

## توزیع بهینه ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز در سازه های فولادی بر اساس شاخص عملکرد

محمد بهمنی<sup>۱\*</sup>، اشرف صادق مقدسی<sup>۲</sup>، سید عبدالنبی رضوی<sup>۱</sup>

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 سیستم های کنترل غیر فعال است که سبب می شود تقاضای لرزه ای المان های سازه ای 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 نمی باشد. 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 می گردند. با هدف یافتن روش توزیع بهینه، پاسخ های لرزه ای 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 شاخص های عملکرد پیشنهادی مقایسه می شود. در این تحقیق با معرفی دو شاخص عملکرد جدید که شامل وزن دهی به پارامترهای مختلف پاسخ سازه با توجه به سطوح عملکرد متفاوت می باشد، پاسخ های ساختمان تحت روش های متفاوت توزیع میرایی مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرد. با توجه به اثر هر یک از روش های توزیع ضریب میرایی بر شاخص های عملکرد پیشنهادی سازه، می توان اذعان داشت که توزیع ضریب میرایی براساس طبقات موثر در مقایسه با سایر روش های توزیع ضریب میرایی، از عملکرد مناسب تری برخوردار است. نتایج حاصل از تحلیل تاریخی زمانی نشان داد استفاده از میراگرهای ویسکوز در ساختمان های محک به صورت میانگین باعث بهبود ۵۰ درصدی در شاخص عملکرد سازه های متوسط و بلند مرتبه و همچنین بهبود ۴۰ درصدی در شاخص نیروی سازه های متوسط و بلند مرتبه که تحت شتاب نگاشت حوزه های دور قرار گرفته اند، می شود.

### واژگان کلیدی

میراگرهای ویسکوز، توزیع ضریب میرایی، سازه های 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،  $\xi_e$  نسبت میرایی موثر سازه،  $\xi_0$  میرایی ذاتی سازه که اغلب ۰.۵٪ فرض می‌شود و  $\xi_d$  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،  $T$  پرورد 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،  $\phi_{rj}$  دریفتمودال،  $\phi_i$  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.

#### ۲-۱- 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.

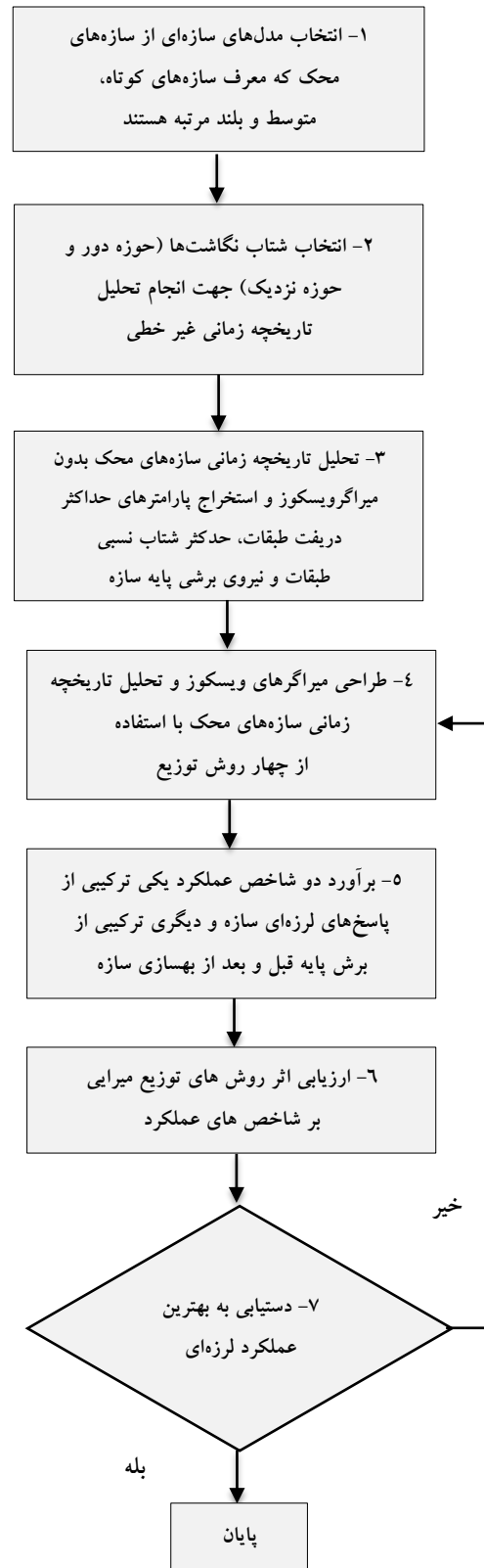
$$C_j = \frac{4\pi \xi_d \sum_i m_i \phi_i^2}{T \sum_j f_j^2 \phi_{rj}^2} \quad (3)$$

#### 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 تحقیقات انجام شده رابطه‌های طراحی برای میراگرهای ویسکوز الحاقی به سازه‌های ساختمانی از FEMA 356 اقتباس

شود:

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

$\xi_{eq}$  نسبت میرایی معادل زامین مد ارتعاش،  $N$  تعداد المان‌های سازه،  $\xi_i$  نسبت میرایی زامین المان سازه،  $\phi_j^T$  مد ارتعاش زام،  $K_s$  سختی کل سیستم،  $K_i$  سختی المان زام،  $(\phi_j)_i$  بردار تغییر شکل  $i$  المان با توجه به مد ارتعاش زام و  $\phi_j$  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 (13) بیان کرد:

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

در رابطه (13)،  $q$  مقدار ثابت می‌باشد. بنابراین ضریب میرایی کل سازه معادل رابطه (14) است:

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

با جایگذاری معادله (13) در (14)، ضریب میرایی هر طبقه به دست می‌آید:

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

با جایگذاری رابطه (15) در رابطه (2)، رابطه (16) 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 (17) 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 (17) در معادله (15) به توزیع ضریب میرایی براساس انرژی کرنشی برشی هر طبقه به رابطه (18) 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 (6):

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

با جایگذاری رابطه (6) در رابطه (5)، رابطه بین ضریب میرایی هر طبقه با ضریب میرایی کل ساختمان به صورت رابطه (7) به دست می‌آید:

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

با جایگذاری رابطه (7) در رابطه (2)، رابطه (8) 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  $\xi_d$  به صورت رابطه (9) 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 (7) و (9)، رابطه توزیع ضریب میرایی برای هر طبقه به صورت رابطه (10) 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 (11) است:

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

در این رابطه  $\xi_s$  نسبت میرایی سازه،  $\xi_i$  نسبت میرایی المان سازه،  $U_i$  انرژی کرنشی الاستیک 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 شده است، به صورت رابطه (12) بیان می‌شود:



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

$W_d$  ضریب وزنی حداکثر نسبت دریافت طبقات،  $\Delta_b$  حداکثر نسبت دریافت ساختمان قبل بهسازی و  $\Delta_R$  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 پاسخهای سازه ای و غیر سازه ای می باشد.

### ۳-۲- 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  $j$ ام 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 پاسخهای سازه ای و غیر سازه ای، شاخص هایی که ترکیبی از پاسخهای 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 پاسخهای 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 شتابنگاشت های حوزه دور السنترو و هاچینوه 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 لرزه‌ای بوده و  $F_b$  بیانگر میزان نیروی برش پایه قبل از بهسازی لرزه‌ای می‌باشد. با توجه به شاخص نیروی تعریف شده،  $FI > 0\%$  نشانگر عملکرد مطلوب و ایده‌آل سازه بهسازی شده نسبت به سازه بدون میراگر می‌باشد. چنانچه  $FI = 0\%$  نشانگر عملکرد نامطلوب روش توزیع میرایی می‌باشد.

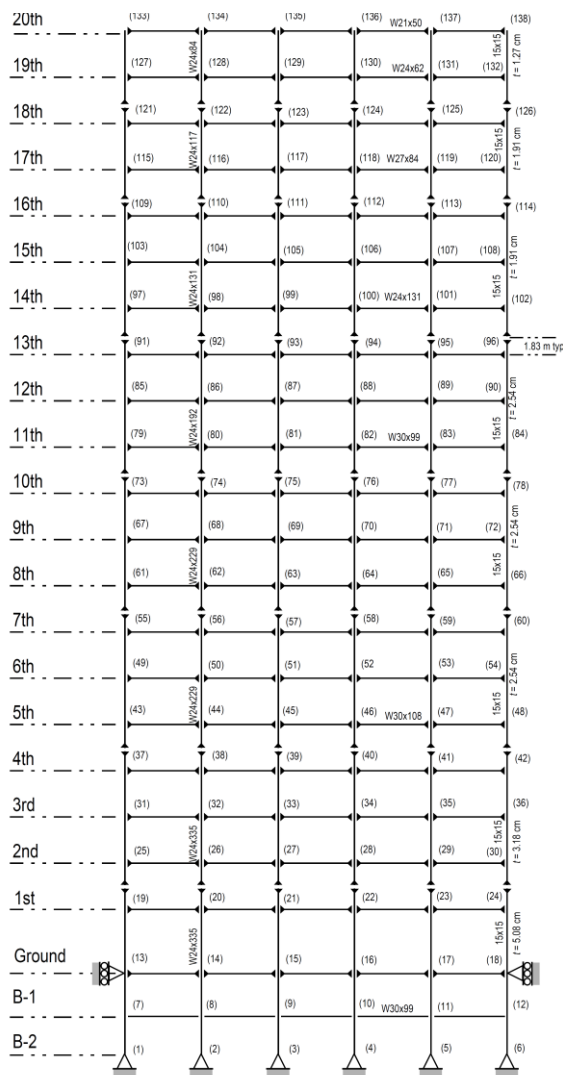
#### ۴- معرفی سازه‌های محک برای ارزیابی روش‌های توزیع

برای ارزیابی روش‌های مختلف توزیع ضریب میرایی در ارتفاع ساختمان، از سه ساختمان شاخص ارایه شده توسط اوهوری و همکاران استفاده می‌نماییم [۲۳]. محققین حوزه کنترل سازه‌ها با در نظر گرفتن سازه‌های 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 روش‌ها و یا وسایل کنترلی آنها با یکدیگر موجود نبود. کمیته کنترل سازه انجمن مهندسين امريکا با درک اهميت وجود سازه‌های محک در کنترل سازه‌ها سعی در ایجاد و توسعه آنها کرد. سازه‌های محک شامل مشخصات چند سازه، نحوه مدل‌سازی آنها و معیارهای ارزیابی می‌باشند که در اختیار محققین قرار گرفتند تا با در نظر گرفتن سیستم‌های کنترل مورد نظرشان معیارها را برای ساختمان‌های شاخص ارایه شده بررسی کنند. این ساختمان‌های سه، نه و بیست طبقه به عنوان قسمتی از پروژه فولادی SAC برای مناطق لس آنجلس و کالیفرنیا طراحی شده‌اند. هدف از انتخاب این ساختمان‌ها برای مثال‌های طراحی این تحقیق، مهیا کردن یک مبنای شفاف برای ارزیابی روش‌های مختلف توزیع ضریب میرایی در ارتفاع ساختمان می‌باشد. 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 مقایسه‌ی راهبردهای مختلف کنترل سازه مهیا می‌سازند. سازه‌های این ساختمان‌ها مطابق با الزامات آیین‌نامه‌های محلی و با در نظر گرفتن بارهای ثقلی، باد و زلزله طراحی شده‌اند و نشان دهنده ساختمان‌ها کوتاه، میان و بلند مرتبه هستند. سیستم سازه‌ای برای هر سه ساختمان شامل قاب‌های مقاوم خمشی محیطی و قاب‌های مفصلی داخلی با استفاده از اتصال برشی می‌باشد. 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 می‌باشد و عرض تمامی دهانه‌ها ۹/۵ متر است. سیستم

برابر جانبی سازه از قاب‌های مقاوم خمشی پیرامونی هست. دهانه‌های میانی سازه دارای قاب‌های ساده است. ستون‌های سازه دارای مقاومت ۳۴۵ مگاپاسکال می‌باشند. ستون‌های قاب خمشی بال پهن هستند. ارتفاع طبقات کف به کف (مرکز به مرکز تیر) ۳/۹۶ متر می‌باشد. پایه‌های ستون‌ها به صورت اتصال گیردار به زمین متصل شده‌اند. تیرهای سازه از پروفیل بال پهن به مقاومت ۲۴۸ مگاپاسکال است. بارگذاری سازه به صورت اعمال جرم لرزه سازه در جهت جنوب به شمال می‌باشد. جرم لرزه‌ای طبقات اول و دوم  $9/57 \times 10^6$  کیلوگرم و در طبقه سوم  $1/04 \times 10^7$  کیلوگرم در نظر گرفته شده‌است. جرم لرزه‌ای کل سازه  $2/95 \times 10^7$  کیلوگرم می‌باشد.

سازه ۹ طبقه پنج مارک دارای ابعاد ۴۵/۷۳ متر در ۴۵/۷۳ متر در پلان و ۳۷/۱۹ متر در ارتفاع می‌باشد. این سازه دارای شش دهانه در جهت شمال به جنوب و شش دهانه در جهت شرق به غرب می‌باشد و عرض تمامی دهانه‌ها ۹/۵ متر است. سیستم مقاوم جانبی سازه با استفاده از قاب‌های مقاوم خمشی پیرامونی سازه می‌باشد. دهانه‌های میانی سازه دارای قاب‌های ساده است. ستون‌های سازه دارای مقاومت ۳۴۵ مگاپاسکال می‌باشند. ستون‌های قاب خمشی بال پهن هستند. ساختمان دارای زیر زمین B1 است و سطح نهم بام سازه می‌باشد. فاصله سطح طبقه اول تا سطح زیرین آن ۳/۶۵ متر، فاصله طبقه اول تا طبقه هم‌کف ۵/۴۹ متر و فواصل سایر طبقات ۳/۹۶ متر می‌باشد. ستون‌ها به صورت اتصال گیردار به زمین متصل شده‌اند. تیرهای سازه از پروفیل بال پهن به مقاومت ۲۴۸ مگاپاسکال می‌باشند. بارگذاری سازه به صورت اعمال جرم لرزه سازه در جهت جنوب به شمال در هر طبقه می‌باشد. جرم لرزه‌ای طبقه هم‌کف  $9/65 \times 10^6$  کیلوگرم، طبقه اول  $1/01 \times 10^7$  کیلوگرم، برای طبقات دوم تا هشتم  $9/89 \times 10^6$  کیلوگرم و طبقه نهم  $1/07 \times 10^7$  کیلوگرم می‌باشد. جرم لرزه‌ای کل سازه  $9/00 \times 10^7$  کیلوگرم است. سازه ۲۰ طبقه پنج مارک دارای ابعاد ۳۰/۴۸ متر در ۳۶/۵۸ متر در پلان و ۸۰/۷۷ متر در ارتفاع می‌باشد. این سازه دارای پنج دهانه در جهت شمال به جنوب و شش دهانه در جهت شرق به غرب می‌باشد و عرض همه دهانه‌ها ۶/۱۰ متر است. سیستم مقاوم جانبی سازه با استفاده از قاب‌های مقاوم خمشی پیرامونی سازه می‌باشد. دهانه‌های میانی سازه دارای قاب‌های ساده است. ستون‌های قاب خمشی سازه از پروفیل‌های بال پهن دارای مقاومت ۳۴۵ مگاپاسکال بوده و تیرهای سازه از پروفیل‌های بال پهن بوده و دارای مقاومت ۲۴۸ مگاپاسکال می‌باشند. سازه ۲۰ طبقه با توجه به سطح هم‌کف شماره گذاری

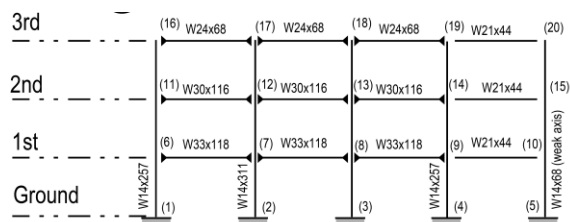




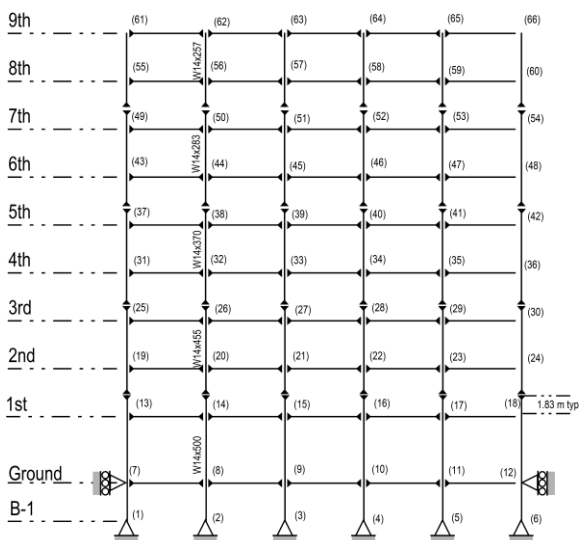
شکل ۳- قاب خمشی ساختمان محک ۲۰ طبقه [۲۳]

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 غیرخطی استفاده شده است.

شده‌است. سازه دارای دو زیر زمین است. تراز زیر طبقه هم‌کف B1 نام‌گذاری و تراز زیر سطح B1، دومین زیر زمین، B2 نام‌گذاری شده‌است. بارگذاری سازه به صورت اعمال جرم لرزه سازه در جهت جنوب به شمال در هر طبقه می‌باشد. جرم لرزه‌ای طبقه هم‌کف  $5/32 \times 10^6$  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 می‌باشد. جرم لرزه‌ای کل سازه  $1/11 \times 10^7$  کیلوگرم است. شرح کامل مشخصات سازه شامل ابعاد، اندازه اعضا، بارگذاری و نوع مصالح استفاده شده در مطالعه انجام شده توسط Ohtori و همکارانش موجود می‌باشد [۲۳]. در شکل (۱) تا (۳) قاب پیرامونی ساختمان‌های 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 میراگرها 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 ضربه میرایی به صورت یکنواخت<sup>۱</sup>
- ۲- توزیع ضربه میرایی متناسب با نیروی برشی طبقه<sup>۲</sup>
- ۳- توزیع ضربه میرایی براساس انرژی کرنشی برشی طبقه<sup>۳</sup>
- ۴- توزیع ضربه میرایی براساس انرژی کرنشی برشی طبقات موثر<sup>۴</sup>

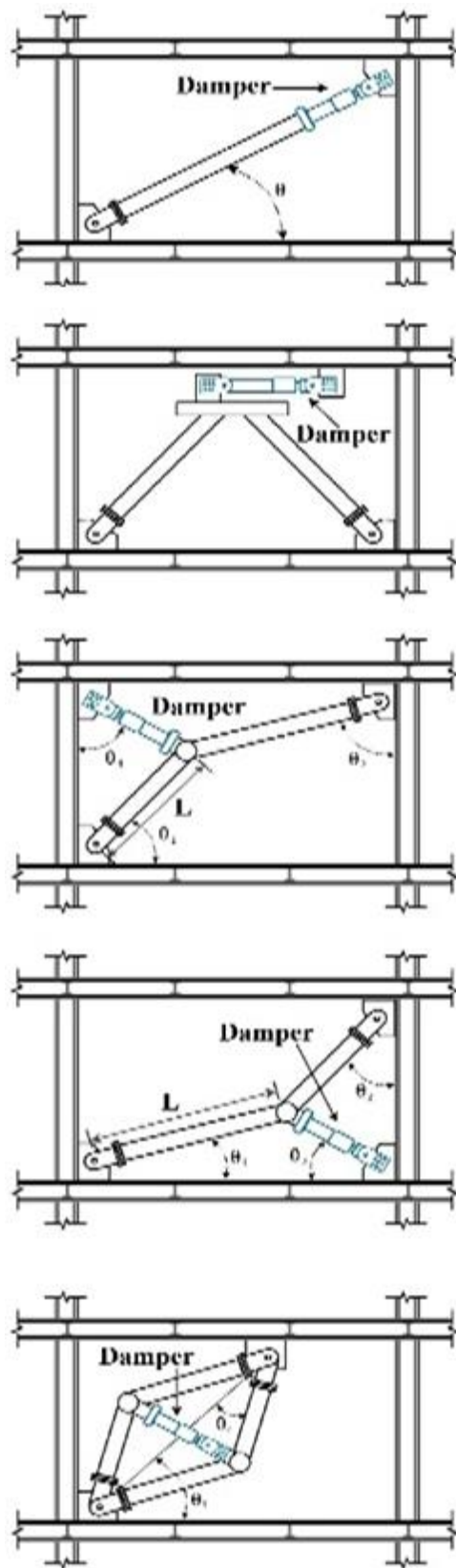
### ۷- بررسی نتایج بهسازی با روش‌های مختلف توزیع میرایی در طبقات

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

نتایج حاصل از تأثیر چهار روش توزیع ضربه 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 ضربه 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 ضربه 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)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$f_i$	$m_i$	$\varphi_{rj}$ (mm)	$\varphi_i$ (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				

$\varphi_i$ : Modal Displacement;  $\varphi_{rj}$ : 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)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$f_i$	$m_i$	$\varphi_{rj}$ (mm)	$\varphi_i$ (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				

$\varphi_i$ : Modal Displacement;  $\varphi_{rj}$ : 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)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$f_i$	$m_i$	$\varphi_{rj}$ (mm)	$\varphi_i$ (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				

$\varphi_i$ : Modal Displacement;  $\varphi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass

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

$C_d$ (MN.s/m)	$C_j$ (MN.s/m)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$S_i =$ $m_i \times \phi_i$	$f_i$	$m_i$	$\phi_{rj}$ (mm)	$\phi_i$ (mm)	طبقه
۲۸/۵۹	۵۷/۱۸	۰/۲	۱/۰۱	۴۲/۰۸	۱۳۵/۹	۱۱۰۶۲۹	۲۲۵۶۶۱۰	۰/۹۱۸	۹۵۷۰۰۰	۰/۳۴	۰/۳۴	۱
۲۴/۴۷	۴۸/۹۴			۳۶/۰۱		۵۹۷۲۶۴	۱۹۳۱۲۳۰	۰/۹۱۸	۹۵۷۰۰۰	۰/۴۵	۰/۷۹	۲
۱۴/۸۹	۲۹/۷۸			۲۱/۹۱		۱۳۳۷۹۷۶	۱۱۷۵۲۰۰	۰/۹۱۸	۱۰۴۰۰۰۰	۰/۳۴	۱/۱۳	۳
۶۷/۹۵	۱۳۵/۹۰	---	---	٪۱۰۰	۱۳۵/۹	۲۰۳۵۸۶۹	۵۳۶۳۰۴۰	مجموع				

$\phi_i$ : Modal Displacement;  $\phi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass

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

$C_d$ (MN.s/m)	$C_j$ (MN.s/m)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$S_i =$ $m_i \times \phi_i$	$f_i$	$m_i$	$\phi_{rj}$ (mm)	$\phi_i$ (mm)	طبقه
۳۵/۶۵	۷۱/۳۰	۰/۲	۲/۳۴	۱۶/۰۶	۴۴۳/۸۵	۱۲۹۴۲	۳۸۹۲۰۲۰/۱	۰/۸۵۷	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۱۱۳۲	۰/۱۱۳۲	۱
۳۴/۶۳	۶۹/۲۰			۱۵/۵۹		۳۷۷۲۳	۳۷۷۶۸۸/۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۸۲۱	۰/۱۹۵۳	۲
۳۲/۸۳	۶۵/۶۷			۱۴/۸۰		۷۶۲۶۹	۳۵۸۴۵۳۶/۴	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۸۲۴	۰/۲۷۷۷	۳
۳۰/۳۱	۶۰/۶۳			۱۳/۶۶		۱۲۹۳۱۶	۳۳۰۹۸۹۱/۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۸۳۹	۰/۳۶۱۶	۴
۲۷/۰۴	۵۴/۰۸			۱۲/۱۹		۱۹۲۹۵۳	۲۹۵۲۲۶۸/۷	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۸۰۱	۰/۴۴۱۷	۵
۲۳/۰۴	۴۶/۰۸			۱۰/۳۸		۲۶۳۰۲۱	۲۵۱۵۴۲۷/۴	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۷۴۰	۰/۵۱۵۷	۶
۱۸/۳۷	۳۶/۷۴			۸/۲۸		۳۴۴۲۷۱	۲۰۰۵۴۰۰/۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۷۴۳	۰/۵۹۰۰	۷
۱۳/۰۲	۲۶/۰۴			۵/۸۷		۴۳۱۹۸۴	۱۴۲۱۸۹۰/۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۷۰۹	۰/۶۶۰۹	۸
۷/۰۳	۱۴/۰۷			۳/۱۷		۵۵۱۶۱۱	۷۶۸۲۶۰/۰	۰/۹۱۸	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۰۵۷۱	۰/۷۱۸۰	۹
۲۲۱/۹۲	۴۴۳/۸۵	---	---	٪۱۰۰	۴۴۳/۸۵	۲۰۴۰۰۹۰	۲۴۲۲۳۸۲	مجموع				

$\phi_i$ : Modal Displacement;  $\phi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass

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

$C_d$ (MN.s/m)	$C_j$ (MN.s/m)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$S_i =$ $m_i \times \phi_i$	$f_i$	$m_i$	$\phi_{rj}$ (mm)	$\phi_i$ (mm)	طبقه
۳۳/۲	۶۶/۳۵	۰/۲	۳/۸۴۷	۷/۶۰	۸۷۳/۴۱	۱۷۰۳/۰۷۵	۴۲۷۵۲۹۳	۰/۷۴۳	۵۶۳۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵۰	۱
۳۲/۹	۶۵/۸۷			۷/۵۴		۵۱۹۳/۷۶۸	۴۲۴۴۳۲۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۹۷۰	۲
۳۲/۵	۶۵/۰۴			۷/۴۵		۱۰۳۶۰/۴۹	۴۱۹۰۷۸۴	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۱۳۷۰	۳
۳۱/۹	۶۳/۸۷			۷/۳۱		۱۷۲۹۳/۶۱	۴۱۱۵۱۶۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۱۷۷۰	۴
۳۱/۲	۶۲/۳۵			۷/۱۴		۲۵۹۹۳/۱۳	۴۰۱۷۴۵۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۲۱۷۰	۵
۳۰/۲	۶۰/۴۹			۶/۹۳		۳۵۸۹۳/۸۰	۳۸۹۷۶۷۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۲۵۵۰	۶
۲۹/۲	۵۸/۳۱			۶/۶۸		۴۷۳۸۸/۶۵	۳۷۵۶۹۱۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۲۹۳۰	۷
۲۷/۹	۵۵/۸۰			۶/۳۹		۵۹۷۴۹/۰۳	۳۵۹۵۱۷۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۶	۰/۳۲۹۰	۸
۲۶/۵	۵۲/۹۸			۶/۰۷		۷۲۷۳۶/۴۹	۳۴۱۳۵۶۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۴	۰/۳۶۳۰	۹
۲۴/۹	۴۹/۸۷			۵/۷۱		۸۶۱۲۵/۸۰	۳۲۱۳۱۹۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۳۹۵۰	۱۰
۲۳/۲	۴۶/۴۸			۵/۳۲		۱۰۰۶۴۵/۶	۲۹۹۵۱۵۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۴۲۷۰	۱۱
۲۱/۴	۴۲/۸۳			۴/۹۰		۱۱۵۲۸۴/۶	۲۷۵۹۴۴۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۰	۰/۴۵۷۰	۱۲
۱۹/۵	۳۸/۹۱			۴/۴۶		۱۳۰۳۸۰/۲	۲۵۰۷۱۸۴	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۹	۰/۴۸۶۰	۱۳
۱۷/۴	۳۴/۷۵			۳/۹۸		۱۴۵۲۶۹/۳	۲۲۳۸۹۱۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۷	۰/۵۱۳۰	۱۴
۱۵/۲	۳۰/۳۵			۳/۴۸		۱۵۹۷۷۳/۱	۱۹۵۵۷۳۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۵	۰/۵۳۸۰	۱۵
۱۲/۹	۲۵/۷۴			۲/۹۵		۱۷۳۱۰۷/۲	۱۶۵۸۷۶۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۲	۰/۵۶۰۰	۱۶
۱۰/۵	۲۰/۹۵			۲/۴۰		۱۸۵۶۹۲/۸	۱۳۴۹۶۴۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۵۸۰۰	۱۷
۸/۰	۱۵/۹۸			۱/۸۳		۱۹۶۷۳۷/۸	۱۰۲۹۴۸۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۱۷	۰/۵۹۷۰	۱۸
۵/۴	۱۰/۸۶			۱/۲۴		۲۰۶۰۷۳/۲	۶۹۹۹۳۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۱۴	۰/۶۱۱۰	۱۹
۲/۸	۵/۶۳			۰/۶۴		۲۲۵۲۱۴/۳	۳۶۲۶۶۴	۰/۸۳۸	۵۸۴۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۶۲۱۰	۲۰
۴۳۶/۷	۴۱/۸۷۳	---	---	٪۱۰۰	۸۷۳/۴۱	۲۰۰۰۶۱۶	مجموع					

$\phi_i$ : Modal Displacement;  $\phi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass



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

$C_d$ (MN.s/m)	$C_j$ (MN.s/m)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$S_i \times \phi_{rj}$	$S_i = m_i \times \phi_i$	$f_i$	$m_i$	$\phi_{rj}$ (mm)	$\phi_i$ (mm)	طبقه
۲۵/۶۰	۵۱/۲۱	۰/۲	۱/۰۱	۳۷/۶۹	۱۳۵/۹۱	۱۱۰۶۲۹	۷۶۷۲۴۷/۴	۲۲۵۶۶۱۰	۰/۹۱۸	۹۵۷۰۰۰	۰/۳۴	۰/۳۴	۱
۲۹/۰۰	۵۸/۰۱			۴۲/۶۹		۵۹۷۲۶۴	۸۶۹۰۵۳/۵	۱۹۳۱۲۳۰	۰/۹۱۸	۹۵۷۰۰۰	۰/۴۵	۰/۷۹	۲
۱۳/۳۳	۲۶/۶۷			۱۹/۶۳		۱۳۲۷۹۷۶	۳۹۹۵۶۸	۱۱۷۵۲۰۰	۰/۹۱۸	۱۰۴۰۰۰۰	۰/۳۴	۱/۱۳	۳
۶۷/۹۵	۱۳۵/۹۰	---	---	٪۱۰۰	۱۳۵/۹۱	۲۰۳۵۸۶۹	۲۰۳۵۸۶۹	مجموع					

$\phi_i$ : Modal Displacement;  $\phi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass

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

$C_d$ (MN.s/m)	$C_j$ (MN.s/m)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$S_i \times \phi_{rj}$	$S_i = m_i \times \phi_i$	$f_i$	$m_i$	$\phi_{rj}$ (mm)	$\phi_i$ (mm)	طبقه
۴۷/۹۲	۹۵/۸۵	۰/۲	۲/۳۴	۲۱/۶۰	۴۴۳/۸	۱۲۹۴۲	۴۴۰۵۷۶/۶۸	۳۸۹۲۰۲۰	۰/۸۵۷	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۱۱۳۲	۰/۱۱۳۲	۱
۳۳/۸۳	۶۷/۴۷			۱۵/۲۰		۳۷۷۲۳	۳۱۰۱۴۸/۱۹	۳۷۷۷۶۸۸	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۸۲۱	۰/۱۹۵۳	۲
۳۲/۱۳	۶۴/۲۶			۱۴/۴۸		۷۶۲۶۹	۲۹۵۳۶۵/۸۰	۳۵۸۴۵۳۶	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۸۲۴	۰/۲۷۷۷	۳
۳۰/۲۰	۶۰/۴۱			۱۳/۶۱		۱۲۹۳۱۶	۲۷۷۶۹۹/۸۶	۳۳۰۹۸۹۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۸۳۹	۰/۳۶۱۶	۴
۲۵/۷۲	۵۱/۴۴			۱۱/۵۹		۱۹۲۹۵۳	۲۳۶۴۶۷/۷۲	۲۹۵۲۲۶۸	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۸۰۱	۰/۴۴۱۷	۵
۲۰/۲۴	۴۰/۴۹			۹/۱۲		۲۶۳۰۲۱	۱۸۶۱۴۱/۶۳	۲۵۱۵۴۲۷	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۷۷۴	۰/۵۱۵۷	۶
۱۶/۲۰	۳۲/۴۱			۷/۳۰		۳۴۴۲۷۱	۱۴۹۰۰۱/۲۳	۲۰۰۵۴۰۰	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۷۴۳	۰/۵۹۰۰	۷
۱۰/۹۶	۲۱/۹۳			۴/۹۴		۴۳۱۹۸۴	۱۰۰۸۱۲/۰۱	۱۴۲۱۸۹۰	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۷۰۹	۰/۶۶۰۹	۸
۴/۷۷۲	۹/۵۴			۲/۱۵		۵۵۱۶۱۱	۴۲۸۶۷/۶۴	۷۶۸۲۶۰	۰/۹۱۸	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۵۷۱	۰/۷۱۸۰	۹
۲۲۱/۹	۴۴۳/۸	---	---	٪۱۰۰	۴۴۳/۸	۲۰۴۰۰۹۰	۲۰۴۰۰۸۹	مجموع					

$\phi_i$ : Modal Displacement;  $\phi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass

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

$C_d$ (MN.s/m)	$C_j$ (MN.s/m)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$S_i \times \phi_{rj}$	$S_i = m_i \times \phi_i$	$f_i$	$m_i$	$\phi_{rj}$ (mm)	$\phi_i$ (mm)	طبقه
۵۱/۳	۱۰۲/۶۶	۰/۲	۳/۸۴۷	۱۱/۷۵	۸۷۳/۴۱	۱۷۰۳	۲۳۵۱۴۱	۴۲۷۵۲۹۳	۰/۷۴۳	۵۶۳۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵۰	۱
۳۸/۹۰	۷۷/۸۲			۸/۹۱		۵۱۹۳	۱۷۸۲۶۱	۴۲۴۴۳۲۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۹۷۰	۲
۳۶/۶۰	۷۳/۱۸			۸/۳۸		۱۰۳۶۰	۱۶۷۶۳۱	۴۱۹۰۷۸۴	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۱۳۷۰	۳
۳۵/۹۰	۷۱/۸۶			۸/۲۳		۱۷۲۹۳	۱۶۴۶۰۶	۴۱۱۵۱۶۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۱۷۷۰	۴
۳۵/۱۰	۷۰/۱۶			۸/۰۳		۲۵۹۹۳	۱۶۰۶۹۸	۴۰۱۷۴۵۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۲۱۷۰	۵
۳۲/۳۰	۶۴/۶۶			۷/۴۰		۳۵۸۹۳	۱۴۸۱۱۱	۳۸۹۷۶۷۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۲۵۵۰	۶
۳۱/۲۰	۶۲/۳۳			۷/۱۴		۴۷۳۸۸	۱۴۲۷۶۲	۳۷۵۶۹۱۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۲۹۳۰	۷
۲۸/۳۰	۵۶/۵۰			۶/۴۷		۵۹۷۴۹	۱۲۹۴۲۶	۳۵۹۵۱۷۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۶	۰/۳۲۹۰	۸
۲۵/۳۰	۵۰/۶۷			۵/۸۰		۷۲۷۳۶	۱۱۶۰۶۱	۳۴۱۳۵۶۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۴	۰/۳۶۳۰	۹
۲۲/۴۰	۴۴/۸۹			۵/۱۴		۸۶۱۲۵	۱۰۲۸۲۲	۳۲۱۳۱۹۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۳۹۵۰	۱۰
۲۰/۹۰	۴۱/۸۴			۴/۷۹		۱۰۰۶۴۵	۹۵۸۴۴	۲۹۹۵۱۵۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۴	۰/۴۲۷۰	۱۱
۱۸/۱۰	۳۶/۱۴			۴/۱۴		۱۱۵۲۸۴	۸۲۷۸۳	۲۷۵۹۴۴۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۰	۰/۴۵۷۰	۱۲
۱۵/۹۰	۳۱/۷۴			۳/۶۳		۱۳۰۳۸۰	۷۲۷۰۸	۲۵۰۷۱۸۴	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۹	۰/۴۸۶۰	۱۳
۱۳/۲۰	۲۶/۳۹			۳/۰۲		۱۴۵۲۶۹	۶۰۴۵۰	۲۲۳۸۹۱۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۷	۰/۵۱۳۰	۱۴
۱۰/۷۰	۲۱/۳۵			۲/۴۴		۱۵۹۷۷۳	۴۸۸۹۳	۱۹۵۵۷۳۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۵	۰/۵۳۸۰	۱۵
۸/۰۰	۱۵/۹۳			۱/۸۲		۱۷۳۱۰۷	۳۶۴۹۲	۱۶۵۸۷۶۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۲	۰/۵۶۰۰	۱۶
۵/۹۰	۱۱/۷۸			۱/۳۵		۱۸۵۶۹۲	۲۶۹۹۲	۱۳۴۹۶۴۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۵۸۰۰	۱۷
۳/۸۰	۷/۶۴			۰/۸۷		۱۹۶۷۳۷	۱۷۵۰۱	۱۰۲۹۴۸۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۱۷	۰/۵۹۷۰	۱۸
۲/۱۰	۴/۲۸			۰/۴۹		۲۰۶۰۷۳	۹۷۹۹	۶۹۹۹۳۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۱۴	۰/۶۱۱۰	۱۹
۰/۸۰	۱/۵۸			۰/۱۸		۲۲۵۲۱۴	۳۶۲۶	۳۶۲۶۶۴	۰/۸۳۸	۵۸۴۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۶۲۱۰	۲۰
۴۳۶/۷	۸۷۳/۴	---	---	٪۱۰۰	۸۷۳/۴۱	۲۰۰۰۶۱۶	۲۰۰۰۶۱۵	مجموع					

$\phi_i$ : Modal Displacement;  $\phi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass

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

$C_d$ (MN.s/m)	$C_j$ (MN.s/m)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$S_i \times \varphi_{rj}$	$S_i =$ $m_i \times \varphi_i$	$f_i$	$m_i$	$\varphi_{rj}$ (mm)	$\varphi_i$ (mm)	طبقه
۳۱/۸۶	۶۳/۷۲	۰/۲	۱/۰۱	۴۶/۸۹	۱۳۵/۹	۱۱۰۶۲۹	۷۶۷۲۴۷	۲۲۵۶۶۱۰	۰/۹۱۸	۹۵۷۰۰۰	۰/۳۴	۰/۳۴	۱
۳۶/۰۹	۷۲/۱۸			۵۳/۱۱		۵۹۷۲۶۴	۸۶۹۰۵۳	۱۹۳۱۲۳۰	۰/۹۱۸	۹۵۷۰۰۰	۰/۴۵	۰/۷۹	۲
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۱۳۲۷۹۷۶	۳۹۹۵۶۸	۱۱۷۵۲۰۰	۰/۹۱۸	۱۰۴۰۰۰۰	۰/۳۴	۱/۱۳	۳
۶۷/۹۵	۱۳۵/۹	---	---	٪۱۰۰	۱۳۵/۹	۲۰۳۵۸۶۹	مجموع						

$\varphi_i$ : Modal Displacement;  $\varphi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass

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

$C_d$ (MN.s/m)	$C_j$ (MN.s/m)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$S_i \times \varphi_{rj}$	$S_i =$ $m_i \times \varphi_i$	$f_i$	$m_i$	$\varphi_{rj}$ (mm)	$\varphi_i$ (mm)	طبقه
۱۰۳/۱	۵۱/۵۸	۰/۲	۲/۳۴	۲۳/۲۴	۴۴۳/۸۰	۱۲۹۴۲	۴۴۰۵۷۶	۳۸۹۲۰۲۰/۱	۰/۸۵۷	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۱۱۳۲	۰/۱۱۳۲	۱
۷۲/۶۲	۳۶/۳۱			۱۶/۳۶		۳۷۷۲۳	۳۱۰۱۴۸	۳۷۷۶۸۸/۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۸۲۱	۰/۱۹۵۳	۲
۶۹/۱۶	۳۴/۵۸			۱۵/۵۸		۷۶۲۶۹	۲۹۵۳۶۵	۳۵۸۴۵۳۶/۴	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۸۲۴	۰/۲۷۷۷	۳
۶۵/۰۳	۳۲/۵۱			۱۴/۶۵		۱۲۹۳۱۶	۲۷۷۶۹۹	۳۳۰۹۸۹۱/۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۸۳۹	۰/۳۶۱۶	۴
۵۵/۳۷	۲۷/۶۸			۱۲/۴۸		۱۹۲۹۵۳	۲۳۶۴۷۶	۲۹۵۲۲۶۸/۷	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۸۰۱	۰/۴۴۱۷	۵
۴۳/۵۸	۲۱/۷۹			۹/۸۲		۲۶۳۰۲۱	۱۸۶۱۴۱	۲۵۱۵۴۲۷/۴	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۷۴	۰/۵۱۵۷	۶
۳۴/۸۹	۱۷/۴۴			۷/۸۶		۳۴۴۲۷۱	۱۴۹۰۰۱	۲۰۰۵۴۰۰/۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۷۴۳	۰/۵۹۰۰	۷
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۴۳۱۹۸۴	۰	۱۴۲۱۸۹۰/۱	۰/۹۱۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۰۷۰۹	۰/۶۶۰۹	۸
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۵۵۱۶۱۱	۰	۷۸۲۶۰/۰	۰/۹۱۸	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۰۵۷۱	۰/۷۱۸۰	۹
۴۴۳/۸	۲۲۱/۹	---	---	٪۱۰۰	۴۴۳/۸۰	۲۰۴۰۰۹۰	مجموع						

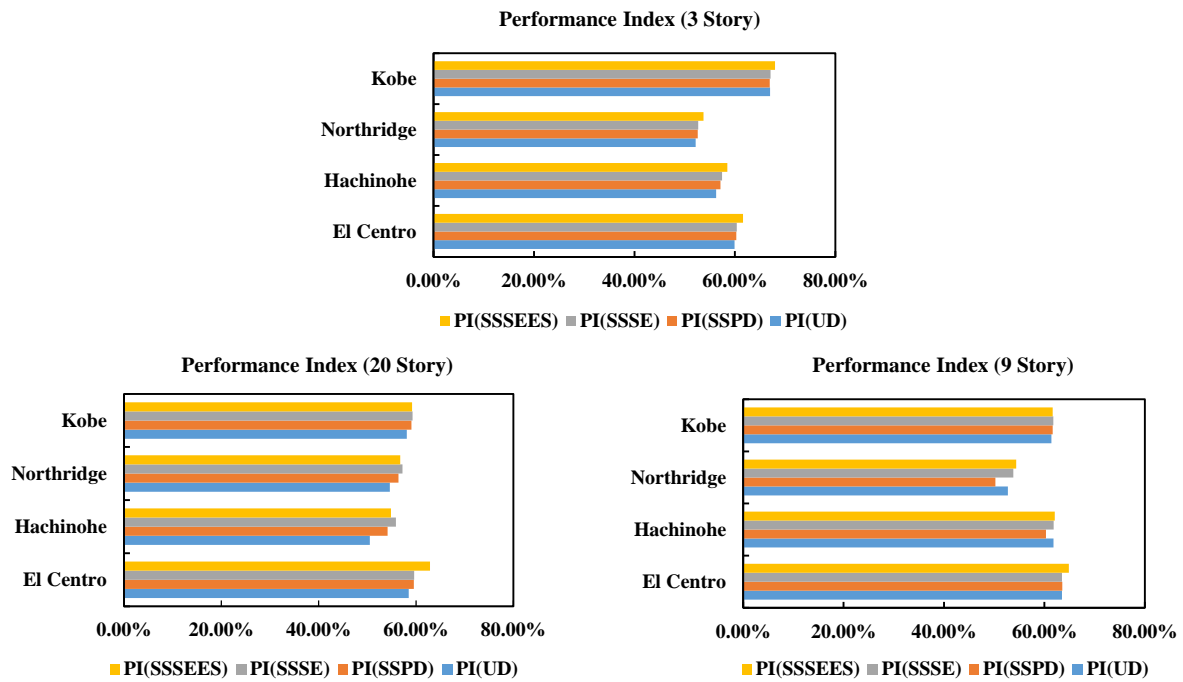
$\varphi_i$ : Modal Displacement;  $\varphi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass

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

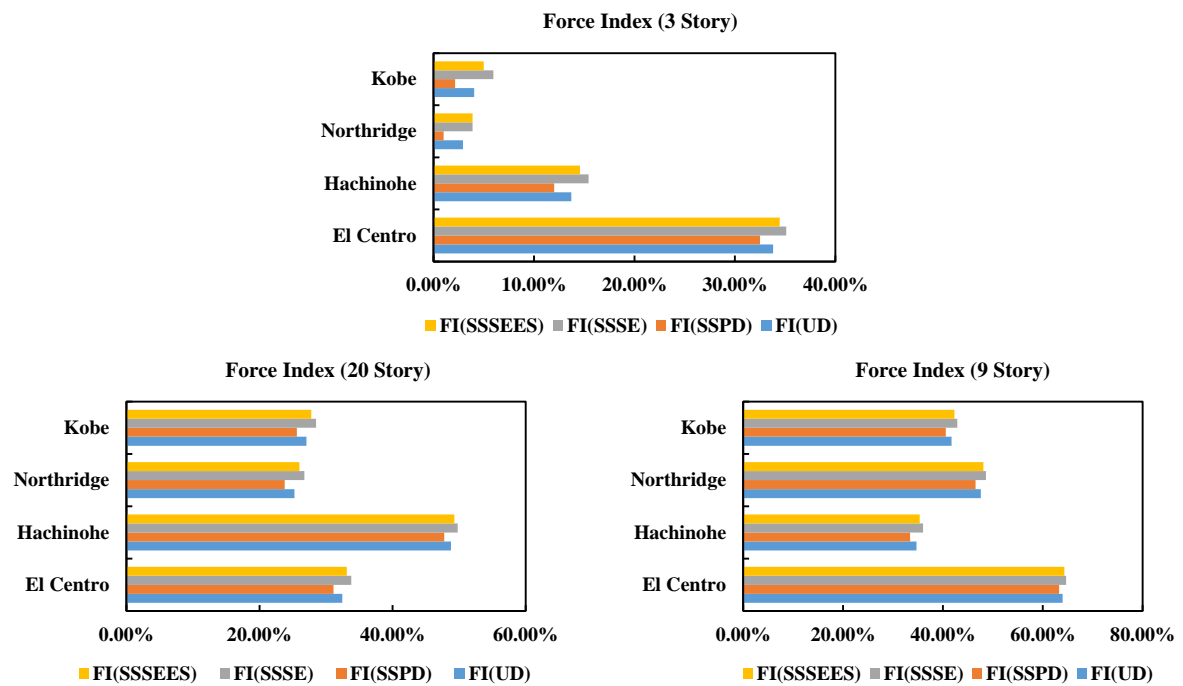
$C_d$ (MN.s/m)	$C_j$ (MN.s/m)	$\xi_d$	$T_m$ (s)	%	$C_i$ (MN.s/m)	$m_i \phi_i^2$	$S_i \times \varphi_{rj}$	$S_i =$ $m_i \times \varphi_i$	$f_i$	$m_i$	$\varphi_{rj}$ (mm)	$\varphi_i$ (mm)	طبقه
۶۶/۴۴	۱۳۲/۸۸	۰/۲	۳/۸۴۷	۱۵/۲۱	۸۷۳/۴	۱۷۰۳/۰۷۵	۲۳۵۱۴۱	۴۲۷۵۲۹۳	۰/۷۴۳	۵۶۳۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۱
۵۰/۳۷	۱۰۰/۷۴			۱۱/۵۳		۵۱۹۳/۷۶۸	۱۷۸۲۶۱	۴۲۴۴۳۲۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۹۷	۲
۴۷/۳۶	۹۴/۷۳۲			۱۰/۸۵		۱۰۳۶/۰۴۹	۱۶۷۶۳۱	۴۱۹۰۷۸۴	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۱۳۷	۳
۴۶/۵۱	۹۳/۰۲۳			۱۰/۶۵		۱۷۲۹۳/۶۱	۱۶۴۶۰۶	۴۱۱۵۱۶۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۱۷۷	۴
۴۵/۴۰	۹۰/۸۱۴			۱۰/۴۰		۲۵۹۹۳/۱۳	۱۶۰۶۹۸	۴۰۱۷۴۵۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۲۱۷	۵
۴۱/۸۵	۸۳/۷۰۱			۹/۵۸		۳۵۸۹۳/۸۰	۱۴۸۱۱۱	۳۸۹۷۶۷۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۲۵۵	۶
۴۰/۳۳	۸۰/۶۷۸			۹/۲۴		۴۳۸۸/۶۵	۱۴۲۷۶۲	۳۷۵۶۹۱۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۲۹۳	۷
۳۶/۵۷	۷۳/۱۴۲			۸/۳۷		۵۹۷۴۹/۰۳	۱۲۹۴۲۶	۳۵۹۱۷۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۶	۰/۳۲۹	۸
۳۲/۷۹	۶۵/۵۸۹			۷/۵۱		۷۲۷۳۶/۴۹	۱۱۶۰۶۱	۳۴۱۳۵۶۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۴	۰/۳۶۳	۹
۲۹/۰۵	۵۸/۱۰۷			۶/۶۵		۸۶۱۲۵/۸۰	۱۰۲۸۲۲	۳۲۱۳۱۹۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۳۹۵	۱۰
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۱۰۰۶۴۵/۶	۹۵۸۴۴	۲۹۹۵۱۵۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۲	۰/۴۲۷	۱۱
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۱۱۵۲۸۴/۶	۸۲۷۸۳	۲۷۵۹۴۴۸	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۳۰	۰/۴۵۷	۱۲
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۱۳۰۳۸۰/۲	۷۲۷۰۸	۲۵۰۷۱۸۴	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۹	۰/۴۸۶	۱۳
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۱۴۵۲۶۹/۳	۶۰۴۵۰	۲۲۳۸۹۱۲	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۷	۰/۵۱۳	۱۴
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۱۵۹۷۷۳/۱	۴۸۱۹۳	۱۹۵۵۷۳۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۵	۰/۵۳۸	۱۵
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۱۷۳۱۰۷/۲	۳۶۴۹۲	۱۶۵۸۱۶۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۲	۰/۵۶۰	۱۶
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۱۸۵۶۹۲/۸	۲۶۹۹۲	۱۳۴۹۶۶۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۵۸۰	۱۷
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۱۹۶۶۳۷/۸	۱۷۵۰۱	۱۰۲۹۴۸۰	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۱۷	۰/۵۹۷	۱۸
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۲۰۶۰۷۳/۲	۹۷۹۹	۶۹۹۹۳۶	۰/۸۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۰۱۴	۰/۶۱۱	۱۹
۰/۰۰	۰/۰۰			۰/۰۰		۲۲۵۲۱۴/۳	۳۶۲۶	۳۶۲۶۶۴	۰/۸۳۸	۵۸۴۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۶۲۱	۲۰
۴۳۶/۷	۸۷۳/۴۱	---	---	٪۱۰۰	۸۷۳/۴	۲۰۰۰۶۱۶	مجموع						

$\varphi_i$ : Modal Displacement;  $\varphi_{rj}$ : Modal drift;  $m_i$ : Seismic mass





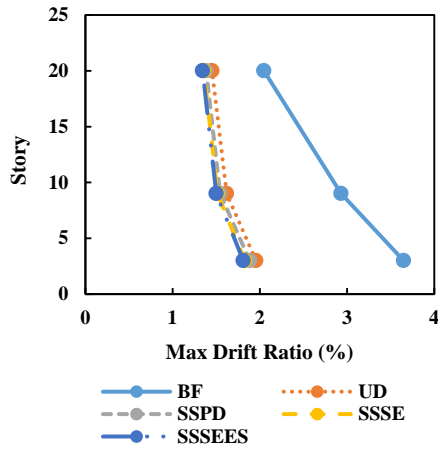
شکل ۵- شاخص عملکرد در سازه‌های محک



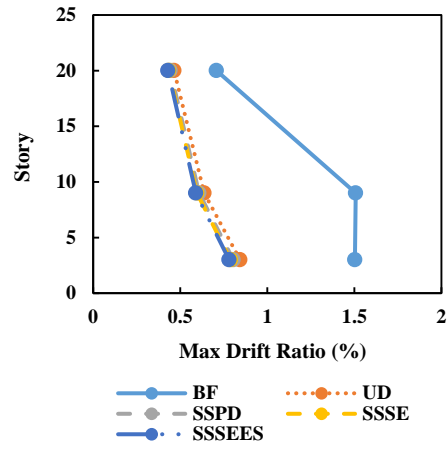
شکل ۶- شاخص نیرو در سازه‌های محک

نورثریج) و دو شتاب نگاشت حوزه دور (السترو و هاچینوهه) 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) ارایه شده‌است.

۷-۳- تأثیر 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



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



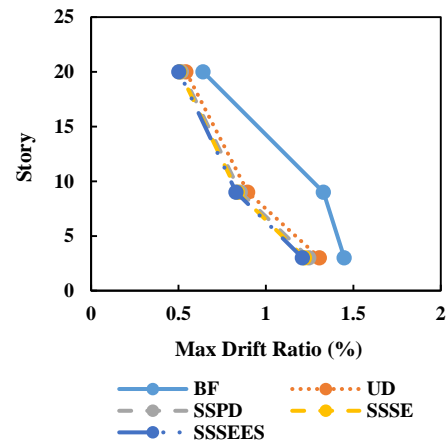
شکل ۷- حداکثر نسبت دررفت سازه‌های محک تحت اثر شتاب نگاشت السترو

با توجه به شکل‌های (۷) تا (۱۰) می‌توان دریافت توزیع ضربیب 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.

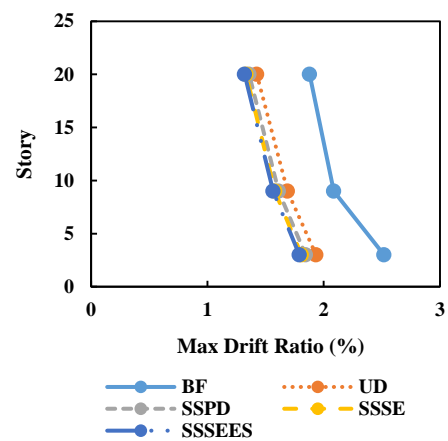
۷-۴- بررسی اثر ارتفاع سازه بر شاخص عملکرد و نیرو در این بخش از تحقیق، به بررسی نقش ارتفاع سازه اعم از کوتاه، متوسط و بلند مرتبه بر شاخص عملکرد و شاخص نیرو، تحت دو شتاب نگاشت حوزه نزدیک کوبه و نورث ریچ و دو شتاب نگاشت حوزه دور السترو و هاچینوهه می‌پردازیم.

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



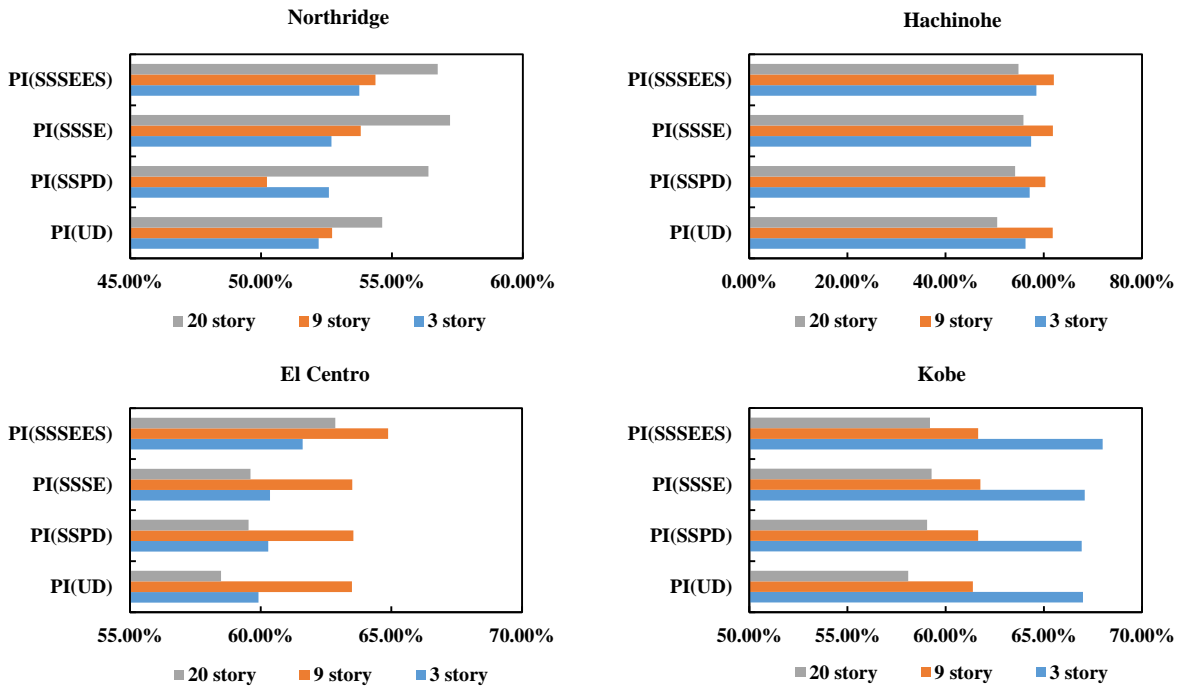
شکل ۸- حداکثر نسبت دررفت سازه‌های محک تحت اثر شتاب نگاشت هاچینوهه



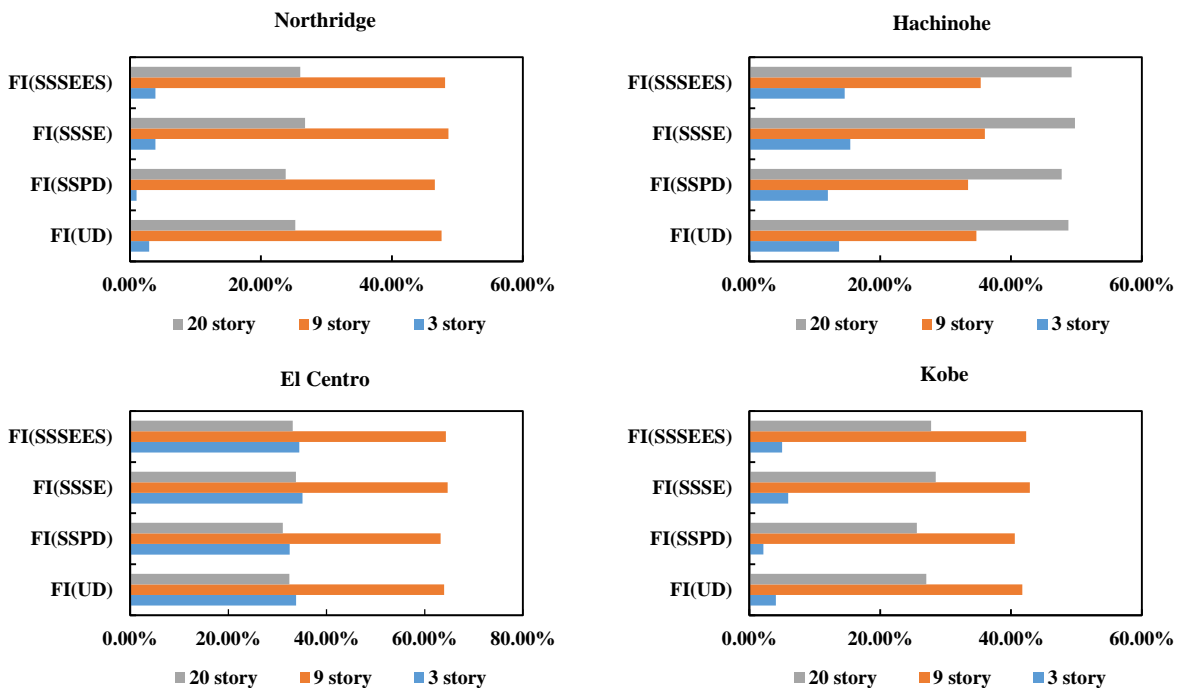
شکل ۹- حداکثر نسبت دررفت سازه‌های محک تحت اثر شتاب نگاشت نورث ریچ

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

- [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.

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 چینش 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 دریافت 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 دریافت 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.



- [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

<sup>1</sup> Uniform distribution (UD)

<sup>2</sup> Story shear proportional distribution (SSPD)

<sup>3</sup> Distribution based on story shear strain energy (SSSE)

<sup>4</sup> Distribution based on story shear strain energy to efficient stores (SSSEES)