۰.۴۱	۰.۱۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۵۳	۵۶۹
۱۸	۰.۲۴۳	۱.۰۵	۰.۱۷	۰.۰۵	۰.۱۰	۱۹۸	۲۱۱۳
۱۹	۰.۲۹۵	۱.۹۰	۰.۲۰	۰.۰۶	۰.۱۰	۱۹۹	۲۱۲۵
۲۰	۰.۲۸۳	۲.۲۱	۰.۱۹	۰.۰۶	۰.۱۱	۲۲۶	۲۴۱۷
۲۱	۰.۳۸۲	۰.۴۳	۰.۳۶	۰.۰۸	۰.۰۵	۱۰۱	۱۰۷۶
۲۲	۰.۲۷۶	۰.۳۱	۰.۱۹	۰.۰۶	۰.۰۳	۵۹	۶۳۴
۲۳	۰.۱۲۳	۲.۰۳	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۰۷	۱۳۶	۱۴۵۲
۲۴	۰.۱۴۰	۱.۸۶	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۱۰	۲۰۵	۲۱۸۴
۲۵	۰.۲۴۳	۷.۴۰	۰.۱۷	۰.۰۵	۰.۱۶	۳۲۱	۳۴۳۰
۲۶	۰.۲۷۷	۱۰.۳۷	۰.۱۸	۰.۰۵	۰.۱۸	۳۶۰	۳۸۴۷
۲۷	۰.۲۷۵	۰.۶۶	۰.۱۹	۰.۰۶	۰.۰۴	۸۷	۹۲۵
۲۸	۰.۳۹۵	۱.۷۱	۰.۲۷	۰.۰۸	۰.۱۶	۳۲۲	۳۴۳۹
۲۹	۰.۲۲۹	۲.۲۶	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۱۲	۲۴۱	۲۵۶۸
۳۰	۰.۲۷۵	۳.۱۲	۰.۱۸	۰.۰۵	۰.۱۳	۲۵۷	۲۷۴۴
۳۱	۰.۳۷۱	۲.۶۷	۰.۲۵	۰.۰۸	۰.۱۵	۳۰۰	۳۲۰۲
۳۲	۰.۳۴۳	۲.۹۹	۰.۲۳	۰.۰۷	۰.۱۸	۳۶۵	۳۸۹۱
۳۳	۰.۲۳۱	۲.۰۱	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۱۰	۲۰۹	۲۲۲۸
۳۴	۰.۲۰۱	۲.۰۲	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۱۱	۲۱۲	۲۲۶۵
۳۵	۰.۲۹۰	۱.۸۲	۰.۲۰	۰.۰۶	۰.۱۲	۲۴۴	۲۶۰۳
۳۶	۰.۳۲۳	۲.۲۵	۰.۲۲	۰.۰۷	۰.۱۲	۲۳۴	۲۵۰۰
۳۷	۰.۲۱۲	۰.۵۴	۰.۱۵	۰.۰۴	۰.۰۳	۶۶	۶۹۹
۳۸	۰.۲۳۲	۰.۴۲	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۰۳	۵۰	۵۳۵
۳۹	۰.۱۴۹	۰.۴۴	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۰۳	۶۰	۶۳۷
۴۰	۰.۱۸۵	۰.۴۰	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۰۲	۴۹	۵۲۸
۴۱	۰.۱۶۹	۲.۷۳	۰.۱۱	۰.۰۳	۰.۱۶	۳۲۵	۳۴۷۱
۴۲	۰.۰۹۰	۱.۲۴	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۸	۱۵۶	۱۶۶۸
۴۳	۰.۰۴۲	۱.۰۹	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۴	۷۱	۷۶۰
۴۴	۰.۰۳۲	۰.۹۶	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۳	۶۱	۶۸۱
۴۵	۰.۰۴۲	۰.۱۲	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۲۲	۲۳۹
۴۶	۰.۰۴۸	۰.۲۱	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۱	۱۸	۱۸۷
۴۷	۰.۱۰۱	۰.۳۵	۰.۰۷	۰.۰۲	۰.۰۳	۵۶	۵۹۷
۴۸	۰.۰۸۷	۰.۴۶	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۳	۶۰	۶۳۵
۴۹	۰.۰۹۳	۰.۵۱	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۳	۶۷	۷۱۱
۵۰	۰.۱۶۰	۰.۸۱	۰.۱۱	۰.۰۳	۰.۰۴	۸۲	۸۸۰
۵۱	۰.۲۲۵	۰.۸۲	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۰۷	۱۴۱	۱۵۰۹
۵۲	۰.۱۸۸	۰.۵۵	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۷۵	۷۹۹
۵۳	۰.۱۹۳	۱.۳۰	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۰۹	۱۷۴	۱۸۶۲
۵۴	۰.۲۲۶	۰.۹۸	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۰۸	۱۶۲	۱۷۳۳
۵۵	۰.۱۵۱	۱.۳۵	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۰۶	۱۲۶	۱۳۴۴
۵۶	۰.۱۱۰	۱.۲۱	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۰۶	۱۲۲	۱۳۰۱
۵۷	۰.۰۷۲	۰.۴۷	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۳	۶۵	۶۹۸
۵۸	۰.۰۶۸	۰.۳۸	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۳	۵۲	۵۵۶
۵۹	۰.۲۲۸	۰.۹۶	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۰۴	۱۴۹	۱۵۸۷
۶۰	۰.۱۴۰	۰.۹۰	۰.۱۰	۰.۰۳	۰.۰۵	۱۰۵	۱۱۲۲
میانگین	۰.۱۸۴	۱.۶۱	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۰۷	۱۴۷	۱۵۷۳



شکل ۲۰. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر شتاب سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت case ۱ و ضریب میرایی میراگر $cd=500$ kN.s/m

Fig. 19. Regression analysis for the maximum acceleration response of a three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 1 and the damping coefficient of the damper $cd=500$ kN.s/m



شکل ۲۱. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر نسبت دررفت سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت case ۲ و ضریب میرایی میراگر $cd=500$ kN.s/m

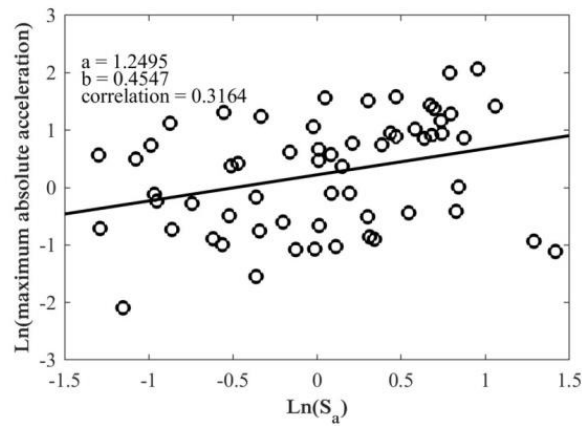
Fig. 21. Regression analysis for the response of the maximum drift ratio of the three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 2 and the damping coefficient of the damper $cd=500$ kN.s/m

سیستم مهاربند الکلنگی است. در واقع از این پارامترها می‌توان برای طراحی سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر استفاده نمود. نکته مهمی که از این داده‌ها می‌توان به آن اذعان نمود ایجاد نیروی بزرگتری در کابل‌های case 2 در مقایسه با case 1 است که یک عامل محدود کننده برای استفاده از حالت اتصال به طبقه آخر می‌باشد.

در شکل‌های ۱۹ تا ۲۶ نتایج تحلیل رگرسیون به ازای پاسخ نسبت دررفت و شتاب به ترتیب برای سازه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت اتصال کابل به طبقه اول و آخر و همچنین ضریب میرایی

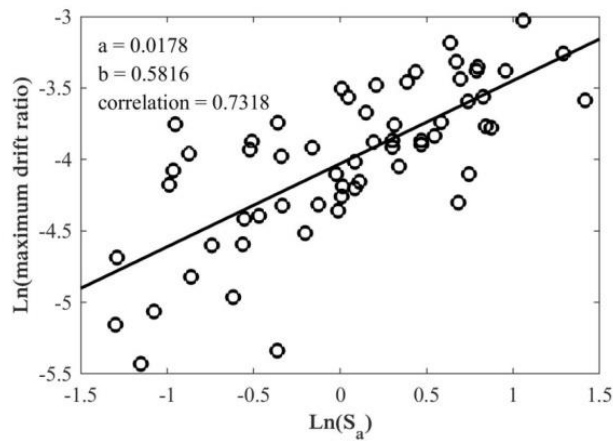
بزرگ‌تر منجر به کاهش بیشتر پاسخ‌های سازه می‌شود که البته بدیهی است. ذکر این نکته ضروریست که این دو ضریب به عنوان نمونه انتخاب شده است و برای طراحی خود میراگر ملاحظات دیگری نیز لازم است که از موضوع این مطالعه خارج است.

علاوه بر این، در این جداول، حداکثر پاسخ مربوط به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع نیز گزارش شده است. این پاسخ‌ها شامل: (۱) میانگین حداکثر تغییر مکان میراگر، (۲) میانگین حداکثر سرعت میراگر، (۳) میانگین حداکثر نیروی میراگر، و نهایتاً (۴) میانگین حداکثر نیروی کابل



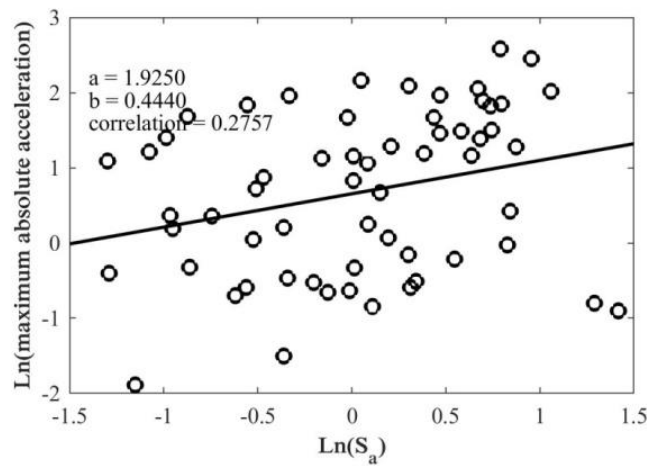
شکل ۲۲. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر شتاب سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت case ۲ و ضریب میرایی میراگر $cd=500$ kN.s/m

Fig. 22. Regression analysis for the maximum acceleration response of a three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 2 and the damping coefficient of the damper $cd=500$ kN.s/m



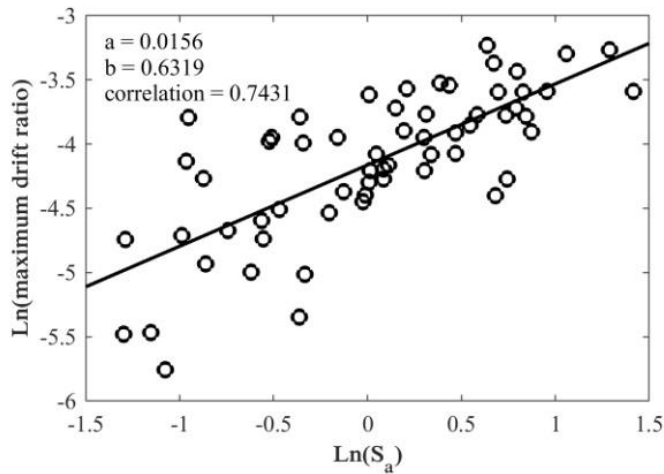
شکل ۲۳. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر نسبت دررفت سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت case ۱ و ضریب میرایی میراگر $cd=1000$ kN.s/m

Fig. 23. Regression analysis for the response of the maximum drift ratio of the three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 1 and the damping coefficient of the damper $cd=1000$ kN.s/m



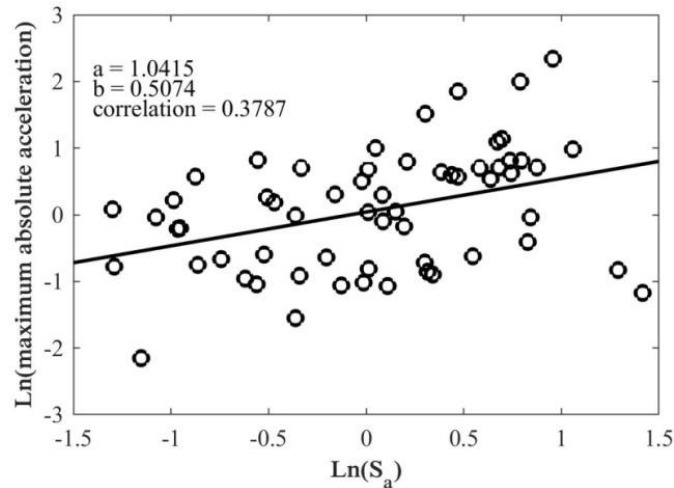
شکل ۲۴. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر شتاب سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت ۱ case و ضریب میرایی میراگر $cd=1000 \text{ kN.s/m}$

Fig. 24. Regression analysis for the maximum acceleration response of a three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 1 and the damping coefficient of the damper $cd=1000 \text{ kN.s/m}$



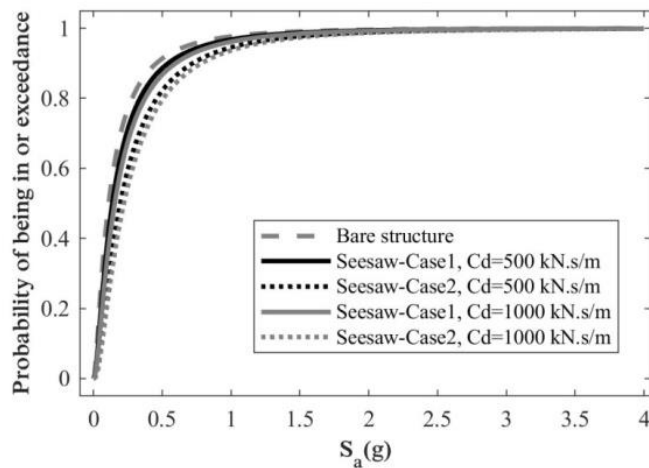
شکل ۲۵. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر نسبت دررفت سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت ۲ case و ضریب میرایی میراگر $cd=1000 \text{ kN.s/m}$

Fig. 25. Regression analysis for the response of the maximum drift ratio of the three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 2 and the damping coefficient of the damper $cd=1000 \text{ kN.s/m}$



شکل ۲۶. تحلیل رگرسیون برای پاسخ حداکثر شتاب سازه سه طبقه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر در حالت case ۲ و ضریب میرایی میراگر $c_d=1000 \text{ kN.s/m}$

Fig. 26. Regression analysis for the maximum acceleration response of a three-story structure equipped with brace-swing-damper system in case 2 and the damping coefficient of the damper $c_d=1000 \text{ kN.s/m}$

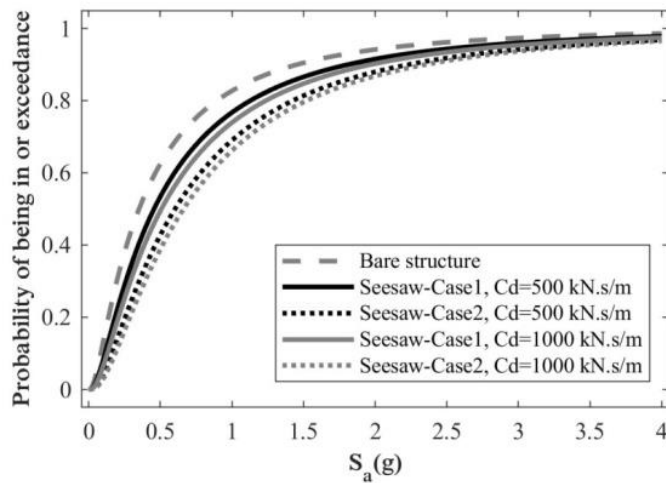


شکل ۲۷. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی خفیف و معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای سازه ای

Fig. 27. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-swing-damper system related to the mild performance level and the performance criterion of the drift ratio of structural members

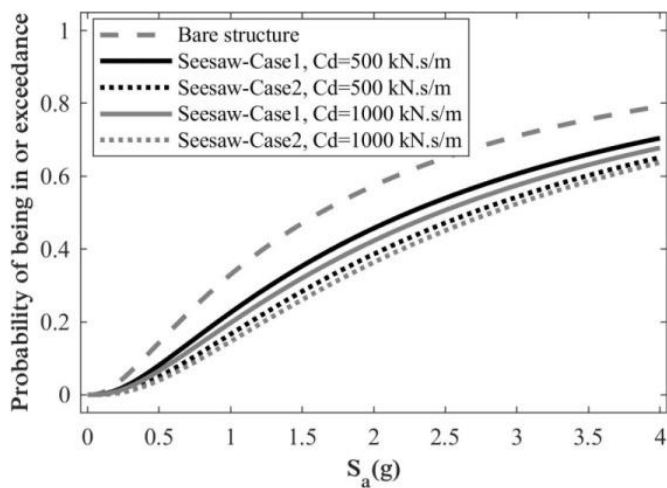
میراگر برابر با $c_d=500 \text{ kN.s/m}$ ، (۳) اتصال کابل به طبقه اول و ضریب میرایی میراگر برابر با $c_d=1000 \text{ kN.s/m}$ ، (۴) اتصال کابل به طبقه آخر و ضریب میرایی میراگر برابر با $c_d=1000 \text{ kN.s/m}$ ، مقایسه شده است. شکل‌های ۲۷ تا ۳۰ ارائه دهنده منحنی‌های شکنندگی با در نظر گرفتن معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای سازه به ترتیب به ازای

میراگر برابر با $c_d=500 \text{ kN.s/m}$ و $c_d=1000 \text{ kN.s/m}$ ارائه شده است. در شکل‌های ۲۷ تا ۳۸ منحنی‌های شکنندگی سازه کنترل نشده با منحنی‌های شکنندگی سازه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع در چهار حالت (۱) اتصال کابل به طبقه اول و ضریب میرایی میراگر برابر با $c_d=500 \text{ kN.s/m}$ ، (۲) اتصال کابل به طبقه آخر و ضریب



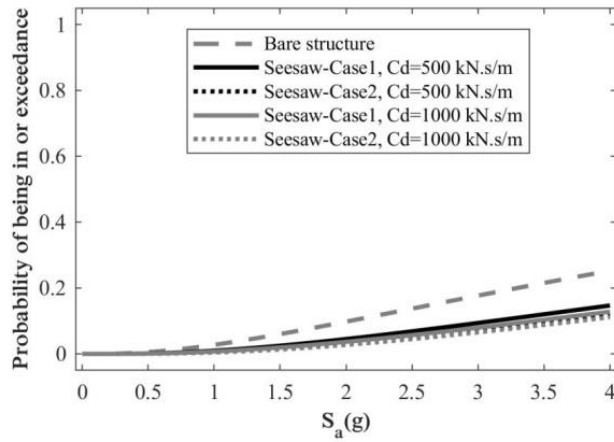
شکل ۲۸. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی ملایم و معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای سازه ای

Fig. 28. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-swing-damper system related to the mild performance level and the performance criterion of the drift ratio of structural members



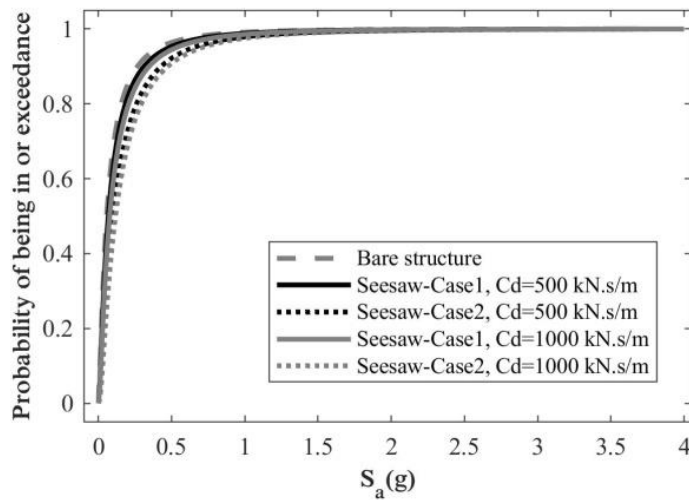
شکل ۲۹. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی وسیع و معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای سازه ای

Fig. 29. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-swing-damper system related to a wide performance level and the performance criterion of the drift ratio of structural members



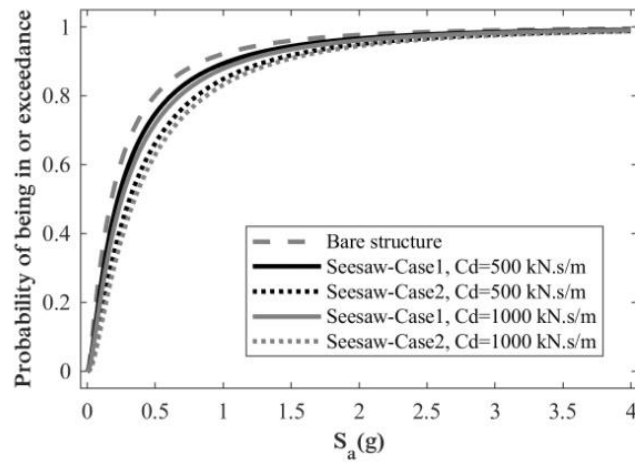
شکل ۳۰. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی کامل و معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای سازه ای

Fig. 30. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-swing-damper system related to the full performance level and the performance criterion of the drift ratio of structural members



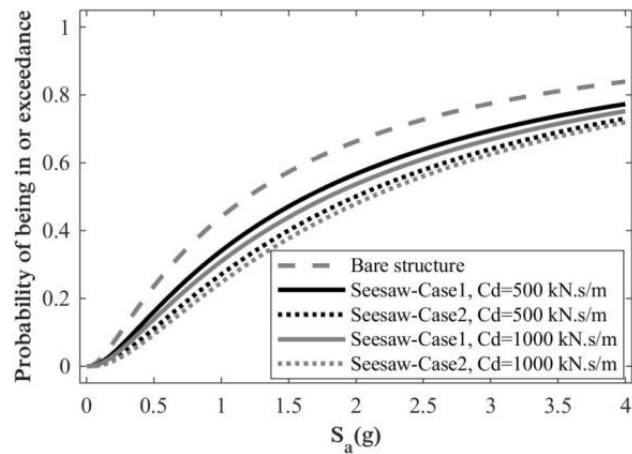
شکل ۳۱. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی خفیف و معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای غیرسازه ای

Fig. 31. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-swing-damper system related to the mild performance level and the performance criterion of the drift ratio of non-structural members



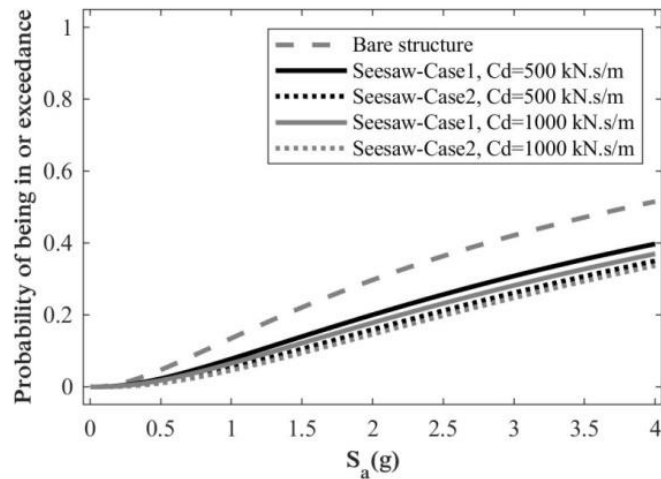
شکل ۳۲. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی ملایم و معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای غیرسازه ای

Fig. 32. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-swing-damper system related to the mild performance level and the performance criterion of the drift ratio of non-structural members



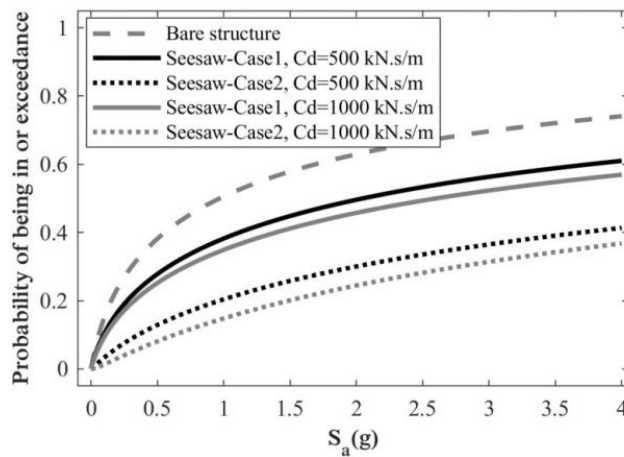
شکل ۳۳. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی وسیع و معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای غیرسازه ای

Fig. 33. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-swing-damper system related to a wide performance level and the performance criterion of the drift ratio of non-structural members



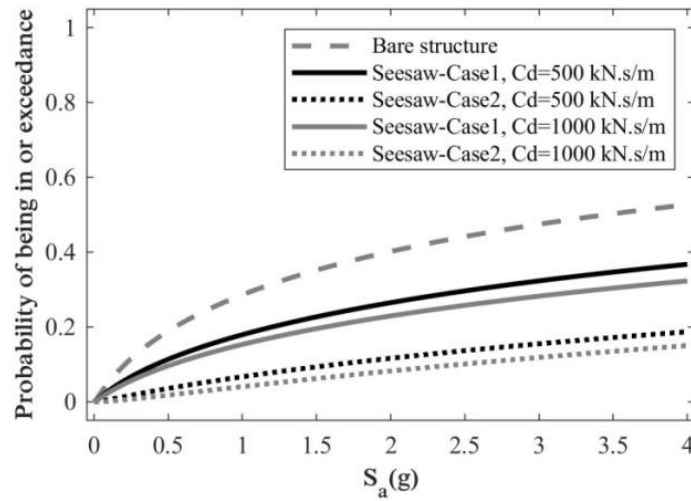
شکل ۳۴. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی کامل و معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای غیرسازه ای

Fig. 34. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-swing-damper system related to the full functional level and the functional criterion of the drift ratio of non-structural members



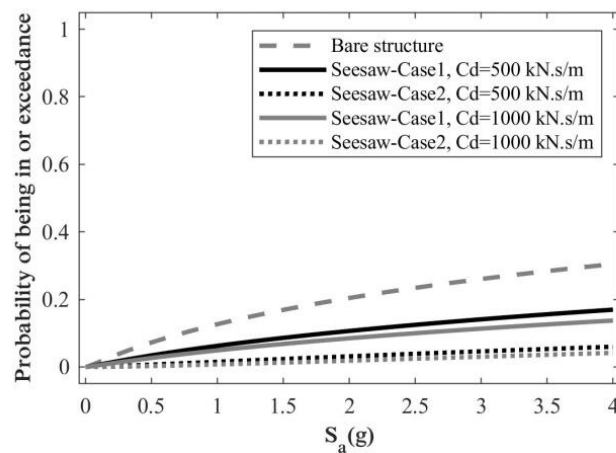
شکل ۳۵. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی خفیف و معیار عملکردی شتاب اعضای غیرسازه ای

Fig. 35. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-seesaw-damper system related to the mild performance level and the acceleration performance criterion of non-structural members



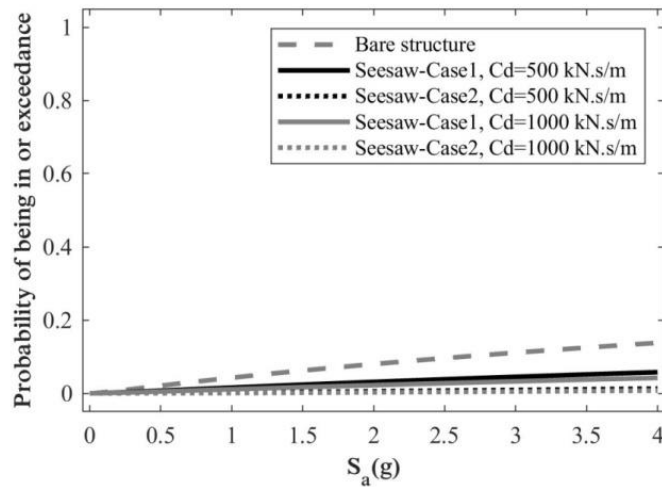
شکل ۳۶. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی ملایم و معیار عملکردی شتاب اعضای غیرسازه ای

Fig. 36. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-seesaw-damper system related to the mild performance level and the acceleration performance criterion of non-structural members



شکل ۳۷. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی وسیع و معیار عملکردی شتاب اعضای غیرسازه ای

Fig. 37. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-seesaw-damper system related to a wide performance level and the acceleration performance criterion of non-structural members



شکل ۳۸. منحنی شکنندگی سازه کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر مربوط به سطح عملکردی کامل و معیار عملکردی شتاب اعضای غیرسازه ای

Fig. 38. The fragility curve of an uncontrolled structure equipped with a brace-seesaw-damper system related to a wide performance level and the acceleration performance criterion of non-structural members

ای احتمال شکنندگی در سطح عملکرد شدید برای بدترین حالت در حدود ۵ برابر سطح عملکردی خفیف می باشد. این مقدار در مقایسه سطح عملکردی شدید نسبت به سطح عملکرد متوسط در حدود دو برابر می باشد.

- منحنی‌های شکنندگی معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای سازه‌ای، همواره بزرگتر از منحنی‌های شکنندگی معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای غیرسازه‌ای حساس به دریافت شده است. این پدیده به این دلیل است که هر دو این منحنی‌های شکنندگی بر اساس نیاز لرزه‌ای یکسان که نسبت دریافت است، بوده و آستانه‌های سطوح عملکردی معیار نسبت دریافت اعضای سازه‌ای همواره کمتر از آستانه‌های سطوح عملکردی معیار نسبت دریافت اعضای غیرسازه‌ای حساس به دریافت است.

- مقایسه حالت اتصال کابل سیستم مهاربند-الاکلنگ نشان می‌دهد که اتصال کابل به طبقه آخر (case2) عملکرد موثرتری در کاهش شکنندگی لرزه‌ای سازه نسبت به حالت اتصال کابل به طبقه اول از خود نشان داده است. این روند پیش از این در میانگین حداکثر پاسخ‌های سازه نیز مشاهده شده است. به عنوان مثال در سیستم مهاربند - الاکلنگ با میرایی $cd=500 \text{ kN.s/m}$ در حالت اتصال کابل به طبقه آخر حداکثر پاسخ‌های سازه را نسبت به اتصال کابل به طبقه اول حدود ۱۲٪، ۴۸٪، و ۱۹٪ به ترتیب در میانگین حداکثر نسبت دریافت، شتاب و تغییر مکان کاهش

سطوح عملکردی خفیف، ملایم، وسیع و کامل است. در شکل‌های ۳۱ تا ۳۴ منحنی‌های شکنندگی مربوط به معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای غیرسازه‌ای حساس به دریافت به ازای این چهار سطح عملکردی مقایسه شده است. در نهایت منحنی‌های شکنندگی مربوط به معیار عملکردی شتاب اعضای غیرسازه‌ای حساس به شتاب نیز در شکل‌های ۳۵ تا ۳۸ نشان داده شده است.

با ملاحظه این شکل‌ها می‌توان به طور کیفی تاثیر استفاده از سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع را در کاهش شکنندگی لرزه‌ای مشاهده نمود و به طور کلی می‌توان گفت این سیستم عملکرد قابل قبولی در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه و کاهش شکنندگی لرزه‌ای آن داراست. با ملاحظه این منحنی‌های شکنندگی به نظر می‌رسد روند کاهش شکنندگی مشابه به میانگین حداکثر پاسخ‌های سازه است که پیش از این بررسی شد. با این حال در رابطه با منحنی‌های شکنندگی استخراج شده می‌توان به نتایج زیر اشاره نمود:

- با افزایش آستانه‌های سطوح عملکردی، آسیب شکنندگی لرزه‌ای سازه کاهش می‌یابد. در سازه کنترل نشده و سازه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز نیز این موضوع مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در سازه کنترل نشده برای معیار عملکردی نسبت دریافت اعضای غیر سازه

داده است.

- اگرچه حالت اتصال به طبقه آخر منجر به کاهش بیشتر شکنندگی گردیده ولیکن نیروی قابل توجهی که در این حالت در کابل‌ها ایجاد می‌شود نیز باید مد نظر قرار گیرد. به عنوان مثال در قاب مجهز به سیستم مهاربند الاکلنگی با میراگر ویسکوز در حالت میرایی معادل $cd=1000 \text{ kN.s/m}$ مقدار متوسط حداکثر نیرو در مهاربند در حالت اتصال به طبقه آخر ۱۵۷۳ کیلونیوتن بوده در حالیکه این مقدار نیرو در سیستم اتصال مهاربند به طبقه اول ۵۰۶ کیلونیوتن بوده است. به عبارتی با جابجایی اتصال مهاربند از طبقه اول به طبقه آخر مقدار متوسط حداکثر نیروی مهاربند ۳٫۱ برابر شده است.
- مقایسه ضریب میرایی میراگر نیز نشان می‌دهد که ضریب میرایی بزرگتر برای میراگر ویسکوز مایع منجر به کاهش شکنندگی لرزهای گردیده است. به عنوان مثال همانطور که در شکل ۳۵ نشان داده شده است، برای دو حالت اتصال کابل به طبقه آخر و طبقه اول در سیستم مهاربند الاکلنگ - میراگر با افزایش مقدار میرایی از ۵۰۰ به ۱۰۰۰، احتمال شکنندگی لرزه در حدود ۱۵٪ کاهش یافته است.
- در مجموع می‌توان گفت در سازه سه طبقه استفاده از سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع در برخی شدت تحریک‌های زلزله توانسته شکنندگی لرزهای سازه را تا حدود ۳۵٪ در مقایسه با شکنندگی لرزهای سازه کنترل نشده کاهش دهد.

۶- نتیجه گیری

در این بخش از مقاله جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از مطالعات عددی صورت گرفته ارائه شده است. در این مطالعه به بررسی اثر استفاده از مهاربند الاکلنگی به همراه میراگر ویسکوز مایع در بهبود شکنندگی لرزهای سازه‌ها پرداخته شده است. مهاربند الاکلنگی با اضافه کردن میراگر ویسکوز مایع تشکیل شده است و مجموعه این سیستم در پایه سازه نصب و در دو حالت اتصال کابل‌ها به طبقه اول و طبقه آخر مورد بررسی قرار گرفته است. برای مطالعات عددی، سازه سه طبقه برشی با رفتار غیرخطی در نظر گرفته شده است. سازه‌های مورد بررسی در حالت کنترل نشده و مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر تحت ارتعاش ۶۰ رکورد زلزله توصیه شده در آیین نامه‌های لرزهای با مشخصات و محتوای فرکانسی متفاوت قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از تحلیل‌های دینامیکی تحت تحلیل رگرسیون قرار گرفته تا رابطه بین شدت تحریک زلزله و پاسخ سازه حاصل شده و نیاز لرزهای سازه تخمین زده شود. در نهایت منحنی‌های شکنندگی به ازای سطوح عملکردی

خفیف، ملایم، وسیع، و کامل به ازای سه معیار عملکردی شامل نسبت دررفت اعضای سازه‌ای، نسبت دررفت اعضای غیرسازه‌ای حساس به دررفت و شتاب اعضای غیرسازه‌ای حساس به شتاب تعیین و با هم مقایسه شده است. نتایج حاصل مطالعات عددی را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی نمود. استفاده از سیستم مهاربند الاکلنگی به همراه میراگر ویسکوز مایع در بهبود شکنندگی لرزه ای سازه سه طبقه به طور قابل قبولی موثر است.

۱- با افزایش آستانه‌های سطوح عملکردی و در واقع با افزایش مقدار آسیب لرزهای، شکنندگی سازه کاهش می‌یابد که در سازه کنترل نشده و سازه مجهز به سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز نیز این موضوع مشاهده شده است.

۲- مقایسه حالت اتصال کابل سیستم مهاربند-الاکلنگ نشان می‌دهد که اتصال کابل به طبقه آخر (case2) عملکرد موثرتری در کاهش شکنندگی لرزهای سازه نسبت به حالت اتصال کابل به طبقه اول در سازه سه از خود نشان داده است. با این حال نیروی ایجاد شده در کابل‌های سیستم الاکلنگی در حالت اتصال به طبقه آخر به طور قابل توجهی بیش از حالت اتصال به طبقه اول است. این پدیده می‌تواند به دلیل زاویه بیشتر اتصال به طبقه آخر با افق باشد که یک عامل محدود کننده خواهد بود.

۳- مقایسه ضریب میرایی میراگر نیز نشان می‌دهد که ضریب میرایی بزرگتر برای میراگر ویسکوز مایع منجر به کاهش بیشتر شکنندگی لرزهای گردیده است. البته لازم به ذکر است که دو مقدار ضریب میرایی به عنوان نمونه در مدل‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. در مجموع طراحی میراگر ویسکوز مایع باید با توجه به نیاز لرزهای خود میراگر از قبیل تغییر مکان و سرعت دو سر میراگر و نیروی مقاوم ایجاد شده در آن صورت گیرد. همچنین ملاحظات لازم برای طراحی کابل‌های سیستم مهاربند الاکلنگی با توجه به ایجاد نیروی قابل توجه در آن باید صورت گیرد.

۴- منحنی‌های شکنندگی معیار عملکردی نسبت دررفت اعضای سازه‌ای همواره بزرگتر از منحنی‌های شکنندگی معیار عملکردی نسبت دررفت اعضای غیرسازه‌ای حساس به دررفت شده است. این پدیده به این دلیل است که هر دو این منحنی‌های شکنندگی بر اساس نیاز لرزهای یکسان که نسبت دررفت است، بوده و آستانه‌های سطوح عملکردی معیار نسبت دررفت اعضای سازه‌ای همواره کمتر از آستانه‌های سطوح عملکردی معیار نسبت دررفت اعضای غیرسازه‌ای حساس به دررفت می‌باشد.

۵- در مجموع می‌توان گفت در سازه سه طبقه استفاده از سیستم مهاربند-الاکلنگ-میراگر ویسکوز مایع در برخی شدت تحریک‌های زلزله

Algorithm for Determining Control Parameters for Civil Structures Subject to Seismic Excitation, Algorithms, 14(292), (2021), a14100292.

- [12] S. Bahrami and A.A. Puri Rahim, Technical investigation of precast concrete defense headquarters resistant to blast loads, *Passive Defense J.*, 5, (2023), 15-25. (In Persian)
- [13] M. Yasin, Seismic Behavior of X-Braced Frames with Lower Grade Steel by using Fragility Curves under Near-Field Earthquakes, Master's thesis, Bomehen Azad Univ., (2020).
- [14] Z. A. Al-Sadoon, A. S. Karzad, A. Sagheer and M. AlHamaydeh, Replaceable fuse buckling-restrained brace (BRB): Experimental cyclic qualification testing and NLFEA modeling Paper presented at the Structures, (2022).
- [15] Y. Bakhshayesh, M. Shayanfar and A. Ghamari. Improving the performance of concentrically braced frame utilizing an innovative shear damper, *Journal of Constructional Steel Research*, (2022), 182, 106672.
- [16] A. Ghabussi, J. A. Marnani and M. S. Rohanimanesh, Seismic performance assessment of a novel ductile steel braced frame equipped with steel curved damper, Paper presented at the Structures, (2021).
- [17] A. Ghamari, Y.-J. Kim and J. Bae, Utilizing an I-shaped shear link as a damper to improve the behaviour of a concentrically braced frame, *Journal of Constructional Steel Research*, 186, (2021), 106915.
- [18] A. Ghamari, Y.-J. Kim and J. Bae, An Innovative shear link as damper: An experimental and numerical study, *Steel and Composite Structures*, 42(4), (2022), 539.
- [19] D. LEE, D.P. Taylor, Viscous damper development and future trends, *struct. design tall build.* 10, (2001), 311–320.
- [20] M.C. Constantinou, T.T. Soong and G.F. Dargush, Passive energy dissipation systems for structural design and retrofit, (1998).
- [21] J.D. Kang, H. Tagawa, Seismic response of steel structures with seesaw systems using viscoelastic

توانسته شکنندگی لرزه‌ای سازه را تا حدود ۳۵٪ در مقایسه با شکنندگی لرزه‌ای سازه کنترل نشده کاهش دهد.

منابع

- [1] B. F. Spencer Jr and S. Nagarajaiah, State of the art of structural control, *Journal of structural engineering*, 129(7), (2003) 845-856.
- [2] T. T. Soong and B. F. Spencer, Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of-the-practice, *Engineering Structures*, 24(3), (2002), 243-259.
- [3] T.T. Soong and G.F. Dargush, Passive energy dissipation systems in structural engineering., *Journal of Structural Control*, 6(1), (1999), 172.
- [4] F. Naeim, and J.M. Kelly, Design of seismic isolated structures, from theory to practice.: John Wiley & Sons, (1999).
- [5] F.Y. Cheng, H. Jiang and K. Lou, Smart Structures, Innovative Systems for Seismic Response Control, CRC Press, USA ,1, (2008), 1-50.
- [6] I.D. Aiken, J.M. Kelly, Comparative study of four passive energy dissipation systems, *Bull NZ Nat Soc Earthquake Engng*, 25(3), (1992), 175–92.
- [7] J.M. Kelly, R. Skinner and A.J.B.o.N.S.f.E.E. Heine, Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures, 5(3), (1972), 63-88.
- [8] D. M. Bergman and S. C. Goel, Evaluation of cyclic testing of steel-plate devices for added damping and stiffness, Department of Civil Engineering, Report No.87-10, (1987).
- [9] A.S. Pall and C. Marsh, Response of friction damped braced frames, *ASCE, J Struct Div*, 1208(ST6), (1982), 1313.
- [10] P. Castaldo, Dynamic Response of Systems Equipped with Viscous and Viscoelastic Dampers , *Integrated Seismic Design of Structure and Control Systems*, (2014), 63-85.
- [11] C.A. Peckens, A. Alsgaard, C. Fogg, M.C. Ngoma and C. Voskuil, Utilizing the Particle Swarm Optimization

- structures with seesaw energy dissipation system using fluid viscous dampers, *Engineering Structures*, 56, (2013), 431-442.
- [24] A. Norouzi, Using the MR damper in the structure of the Seesaw brace and checking the efficiency improvement of the system, Master's thesis of Gilan University, (2022).
- dampers, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 42(5), (2012), 779-794.
- [22] A. N. Kulkarni and S. R. Patil, Magneto-Rheological (MR) and Electro-Rheological (ER) Fluid Damper: A Review Parametric Study of Fluid Behavior, *Journal of Engineering Research and Applications*, 3(6), (2013), 1879-1882.
- [23] J.D. Kang and H. Tagawa, Seismic performance of steel

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Kchooe, *The effect of the side bearing resistant system of the rocking brace - viscous damper on the performance of shear frames*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 56(8) (2024) 949-986.

DOI: [10.22060/ceej.2024.22911.8072](https://doi.org/10.22060/ceej.2024.22911.8072)

