



The importance of accidental design eccentricity in seismic design of steel buildings with dual system under the effect of far- and near-fault ground motions

Mohammad Reza Vafidsarkari¹, Mehdi Poursha^{2,*}

¹ Master of science in Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Sahand University of Technology

² Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Sahand University of Technology

ABSTRACT: Seismic responses of buildings are amplified due to torsion. To account for the effects that cause torsion and are not considered in the design process of buildings, the seismic codes introduce “accidental design eccentricity (ADE)”. In this study, the adequacy of the Iranian Standard No. 2800 provisions about the design eccentricity was investigated. To this end, the 5-story torsionally-stiff and torsionally-flexible buildings with dual lateral load resisting system were studied. The mass eccentricity in plan-asymmetric buildings was assumed to be equal to 0.10b and 0.20b where b is the plan dimension. Nonlinear time history analyses were performed using far-field (FF), non-pulse (NP) and pulse-like (FD) near-field records for the models in two cases. In the first case, the effect of the ADE on the seismic demands of symmetric and asymmetric-plan buildings was investigated. Finally, to consider what happens when an actual accidental mass eccentricity (AME) is introduced in an already designed building, the mass center of the buildings was shifted by $\pm 0.05b$ (b is the dimension of the building perpendicular to the earthquake direction) simultaneously in both directions and the buildings (with and without ADE) were analyzed for the earthquake sets described above. For the buildings investigated in this research, the results indicate that the provision related to the accidental design eccentricity has little influence (less than 10%) on the inelastic seismic responses for torsionally-stiff buildings and can be ignored. Also, the accidental mass eccentricity has more influence (maximum 38%) on the inelastic seismic responses of torsionally-flexible buildings but the accidental design eccentricity has less influence on the reduction of seismic responses. Therefore, it seems that the accidental design eccentricity needs to be modified for torsionally-flexible buildings.

Review History:

Received: 2019-01-12

Revised: 2019-05-16

Accepted: 2019-05-16

Available Online: 2019-06-17

Keywords:

Accidental eccentricity

near-field

forward directivity

torsionally-stiff buildings

torsionally-flexible buildings

1. INTRODUCTION

Seismic responses of buildings are amplified due to torsion. To account for the effect of factors that are not considered in the design process of buildings, such as non-uniform ground motion (due to wave travelling effects and motion incoherence) and consequent excitation differences at the support points, the presence of non-structural elements not accounted for in the design, unknown non-symmetric distributions of live loads or differences between actual and design distributions of mass, stiffness and strength, the seismic codes introduce “accidental design eccentricity” (ADE) [1]. This provision in Standard No. 2800 [2] requires that lateral forces should be applied with an eccentricity at least 5% of plan dimension perpendicular to the ground motion direction multiplied by torsional amplification factor (A_j), in both positive and negative directions.

$$A_j = (\Delta_{\max} / (1.2\Delta_{\text{ave}}))^2 \quad 1 \leq A_j \leq 3(1)$$

in which Δ_{\max} and Δ_{ave} are the maximum and average displacements at the level considered assuming $A_j = 1$. In the

*Corresponding author's email: poursha@sut.ac.ir

dynamic analysis, the center mass in each floor should be displaced by a certain amount of accidental design eccentricity (ADE). In this study, the adequacy of the provisions of Standard No. 2800 about the accidental design eccentricity for steel buildings with dual system under the effect of far- and near-fault ground motions was investigated.

2. METHODOLOGY

In this paper, 5-story torsionally-stiff (TS) and torsionally-flexible (TF) buildings with dual lateral load resisting system having moderate steel moment resisting frame with special braced frame in both directions were studied. The story heights were equal to 3.2 m for all buildings. The layouts of the TS and TF buildings are shown in Fig. 1. The dead and live loads were equal to 650 and 200 kg/m² on the floor area. For each group of the TS and TF buildings, in addition to the symmetric building ($e_m=0.00$), asymmetric buildings with bidirectional initial mass eccentricity with $e_m=0.10b$ and $e_m=0.20b$ were designed for the three different ADEs: ADE=0.00, ADE=0.05b and ADE= $A_j \cdot 0.05b$. The buildings studied were designed according to AISC 360-10 [3] and Standard No. 2800 for the seismic category with a very high seismicity hazard level, moderate importance and soil type



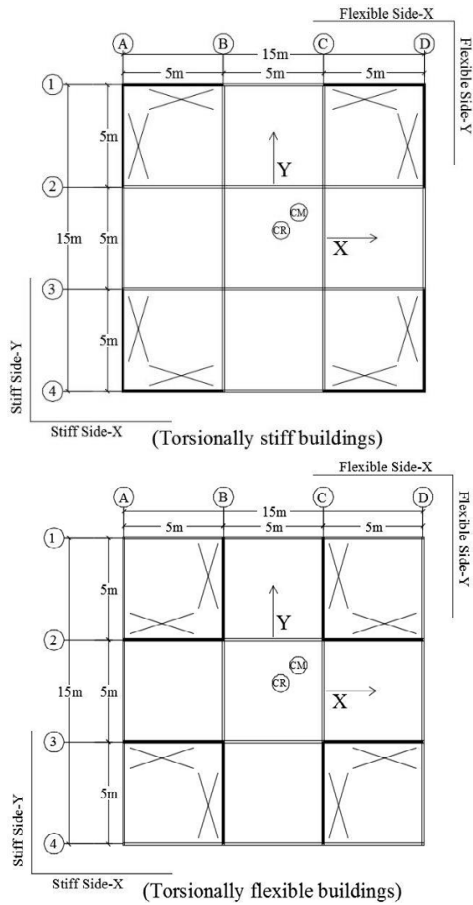


Fig. 1. Layout of the buildings.

II. The models, used for both design and analyses, were 3-D with lumped masses and the P-Δ (second order) effects due to gravity loads were included. The frame closer to the center of rigidity (CR) is the “stiff side” and the frame farthest from the CR is the “flexible side”.

The non-linear analyses were carried out by means of the program SAP2000 [4] using the three set of ground motion records including near-fault records with forward-directivity pulse (FD), near-fault records without forward directivity pulse (NP) and far-fault (FF) records. The near-fault records were chosen from stations within 20 km of the rupturing fault. The records were selected from the Pacific Earthquake Engineering Research Center database [5]. For this purpose, this investigation was performed in two cases. In the first case, the effects of different ADEs on the ductility demands of the buildings including the symmetric and asymmetric-plan buildings were investigated. Finally, to understand what happens when an actual accidental mass eccentricity (AME) is introduced in an existing (already designed) building, the mass center of all the buildings was shifted by ±0.05L and the buildings were analyzed for the earthquake sets described above and the relevant results were shown in the figures by E. Each set of the ground motion records was scaled according to Standard No. 2800. The two components of each set of records were applied in the form of (X, Y) and (X, -Y) such that the component with pulse or large peak ground motion was applied along the X direction. Material nonlinearity was modelled with the well-known plastic hinge model according

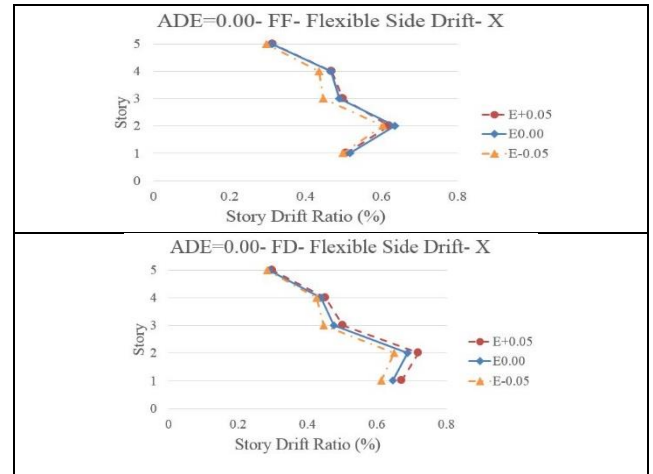


Fig. 2. The effects of AME=0.05b on the story drifts at the flexible side of the symmetric TS buildings.

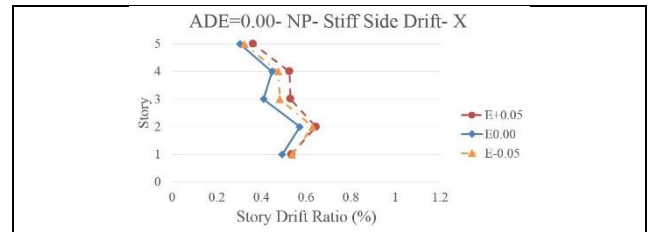


Fig. 3. The effects of AME=±0.05b on the story drifts at the flexible side of the symmetric TF buildings.

to ASCE/SEI 41-13 [6].

3. DISCUSSION AND RESULTS

Seismic demands reported in this article include the story drifts and the brace ductility demands in tension and compression. The results show that the amplification factor obtained for the ADE does not affect the design of this type of buildings.

3.1. Torsionally-stiff buildings (TS)

ADE=0.05b was effective only for the building with $e_m=0.10b$ and reduced the seismic responses as a result of the increase in the brace size at the stiff side of the 3rd story. ADE=0.05b was not effective on the symmetric and asymmetric buildings with $e_m=0.20b$. However, the reduction in the story drifts, as a result of ADE, are small (less than 10%). Applying AME=±0.05b for the cases designed with and without ADE=0.05b shows that the effect of AME=±0.05b on the story drifts for symmetric ones is larger than the other ones. Also, a comparison between the story drifts derived from the three sets of the ground motions indicates that difference between the FD and FF records in the X direction for asymmetric buildings with $e_m=0.10b$ is about 23% and 35% at the stiff and flexible sides, respectively (Fig. 2).

3.2. Torsionally-flexible buildings (TF)

Applying ADE=0.05b did not have an influence on the asymmetric buildings.

Applying ADE=0.05b causes a reduction in the seismic

responses as a result of the increase in the brace size of the 4th story. In the symmetric building, applying $AME=\pm 0.05b$ results in an increase in the story drifts in both sides. In the asymmetric building with $e_m=0.10b$, $AME=\pm 0.05b$ causes the increase and decrease at the flexible and stiff sides, respectively. The maximum increase in the story drifts as a result of $AME=-0.05b$ in the X and Y directions for the symmetric building subjected to the NP records at the stiff side is at least 31 and 38%, respectively (Fig. 3). Also, the story drifts obtained for the FD set is larger than the other records, where these differences increase with an increase in the initial mass eccentricity. In the TF building with $e_m=0.20b$, the maximum difference between the FD and the other sets (NP, FF) in the X direction for the flexible side amounts to 73.8 and 78.5%, respectively.

4. CONCLUSIONS

1. The results indicate that the provision of the accidental eccentricity in the Standard No. 2800 is valid for torsionally-stiff buildings.
2. Among the torsionally-flexible buildings, the symmetric building has a high sensitivity to the AME and the

sensitivity decreases with the increase in the initial mass eccentricity. The AME has much effect on the torsionally-flexible buildings, but the ADE has less effect on the seismic responses. Therefore, it seems that the ADE provision in the Standard No. 2800 needs to be revised.

5. REFERENCES

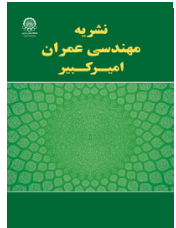
- [1] S. Anagnostopoulos, M. Kyrkos, K. Stathopoulos, Earthquake induced torsion in buildings: critical review and state of the art, *Earthquakes and Structures*, 8(2) (2015) 305-377.
- [2] Standard No. 2800-15. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. Fourth ed. Iran: Building & Housing Research Center, (2015).
- [3] Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-10), American Institute of Steel Construction, Chicago-Illinois, (2010).
- [4] SAP2000, Computers and structures Inc, Berkeley, CA, USA, (2016).
- [5] Peer ground motion database, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, <http://ngawest2.berkeley.edu>, (2017).
- [6] ASCE, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Standard ASCE/SEI 41-13, in, ASCE Reston, VA, 2013.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

M.R. Vafidsarkari, M. Poursha, *The importance of accidental design eccentricity in seismic design of steel buildings with dual system under the effect of far- and near-fault ground motions*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 52(7) (2020) 419-422.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15618.5975](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15618.5975)





بررسی اهمیت خروج از مرکزیت اتفاقی در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی با سیستم دوگانه تحت اثر زلزله‌های حوزه دور و نزدیک گسل

محمد رضا وفیدس‌کاری^{۱*}، مهدی پورشاء^۲

^۱ کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران
^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

خلاصه: در پی تشدید پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان‌ها در اثر پیچش، به منظور در نظرگیری عواملی که تاثیر آن‌ها در طراحی ساختمان به صراحت در پاسخ پیچشی لحاظ نمی‌گردند، آیین‌نامه‌ها ضابطه‌ای را با نام خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی معرفی می‌نمایند. در این مطالعه، تاثیر ضابطه خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی استاندارد زلزله ۲۸۰۰ در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی متقارن و نامتقارن ۵ طبقه، دارای سیستم باربر جانبی دوگانه، در دو حالت پیچشی سخت و نرم با خروج از مرکزیت‌های جرمی اولیه $0.10b$ و $0.20b$ (b بعد ساختمان عمود بر امتداد زلزله) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، ساختمان‌ها تحت تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی با بکارگیری سه دسته رکورد زلزله حوزه دور و نزدیک گسل پالس‌دار و بدون پالس قرار می‌گیرند. در مرحله اول، تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی روی ساختمان‌های متقارن و نامتقارن بررسی گردید. در مرحله دوم، ساختمان‌ها یکبار با منظور نمودن اثر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی و یکبار بدون این اثر با اعمال خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی و جابجا نمودن مرکز جرم به مقدار ۵ درصد بعد ساختمان بطور همزمان در دو جهت X و Y تحت تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفت. نتایج برای ساختمان‌های مورد بررسی در این مطالعه نشان می‌دهند که ضابطه خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی تاثیر اندکی (کمتر از ۱۰ درصد) در پاسخ‌های لرزه‌ای بررسی شده دارد. از طرف دیگر، خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی تاثیر بیشتری (تا ۳۸ درصد) در ساختمان‌های پیچشی نرم دارد، ولی ضابطه خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی تاثیر اندکی روی کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای دارد. بنابراین، بنظر می‌رسد که ضابطه خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی برای ساختمان‌های پیچشی نرم نیاز به اصلاح دارد.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۱۰-۲۲

بازنگری: ۱۳۹۸-۰۲-۲۶

پذیرش: ۱۳۹۸-۰۲-۲۶

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸-۰۳-۲۷

کلمات کلیدی:

خروج از مرکزیت اتفاقی

حوزه نزدیک گسل

جهت‌داری پیشرو

ساختمان پیچشی سخت

ساختمان پیچشی نرم

۱- مقدمه

مشکل است که پیچش ناشی از این عوامل تحت عنوان پیچش اتفاقی بررسی می‌شوند. پیچش اتفاقی جهت لحاظ نمودن اختلاف بین توزیع جرم، سختی و مقاومت در تحلیل و مقادیر واقعی در لحظه زلزله، پیچش ناشی از مؤلفه پیچشی زلزله و دیگر منابع پیچش بکار می‌رود، که در طراحی به صراحت در نظر گرفته نمی‌شوند. از جمله منابع دیگر پیچش، می‌توان به زمین لرزه‌های غیر متجانس که به تحریک متفاوت نقاط تکیه‌گاهی منجر می‌گردد؛ وجود اجزای غیرسازه‌ای و اعضای دارای سختی و مقاومت که در طراحی لحاظ نگردیده‌اند و توزیع نامتقارن بارهای زنده اشاره نمود. در آیین‌نامه‌های ساختمانی

ساختمان‌ها تحت زمین‌لرزه، متحمل حرکات جانبی و پیچشی می‌شوند [۱]. منابع رفتار پیچشی به دو گروه تقسیم‌بندی می‌گردد: پیچش طبیعی (اصلی یا ذاتی) و پیچش اتفاقی. پیچش طبیعی می‌تواند ناشی از منابع قابل پیش‌بینی و سنجش مانند هندسه نامتقارن ساختمان و توزیع نامتقارن سختی، مقاومت عضو و جرم ساختمان باشد [۲]. درحالی‌که، عوامل دیگری هستند که تعیین مقدار آن‌ها سخت یا غیرممکن بوده و در نظرگیری آن‌ها بطور مستقیم در طراحی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: m_vafidsarkari@sut.ac.ir



برای در نظرگیری پیش از خروج از مرکزیت اضافی بنام "خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی" (ADE^1) معرفی می‌گردد. در تحلیل دینامیکی ساختمان، زمانیکه مدل‌های سازه‌ای سه بعدی استفاده شوند، باید چهار حالت بارگذاری اضافی با تغییر محل مرکز جرم همه کف‌ها برابر با مقدار $ADE=e_a$ در امتداد محورهای X و Y ساختمان و در هر دو جهت مثبت و منفی لحاظ گردد [۳].

تحقیقات دِ لا لرا و چوپرا در سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۴ با بررسی رکوردهای ثبت شده در سه ساختمان، نشان داد که ضوابط پیش از اتفاقی مبنی بر خروج از مرکزیت ۵ درصد بعد پلان، در حرکات پیچشی ساختمان‌های مورد مطالعه طی زلزله‌های ثبت شده کافی می‌باشد. با این حال، این حرکات سبب افزایش نیروهای اعضا در یکی از ساختمان‌ها به اندازه ۳۰ درصد گردید. در نظرگیری پیش از اتفاقی در طراحی دو مورد از این ساختمان‌ها برای زمین لرزه‌های ثبت شده نیاز نمی‌باشد. در این تحقیق پیش از اتفاقی ناشی از مولفه پیچشی زلزله، ۲۵ الی ۴۰ درصد از پیش از اتفاقی کل در ساختمان‌های مورد بررسی برآورد گردید. ضابطه پیش از اتفاقی در آیین‌نامه‌های ساختمانی بویژه زمانیکه تقریب‌های زیادی از جمله تیبندی در طراحی اعضا در نظر گرفته شده باشد تاثیر اندکی در سایش‌بندی، جزئیات اعضا و اتصالات این ساختمان‌ها دارد. ساختمان‌ها خیلی کم تحت تاثیر ضابطه خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی $\pm 0.05b$ قرار می‌گیرند؛ در صورتیکه اعمال ضابطه آیین‌نامه‌ای خروج از مرکزیت اتفاقی در طراحی، کاری سخت و طاقت فرسا می‌باشد [۴، ۵]. در سال ۱۹۹۴ دِ لا لرا و چوپرا با بررسی افزایش پاسخ ناشی از خروج از مرکزیت اتفاقی حاصل از عدم قطعیت در سختی، نشان دادند که افزایش پاسخ حاصل از عدم قطعیت در سختی، نسبتاً به پرورد ارتعاشی انتقالی غیردرگیر، T_y حساس نمی‌باشد. ساختمان‌هایی که بعد پلان آن‌ها در جهت عمود بر امتداد زلزله نسبت به بعد دیگر خیلی بزرگ باشد، b/r بزرگتر تاثیر زیادی در افزایش پاسخ ناشی از پیش از اتفاقی دارد که b بعد ساختمان عمود بر جهت زلزله و r شعاع ژیراسیون پلان حول مرکز جرم می‌باشد. همچنین خروج از مرکزیت اتفاقی ناشی از عدم قطعیت در سختی خیلی کمتر از خروج از مرکزیت تعریف شده $0.05b$ یا $0.1b$ در بسیاری از آیین‌نامه‌های ساختمانی است [۶]. در سال ۱۹۹۴ دِ لا لرا و چوپرا به ارزیابی اختلاف پاسخ ساختمان حاصل

1 Accidental Design Eccentricity

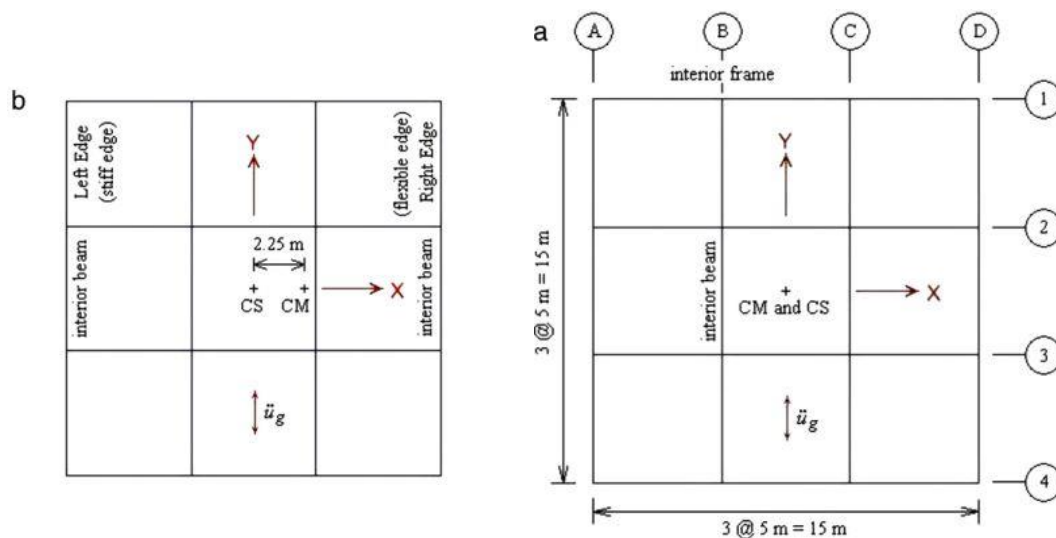
از بکاربردن خروج از مرکزیت اتفاقی تعیین شده توسط آیین‌نامه βb در تحلیل‌های دینامیکی و استاتیکی ساختمان‌ها پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش پاسخ ساختمان در اثر خروج از مرکزیت اتفاقی به مقدار نسبت فرکانسی Ω سیستم بستگی دارد. افزایش پاسخ ناشی از خروج از مرکزیت اتفاقی برای سیستم‌های متقارن در مقایسه با سیستم‌های نامتقارن بزرگتر می‌باشد؛ بدین معنی که سیستم‌های متقارن معمولاً نسبت به معرفی خروج از مرکزیت اتفاقی خیلی حساس می‌باشند [۷]. در سال ۱۹۹۴ دِ لا لرا و چوپرا با بررسی تاثیر حرکت دورانی شالوده روی خروج از مرکزیت اتفاقی نشان دادند که جابجایی‌های سازه‌ای حاصل از تحریک دورانی با بعد پلان b افزایش می‌یابد. میزان افزایش جابجایی‌ها در ساختمان‌های متقارن حاصل از پیش از اتفاقی به علت مولفه پیچشی زلزله برای سیستم‌های با پرورد‌های ارتعاشی کوتاه (کمتر از حدود نیم ثانیه) و پیچشی نرم ($\Omega < 1$)، بیشتر می‌باشد. این افزایش جابجایی‌ها برای سیستم‌های با پرورد بلند (بلندتر از نیم ثانیه) یا سیستم‌های پیچشی سخت ($\Omega > 1$)، کمتر از ۵ درصد شد. افزایش در جابجایی‌های یک ساختمان به علت پیش از اتفاقی بجز ساختمان بسیار سخت ($T_y < 0.5$ s)، به تغییرات در نسبت فرکانسی Ω غیرحساس می‌باشد. اثرات پیش از اتفاقی، برای ساختمان‌های با پلان متقارن در مقایسه با سیستم‌های با پلان نامتقارن محسوس می‌باشد. مقادیر محاسبه شده‌ی خروج از مرکزیت اتفاقی بجز برای سیستم‌های با بعد پلان بلند ($b \geq 50$ m) خیلی کمتر از مقادیر $0.05b$ یا $0.10b$ می‌باشد [۸]. شایان ذکر است که نسبت پرورد Ω بصورت نسبت پرورد انتقالی غیردرگیر به پرورد پیچشی غیردرگیر تعریف می‌شود. سازه‌ها با $\Omega > 1$ به عنوان پیچشی سخت و با $\Omega < 1$ به عنوان پیچشی نرم نامیده می‌شوند [۹]. در ساختمان‌های پیچشی سخت، جابجایی‌های جانبی حرکت غالب در مود اول می‌باشند، درحالیکه حرکات پیچشی حرکت غالب در مود دوم می‌باشند. در ساختمان‌های پیچشی نرم، دوران‌های پیچشی حرکت غالب در مود اول می‌باشد، درحالیکه جابجایی‌های جانبی حرکت غالب در مود دوم می‌باشد [۱۰]. در سال ۱۹۹۵ چاندلر و همکاران به ارزیابی و مقایسه تعدادی از تفاسیر جایگزین برای ضوابط پیش از اتفاقی آیین‌نامه‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که حداقل مقدار خروج از مرکزیت اتفاقی برای سیستم‌های متوازن پیچشی $0.05b$ است [۱۱]. دیمووا و الاشکی در سال ۲۰۰۳ به برآورد تحلیلی اثرات

کاهش می‌یابد و برای یک طبقه با افزایش تعداد طبقات فوقانی آن کاهش می‌یابد. همچنین، نسبت بار مرده به زنده تاثیر کوچکی روی خروج از مرکزیت اتفاقی دارد [۱۶]. در مطالعه دِباک و همکاران در سال ۲۰۱۴، کیفیت تاثیر الزامات طراحی پیش از اتفاقی آیین‌نامه ASCE/SEI 7 [۱۷] روی ظرفیت خرابی ساختمان بررسی گردید. نتایج نشان دادند که ضابطه خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌هایی که پیچشی نرم یا نامتقارن نیستند، قابل حذف می‌باشد. [۲]. آناگنوستوپولوس و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی اهمیت خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی در ساختمان‌های فولادی مهاربندی شده پیچشی سخت و نرم بصورت متقارن و با خروج از مرکزیت‌های دو محوره 0.10b و 0.20b پرداختند. ساختمان‌ها با خروج از مرکزیت‌های طراحی اتفاقی $e_{acc}=0.0$ و $e_{acc}=0.05b$ طراحی شدند. همه این ساختمان‌ها با معرفی خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی $\pm 0.05b$ تحت یک گروه زلزله تحلیل شدند. نتایج نشان دادند که طراحی ساختمان‌های پیچشی سخت برای خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی 0.05b، تاثیر اندکی روی پاسخ غیرالاستیک سازه‌ها دارد [۱۸]. دِلا کولینا و همکاران در سال ۲۰۱۶ با شبیه سازی مونت کارلو برای مدل‌های سازه‌ای سه بعدی با تعداد طبقات ۴، ۶ و ۱۵ تحت تحریک لرزه‌ای دو محوره به مطالعه پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان‌های قاب خمشی بتن مسلح با در نظرگیری خروج از مرکزیت اتفاقی پرداختند. نتایج نشان داد که اگرچه نسبت ابعاد پلان برای انتخاب خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی مهم بنظر می‌رسد، این نسبت تاثیر محسوسی روی برش پایه قاب ندارد. همچنین نتایج نشان دادند که خروج از مرکزیت اتفاقی حداکثر، با افزایش ارتفاع ساختمان کاهش می‌یابد و خروج از مرکزیت‌های اتفاقی نرمالیزه شده $e_p/b=0.05$ و $e_p/b=0.10$ بترتیب برای مدل‌های بلند و کوتاه قابل قبول بنظر می‌رسند. همچنین پراکندگی شکل‌پذیری نیاز به علت خروج از مرکزیت اتفاقی کوچک می‌باشد [۱۹]. لین و همکاران در سال ۲۰۱۶ با بررسی جابجایی‌های الاستیک و اختلاف پاسخ‌های حاصل از تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی پیشنهاد دادند که ضریب تشدید پیش از اتفاقی (A_x) تعیین شده در بعضی آیین‌نامه‌ها برای تخمین جابجایی‌های لبه سخت در ساختمان‌های پیچشی نرم و شبه سخت با ارتفاع کوتاه و متوسط اصلاح گردد [۲۰].

مطابق استاندارد زلزله ۲۸۰۰ ایران، برون مرکزیت اتفاقی در تراز

دینامیکی در سازه‌های متقارن ناشی از جابجایی مرکز جرم و نتیجه بکارگیری آن در طراحی لرزه‌ای پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که حتی در اثر خروج از مرکزیت‌های کوچک، سازه‌های متقارن رفتاری نامنظم از خود نشان می‌دهند و استفاده از اعمال استاتیکی لنگرهای پیچشی برای لحاظ نمودن تاثیرات پیش از اتفاقی مناسب نمی‌باشد. برای سازه‌های در نظر گرفته شده، روش Euro Code 8 برای تحلیل‌های چند مودی، اثرات پیش از اتفاقی را برای خروج از مرکزیت ۵ درصد، بیشتر از ۲۱ درصد کمتر برآورد می‌نماید [۱۲]. دِلا کولینا و همکاران در سال ۲۰۰۴ با مطالعه احتمالاتی پیش از اتفاقی در ساختمان‌های با ارتفاع کوتاه نشان دادند که شکل‌پذیری نیاز برای سیستم‌های طراحی شده با خروج از مرکزیت اتفاقی و بدون خروج از مرکزیت اتفاقی مشابه می‌باشد [۱۳].

رمضان در سال ۲۰۰۸ با مطالعه احتمالاتی ۸ ساختمان بتنی سه بعدی چند طبقه با پلان متقارن با تعداد طبقات مختلف تحت اثر یک مولفه افقی زلزله نشان داد که خروج از مرکزیت اتفاقی بشدت تحت تاثیر تعداد طبقات فوقانی طبقه مورد بررسی می‌باشد و خروج از مرکزیت اتفاقی نیاز برای کف‌هایی که تعداد طبقات فوقانی آنها بیشتر از ۵ باشد، اغلب کمتر از مقدار معمول ۵ درصد مشخص شده در آیین‌نامه‌های ساختمانی است [۱۴]. استاثوپولوس و آناگنوستوپولوس در سال ۲۰۱۰ به بررسی ساختمان‌های بتن آرمه قاب خمشی متقارن و با خروج از مرکزیت‌های دو محوره پرداختند. همه ساختمان‌ها برای سه نوع خروج از مرکزیت اتفاقی مختلف طراحی شده بودند. نتایج نشان دادند که با معرفی خروج از مرکزیت جرمی $\pm 5\%$ شکل‌پذیری نیاز در ساختمان‌های طراحی شده و طراحی نشده برای ADE کاملاً مشابه بود. همچنین خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی زمانیکه پاسخ ساختمان شدیداً غیرالاستیک باشد، مهم نیست. اختلاف در شکل‌پذیری نیاز در طراحی ساختمان‌ها برای ADE‌های مختلف، در ساختمان‌های متقارن مهم می‌باشد، در حالیکه برای ساختمان‌های با خروج از مرکزیت قابل صرف نظر می‌باشد [۱۵]. دِلا کولینا و همکاران در سال ۲۰۱۱ با در نظرگیری ساختمان‌های با پلان مستطیلی و مربع با تعداد طبقات ۵ و ۱۰، تاثیرات موقعیت ارتفاعی طبقه در ساختمان، نسبت بار مرده به زنده و تعداد ستون‌ها در یک طبقه روی مقدار خروج از مرکزیت اتفاقی را بررسی کردند. نتایج نشان دادند که خروج از مرکزیت اتفاقی با افزایش تعداد اعضای باربر جانبی



شکل ۱. پلان ساختمان ۱۰ طبقه در نظر گرفته شده جهت انجام صحت سنجی تحلیل ها [۲۶]: (a) ساختمان متقارن در پلان، (b) ساختمان نامتقارن در پلان با خروج از مرکزیت جرمی.

Fig. 1. Plan of the 10-story building considered for the verification of analyses: a) symmetric-plan building, b) asymmetric-plan building with mass eccentricity.

هر طبقه، e_{aj} ، به منظور به حساب آوردن احتمال تغییرات اتفاقی توزیع جرم و سختی از یک سو و نیروی ناشی از مؤلفه پیشگی زلزله از سوی دیگر، در نظر گرفته می‌شود. این برون مرکزی باید در هر دو جهت و حداقل برابر با ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه، در امتداد عمود بر نیروی جانبی اختیار شود. در مواردی که ساختمان مشمول نامنظمی موضوع بند (۱-۷-۱-ب) آیین نامه باشد، برون مرکزی اتفاقی حداقل باید در ضریب بزرگنمایی A_j ضرب شود:

$$A_j = (\Delta_{\max} / (1.2\Delta_{\text{ave}}))^2 \quad 1 \leq A_j \leq 3 \quad (1)$$

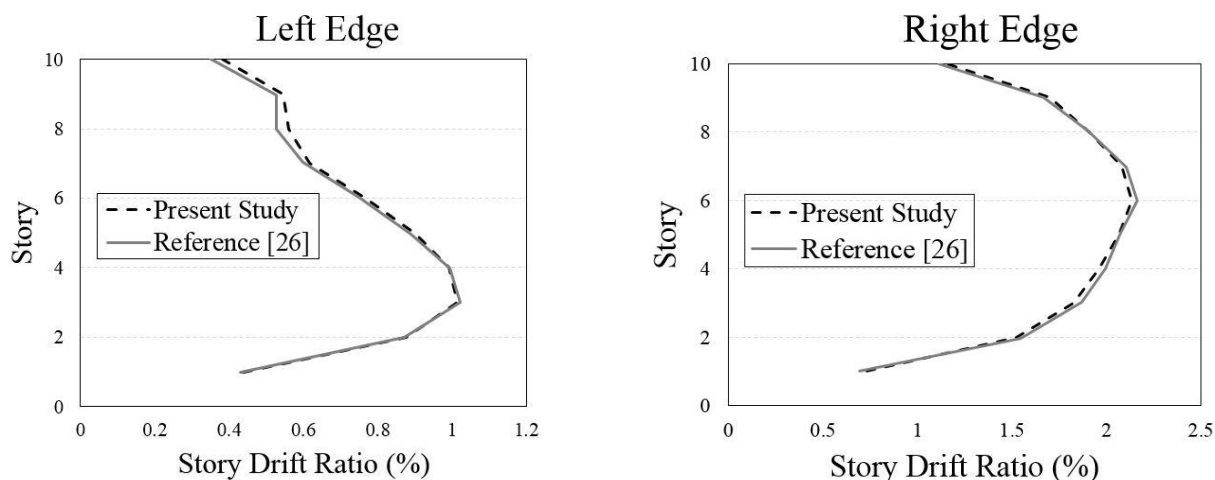
در این رابطه Δ_{\max} حداکثر تغییرمکان طبقه j که با فرض $A_j = 1.0$ محاسبه شده است. Δ_{ave} میانگین تغییرمکان دو انتهای ساختمان در طبقه j که با فرض $A_j = 1.0$ محاسبه شده است. مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران در ساختمان‌های ۵ طبقه و یا کوتاه‌تر از ۱۸ متر در مواردی که برون مرکزی نیروی جانبی طبقه در طبقات بالاتر از هر طبقه کمتر از ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه در امتداد عمود بر نیروی جانبی باشد، برای محاسبات لنگر پیشگی نیازی به در نظر گرفتن برون مرکزی اتفاقی در طبقات نیست [۲۱].

زمین لرزه‌های نزدیک گسل بطور محسوس با زلزله‌های دور از منبع لرزه‌ای متفاوت می‌باشند. محدوده نزدیک گسل معمولاً داخل

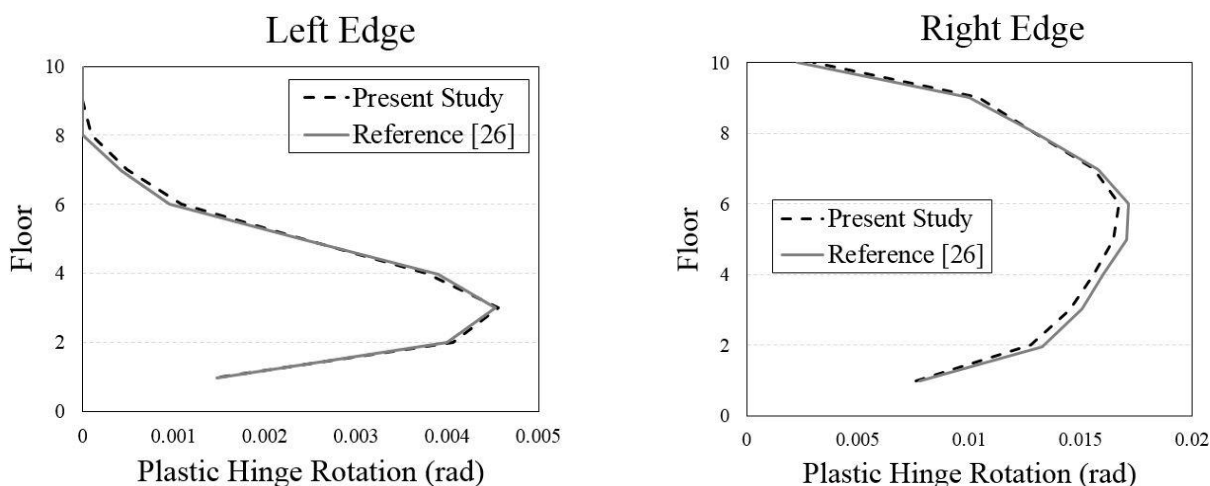
محدوده ۱۵ الی ۳۰ کیلومتری گسل فرض می‌گردد [۲۲]. در حوزه نزدیک گسل، زمین لرزه‌ها در یک محل خاص، بطور محسوس توسط مکانیسم شکست و جهت لغزش نسبت به سایت و جابجایی ماندگار زمین در سایت حاصل از حرکت تکتونیکی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بسته به دو فاکتور اول، زمین‌لرزه‌ها در محدوده نزدیک گسل می‌تواند بصورت جهت‌داری پیشرو، جهت‌داری خنثی یا جهت‌داری پسرو باشد [۲۳]. انتشار شکست گسل به سمت یک سایت با سرعتی نزدیک به سرعت موج برشی موجب می‌شود که بیشتر انرژی لرزه‌ای ناشی از شکست در قالب یک پالس بزرگ حرکتی در شروع رکورد به محل برسد. این پالس حرکتی نشان دهنده‌ی اثر تجمعی تقریباً هم‌موج‌های لرزه‌ای گسل می‌باشد [۲۴]. از اثرات زمین لرزه‌هایی که چنین ماهیت پالس‌داری در ابتدای شتابنگاشت دارند، منجر به افزایش بخش پروده‌های بلند در طیف پاسخ شتاب می‌گردد. این نوع از زمین لرزه‌ها می‌توانند نیازهای بالایی را ایجاد نموده و سازه را مجبور کنند تا انرژی ورودی را با تعدادی حرکت با جابجایی‌های بزرگ مستهلک نماید. در نتیجه، خطر شکست ترد برای سیستم‌های که دارای جزئیات ضعیف هستند، بطور قابل توجهی بالا می‌رود [۲۵].

با توجه به اینکه در مطالعات انجام شده اثرات زلزله‌های حوزه نزدیک گسل روی تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی در طراحی

۱۷۰۸



شکل ۲. مقایسه جابجایی‌های نسبی طبقات در تحقیق حاضر با مرجع [۲۶] برای سیستم نامتقارن برای لبه‌های چپ و راست در جهت Y. **Fig. 2. Comparison of the story drifts obtained in the present study with those from Reference [26] for the asymmetric-plan building at left and right edges in Y-direction.**



شکل ۳. مقایسه دوران مفاصل پلاستیک در تحقیق حاضر با مرجع [۲۶] برای سیستم نامتقارن برای لبه‌های چپ و راست در جهت Y. **Fig. 3. Comparison of the hinge plastic rotations obtained in the present study with those from Reference [26] for the asymmetric-plan building at left and right edges in Y-direction.**

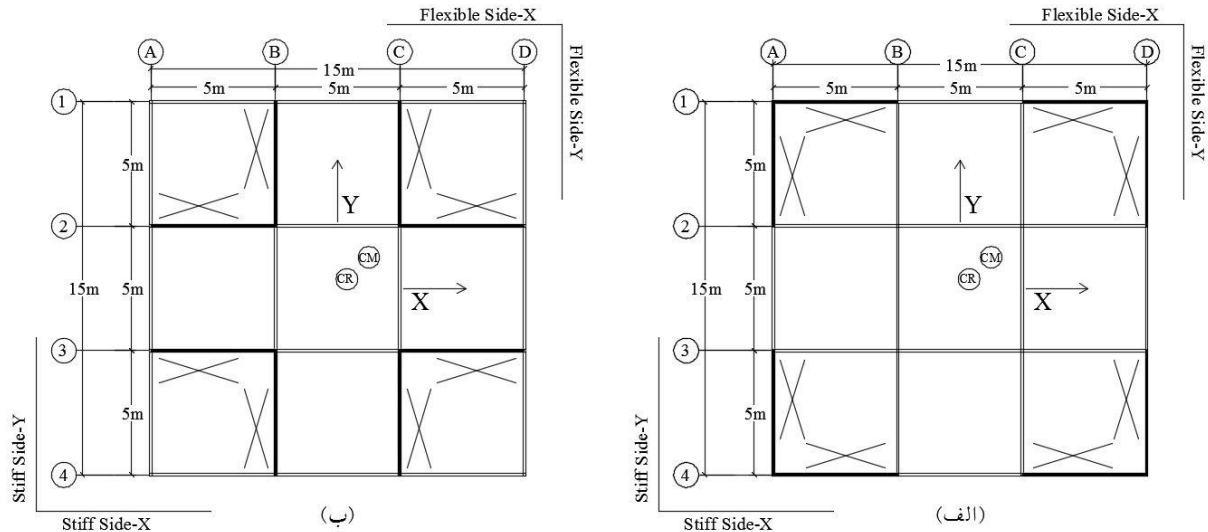
و با خروج از مرکزیت‌های طراحی اتفاقی مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج حاصل با زلزله‌های حوزه دور (FF³) مقایسه می‌شود.

۲-صحت سنجی

لازم بذکر است که جهت صحت سنجی تحلیل‌های تاریخچه زمانی انجام شده در این تحقیق از مطالعه پورشاء و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۲۶] استفاده شده است. بدین منظور، از دو ساختمان ۱۰ طبقه فولادی متقارن و نامتقارن پیش‌سخت با پلان مربعی مطابق

لرزه‌ای ساختمان‌ها و همچنین تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی در زلزله‌های یاد شده در لحظه وقوع زلزله بررسی نشده است، بنابراین، در این مقاله در بخش اول اثرات زلزله‌های حوزه نزدیک گسل دارای پالس (FD¹) و نزدیک گسل بدون پالس (NP²) روی خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی و در بخش دوم اثرات این نوع زلزله‌ها روی خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی در لحظه وقوع زلزله در ساختمان‌های متقارن و نامتقارن با خروج از مرکزیت‌های اولیه

1 Forward Directivity
2 Non-Pulse



شکل ۴. پلان تپ طبقات؛ الف) ساختمان‌های پیچشی سخت، ب) ساختمان‌های پیچشی نرم.
Fig. 4. Plan of the buildings under study: a) torsionally-stiff buildings, b) torsionally-flexible buildings.

طبقات مطابق شکل ۴ مورد بررسی قرار گرفتند که ساختمان‌ها دارای سیستم باربر جانبی دوگانه قاب خمشی متوسط با مهاربندهای همگرای ویژه (محل مهاربندها به رنگ سیاه دیده می‌شوند) بودند. ارتفاع کلیه طبقات برابر ۳/۲ متر است. بارهای مرده و زنده برای تمام طبقات بترتیب برابر ۶۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شدند. ساختمان‌ها در دو گروه پیچشی نرم و سخت که با جابجایی مهاربندها به سمت قاب‌های درونی و بیرونی حاصل شدند، بصورت متقارن $e_m=0.00$ و نامتقارن با خروج از مرکزیت‌های جرمی دو طرفه $e_m=0.10b$ و $e_m=0.20b$ (بعد پلان ساختمان و مرکز جرم روی قطر می‌باشد)، با در نظرگیری خروج از مرکزیت‌های طراحی اتفاقی $ADE=0.05b$ و $ADE=0.05b$ و $ADE=Aj*0.05b$ براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲۱] طراحی شدند. ساختمان‌ها دارای اهمیت متوسط بوده و زمین منطقه نوع II و میزان خطر لرزه خیزی منطقه مطابق استاندارد زلزله ۲۸۰۰ ایران، بسیار زیاد می‌باشند. همچنین برای طراحی سازه‌های فولادی از آیین‌نامه AISC 360-10 [۲۷] استفاده گردید. طراحی و تحلیل مدل‌ها بصورت سه بعدی و با در نظرگیری جرم‌های لرزه‌ای بصورت متمرکز در تراز طبقات انجام شد. جزئیات مقاطع مربوط به ساختمان متقارن پیچشی سخت و نرم به عنوان نمونه در پیوست الف ارائه شده است.

تحلیل‌های تاریخچه زمانی توسط نرم افزار SAP2000 [۲۸] برای سه گروه ۱۵ تایی زمین‌لرزه‌های حوزه دور (FF) و نزدیک گسل

شکل ۱ استفاده گردیده است. سیستم‌های نامتقارن پیچشی سخت (TS) با خروج از مرکزیت جرمی، با انتقال مرکز جرم به اندازه ۱۵٪ بعد ساختمان در امتداد محور X ایجاد شده‌اند. به منظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی از ۷ رکورد زلزله بکار رفته در مرجع [۲۶] استفاده شده است. رکوردهای مورد استفاده به $1g$ مقیاس شده‌اند. در این تحلیل‌ها از روش انتگرال گیری عددی Wilson- θ با $\theta=1.4$ استفاده شده است. لازم به ذکر است که برای تشکیل ماتریس میرایی رایلی از نسبت میرایی ۵٪ برای موده‌های ۱ و ۳ در جهت Y استفاده شده است. همچنین جرم لرزه‌ای بصورت متمرکز در تراز طبقات مدل شده است.

در شکل ۲ و شکل ۳ نتایج مربوط به سیستم نامتقارن پیچشی سخت برای ساختمان ۱۰ طبقه با نتایج مرجع [۲۶] مقایسه شده است. این نتایج شامل جابجایی نسبی طبقات و دوران مفاصل پلاستیک در لبه‌های سخت و نرم در جهت Y می‌باشند. شایان ذکر است که در ساختمان‌های نامنظم در پلان، قاب پیرامونی که به مرکز جرم (CM) نزدیک است، لبه نرم و قابی که از مرکز جرم دور است، لبه سخت نامیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که تحلیل‌های انجام شده در مطالعه حاضر، دارای دقت خوبی می‌باشند.

۳- روش تحقیق

در مطالعه حاضر، ساختمان‌های فولادی ۵ طبقه با پلان تپ

بدون پالس (NP) و شامل پالس (FD) با در نظر گیری دو مؤلفه‌ی افقی رکوردها انجام شدند. همه رکوردها از پایگاه اطلاعاتی PEER [۲۹] مطابق با خاک نوع ۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰ [۲۱] انتخاب شده‌اند. برای تشخیص رکوردهای حوزه نزدیک گسل شامل پالس از مرجع [۳۰] استفاده شده است که در آن مرجع روش تجزیه موجک [۳۱] بکار رفته است. رکوردهای حوزه نزدیک گسل از رکوردهای با فاصله کمتر از ۲۰ کیلومتر انتخاب شده‌اند. مشخصات شتابنگاشت‌ها در جدول‌های ۱ تا ۳ و طیف‌های مربوطه در شکل ۵ ارائه شده‌اند.

جدول ۱. مشخصات رکوردهای نزدیک گسل شامل پالس با ویژگی اثر جهت‌داری پیشرو (FD).

Table 1. Characteristics of the near-fault records with forward directivity pulse (FD).

No.	Event	Year	Station	Magnitude (Mw)	Mechanism	Dist (Km)	PGA1 (g)	PGA2 (g)	Tp (s)
1	Northridge	1994	J.F.Plant	6.69	R. Oblique	5.43	0.99	0.57	3.5
2	Northridge	1994	LA Dam	6.69	R. Oblique	5.92	0.43	0.32	1.6
3	Northridge	1994	Sylmar	6.69	R. Oblique	5.30	0.60	0.84	2.4
4	Cape Mendocino	1992	Petrolia	7.01	R. Oblique	8.18	0.59	0.66	3.0
5	Chi-Chi	1999	TCU049	7.62	R. Oblique	3.76	0.19	0.22	10.
6	Chi-Chi	1999	TCU052	7.62	R. Oblique	0.66	0.36	0.45	11.9
7	Chi-Chi	1999	TCU053	7.62	R. Oblique	5.95	0.18	0.13	13.1
8	Chi-Chi	1999	TCU068	7.62	R. Oblique	0.32	0.51	0.32	12.2
9	Chi-Chi	1999	TCU075	7.62	R. Oblique	0.89	0.23	0.26	4.9
10	Chi-Chi	1999	TCU087	7.62	R. Oblique	6.98	0.12	0.11	10.3
11	Chi-Chi	1999	TCU101	7.62	R. Oblique	2.11	0.21	0.26	10.3
12	Chi-Chi	1999	TCU103	7.62	R. Oblique	6.08	0.13	0.14	8.6
13	Chi-Chi	1999	TCU128	7.62	R. Oblique	13.13	0.14	0.17	9.023
14	Parkfield	2004	Eades	6.00	Strike slip	2.85	0.32	0.39	1.218
15	Bam	2003	Bam	6.6	Strike slip	1.70	0.81	0.63	2.023

جدول ۲. مشخصات رکوردهای نزدیک گسل بدون پالس (NP).

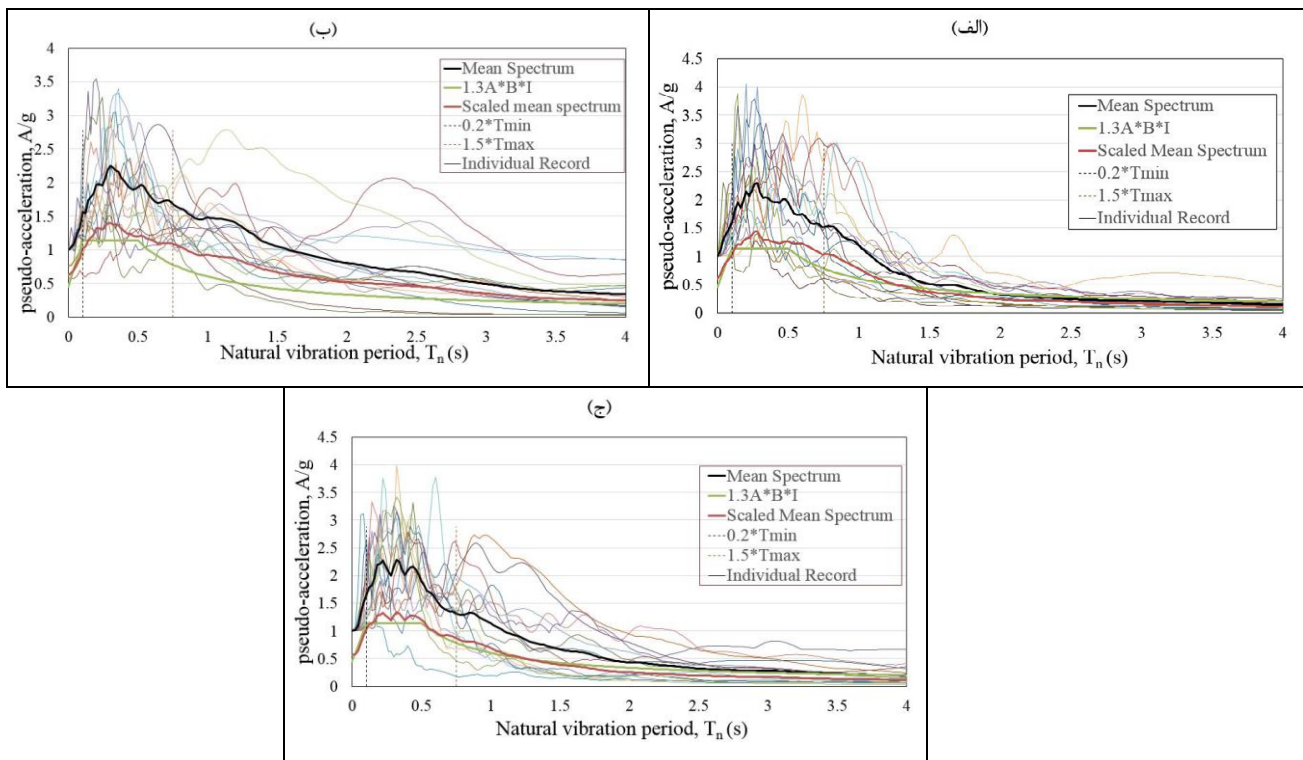
Table 2. Characteristics of the non-pulse-like near-fault records (NP).

No.	Event	Year	Station	Magnitude (M _w)	Mechanism	Dist (km)	PGA2 (g)	PGA1 (g)
1	Chi-Chi	1999	CHY028	7.62	R. Oblique	3.12	0.64	0.76
2	Chi-Chi	1999	CHY029	7.62	R. Oblique	10.96	0.29	0.24
3	Chi-Chi	1999	CHY080	7.62	R. Oblique	2.7	0.81	0.86
4	Chi-Chi	1999	TCU070	7.62	R. Oblique	19.0	0.25	0.16
5	Chi-Chi	1999	TCU071	7.62	R. Oblique	5.8	0.53	0.65
6	Chi-Chi	1999	TCU072	7.62	R. Oblique	7.8	0.48	0.38
7	Chi-Chi	1999	TCU089	7.62	R. Oblique	9.0	0.35	0.23
8	Loma Prieta	1989	UCSC	6.93	R. Oblique	18.51	0.31	0.41
9	Loma Prieta	1989	Bran	6.93	R. Oblique	10.72	0.46	0.50
10	Loma Prieta	1989	Corralitos	6.93	R. Oblique	3.85	0.64	0.48
11	Loma Prieta	1989	WAHO	6.93	R. Oblique	17.47	0.37	0.65
12	Cape	1992	Cape	7.01	R. Oblique	6.96	0.50	1.02
13	Northridge	1994	B.H.Rd.	6.69	R. Oblique	16.88	0.11	0.16
14	Northridge-	1994	Sunland	6.69	R. Oblique	13.35	0.13	0.16
15	Northridge-	1994	S.Ground	6.69	R. Oblique	16.74	0.23	0.29

جدول ۳. مشخصات رکوردهای حوزه دور از گسل (FF).

Table 3. Characteristics of the far-fault records (NP).

No.	Event	Year	Station	Magnitude (M_w)	Mechanism	Dist (km)	PGA2 (g)	PGA1 (g)
1	Kobe	1995	MZH	6.9	Strike slip	69.04	0.07	0.05
2	Kobe	1995	OKA	6.9	Strike slip	86.93	0.08	0.06
3	Northridge-	1994	Old Ridge	6.69	R. Oblique	20.11	0.57	0.51
4	Northridge-	1994	Gabriel	6.69	R. Oblique	38.86	0.14	0.26
5	Chi-Chi,	1999	TAP103	7.62	R. Oblique	114.28	0.12	0.18
6	Chi-Chi	1999	TCU095	7.62	R. Oblique	45.15	0.37	0.70
7	Hector	1999	Amboy	7.13	Strike slip	41.81	0.18	0.15
8	Bam	2003	Abaragh	6.6	Strike slip	47.16	0.17	0.11
9	San	1971	Lake Hughes	6.61	R. Oblique	22.57	0.17	0.14
10	Landers	1992	Amboy	7.28	R. Oblique	69.21	0.12	0.15
11	Loma	1989	Golden Gate	6.93	R. Oblique	79.71	0.23	0.12
12	Loma	1989	SAGO	6.93	R. Oblique	29.54	0.04	0.06
13	Loma	1989	SLAC Lab	6.93	R. Oblique	24.82	0.19	0.28
14	Loma	1989	Downstream	6.93	R. Oblique	20.26	0.25	0.24
15	Loma	1989	Presidio	6.93	R. Oblique	77.34	0.10	0.20



شکل ۵. طیف شبه شتاب و طیف میانگین رکوردها، طیف استاندارد زلزله ۲۸۰۰ (۱/۳ برابر) و طیف میانگین مقیاس شده برای: الف) دسته رکوردهای حوزه نزدیک گسل پالس دار؛ ب) دسته رکوردهای حوزه نزدیک گسل بدون پالس؛ ج) دسته رکوردهای حوزه دور.

Fig. 5. Pseudo-acceleration spectra and the mean spectrum of the records, Standard No. 2800 (1.3 times) spectrum and the scaled mean spectrum for: a) pulse-like near-fault records; b) non-pulse-like near-fault records; c) far-fault records.

ابتدای تسلیم می‌باشند. لازم بذکر است که خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی در نمودارها با نماد E مشخص شده است.

با توجه به سیستم سازه‌ای انتخابی، تسلیم ابتدا در مهاربندها رخ داده و سپس در تیرها و ستون‌ها رخ می‌دهد. بنابراین خروج از مرکزیت طراحی و جرمی اتفاقی تاثیر بسیار ناچیزی در شکل‌پذیری نیاز تیرها دارد و از ارائه نتایج برای تیرها صرف‌نظر می‌شود. همچنین نتایج مربوط به تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی در ساختمان‌های طراحی شده برای خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی به علت مشابهت میزان تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی با ساختمان‌های بدون خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی به خاطر اختصار نشان داده نمی‌شوند.

۴-۱ ساختمان‌های پیچشی سخت

۴-۱-۱ تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی ADE روی

ساختمان‌های پیچشی سخت

خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی برای ساختمان‌های پیچشی سخت، تاثیری در طراحی ساختمان متقارن نداشت، ولی برای ساختمان نامتقارن با خروج از مرکزیت $e_m = 0.10b$ ، سبب قوی‌تر شدن سازه بعلا افزایش مقاطع اعضای ساختمان شد؛ همچنین برای ساختمان با خروج از مرکزیت $e_m = 0.20b$ ، تاثیری در طراحی ساختمان نداشت. علت عدم تغییر در ساختمان با خروج از مرکزیت $e_m = 0.20b$ این است که مقدار خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی $ADE = 0.05b$ در مقایسه با خروج از مرکزیت جرمی اولیه $0.2b$ کم بوده و حساسیت سازه نسبت به خروج از مرکزیت کمتر می‌باشد.

۴-۲ جابجایی نسبی طبقات

شکل ۶ تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی ADE را روی جابجایی نسبی طبقات در لبه‌های سخت و نرم در دو جهت X تحت اثر سه دسته رکورد زلزله حوزه نزدیک گسل بدون پالس، حوزه دور و حوزه نزدیک گسل دارای پالس برای ساختمان پیچشی سخت با خروج از مرکزیت جرمی $e_m = 0.10b$ نشان می‌دهد.

با توجه به نمودارها ملاحظه می‌شود که خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی سبب کاهش جابجایی نسبی طبقات در طبقه میانی در سه دسته زلزله بخصوص برای لبه سخت شده است. جابجایی نسبی طبقات در طبقه سوم در امتداد محور X برای دسته رکورد

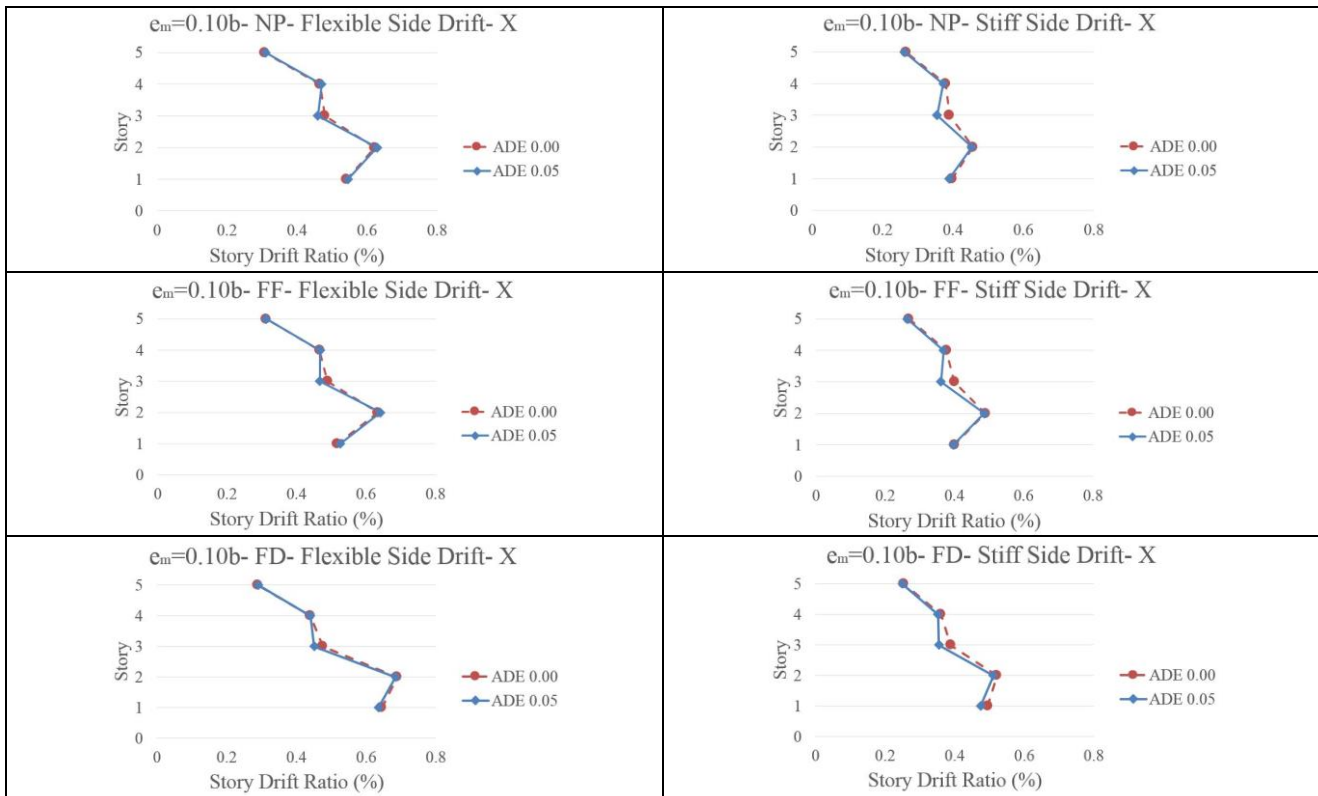
هر گروه از زلزله‌ها مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران مقیاس شدند و هر جفت زمین‌لرزه یکبار بصورت (X,Y) و بار دیگر بصورت (Y,X) بر مدل سازه‌ای اعمال شدند بطوریکه مؤلفه‌ی شامل پالس برای زلزله‌های نزدیک گسل و مؤلفه‌ی با PGA حداکثر برای زلزله‌های دور از گسل و نزدیک گسل بدون پالس در جهت X اعمال گردید. رفتار غیرخطی تیرها، ستون‌ها و مهاربندها با مفاصل پلاستیک مطابق با آیین‌نامه 41-13 ASCE/SEI [۳۲] مدل‌سازی شدند. مفاصل پلاستیک تیرها بر مبنای لنگر حول محور قوی، در ستون‌ها بر مبنای اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی حول دو محور و در مهاربندها بر مبنای نیروی محوری اختصاص داده شدند. در تحلیل‌های تاریخچه زمانی ماتریس میرایی با در نظرگیری میرایی رایلی بدست آمده است که بدین منظور نسبت میرایی برای مودهای اول و دوم انتقالی برابر ۵ درصد لحاظ گردیده است. اثر $P-\Delta$ در کلیه تحلیل‌ها اعمال شده است. همچنین خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی با جابجا نمودن مرکز جرم به اندازه ۵ درصد بعد پلان ساختمان عمود بر امتداد زلزله در هر دو جهت و اصلاح ممان اینرسی جرمی انجام شده است.

۴- نتایج و بحث

در این مقاله، نتایج بصورت میانگین برای جابجایی نسبی طبقات و شکل‌پذیری نیاز مهاربندها هر گروه ۱۵ تایی زلزله فقط برای ساختمان متقارن و نامتقارن با خروج از مرکزیت $e_m = 0.10b$ و در امتداد محور X ارائه می‌شوند و از ارائه سایر نتایج بدلیل اختصار اجتناب شده است. اعضای مهاربندی در کشش تسلیم می‌شوند و در فشار کماتش می‌یابند. شکل‌پذیری نیاز تمامی مهاربندها برای هر چهار قاب و برای تغییر طول پلاستیک متناظر با حداکثر نیروی کششی به عنوان شکل‌پذیری نیاز حداکثر و برای نیروی فشاری حداکثر به عنوان شکل‌پذیری نیاز حداقل محاسبه و بدلیل مشابه بودن جواب‌ها برای ۴ مهاربند، فقط برای یک مهاربند در هر قاب ارائه شده است و از ارائه نمودارها برای سایر مهاربندها خودداری گردیده است. برای اعضای مهاربندی، شکل‌پذیری نیاز بصورت زیر تعریف می‌گردد [۱۸]:

$$\text{Braces: } \mu_u = 1 + (u_p / u_y) \quad (2)$$

که u_p حداکثر اضافه طول پلاستیک عضو و u_y اضافه طول در



شکل ۶: تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی ADE روی جابجایی نسبی طبقات در لبه‌های سخت و نرم در جهت X تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی سخت با خروج از مرکزیت جرمی $e_m=0.10b$.

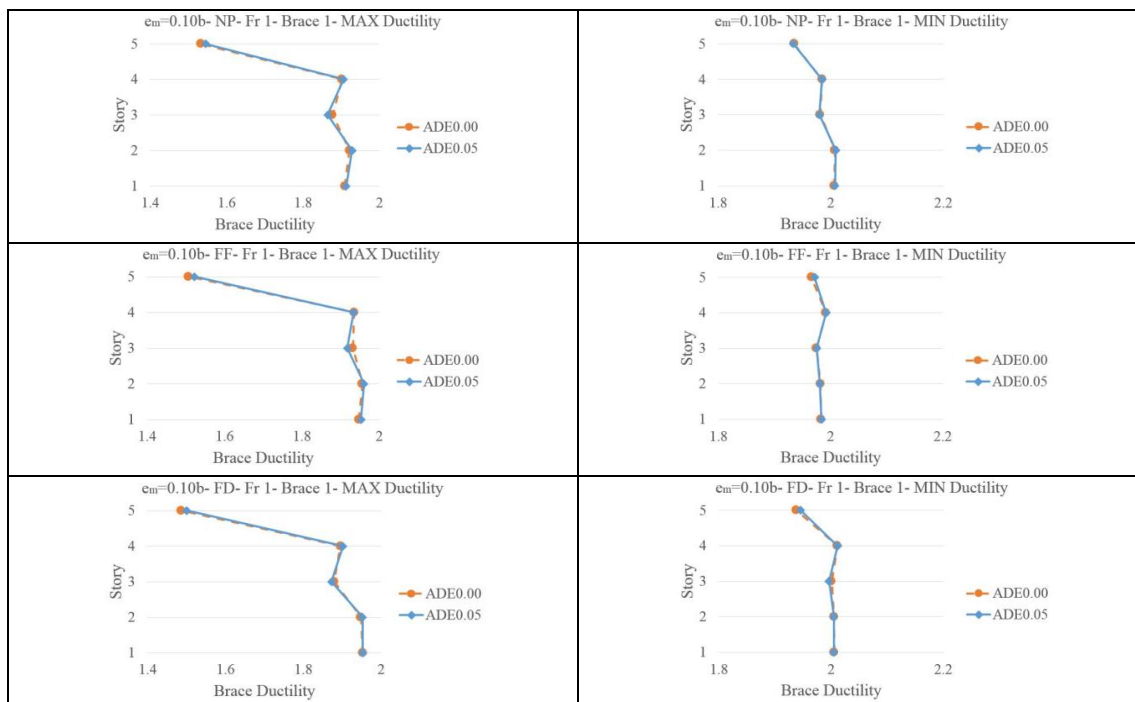
Fig. 6. The effect of accidental design eccentricity (ADE) on the story drifts at the stiff and flexible sides subjected to the three sets of the ground motions records for the asymmetric-plan TS building with a mass eccentricity of 10% ($e_m=0.10b$).

شکل‌پذیری نیاز کششی طبقه میانی می‌گردد. همچنین، تغییرات برای شکل‌پذیری نیاز فشاری قابل صرف‌نظر است که بدلیل عدم تغییر در مقاطع مهاربند در لبه نرم در اثر اعمال خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی می‌باشد. در لبه سخت، ADE باعث کاهش قابل توجه در شکل‌پذیری نیاز فشاری در طبقه میانی می‌شود. در طبقه سوم در قاب ۴ (لبه سخت) برای دسته رکورد زلزله‌های (FF) کاهش شکل‌پذیری نیاز فشاری در حدود ۳۱ درصد می‌باشد و این کاهش در دسته زلزله‌های (NP) و (FD) بترتیب ۲۹ و ۲۸ درصد است که کاهش بواسطه افزایش سازه مهاربند از مقطع SB1 به SB2 در لبه سخت طبقه سوم است (مشخصات مقاطع در پیوست الف ارائه شده‌اند). از طرف دیگر، ADE سبب افزایش شکل‌پذیری نیاز کششی برای قاب ۴ در تمام طبقات شده است که حداکثر افزایش در طبقه پنجم، حدود ۱۵ درصد می‌باشد. با طراحی ساختمان برای خروج از

زلزله‌های (FF) در لبه سخت از ۰/۴ به ۰/۳۶ کاهش یافته است که میزان کاهش حدود ۱۰ درصد بوده و میزان کاهش برای دسته رکورد زلزله‌های (NP) و (FD) حدود ۹ درصد می‌باشد. این کاهش در پی قویتر شدن سازه در اثر اعمال خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی می‌باشد.

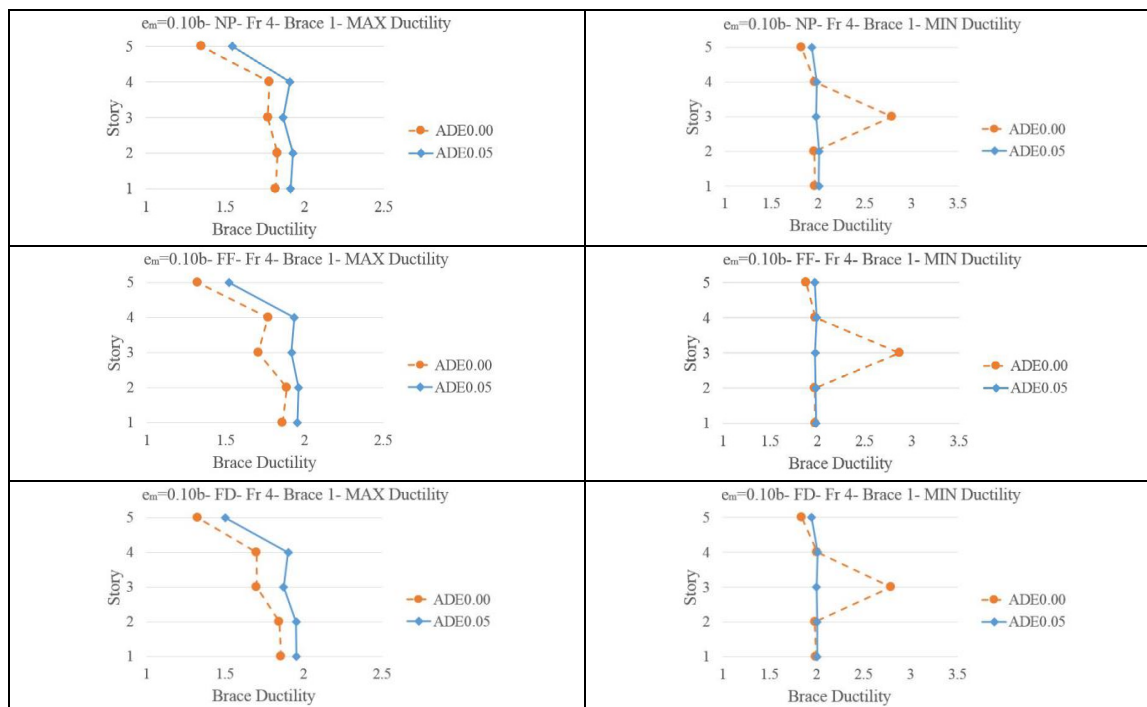
۳-۴ شکل‌پذیری نیاز مهاربندها

شکل ۷ و شکل ۸ تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی ADE را بترتیب روی شکل‌پذیری نیاز مهاربندهای قاب‌های ۱ و ۴ تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی سخت با خروج از مرکزیت جرمی $e_m=0.10b$ نشان می‌دهند. با توجه به نمودارها ملاحظه می‌شود که ADE تاثیر چندانی روی شکل‌پذیری نیاز مهاربندهای لبه نرم (قاب ۱) ندارد؛ اگرچه سبب کاهش جزئی



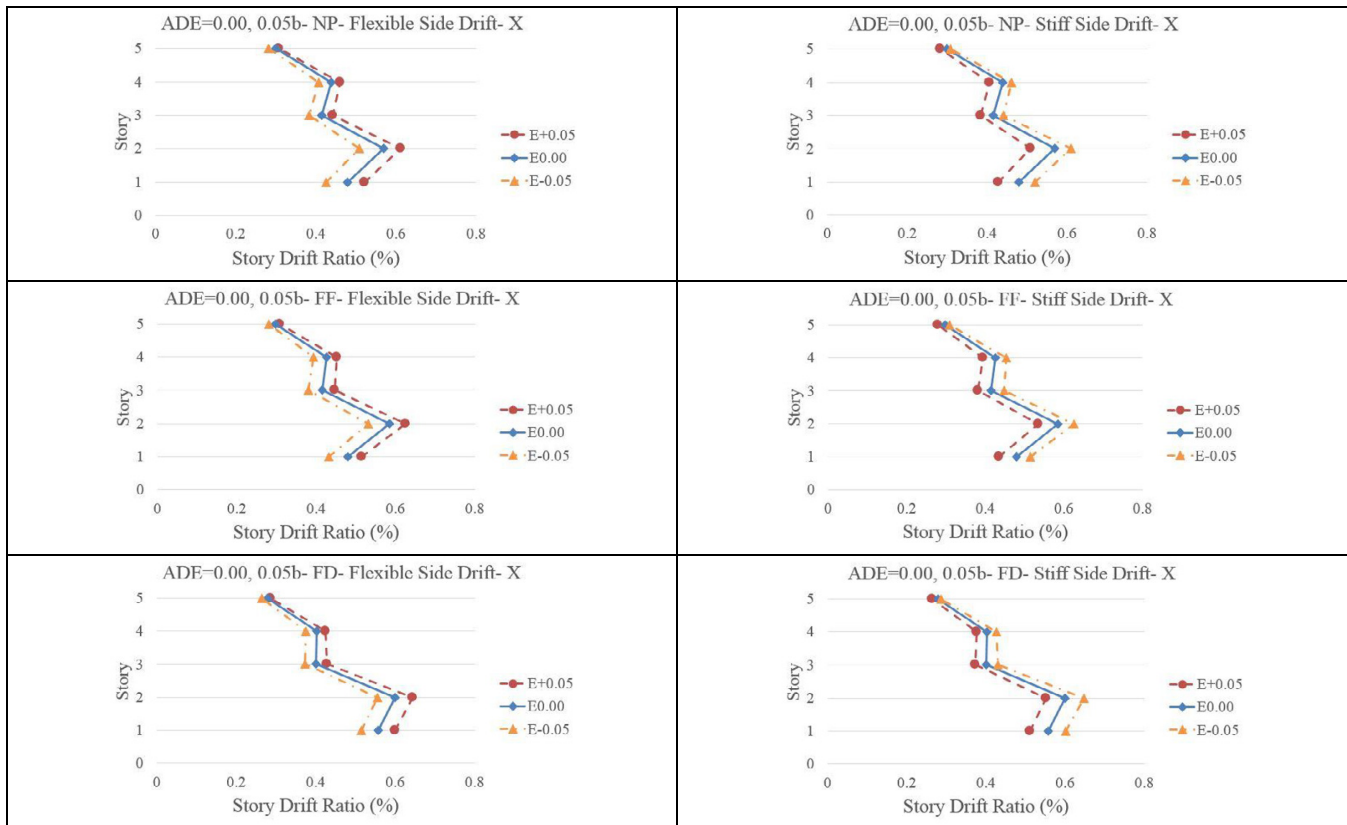
شکل ۷. تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی ADE روی شکل‌پذیری نیاز مهاربندهای قاب ۱ (لبه نرم) تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیش‌سخت با خروج از مرکزیت جرمی $e_m = 0.10b$.

Fig. 7. The effect of accidental design eccentricity (ADE) on the ductility demands of the braces of frame 1 (flexible side) subjected to the three sets of the ground motions records for the asymmetric-plan TS building with a mass eccentricity of 10% ($e_m = 0.10b$).



شکل ۸. تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی ADE روی شکل‌پذیری نیاز مهاربندهای قاب ۴ (لبه سخت) تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیش‌سخت با خروج از مرکزیت جرمی $e_m = 0.10b$.

Fig. 8. The effect of accidental design eccentricity (ADE) on the ductility demands of braces of frame 4 (flexible side) subjected to the three sets of the ground motions records for the asymmetric-plan TS building with a mass eccentricity of 10% ($e_m = 0.10b$).



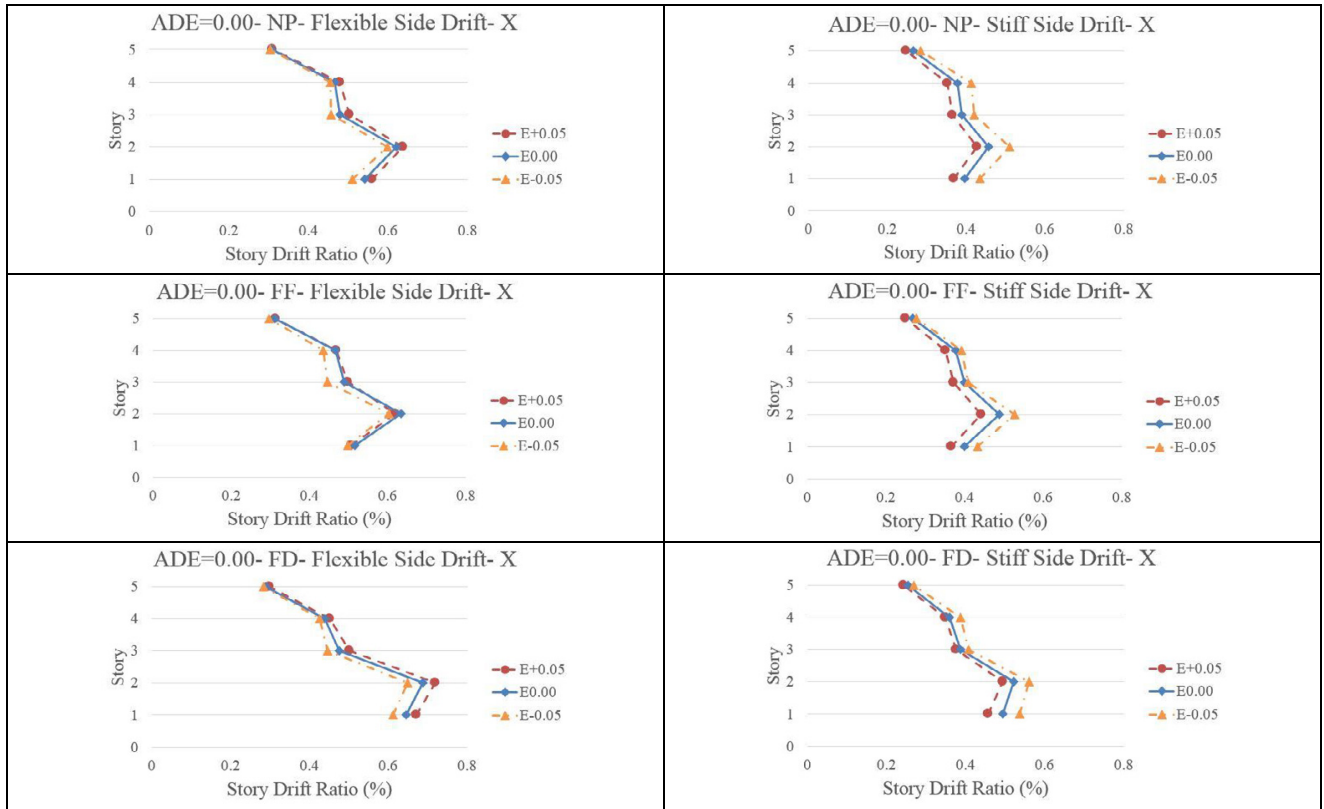
شکل ۹. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی جابجایی نسبی طبقات تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی سخت متقارن.
Fig. 9. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the story drifts subjected to the three sets of the ground motions records for the symmetric-plan TS building.

را روی جابجایی نسبی طبقات در لبه‌های سخت و نرم در جهت X تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی سخت نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که در نظرگیری $AME=+0.05b$ سبب افزایش جابجایی نسبی طبقات در لبه نرم و کاهش جابجایی نسبی طبقات در لبه سخت می‌گردد که این افزایش برای ساختمان متقارن و نامتقارن $e_m=0.10b$ در طبقات پایین بیشتر و در طبقات بالایی کمتر است (شکل ۹ و شکل ۱۰). حداکثر تغییرات برای ساختمان متقارن با $AME=+0.05b$ در دسته رکورد زلزله (NP) در طبقه اول بوده و افزایش برای لبه نرم و کاهش برای لبه سخت بترتیب برابر ۹/۱ و ۱۰/۷ درصد در امتداد X می‌باشد. همچنین حداکثر تغییرات برای ساختمان متقارن تحت تاثیر $AME=-0.05b$ در دسته رکورد زلزله (NP) در طبقه اول بوده و کاهش برای لبه سخت و افزایش برای لبه نرم بترتیب برابر ۱۱ و ۸/۵ درصد در امتداد X است (توجه شود که در این حالت موقعیت لبه نرم و سخت نسبت به حالت

مرکزیت جرمی اولیه $e_m=0.10b$ و با $ADE=0.00$ ، مهاربندهای لبه نرم قوی‌تر شده، ولی در مهاربندهای لبه سخت تغییری حاصل نمی‌شود. در مرحله دوم با طراحی ساختمان با $ADE=0.05b$ مهاربندهای لبه نرم که در مرحله قبل قوی‌تر شده‌اند جوابگو هستند، ولی مهاربندهای لبه سخت با افزایش خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی قوی‌تر می‌شوند که این امر سبب کاهش محسوس شکل‌پذیری در لبه سخت می‌گردد. در ساختمان‌های پیچشی سخت، خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی تاثیر بیشتری در ساختمان نامتقارن نسبت به ساختمان متقارن دارد که با مطالعات گذشته [۱۸] مطابقت دارد.

۴-۴ تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی $AME=\pm 0.05b$ روی ساختمان‌های پیچشی سخت
 ۴-۵ جابجایی نسبی طبقات

شکل ۹ و شکل ۱۰ تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME)



شکل ۱۰. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی جابجایی نسبی طبقات تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی سخت با خروج از مرکزیت جرمی $e_m = 0.10b$.

Fig. 10. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the story drifts subjected to the three sets of the ground motions for the asymmetric-plan TS building with a mass eccentricity of 10% ($e_m = 0.10b$).

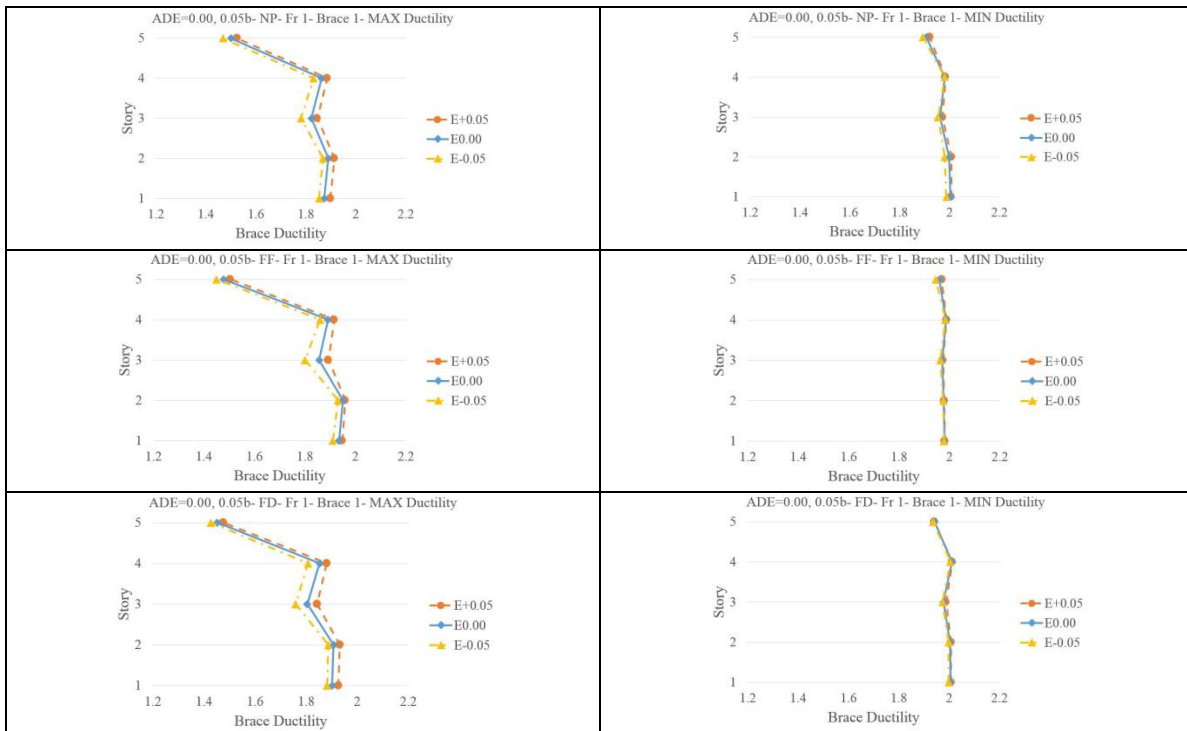
امتداد مولفه پالس دار بیشتر از دو دسته زلزله دیگر (NP و FF) است که حداکثر مقادیر افزایش در ساختمان $e_m = 0.20b$ نسبت به دسته رکورد زلزله های (FF) در لبه های سخت و نرم بترتیب ۲۳/۸ و ۳۵/۵ درصد و نسبت به دسته رکورد زلزله های (NP) در لبه های سخت و نرم ۱۹/۵ درصد است. نتایج مربوط به ساختمان های با خروج از مرکزیت جرمی $e_m = 0.20b$ به خاطر اختصار ارائه نشده است. شایان ذکر است که جابجایی نسبی حداکثر در ساختمان های مورد مطالعه در طبقات پایین اتفاق می افتد. این بدان علت است که این ساختمان ها کوتاه بوده و مود ارتعاشی اول حاکم بر پاسخ می باشد.

۵-۶ شکل پذیری نیاز مهاربندها

شکل ۱۱ تا شکل ۱۴ تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی را روی شکل پذیری نیاز مهاربند قاب های ۱ و ۴ تحت اثر سه دسته رکورد زلزله حوزه نزدیک گسل بدون پالس (NP)، حوزه دور (FF)

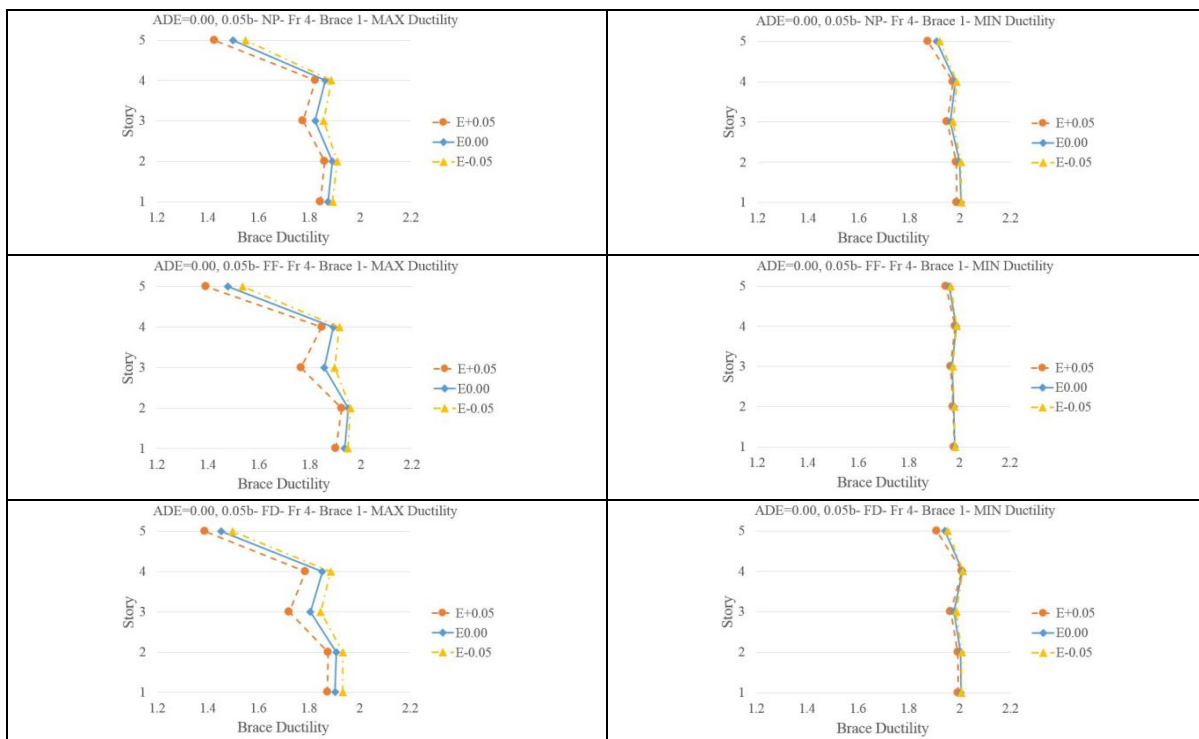
برای $AME = +0.05b$ عوض می شود، ولی به خاطر سهولت کار اصطلاح لبه سخت و نرم مشابه شکل حفظ شده است). حداکثر تغییرات برای ساختمان نامتقارن $e_m = 0.10b$ بصورت افزایش جابجایی نسبی طبقات برای لبه سخت تحت تاثیر $AME = -0.05b$ در دسته رکورد زلزله (NP) بوده و برای امتداد X ، ۱۲/۳ درصد می باشد (شکل ۱۰). مقایسه نتایج دسته زلزله های مختلف نشان می دهد که جابجایی نسبی طبقات تحت $AME = 0$ و $AME = \pm 0.05b$ در امتداد Y برای هر دو لبه، برای زلزله های نزدیک گسل (NP و FD) بیشتر از زلزله های (FF) است که در ساختمان $e_m = 0.10b$ (با و بدون $AME = 0.05b$) در طبقه اول، این اختلاف برای زلزله های نزدیک و دور از گسل برای لبه سخت حدود ۳۰ درصد و برای لبه نرم بترتیب برابر ۲۶ و ۳۱ درصد است.

همچنین جابجایی های نسبی طبقات تحت $AME = 0$ و $AME = \pm 0.05b$ در دسته زلزله حوزه نزدیک پالس دار (FD) در



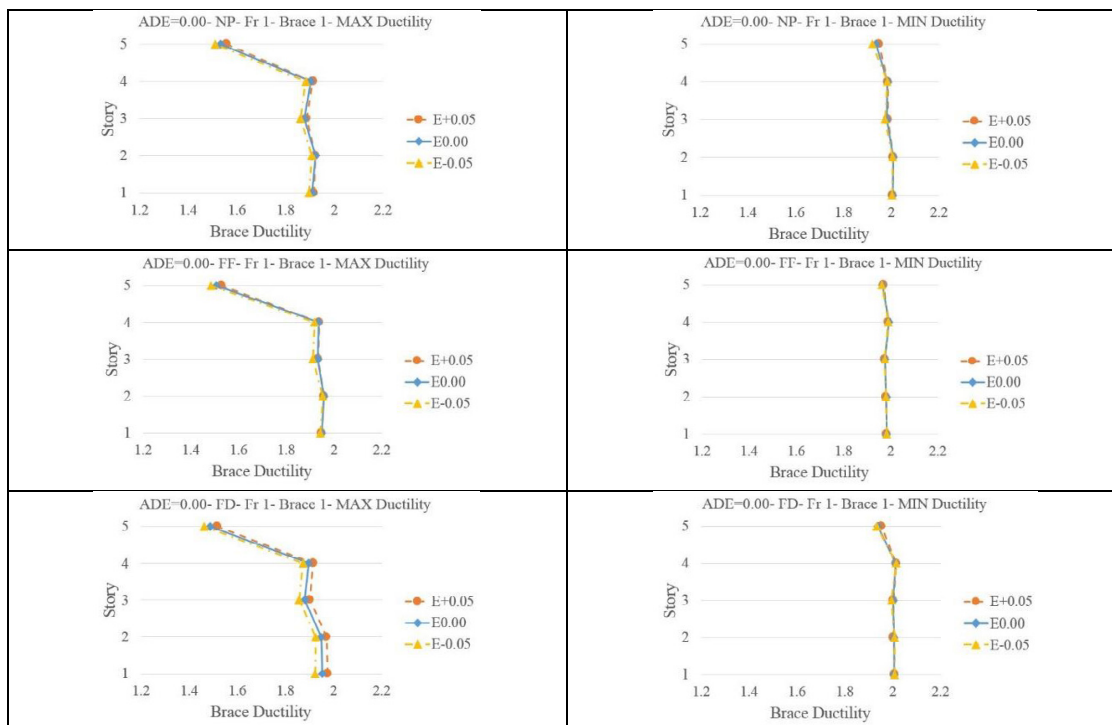
شکل ۱۱. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی شکل پذیری نیاز مهاربندهای قاب ۱ تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیشگی سخت متقارن.

Fig. 11. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the ductility demands of the braces of frame 1 subjected to the three sets of the ground motions records for the symmetric-plan TS building.



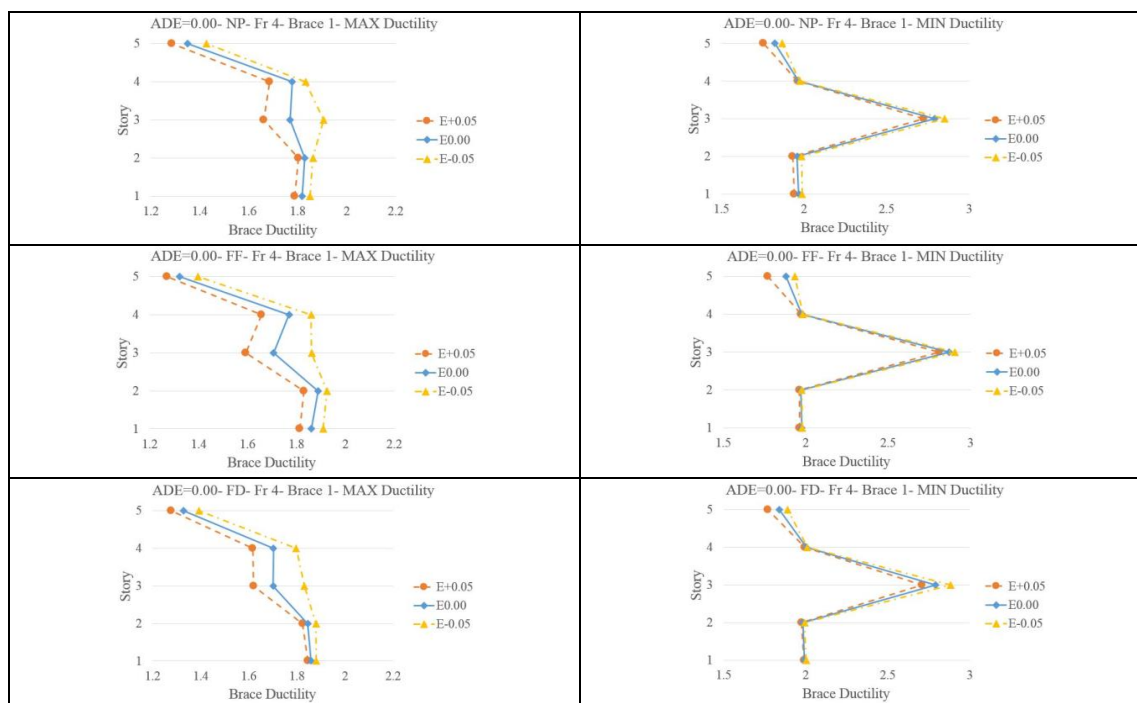
شکل ۱۲. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی شکل پذیری نیاز مهاربندهای قاب ۴ تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیشگی سخت متقارن.

Fig. 12. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the ductility demands of braces of frame 4 subjected to the three sets of the ground motions records for the symmetric-plan TS building.



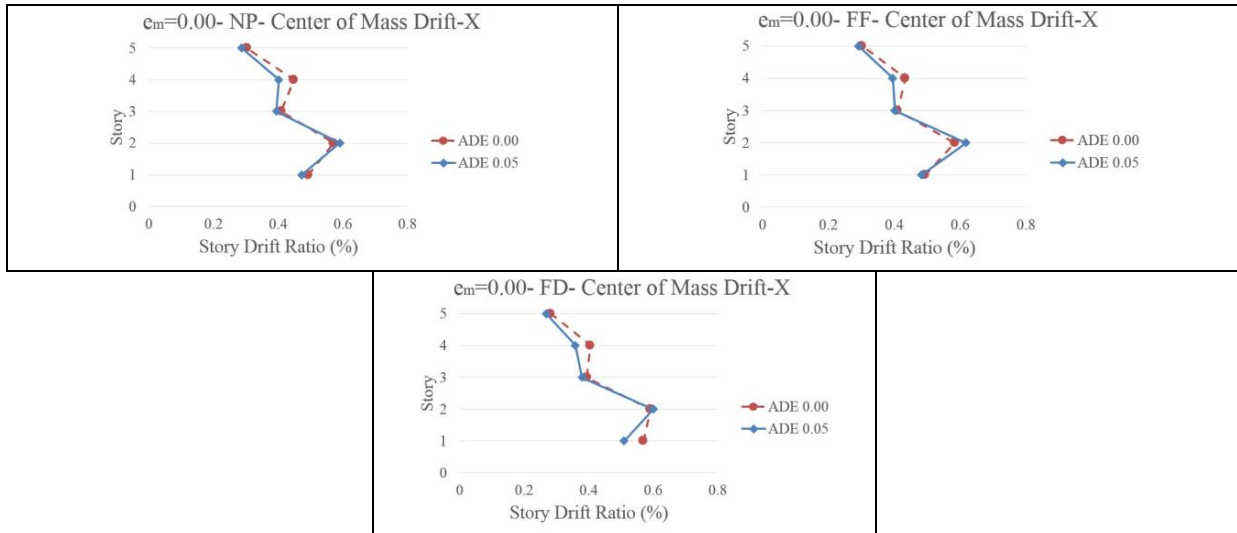
شکل ۱۳. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی شکل پذیری نیاز مهاربندهای قاب ۱ (لبه نرم) تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیششی سخت با خروج از مرکزیت جرمی ۱۰ درصد.

Fig. 13. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the ductility demands of braces of frame 1 (flexible side) subjected to the three sets of the ground motions records for the asymmetric-plan TS building with a mass eccentricity of 10% ($e_m=0.10b$).



شکل ۱۴. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی شکل پذیری نیاز مهاربندهای قاب ۴ (لبه سخت) تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیششی سخت با خروج از مرکزیت جرمی ۱۰ درصد.

Fig. 14. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the ductility demands of the braces of frame 4 (stiff side) subjected to the three sets of the ground motions records for the asymmetric-plan TS building with a mass eccentricity of 10% ($e_m=0.10b$).



شکل ۱۵. تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی (ADE) روی جابجایی نسبی طبقات در مرکز جرم تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیشگی نرم متقارن.

Fig. 15. The effect of accidental design eccentricity (ADE) on the story drifts at the center of mass subjected to the three sets of ground motions records for the symmetric-plan TF building.

۴-۸ تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی (ADE) روی ساختمان‌های پیشگی نرم

۴-۸-۱ جابجایی نسبی طبقات

شکل ۱۵ تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی ADE را روی جابجایی نسبی طبقات در مرکز جرم در امتداد X تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیشگی نرم متقارن نشان می‌دهد.

نتایج حاکی از آن است که خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی سبب کاهش نیاز جابجایی نسبی در طبقات ۱، ۴ و ۵ بخصوص در امتداد اثر مولفه پالس‌دار در دسته رکورد (FD) می‌شود. حداکثر کاهش بواسطه ADE در طبقات اول و چهارم در امتداد محور X برای دسته رکورد زلزله (FD) بترتیب حدود ۱۰ و ۱۱/۵ درصد می‌باشد. علت کاهش جابجایی نسبی طبقات افزایش سائز مقطع مهاربند از مقطع SB1 به SB2 و در نتیجه افزایش سختی طبقه در طبقه ۴ می‌باشد.

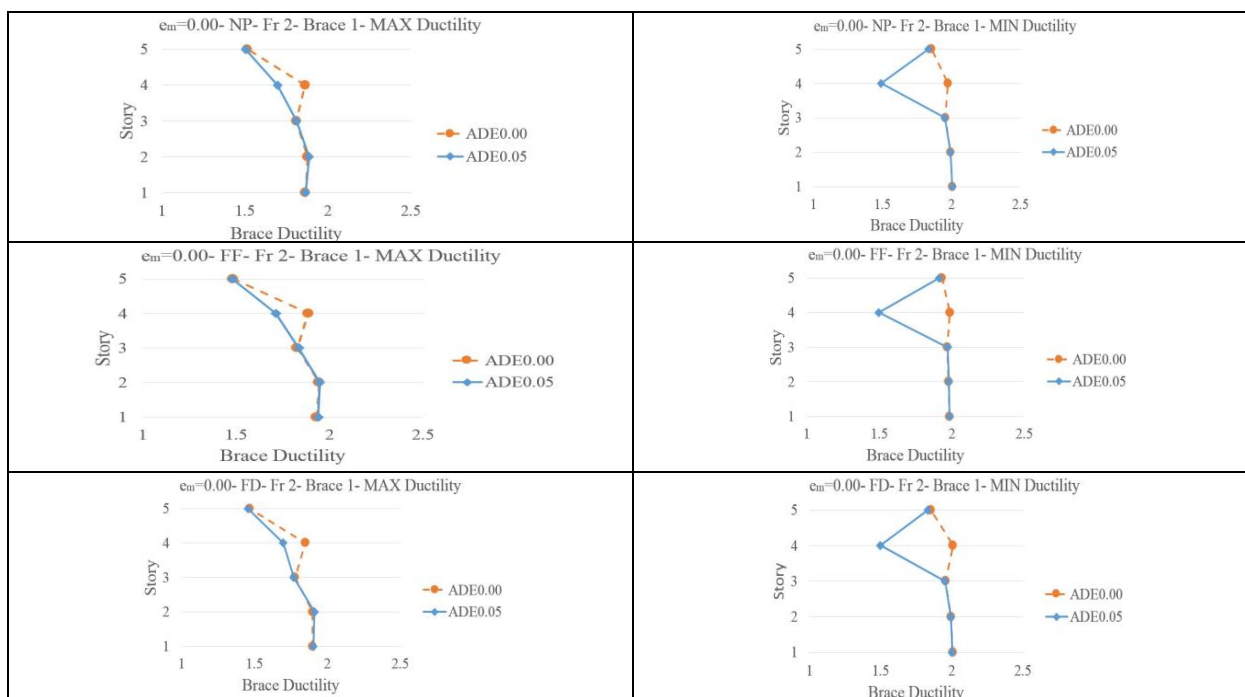
۴-۹ شکل‌پذیری نیاز مهاربندها

شکل ۱۶ تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی ADE را روی شکل‌پذیری نیاز مهاربند قاب ۲ تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیشگی نرم متقارن نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که ADE سبب کاهش شکل‌پذیری نیاز فشاری و کششی

و حوزه نزدیک گسل پالس‌دار (FD) برای ساختمان پیشگی سخت نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که AME سبب افزایش و کاهش شکل‌پذیری نیاز مهاربندها به ترتیب در لبه‌های نرم و سخت در ساختمان متقارن می‌گردد. تغییرات در شکل‌پذیری نیاز فشاری مهاربند در ساختمان‌های متقارن و نامتقارن $e_m=0.10b$ با $ADE=0.00$ و $ADE=0.05b$ بسیار ناچیز و قابل صرف‌نظر می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه شده در بالا، در ساختمان‌های پیشگی سخت AME تاثیر چندانی روی پاسخ‌های غیرالاستیک ساختمان‌های طراحی شده برای $ADE=0.00$ و $ADE=0.05b$ ندارد که این نتیجه با نتایج مطالعات گذشته [۱۵، ۱۸] مطابقت دارد. همچنین نتایج بالا حاکی از تاثیر بیشتر AME در ساختمان‌های متقارن پیشگی سخت نسبت به ساختمان‌های نامتقارن دارد که با نتایج مطالعات گذشته [۶، ۸، ۱۵، ۱۸، ۳۳] مطابقت دارد.

۴-۷ ساختمان‌های پیشگی نرم

در ساختمان‌های پیشگی نرم، ملاحظه گردید که در نظرگیری خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی در طراحی ساختمان متقارن، موجب قوی‌تر شدن ساختمان شد، ولی در ساختمان‌های نامتقارن تغییری در اعضای ساختمان بوجود نیامد.



شکل ۱۶. تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی ADE روی شکل پذیری نیاز مهاربند قاب های ۲ تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی نرم متقارن.

Fig. 16. The effect of accidental design eccentricity (ADE) on the ductility demands of braces of frame 2 subjected to the three sets of the ground motions records for symmetric-plan TF building.

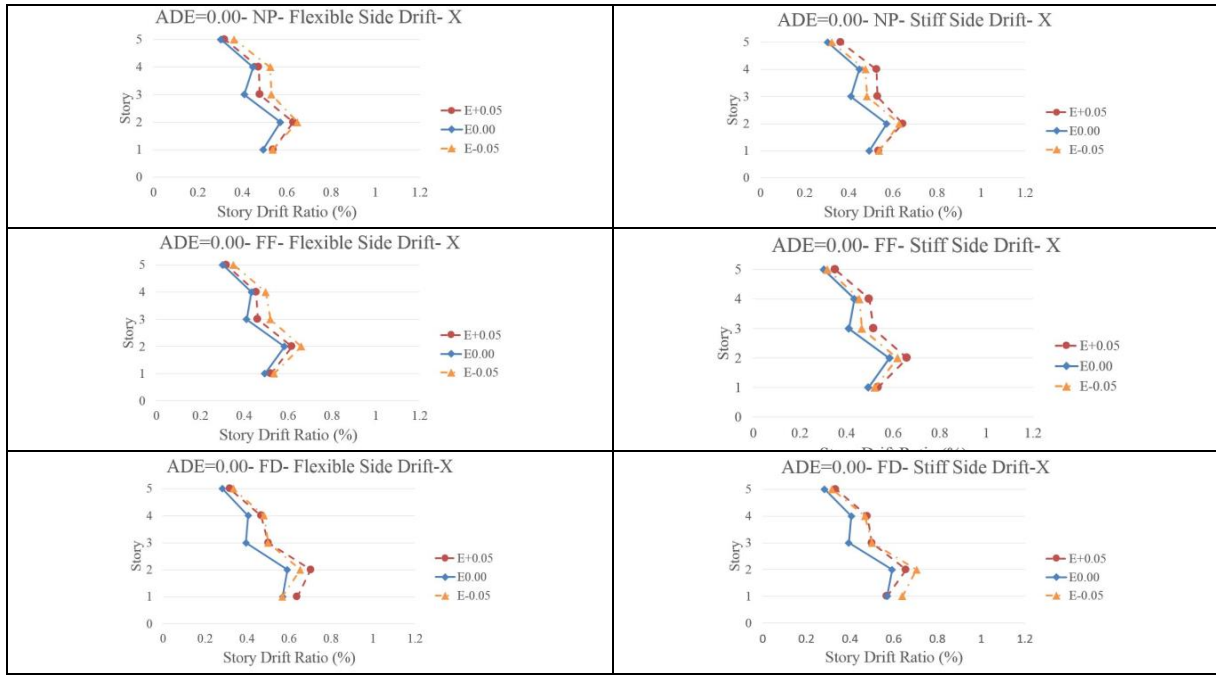
مهاربندها در طبقه ۴ شده است که علت آن افزایش سایز مقطع مهاربند از مقطع SB1 به SB2 و در نتیجه افزایش سختی طبقه در طبقه ۴ می باشد. در قاب ۲ برای طبقه چهارم در هر سه دسته رکورد زلزله کاهش شکل پذیری نیاز فشاری حدود ۲۵ درصد و برای شکل پذیری نیاز کششی حدود ۹ درصد است. با توجه به تاثیر ADE در ساختمان پیچشی نرم متقارن و افزایش مقطع مهاربندی، بیشترین کاهش شکل پذیری در این نوع ساختمان در مقایسه با ساختمان های نامتقارن مشاهده می شود. بنابراین تاثیر ADE در ساختمان پیچشی نرم متقارن بیشتر از ساختمان نامتقارن است.

۴-۱۰ تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی $AME = \pm 0.05b$ روی ساختمان های پیچشی نرم

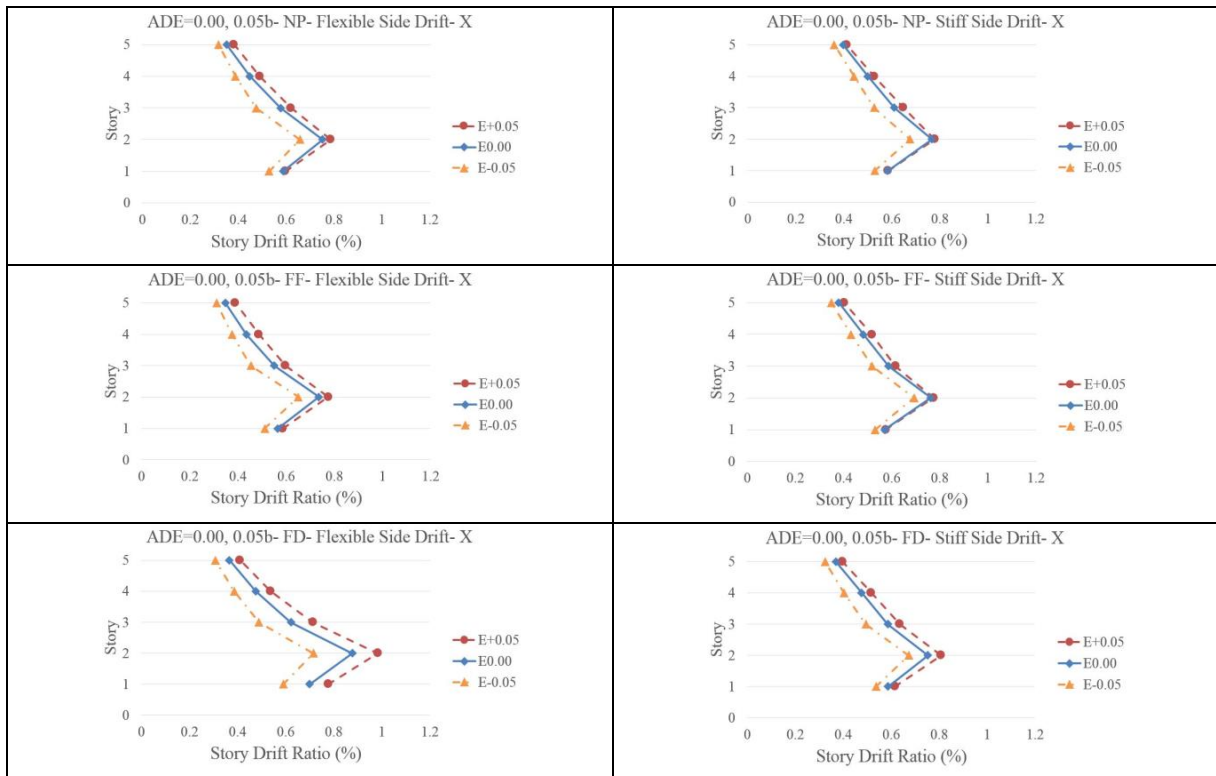
شکل ۱۷ و شکل ۱۸ تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی را روی جابجایی نسبی طبقات در لبه های سخت و نرم در دو جهت X تحت اثر سه دسته زلزله برای ساختمان پیچشی نرم نشان می دهد. نتایج نشان می دهند که اعمال خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی

سبب افزایش جابجایی نسبی طبقات در لبه های نرم و سخت می گردد و این افزایش برای لبه سخت بیشتر است که حداکثر میزان افزایش جابجایی نسبی طبقات در اثر اعمال $AME = +0.05b$ برای ساختمان متقارن با $AME = +0.05b$ جهت X برای دسته رکورد NP در لبه سخت ۳۰ درصد می باشد. در ساختمان نامتقارن $e_m = 0.10b$ (شکل ۱۸)، $AME = +0.05b$ و $AME = -0.05b$ بترتیب سبب افزایش و کاهش جابجایی نسبی طبقات برای لبه های نرم و سخت می شود؛ اگرچه افزایش نامتقارنی به سبب $AME = +0.05b$ تاثیر کمتری در افزایش جابجایی نسبی طبقات نسبت به کاهش جابجایی نسبی طبقات در کاهش خروج از مرکزیت جرمی با اعمال $AME = -0.05b$ دارد. در ساختمان نامتقارن با $e_m = 0.10b$ ، حداکثر میزان افزایش تحت تاثیر $AME = +0.05b$ در دسته رکورد زلزله های (FD) برای طبقه سوم در امتداد X برای لبه های نرم و سخت بترتیب برابر $14/7$ و $8/6$ درصد است. در ساختمان یاد شده حداکثر میزان کاهش تحت تاثیر $AME = -$

۱۷۲۱



شکل ۱۷. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی جابجایی نسبی طبقات تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی نرم متقارن.
 Fig. 17. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the story drifts subjected to the three sets of the ground motions records for the symmetric-plan TF building.



شکل ۱۸. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی جابجایی نسبی طبقات تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی نرم با خروج از مرکزیت جرمی ۱۰ درصد ($e_m = 0.10b$).
 Fig. 18. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the story drifts subjected to the three sets of the ground motions records for the asymmetric-plan TF building with a mass eccentricity of 10% ($e_m = 0.10b$).

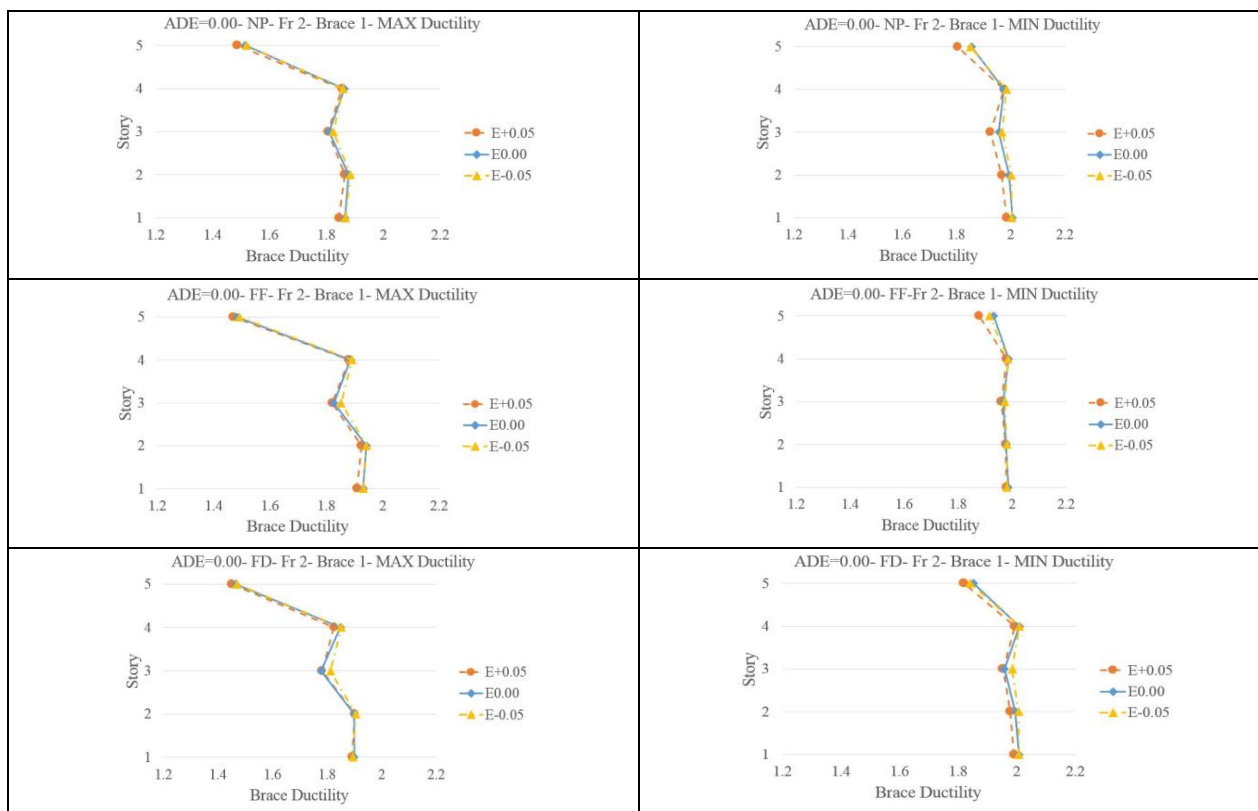
سخت و نرم بیشتر از دو دسته رکورد زلزله دیگر (NP و FF) است که با افزایش خروج از مرکزیت جرمی اولیه (e_m) افزایش می‌یابد و حداکثر میزان اختلاف در ساختمان نامتقارن $e_m=0.20b$ برای لبه سخت بترتیب برابر $8/7$ و 16 درصد و برای لبه نرم برابر $73/7$ و $78/5$ درصد است. بنابراین، نیازهای لرزه‌ای (جابجایی نسبی بین طبقات) در لبه نرم در سازه‌های پیچشی نرم با خروج از مرکزیت بالا، تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک گسل در مقایسه با زلزله‌های حوزه دور بسیار قابل توجه بوده و مستلزم توجه بیشتر در طراحی اعضای لبه نرم در این ساختمان‌ها تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک گسل می‌باشد.

۴-۱۱ شکل‌پذیری نیاز مهاربندها

شکل ۱۹ تا شکل ۲۱ تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی را روی شکل‌پذیری نیاز مهاربند قاب‌های ۲ و ۳ تحت اثر سه دسته زلزله برای ساختمان پیچشی نرم نشان می‌دهد. نمودارها نشان می‌دهند که در ساختمان‌های متقارن و نامتقارن، $AME=\pm 0.05b$ تاثیر چندانی

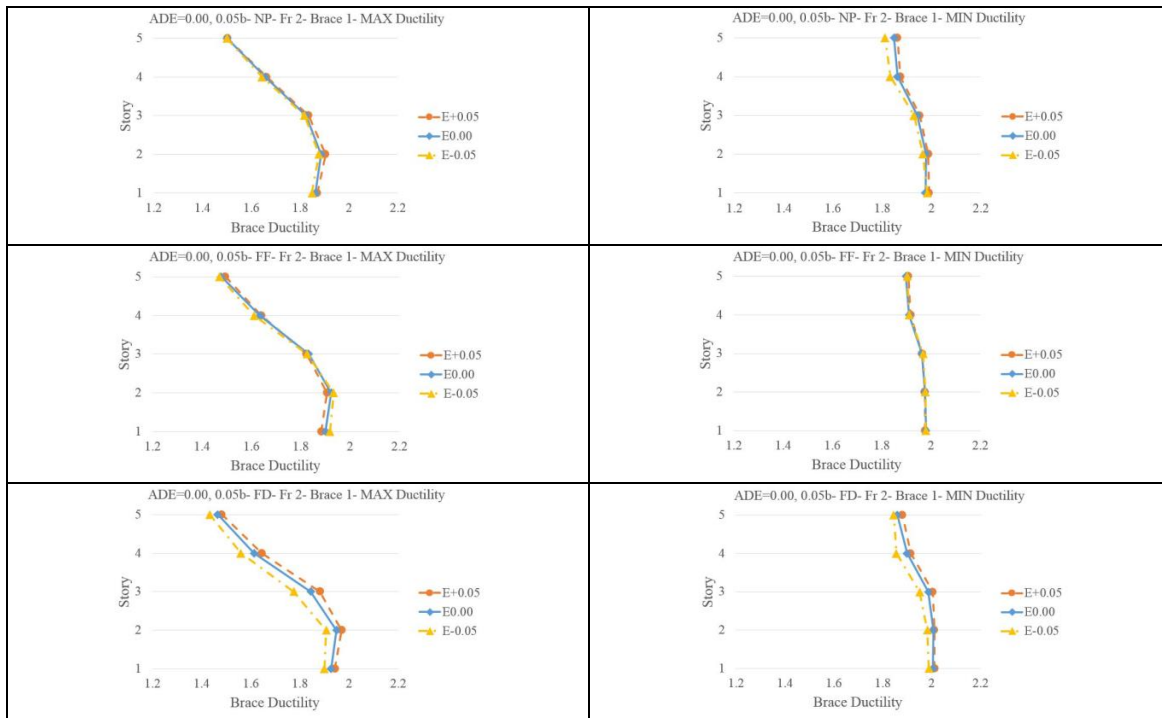
در دسته رکورد زلزله‌های (FD) در طبقه سوم ساختمان نامتقارن با $e_m=0.10b$ در امتداد X برای لبه‌های نرم و سخت بترتیب برابر $21/3$ و $15/6$ درصد است. همچنین ساختمان نامتقارن با افزایش نامتقارنی و خروج از مرکزیت جرمی اولیه حساسیت کمتری نسبت به خروج از مرکزیت اتفاقی (AME) دارد.

مقایسه نتایج برای سه دسته رکورد زلزله بیان می‌کند که جابجایی نسبی طبقات برای زلزله‌های حوزه نزدیک (NP و FD) در امتداد Y در هر دو لبه بیشتر از دسته زلزله (FF) می‌باشد که برای ساختمان متقارن با $ADE=0.05b$ اختلاف جابجایی نسبی طبقات در طبقه اول بین دسته زلزله‌های (NP و FD) با (FF) برای لبه‌های نرم و سخت مشابه هم و حدود ۲۷ درصد است (نتایج برای جهت Y به خاطر اختصار نشان داده نشده است). بنابراین، جابجایی نسبی طبقات در ساختمان یاد شده تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک FD بطور قابل توجهی بیشتر از دسته رکورد زلزله‌های FF می‌باشد. همچنین جابجایی نسبی طبقات در امتداد X برای زلزله‌های (FD) در لبه‌های



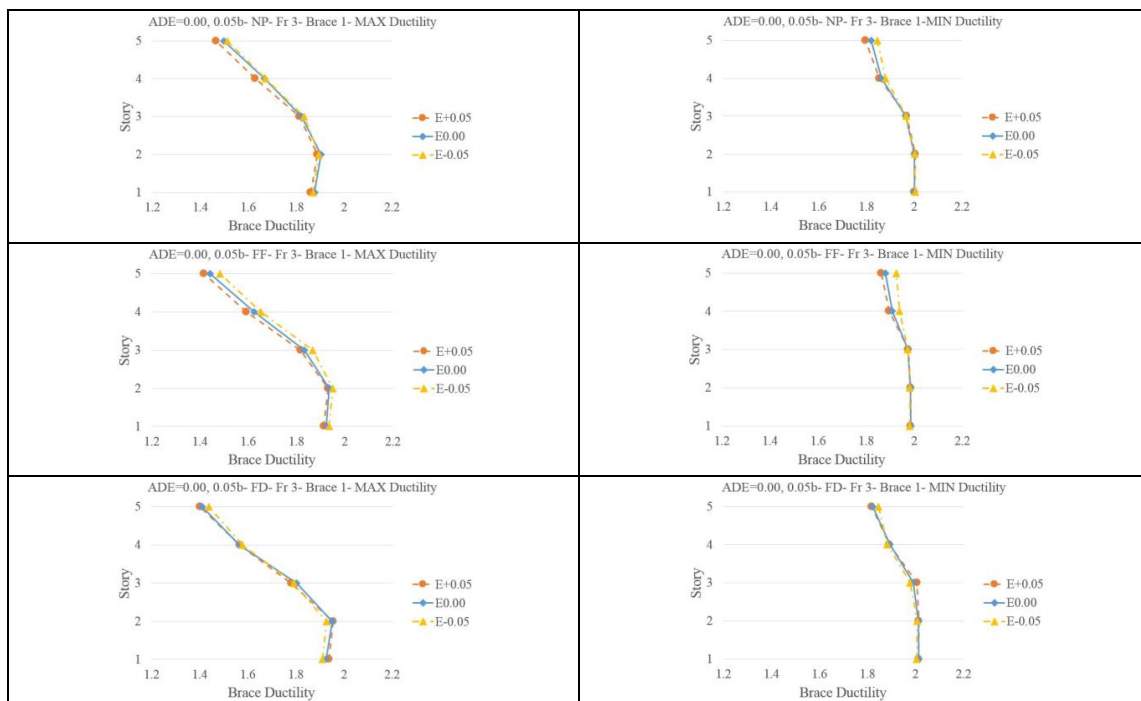
شکل ۱۹. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی شکل‌پذیری نیاز مهاربندهای قاب ۲ تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی نرم متقارن.

Fig. 19. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the ductility demands of the braces of frame 2 subjected to the three sets of the ground motions records for the symmetric-plan TF building.



شکل ۲۰. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی شکل پذیری نیاز مهاربندهای قاب ۲ (لبه نرم) تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی نرم با خروج از مرکزیت جرمی ۱۰ درصد ($e_m = 0.10b$).

Fig. 20. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the ductility demands of the braces of frame 2 (flexible side) subjected to the three sets of the ground motions records for the asymmetric-plan TF building with a mass eccentricity of 10% ($e_m = 0.10b$).



شکل ۲۱. تاثیر خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) روی شکل پذیری نیاز مهاربندهای قاب ۳ (لبه سخت) تحت اثر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمان پیچشی نرم با خروج از مرکزیت جرمی ۱۰ درصد ($e_m = 0.10b$).

Fig. 21. The effect of accidental mass eccentricity (AME) on the ductility demands of the braces of frame 3 (stiff side) subjected to the three sets of the ground motions records for the asymmetric-plan TF building with a mass eccentricity of 10% ($e_m = 0.10b$).

روی شکل‌پذیری نیاز مهاربندها ندارد.

با توجه به نتایج ارائه شده در بالا، AME تاثیر بیشتری روی ساختمان متقارن پیچشی نرم دارد که با مطالعات [۶، ۸، ۱۸، ۳۳] مطابقت دارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی و خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی تحت اثر سه دسته رکورد زلزله حوزه دور، حوزه نزدیک بدون پالس و شامل پالس برای ساختمان‌های پیچشی سخت و نرم، متقارن و نامتقارن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج زیر برای ساختمان‌های مورد مطالعه قابل بیان هستند:

ضریب بزرگنمایی مربوط به برون مرکزی اتفاقی (A_p) در فرآیند طراحی موجب قوی‌تر شدن اعضای ساختمانی نشده است. همچنین تاثیر خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی برای ساختمان پیچشی نرم متقارن بیشتر از ساختمان‌های نامتقارن می‌باشد و در ساختمان‌های نامتقارن تاثیری ندارد. همچنین خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی در طراحی ساختمان‌های پیچشی سخت متقارن تاثیری ندارد، ولی برای ساختمان نامتقارن $e_m=0.10b$ خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی موجب قوی‌تر شدن ساختمان شد.

در ساختمان‌های پیچشی سخت، خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) و افزایش خروج از مرکزیت جرمی اولیه (e_m) سبب افزایش و کاهش جابجایی نسبی طبقات به ترتیب در لبه‌های نرم و سخت می‌گردد. ساختمان متقارن، حساسیت بیشتری به خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) دارد؛ چراکه اعمال خروج از مرکزیت اتفاقی آن را نامتقارن می‌سازد. در ساختمان‌های پیچشی سخت متقارن و نامتقارن، خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی ($AME=+0.05$) سبب افزایش و کاهش اندک شکل‌پذیری نیاز کششی مهاربندها به ترتیب در لبه‌های نرم و سخت می‌شود.

مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران در ساختمان‌های تا ۵ طبقه و یا کوتاه‌تر از ۱۸ متر در مواردی که برون مرکزی نیروی جانبی طبقه در طبقات بالاتر از هر طبقه کمتر از ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه در امتداد عمود بر نیروی جانبی باشد، برای محاسبات لنگر پیچشی نیازی به در نظر گرفتن برون مرکزی اتفاقی در طبقات نیست که این ضابطه با توجه به نتایج حاصل در این پژوهش صرفاً برای

ساختمان‌های پیچشی سخت معتبر می‌باشد.

در ساختمان‌های پیچشی نرم خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی (AME) در ساختمان‌های متقارن (با $ADE=0.00$) و ($ADE=0.05b$) سبب افزایش جابجایی نسبی طبقات در هر دو لبه نرم و سخت می‌شود. در ساختمان نامتقارن $e_m=0.10b$ خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی $AME=+0.05b$ و $AME=-0.05b$ به ترتیب سبب افزایش و کاهش جابجایی نسبی طبقات در لبه‌های نرم و سخت می‌شود. در ساختمان نامتقارن $e_m=0.20b$ اعمال AME تاثیر اندکی در جابجایی نسبی طبقات در لبه‌های نرم و سخت دارد. بنابراین، نتایج بالا حاکی از حساسیت کمتر ساختمان‌های پیچشی نرم نامتقارن به خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی در مقایسه با ساختمان پیچشی نرم متقارن می‌باشد.

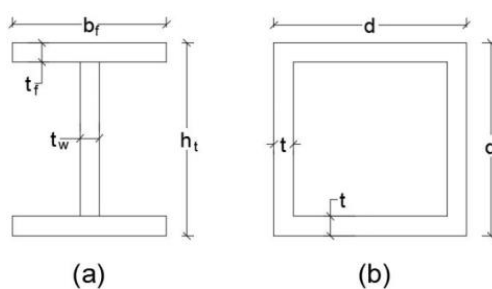
ساختمان نامتقارن پیچشی نرم با افزایش نامتقارنی و خروج از مرکزیت جرمی اولیه حساسیت کمتری را نسبت به خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی $AME=+0.05b$ نشان می‌دهد. خروج از مرکزیت جرمی اتفاقی تاثیر بیشتری روی ساختمان‌های پیچشی نرم دارد، ولی ضابطه خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی تاثیر اندکی روی کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای دارد. بنابراین، بنظر می‌رسد که ضابطه خروج از مرکزیت طراحی اتفاقی در استاندارد ۲۸۰۰ برای ساختمان‌های پیچشی نرم نیاز به اصلاح دارد.

جابجایی نسبی طبقات برای دسته زلزله‌های حوزه نزدیک گسل شامل پالس (FD) در امتداد مولفه شامل پالس (X)، در ساختمان‌های پیچشی سخت برای لبه‌های نرم و سخت و در ساختمان‌های پیچشی نرم برای لبه نرم بیشتر از دو دسته زلزله دیگر (NP و FF) است که برای لبه نرم اختلاف آن‌ها با افزایش خروج از مرکزیت جرمی اولیه افزایش می‌یابد؛ بطوریکه در ساختمان پیچشی نرم نامتقارن $e_m=0.20b$ حداکثر میزان اختلاف جابجایی نسبی طبقات بین دسته رکورد زلزله‌های FD و FF برای لبه نرم برابر ۷۸/۵ درصد است. بنابراین، جابجایی نسبی بین طبقات در لبه نرم برای سازه‌های پیچشی نرم با خروج از مرکزیت بالا، تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک گسل در مقایسه با زلزله‌های حوزه دور بسیار قابل توجه بوده و مستلزم توجه بیشتر در طراحی اعضای لبه نرم در این ساختمان‌ها تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک گسل می‌باشد.

- [11] A. Chandler, J. Correnza, G. Hutchinson, Influence of accidental eccentricity on inelastic seismic torsional effects in buildings, *Engineering Structures*, (1995) (3)17 178-167.
- [12] S.L. Dimova, I. Alashki, Seismic design of symmetric structures for accidental torsion, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 320-303 (2003) (2)1.
- [13] J. De-la-Colina, C. Almeida, Probabilistic study on accidental torsion of low-rise buildings, *Earthquake Spectra*, 41-25 (2004) (1)20.
- [14] O. Ramadan, S. Mehanny, A. Mostafa, Revisiting the %5 accidental eccentricity provision in seismic design codes for multi-story buildings, in: 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008.
- [15] K.G. Stathopoulos, S.A. Anagnostopoulos, Accidental design eccentricity: Is it important for the inelastic response of buildings to strong earthquakes?, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 797-782 (2010) (9)30.
- [16] J. De-la-Colina, B. Benítez, S.E. Ruiz, Accidental eccentricity of story shear for low-rise office buildings, *Journal of Structural Engineering*, 520-513 (2010) (4)137.
- [17] ASCE, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Standard ASCE/SEI 10-7, in, ASCE Reston, VA, 2010.
- [18] S. Anagnostopoulos, M. Kyrkos, A. Papalymperi, E. Plevri, Should accidental eccentricity be eliminated from Eurocode 8?, *Earthquakes and Structures*, (2015) (2)8 484-463.
- [19] J. De-la-Colina, C.A. González-Pérez, J. Valdés-González, Accidental eccentricities, frame shear forces and ductility demands of buildings with uncertainties of stiffness and live load, *Engineering Structures*, 127-113 (2016) 124.
- [20] J.-L. Lin, W.-C. Wang, K.-C. Tsai, Suitability of using the torsional amplification factor to amplify accidental torsion, *Engineering Structures*, 17-1 (2016) 127.
- [21] Standard No. 15-2800. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. Fourth ed. Iran: Building & Housing Research Center, (2015).
- [22] V. Gioncu, F. Mazzolani, *Earthquake Engineering for Structural Design*, CRC Press, 2011.
- [1] A.K. Chopra, J.C. De la Llera, Accidental and natural torsion in earthquake response and design of buildings, in: Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, Acapulco, Mexico, 1996.
- [2] D.J. DeBock, A.B. Liel, C.B. Haselton, J.D. Hooper, R.A. Henige, Importance of seismic design accidental torsion requirements for building collapse capacity, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, -831 (2014) (6)43 850.
- [3] S. Anagnostopoulos, M. Kyrkos, K. Stathopoulos, Earthquake induced torsion in buildings: critical review and state of the art, *Earthquakes and Structures*, (2)8 377-305 (2015).
- [4] J.C. De La Llera, A. Chopra, Evaluation of code accidental torsion provisions using earthquake records from three nominally symmetric-plan buildings, Rep. No. UCB/EERC1992) 9 ,92-).
- [5] J.C. De la Llera, A.K. Chopra, Evaluation of code accidental-torsion provisions from building records, *Journal of Structural Engineering*, 616-597 (1994) (2)120.
- [6] J.C. De la Llera, A.K. Chopra, Accidental torsion in buildings due to stiffness uncertainty, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, -117 (1994) (2)23 136.
- [7] J.C. De la Llera, A.K. Chopra, Using accidental eccentricity in code-specified static and dynamic analyses of buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (9)23 967-947 (1994).
- [8] J.C. De la Llera, A.K. Chopra, Accidental torsion in buildings due to base rotational excitation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, -1003 (1994) (9)23 1021.
- [9] P. Fajfar, D. Marušić, I. Peruš, Torsional effects in the pushover-based seismic analysis of buildings, *Journal of Earthquake Engineering*, 854-831 (2005) (06)9.
- [10] A.K. Chopra, R.K. Goel, A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for unsymmetric-plan buildings, *Earthquake engineering & structural dynamics*, 927-903 (2004) (8)33.

- Chicago-Illinois, (2010).
- [28] SAP2000, Computers and structures Inc, Berkeley, CA, USA, (2016).
- [29] Peer ground motion database, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, <http://ngawest2.berkeley.edu>, (2017).
- [30] Baker Research Group, https://web.stanford.edu/~bakerjw/pulse-classification_old.html, (2016).
- [31] J.W. Baker, Identification of near-fault velocity pulses and prediction of resulting response spectra, in: Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics IV, 2008, pp. 10-1.
- [32] ASCE, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Standard ASCE/SEI 13-41, in, ASCE Reston, VA, 2013.
- [33] O. Pekau, R. Guimond, Accidental torsion in yielding symmetric structures, Engineering Structures, (2)12 .105-98 (1990)
- [23] J.D. Bray, A. Rodriguez-Marek, Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 828-815 (2004) (11)24.
- [24] P.G. Somerville, N.F. Smith, R.W. Graves, N.A. Abrahamson, Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity, Seismological Research Letters, 222-199 (1997) (1)68.
- [25] E. Kalkan, S.K. Kunnath, Effects of fling step and forward directivity on seismic response of buildings, Earthquake Spectra, 390-367 (2006) (2)22.
- [26] M. Poursha, F. Khoshnoudian, A. Moghadam, A consecutive modal pushover procedure for nonlinear static analysis of one-way unsymmetric-plan tall building structures, Engineering Structures, 2434-2417 (2011) (9)33.
- [27] Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 10-360), American Institute of Steel Construction,

پیوست الف



شکل ۱. مقطع تیرها، مهاربندها و ستون ها. (a) مقطع تیرها؛ (b) مقطع ستون ها و مهاربندها

Fig. 1. Sections of: (a) the beams; (b) the columns and braces

جدول پیوست الف ۱. مشخصات مقاطع ستون ها و مهاربندها و تیرها

Table 1. Characteristics of sections of the columns, braces and beams.

مشخصات مقاطع تیرها					مشخصات مقاطع مهاربندها			مشخصات مقاطع ستون ها		
Section	h_t (cm)	t_w (cm)	b_f (cm)	t_f (cm)	Section	d (cm)	t (cm)	Section	d (cm)	t (cm)
SG1	25	0.8	20	1.0	SB1	8	0.6	SC1	25	1.0
SG2	25	0.8	20	1.5	SB2	10	0.6	SC2	25	1.5
SG3	30	0.8	20	1.5						

جدول پیوست الف-۲. مقاطع ستون‌ها در ساختمان‌های متقارن پیچشی سخت و نرم

Table 2. Sections of the columns in the torsionally- stiff and -flexible buildings.

مقاطع ستون‌ها در ساختمان متقارن پیچشی نرم			مقاطع ستون‌ها در ساختمان متقارن پیچشی سخت		
Position	story	Section	Position	Story	Section
Corner	1-5	SC1	Outer Columns	1-5	SC2
Other Columns	1-5	SC2	Inner Columns	1-5	SC1

جدول پیوست الف-۳. مقاطع مهاربندها در ساختمان‌های متقارن پیچشی سخت و نرم

Table 3. Sections of the braces in the torsionally- stiff and -flexible buildings.

مقاطع مهاربندها در ساختمان متقارن پیچشی نرم			مقاطع مهاربندها در ساختمان متقارن پیچشی سخت		
Axis	story	Section	Axis	story	Section
2, 3, B, C	1-3	SB1	1, 4, A, D	1-3	SB1
	4-5	SB2		4-5	SB2

جدول پیوست الف-۴. مقاطع تیرها در ساختمان‌های متقارن پیچشی سخت و نرم

Table 4. Sections of the beams in the torsionally- stiff and -flexible buildings.

مقاطع تیرها در ساختمان متقارن پیچشی نرم			مقاطع تیرها در ساختمان متقارن پیچشی سخت		
Axis	story	Section	Axis	story	Section
1, 4, A, D	1-5	SG1	1, 4, A, D	1-5	SG2
2, 3, B, C	1-5	SG3	2, 3, B, C	1-5	SG1

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M.R. Vafidsarkari, M. Poursha, *The importance of accidental design eccentricity in seismic design of steel buildings with dual system under the effect of far- and near-fault ground motions*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 52(7) (2020) 1705-1728.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15618.5975](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15618.5975)

