

توزیع بهینه ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز در سازه‌های فولادی بر اساس شاخص عملکرد

محمد بهمنی^{۱*}، اشرف صادق مقدسی^۲، سید عبدالنبی رضوی^۱

۱- استادیار، مهندسی عمران، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان

*آبادان، صندوق پستی ۶۳۱۷۸۳۶۵۳۱، bahmani@iauabadan.ac.ir

چکیده

میراگرهای ویسکوز یکی از سیستم‌های کنترل غیر فعال است که سبب می‌شود تقاضای لرزه‌ای المان‌های سازه‌ای ساختمان کاهش یابد و خرابی ساختمان به حداقل رسد. از طرفی چینش مناسب میراگرهای ویسکوز در افزایش عملکرد آن بسیار موثر است و از لحاظ اقتصادی استفاده از میراگر ویسکوز در تمامی طبقات به صرفه نمی‌باشد. در این پژوهش میراگرهای ویسکوز بر اساس چهار روش توزیع شامل توزیع ضریب میرایی به صورت یکنواخت، توزیع متناسب با نیروی برشی طبقات، توزیع براساس انرژی کرنشی برشی طبقات و توزیع براساس انرژی کرنشی برشی برشی طبقات موثر، بر اساس FEMA 356 طراحی می‌گردند. با هدف یافتن روش توزیع بهینه، پاسخ‌های لرزه‌ای سازه شامل حداکثر نسبت دررفت، حداکثر شتاب نسبی طبقات و انرژی کرنشی، استخراج شده و نتایج حاصل از بهسازی به چهار روش ذکر شده با شاخص‌های عملکرد پیشنهادی مقایسه می‌شود. در این تحقیق با معرفی دو شاخص عملکرد جدید که شامل وزن دهی به پارامترهای مختلف پاسخ سازه با توجه به سطوح عملکرد متفاوت می‌باشد، پاسخ‌های ساختمان تحت روش‌های متفاوت توزیع میرایی مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد. با توجه به اثر هر یک از روش‌های توزیع ضریب میرایی بر شاخص‌های عملکرد پیشنهادی سازه، می‌توان اذعان داشت که توزیع ضریب میرایی براساس طبقات موثر در مقایسه با سایر روش‌های توزیع ضریب میرایی، از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است. نتایج حاصل از تحلیل تاریخیچه زمانی نشان داد استفاده از میراگرهای ویسکوز در ساختمان‌های محک به صورت میانگین باعث بهبود ۵۰ درصدی در شاخص عملکرد سازه‌های متوسط و بلند مرتبه و همچنین بهبود ۴۰ درصدی در شاخص نیروی سازه‌های متوسط و بلند مرتبه که تحت شتاب نگاشت حوزه‌های دور قرار گرفته‌اند، می‌شود.

واژگان کلیدی

میراگرهای ویسکوز، توزیع ضریب میرایی، سازه‌های فولادی، شاخص عملکرد، شاخص نیرو

Optimal distribution of damping coefficient of viscous dampers in steel structures based on performance index

M. Bahmani, A. Sadegh Moghadasi, S.A. Razavi

Abstract

Viscous dampers are one of the passive control systems that reduce the seismic demand of the structural elements of a building and minimize the building damage. However, the proper arrangement of viscous dampers greatly affects their increased performance, and it is not economical to use viscous dampers in all floors. In this study, the viscous dampers are designed according to four distribution methods based on FEMA 356: uniform damping coefficient distribution, distribution proportional to shear force of floors, distribution based on shear strain energy of floors and distribution based on shear strain energy of effective floors. In order to find the optimal distribution method, the seismic responses of the structure including the maximum drift ratio, maximum relative acceleration of floors, and strain energy are extracted and the results obtained from the rehabilitation in the four methods are compared with the proposed performance indices. Considering the effect of each method of damping coefficient distribution on the structural performance indices, it can be argued that the damping coefficient distribution based on the effective floors has a more appropriate performance compared to other methods of damping coefficient distribution. The results of time history analysis show that the viscous dampers used in the benchmark buildings cause a 50% improvement in the performance index of mid- and high-rise structures and also a 40% improvement in the force index of mid- and high-rise structures under the far-field acceleration.

Keywords

Viscous dampers, Damping coefficient distribution, Steel structures, Performance index, Force index

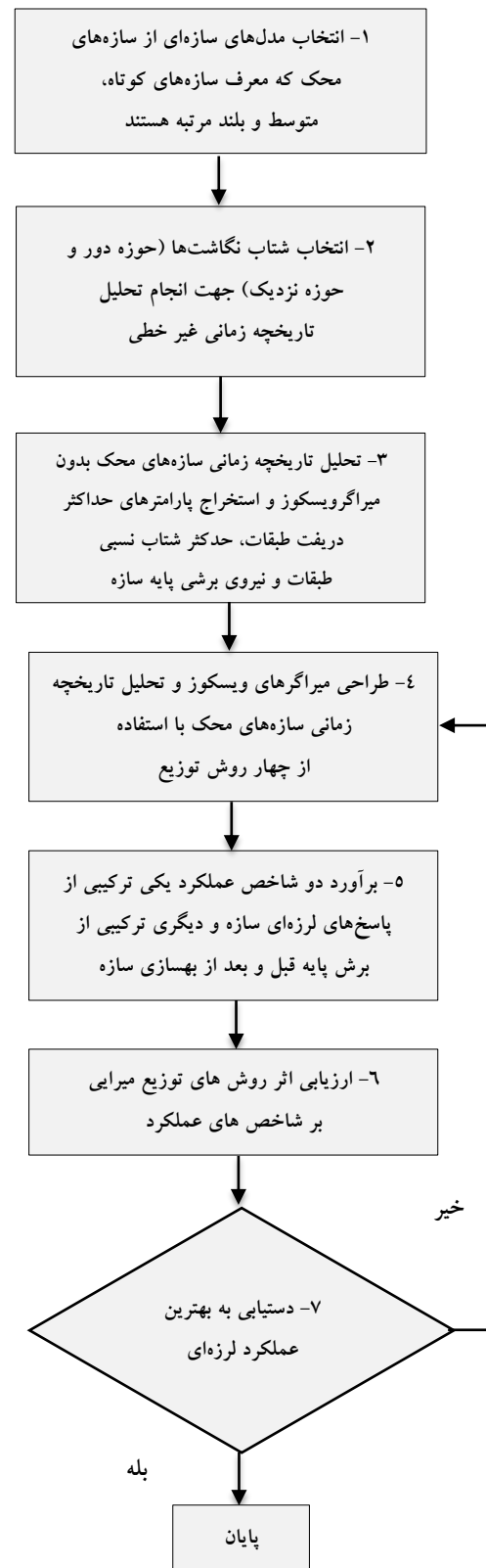
محل قرارگیری میراگرهای ویسکوز در استهلاک انرژی ورودی زلزله به سازه و کاهش نیاز لرزه‌ای بسیار حائز اهمیت می‌باشد به گونه‌ای که در صورت قرار گرفتن میراگر ویسکوز در محل نامناسب، نمی‌توان کاهش تقاضای لرزه‌ای را شاهد بود. هم‌چنین به دلیل محدودیت‌های اقتصادی، لازم است محل‌های بهینه نصب میراگرهای ویسکوز بر اساس پاسخ‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای که بیان‌گر سطح عملکرد ساختمان هنگام وقوع زلزله هستند، بررسی شود تا بتوان شاهد طراحی ایمن و اقتصادی بود. لازم به ذکر است هدف از اضافه کردن سیستم‌های کنترلی به ساختمان‌ها، هدایت انرژی زلزله به عناصری است که به این منظور طراحی می‌شوند. بنابراین محل قرارگیری میراگرهای ویسکوز یکی از مهمترین پارامترهای مهندسی سازه می‌باشد که هم از لحاظ اقتصادی و هم از نظر تأثیر میراگر ویسکوز در کاهش تقاضای سازه حائز اهمیت است. از این رو هدف اصلی این تحقیق، ارائه شاخص عملکرد جدید برای ارزیابی توزیع میراگرها در ارتفاع ساختمان و دستیابی به بهترین عملکرد سازه با توجه به تعداد مشخصی میراگر ویسکوز که هم پاسخگوی محدودیت‌های اقتصادی طرح باشد و هم پاسخ‌های لرزه‌ای سازه شامل حداکثر نسبت دررفت طبقات، حداکثر شتاب نسبی طبقات و نیروی برش پایه سازه را کاهش دهد.

در دهه اخیر مطالعات زیادی بر روی میراگرهای ویسکوز و تأثیر مکانیابی آن بر رفتار سازه‌های مختلف توسط محققان انجام شده است [۱ و ۲]. Zahrai و Bahmani در تحقیق خود با استفاده از توزیع میرایی بر مبنای انرژی کرنشی برشی طبقات، روشی برای تعیین سطح بهینه بهسازی در سازه‌های فولادی ارائه دادند [۳]. آن‌ها در پژوهشی دیگر میزان اثر بخشی افزودن میراگرهای ویسکوز به سازه‌های فولادی را با استفاده از منحنی‌های شکنندگی مورد بررسی قرار دادند [۴]. Park در تحقیق خود یک روش طراحی بهینه برای کم کردن ساینز اعضای اصلی سازه‌های بلند ارائه داده و به محاسبه محل بهینه میراگر با استفاده از الگوریتم ژنتیک با هدف کنترل تغییر مکان‌های جانبی پرداخت [۵]. Landi و همکارانش تحقیقی در جهت اثربخشی توزیع متفاوت ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز غیرخطی برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود بتن مسلح انجام داده‌اند [۶]. Hwang و همکارانش با بررسی پارامترهایی از قبیل حداکثر نیروی میراگر در یک طبقه، مجموع کل نیروی میراگرها و کنترل دررفت طبقه، توزیع ضریب میرایی براساس طبقه‌های موثر را به عنوان یک گزینه مناسب برای طراحی عملی

میراگرهای ویسکوز معرفی نمودند [۷]. Whittle و همکارانش در تحقیقی تأثیر روش‌های مختلف مکانیابی میراگرهای ویسکوز را در جهت بهبود طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها مورد بررسی قرار دادند [۸]. Pricopie و همکارانش تحقیقی را در زمینه بهسازی سازه‌های موجود با استفاده از میراگر ویسکوز انجام دادند و به بررسی محل بهینه میراگر ویسکوز با استفاده از مینیمم کردن پاسخ تغییر مکان در شرایط لرزه‌ای رومانی پرداختند [۹]. Park و همکارانش برای پیدا کردن محل بهینه میراگر در سازه سه بعدی نامتقارن دو سازه ده طبقه و یک سازه بیست طبقه نامتقارن را مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. Aydin و همکارانش محل بهینه میراگر را با استفاده از توابع هدف مختلف بررسی کردند و ضریب میرایی میراگرهای اضافه شده را به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفتند [۱۱].

علاوه بر پژوهش‌های اشاره شده در پاراگراف قبل در سایر تحقیقات صورت پذیرفته در زمینه توزیع بهینه ضریب میرایی در ارتفاع ساختمان [۲۲-۱۲] نیز ملاحظه می‌شود اکثر محققین اثر روش‌های توزیع میراگر را تنها با در نظر گرفتن اثر آن‌ها بر یکی از پارامترهای پاسخ و به طور جداگانه مورد بررسی قرار داده‌اند. حال آن‌که می‌بایست در نظر داشت که هنگام وقوع زلزله خرابی ساختمان وابسته به ترکیبی از پارامترهای متفاوت می‌باشد، به عنوان مثال خرابی‌ها در اجزای سازه‌ای بیشتر تحت تأثیر تغییر مکان نسبی بین طبقات و در اجزای غیر سازه‌ای بیشتر متأثر از شتاب می‌باشند. بنابراین منطقی است که توزیع میراگر ویسکوز متناسب با ترکیبی از پارامترهای پاسخ سازه و به صورت هم‌زمان مورد بررسی قرار گیرد. به این ترتیب در این تحقیق سعی می‌شود با معرفی دو شاخص عملکرد جدید که شامل وزن دهی به پارامترهای مختلف پاسخ سازه با توجه به سطوح عملکرد متفاوت می‌باشد، پاسخ‌های ساختمان تحت روش‌های متفاوت توزیع میرایی مورد بررسی و مقایسه قرارگیرد. این بررسی با هدف دستیابی به بهترین عملکرد سازه با توجه به تعداد مشخصی از دستگاه‌های میراگر ویسکوز انجام می‌شود. در این پژوهش اثر توزیع میراگرهای ویسکوز را در سه ساختمان محک که معرف سازه‌های کوتاه، متوسط و بلند مرتبه هستند، با به کارگیری دو شاخص عملکرد پیشنهادی که یکی ترکیبی از پاسخ‌های لرزه‌ای سازه شامل حداکثر نسبت دررفت طبقات، حداکثر شتاب نسبی طبقات، انرژی ورودی زلزله به سازه و انرژی مستهلک شده توسط میراگرها بوده و شاخص دیگر ترکیبی از برش پایه قبل و بعد از بهسازی سازه‌های مذکور می‌باشد، مورد بررسی قرار داده شده است.





شده است. این رابطه‌های طراحی روش ساده‌ای در اختیار مهندسان طراح برای محاسبه ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز با نسبت میرایی دلخواه قرار می‌دهد. نسبت ضریب میرایی موثر یک سازه ساختمانی با میراگرهای ویسکوز الحاقی متشکل از میرایی ذاتی سازه و نسبت میرایی میراگرهای ویسکوز الحاقی می‌باشد.

$$\xi_e = \xi_0 + \xi_d \quad (1)$$

در رابطه بالا، ξ_e نسبت میرایی موثر سازه، ξ_0 میرایی ذاتی سازه که اغلب ۵٪ فرض می‌شود و ξ_d نسب میرایی اضافه شده به سازه توسط میراگر ویسکوز می‌باشد. با در نظر گرفتن مد اول ارتعاشات در جهت مورد نظر، رابطه ضریب میرایی الحاقی به صورت رابطه (۲) است:

$$\xi_d = \frac{T \sum_j C_j f_j^2 \phi_{rj}^2}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (2)$$

که در این رابطه، T پریود طبیعی اولین مد ارتعاش، C_j ضریب میرایی میراگرها در طبقه j ام، f_j فاکتور بزرگی وابسته به نوع پیکره بندی میراگر در سازه، ϕ_{rj} دریفت مودال، ϕ_i تغییر مکان های افقی مودال طبقه i ام، m_i جرم لرزه‌ای طبقه i ام می‌باشد. در ادامه چهار روش توزیع ضریب میرایی که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد، ارائه می‌شود.

۱-۲- توزیع ضریب میرایی به صورت یکنواخت

برای سادگی و راحتی در طراحی، مهندسين اغلب فرض می‌کنند که ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز خطی هر طبقه یکسان است. رابطه برای تعیین ضریب میرایی در هر طبقه را می‌توان از رابطه (۳) به دست آورد.

$$C_j = \frac{4\pi \xi_d \sum_i m_i \phi_i^2}{T \sum_j f_j^2 \phi_{rj}^2} \quad (3)$$

۲-۲- توزیع میرایی متناسب با نیروی برشی طبقات

روش دیگر توزیع میرایی بین طبقات، توزیع متناسب با نیروی برشی هر طبقه است. با توجه به تئوری دینامیک سازه‌ها می‌توان نیروی برشی هر طبقه V_j را متناسب با S_j که در رابطه (۴) تعریف می‌شود دانست:

$$V_j \propto S_j = \sum_{i=j}^{roof} m_i \phi_i \quad (4)$$

از آن‌جا که ضریب میرایی یک طبقه متناسب با نیروی برشی طبقه است، ضریب میرایی طبقه j ام به صورت رابطه (۵) بیان

۲- روش‌های مختلف توزیع میرایی در ارتفاع ساختمان

در اکثر تحقیق‌های انجام شده رابطه‌های طراحی برای میراگرهای ویسکوز الحاقی به سازه‌های ساختمانی از FEMA 356 اقتباس

شود:

$$(\xi_{eq})_j = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_i (\phi_j)_i^T K_i (\phi_j)_i}{\phi_j^T K_s \phi_j} \quad (12)$$

ξ_{eq} نسبت میرایی معادل زامین مد ارتعاش، N تعداد المان‌های سازه، ξ_i نسبت میرایی زامین المان سازه، ϕ_j^T مد ارتعاش زام، K_s سختی کل سیستم، K_i سختی المان زام، $(\phi_j)_i$ بردار تغییر شکل i امین المان با توجه به مد ارتعاش زام و ϕ_j شکل مد ارتعاش زام می‌باشند. از آنجا که انرژی کرنشی برشی متناسب است با $\phi_{rj} S_j$ ، ضریب میرایی هر طبقه را می‌توان به صورت رابطه (۱۳) بیان کرد:

$$C_j = q S_j \phi_{rj} \quad (13)$$

در رابطه (۱۳)، q مقدار ثابت می‌باشد. بنابراین ضریب میرایی کل سازه معادل رابطه (۱۴) است:

$$\sum_i C_j = q \sum_i \phi_{ri} S_i \quad (14)$$

با جایگذاری معادله (۱۳) در (۱۴)، ضریب میرایی هر طبقه به‌دست می‌آید:

$$C_j = \frac{\phi_{rj} S_j}{\sum_i \phi_{ri} S_i} \sum_i C_i \quad (15)$$

با جایگذاری رابطه (۱۵) در رابطه (۲)، رابطه (۱۶) را خواهیم داشت:

$$\xi_d = \frac{T \sum_j [\phi_{rj} S_j (\sum_i C_i) (f_j \phi_{rj})^2]}{4\pi (\sum_i m_i \phi_i^2) (\sum_i \phi_{ri} S_i)} \quad (16)$$

و در نهایت ضریب میرایی کل سازه مطابق رابطه (۱۷) عبارت است از:

$$\sum_i C_i = \frac{4\pi \xi_d (\sum_i m_i \phi_i^2) (\sum_i \phi_{ri} S_i)}{T \sum_i \phi_{ri} S_i (f_j \phi_{ri})^2} \quad (17)$$

با جایگذاری معادله (۱۷) در معادله (۱۵) به توزیع ضریب میرایی براساس انرژی کرنشی برشی هر طبقه به رابطه (۱۸) می‌رسیم.

$$C_i = \frac{4\pi \xi_d \phi_{rj} S_j \sum_i m_i \phi_i^2}{T \sum_i \phi_{ri} S_i (f_j \phi_{ri})^2} \quad (18)$$

۲-۴- توزیع میرایی متناسب با انرژی کرنشی برشی طبقات موثر

$$C_j = p S_j \quad (5)$$

p یک ضریب ثابت است. بنابراین ضریب میرایی کل سازه برابر است با جمع ضریب میرایی طبقات در رابطه (۶):

$$\sum_i C_i = p \sum_i S_i \quad (6)$$

با جایگذاری رابطه (۶) در رابطه (۵)، رابطه بین ضریب میرایی هر طبقه با ضریب میرایی کل ساختمان به صورت رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$C_i = \frac{S_j}{\sum_i S_i} \sum_i C_i \quad (7)$$

با جایگذاری رابطه (۷) در رابطه (۲)، رابطه (۸) را خواهیم داشت:

$$\xi_d = \frac{T \sum_j [S_j (\sum_i C_i) (f_j \phi_{rj})^2]}{4\pi (\sum_i m_i \phi_i^2) (\sum_i S_i)} \quad (8)$$

نسبت میرایی کل سازه متناظر با نسبت میرایی دلخواه اضافه شده را می‌توان با استفاده از ξ_d به صورت رابطه (۹) محاسبه کرد:

$$\sum_i C_i = \frac{4\pi \xi_d (\sum_i m_i \phi_i^2) (\sum_i S_i)}{T \sum_i S_i (f_i \phi_{ri})^2} \quad (9)$$

با تطابق رابطه‌های (۷) و (۹)، رابطه توزیع ضریب میرایی برای هر طبقه به صورت رابطه (۱۰) خواهد بود:

$$C_i = \frac{4\pi \xi_d S_i \sum_i m_i \phi_i^2}{T \sum_i S_i (f_i \phi_{ri})^2} \quad (10)$$

۲-۳- توزیع میرایی براساس انرژی کرنشی برشی طبقات

در این روش نسبت میرایی سازه مطابق رابطه (۱۱) است:

$$\xi_s = \sum_i \xi_i \frac{U_i}{U_t} \quad (11)$$

در این رابطه ξ_s نسبت میرایی سازه، ξ_i نسبت میرایی زامین المان سازه، U_i انرژی کرنشی الاستیک زامین المان سازه و U_t انرژی کرنشی الاستیک کل سازه متناظر با تغییر شکل سازه می‌باشد.

نسبت میرایی سیستم که به عنوان نسبت میرایی مرکب سازه مشخص شده‌است، به صورت رابطه (۱۲) بیان می‌شود:



$$R_d = W_d \frac{\Delta_R}{\Delta_b} \quad (23)$$

W_d ضریب وزنی حداکثر نسبت دریافت طبقات، Δ_b حداکثر نسبت دریافت ساختمان بهسازی قبل بهسازی و Δ_R حداکثر نسبت دریافت ساختمان بهسازی شده می باشند. R_d از تقسیم حداکثر شتاب نسبی ساختمان بهسازی شده به حداکثر شتاب نسبی ساختمان قبل از بهسازی به صورت رابطه (24) تعیین می گردد:

$$R_d = W_a \frac{a_R}{a_b} \quad (24)$$

W_a ضریب وزنی شتاب نسبی طبقات، a_R حداکثر شتاب مطلق ساختمان بعد از بهسازی و a_b حداکثر شتاب مطلق ساختمان قبل از بهسازی می باشند. R_e از تقسیم تفاضل انرژی ورودی به سازه با انرژی مستهلک شده توسط میراگر بر انرژی ورودی به سازه به صورت رابطه (25) تعیین می گردد:

$$R_e = W_e \frac{E_i - E_D}{E_i} \quad (25)$$

W_e ضریب وزنی نسبت انرژی ورودی به سازه و انرژی مستهلک شده توسط میراگر، E_i انرژی ورودی به سازه و E_D انرژی مستهلک شده توسط میراگر و اسکوز می باشند. مقادیر ضرایب وزنی W_a ، W_e و W_d با توجه به بحرانی ترین حالت پاسخ سازه به ترتیب $0/4$ ، $0/4$ و $0/2$ در نظر گرفته شده است.

با تعریف شاخص عملکرد مطابق با معادله شماره (22)، چنانچه $PI > 0\%$ باشد نشانگر بهبود عملکرد سازه است که شامل کاهش در پارامترهای حداکثر نسبت دریافت بین طبقات، حداکثر شتاب نسبی طبقات و حداکثر انرژی مستهلک شده توسط میراگر می باشد. چنانچه $PI = 0\%$ باشد نشانگر عملکرد نامطلوب و بی اثر بودن روش توزیع میرایی بر پاسخ های سازه ای و غیر سازه ای می باشد.

۲-۳- شاخص نیرو

با توجه به اینکه یکی از مهم ترین آثار به کارگیری میراگرهای ویسکوز در ساختمان کاهش برش پایه سازه می باشد، بنابراین جهت ارزیابی و مقایسه اثر روش های مختلف توزیع میرایی میراگرهای ویسکوز بر کاهش برش پایه ساختمان، شاخص نیرو که ترکیبی از نیروی برش پایه قبل و بعد از بهسازی ساختمان می باشد، به صورت رابطه (26) معرفی می گردد.

$$FI = \left[1 - \frac{F_R}{F_b} \right] \times 100 \quad (26)$$

در این روش به منظور استفاده موثر میراگرهای ویسکوز، ضریب میرایی کل تنها مابین طبقاتی که انرژی کرنشی برشی آنها بزرگتر از میانگین انرژی کرنشی برشی کل سازه باشد، بر اساس رابطه (19) توزیع می شود.

$$\phi_{rj} S_j > \frac{\sum_i \phi_{ri} S_i}{N} \quad (19)$$

در این فرمول N تعداد کل طبقات ساختمان می باشد. با توجه به فرمول های (12) و (16) رابطه بین ضریب میرایی توزیع شده طبقه λ_m و ضریب میرایی کل به صورت رابطه (20) بیان می شود:

$$C_j = \frac{\phi_{rj} S_j}{\sum_{i=1}^k \phi_{ri} S_i} \sum_{i=1}^k C_i \quad (20)$$

در رابطه (20)، k تعداد طبقاتی است که مقدار انرژی کرنشی برشی آنها بزرگتر از مقدار انرژی کرنشی برشی میانگین کل سازه بوده است. در نهایت ضریب میرایی طبقات موثر به صورت رابطه (21) ارائه می شود:

$$C_j = \frac{4\pi \xi_a \phi_{rj} S_j \sum_i m_i \phi_i^2}{T \sum_{i=1}^k \phi_{ri} S_i (f_j \phi_{ri})^2} \quad (21)$$

۳- معرفی شاخص عملکرد و شاخص نیرو پیشنهادی

در این بخش از تحقیق جهت ارزیابی اثر روش های مختلف توزیع ضریب میرایی در ارتفاع ساختمان بر پاسخ های سازه ای و غیر سازه ای، شاخص هایی که ترکیبی از پاسخ های سازه ای و غیر سازه ای قبل و بعد از بهسازی هستند، معرفی می گردد. این شاخص ها شامل شاخص عملکرد و شاخص نیرو می باشند.

۳-۱- شاخص عملکرد

شاخص عملکرد پیشنهادی هر سازه ترکیبی از پارامترهای پاسخ های سازه ای و غیر سازه ای ساختمان با و بدون میراگر است که تحت تأثیر شتاب نگاشت های حوزه نزدیک کوبه و نورث ریج و شتاب نگاشت های حوزه دور السنترو و هاجینوه قرار گرفته و به روش تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی تحلیل شده اند و به صورت رابطه (22) تعریف می گردند:

$$PI = \left[1 - \sqrt{R_d^2 + R_a^2 + R_e^2} \right] \times 100 \quad (22)$$

R_d از تقسیم حداکثر نسبت دریافت ساختمان بهسازی شده به حداکثر نسبت دریافت ساختمان قبل از بهسازی به صورت رابطه (23) تعیین می گردد:



در معادله فوق F_R نشانگر میزان نیروی برش پایه بعد از بهسازی لرزه ای بوده و F_b بیانگر میزان نیروی برش پایه قبل از بهسازی لرزه ای می باشد. با توجه به شاخص نیروی تعریف شده، $FI > 0\%$ نشانگر عملکرد مطلوب و ایده آل سازه بهسازی شده نسبت به سازه بدون میراگر می باشد. چنانچه $FI = 0\%$ نشانگر عملکرد نامطلوب روش توزیع میرایی می باشد.

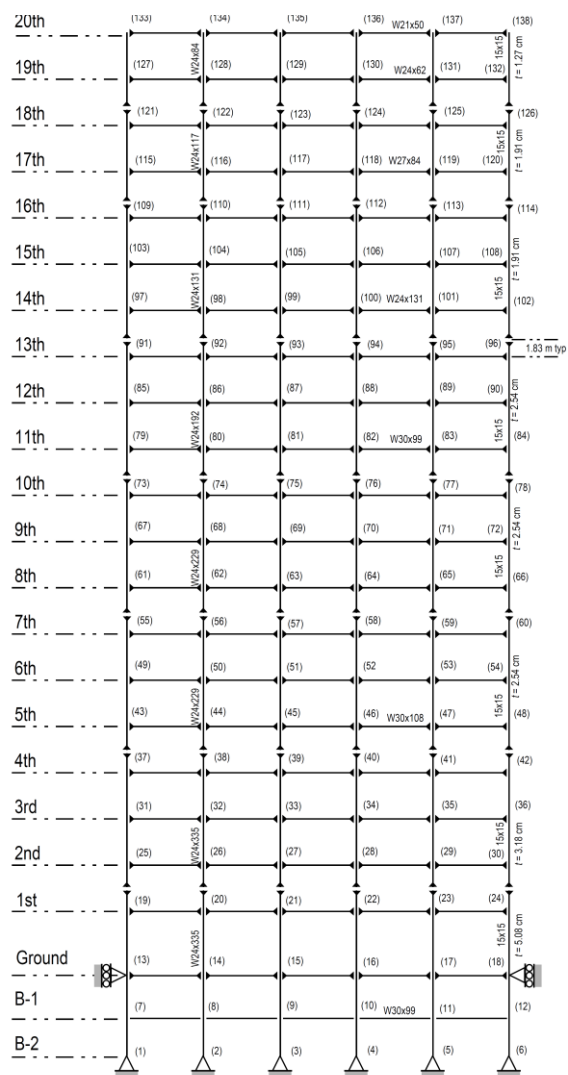
۴- معرفی سازه های محک برای ارزیابی روش های توزیع

برای ارزیابی روش های مختلف توزیع ضربه میرایی در ارتفاع ساختمان، از سه ساختمان شاخص ارایه شده توسط اوهوری و همکاران استفاده می نماییم [۲۳]. محققین حوزه کنترل سازه ها با در نظر گرفتن سازه های مختلف و معیارهای متفاوت سعی در نشان دادن اثر روش یا وسیله کنترل خاصی داشتند، اما با توجه به فقدان اصول مشترک در تحقیقات امکان مقایسه روش ها و یا وسایل کنترلی آنها با یکدیگر موجود نبود. کمیته کنترل سازه انجمن مهندسين امريکا با درک اهميت وجود سازه های محک در کنترل سازه ها سعی در ایجاد و توسعه آنها کرد. سازه های محک شامل مشخصات چند سازه، نحوه مدل سازی آنها و معیارهای ارزیابی می باشند که در اختیار محققین قرار گرفتند تا با در نظر گرفتن سیستم های کنترل مورد نظرشان معیارها را برای ساختمان های شاخص ارایه شده بررسی کنند. این ساختمان های سه، نه و بیست طبقه به عنوان قسمتی از پروژه فولادی SAC برای مناطق لس آنجلس و کالیفرنیا طراحی شده اند. هدف از انتخاب این ساختمان ها برای مثال های طراحی این تحقیق، مهیا کردن یک مبنای شفاف برای ارزیابی روش های مختلف توزیع ضربه میرایی در ارتفاع ساختمان می باشد. هر سه ساختمان به صورت قابل توجهی در مشخصات دینامیکی و ظرفیت مقاومت جانبی با هم متفاوت هستند به نحوی که یک مبنای گسترده را برای مقایسه ی راهبردهای مختلف کنترل سازه مهیا می سازند. سازه های این ساختمان ها مطابق با الزامات آیین نامه های محلی و با در نظر گرفتن بارهای ثقلی، باد و زلزله طراحی شده اند و نشان دهنده ساختمان ها کوتاه، میان و بلند مرتبه هستند. سیستم سازه ای برای هر سه ساختمان شامل قاب های مقاوم خمشی محیطی و قاب های مفصلی داخلی با استفاده از اتصال برشی می باشد. سازه سه طبقه پنج مارک دارای ابعاد ۳۶/۵۸ متر در ۵۴/۸۷ متر در پلان و ۱۱/۸۹ متر ارتفاع است. سازه دارای شش دهانه در جهت شرق-غرب و چهار دهانه در جهت شمال-جنوب می باشد و عرض تمامی دهانه ها ۹/۵ متر است. سیستم

برابر جانبی سازه از قاب های مقاوم خمشی پیرامونی هست. دهانه های میانی سازه دارای قاب های ساده است. ستون های سازه دارای مقاومت ۳۴۵ مگاپاسکال می باشند. ستون های قاب خمشی بال پهن هستند. ارتفاع طبقات کف به کف (مرکز به مرکز تیر) ۳/۹۶ متر می باشد. پایه های ستون ها به صورت اتصال گیردار به زمین متصل شده اند. تیرهای سازه از پروفیل بال پهن به مقاومت ۲۴۸ مگاپاسکال است. بارگذاری سازه به صورت اعمال جرم لرزه سازه در جهت جنوب به شمال می باشد. جرم لرزه ای طبقات اول و دوم $9/57 \times 10^6$ کیلوگرم و در طبقه سوم $1/04 \times 10^6$ کیلوگرم در نظر گرفته شده است. جرم لرزه ای کل سازه $2/95 \times 10^6$ کیلوگرم می باشد.

سازه ۹ طبقه پنج مارک دارای ابعاد ۴۵/۷۳ متر در ۴۵/۷۳ متر در پلان و ۳۷/۱۹ متر در ارتفاع می باشد. این سازه دارای شش دهانه در جهت شمال به جنوب و شش دهانه در جهت شرق به غرب می باشد و عرض تمامی دهانه ها ۹/۵ متر است. سیستم مقاوم جانبی سازه با استفاده از قاب های مقاوم خمشی پیرامونی سازه می باشد. دهانه های میانی سازه دارای قاب های ساده است. ستون های سازه دارای مقاومت ۳۴۵ مگاپاسکال می باشند. ستون های قاب خمشی بال پهن هستند. ساختمان دارای زیر زمین B1 است و سطح نهم بام سازه می باشد. فاصله سطح طبقه اول تا سطح زیرین آن ۳/۶۵ متر، فاصله طبقه اول تا طبقه هم کف ۵/۴۹ متر و فواصل سایر طبقات ۳/۹۶ متر می باشد. ستون ها به صورت اتصال گیردار به زمین متصل شده اند. تیرهای سازه از پروفیل بال پهن به مقاومت ۲۴۸ مگاپاسکال می باشند. بارگذاری سازه به صورت اعمال جرم لرزه سازه در جهت جنوب به شمال در هر طبقه می باشد. جرم لرزه ای طبقه هم کف $9/65 \times 10^6$ کیلوگرم، طبقه اول $1/01 \times 10^6$ کیلوگرم، برای طبقات دوم تا هشتم $9/89 \times 10^6$ کیلوگرم و طبقه نهم $1/07 \times 10^6$ کیلوگرم می باشد. جرم لرزه ای کل سازه $9/00 \times 10^6$ کیلوگرم است. سازه ۲۰ طبقه پنج مارک دارای ابعاد ۳۰/۴۸ متر در ۳۶/۵۸ متر در پلان و ۸۰/۷۷ متر در ارتفاع می باشد. این سازه دارای پنج دهانه در جهت شمال به جنوب و شش دهانه در جهت شرق به غرب می باشد و عرض همه دهانه ها ۶/۱۰ متر است. سیستم مقاوم جانبی سازه با استفاده از قاب های مقاوم خمشی پیرامونی سازه می باشد. دهانه های میانی سازه دارای قاب های ساده است. ستون های قاب خمشی سازه از پروفیل های بال پهن دارای مقاومت ۳۴۵ مگاپاسکال بوده و تیرهای سازه از پروفیل های بال پهن بوده و دارای مقاومت ۲۴۸ مگاپاسکال می باشند. سازه ۲۰ طبقه با توجه به سطح هم کف شماره گذاری

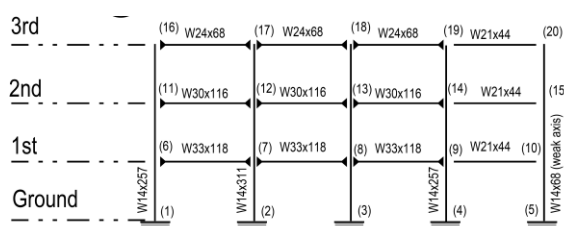




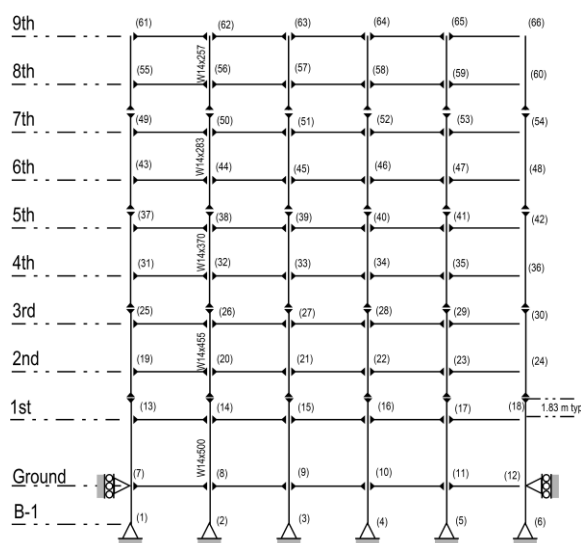
شکل ۳- قاب خمشی ساختمان محک ۲۰ طبقه [۲۳]

در حالت مورب و شورون تغییرمکان میراگر کمتر یا برابر تغییرمکان نسبی بین دو طبقه مجاور می‌باشد در حالیکه در سایر حالت میراگرها میرایی بیشتری از خود به نمایش می‌گذارند. [Sarkisian](#) و همکارانش در مطالعه‌ای که برای طراحی لرزه‌ای ساختمان دادگاه مرکزی سان دیگو انجام داده‌اند به این نتیجه رسیدند که استفاده از حالت مورب و توگل به دلیل آن که میراگر و مهاربند به صورت مستقیم به گره تیر - ستون متصل می‌شوند و ایجاد خمش و برش اضافی در طول تیر نمی‌نمایند از لحاظ اقتصادی به صرفه تر می‌باشد [۲۴]. در این تحقیق با توجه به اینکه اجرای میراگر ویسکوز در حالت توگل نسبت به حالت مورب پیچیده‌تر است و در عمل استفاده از این حالت بسیار محدود می‌باشد از پیکره بندی مورب برای میراگرهای ویسکوز غیر خطی استفاده شده است.

شده است. سازه دارای دو زیر زمین است. تراز زیر طبقه هم کف $B1$ نام گذاری و تراز زیر سطح $B1$ ، دومین زیر زمین، $B2$ نام گذاری شده است. بارگذاری سازه به صورت اعمال جرم لرزه سازه در جهت جنوب به شمال در هر طبقه می باشد. جرم لرزه ای طبقه هم کف $5/32 \times 10^6$ کیلوگرم، طبقه اول $5/63 \times 10^6$ کیلوگرم، برای طبقات دوم تا نوزدهم $5/52 \times 10^6$ کیلوگرم و طبقه بیستم $5/84 \times 10^6$ کیلوگرم می باشد. جرم لرزه ای کل سازه $1/11 \times 10^7$ کیلوگرم است. شرح کامل مشخصات سازه ها شامل ابعاد، اندازه اعضا، بارگذاری و نوع مصالح استفاده شده در مطالعه انجام شده توسط Ohtori و همکارانش موجود می باشد [۲۳]. در شکل (۱) تا (۳) قاب پیرامونی ساختمان های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه نمایش داده شده است.



شکل ۱- قاب خمشی ساختمان محک ۳ طبقه [۲۳]



شکل ۲- قاب خمشی ساختمان محک ۹ طبقه [۲۳]

۵- پیکره بندی‌های مختلف میراگر ویسکوز

همان‌گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است نصب میراگر ویسکوز به پنج صورت امکان پذیر است که در کارهای اجرایی استفاده از حالت مورب و شورون بسیار متداول می‌باشد.

۶- طراحی میراگرها با روش‌های توزیع مختلف میرایی در این قسمت از تحقیق با استفاده از فرمول‌های ارایه شده در بخش ۲ مقاله و با فرض آن که نسبت میرایی الحاقی هدف ۲۰ درصد باشد، به تعیین پارامترهای میراگرهای ویسکوز غیر خطی طبقات مختلف ساختمان‌های محک می‌پردازیم. نتایج طراحی میراگرها برای چهار روش توزیع زیر به ترتیب در جداول (۱) تا (۱۲) ارایه شده است.

- ۱- توزیع ضریب میرایی به صورت یکنواخت^۱
- ۲- توزیع ضریب میرایی متناسب با نیروی برشی طبقه^۲
- ۳- توزیع ضریب میرایی براساس انرژی کرنشی برشی طبقه^۳
- ۴- توزیع ضریب میرایی براساس انرژی کرنشی برشی طبقات موثر^۴

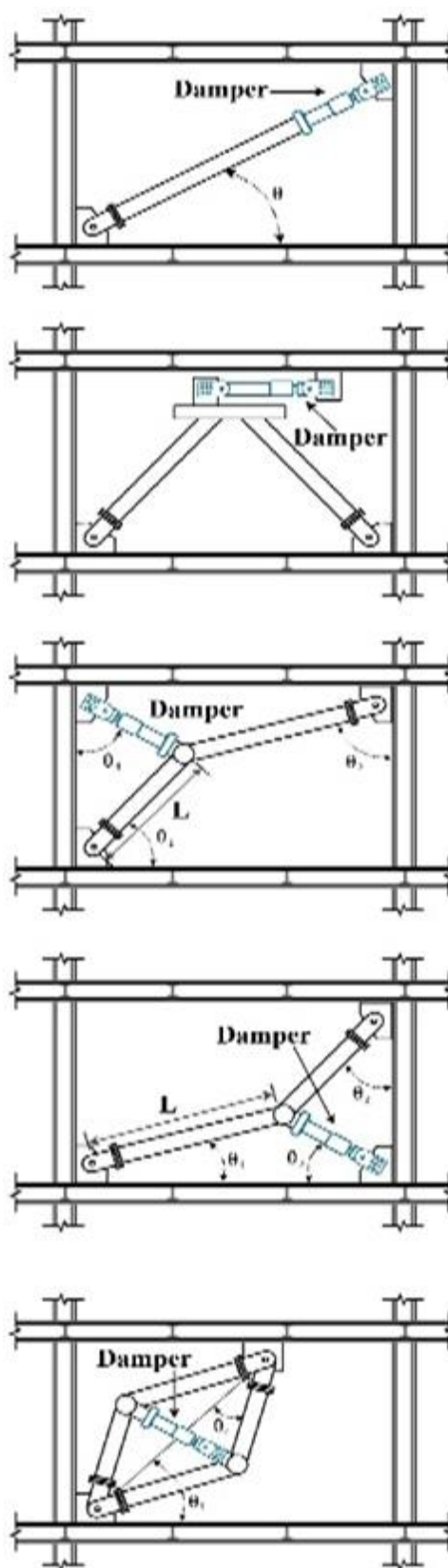
۷- بررسی نتایج بهسازی با روش‌های مختلف توزیع میرایی در طبقات

۷-۱- تاثیر روش‌های مختلف توزیع میرایی بر شاخص عملکرد

نتایج حاصل از تأثیر چهار روش توزیع ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز در سازه‌های محک برای شاخص عملکرد در شکل شماره (۵) ارایه شده است. از آنجا که هدف دستیابی به شاخص عملکرد مناسب (PI بالاتر) است، با توجه به مقادیر عددی شکل (۵) می‌توان مشاهده کرد هر چهار روش نتایجی تقریباً مشابه بر روی شاخص عملکرد داشته‌اند. توزیع ضریب میرایی به روش‌های انرژی تأثیر نسبتاً مطلوب‌تری بر روی شاخص عملکرد داشته است.

۷-۲- تاثیر روش‌های مختلف توزیع میرایی بر شاخص نیرو

نتایج حاصل از تأثیر چهار روش توزیع ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز در سازه‌های محک برای شاخص نیرو در شکل شماره (۶) ارایه شده است. از آنجا که هدف دستیابی به شاخص عملکرد مطلوب (FI بالاتر) است، با توجه به مقادیر عددی شکل (۶) مشاهده می‌شود تأثیر توزیع به روش‌های انرژی تأثیر مطلوب‌تری بر روی شاخص نیرو داشته‌اند. همچنین با توجه به نتایج، در خصوص تأثیر شتاب نگاشت‌های حوزه دور و نزدیک می‌توان مشاهده کرد، هنگامی که سازه‌های محک تحت شتاب نگاشت حوزه دور قرار داشته باشد نقش میراگر ویسکوز در کاهش نیروی برش پایه موثرتر است از زمانی که سازه تحت شتاب نگاشت حوزه نزدیک قرار گرفته است.



شکل ۴- پیکره بندی‌های مختلف میراگر ویسکوز

جدول ۱- توزیع میرایی براساس توزیع یکنواخت برای سازه ۳ طبقه

C_d (MN.s/m)	C_j (MN.s/m)	ξ_d	T_m (s)	%	C_i (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	f_i	m_i	φ_{rj} (mm)	φ_i (mm)	طبقه
۲۲/۶۵	۴۵/۳۰	۰/۲	۱/۰۱	۳۳/۳۳	۱۳۵/۹	۱۱۰۶۲۹	۰/۹۱۸	۹۵۷۰۰۰	۰/۳۴	۰/۳۴	۱
۲۲/۶۵	۴۵/۳۰			۳۳/۳۳		۵۹۷۲۶۴	۰/۹۱۸	۹۵۷۰۰۰	۰/۴۵	۰/۷۹	۲
۲۲/۶۵	۴۵/۳۰			۳۳/۳۳		۱۳۲۷۹۷۶	۰/۹۱۸	۱۰۴۰۰۰۰	۰/۳۴	۱/۱۳	۳
۶۷/۹۵	۱۳۵/۹۰	---	---	٪۱۰۰	۱۳۵/۹	۲۰۳۵۸۶۹	مجموع				

φ_i : Modal Displacement; φ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass

جدول ۲- توزیع میرایی براساس توزیع یکنواخت برای سازه ۹ طبقه

C_d (MN.s/m)	C_j (MN.s/m)	ξ_d	T_m (s)	%	C_i (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	f_i	m_i	φ_{rj} (mm)	φ_i (mm)	طبقه
۲۴/۵	۴۹/۳۱	۰/۲	۲/۳۴	۱۱/۱۱	۴۴۳/۸۶	۱۲۹۴۲	۰/۸۵۷	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۱۱۳۲	۰/۱۱۳۲	۱
۲۴/۵	۴۹/۳۱			۱۱/۱۱		۳۷۷۲۳	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۸۲۱	۰/۱۹۵۳	۲
۲۴/۵	۴۹/۳۱			۱۱/۱۱		۷۶۲۶۹	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۸۲۴	۰/۲۷۷۷	۳
۲۴/۵	۴۹/۳۱			۱۱/۱۱		۱۲۹۳۱۶	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۸۳۹	۰/۳۶۱۶	۴
۲۴/۵	۴۹/۳۱			۱۱/۱۱		۱۹۲۹۵۳	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۸۰۱	۰/۴۴۱۷	۵
۲۴/۵	۴۹/۳۱			۱۱/۱۱		۲۶۳۰۲۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۷۴۰	۰/۵۱۵۷	۶
۲۴/۵	۴۹/۳۱			۱۱/۱۱		۳۴۴۲۷۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۷۴۳	۰/۵۹۰۰	۷
۲۴/۵	۴۹/۳۱			۱۱/۱۱		۴۳۱۹۸۴	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۷۰۹	۰/۶۶۰۹	۸
۲۴/۵	۴۹/۳۱			۱۱/۱۱		۵۵۱۶۱۱	۰/۹۱۸	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۰۵۷۱	۰/۷۱۸۰	۹
۲۲۱/۹۲	۴۴۳/۸۶	---	---	٪۱۰۰	۴۴۳/۸۶	۲۰۴۰۰۹۰	مجموع				

φ_i : Modal Displacement; φ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass

جدول ۳- توزیع میرایی براساس توزیع یکنواخت برای سازه ۲۰ طبقه

C_d (MN.s/m)	C_j (MN.s/m)	ξ_d	T_m (s)	%	C_i (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	f_i	m_i	φ_{rj} (mm)	φ_i (mm)	طبقه
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷	۰/۲	۳/۸۴۷	۵	۸۷۳/۴۱	۱۷۰۳	۰/۷۴۳	۵۶۳۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵۰	۱
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۵۱۹۴	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۹۷۰	۲
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۰۳۶۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۱۳۷۰	۳
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۷۲۹۴	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۱۷۷۰	۴
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۲۵۹۹۳	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۲۱۷۰	۵
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۳۵۸۹۴	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۲۵۵۰	۶
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۴۷۳۸۹	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۲۹۳۰	۷
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۵۹۷۴۹	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۶	۰/۳۲۹۰	۸
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۷۲۷۳۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۴	۰/۳۶۳۰	۹
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۸۶۱۲۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۳۹۵۰	۱۰
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۰۰۶۴۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۴۲۷۰	۱۱
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۱۵۲۸۵	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۰	۰/۴۵۷۰	۱۲
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۳۰۳۸۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۹	۰/۴۸۶۰	۱۳
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۴۵۲۶۹	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۷	۰/۵۱۳۰	۱۴
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۵۹۷۷۳	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۵	۰/۵۳۸۰	۱۵
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۷۳۱۰۷	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۲	۰/۵۶۰۰	۱۶
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۸۵۶۹۳	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۵۸۰۰	۱۷
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۱۹۶۷۳۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۱۷	۰/۵۹۷۰	۱۸
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۲۰۶۰۷۳	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۱۴	۰/۶۱۱۰	۱۹
۲۱/۸۳	۴۳/۶۷			۵		۲۲۵۲۱۴	۰/۸۳۸	۵۸۴۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۶۲۱۰	۲۰
۴۳۶/۷۰	۸۷۳/۴۱	---	---	٪۱۰۰	۸۷۳/۴۱	۲۰۰۰۶۱۶	مجموع				

φ_i : Modal Displacement; φ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass

جدول ۴- توزیع میرایی متناسب با نیروی برشی طبقات برای سازه ۳ طبقه

طبقه	ϕ_i (mm)	ϕ_{rj} (mm)	m_i	f_i	$S_i = m_i \times \phi_i$	$m_i \phi_i^2$	C_i (MN.s/m)	%	T_m (s)	ξ_d	C_j (MN.s/m)	C_d (MN.s/m)
۱	۰/۳۴	۰/۳۴	۹۵۷۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۲۵۶۶۱۰	۱۱۰۶۲۹	۱۳۵/۹	۴۲/۰۸	۱/۰۱	۰/۲	۵۷/۱۸	۲۸/۵۹
۲	۰/۷۹	۰/۴۵	۹۵۷۰۰۰	۰/۹۱۸	۱۹۳۱۲۳۰	۵۹۷۲۶۴	۱۳۵/۹	۳۶/۰۱	۱/۰۱	۰/۲	۴۸/۹۴	۲۴/۴۷
۳	۱/۱۳	۰/۳۴	۱۰۴۰۰۰۰	۰/۹۱۸	۱۱۷۵۲۰۰	۱۳۳۷۹۷۶	۱۳۵/۹	۲۱/۹۱	۱/۰۱	۰/۲	۲۹/۷۸	۱۴/۸۹
مجموع												
ϕ_i : Modal Displacement; ϕ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass												

جدول ۵- توزیع میرایی متناسب با نیروی برشی طبقات برای سازه ۹ طبقه

طبقه	ϕ_i (mm)	ϕ_{rj} (mm)	m_i	f_i	$S_i = m_i \times \phi_i$	$m_i \phi_i^2$	C_i (MN.s/m)	%	T_m (s)	ξ_d	C_j (MN.s/m)	C_d (MN.s/m)
۱	۰/۱۱۳۲	۰/۱۱۳۲	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۸۵۷	۳۸۹۲۰۲۰/۱	۱۲۹۴۲	۴۴۳/۸۵	۱۶/۰۶	۲/۳۴	۰/۲	۷۱/۳۰	۳۵/۶۵
۲	۰/۱۹۵۳	۰/۰۸۲۱	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۳۷۷۶۸۸/۱	۳۷۷۲۳	۴۴۳/۸۵	۱۵/۵۹	۲/۳۴	۰/۲	۶۹/۲۰	۳۴/۶۳
۳	۰/۲۷۷۷	۰/۰۸۲۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۳۵۸۴۵۳۶/۴	۷۶۲۶۹	۴۴۳/۸۵	۱۴/۸۰	۲/۳۴	۰/۲	۶۵/۶۷	۳۲/۸۳
۴	۰/۳۶۱۶	۰/۰۸۳۹	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۳۳۰۹۸۹۱/۱	۱۲۹۳۱۶	۴۴۳/۸۵	۱۳/۶۶	۲/۳۴	۰/۲	۶۰/۶۳	۳۰/۳۱
۵	۰/۴۴۱۷	۰/۰۸۰۱	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۹۵۲۲۶۸/۷	۱۹۲۹۵۳	۴۴۳/۸۵	۱۲/۱۹	۲/۳۴	۰/۲	۵۴/۰۸	۲۷/۰۴
۶	۰/۵۱۵۷	۰/۰۷۴۰	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۵۱۵۴۲۷/۴	۲۶۳۰۲۱	۴۴۳/۸۵	۱۰/۳۸	۲/۳۴	۰/۲	۴۶/۰۸	۲۳/۰۴
۷	۰/۵۹۰۰	۰/۰۷۴۳	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۰۰۵۴۰۰/۱	۳۴۴۲۷۱	۴۴۳/۸۵	۸/۲۸	۲/۳۴	۰/۲	۳۶/۷۴	۱۸/۳۷
۸	۰/۶۶۰۹	۰/۰۷۰۹	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۱۴۲۱۸۹۰/۱	۴۳۱۹۸۴	۴۴۳/۸۵	۵/۸۷	۲/۳۴	۰/۲	۲۶/۰۴	۱۳/۰۲
۹	۰/۷۱۸۰	۰/۰۵۷۱	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۹۱۸	۷۶۸۲۶۰/۰	۵۵۱۶۱۱	۴۴۳/۸۵	۳/۱۷	۲/۳۴	۰/۲	۱۴/۰۷	۷/۰۳
مجموع												
ϕ_i : Modal Displacement; ϕ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass												

جدول ۶- توزیع میرایی متناسب با نیروی برشی طبقات برای سازه ۲۰ طبقه

طبقه	ϕ_i (mm)	ϕ_{rj} (mm)	m_i	f_i	$S_i = m_i \times \phi_i$	$m_i \phi_i^2$	C_i (MN.s/m)	%	T_m (s)	ξ_d	C_j (MN.s/m)	C_d (MN.s/m)
۱	۰/۰۵۵۰	۰/۰۵۵۰	۵۶۳۰۰۰	۰/۷۴۳	۴۲۷۵۲۹۳	۱۷۰۳/۰۷۵	۸۷۳/۴۱	۷/۶۰	۳/۸۴۷	۰/۲	۶۶/۳۵	۳۳/۲
۲	۰/۰۹۷۰	۰/۰۴۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۲۴۴۳۲۸	۵۱۹۳/۷۶۸	۸۷۳/۴۱	۷/۵۴	۳/۸۴۷	۰/۲	۶۵/۸۷	۳۲/۹
۳	۰/۱۳۷۰	۰/۰۴۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۱۹۰۷۸۴	۱۰۳۶۰/۴۹	۸۷۳/۴۱	۷/۴۵	۳/۸۴۷	۰/۲	۶۵/۰۴	۳۲/۵
۴	۰/۱۷۷۰	۰/۰۴۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۱۱۵۱۶۰	۱۷۲۹۳/۶۱	۸۷۳/۴۱	۷/۳۱	۳/۸۴۷	۰/۲	۶۳/۸۷	۳۱/۹
۵	۰/۲۱۷۰	۰/۰۴۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۰۱۷۴۵۶	۲۵۹۹۳/۱۳	۸۷۳/۴۱	۷/۱۴	۳/۸۴۷	۰/۲	۶۲/۳۵	۳۱/۲
۶	۰/۲۵۵۰	۰/۰۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۸۹۷۶۷۲	۳۵۸۹۳/۸۰	۸۷۳/۴۱	۶/۹۳	۳/۸۴۷	۰/۲	۶۰/۴۹	۳۰/۲
۷	۰/۲۹۳۰	۰/۰۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۷۵۶۹۱۲	۴۷۳۸۸/۶۵	۸۷۳/۴۱	۶/۶۸	۳/۸۴۷	۰/۲	۵۸/۳۱	۲۹/۲
۸	۰/۳۲۹۰	۰/۰۳۶	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۵۹۵۱۷۶	۵۹۷۴۹/۰۳	۸۷۳/۴۱	۶/۳۹	۳/۸۴۷	۰/۲	۵۵/۸۰	۲۷/۹
۹	۰/۳۶۳۰	۰/۰۳۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۴۱۳۵۶۸	۷۲۷۳۶/۴۹	۸۷۳/۴۱	۶/۰۷	۳/۸۴۷	۰/۲	۵۲/۹۸	۲۶/۵
۱۰	۰/۳۹۵۰	۰/۰۳۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۲۱۳۱۹۲	۸۶۱۲۵/۸۰	۸۷۳/۴۱	۵/۷۱	۳/۸۴۷	۰/۲	۴۹/۸۷	۲۴/۹
۱۱	۰/۴۲۷۰	۰/۰۳۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۹۹۵۱۵۲	۱۰۰۶۴۵/۶	۸۷۳/۴۱	۵/۳۲	۳/۸۴۷	۰/۲	۴۶/۴۸	۲۳/۲
۱۲	۰/۴۵۷۰	۰/۰۳۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۷۵۹۴۴۸	۱۱۵۲۸۴/۶	۸۷۳/۴۱	۴/۹۰	۳/۸۴۷	۰/۲	۴۲/۸۳	۲۱/۴
۱۳	۰/۴۸۶۰	۰/۰۲۹	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۵۰۷۱۸۴	۱۳۰۳۸۰/۲	۸۷۳/۴۱	۴/۴۶	۳/۸۴۷	۰/۲	۳۸/۹۱	۱۹/۵
۱۴	۰/۵۱۳۰	۰/۰۲۷	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۲۳۸۹۱۲	۱۴۵۲۶۹/۳	۸۷۳/۴۱	۳/۹۸	۳/۸۴۷	۰/۲	۳۴/۷۵	۱۷/۴
۱۵	۰/۵۳۸۰	۰/۰۲۵	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۹۵۵۷۳۶	۱۵۹۷۷۳/۱	۸۷۳/۴۱	۳/۴۸	۳/۸۴۷	۰/۲	۳۰/۳۵	۱۵/۲
۱۶	۰/۵۶۰۰	۰/۰۲۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۶۵۸۷۶۰	۱۷۳۱۰۷/۲	۸۷۳/۴۱	۲/۹۵	۳/۸۴۷	۰/۲	۲۵/۷۴	۱۲/۹
۱۷	۰/۵۸۰۰	۰/۰۲۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۳۴۹۶۴۰	۱۸۵۶۹۲/۸	۸۷۳/۴۱	۲/۴۰	۳/۸۴۷	۰/۲	۲۰/۹۵	۱۰/۵
۱۸	۰/۵۹۷۰	۰/۰۱۷	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۰۲۹۴۸۰	۱۹۶۷۳۷/۸	۸۷۳/۴۱	۱/۸۳	۳/۸۴۷	۰/۲	۱۵/۹۸	۸/۰
۱۹	۰/۶۱۱۰	۰/۰۱۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۶۹۹۹۳۶	۲۰۶۰۷۳/۲	۸۷۳/۴۱	۱/۲۴	۳/۸۴۷	۰/۲	۱۰/۸۶	۵/۴
۲۰	۰/۶۲۱۰	۰/۰۱۰	۵۸۴۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۶۲۶۶۴	۲۲۵۲۱۴/۳	۸۷۳/۴۱	۰/۶۴	۳/۸۴۷	۰/۲	۵/۶۳	۲/۸
مجموع												
ϕ_i : Modal Displacement; ϕ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass												



جدول ۷- توزیع میرایی متناسب با انرژی کرنشی برشی طبقات برای سازه ۳ طبقه

طبقه	ϕ_i (mm)	ϕ_{rj} (mm)	m_i	f_i	$S_i = m_i \times \phi_i$	$S_i \times \phi_{rj}$	$m_i \phi_i^2$	C_i (MN.s/m)	%	T_m (s)	ξ_d	C_j (MN.s/m)	C_d (MN.s/m)
۱	۰/۳۴	۰/۳۴	۹۵۷۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۲۵۶۶۱۰	۷۶۷۲۴۷/۴	۱۱۰۶۲۹	۱۳۵/۹۱	۳۷/۶۹	۱/۰۱	۰/۲	۵۱/۲۱	۲۵/۶۰
۲	۰/۷۹	۰/۴۵	۹۵۷۰۰۰	۰/۹۱۸	۱۹۳۱۲۳۰	۸۶۹۰۵۳/۵	۵۹۷۲۶۴	۱۳۵/۹۱	۴۲/۶۹			۵۸/۰۱	۲۹/۰۰
۳	۱/۱۳	۰/۳۴	۱۰۴۰۰۰۰	۰/۹۱۸	۱۱۷۵۲۰۰	۳۹۹۵۶۸	۱۳۲۷۹۷۶	۱۳۵/۹۱	۱۹/۶۳			۲۶/۶۷	۱۳/۳۳
مجموع													
ϕ_i : Modal Displacement; ϕ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass													

جدول ۸- توزیع میرایی متناسب با انرژی کرنشی برشی طبقات برای سازه ۹ طبقه

طبقه	ϕ_i (mm)	ϕ_{rj} (mm)	m_i	f_i	$S_i = m_i \times \phi_i$	$S_i \times \phi_{rj}$	$m_i \phi_i^2$	C_i (MN.s/m)	%	T_m (s)	ξ_d	C_j (MN.s/m)	C_d (MN.s/m)
۱	۰/۱۱۳۲	۰/۱۱۳۲	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۸۵۷	۳۸۹۲۰۲۰	۴۴۰۵۷۶/۶۸	۱۲۹۴۲	۴۴۳/۸	۲۱/۶۰	۲/۳۴	۰/۲	۹۵/۸۵	۴۷/۹۲
۲	۰/۱۹۵۳	۰/۰۸۲۱	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۳۷۷۷۶۸۸	۳۱۰۱۴۸/۱۹	۳۷۷۲۳	۴۴۳/۸	۱۵/۲۰			۶۷/۴۷	۳۳/۷۳
۳	۰/۲۷۷۷	۰/۰۸۲۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۳۵۸۴۵۳۶	۲۹۵۳۶۵/۸۰	۷۶۲۶۹	۴۴۳/۸	۱۴/۴۸			۶۴/۲۶	۳۲/۱۳
۴	۰/۳۶۱۶	۰/۰۸۳۹	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۳۳۰۹۸۹۱	۲۷۷۶۹۹/۸۶	۱۲۹۳۱۶	۴۴۳/۸	۱۳/۶۱			۶۰/۴۱	۳۰/۲۰
۵	۰/۴۴۱۷	۰/۰۸۰۱	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۹۵۲۲۶۸	۲۳۶۴۶۷/۷۲	۱۹۲۹۵۳	۴۴۳/۸	۱۱/۵۹			۵۱/۴۴	۲۵/۷۲
۶	۰/۵۱۵۷	۰/۰۷۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۵۱۵۴۲۷	۱۸۶۱۴۱/۶۳	۲۶۳۰۲۱	۴۴۳/۸	۹/۱۲			۴۰/۴۹	۲۰/۲۴
۷	۰/۵۹۰۰	۰/۰۷۴۳	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۰۰۵۴۰۰	۱۴۹۰۰۱/۲۳	۳۴۴۲۷۱	۴۴۳/۸	۷/۳۰			۳۲/۴۱	۱۶/۲۰
۸	۰/۶۶۰۹	۰/۰۷۰۹	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۱۴۲۱۸۹۰	۱۰۰۸۱۲/۰۱	۴۳۱۹۸۴	۴۴۳/۸	۴/۹۴			۲۱/۹۳	۱۰/۹۶
۹	۰/۷۱۸۰	۰/۰۵۷۱	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۹۱۸	۷۶۸۲۶۰	۴۳۸۶۷/۶۴۶	۵۵۱۶۱۱	۴۴۳/۸	۲/۱۵			۹/۵۴	۴/۷۷۲
مجموع													
ϕ_i : Modal Displacement; ϕ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass													

جدول ۹- توزیع میرایی متناسب با انرژی کرنشی برشی طبقات برای سازه ۲۰ طبقه

طبقه	ϕ_i (mm)	ϕ_{rj} (mm)	m_i	f_i	$S_i = m_i \times \phi_i$	$S_i \times \phi_{rj}$	$m_i \phi_i^2$	C_i (MN.s/m)	%	T_m (s)	ξ_d	C_j (MN.s/m)	C_d (MN.s/m)
۱	۰/۰۵۵۰	۰/۰۵۵	۵۶۳۰۰۰	۰/۷۴۳	۴۲۷۵۲۹۳	۲۳۵۱۴۱	۱۷۰۳	۸۷۳/۴۱	۱۱/۷۵	۳/۸۴۷	۰/۲	۱۰۲/۶۶	۵۱/۳
۲	۰/۰۹۷۰	۰/۰۴۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۲۴۴۳۲۸	۱۷۸۲۶۱	۵۱۹۳	۸۷۳/۴۱	۸/۹۱			۷۷/۸۲	۳۸/۹۰
۳	۰/۱۳۷۰	۰/۰۴۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۱۹۰۷۸۴	۱۶۷۶۳۱	۱۰۳۶۰	۸۷۳/۴۱	۸/۳۸			۷۳/۱۸	۳۶/۶۰
۴	۰/۱۷۷۰	۰/۰۴۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۱۱۵۱۶۰	۱۶۴۶۰۶	۱۷۲۹۳	۸۷۳/۴۱	۸/۲۳			۷۱/۸۶	۳۵/۹۰
۵	۰/۲۱۷۰	۰/۰۴۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۰۱۷۴۵۶	۱۶۰۶۹۸	۲۵۹۹۳	۸۷۳/۴۱	۸/۰۳			۷۰/۱۶	۳۵/۱۰
۶	۰/۲۵۵۰	۰/۰۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۸۹۷۶۷۲	۱۴۸۱۱۱	۳۵۸۹۳	۸۷۳/۴۱	۷/۴۰			۶۴/۶۶	۳۲/۳۰
۷	۰/۲۹۳۰	۰/۰۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۷۵۶۹۱۲	۱۴۲۷۶۲	۴۷۳۸۸	۸۷۳/۴۱	۷/۱۴			۶۲/۳۳	۳۱/۲۰
۸	۰/۳۲۹۰	۰/۰۳۶	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۵۹۵۱۷۶	۱۲۹۴۲۶	۵۹۷۴۹	۸۷۳/۴۱	۶/۴۷			۵۶/۵۰	۲۸/۳۰
۹	۰/۳۶۳۰	۰/۰۳۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۴۱۳۵۶۸	۱۱۶۰۶۱	۷۲۷۳۶	۸۷۳/۴۱	۵/۸۰			۵۰/۶۷	۲۵/۳۰
۱۰	۰/۳۹۵۰	۰/۰۳۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۲۱۳۱۹۲	۱۰۲۸۲۲	۸۶۱۲۵	۸۷۳/۴۱	۵/۱۴			۴۴/۸۹	۲۲/۴۰
۱۱	۰/۴۲۷۰	۰/۰۳۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۰۹۵۱۵۲	۹۵۸۴۴	۱۰۰۶۴۵	۸۷۳/۴۱	۴/۷۹			۴۱/۸۴	۲۰/۹۰
۱۲	۰/۴۵۷۰	۰/۰۳۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۷۵۹۴۴۸	۸۲۷۸۳	۱۱۵۲۸۴	۸۷۳/۴۱	۴/۱۴			۳۶/۱۴	۱۸/۱۰
۱۳	۰/۴۸۶۰	۰/۰۲۹	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۵۰۷۱۸۴	۷۲۷۰۸	۱۳۰۳۸۰	۸۷۳/۴۱	۳/۶۳			۳۱/۷۴	۱۵/۹۰
۱۴	۰/۵۱۳۰	۰/۰۲۷	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۲۳۸۹۱۲	۶۰۴۵۰	۱۴۵۲۶۹	۸۷۳/۴۱	۳/۰۲			۲۶/۳۹	۱۳/۲۰
۱۵	۰/۵۳۸۰	۰/۰۲۵	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۹۵۵۷۳۶	۴۸۸۹۳	۱۵۹۷۷۳	۸۷۳/۴۱	۲/۴۴			۲۱/۳۵	۱۰/۷۰
۱۶	۰/۵۶۰۰	۰/۰۲۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۶۵۸۷۶۰	۳۶۴۹۲	۱۷۳۱۰۷	۸۷۳/۴۱	۱/۸۲			۱۵/۹۳	۸/۰۰
۱۷	۰/۵۸۰۰	۰/۰۲۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۳۴۹۶۴۰	۲۶۹۹۲	۱۸۵۶۹۲	۸۷۳/۴۱	۱/۳۵			۱۱/۷۸	۵/۹۰
۱۸	۰/۵۹۷۰	۰/۰۱۷	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۰۲۹۴۸۰	۱۷۵۰۱	۱۹۶۷۳۷	۸۷۳/۴۱	۰/۸۷			۷/۶۴	۳/۸۰
۱۹	۰/۶۱۱۰	۰/۰۱۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۶۹۹۹۳۶	۹۷۹۹	۲۰۶۰۷۳	۸۷۳/۴۱	۰/۴۹			۴/۲۸	۲/۱۰
۲۰	۰/۶۲۱۰	۰/۰۱۰	۵۸۴۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۶۲۶۶۴	۳۶۲۶	۲۲۵۲۱۴	۸۷۳/۴۱	۰/۱۸			۱/۵۸	۰/۸۰
مجموع													
ϕ_i : Modal Displacement; ϕ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass													

جدول ۱۰- توزیع میرایی متناسب با انرژی کرنشی برشی طبقات موثر برای سازه ۳ طبقه

طبقه	φ_i (mm)	φ_{rj} (mm)	m_i	f_i	$S_i = m_i \times \varphi_i$	$S_i \times \varphi_{rj}$	$m_i \phi_i^2$	C_i (MN.s/m)	%	T_m (s)	ξ_d	C_j (MN.s/m)	C_d (MN.s/m)
۱	۰/۳۴	۰/۳۴	۹۵۷۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۲۵۶۶۱۰	۷۶۷۲۴۷	۱۱۰۶۲۹	۱۳۵/۹	۴۶/۸۹	۱/۰۱	۰/۲	۶۳/۷۲	۳۱/۸۶
۲	۰/۷۹	۰/۴۵	۹۵۷۰۰۰	۰/۹۱۸	۱۹۳۱۲۳۰	۸۶۹۰۵۳	۵۹۷۲۶۴	۱۳۵/۹	۵۳/۱۱			۷۲/۱۸	۳۶/۰۹
۳	۱/۱۳	۰/۳۴	۱۰۴۰۰۰۰	۰/۹۱۸	۱۱۷۵۲۰۰	۳۹۹۵۶۸	۱۳۲۷۹۷۶	۱۳۵/۹	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
مجموع													
φ_i : Modal Displacement; φ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass													

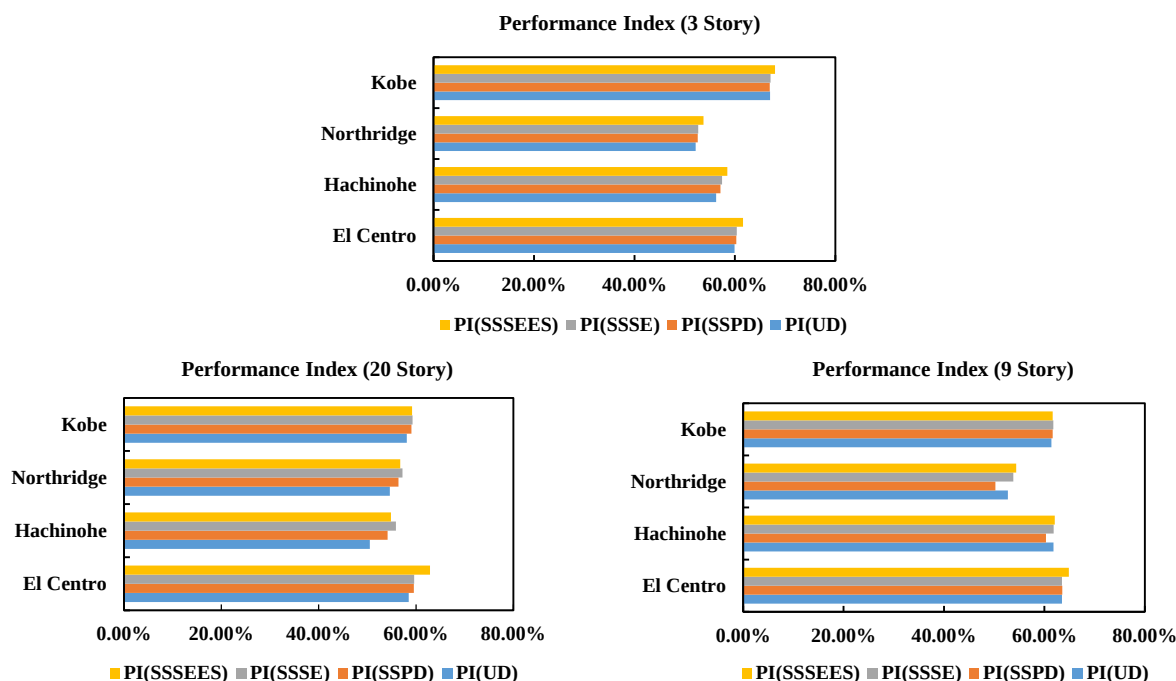
جدول ۱۱- توزیع میرایی متناسب با انرژی کرنشی برشی طبقات موثر برای سازه ۹ طبقه

طبقه	φ_i (mm)	φ_{rj} (mm)	m_i	f_i	$S_i = m_i \times \varphi_i$	$S_i \times \varphi_{rj}$	$m_i \phi_i^2$	C_i (MN.s/m)	%	T_m (s)	ξ_d	C_j (MN.s/m)	C_d (MN.s/m)
۱	۰/۱۱۳۲	۰/۱۱۳۲	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۸۵۷	۳۸۹۲۰۲۰/۱	۴۴۰۵۷۶	۱۲۹۴۲	۴۴۳/۸۰	۲۳/۲۴	۲/۳۴	۰/۲	۵۱/۵۸	۱۰۳/۱
۲	۰/۱۹۵۳	۰/۰۸۲۱	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۳۷۷۶۸۸/۱	۳۱۰۱۴۸	۳۷۷۲۳	۴۴۳/۸۰	۱۶/۳۶			۳۶/۳۱	۷۲/۶۲
۳	۰/۲۷۷۷	۰/۰۸۲۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۳۵۸۴۵۳۶/۴	۲۹۵۳۶۵	۷۶۲۶۹	۴۴۳/۸۰	۱۵/۵۸			۳۴/۵۸	۶۹/۱۶
۴	۰/۳۶۱۶	۰/۰۸۳۹	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۳۳۰۹۸۹۱/۱	۲۷۷۶۹۹	۱۲۹۳۱۶	۴۴۳/۸۰	۱۴/۶۵			۳۲/۵۱	۶۵/۰۳
۵	۰/۴۴۱۷	۰/۰۸۰۱	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۹۵۲۲۶۸/۷	۲۳۶۴۷۶	۱۹۲۹۵۳	۴۴۳/۸۰	۱۲/۴۸			۲۷/۶۸	۵۵/۳۷
۶	۰/۵۱۵۷	۰/۰۷۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۵۱۵۴۲۷/۴	۱۸۶۱۴۱	۲۶۳۰۲۱	۴۴۳/۸۰	۹/۸۲			۲۱/۷۹	۴۳/۵۸
۷	۰/۵۹۰۰	۰/۰۷۴۳	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۲۰۰۵۴۰۰/۱	۱۴۹۰۰۱	۳۴۴۲۷۱	۴۴۳/۸۰	۷/۸۶			۱۷/۴۴	۳۴/۸۹
۸	۰/۶۶۰۹	۰/۰۷۰۹	۹۸۹۰۰۰	۰/۹۱۸	۱۴۲۱۸۹۰/۱	۰	۴۳۱۹۸۴	۴۴۳/۸۰	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۹	۰/۷۱۸۰	۰/۰۵۷۱	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۹۱۸	۷۸۲۶۰/۰	۰	۵۵۱۶۱۱	۴۴۳/۸۰	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
مجموع													
φ_i : Modal Displacement; φ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass													

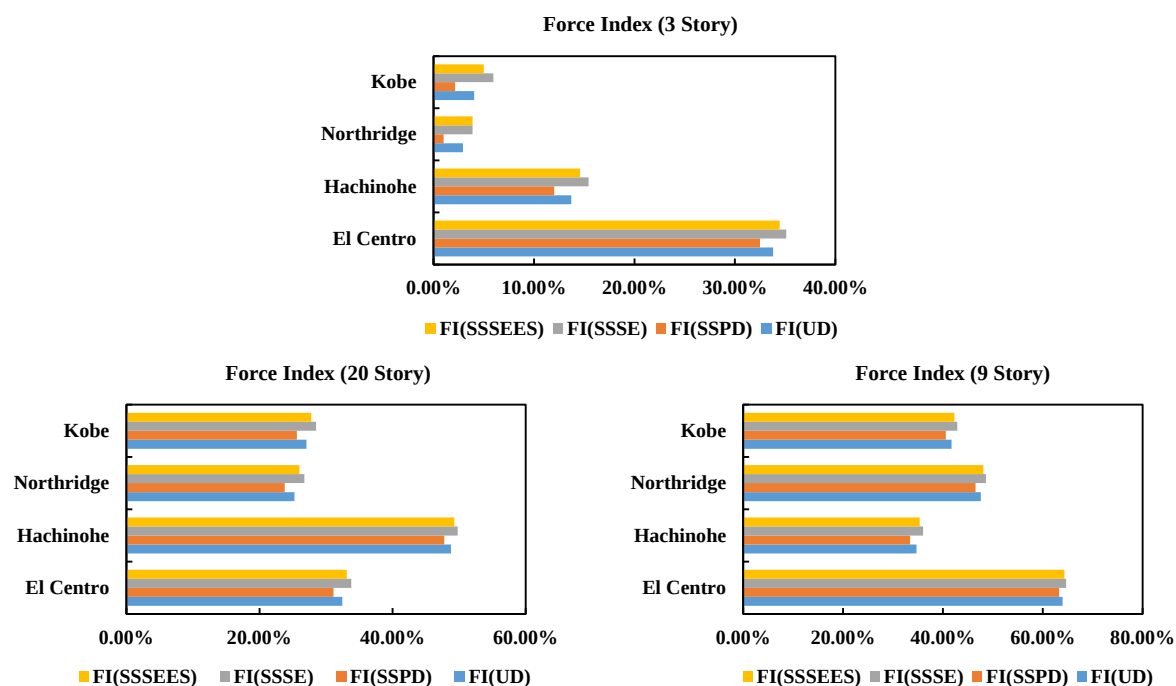
جدول ۱۲- توزیع میرایی متناسب با انرژی کرنشی برشی طبقات موثر برای سازه ۲۰ طبقه

طبقه	φ_i (mm)	φ_{rj} (mm)	m_i	f_i	$S_i = m_i \times \varphi_i$	$S_i \times \varphi_{rj}$	$m_i \phi_i^2$	C_i (MN.s/m)	%	T_m (s)	ξ_d	C_j (MN.s/m)	C_d (MN.s/m)
۱	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۵۶۳۰۰۰	۰/۷۴۳	۴۲۷۵۲۹۳	۲۳۵۱۴۱	۱۷۰۳/۰۷۵	۸۷۳/۴	۱۵/۲۱	۳/۸۴۷	۰/۲	۱۳۲/۸۸	۶۶/۴۴
۲	۰/۰۹۷	۰/۰۴۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۲۴۴۳۲۸	۱۷۸۲۶۱	۵۱۹۳/۷۶۸	۸۷۳/۴	۱۱/۵۳			۱۰۰/۷۴	۵۰/۳۷
۳	۰/۱۳۷	۰/۰۴۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۱۹۰۷۸۴	۱۶۷۶۳۱	۱۰۳۶/۰۴۹	۸۷۳/۴	۱۰/۸۵			۹۴/۷۳۲	۴۷/۳۶
۴	۰/۱۷۷	۰/۰۴۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۱۵۱۶۰	۱۶۴۶۰۶	۱۷۲۹۳/۶۱	۸۷۳/۴	۱۰/۶۵			۹۳/۰۲۳	۴۶/۵۱
۵	۰/۲۱۷	۰/۰۴۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۴۰۱۷۴۵۶	۱۶۰۶۹۸	۲۵۹۹۳/۱۳	۸۷۳/۴	۱۰/۴۰			۹۰/۸۱۴	۴۵/۴۰
۶	۰/۲۵۵	۰/۰۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۸۹۷۶۷۲	۱۴۸۱۱۱	۳۵۸۹۳/۸۰	۸۷۳/۴	۹/۵۸			۸۳/۷۰۱	۴۱/۸۵
۷	۰/۲۹۳	۰/۰۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۷۵۶۹۱۲	۱۴۲۷۶۲	۴۳۸۸/۶۵	۸۷۳/۴	۹/۲۴			۸۰/۶۷۸	۴۰/۳۳
۸	۰/۳۲۹	۰/۰۳۶	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۵۹۱۷۶	۱۲۹۴۲۶	۵۹۷۴۹/۰۳	۸۷۳/۴	۸/۳۷			۷۳/۱۴۲	۳۶/۵۷
۹	۰/۳۶۳	۰/۰۳۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۴۱۳۵۶۸	۱۱۶۰۶۱	۷۲۷۳۶/۴۹	۸۷۳/۴	۷/۵۱			۶۵/۵۸۹	۳۲/۷۹
۱۰	۰/۳۹۵	۰/۰۳۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۲۱۳۱۹۲	۱۰۲۸۲۲	۸۶۱۲۵/۸۰	۸۷۳/۴	۶/۶۵			۵۸/۱۰۷	۲۹/۰۵
۱۱	۰/۴۲۷	۰/۰۳۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۹۹۵۱۵۲	۹۵۸۴۴	۱۰۰۶۵۵/۶	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۱۲	۰/۴۵۷	۰/۰۳۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۷۵۹۴۴۸	۸۲۷۸۳	۱۱۵۲۸۴/۶	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۱۳	۰/۴۸۶	۰/۰۲۹	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۵۰۷۱۸۴	۷۲۷۰۸	۱۳۰۳۸۰/۲	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۱۴	۰/۵۱۳	۰/۰۲۷	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۲۲۳۸۹۱۲	۶۰۴۵۰	۱۴۵۲۶۹/۳	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۱۵	۰/۵۳۸	۰/۰۲۵	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۹۵۵۷۳۶	۴۸۸۹۳	۱۵۹۷۷۳/۱	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۱۶	۰/۵۶۰	۰/۰۲۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۶۵۸۷۶۰	۳۶۴۹۲	۱۷۳۱۰۷/۲	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۱۷	۰/۵۸۰	۰/۰۲۰	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۳۴۹۶۴۰	۲۶۹۹۲	۱۸۵۶۹۲/۸	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۱۸	۰/۵۹۷	۰/۰۱۷	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۱۰۲۹۴۸۰	۱۷۵۰۱	۱۹۶۱۷۳/۸	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۱۹	۰/۶۱۱	۰/۰۱۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۸۳۸	۶۹۹۹۳۶	۹۷۹۹	۲۰۶۰۷۳/۲	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
۲۰	۰/۶۲۱	۰/۰۱۰	۵۸۴۰۰۰	۰/۸۳۸	۳۶۲۶۶۴	۳۶۲۶	۲۲۵۲۱۴/۳	۸۷۳/۴	۰/۰۰			۰/۰۰	۰/۰۰
مجموع													
φ_i : Modal Displacement; φ_{rj} : Modal drift; m_i : Seismic mass													





شکل ۵- شاخص عملکرد در سازه‌های محک

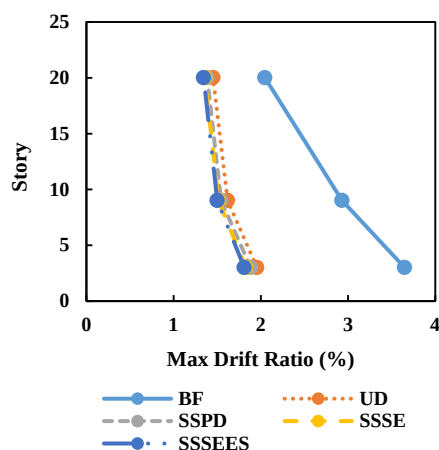


شکل ۶- شاخص نیرو در سازه‌های محک

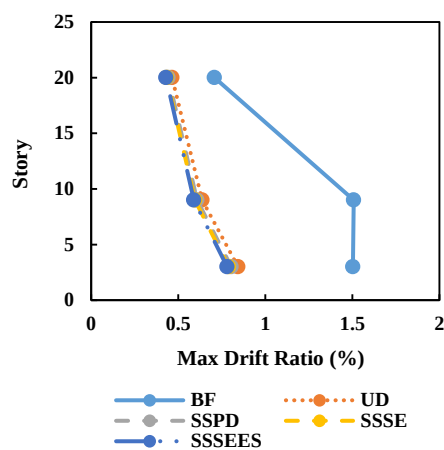
۷-۳- تاثیر روش‌های مختلف توزیع میرایی بر حداکثر نسبت دررفت سازه‌های محک

در این بخش از تحقیق، هدف بررسی اثر روش‌های توزیع ضریب میرایی بر حداکثر نسبت دررفت سازه‌های کوتاه، متوسط و بلند مرتبه تحت دو شتاب نگاشت حوزه نزدیک (کوبه و

نورثریج) و دو شتاب نگاشت حوزه دور (السترو و هاجینوهه) می‌باشد. نتایج حاصل از تأثیر روش‌های توزیع ضریب میرایی بر حداکثر نسبت دررفت هر سه نوع سازه کوتاه، متوسط و بلند مرتبه در شکل‌های (۷) تا (۱۰) ارائه شده‌است.



شکل ۱۰- حداکثر نسبت دررفت سازه‌های محک تحت اثر شتاب شتاب نگاشت کوبه



شکل ۷- حداکثر نسبت دررفت سازه‌های محک تحت اثر شتاب نگاشت السترو

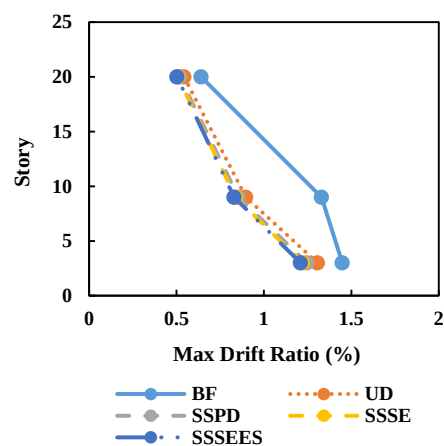
با توجه به شکل‌های (۷) تا (۱۰) می‌توان دریافت توزیع ضریب میرایی براساس انرژی کرنشی برشی طبقات موثر در کاهش حداکثر نسبت دررفت هر سه نوع سازه تحت شتاب نگاشت‌های حوزه دور و نزدیک، موثرتر بوده است. بنابراین با این روش توزیع با تعداد کمتری میراگر ویسکوز سازه عملکرد بهتری خواهد داشت.

۷-۴- بررسی اثر ارتفاع سازه بر شاخص عملکرد و نیرو

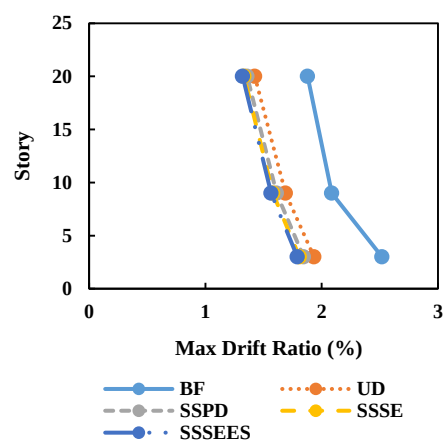
در این بخش از تحقیق، به بررسی نقش ارتفاع سازه اعم از کوتاه، متوسط و بلند مرتبه بر شاخص عملکرد و شاخص نیرو، تحت دو شتاب نگاشت حوزه نزدیک کوبه و نورث ریچ و دو شتاب نگاشت حوزه دور السترو و هاجینوه می‌پردازیم.

با توجه به مقادیر عددی و نمودار نشان داده شده در شکل (۱۱)، می‌توان دریافت سازه ۹ طبقه (میان مرتبه) با توزیع ضریب میرایی بر اساس انرژی کرنشی برشی، زمانی که تحت شتاب نگاشت السترو و هاجینوه قرار می‌گیرد، عملکرد مطلوب‌تری نسبت به دو سازه دیگر از منظر شاخص عملکرد دارد. همچنین می‌توان دریافت سازه ۲۰ طبقه (بلند مرتبه) با توزیع ضریب میرایی بر اساس انرژی کرنشی برشی، زمانی که تحت شتاب نگاشت نورث ریچ قرار می‌گیرد، عملکرد مطلوب‌تری نسبت به دو سازه دیگر بر شاخص عملکرد دارد.

با توجه به مقادیر عددی و نمودار نشان داده شده در شکل (۱۲)، می‌توان دریافت سازه ۹ طبقه (میان مرتبه) با توزیع ضریب میرایی بر اساس انرژی کرنشی برشی، زمانی که تحت شتاب نگاشت السترو، نورث ریچ و کوبه قرار می‌گیرد، عملکرد مطلوب‌تری نسبت به دو سازه دیگر از منظر شاخص نیرو دارد.



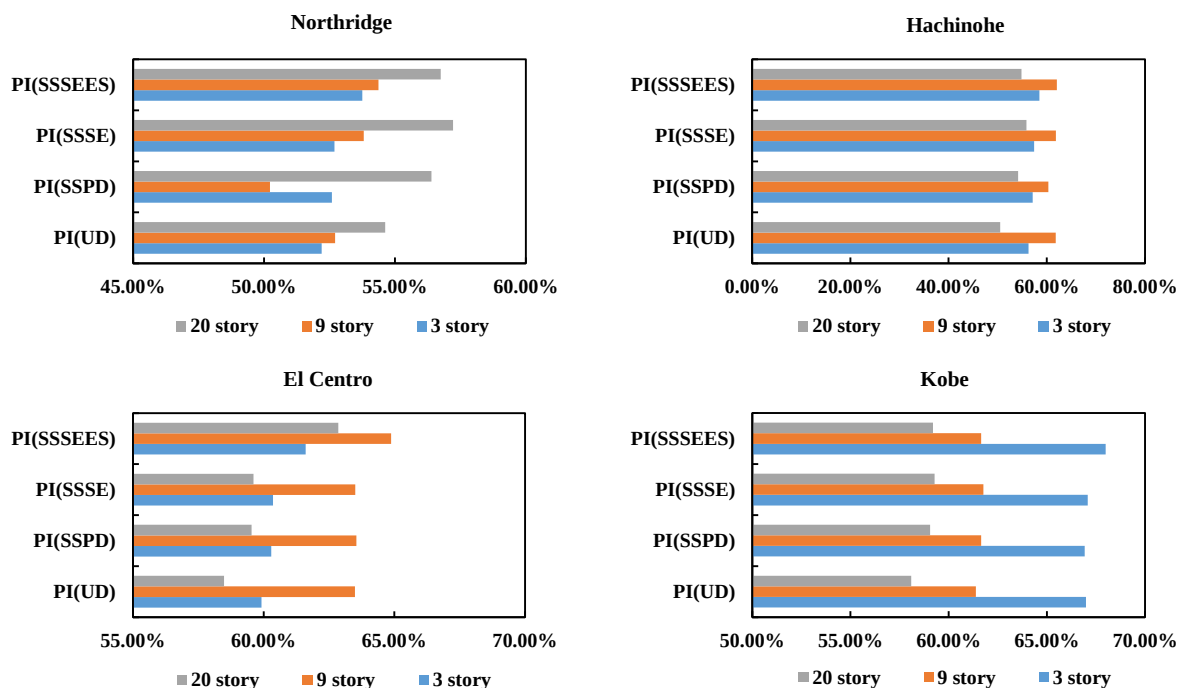
شکل ۸- حداکثر نسبت دررفت سازه‌های محک تحت اثر شتاب نگاشت هاجینوه



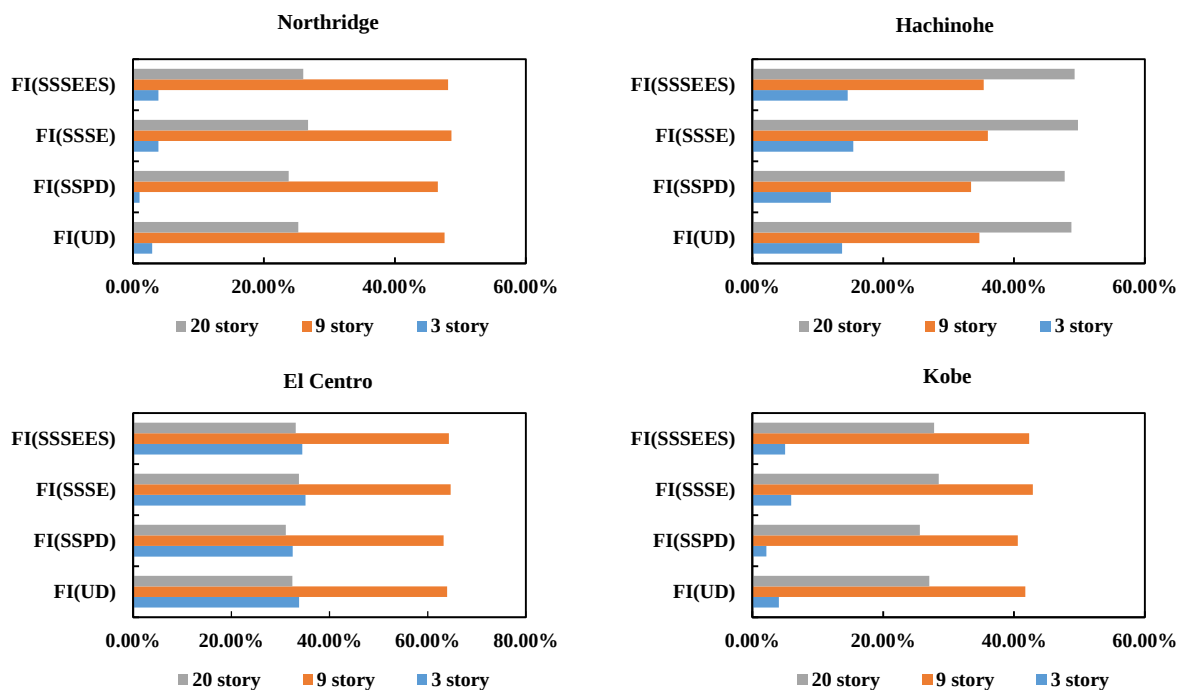
شکل ۹- حداکثر نسبت دررفت سازه‌های محک تحت اثر شتاب نگاشت نورث ریچ

که انتخاب روش‌های مختلف توزیع با کوتاه، متوسط و بلند مرتبه بودن سازه و اینکه سازه تحت شتاب نگاشت حوزه دور باشد و یا نزدیک در ارتباط است.

همچنین می‌توان دریافت سازه ۲۰ طبقه (بلند مرتبه) با توزیع ضریب میرایی بر اساس انرژی کرنشی برشی، زمانی که تحت شتاب نگاشت هاجینوه قرار می‌گیرد، عملکرد مطلوب‌تری نسبت به دو سازه دیگر بر شاخص نیرو دارد. این بدان معناست



شکل ۱۱- بررسی اثر ارتفاع سازه بر شاخص عملکرد



شکل ۱۲- بررسی اثر ارتفاع سازه بر شاخص نیرو

در سال‌های اخیر بررسی کنترل پاسخ سازه‌ها در زلزله با استفاده از تجهیزات استهلاک انرژی نظیر میراگرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. تحقیقات نشان داده‌اند استفاده از میراگرهای ویسکوز می‌تواند نقش موثری در کنترل پاسخ سازه‌ها در برابر باد، زلزله و انفجار داشته باشد. از طرفی چینه بهینه میراگرها در بازدهی عملکرد آن‌ها بسیار موثر است. در این تحقیق اثر توزیع میراگرها بر اساس چهار روش توزیع ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز در ارتفاع ساختمان، نقش حوزه دور و نزدیک بودن شتاب نگاشت‌ها، اثر ارتفاع سازه‌ها بر شاخص عملکرد و شاخص نیروی سازه‌های محک مورد بحث و بررسی قرار گرفت. با بررسی نمودارها و جدول‌های ارایه شده در بخش‌های قبل مقاله، نتایج زیر به دست می‌آید:

۱- نتایج حاصل از چهار روش توزیع میرایی بر روی شاخص عملکرد اختلاف کمی با یکدیگر دارند و نوع توزیع میرایی تأثیر چندانی بر شاخص عملکرد نخواهد داشت.

۲- از نتایج حاصل از چهار روش توزیع میرایی بر روی شاخص نیرو می‌توان دریافت توزیع میرایی بر اساس انرژی کرنشی برشی تأثیر بیشتری نسبت به سایر روش‌های توزیع میرایی بر روی شاخص نیرو داشته‌است. همچنین هنگامی که سازه تحت شتاب نگاشت حوزه دور قرار می‌گیرد نقش میراگر ویسکوز در کاهش نیروی برش پایه موثرتر است.

۳- نتایج حاصل از چهار روش توزیع میرایی بر روی حداکثر نسبت دررفت در سازه‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه اختلاف بسیار کمی با یکدیگر دارند. با این حال می‌توان گفت روش توزیع ضریب میرایی بر اساس انرژی کرنشی طبقات موثر، اثر مطلوب‌تری بر کاهش حداکثر نسبت دررفت سازه‌های محک دارد.

۴- اثر ارتفاع سازه در میزان تأثیر روش توزیع میرایی بر شاخص‌های عملکرد و نیرو اجتناب ناپذیر است. روش انرژی در توزیع ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز بر بهبود شاخص عملکرد و شاخص نیروی سازه‌های مرتفع بیشترین اثر را نسبت به سایر روش‌ها دارد.

۵- نتایج عددی نشان داد اگرچه بهسازی لرزه‌ای در همه ساختمان‌های محک منجر به بهبود عملکرد لرزه‌ای شده است، ولی میزان بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌های میان مرتبه محسوس‌تر می‌باشد.

- [1] Sarcheshmehpour, M., Estekanchi, H.E. and Ghannad, M.A. (2020), "Optimum placement of supplementary viscous dampers for seismic rehabilitation of steel frames considering soil-structure interaction", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 29, pp. e1682.
- [2] Landi, L., Molari, A. and Diotallevi, P.P. (2020), "Comparison of different distributions of viscous damper properties in asymmetric-plan frames", *Earthquakes and Structures*, Vol. 18, pp. 233-248.
- [3] Bahmani, M. and Zahrai, S.M. (2019), "Application of a comprehensive seismic retrofit procedure for steel buildings using nonlinear viscous dampers", *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 17, pp. 1261-1279.
- [4] Bahmani, M. and Zahrai, S. M. (2020), "Evaluation of Seismic Retrofit Effectiveness in Steel Buildings with Supplemental Viscous Dampers Using Seismic Fragility Analysis", *Journal of structure & steel*, Vol. 1399, pp. 5-18.
- [5] Park, H.S., Lee, E., Choi, S.W., Oh, B.K., Cho, T. and Kim, Y. (2016), "Genetic-algorithm-based minimum weight design of an outrigger system for high-rise buildings", *Engineering Structures*, Vol. 117, pp. 496-505.
- [6] Landi, L., Lucchi, S. and Diotallevi, P.P. (2014), "A procedure for the direct determination of the required supplemental damping for the seismic retrofit with viscous dampers", *Engineering Structures*, Vol. 71, pp. 137-149.
- [7] Hwang, J.S., Lin, W.C. and Wu, N.J. (2013), "Comparison of distribution methods for viscous damping coefficients to buildings", *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 9, pp. 28-41.
- [8] Whittle, J.K., Williams, M.S., Karavasilis, T.L. and Blakeborough, A. (2012), "A comparison of viscous damper placement methods for improving seismic building design", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 16, pp. 540-560.
- [9] Pricopie, A.G. and Cretu, D. (2012), "Rehabilitation of existing structures by optimal placement of viscous dampers", In *Life-Cycle and Sustainability of Civil Infrastructure Systems: Proceedings of the Third International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE'12)*, Vienna, Austria, October 3-6, CRC Press, pp. 269.
- [10] Park, H.S., Lee, E., Choi, S.W., Oh, B.K., Cho, T. and Kim, Y. (2016), "Genetic-algorithm-based minimum weight design of an outrigger system for high-rise buildings", *Engineering Structures*, Vol. 117, pp. 496-505.
- [11] Aydin, E., Boduroglu, M.H. and Guney, D. (2007), "Optimal damper distribution for seismic rehabilitation of planar building structures", *Engineering Structures*, Vol. 29, pp. 176-185.
- [12] De Domenico, D., Ricciardi, G. and Takewaki, I. (2019), "Design strategies of viscous dampers for seismic protection of building structures: a review", *Soil dynamics and earthquake engineering*, Vol. 118, pp. 144-165.
- [13] De Domenico, D. and Hajirasouliha, I. (2021), "Multi-level performance-based design optimisation of steel frames with nonlinear viscous dampers", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 19, pp. 5015-5049.
- [14] De Domenico, D. and Ricciardi, G. (2019), "Earthquake protection of structures with nonlinear viscous dampers optimized through an energy-based stochastic approach", *Engineering Structures*, Vol. 179, pp. 523-539.



- [20] Pachideh, G., Kafi, M. and Gholhaki, M. (2020), "Evaluation of cyclic performance of a novel bracing system equipped with a circular energy dissipater", In Structures, Vol. 28, pp. 467-481.
- [21] Pachideh, G., Gholhaki, M. and Kafi, M. (2020), "Experimental and numerical evaluation of an innovative diamond-scheme bracing system equipped with a yielding damper", Steel and Composite Structures, Vol. 36, pp. 197-211.
- [22] Pachideh, G., Gholhaki, M. and Daryan, A.S. (2019), "Analyzing the damage index of steel plate shear walls using pushover analysis", In Structures, Vol. 20, pp. 437-451.
- [23] Ohtori, Y., Christenson, R.E., Spencer Jr, B.F. and Dyke, S.J. (2004), "Benchmark control problems for seismically excited nonlinear buildings", Journal of engineering mechanics, Vol. 130, pp. 366-385.
- [24] Sarkisian, M., Lee, P., Hu, L., Garai, R., Tsui, A. and Reis, E. (2013), "Achieving enhanced seismic design using viscous damping device technologies", In Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession, pp. 2729-2744.
- [15] Moradpour, S. and Dehestani, M. (2019), "Optimal DDBD procedure for designing steel structures with nonlinear fluid viscous dampers", In Structures, Vol. 22, pp. 154-174.
- [16] Scozzese, F., Gioiella, L., Dall'Asta, A., Ragni, L. and Tubaldi, E. (2021), "Influence of viscous dampers ultimate capacity on the seismic reliability of building structures", Structural Safety, Vol. 91, pp. 102096.
- [17] Sarcheshmehpour, M., Estekanchi, H.E. and Ghannad, M.A. (2020), "Optimum placement of supplementary viscous dampers for seismic rehabilitation of steel frames considering soil-structure interaction", The Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol. 29, pp. e1682.
- [18] Del Gobbo, G.M., Williams, M.S. and Blakeborough, A. (2018), "Comparing fluid viscous damper placement methods considering total-building seismic performance", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 47, pp. 2864-2886.
- [19] Zhou, Y., Sebaq, M.S. and Xiao, Y. (2022), "Energy dissipation demand and distribution for multi-story buildings with fluid viscous dampers", Engineering Structures, Vol. 253, pp. 113813.

پی نوشت

¹ Uniform distribution (UD)

² Story shear proportional distribution (SSPD)

³ Distribution based on story shear strain energy (SSSE)

⁴ Distribution based on story shear strain energy to efficient stores (SSSEES)