

ارزیابی اولیه قاب های خمشی بتن مسلح با هدف های طراحی بر اساس عملکرد

موسی محمودی صاحبی*

چکیده

روش طراحی بر اساس عملکرد، روشی است نو که در آن خسارت سازه ها در برابر سطوح متفاوت خطر (زلزله) به طور شفاف مورد ارزیابی قرار می گیرد و عملکردهای سازه ای و غیر سازه ای سازه ها با محدود کردن مقاومت، سختی و شکل پذیری اعضا کنترل می شود. برای نیل به این هدف ها، یک تحلیل غیرخطی روی مدل سازه ای ضروری است. برای انجام این تحلیل، مشخصات اولیه سازه (مقاومت و سختی اولیه) مورد نیاز است. هر چه مقادیرهای اولیه به مقادیرهای نهایی نزدیک تر باشد، مراحل انجام تحلیل و طراحی سازه، ساده تر و سریعتر خواهد بود. هدف اصلی این مقاله، ارائه روشی است که به کمک آن بتوان به طور ساده و سریع، مقاومت و سختی اولیه سازه را جهت انجام تحلیل غیرخطی به دست آورد. برای این منظور ضریب هایی پیشنهاد می شود که به کمک آنها بتوان مقاومت و سختی مورد نیاز قاب های خمشی بتن مسلح را برای هر یک از حالت های عملکردی سازه؛ استفاده بی وقفه (IO)، ایمنی جانی (LS) و مرز انهدام سازه (CP) تعیین نمود. این ضریب ها عبارت اند از ضریب رفتار (R_w) و ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان (C_d) که به ترتیب برای محاسبه مقاومت و سختی مورد نیاز سازه مورد استفاده قرار می گیرند. مقادیرهای پیشنهادی برای ضرایب رفتار در حالت های متفاوت عملکردی IO، LS و CP به ترتیب برابر $2/28$ ، $4/43$ و $5/3$ است. همچنین مقادیرهای $2/29$ ، $4/73$ و $5/83$ نیز برای ضریب های بزرگ نمایی تغییر مکان در حالت های متفاوت عملکردی پیشنهاد گردیده است. بررسیها نشان می دهد، استفاده از ضریب های فوق در محاسبه مقاومت مورد نیاز (برش پایه) و سختی اولیه (با کنترل تغییر مکان جانبی) سازه ها، مراحل بعدی انجام کار و تحلیل غیر خطی سازه ها را، ساده تر و سریع تر خواهد کرد.

واژه های کلیدی: قابهای خمشی بتن مسلح، ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان، ضریب رفتار، آیین نامه ۲۸۰۰، طراحی بر اساس عملکرد.

۱- مقدمه

می گردد و عملکردهای سازه ای و غیرسازه ای سازه با محدود نمودن سختی، مقاومت و شکل پذیری کنترل می شود.

نخستین بار، موضوع طراحی بر اساس عملکرد در سال ۱۹۹۵ توسط SEAOC در گزارشی تحت عنوان vision 2000 مطرح گردید و در سال ۱۹۹۶ توسط ATC در گزارشی تحت عنوان ATC40 توسعه داده شد و هدف های عملکردی با جزئیات بیشتری معرفی شود [۱]. به موازات گزارش ATC40، گزارش FEMA273 نیز با همان هدف های، جنبه های دیگری از روش طراحی بر اساس عملکرد را ارائه نمود که در آن سطوح خطر زلزله و سطوح خسارت قابل قبول به وضوح تشریح شود [۲]. فایفر (Fajfar) در سال ۲۰۰۰ عنوان کرد که در روش طراحی بر اساس عملکرد می توان از ضریب رفتار استفاده کرد [۳]. ضریب

در بیشتر کشورها، روش طراحی لرزه ای در حال تغییر است. علیرغم اینکه در روش های طراحی متداول، هدف های آیین نامه ها، حفظ ایستایی سازه در برابر زلزله های شدید و به حداقل رساندن تلفات جانبی و کنترل زیان در برابر زلزله های خفیف و متوسط بیان می شود، ولی هیچ اهرم کنترلی برای رسیدن به این هدف ها مورد استفاده قرار نمی گیرند. در روش طراحی بر اساس عملکرد، سعی شده است برای نیل به هدف ها از پیش تعیین شده، روش های کنترلی ارائه شود. طراحی بر اساس عملکرد یک فلسفه طراحی کلی است که در آن معیارهای طراحی بر حسب دستیابی به هدف های عملکردی در برابر خطرات لرزه ای بیان می گردد. در این روش، سطوح خطر و زیانهای قابل قبول متناظر با آنها به روشنی مشخص

*- استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه ساری

m.mahmoudi@srttu.edu

پست الکترونیکی:

در این مقاله برای هر یک از حالت‌های عملکردی؛ استفاده بی وقفه (IO)، جلوگیری از تلفات جانی (LS) و جلوگیری از انهدام (CP)، یک ضریب رفتار و یک ضریب بزرگ نمایی تغییرمکان محاسبه می شود تا سازه مورد نظر به کمک آنها طراحی شود. در قسمتهای بعدی ابتدا عامل های موثر بر ضریب های رفتار و بزرگ نمایی تغییر مکان و روش محاسبه آنها ارائه می شود. سپس با توجه به موردهای مقدارهای بالا آنها برای قابهای خمشی بتن مسلح با تعداد طبقات متفاوت تعیین می گردد و در انتها با محاسبه میانگین آنها، مقدارهای پیشنهادی برای ضریب های بالا ارائه می شود.

۲- عوامل موثر بر ضریب رفتار و ضریب بزرگنمایی

تغییر مکان

۱-۲ ضریب رفتار

ضریب رفتار به پارامترهایی نظیر، ضریب شکل پذیری، زمان تناوب اصلی سازه، ضریب میرایی سازه، مشخصات خاک، مشخصات زلزله، رفتار بار - تغییرشکل مصالح، ضریب مقاومت افزون، مشارکت موده های بالا و ضریب اطمینان طراحی بستگی دارد [۲]. اصلی ترین عامل موثر بر ضریب رفتار، ظرفیت شکل پذیری سازه است. در حقیقت اگر سازه ای دارای ظرفیت شکل پذیری نباشد، نمی توان برای آن ضریب رفتار در نظر گرفت. زمان تناوب اصلی سازه به عنوان عاملی که باعث تغییر در پاسخ ارتجاعی و غیر ارتجاعی سازه خواهد بود بر مقدار ضریب رفتار تاثیر خواهد گذاشت. تاثیر زمان تناوب بر مقدار ضریب رفتار برای سازه های سخت (دارای زمان تناوب های پایین) بسیار محسوس تر است. میرایی به عنوان یک مکانیسم اتلاف انرژی باعث تغییر در پاسخ سازه در حالت ارتجاعی و غیر ارتجاعی و در نتیجه در مقدار ضریب رفتار موثر خواهد بود. همچنین مشخصات زلزله وارده بر سازه شامل حداکثر شتاب، مدت تداوم و محتوای فرکانسی بر ضریب رفتار تاثیر دارد. مصالح دارای رفتار بار- تغییر شکل متفاوتی هستند که انتخاب هر یک از آنها بر مقدار ضریب رفتار تاثیر خواهد گذاشت. مدل بار - تغییرشکل مصالحی که دارای تنزل مقاومت و کاهندگی سختی هستند، کمترین ضریب رفتار را دارا هستند. در نظر گرفتن مشارکت موده های ارتعاشی بالاتر در محاسبه نیروی زلزله، سبب کاهش ضریب رفتار خواهد شد. ضریب مقاومت افزون

رفتار مورد استفاده در این حالت صرفا مربوط به سیستم های یک درجه آزادی است که برای بررسی عملکرد سیستم های چند درجه آزادی به طور مستقیم قابل کاربرد نیست و تمهیدات دیگری را طلب می کند. فایفر استفاده از ضریب رفتار را در طراحی بر اساس عملکرد برای سازه های دارای پیچش در سال ۲۰۰۴ توسعه داد [۴]. میراندا (Miranda) در سال ۲۰۰۰ استفاده از ضریب رفتار را برای سیستم های چند درجه آزادی پیشنهاد کرد ولی روش استفاده از آن را منوط به انجام مطالعات تکمیلی کرد [۵].

در روش طراحی بر اساس عملکرد با توجه به رفتار غیر ارتجاعی سازه ها در برابر زلزله های شدید، برای تعیین نیازهای یک سازه، انجام تحلیل غیرخطی روی مدل سازه ای ضروری است. برای انجام این تحلیل، مشخصات اولیه سازه (مقاومت و سختی اولیه) مورد نیاز است. هرچه مقادیر اولیه به مقدارهای نهایی نزدیک تر باشد، مراحل انجام تحلیل و طراحی سازه، ساده تر و سریع تر خواهد بود. هر چند می توان برای این منظور از مقاومت و سختی حاصل از طراحی سازه بر اساس آئین نامه های رایج استفاده کرد اما با توجه به عدم وجود اطلاعات لازم برای طراحی سازه ها در برابر زلزله های ضعیف و متوسط و همچنین نبود اطلاعات کافی برای نیل به هدف های طراحی در برابر زلزله های شدید، مقدارهای بالا دارای دقت کافی نخواهد بود. به همین منظور در این مقاله روشی پیشنهاد می شود که به کمک آن بتوان مقاومت و سختی اولیه قاب های خمشی بتن مسلح را برای انجام یک تحلیل غیر ارتجاعی، با دقت قابل قبول بدست آورد. در این روش اصول کلی برای محاسبه مقاومت و سختی، همان روش موجود در آئین نامه های رایج است. بدین معنی که برای محاسبه مقاومت مورد نیاز از ضریب رفتار استفاده می شود و برای محاسبه سختی، ضریب بزرگ نمایی تغییرمکان (جهت محاسبه تغییرمکان واقعی سازه و محدود کردن آن به منظور جلوگیری از تخریب اجزای سازه ای و غیر سازه ای) مورد استفاده قرار می گیرد. ولی با تدقیق مقدارهای ضریب رفتار و ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان برای زلزله های شدید و همچنین ارائه ضریب های فوق برای زلزله های خفیف و متوسط، دقت محاسبه مقاومت و سختی مورد نیاز در برابر سطوح متفاوت زلزله افزایش می یابد و لذا تحلیل غیرارتجاعی نهایی که به منظور کنترل نهایی نیازهای سازه انجام می گیرد با مشکلات کمتری به سرانجام می رسد.

به عنوان اصلی ترین عامل در افزایش ضریب رفتار در سیستم های چند درجه آزادی به شمار می رود. همچنین به علت پذیرش عدم اعمال حاشیه اطمینان در آئین نامه های بارگذاری سازه ها در برابر زلزله و وجود این حاشیه ایمنی در آئین نامه های طراحی سازه ها، ضریب رفتار متناسب با مقدار ضریب اطمینان طراحی افزایش می یابد [۶].

ضریب شکل پذیری (μ)، زمان تناوب اصلی سازه (T)، رفتار بار - تغییرشکل مصالح، ضریب مقاومت افزون (R_s) و ضریب اطمینان طراحی (Y)، مهمترین عوامل موثر در تعیین ضریب رفتار هستند که در این تحقیق برای محاسبه ضریب رفتار مد نظر قرار می گیرند.

۲-۲ ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان

مهمترین عوامل موثر بر ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان عبارت اند از، ضریب شکل پذیری (μ)، ضریب مقاومت افزون (R_s) و ضریب اطمینان طراحی (Y) که در محاسبه مقدار آن مد نظر قرار می گیرند.

$$R_{\mu} = [C(\mu_g - 1) + 1]^{1/C} \quad (2)$$

$$C = \frac{T^a}{T^a + 1} + \frac{b}{T} \quad (3)$$

در رابطه های بالا، T زمان تناوب اصلی سازه و پارامترهای a و b ضریب های وابسته به سخت شدگی کرنش (α) در مدل بار تغییرشکل مصالح هستند. μ_g ظرفیت شکل پذیری کلی سازه (یا ضریب شکل پذیری تغییر مکانی = $\frac{\Delta_u}{\Delta_y}$) است که به ظرفیت شکل پذیری اعضا (یا

ضریب شکل پذیری دورانی = $\frac{\theta_u}{\theta_y}$) بستگی دارد. ارتباط بین

ضریب های شکل پذیری کلی و شکل پذیری اعضا (تیرها و ستونها) برای قاب های خمشی بتن مسلح توسط محمودی و تسنیمی به شرح زیر ارائه شده است (روابط ۴ تا ۷) [۱۲].

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

$$\mu_g = a_b(\mu_{lb} - 1.4) + 1 \quad (4)$$

$$a_b = 0.21 + \frac{2.4}{N} - \frac{1.13}{N^2} \quad (5)$$

۳- روش تعیین ضریب رفتار و ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان

۳-۱ روش تعیین ضریب رفتار

ضریب رفتار با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می شود [۷].

$$R_w = R_{\mu} \times R_s \times Y \quad (1)$$

که در آن R_{μ} ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری است، R_s ضریب مقاومت افزون است و Y ضریب اطمینان طراحی است.

۳-۱-۱ ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری

ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری برای یک سیستم یک درجه آزادی معادل سیستم چند درجه آزادی تعریف می شود. نیومارک - هال (Newmark-Hall) [۶]، ریدل (Riddle) [۸]، میراندا (Miranda) [۹]، فایفر (Fajfar) [۱۰] و ناصر - کراوینکلر (Nassar-Krawinkler) [۱۱]، روابطی را برای تعیین R_{μ} ارائه کردند. در روش نیومارک - هال، برای دو محدوده از زمان تناوب سیستم، دو رابطه وابسته

ب - رابطه شکل پذیری ستونها با شکل پذیری کلی قاب:

$$\mu_g = a_c (\mu_{lc} - 1.4) + 1 \quad (6)$$

$$a_c = 0.085 + \frac{0.57}{N} \quad (7)$$

در رابطه های بالا، μ_g ظرفیت شکل پذیری کلی سازه، μ_{lc} و μ_{lb} به ترتیب ظرفیت شکل پذیری تیر و ستون بحرانی و N تعداد طبقات ساختمان است. کمترین مقدار به دست آمده از رابطه های ۴ و ۶ به عنوان ظرفیت شکل پذیری قاب در نظر گرفته می شود.

۳-۱-۲ ضریب مقاومت افزون

در آیین نامه های طراحی، سازه ها در برابر بارهای غیرلرزه ای بصورت ارتجاعی طراحی می شوند. در صورتی که در برابر بارهای لرزه ای، مجاز به استفاده از عملکرد غیرارتجاعی هستند و می توانند از خاصیت جذب انرژی سازه ها در مرحله غیر ارتجاعی استفاده کنند. همچنین در این حالت می توانند از مقاومت اضافه ای که در مرحله غیر ارتجاعی بروز می کند استفاده کنند. چنین مقاومتی در روند تشکیل پی در پی مفاصل پلاستیک (لولاها های خمیری) در اعضای سازه پدید می آید و در آستانه ناپایداری سازه خاتمه می یابد. به این مقاومت، مقاومت افزون (overstrength) گفته می شود که با ضریب مقاومت افزون بیان می شود و برابر است با نسبت حداکثر مقاومت سازه به مقاومت ارتجاعی آن. مقاومت افزون نتیجه عوامل گوناگونی است که مهمترین آنها عبارت اند از:

- باز توزیع نیروهای داخلی اعضا.
- درجات نامعینی سازه.
- اضافه مقاومت آرماتور و بتن نسبت به مقاومت اسمی آنها.
- افزایش مقاومت آرماتور در اثر پدیده سخت شوندگی کرنش.
- افزایش مقاومت بتن در اثر محصور شدن به وسیله آرماتورها.
- اعمال محدودیت های آیین نامه ای (محدود کردن تغییر مکان جانبی سازه، محدود کردن جزییات آرماتور گذاری، شرایط بار گذاری ها و ...).
- وجود اعضای غیر سازه ای.

با محدود کردن مقدار ضریب شکل پذیری می توان ضریب مقاومت افزون را برای هر یک از حالت های عملکردی IO، LS و CP به دست آورد. در مراجع [۱۳ و ۱۴] روش محاسبه ضریب مقاومت افزون برای قاب های خمشی بتن مسلح بررسی شده و ارتباط آن با شکل پذیری اعضا ارائه شده است. با معلوم بودن ضرائب شکل پذیری محلی تیرها و ستونها می توان ضریب مقاومت افزون را برای سطوح متفاوت زلزله تعیین نمود.

۳-۱-۳ ضریب اطمینان طراحی

در آیین نامه های طراحی، برای افزایش اطمینان از مقاومت سازه، ضریب اطمینان در نظر گرفته می شود که به صورت افزایش بار (اعمال ضریب بار)، کاهش مقاومت (تنش مجاز) و یا هر دو مورد، در طراحی سازه ها اعمال می شود. اما در طراحی سازه ها در برابر زلزله با توجه به سطح بالای نیروی زلزله، ضریب اطمینان اعمال نمی شود و سازه ها به گونه ای طراحی می شوند که تحت سطح بار تعریف شده به حداکثر مقاومت خود برسند. برای همسان سازی طراحی سازه ها در برابر بارهای لرزه ای و غیرلرزه ای، ضریب اطمینان برای طراحی بار زلزله نیز اعمال می گردد ولی برای حذف آن برای بارهای لرزه ای، مقدار نیروی زلزله در مرحله اعمال به سازه بر ضریب اطمینان (Y) تقسیم می شود. در آیین نامه های بار گذاری این ضریب در ضریب رفتار مستتر می شود و اثر آن در مقدار ضریب رفتار منظور می شود. مقدارهای ضریب اطمینان ممکن است در آیین نامه های متفاوت متفاوت باشد ولی این تفاوت چندان معنی دار نیست.

۳-۲ ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان

ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان از رابطه ی ۸ تعیین می شود [۷].

$$C_d = \mu_g \times R_s \times Y \quad (8)$$

که در آن ضریب های موجود همان تعاریف قبلی را دارا هستند.

(به طور جداگانه برای تیر و ستون ها) در سه حالت عملکردی در جدول ۲ ارائه شده است.

مرحله دوم: محاسبه ضریب های شکل پذیری کلی سازه

با استفاده از معادله های ۴ تا ۷ ضریب شکل پذیری کلی سازه (μ_g) محاسبه می شود. در جدول ۳ مقادیرهای ضریب های شکل پذیری کلی برای تمامی قابها در هر یک از حالت های عملکردی نشان داده شده است.

جدول ۲. مقادیرهای شکل پذیری دورانی اعضا (μ_l) برای هر یک از حالت های عملکردی

ستون ها			تیرها			قاب ها (تعداد طبقات)
CP	LS	IO	CP	LS	IO	
۵/۴	۴/۰۱	۱/۳۵	۲/۸	۲/۳۴	۱/۱۲	۱
۱۱/۶	۸/۷	۲/۹	۴/۱۸	۳/۳۴	۱/۶۷	۲
۹/۵۲	۷/۱۴	۲/۳۸	۳/۵۷	۲/۸۵	۲/۴	۳
۱۲/۸	۹/۶	۳/۲	۵/۳۲	۴/۲۶	۲/۱۳	۴
۱۰/۸	۸/۱	۲/۷	۳/۴۸	۴/۶۴	۲/۳۲	۵
۱۲/۸	۹/۶	۳/۲	۵/۶۸	۴/۵۴	۲/۲۷	۶
۲۰/۱۰	۱۵/۱۰	۵/۱۰	۵/۳۳	۴/۲۶	۲/۱۳	۸
۱۵/۷۶	۱۱/۸	۳/۹۴	۵/۲۸	۴/۲۲	۲/۱۱	۱۰
۲۰/۱۰	۱۵/۱۰	۵/۱۰	۴/۵۵	۳/۶۴	۱/۸۲	۱۵

جدول ۳. ضریب های شکل پذیری کلی قاب ها

μ_g			قابها (تعداد طبقات)
CP	LS	IO	
۳/۰۷	۲/۲۴	۱/۰	۱
۴/۱۳	۳/۱۹	۱/۳	۲
۲/۹۲	۲/۲۹	۱/۲۶	۳
۳/۵۹	۲/۸۶	۱/۴۱	۴
۲/۳۵	۲/۳۳	۱/۲۶	۵
۳/۰۵	۲/۴۷	۱/۳۲	۶
۲/۹۵	۲/۴۲	۱/۳۶	۸
۲/۷۱	۲/۴۵	۱/۳۱	۱۰
۲/۱۶	۲/۸۲	۱/۱۵	۱۵

۴- تعیین R_w و C_d

به منظور تعیین ضریب رفتار و ضریب بزرگ نمایی تغییرمکان نه قاب خمشی بتن مسلح سه دهانه با تعداد طبقات یک، دو، سه، چهار، پنج، شش، هشت، ده و پانزده انتخاب شد و بر اساس آئین نامه ها طراحی شد. برای بارگذاری، آئین نامه بارگذاری لرزه ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) و برای طراحی، آئین نامه طراحی سازه های بتن مسلح (آئین نامه ACI) مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه مراحل متفاوت تعیین ضریب رفتار و ضریب بزرگ نمایی تغییرمکان ارائه می شود.

۴-۱ تعیین ضریب رفتار

مرحله اول: تعیین ضریب شکل پذیری اعضا

ضریب شکل پذیری دورانی برای تیرها و ستون ها (μ_l) به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\mu_l = \frac{\theta_u}{\theta_y} \quad (9)$$

در رابطه ی بالا θ_u ، دوران نظیر گسیختگی برای مفاصل پلاستیک است و مقدار آن برای هر یک از سه حالت عملکردی IO، LS و CP براساس ضوابط FEMA273 برای تیرها و ستونها تعیین می شود [۲]. در جدول ۱ مقادیرهای پیشنهادی این آیین نامه نشان داده شده است. شایان ذکر است این مقادیرهای مربوط به حالتی است که خمش در طراحی اعضا تعیین کننده باشد.

جدول ۱. مقادیرهای θ_u برای هر یک از حالت های عملکردی

CP	LS	IO	اعضا
۰/۰۲۵	۰/۰۲	۰/۰۱	تیرها
۰/۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	ستونها

همچنین θ_y دوران تسلیم مفاصل پلاستیک است که براساس ضابطه های FEMA273 محاسبه می شود ($\theta_y = \frac{6ML}{EI}$). مقادیر μ_l برای تمامی قاب های انتخابی

مرحله سوم: تعیین ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری

بر اساس مقدارهای μ_g در جدول ۳ و با فرض سخت شدگی کرنش معادل دو درصد ($\alpha = 0.02$) و با استفاده از معادله های ۲ و ۳، ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری (R_{μ}) محاسبه می شود. برای سخت شدگی معادل دو درصد ضریب های a و b به ترتیب برابر یک و 0.37 می باشد. در جدول ۴ مقدارهای زمان تناوب (T) و ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری (R_{μ}) ارایه شده است.

جدول ۴. مقدارهای زمان تناوب و ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری قاب ها

R_{μ}			T (sec.)	قاب ها (تعداد طبقات)
CP	LS	IO		
۲/۰۹	۱/۷۷	۱/۰	۰/۱۶	۱
۳/۰۸	۲/۵۷	۱/۲۸	۰/۲۷	۲
۲/۶۳	۲/۱۳	۱/۲۶	۰/۳۶	۳
۳/۳۵	۲/۷۲	۱/۴۰	۰/۴۵	۴
۲/۳۲	۲/۳	۱/۲۶	۰/۵۳	۵
۳/۰۷	۲/۴۹	۱/۳۲	۰/۶۱	۶
۳/۰۵	۲/۴۸	۱/۳۷	۰/۷۶	۸
۲/۸۴	۲/۳۲	۱/۳۲	۰/۹۰	۱۰
۲/۲۴	۱/۸۷	۱/۱۶	۱/۲۲	۱۵

مرحله چهارم: تعیین ضریب مقاومت افزون

با استفاده از نتیجه های حاصل از مراجع [۱۳ و ۱۴] ضریب مقاومت افزون (R_s) بر حسب ضریب شکل پذیری اعضا (تیرها و ستون ها) که در جدول ۲ ارایه شده است محاسبه می شود. مقدارهای ضریب مقاومت افزون برای هر یک از حالات عملکردی در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. ضریب های رفتار مقاومت افزون برای قاب ها

R_s			قاب ها (تعداد طبقات)
CP	LS	IO	
۱/۶۱	۱/۶۱	۱/۴۳	۱
۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۲۹	۲
۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۲۲	۳
۱/۴۳	۱/۴۳	۱/۳۳	۴
۱/۴۰	۱/۴۰	۱/۳۲	۵
۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۰	۶
۱/۳۰	۱/۳۰	۱/۲۶	۸
۱/۲۹	۱/۲۹	۱/۲۷	۱۰
۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۲۱	۱۵

مرحله پنجم: تعیین ضریب اطمینان طراحی

بر اساس ضریب های بار و مقاومت پیشنهادی در آیین نامه ACI، مقدار ضریب اطمینان طراحی برابر $1/4$ به دست می آید ($1/4 = 0.75 * 1/7 * 1/1$).

مرحله ششم: محاسبه ضریب رفتار قاب ها

در بخش های گذشته، پارامترهای موثر در تعیین ضریب رفتار قاب های خمشی یعنی R_{μ} ، R_s و Y محاسبه شد. با استفاده از آنها و به کمک معادله ی ۱ ضریب رفتار (R_w) به دست می آید. مقدارهای مربوط به ضریب رفتار برای هر یک از قاب های خمشی بتن مسلح و برای هر یک از حالت های عملکردی IO، LS و CP در جدول ۶ ارایه شده است. در جدول بالا مقدارهای میانگین ضریب رفتار برای حالت های متفاوت عملکردی نیز محاسبه و ارایه شده است ($R_w = 2/82$ برای حالت استفاده بی وقفه، $R_w = 4/43$ برای حالت جلوگیری از تلفات انسانی و $5/3$ $R_w =$ برای حالت جلوگیری از انهدام).

۵- چگونگی استفاده از ضریب های R_w و C_d در طراحی بر اساس عملکرد

در قسمت های قبلی مقدارهای R_w و C_d ارزیابی شد. با استفاده از این ضریب های می توان نیازهای مقاومت ارتجاعی را در سه حالت عملکردی تعیین کرد. نیازهای مقاومت اعضا (که به وسیله تحلیل سازه ای تحت نیروهای کاهش یافته به کمک ضریب رفتار محاسبه می شود)، با ظرفیت های مقاومت اعضا (بر اساس آیین نامه های طراحی) در سه حالت عملکردی مقایسه می شوند و در صورت نیاز، اعضا باز طراحی می شوند. همچنین نیازهای سختی سازه ای (یا نیازهای تغییر مکان سازه ای که به کمک تحلیل سازه تحت نیروی کاهش یافته متناسب با ضریب رفتار محاسبه می شوند و در ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان ضرب می شوند) با تغییرمکان های مجاز (که در آیین نامه های طراحی معرفی می شوند) در سه حالت عملکردی مقایسه می شوند و در صورت نیاز ابعاد اعضا تصحیح می شوند. با این فرایند ابعاد اولیه اعضا تعیین می شود. برای تعیین ابعاد نهایی اعضا برای تامین نیازهای شکل پذیری آنها، یک تحلیل غیرارتجاعی ضروری است. این روش پیشنهادی دارای چندین مزیت است که عبارت اند از: الف) ساده است. ب) مهندسين سازه با آن آشنا هستند. ج) تحقیقات تجربی زیادی در این زمینه و پارامترهای مربوط انجام گرفته است. [۵]

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش برای محاسبه سختی و مقاومت اولیه اعضای قابهای خمشی بتن مسلح به منظور اجرای معیارهای طراحی بر اساس عملکرد ارائه شده است. در این روش سه ضریب رفتار (R_w) و سه ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان (C_d) برای حالت های متفاوت عملکردی سازه (استفاده بی وقفه، جلوگیری از تلفات جانی و جلوگیری از انهدام) معرفی شده است. مقدارهای این اعداد در جدول ۸ ارائه شده است. با استفاده از ضریب های رفتار، نیازهای مقاومت سازه ای اعضا به دست می آید و با استفاده از ضریب های بزرگ نمایی تغییرمکان، نیازهای سختی اعضا محاسبه می شود. برای نهایی کردن ابعاد اعضا می بایست معیارهای طراحی بر اساس عملکرد اعمال شود. بررسی ها نشان می دهد، ضریب های بالا و استفاده از آنها در محاسبه مقاومت مورد نیاز (برش پایه) و سختی اولیه (با

جدول ۶. مقدارهای R_w قابها در حالت های متفاوت عملکردی

قاب ها (تعداد طبقات)	R_w		
	CP	LS	IO
۱	۴/۷۱	۳/۹۹	۲/۰
۲	۶/۳۵	۵/۲۱	۲/۳۲
۳	۵/۰۱	۴/۰۶	۲/۱۵
۴	۶/۷۱	۵/۴۵	۲/۶۱
۵	۴/۵۴	۴/۵۲	۲/۳۲
۶	۵/۸	۴/۷۰	۲/۴۱
۸	۵/۵۶	۴/۵۱	۲/۴۱
۱۰	۵/۱۲	۴/۱۸	۲/۳۴
۱۵	۳/۹۵	۳/۲۹	۱/۹۶
میانگین	۵/۳۰	۴/۴۳	۲/۲۸

۲-۴ تعیین ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان

با توجه به در اختیار بودن ضریب های μ ، R_s و Y ، ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان (C_d) از رابطه ۸ قابل محاسبه است. مقدارهای این ضریب برای قابهای خمشی بتن مسلح در سه حالت عملکردی در جدول ۷ ارائه شده است. در انتهای جدول مقدارهای میانگین ضریب بزرگ نمایی تغییر مکان برای هر یک از سه حالت حدی تعیین شده است ($C_d = ۲/۲۹$ برای حالت استفاده بی وقفه، $C_d = ۴/۷۳$ برای جلوگیری از تلفات انسانی و $C_d = ۵/۸۳$ برای جلوگیری از انهدام)

جدول ۷. مقدارهای C_d قاب ها در حالت های متفاوت عملکردی

قاب ها (تعداد طبقات)	C_d		
	CP	LS	IO
۱	۶/۹۲	۵/۰۵	۲/۰
۲	۸/۴	۶/۴۸	۲/۳۶
۳	۵/۵۷	۴/۳۵	۲/۱۷
۴	۷/۱۹	۵/۷۳	۲/۶۲
۵	۴/۶	۴/۵۷	۲/۳۳
۶	۵/۷۶	۴/۶۸	۲/۴۱
۸	۵/۳۶	۴/۴	۲/۴
۱۰	۴/۹	۴/۰۶	۲/۳۴
۱۵	۳/۸۱	۳/۲۲	۱/۹۶
میانگین	۵/۸۳	۴/۷۳	۲/۲۹

کنترل تغییرمکان جانبی) سازه ها، مراحل انجام کار و تحلیل غیر خطی سازه ها را، ساده تر و سریعتر خواهد نمود..

جدول ۸. مقدارهای R_w و C_d برای قاب های خمشی بتن مسلح در حالت های متفاوت عملکردی

CP	LS	IO	
۵/۳۰	۴/۴۳	۲/۲۸	R_w
۵/۸۳	۴/۷۳	۲/۲۹	C_d

۷- مراجع

- [1] ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol. 1, ATC 40, Applied Technology Council, Redwood, CA, 1996.
- [2] FEMA, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, 1997.
- [3] Fajfar, P., A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Seismic Design, Earthquake Spectra, Vol. 16, No. 3, August, pp.573-592, 2000.
- [4] Fajfar, P., Extensions of the N2 Method - Asymmetric Buildings, Infilled Frames and Incremental N2, International Workshop on Performance Based Seismic Design, Bled, Slovenia, 2004.
- [5] Miranda, E., Strength Reduction Factors in Performance-Based Design, Proceedings of the EERC-CURE Symposium, Berkeley, California, 1997.
- [6] محمودی صاحبی، موسی، اثر زمان تناوب و مقاومت افزون بر نیاز لرزه ای - غیر ارتجاعی قابهای خمشی بتن مسلح، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۳۷۷.
- [7] Uang C.; Maarouf A., Deflection amplification factor for seismic design provision, Journal of Structural Engineering, Vol. 120(8), p.p. 2423-2436, 1994.
- [8] Riddell R, Hidalgo P, Cruz E. Response Modification Factors for Earthquake Resistant Design of Short Period Buildings, Earthquake Spectra, 5(3):571-589, 1989.
- [9] Miranda E., Site-dependent Strength Reduction Factors, Structural Engineering; 119(12): 3503-3519, 1993.
- [10] Fischinger M., Fajfar P., Seismic Force Reduction Factors, Proceeding of Earthquake Engineering, Rutenberg, Balkema, Rotterdam, ISBN 90 541 391-4, 1994.
- [11] Nassar A, Osteras J, Krawinkler H. Seismic Design Based on Strength and Ductility Demands, Proceeding of the Earthquake Engineering Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam: 5861-5866, 1992.
- [12] Mahmoudi, M., Tasnimi, A.A., The Relationship Between Local and Global Ductility for R/C Flexural Frames, (Persian), Proceedings of the Third International on Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran, 1999.
- [13] Tasnimi, A.A., Mahmoudi, M., Prediction of Overstrength of Reinforced Concrete Moment Resisting Frames Using Nonlinear Inelastic Analysis, Proceeding of the XI ECEE, 1999.
- [14] Mahmoudi, M., The Relationship Between Overstrength and Members Ductility of R.C. Moment Resisting Frames, 7th Pacific Conference on Earthquake Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 2003.