

ارزیابی عملکرد قاب بتنی نامنظم طرح شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰

سجاد براری

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

S.barari@pgs.razi.ac.ir

امیر هوشنگ اخویسی

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

AHAKhaveissy@razi.ac.ir

کلید واژه‌ها: قاب نامنظم بتنی، تحلیل استاتیکی غیرخطی، سطح عملکرد، استاندارد ۲۸۰۰.

چکیده

مبنای طراحی سازه‌ها در برابر زلزله در ایران استاندارد ۲۸۰۰ است. هدف استاندارد مذکور آن است تا تحت اثر زلزله مبنای طرح، سطح عملکرد ایمنی جانی را در ساختمان طرح شده برآورده سازد. این مقاله به بررسی سطح عملکرد یک قاب بتن آرمه شش طبقه که دارای سیستم مهاربندی جانبی قاب خمشی بوده و در ارتفاع نامنظم می‌باشد می‌پردازد. در طرح سازه تمامی ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ رعایت شده‌اند به گونه‌ای که سازه کاملاً بهینه باشد. در این مطالعه به منظور برآورد سطح عملکرد سازه از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (بارافزون) استفاده شده است. متعاقباً با استفاده از روش طیف ظرفیت آیین‌نامه ATC40 نقطه عملکرد سازه ت و خسارت وارده بر آن (محل تشکیل مفاصل پلاستیک) مورد ارزیابی قرار گرفته تا سطح عملکرد آن مشخص شود. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که چنانچه سازه نامنظم مورد بحث، به درستی طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ طرح گردد، سطح عملکرد ایمنی جانی همان‌گونه که در استاندارد ادعا شده است، به هنگام زلزله طرح در آن تامین می‌گردد.

مقدمه

هدف استاندارد ۲۸۰۰ تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای ساختمان‌ها در برابر آثار ناشی از زلزله است به طوری که با رعایت آنها انتظار می‌رود با حفظ ایستایی ساختمان در زلزله‌های شدید، تلفات جانی به حداقل برسد و نیز ساختمان در برابر زلزله‌های خفیف و متوسط بدون وارد شدن آسیب عمده‌ی سازه‌ای، قادر به مقاومت باشد. با توجه به آنچه که در فوق بیان شد، انتظار داریم ساختمانی که طبق اصول آیین‌نامه ۲۸۰۰ طراحی می‌شود سطح عملکرد ایمنی جانی را برآورده سازد.

روش‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی بسیار وقت گیر بوده و انجام آنها مستلزم در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نگاهت‌های شتاب حرکت زمین در زلزله‌های مختلف می‌باشد. علاوه بر این شبیه‌سازی منطقی رفتار پسماند غیرخطی اجزا سازه‌ای در این نوع تحلیل بر پیچیدگی‌های آن می‌افزاید. در مقابل، روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی (Pushover Analysis) می‌توانند گزینه مناسبی جهت ارزیابی عملکرد غیرخطی سازه‌ها به هنگام زلزله محسوب شوند. استفاده از روش پوش اور در ارزیابی عملکرد سازه‌ها به‌عنوان یک روش نسبتاً ساده در بسیاری از آیین‌نامه‌های مقاوم سازی معتبر مجاز می‌باشد. استفاده از این روش تحلیل استاتیکی غیرخطی در مهندسی زلزله به سال ۱۹۷۴ برمی‌گردد که در آن یک سیستم یک درجه آزادی معادل، جهت بیان رفتار یک سازه چند درجه آزادی مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، منحنی بار-جابجایی سیستم یک درجه آزادی، جایگزین منحنی سازه اصلی چند درجه آزادی می‌شود تا پارامترهایی همچون سختی اولیه و سختی بعد از تسلیم، مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی آن به‌دست آیند (Barros and Almeida 2005).

در روش تحلیل پوش‌آور سازه مورد نظر تحت تغییرمکان جانبی که توزیع آن در ارتفاع سازه متناسب با الگوی معینی می‌باشد، قرار می‌گیرد و میزان تغییرمکان جانبی وارده به‌طور نموی افزایش می‌یابد تا سازه به تغییرمکان از پیش تعیین شده‌ای (تغییرمکان هدف) در نقطه کنترل (که معمولاً بام ساختمان می‌باشد) برسد. متعاقباً در این تغییرمکان، پاسخ‌های سازه (تغییرمکان حداکثر طبقات، نسبت تغییرمکان نسبی طبقات و معیار خرابی) مورد ارزیابی قرار می‌گردد (Rofooei FR, et.al 2006).



از اهداف اصلی در تحقیق حاضر بررسی عملکرد یک سازه بتنی ۶ طبقه نامنظم در ارتفاع می باشد. ساختمان مذکور بر اساس ضوابط ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ طرح و مورد تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته است. در برآورد نقطه عملکرد و تعیین سطح عملکرد این ساختمان از روش طیف ظرفیت آیین نامه ATC40 استفاده شده است. در نهایت با ارزیابی پاسخ های به دست آمده، نسبت به تعیین سطح عملکرد ساختمان و مقایسه آن با انتظارات استاندارد ۲۸۰۰ اقدام شده است. به عبارت دیگر استاندارد حاضر لرزه ای در ایران، جهت طراحی قاب بتنی نامتقارن در ارتفاع، برای برآورد سطح عملکرد ایمنی جانی طبق ادعای این استاندارد، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. طراحی سازه توسط نرم افزار ETABS V9.7 انجام یافته و بقیه مراحل مربوط به تحلیل پوش اور و ارزیابی عملکرد توسط نرم افزار SAP2000 V16.2 انجام شده است.

در ادامه مقاله، ضمن تشریح سازه مورد مطالعه، فرضیات طراحی و تحلیل استاتیکی غیرخطی آن معرفی شده و چگونگی ارزیابی نتایج بدست آمده ارائه می گردد.

سازه بتنی مورد مطالعه

سازه در نظر گرفته شده دارای شش طبقه به ارتفاع ۳/۵ متر در طبقه همکف و ۳ متر در سایر طبقات و از نوع بتنی است. کاربری تمام طبقات ساختمان مسکونی در نظر گرفته شده است (I=1). محل قرارگیری ساختمان شهر تهران است (A=0.35). همچنین مطابق شکل ۱ پلان جانبی آن نامنظم می باشد. سیستم باربر جانبی ساختمان در دو جهت قاب خمشی متوسط (R=7) می باشد. مدول الاستیسیته فولاد 2.1E6 kg/cm²، تنش تسلیم آن 2400 kg/cm²، مقاومت مورد انتظار تسلیم شونده برای 2640 kg/cm² و مقاومت مورد انتظار نهایی برابر 4840 kg/cm² فرض شده است. خاک منطقه از نوع طبق جدول استاندارد ۲۸۰۰ می باشد. در طراحی سازه از مقاطع مستطیلی استفاده شده که در شکل ۱ مشخص است. بارگذاری ثقلی سازه طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و بارگذاری لرزه ای آن طبق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم صورت گرفته است.

تحلیل و طراحی سازه

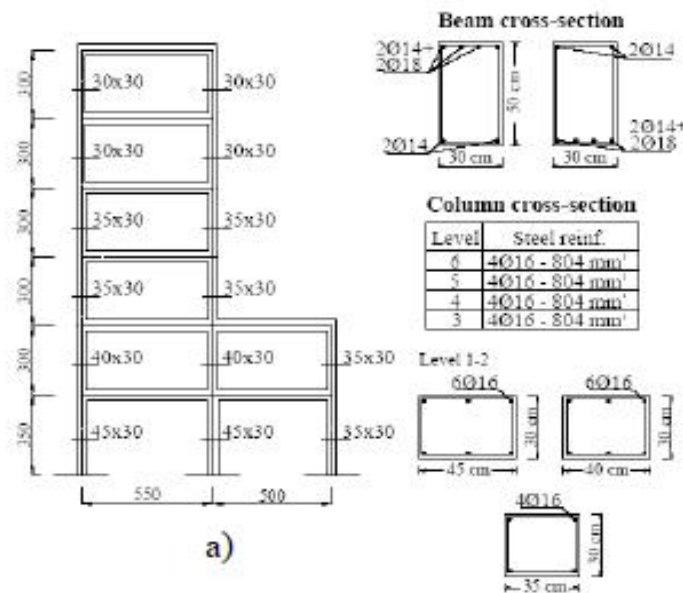
با توجه به بند ۲-۲ استاندارد ۲۸۰۰ به دلیل نامنظم بودن ساختمان از تحلیل طیفی (شبه دینامیکی) در تعیین نیروهای زلزله طرح استفاده شده است. در این خصوص از طیف طرح استاندارد بهره گرفته شده و میرایی برابر ۵٪ لحاظ گردیده است. برش پایه بدست آمده از تحلیل طیفی طبق بند ۲-۴-۲-۴ با برش پایه استاتیکی معادل مقایسه شده است. در استاندارد ۲۸۰۰ مقدار پارامتر اضافه مقاومت برابر با 0.4R در نظر گرفته می شود که این ضرایب در طراحی ستون و در ترکیبات ویژه بارگذاری کاربرد دارد. طراحی اعضای قابی بتن مسلح توسط آیین نامه CSA-A23.3-94 که مطابقت خوبی با مبحث نهم مقررات ملی ساختمان دارد، انجام گرفته است با این تفاوت که از ترکیبات بار طراحی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان بهره گرفته شده است. ضمناً در تحلیل این سازه اثرات P- نیز در نظر گرفته شده اند. در این سازه معیار کنترل، تغییر مکان نسبی طبقات سازه حاکم بر طراحی آن بوده و چون زمان تناوب سازه بیشتر از ۰/۷ ثانیه می باشد طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ تغییر مکان نسبی نظیر رفتار غیر خطی سازه به هنگام زلزله از رابطه (۱) محاسبه و با مقدار مجاز آن طبق رابطه (۲) مقایسه شده است.

$$\Delta m = 0.7R\Delta W \quad (1)$$

$$\Delta m < 0.02H \quad (2)$$

رفتار غیر خطی سازه ای که بطور محافظه کارانه و دست بالا طراحی شده است نمی تواند مبنای ارزیابی ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ در حصول به سطح عملکرد لرزه ای مورد انتظار قرار گیرد. وجود حاشیه اطمینان غیر لازم در طرح چنین سازه ای، ناخواسته در کیفیت رفتار استاتیکی غیر خطی آن تاثیر گذار بوده و ممکن است به نتایج اغوا کننده ای در ارزیابی عملکرد آن منجر گردد. بنابراین دو هدف اصلی در طرح اعضای سازه مورد نظر در دستور کار قرار گرفته اند: الف) در مواردی که معیار مقاومت حاکم بر طراحی بوده است مقاطع به گونه ای انتخاب شده اند بطوریکه اعضا در نرم افزار ایتبس پس از اتمام طراحی به رنگ بنفش در آیند ب) در مواردی که معیار تغییر مکان نسبی طبقات حاکم بوده است، مقاطع اعضا به گونه ای تغییر یافته اند که تغییر مکان نسبی ساختمان در حد مقدار مجاز آن باشد. این دو هدف صرفاً برای دستیابی به بهینه ترین طراحی و اجتناب از هرگونه حاشیه اطمینان ناخواسته در طراحی ساختمان بوده است. برای رسیدن به این مقصود از اصلاح پارامترهای هندسی مقطعی که نتیجه طراحی اولیه بوده، استفاده شده است.





شکل ۱: مقطع و پلان سازه مورد بررسی همراه با مقاطع آن

روش ضرایب تغییر مکان در FEMA-356:

در این روش پس از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت الگوی بار جانبی تعریف شده در FEMA-356 منحنی ظرفیت سازه رسم می‌شود. سپس، تغییر مکان هدف سازه با ضرب کردن ضرایب ثابت C0 تا C3 در پاسخ الاستیک خطی سیستم یکدرجه آزادی معادل آن بدست می‌آید. در این مقاله برای پیش‌بینی اولیه تغییر مکان هدف از این روش استفاده شده است. گامهای مورد استفاده در این روش عبارتند از (FEMA P695, 2009):

(الف) ایده آل نمودن منحنی ظرفیت دو خطی:

پس از انجام تحلیل پوش آور، منحنی ظرفیت سازه رسم می‌شود (شکل ۲) سپس بخش فرا الاستیک (K_s) می‌باشد، بر اساس تعادل تقریبی سطوح (۲) نشان داده شده در شکل ۲ با یک خط تقریب زده می‌شود. سختی الاستیک مؤثر مدل سختی سکانتی منحنی ظرفیت نظیر برش پایه‌ی $0.6V_y$ رسم کرده به طوری که V_y تقاطع خطوط K_y و K_e می‌باشد.

(ب) محاسبه پریود اصلی مؤثر:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3)$$

که در آن:

T_i : پریود اصلی الاستیک (با فرض رفتار الاستیک سازه بدست می‌آید)

K_i : سختی جانبی الاستیک، K_e : سختی جانبی مؤثر

(ج) محاسبه تغییر مکان هدف:

$$u_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4f^2} g \quad (4)$$

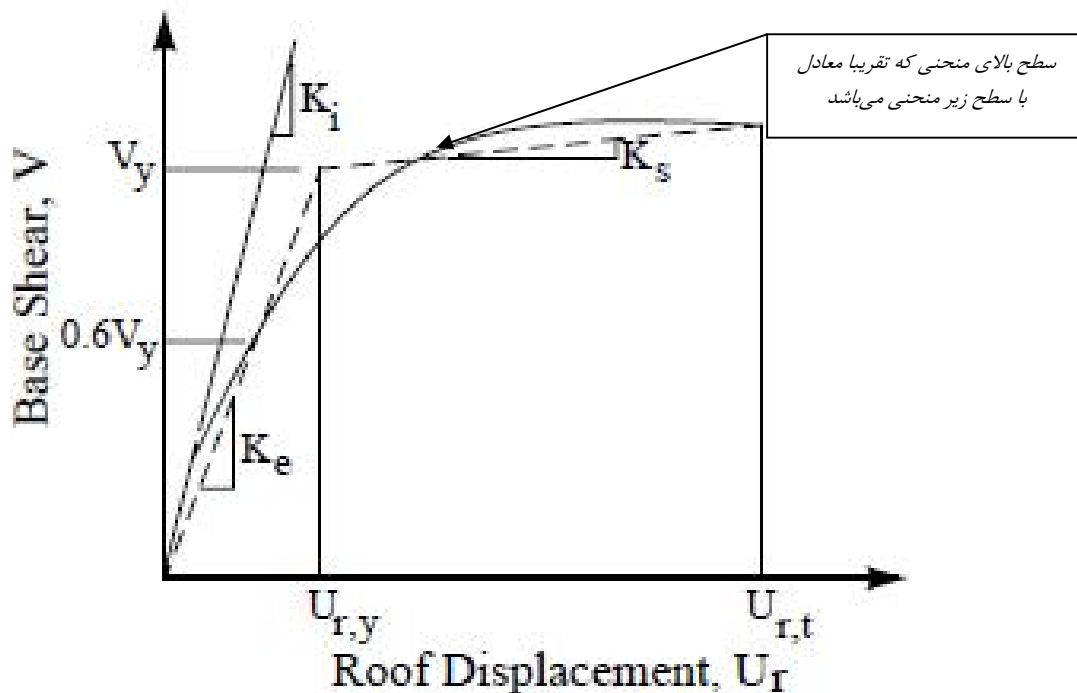
C_0 : ضریب اصلاح برای ارتباط دادن جابجایی طیفی سیستم یکدرجه آزاد معادل به جابجایی بام ساختمان.

C_1 : ضریب اصلاح برای ارتباط دادن حداکثر جابجایی غیرالاستیک به تغییر مکان محاسبه شده برای پاسخ خطی الاستیک.

C_2 : ضریب اصلاحی که اثرات شکل منحنی پسماند و کاهش سختی و مقاومت را بر پاسخ تغییر مکان حداکثر ساختمان بیان می‌کند.

C_3 : ضریب اصلاحی که افزایش تغییر مکان بعلت اثرات دینامیکی P- را لحاظ می‌کند.

S_a : شتاب طیفی در پریود اصلی مؤثر



شکل ۲: نحوه دو خطی کردن منحنی ظرفیت سازه تا جابه جایی هدف

معرفی الگوهای بار جانبی و ترکیب بارهای ثقیلی

طبق تعریف FEMA-356 در انجام تحلیل بار افزون برای بدست آوردن منحنی ظرفیت سازه دو الگوی مختلف در توزیع تغییر مکان های جانبی در ارتفاع سازه در نظر گرفته می شود. این الگوها عبارتند از:

(الف) توزیع یکنواخت: در این حالت بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می شود. تغییر مکان های جانبی اعمالی مطابق با این الگوی بار در ارتفاع سازه توزیع می شوند. این الگو UNIFORM نام گذاری می شود.

(ب) توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی: برای این منظور تعداد مدهای ارتعاشی مورد بررسی باید چنان انتخاب شوند که حداقل ۹۰٪ جرم سازه در تحلیل مشارکت کنند. الگوی بار در ارتفاع سازه از روش ترکیب جذر مجموع مربعات مدهای موثر بدست می آید. جایجایی های جانبی مطابق با این الگوی بار در تراز طبقات سازه اعمال می گردند. این الگو SRSS نام گذاری می گردد.

روابط (۵) و (۶) ترکیب بارهای ثقیلی مورد استفاده در تحلیل پوش اور را نشان می دهد. هدف از به کارگیری ترکیب بار رابطه (۵)، در نظر گرفتن اثر حداکثر مقادیر محتمل بارهای ثقیلی در رفتار غیر خطی سازه بوده و ترکیب بار رابطه (۶) نیز به منظور لحاظ نمودن اثر حداقل مقدار ممکن بارهای ثقیلی وارد بر سازه در تحلیل پوش اور می باشد. الگوهای بار جانبی نیز بعد از اعمال الگوهای بار ثقیلی به سازه وارد می شوند.

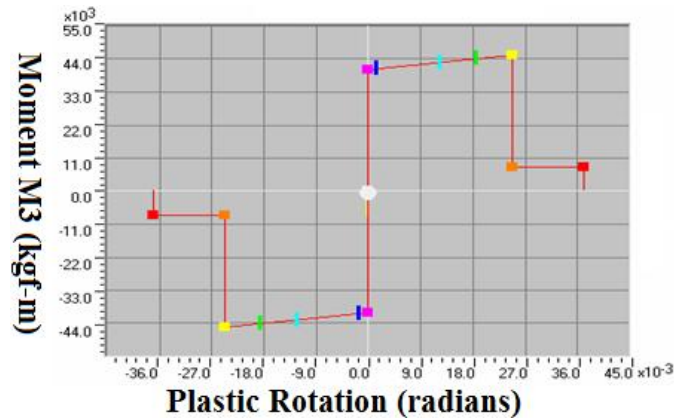
$$PUSH_{G1} = 1.1(Q_D + Q_L) \quad (5)$$

$$PUSH_{G2} = 0.9Q_D \quad (6)$$

که در آن ها Q_D و Q_L به ترتیب بارهای ثقیلی مرده و زنده وارد بر سازه می باشند. با توجه به اینکه نیازمند بحرانی ترین پاسخ در سازه هستیم، تنها از رابطه ۵ استفاده شده است.

معرفی مفاصل پلاستیک اختصاص یافته به سازه

در این تحقیق از مفاصل پلاستیک خودکار که در برنامه سپ ۲۰۰۰ قابل تعریف می باشند در تیرها و ستون های سازه استفاده شده است. برای تیرها از مفاصل خودکار خمشی M3 و برای ستونها از مفاصل خودکار P-M2-M3 استفاده شده است. شایان ذکر است پارامترهای این مفاصل با توجه به مشخصات مقطع مورد نظر، از جداول 5-6 موجود در آیین نامه FEMA-356 پیروی می کنند. در شکل ۳ نمونه ای از مدل رفتاری لنگر-دوران در مفصل خمشی اختصاص یافته به تیر را قابل مشاهده است.



شکل ۳: مفصل خمشی M3 / اختصاص یافته به تیرها

روش طیف ظرفیت در ATC40

در این روش پس از انجام تحلیل الاستیکی غیرخطی، برای تعیین پاسخ حداکثر در طی یک زلزله ظرفیت سازه را با تقاضای زمین لرزه مقایسه می‌کنند. در روش طیف ظرفیت فرض می‌شود پاسخ حداکثر یک سیستم غیرخطی یک درجه آزادی برابر است با پاسخ مودال حداکثر یک سیستم الاستیک یک درجه آزادی معادل دارای پیوند موثر بدست آمده بر اساس سختی سکانتی (ATC-40, 1996). در گام اول باید منحنی ظرفیت سازه (برش پایه- تغییر مکان) را به طیف ظرفیت (شتاب طیفی - جابجایی طیفی) در فرمت ADRS با استفاده از روابط (۷) تبدیل کرد.

$$S_a = (V / W) / \Gamma_1$$

$$S_d = \Delta_{roof} / PF_1 \Phi_{roof}$$

$$\Gamma_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (\tilde{S}_i \times \Phi_{i1}) / g \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \tilde{S}_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^n (\tilde{S}_i \Phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (7)$$

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{S}_i \Phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^n (\tilde{S}_i \Phi_{i1}^2) / g}$$

PF_1 : ضریب مشارکت مودال برای مود اول

Γ_1 : ضریب جرم مودال برای مود اول

Φ_{i1} : دامنه ی مود اول در تراز i ام

\tilde{S}_i / g : جرم مربوط به تراز i ام

Δ_{roof} : تغییر مکان بام

W : بار مرده ساختمان + بار زنده

V : برش پایه سازه

Φ_{roof} : دامنه ی شکل مود در تراز بام سازه

S_a : شتاب طیفی

S_d : جابه جایی طیفی

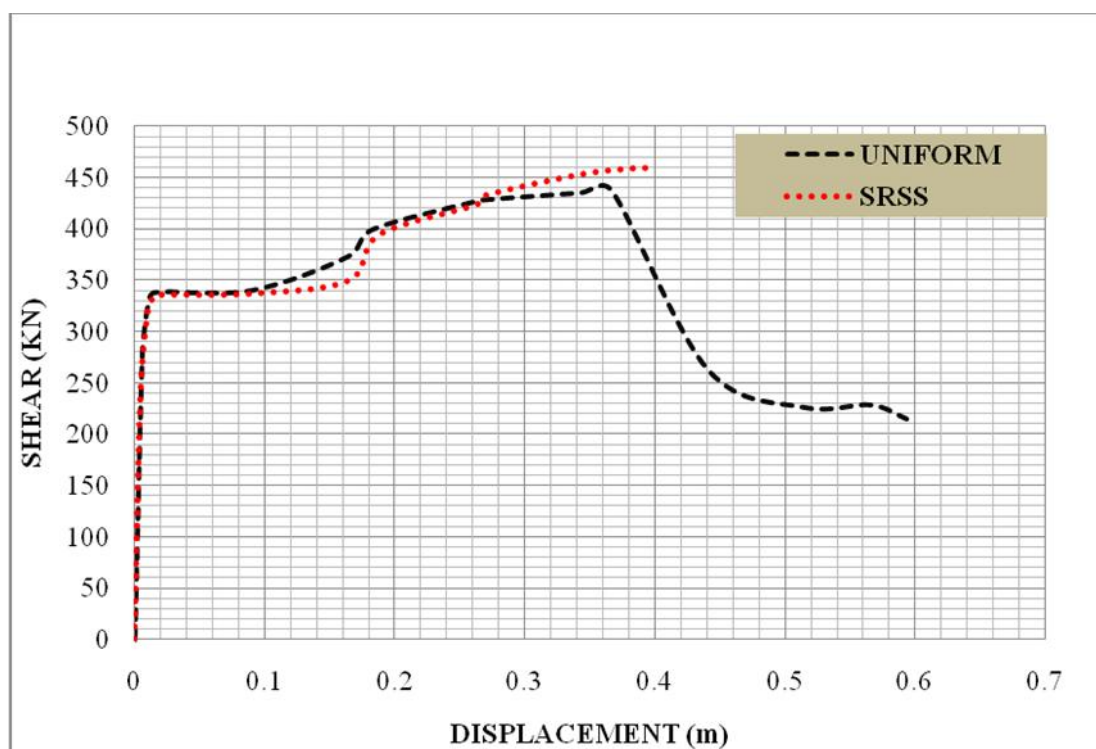
همچنین باید طیف تقاضای زمین لرزه که در فرمت Sa-T می‌باشد را به طیف تقاضا در فرمت ADRS با استفاده از رابطه‌ی (۸) تبدیل کرد.

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4f^2} \quad (8)$$

حال طیف ظرفیت دوخطی ایده ال و طیف تقاضا روی یک نمودار رسم می‌شوند و با فرض اولین نقطه عملکردی، میرایی کاهش یافته و ضرایب کاهش طیفی محاسبه می‌شوند و طیف تقاضای کاهش یافته رسم می‌گردد. اگر اختلاف بین نقطه تلاقی طیف تقاضای کاهش یافته با طیف ظرفیت کمتر از ۵٪ با نقطه فرض اولیه باشد، این نقطه بعنوان نقطه عملکرد قابل قبول می‌باشد.

پس از اعمال گام‌های توضیح داده شده نتایج بدست آمده را بیان می‌کنیم. در این تحقیق پارامترهای استخراج شده شامل: ۱. منحنی‌های ظرفیت سازه ناشی از الگوهای مختلف بارگذاری ۲. نقاط عملکرد سازه برگرفته از الگوهای بارگذاری مختلف ۳. نمایش مفاصل پلاستیک بوجود آمده در سازه متناظر با هر نقطه عملکرد می‌باشند.

منحنی‌های ظرفیت سازه که در شکل ۴ نشان داده شده است، از دو حالت مختلف تشکیل می‌شوند. این امر ناشی از اعمال دو توزیع مختلف در امتداد افقی است. این الگوها پس از ترکیب بار ثقیل PUSHG اعمال شده‌اند. در حالت الگوی بار یکنواخت نسبت به طیفی جابه‌جایی بیشتری را برای سازه پیش بینی می‌کند. با این حال در الگوی بار طیفی SRSS نسبت به الگوی بار یکنواخت UNIFORM سازه به ازاء نیروهای برش پایه کوچکتری وارد ناحیه ی غیر خطی می‌شود اما می‌توان از این اختلاف صرف‌نظر کرد. در ناحیه ی خطی نیز دو منحنی طیفی و یکنواخت تفاوتی ندارند. در ناحیه ی خطی منحنی دارای سختی بیشتری می‌باشد و هر چه وارد ناحیه ی غیر خطی می‌شویم از می‌آزان سختی کاسته می‌شود. مقاومت نهایی که الگوی بار طیفی ارائه می‌کند به مراتب بیشتر از الگوی بار یکنواخت است.

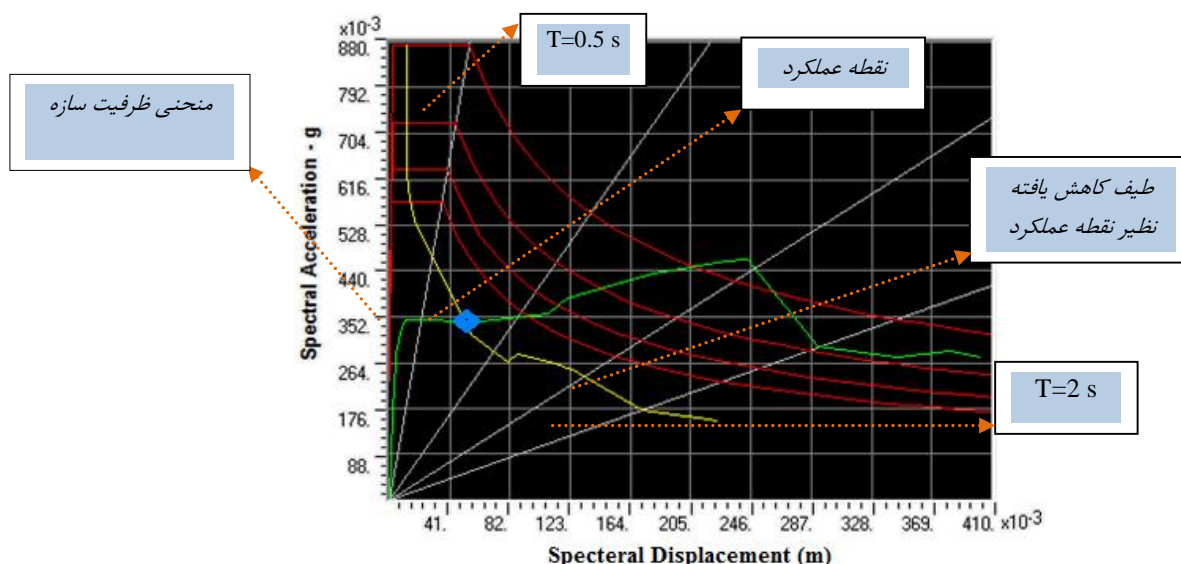


شکل ۴: منحنی‌های ظرفیت سازه نظیر الگوهای بارگذاری جانبی UNIFORM و SRSS

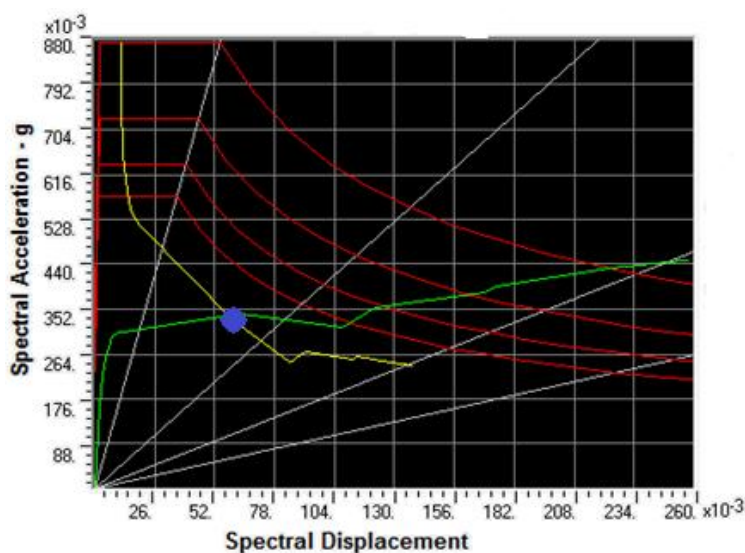
بحرانی ترین نقطه عملکرد سازه: هر الگوی بار جانبی منجر به یک نقطه عملکرد در سازه می‌شود. بنابراین بایستی از میان الگوهای بار جانبی وارده، الگوی باری که موجب بحرانی ترین وضعیت در سازه می‌شود را انتخاب کنیم. در این تحقیق بحرانی ترین نقطه عملکرد مربوط به الگوی بار یکنواخت است. در شکل ۵ و ۶ نقاط عملکرد سازه نمایش داده شده است. در جدول ۱ اختلاف میان نقاط عملکرد سازه بصورت تغییر مکان طیفی، شتاب طیفی، برش پایه، تغییر مکان و پریرود موثر سازه نشان داده شده است.

جدول ۱: مقایسه پاسخ‌های بدست آمده از نقاط عملکرد سازه

الگوی بار جانبی	تغییر مکان طیفی (mm)	شتاب طیفی (g)	برش پایه (Ton)	تغییر مکان (mm)	پریرود موثر (Sec)
یکنواخت	۳۸	۰/۳۴۵	۳۳۹/۷	۵۶	۰/۶۲۰
طیفی	۵۱	۰/۳۳۳	۳۳۶/۴	۷۲	۰/۷۴۹



شکل ۵: نقطه عملکرد سازه مورد نظر تحت الگوی بار جانبی UNIFORM

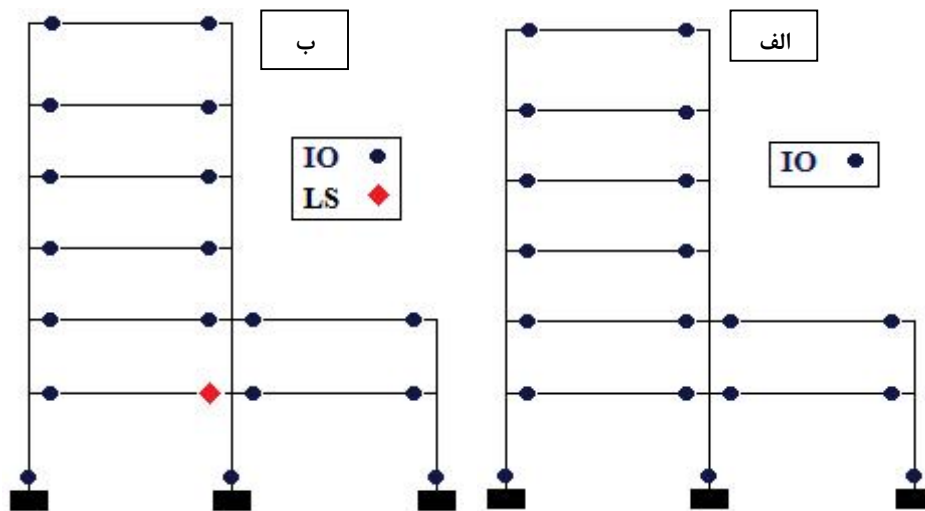


شکل ۶: نقطه عملکرد سازه مورد نظر تحت الگوی بار جانبی SRSS

مفاصل پلاستیک سازه: در الگوی بارگذاری از نوع یکنواخت، مفاصل پلاستیک در تمام تیرها تشکیل شده و از نوع سطح عملکرد استفاده بی وقفه (IO) می‌باشند، تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده در ستون‌ها خیلی کمتر می‌باشد و فقط در طبقه همکف و در پای ستون‌ها رخ داده است. توزیع این مفاصل پلاستیک در شکل ۷-الف نشان داده شده است.

در مورد الگوهای بارگذاری طیفی، مفاصل پلاستیکی که در تیرها و ستون‌های سازه تشکیل شده است همانند الگوی بار جانبی یکنواخت می‌باشد، با این تفاوت که یکی از مفصل پلاستیک تیرها از نوع ایمنی جانی (LS) است. توزیع این مفاصل در شکل ۷-ب نشان داده شده است.





شکل ۷: مفاصل پلاستیک تشکیل شده الف) تحت الگوی بار جانبی یکنواخت ب) تحت الگوی بار جانبی طیفی

جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی عملکرد یک سازه بتنی ۶ طبقه نامتقارن در ارتفاع پرداخته شده است. در طرح سازه مذکور کلیه ضوابط ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ رعایت گردیده است. پس از طراحی ساختمان مورد مطالعه ضمن بیان مراحل گام به گام بررسی عملکرد، تحلیل‌های بارافزون با الگوهای متفاوت بار جانبی بر روی سازه انجام گردید. در نهایت با بررسی تحلیل‌های پوش اور انجام شده، نقاط عملکرد نظیر الگوهای مختلف بار جانبی تعیین گردید و بحرانی ترین وضعیت ساختمان مشخص شد. با توجه به وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک در اجزای مختلف سازه سطح عملکرد آن ایمنی جانی ارزیابی گردید که با اهداف استاندارد ۲۸۰۰ دارای همخوانی می باشد. بنابراین استاندارد ۲۸۰۰ همانگونه که ادعا می کند می تواند سازه قابی بتن آرمه‌ای که در ارتفاع نامنظم بوده به گونه‌ای طراحی کند که در اثر زلزله طرح، سطح عملکرد ایمنی جانی را حفظ کند.

مراجع

مرکز تحقیقات و مسکن (۱۳۸۵)، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم

Applied Technology Council, ATC-40 (1996) *Seismic Evaluation and Retrofit of concrete buildings, Volume 1-2*. Redwood City, California

Barros RC and Almeida R (2005) Pushover analysis of asymmetric three-dimensional building frames. *J. of civil engineering and management*; 9: 3-12

CSI ETABS Nonlinear, version 9.7.3, integrated analysis design and drafting of building systems

CSI SAP2000 V16.2 (2013) Computers & Structures, Inc

Federal Emergency Management Agency (2009) Quantification of Building Seismic Performance Factors, FEMA P695 (ATC-63) Report, Washington, D.C

Hosseini M and Yaghoobi vayeghan F (2000) Design verification of an Existing 8-Story Irregular steel building by 3-D Dynamic and pushover Analyses, *12th world Conference on Earthquake Engineering (12WCEE)*, New Zealand

Rofooei FR, Attari NKA, Rasekh A and Shodja AH (2006) Comparison of static and dynamic pushover analysis in assessment of the target displacement. *International Journal of Civil Engineering*, 4(3):212-225