

## بررسی ضریب رفتار سیستم قاب محیطی بتن مسلح

حبیب اکبرزاده بنگر<sup>1</sup>، مهدی نادری<sup>2\*</sup>

1- استادیار دانشگاه مازندران

2- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه مازندران

Email: [h.akbarzadeh@umz.ac.ir](mailto:h.akbarzadeh@umz.ac.ir)

Email: [me.naderi@stu.umz.ac.ir](mailto:me.naderi@stu.umz.ac.ir)

### چکیده

یکی از سیستم های سازه ای مورد استفاده در سازه های بلند سیستم قاب محیطی است. قاب محیطی متشکل از ستون های نزدیک به هم و تیرهای عمیق که در محیط پیرامونی سازه قرار گرفته اند، می باشد. اتصال ستون های پیرامونی به تیرهای عمیق به صورت صلب بوده و رفتار سیستم تحت اثر بارهای جانبی مشابه خمش یک طره تو خالی است. لازمه تحلیل و طراحی این نوع سیستم، آگاهی از رفتار لرزه ای آن است. ضریب رفتار به عنوان ضریبی که در برگیرنده عملکرد غیر ارتجاعی سازه ها در برابر زلزله های شدید است، کاربرد وسیعی در آیین نامه ها برای تعیین مقاومت ارتجاعی مورد نیاز سازه ها دارد، در هیچ یک از آیین نامه های کنونی اشاره ای به ضریب رفتار این نوع سیستم نشده است، حال آنکه برای طراحی سازه های با این سیستم می بایست از ضرایب مختص به خودشان استفاده نمود. این مقاله به بررسی ضریب رفتار سیستم قاب محیطی بتن مسلح می پردازد. لذا ساختمان ۳۰ طبقه برج سپهر که دارای این سیستم است به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد و از نرم افزار PERFORM-3D جهت تحلیل استاتیکی غیر خطی مورد استفاده قرار گرفت. جهت مدل سازی تیرهای عمیق از تکنیک جدید ترکیب تیرهای الاستیک و مفاصل برشی استفاده شده است. نتایج نشان می دهند که ضریب رفتار این سیستم نزدیک به ضریب رفتار سیستم قاب خمشی ویژه طبق ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰ است. همچنین ضریب کاهش ناشی از شکل پذیری، ضریب مقاومت افزون که عوامل اصلی در محاسبه ضریب رفتار سازه هستند نیز محاسبه گردید.

**واژه های کلیدی:** سازه بلند، سیستم قاب محیطی، آنالیز پوش آور، ضریب رفتار

# Investigating the Response Modification Factor of Reinforced Concrete framed tube System

Habib Akbarzadeh Bengar<sup>1</sup>, Mehdi Naderi<sup>2</sup>

1. Assistant Professor at University of Mazandaran

Email: [h.akbarzadeh@umz.ac.ir](mailto:h.akbarzadeh@umz.ac.ir)

2. MA Student of Structural Engineering at University of Mazandaran

Email: [me.naderi@stu.umz.ac.ir](mailto:me.naderi@stu.umz.ac.ir)

## Abstract

One of the structural systems used in high-rise structures is framed tube system. framed tube consists of closely-spaced columns and deep beams which are located in the surroundings of the structure. Peripheral columns are rigidly connected to deep beams and system behavior under the lateral loads is similar to bending of a hollow cantilever. Knowledge of seismic behavior is necessary for analysis and design of this type of system. Response Modification Factor, which includes inelastic function of structures against severe earthquakes, is widely used in regulations for determining the required reactionary resistance of the structures. None of the current regulations mentioned the behavior factor of this type of system; however, for the design of structures with this system, their own specific coefficients should be used. This study aimed to evaluate the Response Modification Factor of reinforced concrete framed tube system. Therefore, the 30-storey Sepehr Tower, which is equipped with this system, was modeled and put under nonlinear statistical analysis in PERFORM-3D software. The new technique of elastic beams and shear joints combination was used for deep beams modeling. The results showed that, according to the fourth edition of regulation 2800, the Response Modification Factor of the system is close to the behavior factor of special moment frame system. Also reduction factor due to plasticity, further resistance factor, which are the main factors in calculating the structural Response Modification Factor, were also calculated.

**Key words:** high-rise structure, framed tube system, pushover analysis, Response Modification Factor

## ۱. مقدمه

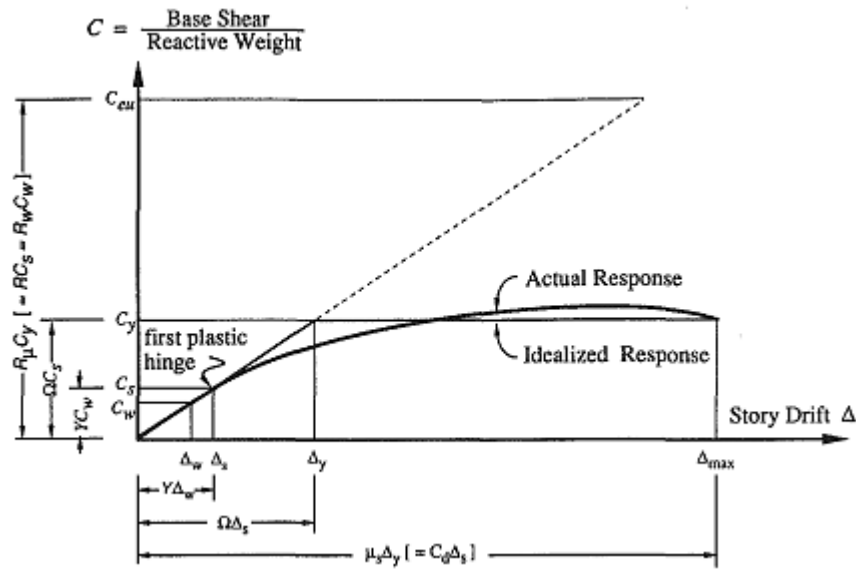
ساخت ساختمان های بلند ابتدا با هدف دفاع شروع و سپس جنبه های نمادی و کاربردی پیدا کرد. رشد و توسعه ساختمان های بلند در دهه هشتاد قرن نوزدهم با کاربرد تجاری و مسکونی شروع گردید، با افزایش ارتفاع، نیاز به سیستم های مقاوم جانبی که پاسخ گوی ارتفاع سازه ها باشند، بیش از پیش اهمیت پیدا کرد و از این رو سیستم سازه ای به نام قاب محیطی ابداع گردید. قاب محیطی متشکل از ستون های نزدیک به هم و تیرهای عمیق که در محیط پیرامونی سازه قرار گرفته اند، می باشد. اتصال ستون های پیرامونی به تیرهای عمیق به صورت صلب بوده و رفتار سیستم تحت اثر بارهای جانبی مشابه خمش یک طره تو خالی است، با این تفاوت که پدیده نامطلوب لنگی برشی در آن دیده می شود [1,2,3]. از مهم ترین خصوصیات این سیستم عبارتند از: بازده ای مناسب سیستم قاب محیطی از لحاظ اقتصادی، کاهش تغییر شکل های کلی ساختمان و تغییر شکل های نسبی طبقات، انعطاف پذیری زیاد در تقسیم بندی فضای داخلی [4]. لازمه تحلیل و طراحی این نوع سازه ها، آگاهی از رفتار لرزه ای آنها می باشد. در هیچ یک از آیین نامه های کنونی اشاره ای به ضرایب رفتار لرزه ای این نوع سیستم نشده است، حال آنکه برای طراحی سازه ها به روش مقاومتی با این سیستم می بایست از ضرایب مختص به خودشان استفاده نمود. ضوابط طرح لرزه ای سازه ها به طور پایه ای بعد از زلزله نورتریج کالیفرنیا در سال ۱۹۹۴ تغییر کرد. بعد از این زلزله، با توجه به تجربیات به دست آمده ضوابط خاصی برای طراحی لرزه ای سازه های فولادی و بتنی در آیین نامه آمریکایی AISC, UBC, ACI وضع گردید. روش به دست آوردن نیروی معادل استاتیکی در اکثر آیین نامه ها براساس ضریب رفتار است. این ضریب باعث می شود نیرو های جانبی حاصل از زلزله چندین برابر کاهش پیدا کند. بر اساس ضوابط آیین نامه ها در روش استاتیکی معادل، سازه باید برای این نیروی کاهش یافته طراحی شود. لذا در این تحقیق، ضریب رفتار سیستم قاب محیطی بتن مسلح مورد بررسی قرار می گیرد.

## ۲. تعریف ضریب رفتار

ضریب رفتار ضریبی است که در برگیرنده عملکرد غیر ارتجاعی سازه ها در برابر زلزله است و بیانگر مقاومت پنهان سازه در مرحله غیر ارتجاعی است. به همین دلیل، مقاومت مورد نیاز سازه از تقسیم مقاومت سازه در حالت کاملاً ارتجاعی بر ضریب فوق محاسبه می گردد و بدین ترتیب مقاومت مورد نیاز سازه کاهش می یابد. به همین دلیل در بعضی از کارهای تحقیقاتی و آیین نامه ها به آن ضریب کاهش نیرو نیز گفته می شود و معمولاً با حرف (R) نشان داده می شود. در سازه ها، ظرفیت تغییر شکل غیر ارتجاعی آنها، به کمک ضریب شکل پذیری ( $\mu$ ) بیان می گردد که عبارت است از تغییر شکل نهایی سازه به تغییر شکل تسلیم آن. بدین ترتیب ضریب رفتار سازه مستقیماً به ضریب شکل پذیری آن بستگی دارد [5]. هرچه ضریب شکل پذیری یک سازه بیشتر باشد، میزان جذب انرژی بالاتر بوده و در نتیجه مقدار ضریب رفتار بزرگتر خواهد شد. نحوه ارتباط ضریب شکل پذیری ( $\mu$ ) و ضریب رفتار (R) به عوامل مختلفی بستگی دارد. در سیستم های یک درجه آزادی، نوع مصالح، زمان تناوب سیستم، میرایی سیستم، نوع بارگذاری، مدل بار-تغییر شکل، عامل ناپایداری و وضعیت تکیه گاه (نوع خاک) موثر می باشند؛ همچنین در سیستم های چند درجه آزادی علاوه بر موارد فوق عواملی نظیر میزان مشارکت مودهای بالا، مقاومت افزون و نوع سیستم مقاوم سازه ای نیز دخالت دارند. با توجه به مطالب فوق از تقسیم نیروی ارتجاعی زلزله بر ضریب رفتار، نیروی طرح بدست می آید و بصورت زیر می باشد [5].

$$V = \frac{V_e}{R} \quad (1)$$

هرچقدر مقدار این ضریب به واقعیت نزدیک تر باشد، محاسبه مقاومت مورد نیاز سازه ها دقیق تر خواهد بود. با بررسی متون علمی در می یابیم که روش مدون و یکسانی براساس محاسبه ضریب رفتار وجود ندارد و از آنجا که در نظر گرفتن همه عوامل موثر بر ضریب رفتار کاری دشوار است، لذا در این مقاله جهت محاسبه ضریب رفتار، از عوامل موثری که ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰ و آیین نامه ATC19 تعیین کرده اند، شامل مقاومت افزون، شکل پذیری و درجه نامعینی، استفاده می شود [6, 8].



شکل (۱) رفتار سازه و مشخص کردن پارامترهای موثر در ضریب رفتار [7]

## ۲-۱. مقاومت افزون ( $R_s$ )

مقاومت ذخیره شده در سازه که بین تراز تسلیم کلی سازه  $C_y$  و تراز اولین تسلیم  $C_s$  وجود دارد به عنوان مقاومت تسلیم شناخته می شود، به عبارت دیگر، برابر است با مقاومتی که سازه بعد از تشکیل اولین مفصل پلاستیک تا مرحله مکانیزم از خود نشان می دهد. و طبق رابطه (۱) تعریف می شود [8,7].

$$R_s(\Omega) = \frac{C_y}{C_s} \quad (1)$$

## ۲-۲. درجه نامعینی ( $R_f$ )

این ضریب کاهش، ناشی از، نامعینی سازه و تامین مسیری موازی جهت انتقال بارهای جانبی، سختی کرنشی، ملزومات حداقل آیین نامه ای در ارتباط با رعایت جزئیات، مقاومت بالاتر واقعی مصالح از مقادیر واقعی طراحی، محدودیت های تغییر شکل اعمال شده بر عملکرد سیستم، ابعاد بزرگتر اعضا، تاثیر المان های غیر سازه ای و... می باشد. در واقع ضریب اضافه مقاومت، به طور ضمنی اثرات نامعینی را نیز در نظر می گیرد. در آیین نامه ATC-19 و همچنین ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰ جدولی برای تعیین این ضریب پیشنهاد شده است، که مطابق جدول (۱) و سیستم مورد مطالعه، این ضریب برابر یک می باشد [8].

جدول (۱) ضریب نامعینی سازه طبق آیین نامه ATC-19 [8]

| تعداد ردیف های قاب لرزه بر | ضریب نامعینی |
|----------------------------|--------------|
| ۲                          | ۰/۷۱         |
| ۳                          | ۰/۸۶         |
| ۴                          | ۱            |

### ۲-۳. ضریب کاهش ناشی از شکل پذیری ( $R_\mu$ )

به دلیل شکل پذیری، سازه ظرفیتی برای استهلاک انرژی هیستریزس خواهد داشت. به همین دلیل، نیروی طراحی ارتجاعی ( $C_{eu}$ ) را می توان به تراز مقاومت تسلیم ( $C_y$ ) کاهش داد، از این رو ضریب کاهش بر اثر شکل پذیری، عبارت است از، خارج قسمت نیروی نهایی وارد بر سازه در صورتی که سازه در حالت ارتجاعی باقی بماند ( $C_{eu}$ )، به نیروی متناظر با حد تسلیم واقعی سازه به هنگام تشکیل مکانیزم خرابی ( $C_y$ ) و مطابق رابطه (۲) محاسبه می شود [8,7].

$$R_\mu = \frac{C_{eu}}{C_y} \quad (2)$$

از آنجا که محاسبه ضریب کاهش ناشی از شکل پذیری از طریق فرمول (۲) کار مشکلی است، لذا محققین روابطی برای محاسبه این پارامتر بر اساس ضریب شکل پذیری ارائه دادند؛ آیین نامه ATC-19 جهت یافتن ضریب شکل پذیری، روابط گسترش یافته توسط نیومارک و هال، کراوینکلر و نثار، میراندا و برتر را پیشنهاد می کند، که در زیر بررسی می شوند.

#### روش نیومارک و هال :

نیومارک و هال با توجه به زمان های تناوب اصلی سازه ( $T$ ) روابطی را برای یافتن ضریب شکل پذیری سازه یک درجه آزادی با رفتار کشسان- مومسان به شکل زیر ارائه کردند [8,9]:

برای پریودهای کمتر از ۰/۰۳ ثانیه :

$$R_\mu = 1 \quad T < 0.03^{Sec} \quad (3)$$

برای پریودهای ۰/۵ تا ۰/۱۲ ثانیه :

$$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad 0.5^{Sec} < T < 0.12^{Sec} \quad (4)$$

برای پریودهای بزرگتر از ۱ ثانیه :

$$R_\mu = \mu \quad T > 1^{Sec} \quad (5)$$

#### روش کراوینکلر و نثار :

کراوینکلر و نثار رابطه ای بر اساس  $R_\mu - \mu - T$  را برای سیستم های یک درجه آزادی برای زمین های سنگی و یا خاکی سخت ارائه دادند که بر حسب زمان تناوب سازه و شیب منحنی نیرو- تغییر مکان در قسمت ثانویه ( $\alpha$ ) متغیر است [8,10].

$$R_\mu = [c(\mu - 1) + 1]^{\frac{1}{c}} \quad (6)$$

$$c(T, \alpha) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T} \quad (7)$$

پارامترهای  $a$  و  $b$  برای نسبت های سختی کرنشی ( $\alpha$ ) بصورت زیر محاسبه می شوند.

$$\alpha = 0\% \rightarrow a = 1 \& b = 0.42$$

$$\alpha = 2\% \rightarrow a = 1 \& b = 0.37$$

$$\alpha = 10\% \rightarrow a = 1 \& b = 0.29$$

### روش میراندا و برترو :

میراندا و برترو روابطی را بر اساس  $R_{\mu} - \mu - T$ ، برای زمین های سنگی، رسوبی (آبرفتی) و خاکی نرم سخت ارائه دادند؛ این روش نسبت به دو روش قبل جدیدتر می باشد و طبق توصیه آیین نامه ATC-19 نسبت به دو روش قبل از اعتبار بیشتری برخوردار است، روابط مذکور به شرح زیر می باشند [8,11].

$$R_{\mu} = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \quad (۸)$$

برای زمین های سنگی

$$\phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} e^{-15[\ln(T) - 0.6]^{0.2}} \quad (۹)$$

برای زمین های رسوبی

$$\phi = 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} e^{-2[\ln(T) - 0.2]^{0.2}} \quad (۱۰)$$

برای زمین های خاکی نرم

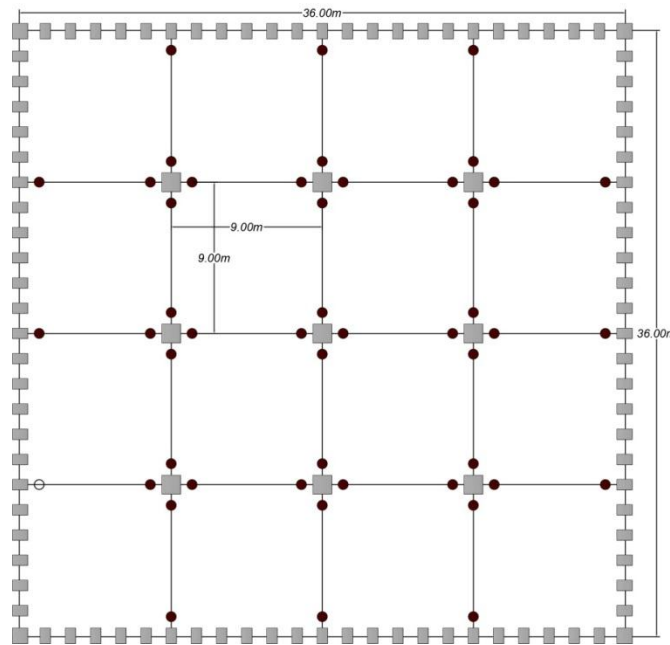
$$\phi = 1 + \frac{T_g}{3T} - \frac{3T_g}{4T} e^{3[\ln(\frac{T}{T_g}) - 0.25]^{0.2}} \quad (۱۱)$$

پس از محاسبه پارامترهای موثر بر ضریب رفتار، با استفاده از فرمول (۱۲) ضریب رفتار سازه محاسبه می شود.

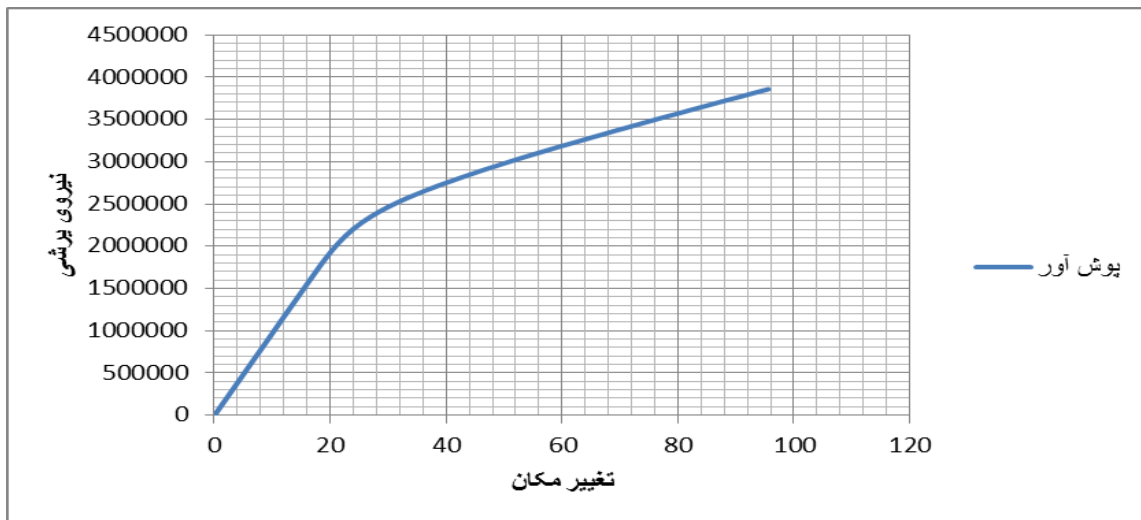
$$R = R_{\mu} . R_s . R_r \quad (۱۲)$$

### ۳. مدل سازه ای

جهت ارزیابی ضریب رفتار سیستم قاب محیطی، ساختمان برج سپهر که دارای ۳۰ طبقه، فاصله ستون های پیرامونی ۱/۵ متر، ارتفاع طبقات ۳/۲ متر و خاک نوع دو که دارای این نوع سیستم سازه ای است به عنوان الگو در نظر گرفته گرفته شده است؛ دو سازه سی طبقه و بیست طبقه مطابق با مشخصات سازه فوق طراحی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که پلان سازه ها در شکل (۱) نشان داده شده است، جهت مدل سازی ساختمان ها از آنالیز استاتیکی غیر خطی توسط نرم افزار PERFORM 3D استفاده گردید [12,13,14]. آنالیز پوش آور، با الگوی بار مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ ویراش چهارم و توزیع نوع اول آیین نامه FEMA356، انجام گرفت [6,15]. پس از انجام آنالیز، نمودار برش پایه- تغییر مکان کلی سازه ها ترسیم و نمودار دوخطی طبق آیین نامه FEMA356 از نرم افزار استخراج گردید؛ سپس پارامترهای دخیل در فرمول ضریب رفتار سازه محاسبه شدند. نتایج بدست آمده از دو روش نیومارک و هال و نیز میراندا و برترو در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل (۱) پلان سازه



شکل (۱) نمودار بار - تغییر مکان سازه ۳۰ طبقه

جدول (۲) ضریب رفتار

| تعداد طبقه |                 | $R_{\mu}$ | $R_s$ | $R_r$ | $R$  | میانگین $R$ |
|------------|-----------------|-----------|-------|-------|------|-------------|
| ۳۰ طبقه    | میراندا و برترو | ۳.۹۴      | ۱.۸۴  | ۱     | ۷.۲۵ | ۷.۲۹        |
|            | نیومارک و هال   | ۳.۹۸      | ۱.۸۴  | ۱     | ۷.۳۴ |             |
| ۲۰ طبقه    | میراندا و برترو | ۳.۸       | ۲.۰۱  | ۱     | ۷.۶۴ | ۷.۵۳        |
|            | نیومارک و هال   | ۳.۶۹      | ۲.۰۱  | ۱     | ۷.۴۲ |             |

#### ۴. نتیجه گیری

- ✓ نتایج فوق نشان می دهند که ضریب رفتار سازه با سیستم قاب محیطی به ضریب رفتار سیستم قاب خمشی ویژه نزدیک است.
- ✓ می توان مشاهده کرد که ارتفاع سازه بر ضریب رفتار آن تاثیر گذار است، بدین صورت که با افزایش ارتفاع سازه، ضریب رفتار آن کاهش می یابد.
- ✓ از نتایج فوق برداشت می شود که لازم است برای طراحی سازه های خاص از ضرایب مخصوص به خودشان استفاده کرد، و یا جهت آنالیز این نوع سازه ها از آنالیز دینامیکی غیر خطی بهره برد.

#### ۵. منابع

- [1] Khan, F. R., & Amin, N. R. (1972). Analysis and design of framed tube structures for tall concrete buildings. *ACI Special Publication*, 36.
- [2] Haji-Kazemi, H. (2002). Exact method of analysis of shear lag in framed tube structures. *The Structural Design of Tall Buildings*, 11(5), 375-388.
- [3] Nouri, F., & Ashtari, P. (2013). Investigation of the shear lag phenomenon and structural behavior of framed-tube and braced-tube tall structures. Paper presented at the International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development, Tabriz, Iran.
- [4] Taranath, B. S. (2009). Reinforced concrete design of tall buildings: CRC press.
- [۵] معصومی، ع. & تسنیمی، ع. (۱۳۸۶). محاسبه ضریب رفتار قاب های خمشی بتن مسلح تهران: نشریه شماره گ-۴۳۶؛ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- [۶] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم. تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. چاپ اول ۱۳۹۳.
- [7] Uang, C.-M. (1991). Establishing R (or R w) and C<sub>d</sub> factors for building seismic provisions. *Journal of structural engineering*, 117(1), 19-28.
- [8] Structural Response Modification Factors, ATC-19. National Science Foundation Grant NO.ECE-8600721 and National Center for Earthquake Engineering Research NCEER Project NO.92-4601.
- [9] Newmark, N. M., & Hall, W. J. (1982). Earthquake Spectra and Design: Engineering Monographs on Earthquake Criteria, Structural Design, and Strong Motion Records. Earthquake Engineering Research Institute Monograph, Berkeley, CA.
- [10] Krawinkler, H., & Nassar, A. A. (1992). Seismic design based on ductility and cumulative damage demands and capacities. *Nonlinear seismic analysis and design of reinforced concrete buildings*, 23-39.
- [11] Miranda, E., & Bertero, V. V. (1994). Evaluation of strength reduction factors for earthquake-resistant design. *Earthquake Spectra*, 10(2), 357-379.
- [12] Ghodsi, T., & Ruiz, J. A. F. Pacific earthquake engineering research/seismic safety commission tall building design case study 2. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 19, 197-256.
- [13] Naish, D. A. B., Fry, A., Klemencic, R., & Wallace, J. *Testing and modeling of reinforced concrete coupling beams* (Vol. 71).
- [14] Powell, G. H. (2007). *Detailed Example of a Tall Shear Wall Building Using CSI's Perform 3D Nonlinear Dynamic Analysis*: Computers & Structures Educational Services.
- [15] Fema. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings: Rehabilitation Requirement s*.