



اثر طیف طرح بر طراحی ساختمان‌های بلند با تغییرات ناگهانی در پلان

امیر علیرضایی¹، شهرام وهدانی²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

alirezaei.amir@ut.ac.ir

2- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

svahdani@ut.ac.ir

چکیده

در پیش‌نویس ویرایش چهارم استاندارد 2800، طیف طرح¹ پیشنهادی اختلاف قابل ملاحظه‌ای با طیف طرح استاندارد 2800 ویرایش سوم دارد. در بررسی حاضر سعی شده است اثر این تفاوت روی یک سازه با تغییرات ناگهانی در پلان که دارای نامنظمی جرمی در ارتفاع نیز می‌باشد، مشخص گردد. نتایج نشان می‌دهد که با حاکم شدن دررفت² در طرح با ویرایش سوم عملاً طراحی به سمت دررفت با تغییرات ملایم رو کرده، و در طرح با پیش‌نویس ویرایش چهارم تغییرات ناگهانی دررفت در ارتفاع باقی می‌ماند. در نتیجه طراحی دو ویرایش تفاوت قابل ملاحظه‌ای در تغییر شکل جانبی و میزان مصالح مصرفی خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: طیف طرح، ساختمان‌های بلند، نامنظمی در ارتفاع، دررفت.

1. مقدمه

طراحی ساختمان‌های بلند در برابر زلزله همواره یکی از موارد مورد بحث میان طراحان و محققین بوده است. روش تحلیل طیف پاسخ، یکی از روش‌های تحلیلی پر کاربرد است که تقریباً از سوی همه طراحان و آیین‌نامه‌ها روشی معتبر برای طراحی ساختمان‌های بلند می‌باشد. با توجه به اینکه طیف طرح الاستیک بر روی مشخصات مقاطع سازه طراحی شده اثر قابل ملاحظه‌ای دارد، می‌توان گفت که احتمالاً انتخاب طیف طرح متفاوت برای طراحی سازه، بر روی رفتار لرزه‌ای سازه اثر قابل توجهی می‌گذارد. طیف طرح که در اصل توسط آیین‌نامه‌های طراحی ارائه می‌شود و به عوامل متعددی از جمله مشخصات ساختگاه شامل محل و نوع خاک وابسته است، مهمترین عامل در نتایج یک تحلیل طیفی است.

¹ Design response spectrum

² Drift



در این تحقیق برای بررسی هر چه بهتر اثر طیف بر طراحی یک ساختمان دارای نامنظمی ناگهانی در ارتفاع انتخاب شده و یک بار با استفاده از طیف استاندارد 2800 ویرایش سوم [1] و یک بار با استفاده از طیف پیشنهادی پیشنویس استاندارد 2800 ویرایش چهارم [2] طراحی شده است. سازه مورد بحث در این تحقیق سازه‌ای دارای تغییرات ناگهانی در جرم و سختی و ابعاد سیستم باربر جانبی است. با توجه به اینکه این تغییرات در سازه‌های پله‌ای نیز وجود دارد و اینکه تحقیقات گذشته بر روی این رفتار این سازه‌ها عموماً تمرکز داشته می‌توان انتظار داشت رفتار لرزه‌ای این سازه به سازه‌های پله‌ای نزدیک باشد. به طور کلی می‌توان گفت نتایج بدست آمده از مطالعاتی که در مورد رفتار لرزه‌ای سازه‌های پله‌ای، که حالت دو بعدی سازه دارای تغییرات ناگهانی می‌باشد، انجام شده است کمابیش با هم متفاوت است و نمی‌توان نتیجه واحدی از آن‌ها استنباط نمود. درحالی‌که نتایج برخی تحقیقات حاکی از تمرکز تنش، تغییرشکل اعضا و در نتیجه خرابی سازه در نقاط پس‌رفتگی است، مطالعات دیگر نشان می‌دهند که رفتار لرزه‌ای سازه‌های پله‌ای با سازه‌های منظم تفاوت زیادی ندارند و شکل تغییر مکان جانبی و مد غالب سازه‌های پله‌ای مشابه سازه‌های منظم است. طبق این مطالعات تنها تفاوت قابل توجه این قبیل سازه‌ها با سازه‌های منظم غیر یکنواخت بودن تغییر مکان جانبی نسبی طبقات در ارتفاع سازه و افزایش تقاضای تغییر مکان جانبی نسبی در قسمت برج سازه‌های پله‌ای است [3]. تحقیق دیگری که به بررسی اثر تغییرات ناگهانی جرم در ارتفاع پرداخته نیز نشان می‌دهد که با افزایش میزان تغییرات ناگهانی، افزایش قابل ملاحظه‌ای در دریافت طبقات بالای تراز تغییرات رخ می‌دهد. همچنین نشان داده شده میزان تغییرات ابعاد نیز بر روی میزان دریافت اثر قابل ملاحظه‌ای دارد [4].

2. معرفی طیفها

در این بخش به معرفی طیف‌های استاندارد 2800 ویرایش سوم طیف پیشنهادی پیشنویس استاندارد 2800 ویرایش چهارم و طیف آیین‌نامه بارگذاری انجمن مهندسی عمران آمریکا [5] پرداخته شده است. در طیف طرح استاندارد 2800 خاک محل ساختگاه خاک نوع 3 با سرعت موج برشی در عمق 30 متری بین 175 تا 375 متر بر ثانیه انتخاب شده پهنه با لرزه‌خیزی خیلی زیاد فرض شده است. با توجه به این فرضیات بیشینه شتاب طیف 2800 در هر دو ویرایش ذکر شده برابر 0/9625 میباشد. مشخصات طیف آیین‌نامه بارگذاری انجمن مهندسی عمران آمریکا به گونه‌ای انتخاب شده که از نظر مقدار بیشینه شتاب طیفی برابر یک یعنی تقریباً برابر بیشینه شتاب طیف‌های استاندارد 2800 ویرایش‌های سوم و چهارم باشد [1 و 2]. فرضیات به گونه‌ای بوده است که مقادیر T_0 و T_s هر 3 طیف نیز تقریباً با هم برابر است. بر این اساس مشخصات اولیه طیف طرح آیین‌نامه بارگذاری انجمن مهندسی عمران آمریکا بر اساس زیر است.

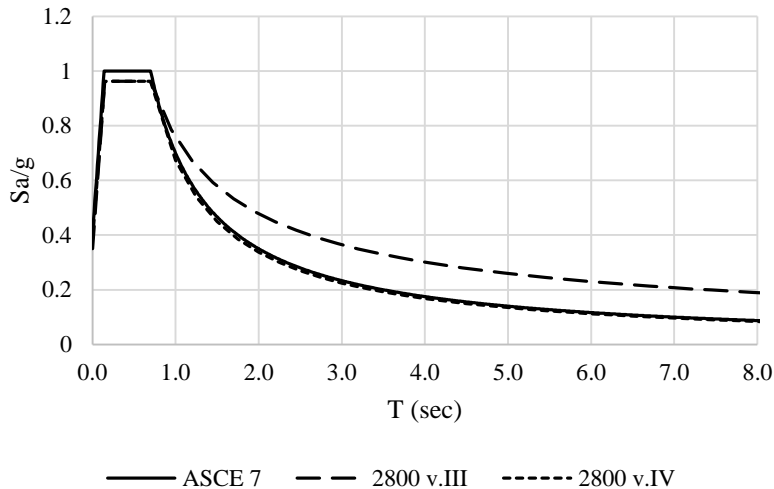
$$S_s=1/5$$

¹ Setback structure

² American society of civil engineering (ASCE)

$$SI=0/7$$

خاک نوع D



شکل (1): طیف طرح الاستیک 5% میرایی استاندارد 2800 ویرایش سوم و چهارم و طیف ASCE 7

با توجه به توضیحات و شکل (1) طیف طرح پیشنویس استاندارد 2800 ویرایش چهارم [2] و طیف آیین نامه بارگذاری انجمن مهندسی عمران آمریکا [5] در پیوندهای بالا بر هم منطبق بوده، بنابراین با توجه به اینکه سازه های بلند دارای پیوندهای بالایی هستند می توان به جای استفاده از طیف طرح پیشنویس استاندارد 2800 از طیف آیین نامه بارگذاری انجمن مهندسی عمران آمریکا استفاده کرد.

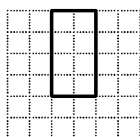
3. معرفی هندسه سازه و طراحی آن

آیین نامه های طراحی و ارزیابی تقریباً همگی معیار اختلاف جرم بیش از 50% را به عنوان نامنظمی جرم در ارتفاع در نظر می گیرند [5 و 6]. با توجه به این موضوع ساختمان انتخاب شده دارای نامنظمی متفاوت جرمی در سه تراز انتخاب شده است. سازه بر اساس آیین نامه بارگذاری انجمن مهندسی عمران آمریکا [5] و آیین نامه طراحی سازه های فولادی انجمن ساختمان آیین نامه بارگذاری انجمن مهندسی عمران آمریکا [6] طراحی شده اند. طیف طرح یک بار طیف طرح استاندارد 2800 ویرایش سوم [1] و یک بار طیف طرح استاندارد 2800 ویرایش چهارم [2] در نظر گرفته شده است.

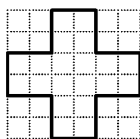
سازه مورد بررسی دارای 60 طبقه می باشند که در تراز بعد از طبقات 15، 30 و 45 دارای پس رفتگی در پلان می باشند. ارتفاع هر طبقه برابر 3/5 متر و طول تمامی دهانه ها برابر 6 متر در نظر گرفته شده است. بار مرده اضافه بر وزن سازه و بار زنده به ترتیب برابر 600 و 300 کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است. از پروفیل

I شکل اروپایی برای مقطع تیرها و از Box مربعی برای مقطع ستونها استفاده شده است. سیستم باربر این سازه‌ها قاب خمشی ویژه و فولاد مصرفی از نوع A36 انتخاب شده است. دیافراگم‌ها به صورت صلب فرض شده است. نتایج بر اساس طیف طراحی هر سازه ارائه شده است. در نتایج ضریب رفتار سازه و ضریب افزایش تغییر مکان لحاظ نشده است به این معنی که طیف شتاب طرح بدون ضریب به سازه اعمال شده است. مشخصات اولیه مدل شامل وزن کل، وزن سازه، پریرود اول و دوم و سایر مشخصات اولیه مدلها در جدول (1) و (2) و (3) ارائه شده است.

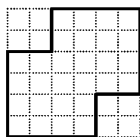
در متن، جدولها و نمودارها به جای مدل طراحی شده با طیف استاندارد 2800 ویرایش 3 از v.III، مدل طراحی شده با طیف استاندارد 2800 ویرایش 4 از v.IV استفاده شده است.



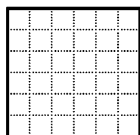
طبقه 46-60



طبقه 31-45



طبقه 16-30



طبقه 1-15

شکل (2): پلان سازه مورد بررسی

جدول (1): نسبت جرم هر طبقه به طبقه روی آن

m_i/m_{i+1}		
طبقه 45	طبقه 30	طبقه 15
۲.۴۱	۱.۳۷	۱.۲۷

جدول (2): مشخصات اولیه مدل‌ها

مدل	وزن کل	برش پایه		برش پایه به وزن سازه		
		سازه	پایه			
	W (KN)	W _{frame} (KN)	V _x (KN)	V _y (KN)	V _x /W	V _y /W
v.III	۴۳۶۲۹۲	۸۹۴۰۸	۷۳۷۷۳	۷۰۸۳۷	۰/۱۶۹	۰/۱۶۲
v.IV	۴۰۷۲۵۴	۶۰۳۷۱	۲۱۳۸۷	۲۲۰۲۷	۰/۰۵۳	۰/۰۵۴

جدول (3): مشخصات دینامیکی مدل‌ها

مدل	مود	نسبت مشارکت جرم مودی (ثانیه)	
		X	Y
v.III	۱	۶/۶۶	۰٪
	۲	۵/۸۴	۰٪
v.IV	۱	۷/۴۶	۱۲٪
	۲	۷/۲۸	۴۹٪

6. بررسی تغییر شکل‌ها

بررسی نتایج نشان می‌دهد میزان حداکثر تغییر شکل جانبی مرکز جرم بام نسب به تراز پایه (دریفت کل) در مدل v.III به مقدار حداکثر دریفت مجاز طبقه که توسط آیین‌نامه پیشنهاد شده نزدیک است. این در حالی است که در مدل v.IV این مقدار در جهت X حدود 70٪ و در جهت Y حدود 55٪ مدل v.III می‌باشد. دلیل این اختلاف را می‌توان به صورت زیر تفسیر کرد:

1- با افزایش میزان شتاب طیف در پریودهای بالا، برش پایه سازه افزایش یافته که در نتیجه آن دریفت طبقات افزایش می‌یابد. جهت محدود کردن دریفت طبقات به مقدار مجاز آیین‌نامه، باید سازه سخت شود که افزایش سختی خود موجب افزایش جرم سازه نیز می‌شود. افزایش سختی موجب کاهش شدید پریود سازه شده که باعث افزایش برش پایه می‌شود. علاوه بر این افزایش جرم نیز موجب افزایش میزان برش پایه می‌شود. این

چرخه تا جایی که میزان دررفت طبقات به مقادیر مجاز آیین نامه محدود شود ادامه دارد. بنابراین در طراحی سازه با طیف ویرایش سوم استاندارد 2800 معیار کنترل دررفت حاکم بر طرح بوده که نتیجه آن یکنواختی نسبی دررفت در ارتفاع سازه می باشد.

2- در سازه طراحی شده با طیف طرح ویرایش چهارم استاندارد 2800 با توجه به کم بودن میزان شتاب طیفی در پیوندهای بالا، عکس حالت قبل رخ داده که این موضوع موجب کاهش میزان مصالح مصرفی در سازه می شود.

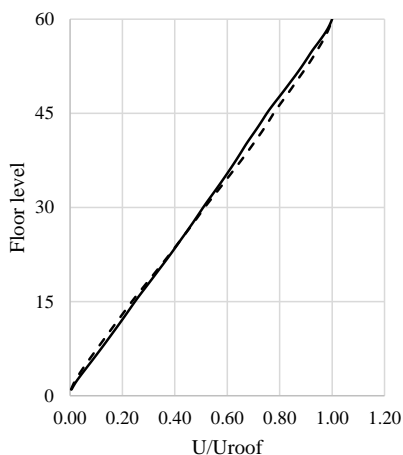
در طراحی ساختمان بلند مورد بحث با طیف ویرایش 3، معیار تغییر شکل (دررفت) کنترل کننده مقاطع سازه است در حالیکه در طراحی با طیف طرح ویرایش 4، معیار تغییر شکل (دررفت) و ظرفیت به طور همزمان کنترل کننده طرح است.

مقادیر دررفت کل مرکز جرم و دررفت کل حداکثر هر دو مدل در جدول (3) آمده است.

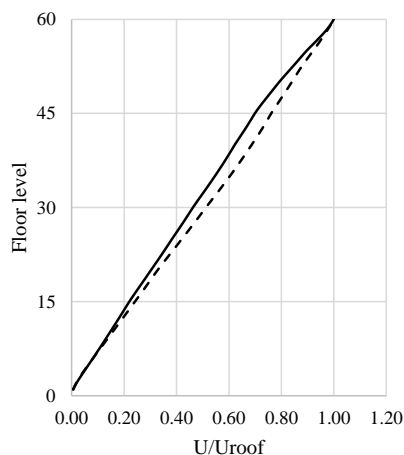
جدول (4): مقادیر بیشینه تغییر شکل جانبی نسبی بام نسبت به تراز پایه

Global Drift				مدل
Y max	Y c.m.	X max	X c.m.	
۱/۹۸٪	۱/۹۸٪	۲/۰۶٪	۱/۵۶٪	v.III
۱/۱۰٪	۱/۱۰٪	۱/۳۲٪	۱/۱۰٪	v.IV

همانطور که در شکل (3) مشاهده می شود در جهت Y که جابجایی مرکز جرم نداریم شکل توزیع تغییر شکل جانبی در ارتفاع در هر دو مدل تقریباً یکسان است. ولی در جهت X اختلاف جزئی در آن مشاهده می شود. به طور مشخص تر می توان به شکستگی نمودار در جهت X بعد از تراز طبقه 45 اشاره کرد.



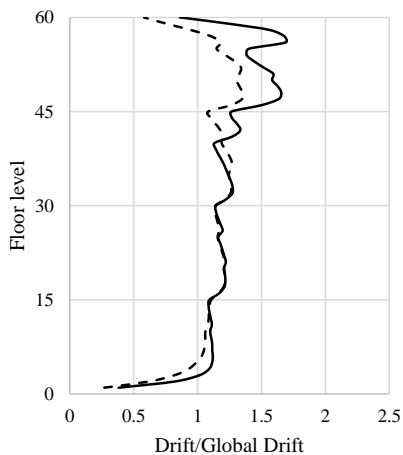
--- U Y c.m. v.III — U Y c.m. v.IV



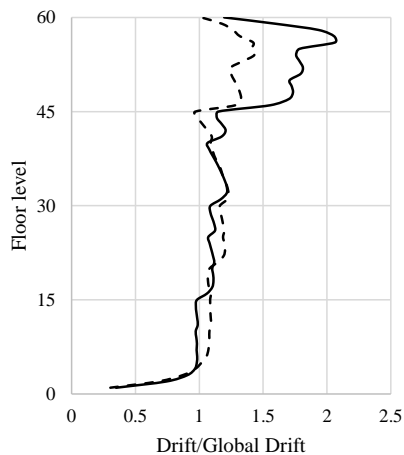
--- U X c.m. v.III — U X c.m. v.IV

شکل (3): تغییر شکل جانبی طبقات نسبت به تغییر شکل جانبی بام

در شکل (4) نمودار دررفت مقیاس شده به دررفت کل نشان داده شده. همانطور که مشاهده می‌شود در مدل v.IV تغییرات ناگهانی حاصل از تغییرات جرم به خصوص در تراز طبقه 45 مشاهده می‌شود. همانطور که در مقدمه نیز مطرح شد، این تغییرات دررفت در سازه‌های دارای تغییرات ناگهانی قبلاً گزارش شده است. علاوه بر این در مدل v.III این تغییرات دیده نمی‌شود. علت آن را می‌توان همان حاکم شدن معیار تغییر شکل جانبی در طراحی مقاطع بیان کرد.



--- Drift Y c.m. v.III — Drift Y c.m. v.IV



--- Drift X c.m. v.III — Drift X c.m. v.IV

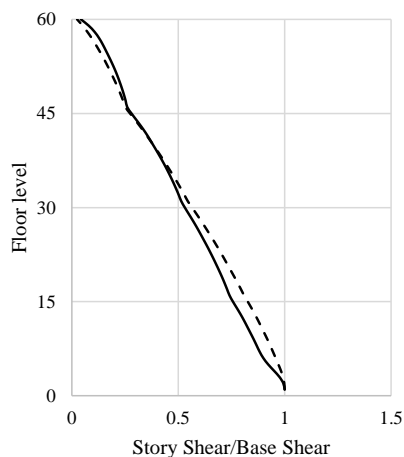
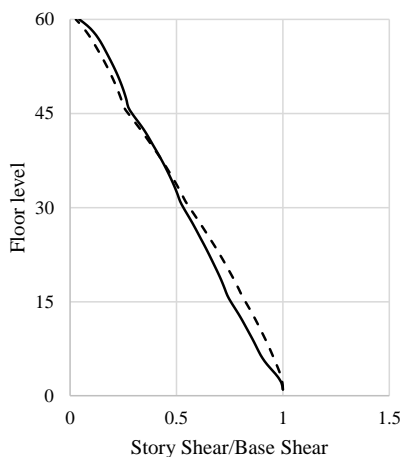
شکل (4): تغییر شکل جانبی نسبی طبقات به تغییر شکل جانبی نسبی بام نسبت به تراز پایه

6. بررسی نیروها

همانطور که در شکل (5) و (6) مشاهده می شود در هر دو حالت تغییر قابل توجهی در توزیع برش و لنگر طبقات رخ نمی دهد. هر چند که این مقادیر با توجه به جدول (1) در مدل v.III بیش از 3 برابر میزان آنها در مدل v.IV می باشند.

جدول (5): مقادیر برش پایه و لنگر واژگونی سازه

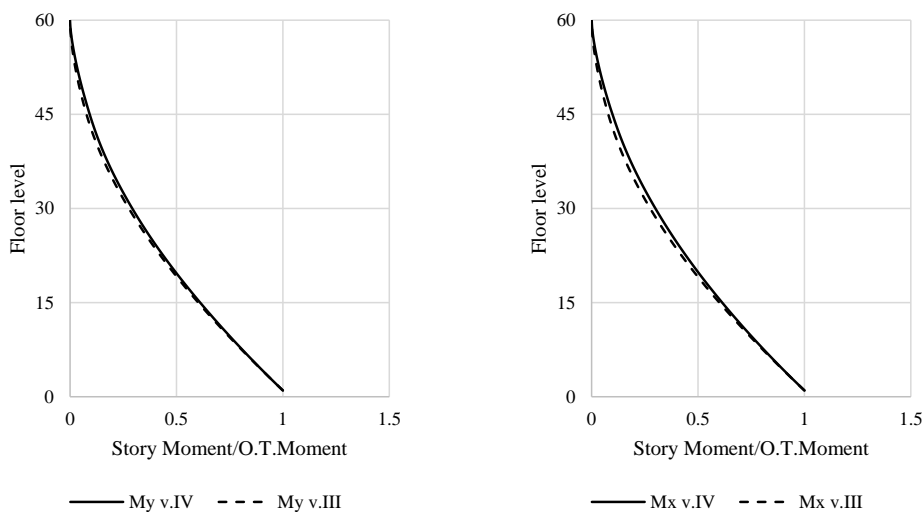
لنگر واژگونی		برش پایه		مدل
Y	X	Y	X	
Mx (KN.m)	My (KN.m)	Vy (KN)	Vx (KN)	
۷۰۷۷۳۹۱	۷۴۵۹۲۰۴	۷۰۸۳۷	۷۳۷۷۳	v.III
۲۸۰۲۹۴۱	۲۷۴۴۸۴۳	۳۲۰۵۵	۳۱۱۲۳	v.IV



— Vy v.IV - - - - Vy v.III

— Vx v.IV - - - - Vx v.III

شکل (5): برش طبقات به برش پایه



شکل (6): لنگر طبقات به لنگر واژگونی

7. خلاصه و نتیجه گیری

با توجه به توضیحات بخش‌های قبل می‌توان جمع‌بندی مطالب را به صورت زیر ارائه کرد:

- 1- شتاب طیفی طیف 2800 ویرایش سوم نسبت به ویرایش چهارم، در پریودهای بالا مقادیر بزرگتری دارد.
- 2- توزیع برش و لنگر در ارتفاع سازه تفاوتی قابل ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهد.
- 3- توزیع تغییرشکل جانبی طبقات در جهتی که سازه دارای جابجایی مرکز جرم است، در بعد از تراز طبقه 45 دارای شکستگی محسوس می‌باشد. در جهت دیگر تغییر قابل توجهی دیده نمی‌شود.
- 4- در منحنی دررفت مدل v.III افزایش ناگهانی دررفت حاصل از تغییرات ناگهانی جرم، مشاهده نمی‌شود.
- 5- در منحنی دررفت مدل v.IV افزایش ناگهانی دررفت حاصل از تغییرات ناگهانی جرم، به طور واضح در تراز طبقه 45 قابل مشاهده است.

دلایل نتایج 2 تا 5 بالا را می‌توان حاکم شدن معیار کنترل دررفت در مدل v.III دانست. در مدل v.IV معیار کنترل دررفت و کنترل ظرفیت هیچ یک به طور کامل حاکم بر طرح نبوده است. در نهایت با توجه به مقایسه نتایج با تحقیقات گذشته مبنی بر افزایش دررفت، ناشی از تغییرات ناگهانی در جرم، میتوان گفت سازه طراحی شده با طیف پیشنهادی ویرایش جدید نتایج نزدیکتری با نتایج این تحقیقات دارد. همچنین میزان مصالح مصرفی مدل v.IV نسبت به مدل v.III حدود 30٪ کاهش یافته است.

8. مراجع

- [1] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله-استاندارد 84-2800 (ویرایش سوم)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، 1384.
- [2] پیشنویس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله-استاندارد 91-2800 (ویرایش چهارم)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، 1391.
- [3] Soni D, Mistry B. Qualitative review of seismic response of vertically irregular building frames, *ASET Journal of Earthquake Technology*, vol. 43, no. 4, p. 121-132, 2006.
- [4] علیرضایی، ا، و وهدانی، ش، اثر میزان تغییرات ناگهانی جرم بر تغییرشکل ساختمانهای بلند، چهارمین کنفرانس ملی سازه و فولاد، تهران، ایران، 1392.
- [5] Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, *ASCE Standard ASCE/SEI 7-10*, American Society of Civil Engineers, 2010.
- [6] Specification for Structural Steel Buildings, *ANSI/AISC 360-10*, American Institute of Steel Construction, 2010.