

## ارزیابی روش‌های تخمین تغییر مکان جانبی واقعی ساختمان‌های بتنی در برابر زلزله

موسی محمودی صاحبی

استادیار گروه عمران، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

m.mahmoudi@srttu.edu

(دریافت مقاله: آبان ۱۳۸۷، دریافت پذیرش: تیر ۱۳۸۹)

**چکیده-** در طراحی لرزه ای سازه‌ها، محاسبه‌ی تغییر مکان جانبی بیشینه‌ی سازه‌ها اهمیت زیادی دارد. آئین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای، تغییر مکان جانبی بیشینه‌ی سازه‌ها را در برابر زلزله‌های شدید، با ضرب تغییر مکان جانبی نظیر طراحی آن‌ها، در ضریبی به نام ضریب بزرگ‌نمایی تغییر مکان تعیین می‌کند. هدف اصلی این مقاله، بررسی ضریب بزرگ‌نمایی تغییر مکان پیشنهادی در آئین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای و تعیین نسبت آن به مقدار ضریب رفتار است. برای رسیدن به این هدف از دو روش استفاده شده است. در روش اول که برای تمامی انواع سازه‌ها کاربرد دارد، نسبت ضریب بزرگ‌نمایی تغییر مکان و ضریب رفتار مستقیماً تعیین شد. در روش دوم که فقط برای قاب‌های خمشی بتن مسلح تحقیق شده است، هر یک از ضرایب بزرگ‌نمایی تغییر مکان و رفتار به طور جداگانه محاسبه شده و سپس، نسبت آن‌ها تعیین شده است. نتایج حاصل از هر دو روش حاکی از این مطلب است که مقدار نسبت ضریب بزرگ‌نمایی تغییر مکان و ضریب رفتار در آئین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای، کوچک‌تر از مقادیر واقعی است و بهتر است در مورد آن‌ها تجدید نظر قرار شود.

**کلید واژگان:** تغییر مکان جانبی بیشینه، ضریب بزرگ‌نمایی تغییر مکان، ضریب رفتار، زمان تناوب اصلی، زلزله‌های شدید و ضریب شکل‌پذیری.

### ۱- مقدمه

به دلایل اقتصادی، آئین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای اجازه می‌دهند تا سازه‌ها با تحمل تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی، قسمت اعظم انرژی ناشی از زلزله‌های شدید را جذب کنند. به همین دلیل، مقاومت ارتجاعی مورد نیاز سازه‌ها، همواره کم‌تر از مقاومت مورد نیاز حالتی است که سازه‌ها

کاملاً در حالت ارتجاعی باقی بمانند. برای پرهیز از انجام تحلیل غیرخطی، مقاومت جانبی ارتجاعی مورد نیاز سازه‌ها، از تقسیم مقاومت مورد نیاز در حالت کاملاً ارتجاعی، به ضریب رفتار  $R$  به دست می‌آید و سازه تنها برای این سطح از نیرو، تحلیل و طراحی می‌شود. بنابر این تغییر مکان جانبی محاسبه شده از تحلیل خطی، تحت

۲۰۰۶، محمودی نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان و ضریب رفتار ساختمان‌ها را مستقل از نوع عملکرد آن‌ها ارزیابی کرد [۵]. در سال ۱۳۸۶ محمودی روشی پیشنهاد کرد که براساس آن به کمک ضریب بزرگنمایی تغییر مکان و ضریب رفتار، می‌توان ساختمان‌ها را بر اساس عملکرد مورد انتظار آن‌ها طراحی کرد. در این روش برای ضریب بزرگنمایی تغییر مکان ساختمان‌های با قاب خمشی بتن مسلح، در هر یک از حالت‌های عملکردی، مقادیری پیشنهاد شد [۶].

در استاندارد ۲۸۰۰ [۲]، بیشینه‌ی تغییر مکان جانبی طبقات برای تمامی سازه‌ها از حاصل ضرب مقادیر تغییر مکان حاصل از تحلیل خطی در ضریب  $0.7R$  به دست می‌آید که  $R$  ضریب رفتار سازه‌هاست. یعنی در استاندارد ۲۸۰۰ مقدار ضریب بزرگنمایی تغییر مکان برابر  $0.7R$  است. در آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای NEHRP [۳]، مقادیر ضریب بزرگنمایی تغییر مکان با دقت بیش‌تری ارائه شده است و برای هر یک از سیستم‌های سازه‌ای، یک ضریب بزرگنمایی تغییر مکان مجزا، مشابه ضریب رفتار، پیشنهاد می‌شود. در آیین‌نامه‌ی IBC [۴] نیز مشابه آیین‌نامه‌ی NEHRP، ضرایب بزرگنمایی تغییر مکان به صورت مجزا برای هر یک از سیستم‌های سازه‌ای پیشنهاد شده است.

هدف از این تحقیق، بررسی مقادیر پیشنهادی برای ضریب بزرگنمایی تغییر مکان در آیین‌نامه‌های ذکر شده در بالا است. با توجه به وابستگی ضریب بزرگنمایی تغییر مکان  $C_d$  به ضریب رفتار  $R$  در آیین‌نامه‌ها، به-خصوص استاندارد ۲۸۰۰، در این تحقیق نیز همین ایده دنبال شده و نسبت این دو ضریب ارزیابی شده است. برای تعیین نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به ضریب رفتار، دو روش انتخاب شد. در روش اول که یک روش

نیروی جانبی کاهش یافته، تغییر مکان جانبی واقعی سازه نخواهد بود و تنها شامل تغییر مکان ارتجاعی است. در- صورتی که برای مقاصد مختلف طراحی، محاسبه‌ی تغییر مکان جانبی واقعی سازه‌ها، شامل قسمت ارتجاعی و قسمت غیر ارتجاعی ضروری است. برخی از این مقاصد عبارتند از: محاسبه‌ی درز انقطاع دو سازه‌ی مجاور، برای جلوگیری از ضربه‌ی آن‌ها به یکدیگر در هنگام زلزله، تعیین اثرات ناشی از پدیده‌ی  $P-\Delta$  و تعیین تغییر مکان نسبی دو طبقه‌ی مجاور برای کنترل خرابی‌های احتمالی در اجزای غیر سازه‌ای آن‌ها [۱]. استاندارد ۲۸۰۰ [۲] و دیگر آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای نظیر NEHRP [۳] و IBC [۴]، بیشینه‌ی تغییر مکان جانبی طبقات و یا بام سازه‌ها را که در هنگام زلزله‌های شدید به وجود می‌آیند، بدون نیاز به تحلیل غیر خطی، با ضرب تغییر مکان ارتجاعی ناشی از تحلیل خطی در ضریبی که به ضریب بزرگنمایی تغییر مکان ( $C_d$ ) معروف است تعیین می‌کنند. (رابطه‌ی ۱):

$$\Delta_{\max} = \Delta_e \times C_d \quad (1)$$

در رابطه‌ی (۱)  $\Delta_{\max}$ ، تغییر مکان بیشینه‌ی جانبی واقعی سازه (شامل قسمت ارتجاعی و قسمت غیر- ارتجاعی) و  $\Delta_e$ ، تغییر مکان جانبی ارتجاعی است که از تحلیل خطی محاسبه می‌شود.  $C_d$ ، ضریب بزرگنمایی تغییر مکان است.

ضریب بزرگنمایی تغییر مکان، در تحقیقات مختلفی بررسی شده است. یوانگ<sup>۱</sup> و عروف<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۴، تأثیر زمان تناوب ساختمان، زمان تناوب حاکم زلزله، نوع سازه- و کار خرابی و ضریب مقاومت افزون ساختمان را بر ضریب بزرگنمایی تغییر مکان بررسی کردند [۱]. در سال

1 . Uang  
2 . Maarouf

در تحقیقات گذشته نشان داده شده است که ضریب رفتار  $R$  و ضریب بزرگنمایی تغییر مکان  $C_d$  به وسیله‌ی روابط ۵، ۶ و ۷ بیان می‌شوند [۱]:

$$R = R_\mu \times R_s \text{ یا } R = R_\mu \times R_s \times Y \quad (5)$$

$$C_d = \mu \times R_s \text{ یا } C_d = \mu \times R_s \times Y \quad (6)$$

$$Y = C_s / C_w \quad (7)$$

روابطی که دارای ضریب  $Y$  است، مربوط به آیین‌نامه‌هایی است که در آن‌ها طراحی سازه‌ها با اعمال ضریب اطمینان انجام می‌شود.  $C_w$ ، ضریب برش پایه‌ی مربوط به نیروی طراحی زلزله، با اعمال ضریب اطمینان است. درحالی‌که  $C_s$ ، ضریب برش پایه مربوط به نیروی طراحی زلزله، بدون اعمال ضریب اطمینان است. با استفاده از روابط ۵ و ۶ می‌توان نسبت ضرائب  $R$  و  $C_d$  را مطابق رابطه ۸ تعیین کرد.

$$\frac{C_d}{R} = \frac{\mu \times R_s}{R_\mu \times R_s} = \frac{\mu}{R_\mu} \quad (8)$$

یا

$$\frac{C_d}{R} = \frac{\mu \times R_s \times Y}{R_\mu \times R_s \times Y} = \frac{\mu}{R_\mu}$$

رابطه‌ی ۸ نشان می‌دهد که نسبت  $C_d/R$  برای هر دو روش طراحی (اعمال ضریب اطمینان و یا عدم اعمال آن) یکسان است پس در تمامی حالت‌ها می‌توان به جای بررسی نسبت  $C_d/R$  از نسبت  $\mu/R_\mu$  استفاده کرد.

## ۲-۱- تعیین نسبت ضریب شکل پذیری به ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری

با فرض این‌که ضریب شکل پذیری یک متغیر مستقل است، ضریب رفتار ناشی از شکل‌پذیری را می‌توان بر-حسب آن به‌دست آورد. روابط متعددی، برای تعیین

کلی است و برای تمامی سیستم‌ها قابل استفاده است، نسبت ضرایب بزرگنمایی تغییر مکان و رفتار، مستقیماً تعیین شده است ولی در روش دوم که تنها برای قاب‌های خمشی بتن مسلح انجام شده است، مقادیر ضریب بزرگنمایی تغییر مکان و ضریب رفتار به طور جداگانه تعیین شده و سپس نسبت آن‌ها محاسبه شده است.

## ۲- روش اول: بررسی مستقیم نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به ضریب رفتار

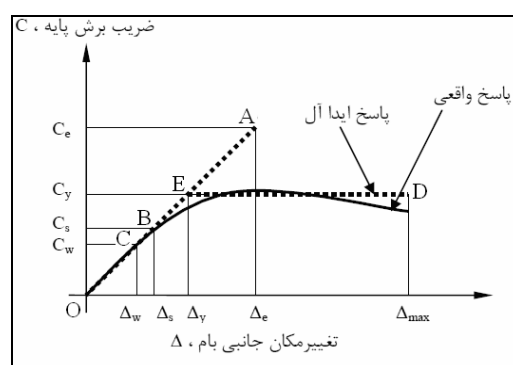
شکل ۱ منحنی‌های پوش پاسخ کلی واقعی و پاسخ ارتجاعی-خمیری ایده‌آل شده‌ی یک سازه را نشان می‌دهد که سه کمیت زیر بر اساس آن تعریف می‌شود (روابط ۲، ۳ و ۴):

$$\mu = \Delta_{\max} / \Delta_y \quad (2)$$

$$R_\mu = C_e / C_y \quad (3)$$

$$R_s = C_y / C_s \quad (4)$$

$\mu$  ضریب شکل‌پذیری سیستم،  $R_\mu$  ضریب رفتار ناشی از شکل‌پذیری،  $R_s$  ضریب مقاومت افزون،  $\Delta_y$  تغییر مکان تسلیم سیستم،  $C_e$  نسبت برش پایه نظیر رفتار ارتجاعی کامل،  $C_y$  نسبت برش پایه‌ی نظیر تسلیم و  $C_s$  نسبت برش پایه‌ی نظیر اولین تسلیم است.



شکل ۱ پاسخ کلی سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید

گرفت که کمترین مقدار برای  $\mu/R_d$  یا  $C_d/R$  تقریباً برابر ۰/۸ است که از رابطه‌ی میراندا، حاصل شده است. بیشینه‌ی مقدار برای نسبت بالا برابر ۱/۷۵ است که مربوط به روابط میراندا، نصر-کراوینکلر است. نسبت  $C_d/R$  در زمان تناوب‌های پایین، دارای مقادیر بالاست و وقتی زمان تناوب سازه افزایش می‌یابد این نسبت به سمت یک میل می‌کند.

تغییرات نسبت  $C_d/R$  بر حسب زمان تناوب اصلی سیستم، برای ضرایب شکل‌پذیری ۴، در شکل ۳ رسم شده است. حداقل مقدار این نسبت تقریباً برابر ۰/۸ است. هم‌چنین مقدار بیشینه‌ی آن، با افزایش ضریب شکل‌پذیری افزایش پیدا می‌کند. نسبت  $C_d/R$  وقتی که زمان تناوب از ۰/۷ ثانیه کوچک‌تر باشد همواره از یک بزرگ‌تر خواهد بود.

شکل ۴ تغییرات نسبت  $C_d/R$  را بر حسب ضریب شکل‌پذیری برای زمان تناوب اصلی ۰/۳ ثانیه نشان می‌دهد. در این شکل، محور افقی بیان‌کننده‌ی ضریب شکل‌پذیری  $\mu$  و محور قائم نشان‌دهنده‌ی نسبت  $\mu/R_d$  به یا نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به ضریب رفتار  $C_d/R$  است. با توجه به شکل می‌توان گفت این نسبت شدیداً به ضریب شکل‌پذیری وابسته است. هم‌چنین مشخص است که برای زمان تناوب ۰/۳ ثانیه، نسبت  $C_d/R$  همواره مساوی یا بزرگ‌تر از یک خواهد بود.

شکل ۵ رابطه‌ی بین نسبت  $C_d/R$  و ضریب شکل‌پذیری را برای زمان تناوب ۴ ثانیه نشان می‌دهد. کمینه‌ی مقدار نسبت  $C_d/R$  برابر ۰/۸۵ است. بیشینه‌ی مقدار این نسبت با افزایش ضریب شکل‌پذیری افزایش می‌یابد ولی مقدار آن با افزایش زمان تناوب اصلی  $T$  کاهش می‌یابد.

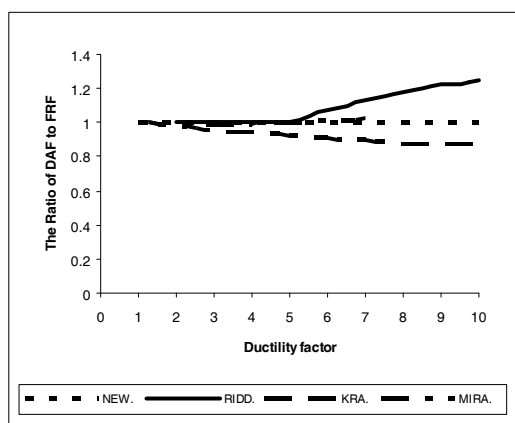
ضریب رفتار ناشی از شکل‌پذیری پیشنهاد شده است، که از آن جمله می‌توان به رابطه‌ی نیومارک-هال [۷]، رابطه‌ی ریدل [۸]، رابطه‌ی نصر-کراوینکلر [۹] و رابطه‌ی میراندا [۱۰] اشاره کرد.

در مرجع [۱۱] نتایج حاصل از روابط پیشنهادی نیومارک هال، ریدل، نصر-کراوینکلر و میراندا برای محاسبه  $R_d$  با مقادیر واقعی توسط نگارنده تعیین و مقایسه شد. نتایج نشان داد که هیچ یک از روابط بالا به تنهایی قادر نیست با دقت قابل قبول تمامی محدوده‌های زمان تناوب و ضریب شکل‌پذیری را پوشش دهد. به همین دلیل در این تحقیق از همه‌ی روابط پیشنهادی استفاده شده و پوش آن‌ها برای نتیجه‌گیری مد نظر قرار گرفته است.

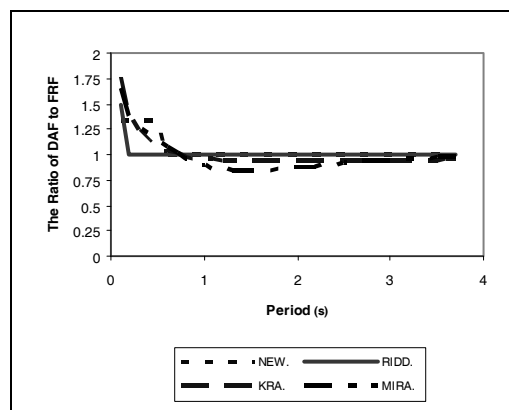
با استفاده از روابط بالا، نسبت  $\mu$  به  $R_d$  بر حسب  $\mu$  (ضریب شکل‌پذیری) و  $T$  (زمان تناوب اصلی سازه) قابل محاسبه می‌باشد. در شکل‌های ۲ تا ۵ مقادیر مربوط به  $\mu/R_d$ ، نشان داده شده است. در تمامی شکل‌ها، منظور از FRF<sup>۱</sup> ضریب رفتار کلی سازه و منظور از DAF<sup>۲</sup> ضریب بزرگنمایی تغییر مکان است. علامات اختصاری MIRA, RIDD, KRA, NEW در شکل‌ها، به ترتیب بیان‌کننده نتایج حاصل از روابط نیومارک-هال [۷]، ریدل [۸]، نصر-کراوینکلر [۹] و میراندا [۱۰] است.

شکل ۲، نسبت  $C_d/R$  را بر حسب زمان تناوب اصلی سیستم، در حالتی که ضریب شکل‌پذیری سیستم معادل ۳ است، نشان می‌دهد. در این شکل محور افقی بیان‌کننده‌ی زمان تناوب و محور قائم نشان‌دهنده‌ی نسبت  $\mu$  به  $R_d$  و یا نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به ضریب رفتار است. از شکل ۲ می‌توان نتیجه

1 . Force Reduction Factors  
2 . Deflection Amplification Factors



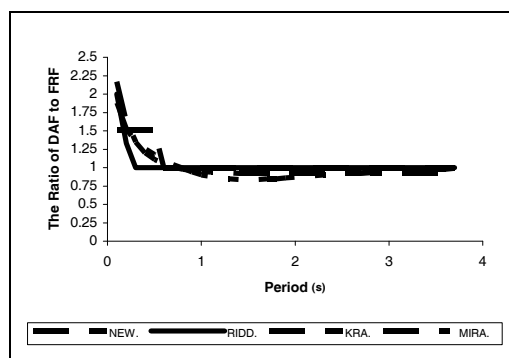
شکل ۵ تغییرات نسبت  $DAF/FRF$  در برابر ضریب شکل پذیری سیستم برای زمان تناوب اصلی = ۴ ثانیه



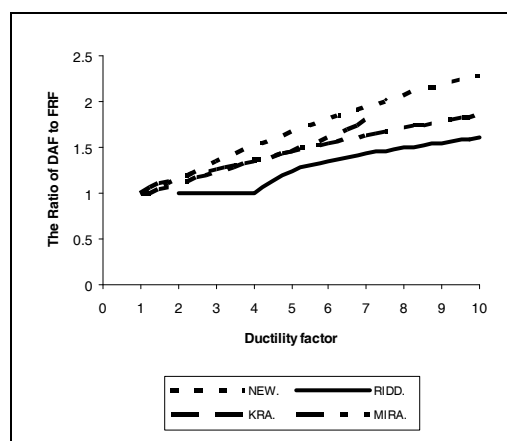
شکل ۲ تغییرات نسبت  $DAF/FRF$  برحسب زمان تناوب اصلی سیستم برای ضریب شکل پذیری ۳

### ۳- روش دوم: بررسی ضریب بزرگنمایی تغییر مکان، ضریب رفتار و نسبت آن‌ها

در این روش به جای محاسبه مستقیم نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به ضریب رفتار، نخست مقادیر هر یک از ضرایب تعیین شده و سپس نسبت آن‌ها محاسبه می‌شود. در مرجع [۶] مقادیر هر یک از ضرایب بالا، برای قاب‌های خمشی بتن مسلح یک تا پانزده طبقه همراه با روش محاسبه آن‌ها ارائه شده است. قاب‌ها همگی دارای سه دهانه با طول ۴ متر و ارتفاع طبقه ۳ متر است. تمامی ساختمان‌ها بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ بارگذاری و بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌ی ACI318 طراحی شده‌اند. ضرایب شکل‌پذیری کلی سازه‌ها، با استفاده از روابطی که توسط نگارنده در مرجع [۶] پیشنهاد شده است (روابط ۹ تا ۱۲)، محاسبه شد. در این روابط ابتدا ظرفیت شکل‌پذیری اعضا (تیرها و ستون‌ها) تعیین می‌شود و سپس به کمک روابط مربوطه، ظرفیت شکل‌پذیری کلی سازه بر حسب ظرفیت شکل‌پذیری اعضا (به صورت جداگانه برای تیرها و ستون‌ها) محاسبه می‌شود. کم‌ترین مقدار به دست آمده از روابط (۱۰)



شکل ۳ تغییرات نسبت  $DAF/FRF$  برحسب زمان تناوب اصلی سیستم برای ضریب شکل‌پذیری ۴



شکل ۴ تغییرات نسبت  $DAF/FRF$  در برابر ضریب شکل‌پذیری سیستم برای زمان تناوب اصلی = ۰/۳ ثانیه

و (۱۲) به عنوان ظرفیت شکل پذیری قاب در نظر گرفته می شود.

الف - رابطه ی شکل پذیری تیرها با شکل پذیری کلی قاب

$$\mu_g = a_b(\mu_{lb} - 1.4) + 1 \quad (9)$$

$$a_b = 0.21 + \frac{2.4}{N} - \frac{1.13}{N^2} \quad (10)$$

ب - رابطه ی شکل پذیری ستون ها با شکل پذیری کلی قاب

$$\mu_g = a_c(\mu_{lc} - 1.4) + 1 \quad (11)$$

$$a_c = 0.085 + \frac{0.57}{N} \quad (12)$$

$\mu_g$ ، ظرفیت شکل پذیری کلی سازه، و  $\mu_{lb}$  و  $\mu_{lc}$  به ترتیب ظرفیت شکل پذیری تیر و ستون بحرانی و N تعداد طبقات ساختمان است.

در جدول ۱، مقادیر ضریب شکل پذیری کلی قاب ها که با استفاده از روابط بالا برای قاب های یک تا پانزده طبقه تعیین شده، ارائه شده است. در جدول ۲، مقادیر ضریب بزرگ-نمایی تغییر مکان و ضریب رفتار که با استفاده از روابط ۵ و ۶ برای این قاب ها محاسبه شده همراه با نسبت آن ها نشان داده شده است [۶].

جدول ۱ ضرایب شکل پذیری کلی قاب ها

شکل پذیری کلی	تعداد طبقات
۲/۲۴	۱
۳/۱۹	۲
۲/۲۹	۳
۲/۸۶	۴
۲/۳۳	۵
۲/۴۷	۶
۲/۴۲	۸
۲/۴۵	۱۰
۲/۸۲	۱۵

جدول ۲ ضریب بزرگنمایی تغییر مکان، ضریب رفتار و نسبت آن ها

تعداد طبقات	ضریب رفتار (R)	ضریب بزرگنمایی تغییر مکان ( $C_d$ )	$C_d/R$
۱	۳/۹	۵/۰۵	۱/۲۹
۲	۵/۰۵	۶/۴۸	۱/۲۸
۳	۳/۹۴	۴/۳۵	۱/۱۰
۴	۵/۳۲	۵/۷۳	۱/۲۹
۵	۴/۴۱	۴/۵۷	۱/۰۳
۶	۴/۶۱	۴/۶۸	۱/۰۱
۸	۴/۴۴	۴/۴۰	۰/۹۹
۱۰	۴/۴۹	۴/۴۲	۰/۹۸
۱۵	۵/۲۳	۴/۹۷	۰/۹۵

همان گونه که از جدول ۲ نتیجه می شود، برای قاب های با زمان تناوب کم تر از ۰/۵ ثانیه، نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به ضریب رفتار، بزرگ تر از یک و برای قاب های با زمان تناوب بیش تر از ۰/۵ ثانیه، این نسبت در محدوده ی یک قرار دارد.

#### ۴- بررسی نتایج

در روش اول، نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به ضریب رفتار برای محدوده ی وسیعی از زمان تناوب (۰/۱ تا ۴ ثانیه) و ضریب شکل پذیری (۲ تا ۸) بررسی شد. ولی در روش دوم، بررسی برای محدوده ی کوچک تری از زمان تناوب (بین ۰/۱۶ تا ۱/۲۲ ثانیه) و ضریب شکل-پذیری (۲/۲۴ تا ۳/۱۹) انجام شد.

با توجه به نتایج حاصل از دو روش اشاره شده در قسمت های قبل می توان ادعا کرد که نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به ضریب رفتار برای ساختمان هایی که زمان تناوب آن ها از ۰/۵ ثانیه کم تر است، از یک

زمان تناوب اصلی سیستم افزایش می‌یابد. نسبت  $C_d/R$  برای سازه‌های شکل‌پذیر و همچنین سازه‌های با زمان تناوب اصلی کم‌تر از ۰/۵ ثانیه، بیش‌تر از یک است و در بعضی از حالات نزدیک به ۲/۲۵ است. نتایجی که با استفاده از روش دوم حاصل شد، نشان می‌دهد که نسبت  $C_d/R$  برای ساختمان‌های با زمان تناوب اصلی بیش‌تر از ۰/۵ ثانیه بسیار به یک نزدیک است. ولی برای ساختمان‌هایی که زمان تناوب اصلی آنها کم‌تر از ۰/۵ ثانیه است از یک بیش‌تر است.

با توجه به مقادیر حاصل از دو روش به نظر می‌رسد، ضریب بزرگنمایی تغییرمکان پیشنهادی  $C_d$  در آیین‌نامه‌ها، دست پایین بوده و بهتر است افزایش یابد. این اصلاح برای سازه‌های شکل‌پذیر و یا دارای زمان تناوب‌های اصلی پائین به مراتب بیشتر احساس می‌شود. به همین دلیل بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق پیشنهاد می‌شود، مقدار ضریب بزرگنمایی تغییرمکان سازه‌ها، برای ساختمان‌های با زمان تناوب اصلی بزرگ‌تر از ۰/۵ ثانیه، برابر ضریب رفتار و برای ساختمان‌های با زمان تناوب اصلی کوچک‌تر یا مساوی ۰/۵ ثانیه، ۱/۲ برابر ضریب رفتار در نظر گرفته شود.

## ۶- مراجع

- [1] Uang C. and Maarouf A.; "Deflection amplification factor for seismic design provision"; Structural Engineering Journal, 120(8), 1994, 2423-2436.
- [۲] آیین‌نامه‌ی طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۳)؛ انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.
- [3] EHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Building, Washington, D.C., Bldg. Seismic Safety Council, 1994.

بزرگ‌تر خواهد بود ولی برای زمان تناوب‌های بزرگ‌تر، این نسبت برابر یک است.

آیین‌نامه‌های NEHRP و IBC برای قاب‌های خمشی عددی بین ۰/۷ تا ۰/۹ را به عنوان نسبت ضریب بزرگ‌نمایی تغییرمکان به ضریب رفتار پیشنهاد می‌کنند و استاندارد ۲۸۰۰ برای تمامی ساختمان‌ها عدد ۰/۷ را ارائه می‌کند. بدین ترتیب می‌توان ادعا کرد که مقادیر آیین‌نامه‌ای قابل اطمینان نیست.

با توجه به موارد بالا، رابطه‌ی ۹ به عنوان مقدار ضریب بزرگنمایی تغییرمکان بر حسب ضریب رفتار، با توجه به مقدار زمان تناوب اصلی سازه پیشنهاد می‌شود.

$$\begin{cases} 1.2R & T \leq 0.5 \text{Sec} \\ R & T > 0.5 \text{Sec} \end{cases} \quad (9)$$

یعنی مقدار ضریب بزرگنمایی تغییرمکان سازه‌ها، برای ساختمان‌های با زمان تناوب اصلی بزرگ‌تر از ۰/۵ ثانیه، برابر ضریب رفتار و برای ساختمان‌های با زمان تناوب اصلی کوچک‌تر یا مساوی ۰/۵ ثانیه، ۱/۲ برابر ضریب رفتار در نظر گرفته می‌شود.

## ۵- نتیجه‌گیری

این مقاله بر ارزیابی ضریب بزرگنمایی تغییرمکان متمرکز شده است. در بخش‌های قبل، در مورد روش تعیین ضرایب بزرگنمایی تغییرمکان  $C_d$  و رفتار  $R$  و همچنین محاسبه نسبت آنها  $C_d/R$  بحث شد و نتایج حاصل به دو روش ارائه شد.

نتایجی که با استفاده از روش اول به دست آمده است، نشان می‌دهد که کمینه مقدار برای نسبت ضریب بزرگنمایی تغییر مکان  $C_d$  و ضریب رفتار  $R$  برابر ۰/۸ است. این مقدار با افزایش ضریب شکل‌پذیری و کاهش

- [8] Riddell R. Hidalgo P. and Cruz E.; "Response Modification Factors for Earthquake Resistant Design of Short Period Buildings"; Earthquake Spectra, 5(3), 1989, 571-589.
- [9] Nassar A., Ostersaas J. and Krawinkler H.; "Seismic Design Based on Strength and Ductility Demands"; Proceeding of the Earthquake Engineering Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam, 1992: 5861-5866.
- [10] Miranda E. "Site-dependent Strength-Reduction Factors"; Structural Engineering Journal; 1993; 119(12): 3503-3519.
- [11] محمودی صاحبی موسی؛ "اثر زمان تناوب و مقاومت افزون بر نیاز لرزه‌ای- غیر ارتجاعی قاب‌های خمشی بتن مسلح"، رساله‌ی دکتری، رشته‌ی مهندسی سازه، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۷.
- [4] International Building Code (IBC); International Code Council; 2006.
- [5] Mahmoudi M.; "Performance Based Design Using Force Reduction and Displacement Amplification Factors for RCMRF", First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology; Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006.
- [۶] محمودی صاحبی موسی؛ "ارزیابی اولیه‌ی قاب‌های خمشی بتن مسلح با هدف‌های طراحی بر اساس عملکرد"؛ مجله‌ی فناوری و آموزش؛ سال اول، جلد اول، شماره ۳، بهار ۱۳۸۶، ص ۹۹-۱۰۶.
- [7] Newmark, N. M., and Hall W. J.; Earthquake Spectra and design; Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, 1982.