

بررسی زمان تناوب و میرایی مؤثر قاب‌های بتن مسلح با ارتفاع کوتاه تا متوسط

اصغر وطنی اسکویی (استادیار)

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

استفاده از مشخصات دینامیکی یک سازه، در روش تحلیلی مبتنی بر معیار تغییر مکان مستقیم^۱ زمان کمتری را نسبت به تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی می‌طلبد. استفاده از روش‌های خطی، دانستن زمان تناوب و نسبت میرایی مؤثر برای شکل‌پذیری و سرویس دهی موردنظر یک ساختمان می‌تواند پاسخ غیرخطی سازه را ارائه دهد. بنابراین محاسبه‌ی سختی مؤثر و درصد ترک‌خوردگی در یک سازه‌ی بتن مسلح، با توجه به مشخص نمودن مقدار زمان تناوب مؤثر امکان‌پذیر است. در این نوشتار با تجزیه و تحلیل تعداد زیادی قاب بتن مسلح، تغییرات زمان تناوب و نسبت میرایی سازه بر حسب شکل‌پذیری تغییر مکانی سیستم سازه‌ی ارائه شده است. قاب‌های انتخاب‌شده ۱ تا ۶ طبقه، با طول و تعداد دهانه‌های متفاوت هستند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل قاب‌ها مشخص شده است که مقدار زمان تناوب ارتعاشی و میرایی سازه با افزایش شکل‌پذیری سازه افزایش خواهند داشت. ولی مقدار افزایش در پارامترهای دینامیکی دارای روندی ثابت و یکسان نبوده است. همچنین در قاب‌های با ارتفاع و تعداد طبقات یکسان با افزایش طول دهانه از ۳ به ۶ متر علاوه بر کاهش زمان تناوب اولیه‌ی قاب، زمان تناوب مؤثر و نسبت میرایی مؤثر قاب کاهش پیدا می‌کند.

واژگان کلیدی: زمان تناوب مؤثر، میرایی مؤثر، تحلیل غیرخطی، سازه‌ی بتن مسلح، زلزله.

vatani@email.com

مقدمه

مقدار زمان تناوب و میرایی سازه در تحلیل‌ها لحاظ می‌شود. در بیشتر آیین‌نامه‌های تحلیل و طراحی ساختمان در برابر تلاش‌های ناشی از زلزله برای پارامترهای فوق مقادیر ثابتی پیشنهاد شده است. گرچه دقیقاً مشخص نیست که مقادیر ارائه شده برای کدام سطح عملکرد کاربرد دارند.

با توجه به اینکه در هنگام رخداد زلزله، میرایی و زمان تناوب سازه با توجه به شکل‌پذیری و مقدار آسیب ایجاد شده تغییر می‌کند، استفاده از میرایی و دوره‌ی تناوب مؤثر در محاسبه‌ی تلاش‌های ناشی از زلزله می‌تواند روش ساده و کارآمدی برای محاسبه‌ی سریع عملکرد مناسب سازه باشد.

در طراحی ساختمان‌ها تحت تلاش‌های ناشی از زلزله در آیین‌نامه‌های موجود علاوه بر تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی، روش‌های ساده‌تری برای تخمین و به‌دست‌آوردن عملکرد و رفتار سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله وجود دارد: الف) استفاده از طیف شتاب و بازتاب خطی با استفاده از ضریب عملکرد و رفتار (R؛ ب) استفاده از سیستم غیرخطی ساده شده.

در طرح پیشنهادی ۹۷^[۱] UBC، استاندارد ۲۸۰۰^[۲] و CEN ۹۵^[۳] از روش اول با استفاده از ضریب کاهش R، عملکرد و رفتار سازه تخمین زده می‌شود. در سال‌های اخیر، توجه و دقت زیادی به بسط و استفاده از روش‌های غیرخطی ساده شده است. روش خطی معادل، پایه و مبنای روش تحلیل استاتیکی غیرخطی است که در بیشتر آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان و معیارهای بهسازی لرزه‌ی سازه‌ها استفاده شده است.^[۴-۷]

با توجه به تفاوت فلسفه و نگرش طراحی و تجزیه و تحلیل دو روش مذکور، معیار و عامل اصلی تحلیل سازه، زمان تناوب آن است. در روش اول (روش استفاده از R) در زمان تحلیل، مقدار نسبت میرایی سازه ثابت است؛ در صورتی‌که در روش دوم با توجه به تغییر در شکل‌پذیری و عملکرد غیرخطی سیستم سازه‌ی، تغییر در

مقایسه‌ی کارهای انجام شده برای محاسبه‌ی زمان تناوب

و نسبت میرایی مؤثر سازه

اولین کار تحقیقی برای تعیین میرایی و بسکوز و تغییرات آن با توجه به شکل‌پذیری سیستم سازه‌ی در سال ۱۹۶۵ انجام^[۸] (معادله‌ی ۱) و زمینه‌ی ادامه‌ی تحقیق‌های پژوهشگران دیگر شد. در تحلیل‌های انجام‌شده، بیشینه‌ی مقدار نسبت میرایی برای

تاریخ: دریافت ۱۳۸۶/۱/۲۵، داوری ۱۳۸۶/۸/۲۱، پذیرش ۱۳۸۷/۴/۱.

عملکرد الاستوپلاستیک ۱۵/۹٪ ارائه شده است.

$$\xi_v = \frac{2(\mu - 1)(1 - \alpha)}{\pi \mu^2} \quad (1)$$

در معادله ۱، مقدار α نسبت سختی سیستم بعد از تسلیم به حالت کشسانی است. تغییرات میرایی با در نظر گرفتن شکل پذیری با توجه به معادله ۱ در شکل ۱ ارائه شده است. شکل ۱ نشان می‌دهد که مقدار نسبت میرایی ارائه شده ی هودسون^[۸] بعد از شکل پذیری ($\mu = 2$) رو به کاهش است.

برخی پژوهشگران معادله‌های ۲ و ۳ برای سازه‌های با یک درجه‌ی آزادی را برای تخمین مقدار زمان تناوب و نسبت میرایی مؤثر، با در نظر گرفتن نرمی و شکل پذیری سازه (μ) ارائه کرده‌اند:^[۹]

$$T_{ef} = T_i [1 + 0.121(\mu - 1)^{0.939}] \quad (2)$$

$$\xi_h = 0.0587(\mu - 1)^{0.271} \quad (3)$$

برخی دیگر نیز معادله‌ی ۴ را برای به دست آوردن نسبت میرایی سازه‌های با یک درجه‌ی آزادی پیشنهاد کرده‌اند:^[۱۰]

$$\xi_{ef} = 0.02 + 0.2(1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}}) \quad (4)$$

در معادله‌ی ۴ زمانی که مقدار نرمی و شکل پذیری سازه (μ) مساوی ۱ باشد، مقدار میرایی سازه ۲٪ خواهد بود. در صورتی که در بیشتر آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ی سازه‌ها مقدار میرایی اولیه‌ی سازه معادل ۵٪ پیشنهاد شده است.

همچنین برای میرایی ساختمان‌های بتن مسلح معادله‌ی ۵ ارائه شده است:^[۱۱]

$$\xi_{ef} = \xi_i + \frac{1}{\pi} (1 - \frac{1 - \alpha}{\sqrt{\mu}} - \alpha \sqrt{\mu}) \quad (5)$$

در معادله‌ی ۵، α نسبت سختی سیستم به سختی اولیه‌ی سازه بعد از مرحله‌ی تسلیم است و با فرض رفتار الاستوپلاستیک کامل سازه ($\alpha = 0$) معادله‌ی ۵ به معادله‌ی ۶ تبدیل خواهد شد.

$$\xi_{ef} = \xi_i + \frac{\sqrt{\mu} - 1}{\pi \sqrt{\mu}} \quad (6)$$

نسبت میرایی داده شده در معادله‌های ۵ و ۶ در شکل ۲ با توجه به مقادیر مختلف α مقایسه شده است. در شکل ۲ با افزایش مقدار α جواب‌های به دست آمده برای نسبت میرایی معقول به نظر نمی‌رسد.

در نوشتاری با عنوان «معیار جدید طراحی لرزه‌ی در کشور ژاپن»، مقدار میرایی کشسانی سازه ۵٪ اعلام شد در صورتی که برای طراحی سازه‌ها برای عملکرد ایمنی جانی معادله‌ی ۷ با توجه به نرمی و شکل پذیری سازه ارائه شده است:^[۱۲]

$$\xi_{ef} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}} \right) + 0.05 \quad (7)$$

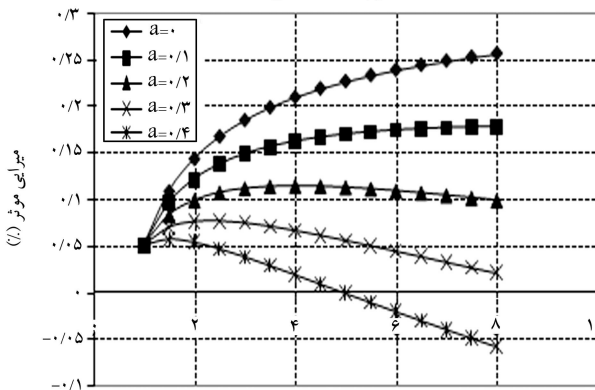
در سال ۲۰۰۳ برای میرایی مؤثر سازه سیستم‌هایی که رفتار و عملکرد الاستوپلاستیک دو خطی دارند، معادله‌ی ۸ پیشنهاد شده است:^[۱۳]

$$\xi_{ef} = \frac{1.12}{\pi} \left(\frac{T_{ef}}{T_i} \right)^2 \frac{\mu - 1}{\mu^2} + 0.55 \left(\frac{T_{ef}}{T_i} \right)^2 \xi_i \quad (8)$$

معادله‌ی ۸ در شکل ۳ ترسیم شده و کاهش در مقدار میرایی بعد از شکل پذیری ۲ ($\mu = 2$) برای تمامی نسبت دوره‌ی تناوب مؤثر به دوره‌ی تناوب اولیه کاملاً مشهود است ولی با افزایش نسبت دوره‌ی تناوب مؤثر به دوره‌ی تناوب اولیه این کاهش بیشتر می‌شود.

در سال‌های بعد معادله‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ برای به دست آوردن مقدار دوره‌ی

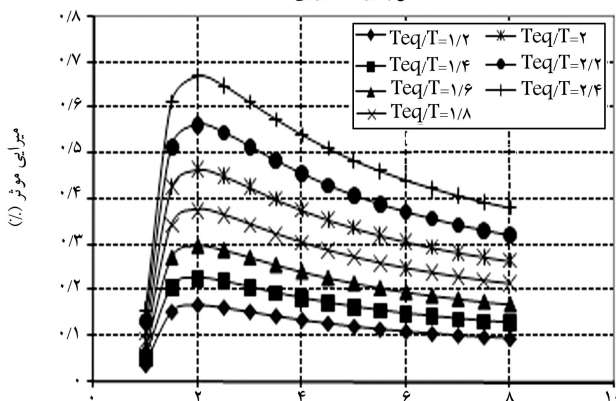
شکل پذیری و میرایی [۱۱]



شکل پذیری (M)

شکل ۲. تغییرات نسبت میرایی در معادله‌های ۶ و ۷ با توجه به مقادیر مختلف α .

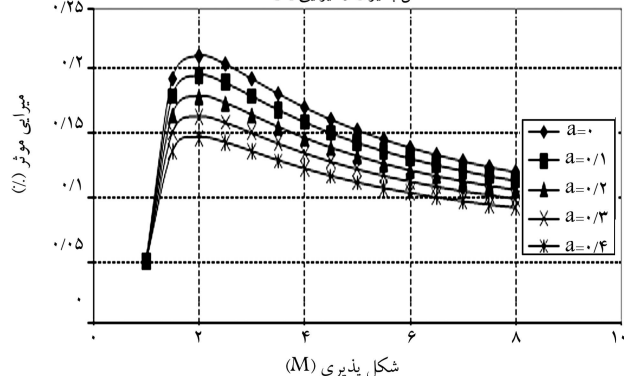
شکل پذیری و میرایی [۱۳]



شکل پذیری (M)

شکل ۳. تغییرات نسبت میرایی به مقدار شکل پذیری در معادله‌ی ۸.^[۱۳]

شکل پذیری و میرایی [۸]



شکل پذیری (M)

شکل ۱. تغییرات نسبت میرایی مؤثر به میرایی اولیه به شکل پذیری در معادله‌ی ۱ با توجه به مقادیر مختلف α .

خواهد بود (شکل ۴). با توجه به شکل ۴ می توان معادله های ۱۶ و ۱۷ را نوشت:

$$F_u = F_y \quad K_i \times U_y = K_{ef} \times U_u \quad (16)$$

$$K_{ef} = \frac{1}{\mu} K_i \quad (17)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \quad (18)$$

با فرض اینکه در مدت بارگذاری لرزه ای جرم سازه تغییر نمی کند (شایان ذکر است جرم در سرعت های بسیار زیاد تغییر می کند ولی تغییرات سرعت هنگام زلزله به اندازه ای نیست که باعث تغییرات در جرم سازه شود)، لذا با استفاده از معادله ی ۱۸ می توان معادله ی ۱۹ را نوشت:

$$T_{ef} = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_{ef}}} \quad (19)$$

$$T_{ef} = T_i \sqrt{\mu} \quad (19)$$

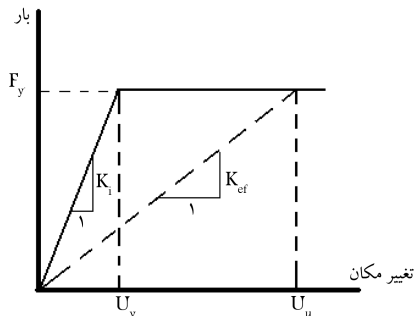
با توجه به منحنی چرخه ای رفتار و عملکرد الاستوپلاستیک سیستم (شکل ۵) برای میرایی چرخه ای مقدار میرایی را می توان با استفاده از معادله های ۲۰ و ۲۱ به صورت معادله ی ۲۲ نوشت:

$$\xi_{ef} = \xi_v + \xi_h \quad (20)$$

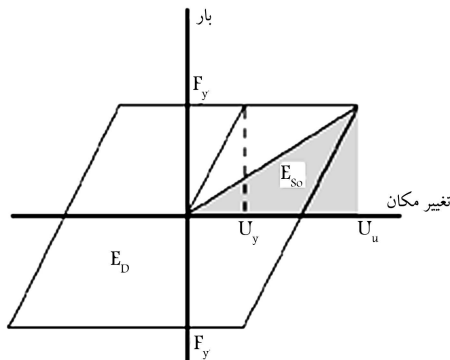
$$\xi_h = \frac{1}{4\pi} \times \frac{E_D}{E_{So}} \quad (21)$$

$$\xi_h = \frac{2(\mu - 1)}{\pi \times \mu} \quad (22)$$

که در معادلات ۲۰ تا ۲۲ پارامترهای ξ_v و ξ_h به ترتیب میرایی ویسکوز و میرایی چرخه ای هستند. در این حالت فرض می شود که لغزش و سُرخوردگی بین میلگرد و بتن به وجود نیامده و له شدگی^۲ در منحنی چرخه ای ایجاد نشده است.



شکل ۴. مقایسه ی بین سختی مؤثر و سختی اولیه در رفتار الاستوپلاستیک کامل.



شکل ۵. منحنی چرخه ای الاستوپلاستیک کامل با مقادیر انرژی جذب شده و کشسانی.

تناوب و میرایی مؤثر سازه با توجه به شکل پذیری و نرمی (μ) سازه ارائه شده است.^[۱۳]

$$\mu < 4$$

$$T_{ef} = T_i [1 + 0.1262(\mu - 1)^2 - 0.0224(\mu - 1)^3]$$

$$\xi_{ef} = \xi_v + 0.0731(\mu - 1)^2 - 0.0826(\mu - 1)^3 \quad (9)$$

$$4 \leq \mu \leq 6.5$$

$$T_{ef} = T_i [1 + 0.1731 + 0.1194(\mu - 1)]$$

$$\xi_{ef} = \xi_v + 0.116899 + 0.05791(\mu - 1) \quad (10)$$

$$\mu > 6.5$$

$$T_{ef} = T_i \left[1 + 0.870 \left(\sqrt{\frac{\mu - 1}{1 + 0.1[(\mu - 1) - 0.1]}} - 1 \right) \right]$$

$$\xi_{ef} = \xi_v + 0.247383 \frac{0.36(\mu - 1) - 1}{[0.36(\mu - 1)]^2} \left(\frac{T_{ef}}{T_i} \right)^2 \quad (11)$$

در FEMA-۴۴۰^[۱۵] که برای بهبود عملکرد و روند تحلیل غیرخطی تهیه شده است، معادله های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ برای به دست آوردن دوره ی تناوب و میرایی مؤثر ارائه شده است؛ که شباهت های زیادی به معادلات ارائه شده ی ایوان و همکارانش دارد.^[۱۳]

$$\mu < 4$$

$$T_{ef} = T_i [1 + 0.167(\mu - 1)^2 - 0.031(\mu - 1)^3]$$

$$\xi_{ef} = 0.05 + 0.0485(\mu - 1)^2 - 0.008(\mu - 1)^3 \quad (12)$$

$$4 \leq \mu \leq 6.5$$

$$T_{ef} = T_i [0.283 + 0.129(\mu - 1)]$$

$$\xi_{ef} = 0.186 + 0.0318(\mu - 1) \quad (13)$$

$$\mu > 6.5$$

$$T_{ef} = T_i \left[1 + 0.89 \left[\sqrt{\left(\frac{\mu - 1}{1 + 0.05(\mu - 1)} - 1 \right)} - 1 \right] \right]$$

$$\xi_{ef} = 0.05 + 0.1901 \frac{0.64(\mu - 1) - 1}{[0.64(\mu - 1)]^2} \left[\frac{T_{ef}}{T_i} \right]^2 \quad (14)$$

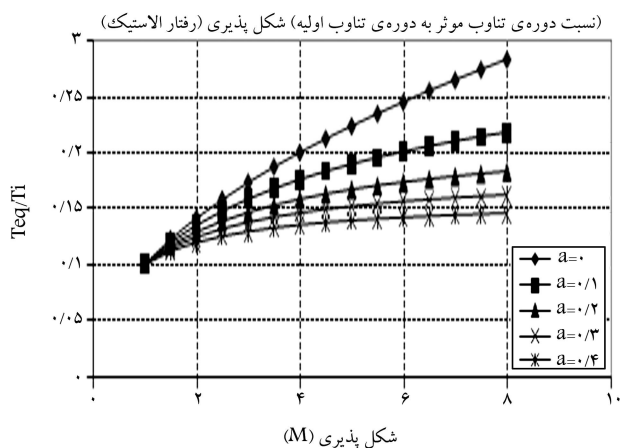
لازم است دوره ی تناوب مؤثر ارائه شده در معادله ی ۱۴^[۱۵] به صورت زیر اصلاح شود:

$$T_{eq} = T_i \left[1 + 0.89 \left[\sqrt{\left(\frac{\mu - 1}{1 + 0.05[(\mu - 1) - 1]} - 1 \right)} - 1 \right] \right] \quad (15)$$

مقادیر نسبت زمان تناوب های ارائه شده در FEMA۴۴۰^[۱۵] بیشتر از مقادیر پیشنهادی ایوان و همکارانش^[۱۳] است، در صورتی که میرایی مؤثر FEMA۴۴۰^[۱۵] کمتر از مقادیر پیشنهادی ایوان و همکارانش^[۱۳] است.

محاسبه ی دوره ی تناوب و میرایی مؤثر در رفتار الاستوپلاستیک سازه ها

الف) رفتار الاستوپلاستیک کامل: در سیستم الاستوپلاستیک کامل نیروی گسیختگی و تسلیم یکی است و شیب منحنی بار-تغییر مکان بعد از نقطه ی تسلیم صفر



شکل ۸. تغییرات نسبت دوره‌ی تناوب مؤثر به دوره‌ی تناوب اولیه به شکل پذیری با توجه به مقادیر مختلف α .

با توجه به شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود که نسبت میرایی مؤثر سازه با افزایش شکل‌پذیری و ضریب سخت‌شدگی مقدار کمی کاهش پیدا می‌کند که از لحاظ منطقی و عملکردی، معقول به نظر نمی‌رسد.

روند انجام تحلیل

برای به دست آوردن نسبت میرایی و دوره‌ی تناوب مؤثر سازه‌های بتن مسلح، ۹۶ عدد قاب بتن مسلح با شکل‌پذیری متوسط تحلیل شدند (شکل ۹). با توجه به اینکه تعداد دهانه و نسبت h/L (نسبت ارتفاع به طول دهانه) می‌تواند بر عملکرد لرزه‌یی سیستم و مودهای شکست سیستم مؤثر باشد، در تجزیه و تحلیل‌های انجام‌شده این مقادیر متفاوت در نظر گرفته شده‌اند. لذا در تمامی تجزیه و تحلیل‌ها مقدار h (ارتفاع طبقه) ثابت و ۳ متر ولی مقدار L (طول دهانه) به ترتیب ۳، ۴، ۵ و ۶ متر در نظر گرفته شده است.

برای طراحی سیستم با فرض اینکه شدت بار مرده و زنده‌ی اعمال‌شده به سقف به ترتیب ۶۵۰ Kg/m^2 و ۲۰۰ Kg/m^2 باشد، مقدار دهانه‌یی از سقف که بار آن بر روی تیر مؤثر است ۵ متر فرض شده است. بنابراین شدت بار مرده و زنده‌ی اعمال‌شده به تیر به ترتیب ۳۲۵۰ Kg/m و ۱۰۰۰ Kg/m در نظر گرفته شده است. با توجه به معیار پیشنهادشده‌ی آیین‌نامه‌ی استاندارد ۲۸۰۰ [۱]، ۲۰٪ بار زنده در تجزیه و تحلیل‌ها لحاظ شده است. برای تجزیه و تحلیل قاب با آیین‌نامه‌ی استاندارد ۲۸۰۰ [۲] فرض شده است که کاربری ساختمان مسکونی و قاب با شکل‌پذیری متوسط و بر روی خاک نوع I قرار گرفته است. با توجه به بارهای اعمال‌شده ابتدا قاب‌ها مورد تحلیل و طراحی قرار گرفتند و برای طراحی قاب‌های بتنی معیار ACI-۳۱۸ [۱۶] لحاظ شده است. در طراحی، مقاومت بتن ۲۱۰ Kg/cm^2 و مقاومت فولاد ۴۰۰ Kg/cm^2 در نظر گرفته شده است. برای مناسب و بهینه‌بودن طراحی عناصر سازه‌یی، نسبت تنش‌های ایجادشده در اعضای تشکیل‌دهنده‌ی قاب‌ها با سعی و خطا بین ۰/۸ تا ۱ محدود شده‌اند. زمان تناوب اولیه‌ی قاب‌های انتخاب‌شده با فرض رفتار کشسانی عناصر تشکیل‌دهنده‌ی سیستم و صلب‌بودن سقف به دست آمده است. [۱۷، ۱۸]

در تجزیه و تحلیل غیرخطی استاتیکی قاب‌ها، معیارهای ایمنی جانی $ATC 40$ [۱۸] لحاظ و منحنی عملکردی سیستم الاستوپلاستیک کامل فرض

ب) رفتار الاستوپلاستیک همراه با سخت‌شدگی (شکل ۶): در این حالت بعد از حد تسلیم، سختی سیستم صفر نیست و α درصدی از سختی اولیه‌ی سیستم خواهد بود.

در این حالت با توجه به شکل ۶ مقدار سختی را می‌توان با استفاده از رابطه‌های ۲۳ تا ۲۶ به دست آورد.

$$F_u = K_i \times U_y + \alpha K_i (U_u - U_y) \quad (23)$$

$$F_u = K_i \times U_y + \alpha K_i (\mu U_y - U_y) \quad (24)$$

$$F_u = K_i U_y (1 + \alpha \mu - \alpha) \quad (25)$$

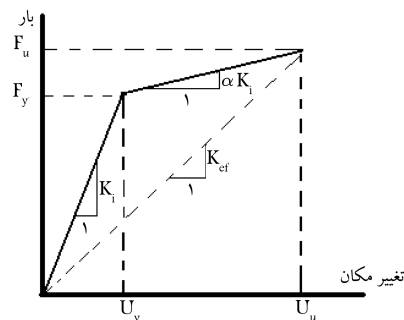
$$K_{ef} = K_i \frac{1 + \alpha \mu - \alpha}{\mu} \quad (26)$$

همچنین مقدار زمان تناوب مؤثر و میرایی چرخه‌یی از رابطه‌های ۲۷ و ۲۸ به دست می‌آید.

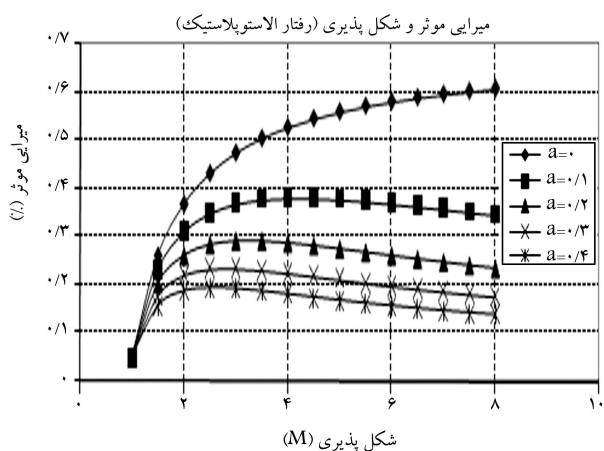
$$T_{ef} = T_i \sqrt{\frac{\mu}{1 + \alpha \mu - \alpha}} \quad (27)$$

$$\xi_h = \frac{2(\mu - 1)(1 - \alpha)}{\pi \mu (1 + \alpha \mu - \alpha)} \quad (28)$$

در معادلات رفتار الاستوپلاستیک همراه با سخت‌شدگی، با صفر قراردادن مقدار α می‌توان معادله‌های مقادیر به دست آمده توسط رفتار الاستوپلاستیک کامل را به دست آورد. مقدار تغییرات میرایی و نسبت دوره‌ی تناوب مؤثر به دوره‌ی تناوب اولیه در شکل‌های ۷ و ۸ داده شده است.



شکل ۶. منحنی رفتار الاستوپلاستیک.



شکل ۷. تغییرات ضریب میرایی نسبت به شکل‌پذیری با توجه به مقادیر مختلف α .

غیرخطی ارائه شده در ATC 40^[۱۸] تغییر و کاهش یافته است) به دست آید که تفاوت بارزی بین نقاط عملکرد به دست آمده بین دو نرم افزار فوق نبود.

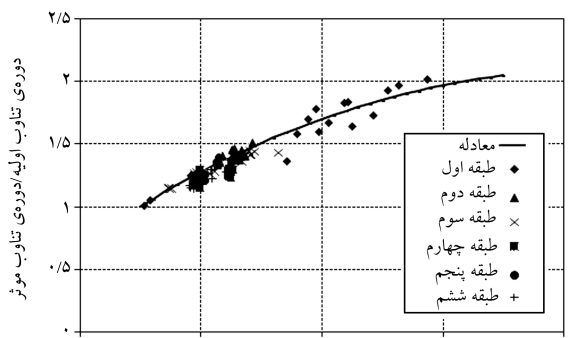
قاب های انتخاب شده جزء قاب های با ارتفاع کم تا متوسط هستند که در آن ها دوره ی تناوب ارتعاشی سازه کوچک است. بنابراین اعمال بار جانبی به شکل مثلثی برای این گونه سازه ها می تواند توزیع مناسبی باشد. نتایج تجزیه و تحلیل در قاب های طراحی شده در جدول های ۱ تا ۶ داده شده است و مقایسه ی نتایج به دست آمده از تحلیل و مقادیر پیشنهادی در استاندارد ۲۸۰۰^[۱] و FEMA ۳۵۶^[۱۹] و دستورالعمل بهسازی لرزه یی^[۱۷] برای قاب های مزبور، با توجه به مشخصات دینامیکی آنها صورت گرفته است.

با توجه به جواب های به دست آمده از تجزیه و تحلیل ها، مقادیر نسبت میرایی مؤثر، مقدار شکل پذیری و زمان تناوب اصلی و مؤثر داده شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول های ۱ تا ۶، مناسب ترین منحنی برای رابطه ی بین شکل پذیری و نسبت دوره ی تناوب مؤثر به دوره ی تناوب اولیه از شکل ۱۰، معادله ی ۲۹ و برای رابطه ی بین شکل پذیری و نسبت میرایی از شکل ۱۱، معادله ی ۳۰ استخراج شده است.

$$\frac{T_{eq}}{T_s} = 0.70004\mu^2 - 0.024\mu + 0.134223\mu + 0.6813 \quad (29)$$

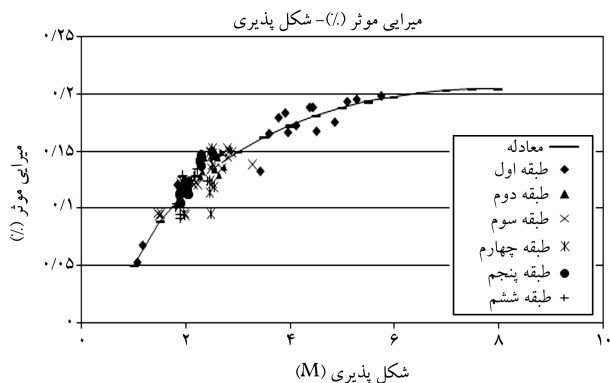
$$\xi_{ef} = 0.705 + 0.412Ln(1.204\mu - 0.203)^2 - 0.00006\mu^2 \quad (30)$$

با توجه به اینکه برای ابعاد ستون قاب یک طبقه مقادیر کمینه ی پیشنهادی



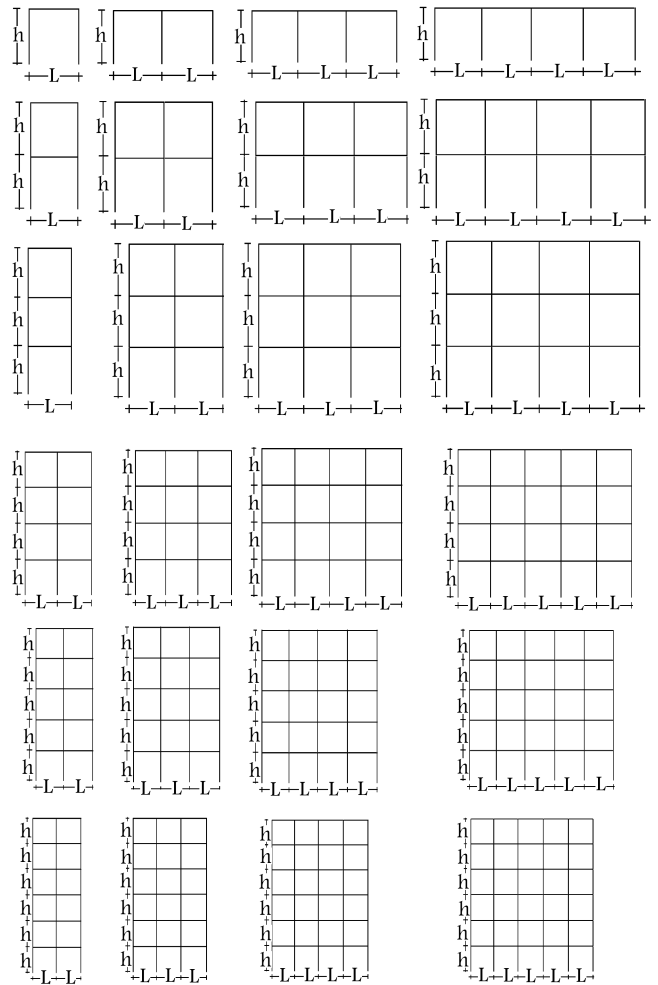
شکل پذیری (M)

شکل ۱۰. انتخاب معادله ی مناسب برای تغییرات نسبت دوره ی تناوب مؤثر به دوره ی تناوب اولیه با توجه به مقدار شکل پذیری.



شکل پذیری (M)

شکل ۱۱. تغییرات نسبت میرایی با توجه به مقدار شکل پذیری.



شکل ۹. قاب های بتن مسلح انتخاب شده در تجزیه و تحلیل.

شده است. در تحلیل غیرخطی سیستم، تغییر مکان هدف با توجه به معیارهای FEMA ۳۵۶^[۱۹] و به منزله ی مبنا و فرض اولیه ی تجزیه و تحلیل ها برای نقطه ی عملکرد انتخاب و سپس سعی شده است نقطه ی عملکرد سازه با روش طیف ظرفیت^۳ به دست آید. قابل ذکر است که انتخاب یک تغییر مکان و استفاده از آن در تحلیل غیرخطی استاتیکی در زمانی که آن یک تغییر مکان واقعی سیستم نباشد، نقطه ی عملکرد و نیز جایگاه متفاوت تری از آن نقطه را ارائه خواهد کرد. لذا در تجزیه و تحلیل های انجام شده با سعی و خطا، نقطه ی عملکرد واقعی به دست آمده و از آن به منزله ی تغییر مکان نقطه ی عملکرد در تجزیه و تحلیل ها استفاده شده است.

برای تحلیل ها از نرم افزار SAP ۲۰۰۰ ver ۱۰^[۱۹] و IDARC ۶/۲^[۲۰]، و برای طراحی و تجزیه و تحلیل غیرخطی استاتیکی با فرض توزیع مثلثی بار جانبی از نرم افزار SAP ۲۰۰۰ ver ۱۰^[۱۹] استفاده شده است. سپس با استفاده از نرم افزار IDARC ۶/۲^[۲۰] پوش تغییر مکان سازه تحت همان توزیع بار جانبی مثلثی به دست آمده و کنترل شده است. شایان ذکر است نرم افزار IDARC ۶/۲^[۲۰] نقطه ی عملکرد مورد نظر سازه را ارائه نمی دهد بلکه منحنی پوش تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه را ارائه می دهد که با نوشتن یک برنامه ی رایانه یی ساده، سعی شده است نقطه ی عملکرد سازه (محل تلاقی طیف ظرفیت به دست آمده از نرم افزار IDARC ۶/۲^[۲۰] و طیف طراحی پیشنهادی UBC ۹۷^[۱] که با توجه به عملکرد

جدول ۱. پارامترهای ارتعاشی قاب‌های بتن مسلح ۱ طبقه با دهانه‌های متفاوت و ارتفاع ثابت ۳ متر.

تعداد دهانه‌ی قاب	طول دهانه‌ی قاب (L) (m)	دوره‌ی تناوب اولیه‌ی T. (Sec)	دوره‌ی تناوب نقطه‌ی عملکرد (T _{eq}) (Sec)	دوره‌ی تناوب پیشنهادی ۲۸۰۰ (Sec)	تغییر مکان کشسانی سازه (m)	تغییر مکان نقطه‌ی عملکرد سازه (m)	تغییر مکان پیشنهادی ۲۸۰۰ (m)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ m (بادوره‌ی تناوب پیشنهادی)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ m (بادوره‌ی تناوب T. به دست آمده در ستون اول)	ضریب شکل پذیری μ	میرایی مؤثر در نقطه‌ی عملکرد (ξ _{eq})
یک دهانه	۳	۰٫۳۰۲	۰٫۵۱۲	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۹	۰٫۰۳۴	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۵۶۶۶	۳٫۷۸	۰٫۱۸۰
	۴	۰٫۳۶۱	۰٫۴۵۰	۰٫۱۵۹	۰٫۰۱۹	۰٫۰۳۵	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۸۰۹۶	۱٫۸۴	۰٫۱۲۱
	۵	۰٫۲۹۳	۰٫۳۰۸	۰٫۱۵۹	۰٫۰۱۸	۰٫۰۲۱	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۵۳۳۳	۱٫۱۷	۰٫۰۶۸
	۶	۰٫۲۴۶	۰٫۲۴۸	۰٫۱۵۹	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۳۷۵۹	۱٫۰۷	۰٫۰۵۳
دو دهانه	۳	۰٫۳۴۰	۰٫۶۸۴	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۸	۰٫۰۴۶	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۵۶۶۶	۵٫۷۵	۰٫۱۹۹
	۴	۰٫۲۸۵	۰٫۵۲۰	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۸	۰٫۰۳۵	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۸۰۹۶	۴٫۳۸	۰٫۱۸۹
	۵	۰٫۳۲۷	۰٫۵۱۶	۰٫۱۵۹	۰٫۰۱۰	۰٫۰۳۶	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۵۳۳۳	۳٫۶۰	۰٫۱۶۶
	۶	۰٫۲۷۴	۰٫۳۷۳	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۷	۰٫۰۲۴	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۳۷۵۹	۳٫۴۳	۰٫۱۳۳
سه دهانه	۳	۰٫۳۵۵	۰٫۶۸۳	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۹	۰٫۰۴۵	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۷۸۲۹	۵٫۱۰	۰٫۱۹۴
	۴	۰٫۲۹۷	۰٫۵۴۴	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۸	۰٫۰۳۶	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۵۴۸۰	۴٫۴۴	۰٫۱۸۹
	۵	۰٫۳۴۱	۰٫۵۴۴	۰٫۱۵۹	۰٫۰۱۰	۰٫۰۳۸	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۷۲۲۴	۳٫۹۶	۰٫۱۶۷
	۶	۰٫۲۸۵	۰٫۴۶۷	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۷	۰٫۰۳۲	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۵۰۴۶	۴٫۵۱	۰٫۱۶۸
چهار دهانه	۳	۰٫۳۶۳	۰٫۷۱۳	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۹	۰٫۰۴۷	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۸۱۸۶	۵٫۲۸	۰٫۱۹۶
	۴	۰٫۳۰۴	۰٫۵۴۰	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۹	۰٫۰۳۶	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۵۷۴۱	۳٫۹۱	۰٫۱۸۴
	۵	۰٫۳۴۸	۰٫۵۸۰	۰٫۱۵۹	۰٫۰۱۰	۰٫۰۴۰	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۷۵۲۳	۴٫۱۲	۰٫۱۷۳
	۶	۰٫۲۹۱	۰٫۵۰۲	۰٫۱۵۹	۰٫۰۰۷	۰٫۰۳۴	۰٫۰۱۱۳	۰٫۱۵۷	۰٫۰۵۲۶۱	۴٫۸۶	۰٫۱۷۶

جدول ۲. پارامترهای ارتعاشی قاب‌های بتن مسلح ۲ طبقه با دهانه‌های متفاوت و ارتفاع ثابت ۳ متر.

تعداد دهانه‌ی قاب	طول دهانه‌ی قاب (L) (m)	دوره‌ی تناوب اولیه‌ی T. (Sec)	دوره‌ی تناوب نقطه‌ی عملکرد (T _{eq}) (Sec)	دوره‌ی تناوب پیشنهادی ۲۸۰۰ (Sec)	تغییر مکان کشسانی سازه (m)	تغییر مکان نقطه‌ی عملکرد سازه (m)	تغییر مکان پیشنهادی ۲۸۰۰ (m)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ m (بادوره‌ی تناوب پیشنهادی)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ m (بادوره‌ی تناوب T. به دست آمده در ستون اول)	ضریب شکل پذیری μ	میرایی مؤثر در نقطه‌ی عملکرد (ξ _{eq})
یک دهانه	۳	۰٫۵۴۸	۰٫۷۹۵	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۷	۰٫۰۶۸	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۸۱۵	۲٫۵۲	۰٫۱۵۰
	۴	۰٫۴۷۰	۰٫۷۰۸	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۱	۰٫۰۶۰	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۴۷۹	۲٫۸۶	۰٫۱۵۲
	۵	۰٫۵۴۸	۰٫۷۲۸	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۹	۰٫۰۶۶	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۸۱۵	۲٫۲۸	۰٫۱۲۸
	۶	۰٫۴۶۶	۰٫۶۳۸	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۲	۰٫۰۵۸	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۴۶۲	۲٫۶۴	۰٫۱۲۹
دو دهانه	۳	۰٫۶۰۵	۰٫۸۷۶	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۸	۰٫۰۷۵	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۲۰۷۱	۲٫۶۸	۰٫۱۴۹
	۴	۰٫۵۱۵	۰٫۷۵۲	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۵	۰٫۰۶۴	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۶۷۱	۲٫۵۶	۰٫۱۵۰
	۵	۰٫۵۹۹	۰٫۸۰۸	۰٫۲۶۸	۰٫۰۳۱	۰٫۰۷۲	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۲۰۴۳	۲٫۳۲	۰٫۱۳۲
	۶	۰٫۵۰۷	۰٫۷۰۹	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۳	۰٫۰۶۳	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۶۳۶	۲٫۷۴	۰٫۱۳۶
سه دهانه	۳	۰٫۶۲۷	۰٫۸۷۹	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۹	۰٫۰۷۶	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۲۱۷۲	۲٫۶۲	۰٫۱۴۴
	۴	۰٫۵۳۲	۰٫۷۶۹	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۶	۰٫۰۶۶	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۷۴۵	۲٫۵۴	۰٫۱۴۸
	۵	۰٫۶۱۹	۰٫۷۷۲	۰٫۲۶۸	۰٫۰۳۹	۰٫۰۷۲	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۲۱۳۵	۱٫۸۵	۰٫۱۱۶
	۶	۰٫۵۲۸	۰٫۷۲۱	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۵	۰٫۰۶۴	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۷۲۷	۲٫۵۶	۰٫۱۳۴
چهار دهانه	۳	۰٫۶۳۹	۰٫۹۰۵	۰٫۲۶۸	۰٫۰۳۰	۰٫۰۷۷	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۲۲۲۷	۲٫۵۷	۰٫۱۴۶
	۴	۰٫۵۴۲	۰٫۷۶۰	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۸	۰٫۰۶۶	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۷۸۸	۲٫۳۶	۰٫۱۴۴
	۵	۰٫۶۳۰	۰٫۷۹۱	۰٫۲۶۸	۰٫۰۳۹	۰٫۰۷۴	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۲۱۸۶	۱٫۹۰	۰٫۱۱۶
	۶	۰٫۵۳۲	۰٫۷۴۵	۰٫۲۶۸	۰٫۰۲۴	۰٫۰۶۴	۰٫۰۲۲۵	۰٫۰۵۳۵	۰٫۱۷۴۵	۲٫۶۷	۰٫۱۳۸

جدول ۳. پارامترهای ارتعاشی قاب‌های بتن مسلح ۳ طبقه با دهانه‌های متفاوت و ارتفاع ثابت ۳ متر.

تعداد دهانه‌ی قاب	طول دهانه‌ی قاب (L) (m)	دوره‌ی تناوب اولیه‌ی T _o (Sec)	دوره‌ی تناوب نقطه‌ی عملکرد (T _{eq}) (Sec)	دوره‌ی تناوب پیشنهادی ۲۸۰۰ (Sec)	تغییر مکان کشسانی سازه (m)	تغییر مکان نقطه‌ی عملکرد سازه (m)	تغییر مکان پیشنهادی ۲۸۰۰ (m)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ m(بادوره‌ی تناوب پیشنهادی)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ m(بادوره‌ی تناوب T _o به دست آمده در ستون اول)	ضریب شکل پذیری μ	میرایی مؤثر در نقطه‌ی عملکرد (ξ_{eq})
یک دهانه	۳	۰٫۸۱۰	۱٫۰۲۰	۰٫۳۶۴	۰٫۰۴۵	۰٫۰۹۷	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۳۳۱۰۳۹	۲٫۱۶	۰٫۱۲۱
	۴	۰٫۶۹۹	۰٫۹۴۶	۰٫۳۶۴	۰٫۰۳۲	۰٫۰۸۶	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۷۱۹۷۹	۲٫۶۹	۰٫۱۳۵
	۵	۰٫۶۱۴	۰٫۸۷۶	۰٫۳۶۴	۰٫۰۲۴	۰٫۰۷۹	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۲۸۸۰۱	۳٫۲۹	۰٫۱۳۹
	۶	۰٫۷۰۲	۰٫۸۹۶	۰٫۳۶۴	۰٫۰۳۸	۰٫۰۸۵	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۷۳۵۳۷	۲٫۲۴	۰٫۱۲۱
دو دهانه	۳	۰٫۶۲۴	۰٫۸۹۵	۰٫۳۶۴	۰٫۰۲۷	۰٫۰۷۸	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۳۳۷۸۳	۲٫۸۹	۰٫۱۴۹
	۴	۰٫۷۵۸	۰٫۹۲۳	۰٫۳۶۴	۰٫۰۴۵	۰٫۰۸۹	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۳۰۳۰۱۱	۱٫۹۸	۰٫۱۱۴
	۵	۰٫۶۶۲	۰٫۸۳۲	۰٫۳۶۴	۰٫۰۴۱	۰٫۰۷۸	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۵۲۹۵۵	۱٫۹۰	۰٫۱۲۲
	۶	۰٫۷۵۶	۰٫۸۶۵	۰٫۳۶۴	۰٫۰۶۰	۰٫۰۸۸	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۳۰۱۹۴۵	۱٫۴۷	۰٫۰۹۶
سه دهانه	۳	۰٫۶۴۲	۰٫۹۰۴	۰٫۳۶۴	۰٫۰۲۸	۰٫۰۷۹	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۴۲۸۱۷	۲٫۸۲	۰٫۱۴۵
	۴	۰٫۵۸۳	۰٫۸۲۵	۰٫۳۶۴	۰٫۰۲۵	۰٫۰۷۱	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۱۳۵۲۹	۲٫۸۴	۰٫۱۵۰
	۵	۰٫۶۸۱	۰٫۸۴۳	۰٫۳۶۴	۰٫۰۴۲	۰٫۰۸۰	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۶۲۶۸۱	۱٫۹۰	۰٫۱۱۹
	۶	۰٫۷۷۶	۰٫۸۸۲	۰٫۳۶۴	۰٫۰۶۱	۰٫۰۹۱	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۳۱۲۶۴۳	۱٫۴۹	۰٫۰۹۴
چهار دهانه	۳	۰٫۶۵۲	۰٫۹۱۹	۰٫۳۶۴	۰٫۰۲۹	۰٫۰۷۹	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۴۷۸۷۳	۲٫۷۲	۰٫۱۴۸
	۴	۰٫۵۹۱	۰٫۸۵۲	۰٫۳۶۴	۰٫۰۲۶	۰٫۰۷۳	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۱۷۴۴۵	۲٫۸۱	۰٫۱۵۳
	۵	۰٫۶۹۰	۰٫۸۷۶	۰٫۳۶۴	۰٫۰۴۲	۰٫۰۸۱	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۲۶۷۳۲۰	۱٫۹۳	۰٫۱۲۵
	6	۰٫۷۸۸	۰٫۸۹۸	۰٫۳۶۴	۰٫۰۶۰	۰٫۰۹۲	۰٫۰۳۳۸	۰٫۱۰۷	۰٫۳۱۹۱۰۵	۱٫۵۳	۰٫۰۹۵

جدول ۴. پارامترهای ارتعاشی قاب‌های بتن مسلح ۴ طبقه با دهانه‌های متفاوت و ارتفاع ثابت ۳ متر.

تعداد دهانه‌ی قاب	طول دهانه‌ی قاب (L) (m)	دوره‌ی تناوب اولیه‌ی T _o (Sec)	دوره‌ی تناوب نقطه‌ی عملکرد (T _{eq}) (Sec)	دوره‌ی تناوب پیشنهادی ۲۸۰۰ (Sec)	تغییر مکان کشسانی سازه (m)	تغییر مکان نقطه‌ی عملکرد سازه (m)	تغییر مکان پیشنهادی ۲۸۰۰ (m)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ m(بادوره‌ی تناوب پیشنهادی)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ m(بادوره‌ی تناوب T _o به دست آمده در ستون اول)	ضریب شکل پذیری μ	میرایی مؤثر در نقطه‌ی عملکرد (ξ_{eq})
یک دهانه	۳	۰٫۸۲۸	۱٫۰۶۷	۰٫۴۵۱	۰٫۰۵۱	۰٫۱۰۱	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۵۳۹۹	۱٫۹۸	۰٫۱۲۱
	۴	۰٫۷۵۴	۰٫۹۶۳	۰٫۴۵۱	۰٫۰۳۷	۰٫۰۹۲	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۱۲۴۵	۲٫۴۹	۰٫۱۳۵
	۵	۰٫۶۸۹	۰٫۹۳۱	۰٫۴۵۱	۰٫۰۳۴	۰٫۰۸۵	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۲۷۷۰۷	۲٫۵۰	۰٫۱۳۹
	۶	۰٫۷۸۸	۰٫۹۴۵	۰٫۴۵۱	۰٫۰۴۸	۰٫۰۹۴	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۳۱۳۸	۱٫۹۶	۰٫۱۲۱
دو دهانه	۳	۰٫۸۵۰	۱٫۰۵۹	۰٫۴۵۱	۰٫۰۴۲	۰٫۱۰۳	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۶۶۵۹	۲٫۴۵	۰٫۱۴۹
	۴	۰٫۷۷۳	۰٫۹۹۱	۰٫۴۵۱	۰٫۰۳۸	۰٫۰۹۳	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۲۲۹۹	۲٫۴۵	۰٫۱۱۴
	۵	۰٫۷۰۵	۰٫۹۱۸	۰٫۴۵۱	۰٫۰۳۴	۰٫۰۸۵	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۲۸۵۶۸	۲٫۵۰	۰٫۱۲۲
	۶	۰٫۸۰۶	۰٫۹۴۲	۰٫۴۵۱	۰٫۰۴۹	۰٫۰۹۶	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۴۱۵۱	۱٫۹۶	۰٫۰۹۶
سه دهانه	۳	۰٫۸۶۲	۱٫۰۸۷	۰٫۴۵۱	۰٫۰۴۲	۰٫۱۰۴	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۷۳۵۱	۲٫۴۸	۰٫۱۴۵
	۴	۰٫۷۸۳	۰٫۹۷۰	۰٫۴۵۱	۰٫۰۳۸	۰٫۰۹۴	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۲۸۵۸	۲٫۴۷	۰٫۱۵۰
	۵	۰٫۷۱۴	۰٫۹۲۲	۰٫۴۵۱	۰٫۰۳۴	۰٫۰۸۶	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۲۹۰۵۵	۲٫۵۳	۰٫۱۱۹
	۶	۰٫۸۱۷	۰٫۹۳۸	۰٫۴۵۱	۰٫۰۴۹	۰٫۰۹۷	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۴۷۷۴	۱٫۹۸	۰٫۰۹۴
چهار دهانه	۳	۰٫۸۶۹	۱٫۰۶۵	۰٫۴۵۱	۰٫۰۴۲	۰٫۱۰۵	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۷۷۵۶	۲٫۵۰	۰٫۱۴۸
	۴	۰٫۷۸۹	۱٫۰۰۶	۰٫۴۵۱	۰٫۰۳۸	۰٫۰۹۵	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۳۳۱۹۴	۲٫۵۰	۰٫۱۵۳
	۵	۰٫۷۱۹	۰٫۹۰۷	۰٫۴۵۱	۰٫۰۳۵	۰٫۰۸۶	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۲۹۳۲۷	۲٫۴۶	۰٫۱۲۵
	۶	۰٫۶۶۰	۰٫۸۵۷	۰٫۴۵۱	۰٫۰۳۲	۰٫۰۷۹	۰٫۰۴۵	۰٫۱۵۷۴۷	۰٫۲۶۱۶۳	۲٫۴۷	۰٫۰۹۵

جدول ۵. پارامترهای ارتعاشی قاب‌های بتن مسلح ۵ طبقه با دهانه‌های متفاوت و ارتفاع ثابت ۳ متر.

تعداد دهانه‌ی قاب	طول دهانه‌ی قاب (L) (m)	دوره‌ی تناوب اولیه‌ی T _۰ (Sec)	دوره‌ی تناوب نقطه‌ی عملکرد (T _{eq}) (Sec)	دوره‌ی تناوب پیشنهادی ۲۸۰۰ (Sec)	تغییر مکان کشسانی سازه (m)	تغییر مکان نقطه‌ی عملکرد سازه (m)	تغییر مکان پیشنهادی ۲۸۰۰ (m)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ (m) (بادوره‌ی تناوب پیشنهادی)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ (m) (بادوره‌ی تناوب به دست آمده در ستون اول)	ضریب شکل پذیری μ	میرایی مؤثر در نقطه‌ی عملکرد (ξ _{eq})
دو دهانه	۳	۰٫۷۸۷	۱٫۰۹۱	۰٫۵۳۴	۰٫۰۴۳	۰٫۰۹۹	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۴۳۰۷۱	۲٫۳۰	۰٫۱۴۷
	۴	۰٫۹۵۸	۱٫۱۶۶	۰٫۵۳۴	۰٫۰۵۹	۰٫۱۱۷	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۴۴۵۹	۱٫۹۸	۰٫۱۱۴
	۵	۰٫۸۷۵	۱٫۰۹۷	۰٫۵۳۴	۰٫۰۵۲	۰٫۱۰۷	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۹۵۱۴۹	۲٫۰۶	۰٫۱۲۳
	۶	۰٫۸۰۴	۰٫۹۸۱	۰٫۵۳۴	۰٫۰۵۰	۰٫۰۹۸	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۵۲۹۸۷	۱٫۹۶	۰٫۱۱۶
سه دهانه	۳	۰٫۸۰۴	۱٫۰۸۳	۰٫۵۳۴	۰٫۰۴۴	۰٫۱۰۰	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۵۲۹۸۷	۲٫۲۷	۰٫۱۴۱
	۴	۰٫۹۸۰	۱٫۱۵۶	۰٫۵۳۴	۰٫۰۶۳	۰٫۱۲۰	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۴۵۹۶۰۶	۱٫۹۰	۰٫۱۰۴
	۵	۰٫۸۹۳	۱٫۰۸۷	۰٫۵۳۴	۰٫۰۵۳	۰٫۱۰۸	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۴۰۶۰۲۵	۲٫۰۴	۰٫۱۱۵
	۶	۰٫۸۲۰	۱٫۰۲۱	۰٫۵۳۴	۰٫۰۵۰	۰٫۰۹۹	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۶۲۳۸۴	۱٫۹۸	۰٫۱۲۲
چهار دهانه	۳	۰٫۸۱۳	۱٫۰۸۰	۰٫۵۳۴	۰٫۰۴۴	۰٫۱۰۱	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۵۸۲۶۵	۲٫۳۰	۰٫۱۳۷
	۴	۰٫۹۹۱	۱٫۱۸۹	۰٫۵۳۴	۰٫۰۶۴	۰٫۱۲۰	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۴۶۶۴۹۷	۱٫۸۸	۰٫۱۱۱
	۵	۰٫۹۰۳	۱٫۰۹۱	۰٫۵۳۴	۰٫۰۵۳	۰٫۱۰۹	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۴۱۲۰۹۸	۲٫۰۶	۰٫۱۱۲
	۶	۰٫۸۲۸	۱٫۰۱۳	۰٫۵۳۴	۰٫۰۵۱	۰٫۱۰۰	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۶۷۱۰۶	۱٫۹۶	۰٫۱۱۷
پنج دهانه	۳	۰٫۸۱۸	۱٫۱۰۹	۰٫۵۳۴	۰٫۰۴۵	۰٫۱۰۲	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۶۱۲۰۶	۲٫۲۷	۰٫۱۴۲
	۴	۰٫۷۷۴	۱٫۰۷۴	۰٫۵۳۴	۰٫۰۳۸	۰٫۰۹۷	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۳۵۵۳۶	۲٫۵۵	۰٫۱۴۶
	۵	۰٫۹۰۹	۱٫۰۹۷	۰٫۵۳۴	۰٫۰۵۴	۰٫۱۱۰	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۴۱۵۷۵۳	۲٫۰۴	۰٫۱۱۲
	۶	۰٫۸۳۴	۱٫۰۱۴	۰٫۵۳۴	۰٫۰۵۱	۰٫۱۰۰	۰٫۰۵۶۳	۰٫۲۰۴۶	۰٫۳۷۰۶۵۷	۱٫۹۶	۰٫۱۱۶

جدول ۶. پارامترهای ارتعاشی قاب‌های بتن مسلح ۶ طبقه با دهانه‌های متفاوت و ارتفاع ثابت ۳ متر.

تعداد دهانه‌ی قاب	طول دهانه‌ی قاب (L) (m)	دوره‌ی تناوب اولیه‌ی T _۰ (Sec)	دوره‌ی تناوب نقطه‌ی عملکرد (T _{eq}) (Sec)	دوره‌ی تناوب پیشنهادی ۲۸۰۰ (Sec)	تغییر مکان کشسانی سازه (m)	تغییر مکان نقطه‌ی عملکرد سازه (m)	تغییر مکان پیشنهادی ۲۸۰۰ (m)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ (m) (بادوره‌ی تناوب پیشنهادی)	تغییر مکان هدف پیشنهادی FEMA-۳۵۶ (m) (بادوره‌ی تناوب به دست آمده در ستون اول)	ضریب شکل پذیری μ	میرایی مؤثر در نقطه‌ی عملکرد (ξ _{eq})
دو دهانه	۳	۰٫۹۶۷	۱٫۲۳۲	۰٫۶۱۲	۰٫۰۶۱	۰٫۱۱۹	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۵۷۹۴۴	۱٫۹۵	۰٫۱۲۹
	۴	۰٫۹۱۳	۱٫۱۹۹	۰٫۶۱۲	۰٫۰۵۱	۰٫۱۱۳	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۲۴۱۶۹	۲٫۲۲	۰٫۱۳۴
	۵	۱٫۰۷۳	۱٫۲۲۷	۰٫۶۱۲	۰٫۰۷۰	۰٫۱۳۲	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۵۲۶۰۷۰	۱٫۸۹	۰٫۰۹۲
	۶	۰٫۹۸۵	۱٫۱۴۶	۰٫۶۱۲	۰٫۰۶۶	۰٫۱۲۰	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۶۹۳۴۵	۱٫۸۲	۰٫۱۰۱
سه دهانه	۳	۰٫۹۸۵	۱٫۲۲۹	۰٫۶۱۲	۰٫۰۶۲	۰٫۱۲۱	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۶۹۳۴۵	۱٫۹۵	۰٫۱۲۳
	۴	۰٫۹۳۰	۱٫۱۹۷	۰٫۶۱۲	۰٫۰۵۲	۰٫۱۱۴	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۳۴۷۳۲	۲٫۱۹	۰٫۱۲۹
	۵	۱٫۰۹۳	۱٫۲۵۳	۰٫۶۱۲	۰٫۰۷۱	۰٫۱۳۴	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۵۳۹۱۸۵	۱٫۸۹	۰٫۰۹۵
	۶	۱٫۰۰۲	۱٫۱۷۱	۰٫۶۱۲	۰٫۰۶۶	۰٫۱۲۱	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۸۰۱۷۷	۱٫۸۳	۰٫۱۰۴
چهار دهانه	۳	۰٫۹۹۴	۱٫۲۵۸	۰٫۶۱۲	۰٫۰۶۳	۰٫۱۲۲	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۷۵۰۷۲	۱٫۹۴	۰٫۱۲۷
	۴	۰٫۹۳۸	۱٫۲۰۷	۰٫۶۱۲	۰٫۰۵۳	۰٫۱۱۵	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۳۹۷۲۵	۲٫۱۷	۰٫۱۲۸
	۵	۱٫۱۰۴	۱٫۲۸۶	۰٫۶۱۲	۰٫۰۷۱	۰٫۱۳۴	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۵۴۶۴۳۲	۱٫۸۹	۰٫۱۰۲
	۶	۱٫۰۱۱	۱٫۱۷۹	۰٫۶۱۲	۰٫۰۶۷	۰٫۱۲۲	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۸۵۹۳۶	۱٫۸۲	۰٫۱۰۲
پنج دهانه	۳	۱٫۰۰۰	۱٫۲۲۴	۰٫۶۱۲	۰٫۰۶۴	۰٫۱۲۲	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۷۸۸۹۹	۱٫۹۱	۰٫۱۱۶
	۴	۰٫۹۹۴	۱٫۲۱۴	۰٫۶۱۲	۰٫۰۵۳	۰٫۱۱۶	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۷۵۰۷۲	۲٫۱۹	۰٫۱۲۸
	۵	۰٫۸۸۸	۱٫۱۲۸	۰٫۶۱۲	۰٫۰۴۵	۰٫۱۰۹	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۰۸۷۵۳	۲٫۴۲	۰٫۱۲۴
	۶	۱٫۰۱۷	۱٫۱۷۱	۰٫۶۱۲	۰٫۰۶۷	۰٫۱۲۳	۰٫۰۶۷۵	۰٫۲۴۵۳	۰٫۴۸۹۷۸۵	۱٫۸۴	۰٫۰۹۸

آمده از معادله ۳۱، مقادیری بین نتایج اوتانی^[۱۲] و گلکان و سوزن^[۵] با فرض میرایی اولیه ۵٪ را نشان می دهد (شکل ۱۳).

نتیجه گیری

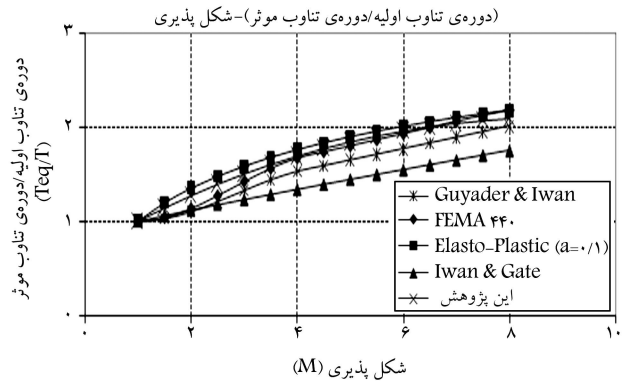
- در قاب های یک دهانه با تعداد دهانه های بیشتر، به علت اینکه مقدار کمینگی ابعاد پیشنهادی توسط آیین نامه های طراحی بتن برای ابعاد ستون انتخاب شده است، مقدار ضریب نرمی (شکل پذیری) سازه بیشتر از دیگر قاب ها است. همچنین ضریب نرمی (شکل پذیری) در قاب هایی که طول دهانه ای کوچک تری دارند، بیشتر از قاب هایی است که طول دهانه ای بزرگتری دارند.
- با افزایش طول دهانه و افزایش نیروی محوری ناشی از بار ثقلی، به علت حاکم شدن حرکت برشی، مقدار ضریب نرمی (شکل پذیری) قاب کاهش پیدا کرده است. گرچه این مورد یک اصل نیست و در بعضی از قاب ها خلاف مورد ذکر شده وجود دارد، همین مورد در رابطه با میرایی نیز مشاهده شده است.
- تغییرات در ارتفاع سازه و افزایش طول دهانه باعث افزایش زمان تناوب اصلی سازه شده است. گرچه تأثیر افزایش طول دهانه به اندازه ای افزایش ارتفاع سازه نقشی در تغییرات دوره تناوب ندارد.
- با بررسی جدول های ۱ تا ۶ مشخص شد که بیشینه تغییر مکان پیشنهادی استاندارد^[۲۸] در حدود تغییر مکان کشسانی سازه است و تقریباً با تغییر مکان رخداد اولین مفصل خمیری در سازه همخوانی دارد. شایان ذکر است که تغییر مکان پیشنهادی در استاندارد^[۲۸] کمتر از تغییر مکان هدف پیشنهادی در دستورالعمل بهسازی و FEMA-۳۵۶^[۱۷۵] است.
- قاب های ۳ و کمتر از ۳ طبقه (قاب های کوتاه مرتبه) دارای تغییر مکان کوچک تر از تغییر مکان نقطه عملکرد و قاب های بیشتر از ۳ طبقه دارای تغییر مکان بیشتر از تغییر مکان هدف پیشنهادی در دستورالعمل بهسازی و FEMA-۳۵۶^[۱۷۵] است.
- منحنی پیشنهادی برای نسبت میرایی مؤثر در این نوشتار مقادیری بین مقادیر پیشنهادی اوتانی^[۱۲] و گلکان و سوزن^[۵] با فرض میرایی کشسانی ۵٪ است.
- منحنی پیشنهادی برای نسبت دوره تناوب مؤثر به دوره تناوب اولیه نزدیک به منحنی ارائه شده ای FEMA۴۴۰^[۱۵] است ولی پیچیدگی ارائه شده ای فرمول در FEMA۴۴۰^[۱۵] را ندارد.

پانویس

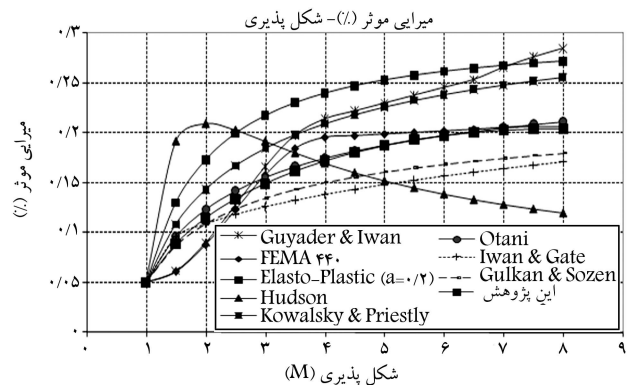
1. direct displacement based design (DDBD)
2. pinching
3. capacity spectrum method

منابع

1. *International Conference of Building Officials*, "Uniform building code- UBC 97", California (1997).



شکل ۱۲. مقایسه تغییرات نسبت دوره تناوب مؤثر به دوره تناوب اصلی با توجه به مقدار شکل پذیری.



شکل ۱۳. مقایسه تغییرات نسبت میرایی مؤثر با توجه به مقدار شکل پذیری.

در آیین نامه انتخاب شده است، شکل پذیری، میرایی و زمان تناوب مؤثر این قاب محدودی وسیع تر نسبت به دیگر قاب ها دارد. معادله های به دست آمده از این تحقیق با دیگر کارهای انجام شده مقایسه شده است. با فرض اینکه سختی بعد از مرحله کشسانی دارای نسبتی بین صفر و ۱۰٪ است و تغییر زیادی در پاسخ سازه ایجاد نمی کند^[۲۲] پاسخ ها با مقادیر $\alpha = 0.1$ مقایسه شده اند. این مقایسه در شکل های ۱۲ و ۱۳ ارائه شده است. نسبت زمان تناوب مؤثر به زمان تناوب اصلی به دست آمده از این تحقیق (معادله ۳) با مقادیر ارائه شده در FEMA۴۴۰^[۱۵] (معادله های ۱۲ تا ۱۵) همخوانی دارد (شکل ۱۲). همچنین میرایی مؤثر به دست

2. *Building and Housing Research Center*, "Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings", (Standard No. 2800), 3rd Edition (2004).
3. *Committee European Normalization (CEN)*, "European prestandard ENV 1998-1-1: Eurocode 8-earthquake resistant design of structures, Part 1: General rules for buildings", Brussels (1995).
4. *Building Seismic Safety Council (BSSC)*, "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C. (1997).

5. ASCE, "Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings", *FEMA 356, Federal Emergency Management Agency* Washington D.C. (2000).
6. Xia, Y.; Hao, H.; Brownjohn, J.M.W., and Xia, P.O., "Damage identification of structures with uncertain frequency and mode shape data", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**, (2002).
7. Hearn, G., and Testa, R.G., "Modal analysis for damage detection in structures", *J. Structural Engineering*, ASCE, **117**, pp. 3042-3063 (1991).
8. Hudson, D.E., "Equivalent viscous friction for hysteretic system with earthquake-like excitations", *3 WCEE*, New Zealand (1965).
9. Iwan, W.D., and Gates, N.C., "The effective period and damping of a class of hysteretic structures", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **7**, (3), pp.199-211 (1979).
10. Gulkan, P., and Sozen, M.A., "Inelastic responses of reinforced concrete structures to earthquake motions", *J. Am. Con. Inst.*, **71**, (12), pp.604-611 (1974).
11. Kowlasky, M.J.; Prestley, M.J.N., and MacRae, A., "Methodology for seismic design applied to single degree of freedom reinforced concrete structures", *SSRP-94/16 Structural Systems Research Projects, California* (1994).
12. Otani, S., "New seismic design provision in Japan", *U.S.-Japan Cooperative Program on Urban Earthquake Disaster Mitigation* (2002).
13. Kwan, W., and Billington, S. L., "Influence of hysteretic behavior on equivalent period and damping of structural systems", **129**, (5), pp.576-585 (2003).
14. Guyader, A.C., and Iwan, W.D., "An improved capacity spectrum method employing statically optimized linearization parameters", *13 WCEE*, Van Couver, Canada (2004).
15. Iwan, W.D., and et al., "A summary of FEMA 440: Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures", *13 WCEE*, Van Couver, Canada (2004).
16. *ACI-Committee 318*, "Building code requirement for structural concrete (ACI 318)", Michigan, USA (2002).
17. *Iranian Management and Planning Organization Office of Deputy for Technical Affairs Technical Criteria Codification & Earthquake Risk Reduction Affairs Bureau*, "Instruction for seismic rehabilitation of existing buildings" (2001).
18. *ATC-40. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, **1**, Applied Technology Council, Redwood City, California (1996).
19. *Computers and structures Inc.*, "SAP2000 – Version 8: Integrated Software for structural analysis and design", Berkeley, California (2002).
20. Valles, R.E.; Reinhorn, A.M.; Kunnath, S.K.; Li, C., and Madan, A., "IDARC-2D: A computer program for the inelastic analysis of buildings" *State University of New York at Buffalo*, Buffalo, NY, (2005).
21. Nassar, A.A., and Krawinkler, H., "Seismic demands for SDOF and MDOF systems", *Rept. No. 95, John A. Blume Earthquake Engrg. Cen.*, Stanford Univ., Stanford, Calif (1991).
22. Rahnama, M., and Karwinkler, H., "Effects of soft soil and hysteresis model on seismic demands", *Report No. 108, the John A. Blume Earthquake Engineering Center*, Stanford University, Stanford, CA (1993).