

## بررسی مکانیزم خرابی 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

سیستم قاب محیطی بتن مسلح که در سازه های بلند کاربرد دارد، متشکل از ستون های نزدیک به هم و تیرهای عمیق که در محیط پیرامونی سازه قرار گرفته اند، می باشد. شاخص های خرابی می توانند مبنایی مناسب برای ارزیابی عملکرد و میزان خسارت وارد بر سازه در برابر نیروهای رفت و برگشتی زلزله باشند. در این سیستم به علت داشتن تیرهای عمیق ممکن است پدیده تیر قوی ستون ضعیف رخ دهد، بنابراین با دانستن شاخص های خرابی سازه می توان علاوه بر داشتن درک صحیح از رفتار آن، نسبت به تبیین خطوط قرمز طراحی اقدام نمود. هدف از این مقاله بررسی شاخص خرابی تیر و ستون در سیستم قاب محیطی بتن مسلح تحت زلزله های مختلف می باشد؛ لذا ساختمان ۳۰ طبقه برج سپهر که دارای این سیستم می باشد، به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. برای این منظور هفت زوج شتاب نگاشت متناسب از زوج شتاب نگاشت های منتخب نشریه FEMA-P695 انتخاب و در دو سطح DBE و MCE به منظور تحلیل دینامیکی غیر خطی مقیاس شدند. نتایج نشان دادند که در طبقات پایین ساختمان، خرابی ستون ها از تیرها بیشتر است؛ همچنین در نقاط برخورد تیرهای پیرامونی و میانی خرابی تیرهای عمیق بیشتر می شود؛ بدین معنا که بار ثقلی بر خرابی تیرهای پیرامونی تأثیر بسزایی دارد.

**واژه های کلیدی:** سازه بلند، سیستم قاب محیطی، تحلیل دینامیکی غیر خطی، شاخص خرابی

# Investigating Failure Mechanism 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

Reinforced concrete framed tube system, which is used in high-rise structures, consists of closely-spaced columns and deep beams which are located in the surroundings of the structure. damage index can be perfect basis for evaluating the structural performance under earthquakes' reciprocating forces and the amount of structural damage. Due to the presence of deep beams in this system, the strong beam-weak column phenomenon may occur. Therefore, by knowing the parameters of structural failure, a correct understanding of its behavior can be achieved and also the design's redlines can be clarified. This study aimed to evaluate the damage index of beams and columns in reinforced concrete framed tube system under various earthquakes. Therefore, the 30-storey Sepehr Tower, which is equipped with this system, was chosen as the case study. For this purpose, seven pairs of suitable accelerograms were chosen among the favorite pairs of accelerograms in the FEMA-P695; and they were scaled in two levels of DBE and MCE for nonlinear dynamic analysis. The results showed that failure columns is higher than failure beams in the lower floors of the building. Also failure of deep beam is higher in the intersection of peripheral and central beams; this means that gravity load has a considerable impact on the failure of peripheral beams.

**Key words:** high-rise structure, framed tube system, nonlinear dynamic analysis, damage index

## ۱. مقدمه

با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی نیاز به ساختمان های بلند کاملاً مشهود بوده و 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 ترکیبی از ستون های نزدیک به هم و تیرهای عمیق است، که در محیط پیرامونی سازه قرار گرفته است، اتصال ستون های پیرامونی به تیرهای عمیق به صورت صلب (با گیرداری خمشی) است [۱] و [۲] و [۳]. رفتار سیستم لوله ای تحت اثر بارهای جانبی مشابه خمش یک طره توخالی است، با این تفاوت که پدیده نامطلوب لنگی برشی در آن دیده می شود. در این سیستم کف های سخت طبقات به توزیع نیروهای جانبی بین قاب های محیطی کمک می کنند [۴] و [۵]. از مزایای این سیستم می توان به، بازده ای مناسب از لحاظ اقتصادی (صرفه جویی در مصرف مصالح)، کاهش تغییر شکل های کلی ساختمان و تغییر شکل های نسبی طبقات، انعطاف پذیری زیاد در تقسیم بندی فضای داخلی به دلیل فاصله زیاد ستون های داخلی، امکان استفاده از روش های پیشرفته بدلیل یکنواختی این سیستم (مانند ساخت قطعات بزرگ در کارخانه در سازه های فولادی و بکارگیری قالب لغزنده در سازه های بتنی) اشاره کرد [۶]. لازمه تحلیل و طراحی این نوع سازه ها، آگاهی از رفتار لرزه ای آنها می باشد. با بررسی خرابی، نقاط ضعف و قوت سازه ها مشخص شده و به ارزیابی رفتار کلی سازه کمک می کند. در تجزیه و تحلیل خسارت وارد بر یک سازه پس از رخداد یک حادثه مخرب، برآورد میزان دقیق خسارت وارد بر هر نقطه از سازه غیرممکن به نظر می رسد. لذا معرفی شاخص هایی برای ارزیابی میزان خسارت وارد بر المان های سازه ضروری می باشد. شاخص های خرابی معیاری برای ارزیابی میزان خسارت وارده بر سازه می باشند. این شاخص ها می توانند مبنایی مناسب برای ارزیابی عملکرد سازه در برابر نیروهای رفت و برگشتی زلزله باشند. شاخص های خرابی تابعی از شکل پذیری سازه، انرژی مستهلک شده در سازه، دامنه، زمان و تعداد دورهای بارگذاری می باشند. در این سیستم ها به علت داشتن تیرهای عمیق ممکن است پدیده تیر قوی ستون ضعیف رخ دهد، بنابراین با دانستن شاخص های خرابی یک سازه می توان علاوه بر داشتن درک صحیح از رفتار آن، نسبت به تبیین خطوط قرمز طراحی اقدام نمود. همچنین برای کنترل وضع موجود یک سازه، دانش نحوه خرابی آن جهت ارائه برنامه های بهسازی الزامی است، لذا در این تحقیق، مکانیزم خرابی سیستم قاب محیطی بتن مسلح مورد بررسی قرار می گیرد.

## ۲. شاخص خرابی

جهت محاسبه شاخص خرابی از روش ارائه شده توسط پارک و همکارانش استفاده می شود که در آن می توان اثر کاهش سختی، مقاومت و لغزش را در نظر گرفت و در تحقیقات بسیاری به عنوان یکی از شاخص های معتبر مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص برای چندین سازه واقعی مورد ارزیابی قرار گرفته و کالیبره شده است و در ضمن، حدود این شاخص با توجه به آزمایش های واقعی، برای میزان خسارت وارد بر سازه، تعیین شده است و هر عدد محاسبه شده از این شاخص متناظر با یک سطح خسارت معین در سازه است [۷]. از دیگر مزیت ها می توان به وجود تعاریف کیفی سطوح خسارت متناظر با مقدار شاخص پارک-انگ اشاره نمود، که باعث می شود، آن را با سطوح عملکردی و ارزیابی عملکرد سازه ها بر اساس معیار واقعی و همچنین ارزیابی ضوابط آیین نامه، متناظر کرد. این شاخص از رابطه (۱) بدست می آید [۸].

$$DI = \frac{\delta_m}{\delta_u} + \frac{\beta}{\delta_u \cdot P_y} \int dE_h \quad (1)$$

$\delta_m$ : تغییر شکل ماکزیمم ناشی از بار زلزله  
 $\delta_u$ : تغییر شکل نهایی قابل تحمل اعضا  
 $P_y$ : مقاومت حد تسلیم  
 $\beta$ : پارامتر کاهش مقاومت

$$\int dE_h$$

انرژی هیسترسیز جذب شده توسط عضو در طول تحلیل تاریخچه زمانی پاسخ

جدول (۱) مقادیر شاخص خسارت کالیبره شده را نشان می دهد که اساس ارزیابی خسارت ها نشان می دهد [۹] و [۱۰].

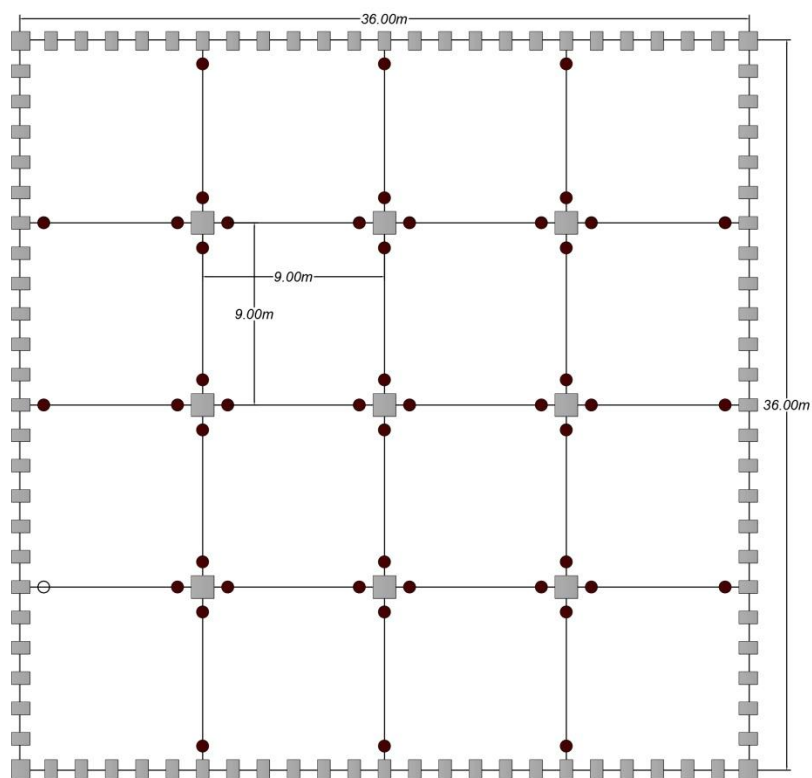
جدول (۱) جزییات خسارت متناسب با شاخص پارک-انگ

میزان خسارت	ظاهر ساختمان	شاخص خسارت	سطح عملکرد	وضعیت ساختمان
فرو ریزش	فرو ریختن موضعی یا کلی ساختمان	$1 <$	COLAPSE	تخریب
شدید	خرد شدن گسترده بتن، نمایان شدن آرماتورهای کمانه کرده	$0.4 - 1$	CP <sup>۱</sup>	استانه فرو ریزش
متوسط	ترک های بزرگ و گسترده، متورق شدن بتن در اعضای ضعیف تر	$0.25 - 0.4$	LS <sup>۲</sup>	ایمنی جانی
کم	ترک های کوچک، خرد شدن موضعی بتن در ستون ها	$0.1 - 0.25$	IO <sup>۳</sup>	استفاده بی وقفه
ناچیز	بروز ترک های پراکنده	$0.1 >$	OP <sup>۴</sup>	خدمت رسانی بی وقفه

### ۳. تحلیل مدل سازه ای

جهت ارزیابی خرابی سیستم قاب محیطی از ساختمان برج سپهر که دارای ۳۰ طبقه، فاصله ستون ها از هم ۱/۵ متر، ارتفاع طبقات ۳/۲ متر و خاک نوع دو که دارای این نوع سیستم سازه ای است، به عنوان مطالعه موردی الگو گرفته شده و طراحی شده است، که پلان سازه در شکل (۱) نشان داده شده است، جهت مدل سازی ساختمان از آنالیز دینامیکی غیر خطی توسط نرم افزار PERFORM 3D استفاده گردید [۱۱] و [۱۲] و [۱۳]. برای این مقصود هفت زوج شتاب نگاشت دور از گسل متناسب با شرایط ساختمان و ساختگاه آن (طبق ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰)، از شتاب نگاشت های پیشنهاد شده توسط نشریه FEMA-P695 انتخاب شد. و در دو سطح زلزله مبنای طرح (DBE<sup>۵</sup>) و ماکزیمم زلزله محتمل (MCE<sup>۶</sup>) مقیاس شدند [۱۴]. مشخصات زلزله های مذکور در جدول (۲) ارائه شدند [۱۵].

1. Collapse Prevention Performance.  
 2. Life Safety Performance  
 3. Immediate Occupancy Performance  
 4. Operational Performance  
 5. Design Base Earthquake  
 6. Maximum Considered Earthquake



شکل (۱) پلان سازه

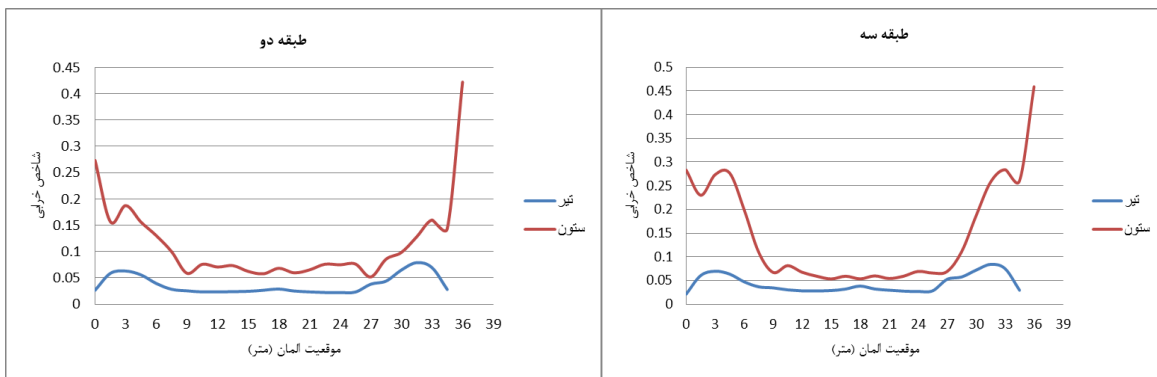
جدول (۲) مشخصات زلزله های مورد استفاده

نام زلزله	نام ایستگاه	سال	بزرگا	بیشینه شتاب
Hector Mine	Hector	1999	7.1	0.34
Kobe, Japan	Nishi-Akashi	1995	6.9	0.51
Kocaeli, Turkey	Arcelik	1999	7.5	0.22
Manjil, Iran	Abbar	1990	7.4	0.51
Chi-Chi ,Taiwan	TCU045	1999	7.6	0.51
Friuli, Italy	Tolmezzo	1976	6.5	0.35
Northridge	Beverly Hills	1994	6.7	0.52

#### ۴. بررسی عملکرد

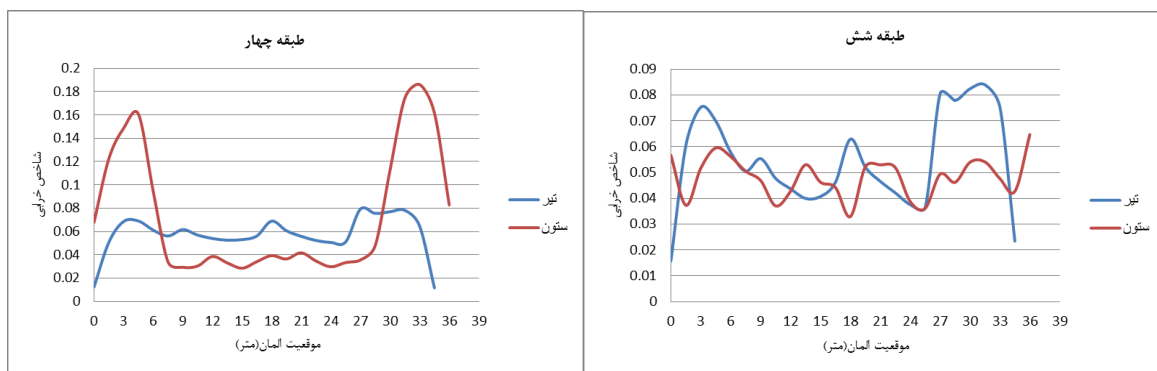
سازه تحت زلزله های مقیاس شده در دو سطح DBE و MCE مورد تحلیل قرار گرفت، پس از آنالیز های انجام گرفته و محاسبه شاخص خرابی اعضای سازه با استفاده از روابط آقای پارک و همکارانش، نمایان گردید که خرابی ستون ها در سه طبقه اول ساختمان بخصوص در کناره ها بیشتر از تیرها بوده و در طبقه سوم بیشترین خرابی در ستون ها رخ می دهد؛ در طبقه چهارم به بعد، خرابی ستون ها کم شده و خرابی تیر ها افزایش می یابد، بطوری که فقط خرابی چهار ستون کناری بیشتر از تیرهای مجاور خود هستند، همچنین با افزایش ارتفاع از تعداد ستون هایی که خرابی بیشتر از تیرهای مجاور دارند کاسته می شود، تا اینکه در طبقه ششم خرابی تیر ها و ستون ها تقریباً برابر شده و از آن پس خرابی تیر ها بیشتر از ستون ها است، شکل های (۲) تا (۸) بیانگر توضیحات فوق می باشند.

شکل های (۲) تا (۸) نشان دهنده خرابی اعضا ساختمان در زلزله سطح DBE هستند.



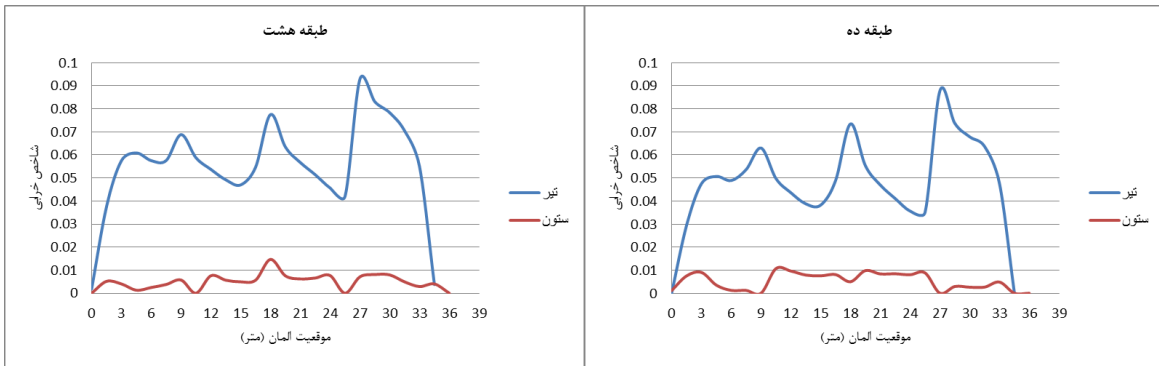
شکل (۲) خرابی المان های طبقه ۲

شکل (۳) خرابی المان های طبقه ۳



شکل (۴) خرابی المان های طبقه ۴

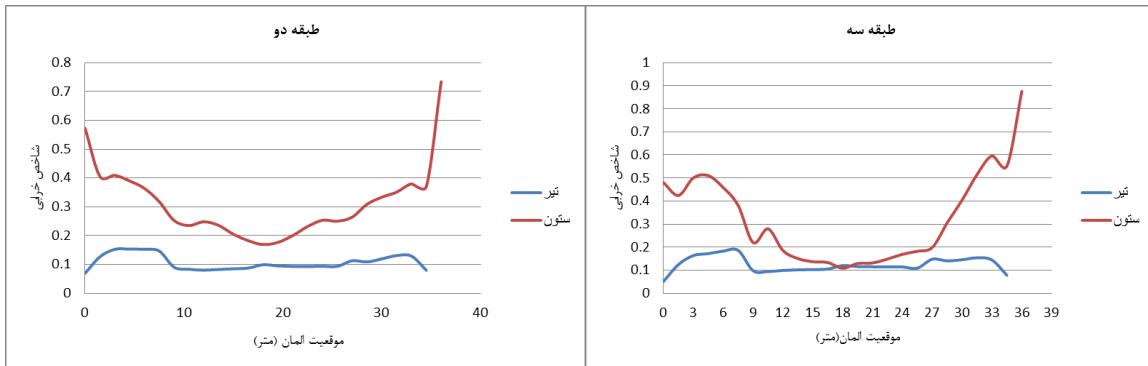
شکل (۵) خرابی المان های طبقه ۶



شکل (۷) خرابی المان های طبقه ۸

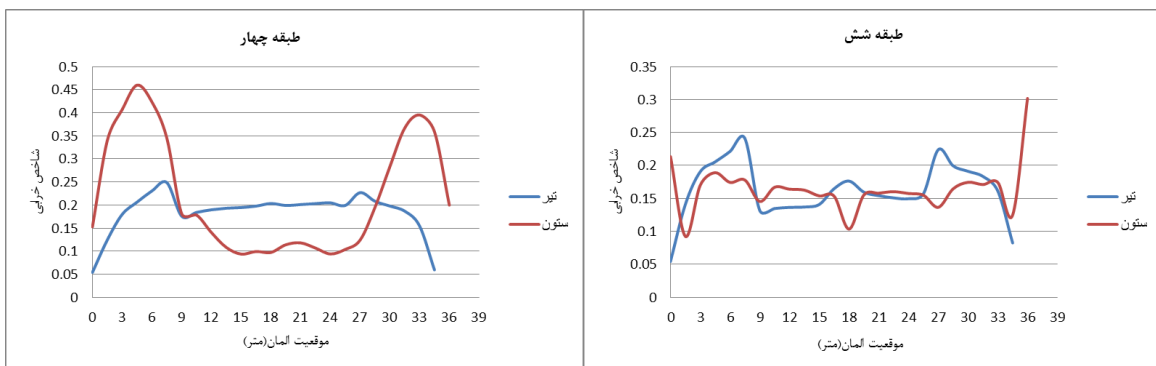
شکل (۸) خرابی المان های طبقه ۱۰

همچنین شکل های (۸) تا (۱۴) خرابی اعضا را تحت زلزله های سطح MCE نشان می دهند.



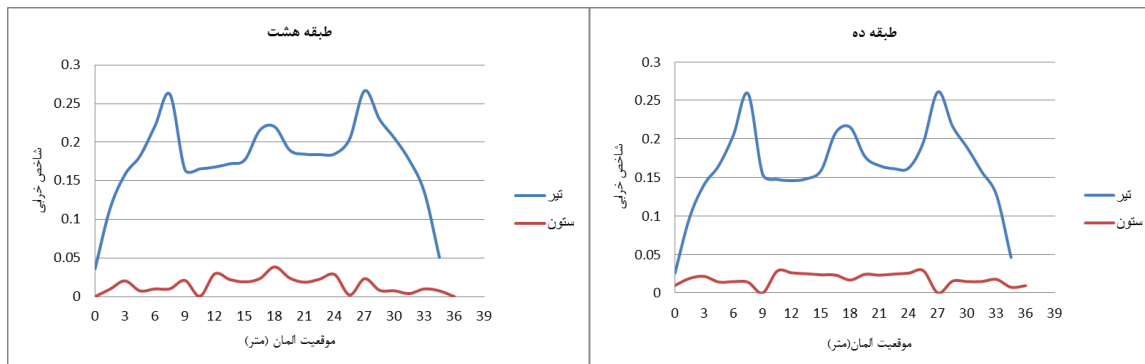
شکل (۱۰) خرابی المان های طبقه ۲

شکل (۹) خرابی المان های طبقه ۳



شکل (۱۲) خرابی المان های طبقه ۴

شکل (۱۱) خرابی المان های طبقه ۶



شکل (۱۴) خرابی المان های طبقه ۸

شکل (۱۳) خرابی المان های طبقه ۱۰

## ۵. نتیجه گیری

- ✓ نتایج نشان می دهند که در طبقات پایین ساختمان خرابی ستون های کناری از تیرهای مجاور خود بیشتر بوده و پدیده تیر قوی- ستون ضعیف رخ داده است، با توجه به اینکه از تیر عمیق استفاده می شود و نیز در کناره های سازه، نیروی محوری ستون ها زیاد است، می بایست برای طراحی این گونه سازه ها الزامات بخصوصی تبیین شود.
- ✓ با توجه به جدول (۱) هیچ یک از اعضا از سطح عملکرد CP فراتر نرفتند؛ به عبارت دیگر در هیچ عضوی گسیختگی کامل رخ نداده و سازه پا برجا باقی مانده است.
- ✓ از مشاهده اشکال (۲) تا (۱۴) می توان پدیده لنگی برشی را بخصوص در طبقات پایین ساختمان به وضوح مشاهده کرد که برای تایید این پدیده نیرو محوری ستون ها تحت آنالیز استاتیکی غیر خطی مورد بررسی قرار گرفتند و پدیده لنگی برشی نمایان شد.
- ✓ در محل تقاطع تیرهای میانی و تیرهای کناری خرابی تیرهای عمیق افزایش یافته است؛ به عبارت دیگر در محل انتقال بار مرده سقف به تیرهای عمیق و ستون های اطراف، خرابی تیرهای عمیق افزایش چشم گیری داشته اند.

## ۶. مراجع

[۱] استفورد، اسمیت؛ کؤل، الکس. (۱۹۳۱). آنالیز و طراحی سازه های بلند. ترجمه حسن حاج کاظمی. مشهد. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۷۵.

- [2] Anderson, J. C., Chen, W., & Yin, P. (1997). Seismic behavior of a high strength concrete framed tube. *The Structural Design of Tall Buildings*, 6(4), 333-350.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Khan, F. R., & Amin, N. R. (1972). Analysis and design of framed tube structures for tall concrete buildings. *ACI Special Publication*, 36.



- [6] Taranath, B. S. (2009). *Reinforced concrete design of tall buildings*: CRC press.
- [۷] حبیبی ، علیرضا . " ارزیابی عملکرد لرزه ای قاب های خمشی بتن مسلح با استفاده از شاخص های خرابی ". نشریه علمی-پژوهشی عمران و محیط زیست دانشگاه امیر کبیر .دوره چهل و چهار ، شماره ۱ . صفحه ۱۱-۱۹ . تابستان ۹۱ .
- [8] Park, Y. J., & Ang, A. H. S. (1985). Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete. *Journal of structural engineering*.
- [9] Comartin, C. D., Niewiarowski, R. W., Freeman, S. A., & Turner, F. M. (2000). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings: a practical overview of the ATC 40 Document. *Earthquake Spectra*, 16(1), 241-261.
- [10] Fema. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings: Rehabilitation Requirement s*.
- [11] 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.
- [12] Naish, D. A. B., Fry, A., Klemencic, R., & Wallace, J. *Testing and modeling of reinforced concrete coupling beams* (Vol. 71.)
- [13] Powell, G. H. (2007). *Detailed Example of a Tall Shear Wall Building Using CSI's Perform 3D Nonlinear Dynamic Analysis*: Computers & Structures Educational Services.
- [۱۴] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم . تهران ، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی . چاپ اول ۱۳۹۳.
- [15] Federal Emergency Management, A. (2009). Quantification of Building Seismic Performance Factors: FEMA P695, Washington, DC.