

# بررسی رفتار ساختمانهای فولادی دارای قاب خمشی با نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک

عباس طاهری، فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران  
محمود حسینی، دانشیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله  
عباس اکبرپور، استادیار مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران

## چکیده

امروزه ساختمان‌هایی با نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع به دلیل کاربریهای مختلف طبقات، به طور چشمگیری در حال ازدیاد است. استانداردهای طراحی لرزه‌ای، از جمله استاندارد ۲۸۰۰ ایران، نامنظمی در جرم و سختی را تا حدودی اجازه می‌دهند، اما از آنجا که مبنای استاندارد ۲۸۰۰ زلزله‌های حوزه دور می‌باشد، لازم است میزان مجاز نامنظمی‌ها برای زلزله‌های حوزه نزدیک نیز مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور در تحقیق فوق سه سازه فولادی ده طبقه با سیستم قاب خمشی که هر کدام در طبقه ششم به شکلی متفاوت دارای نامنظمی جرم و سختی در مرز توصیه شده توسط استاندارد ۲۸۰۰ است، در نظر گرفته شده و پس از طراحی اولیه تحت تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی با هفت زلزله سه مؤلفه‌ای، که یکی از شتابنگاشتهای افقی که هر کدام دارای شتاب اوج زمین  $0.35g$  است، قرار گرفته‌اند. سپس طبق استاندارد ۲۸۰۰ از پاسخهای بیشینه هفت زلزله، متوسط‌گیری شده و به عنوان نتیجه نهایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد در ساختمانهای نامنظم مطالعه شده، علی‌رغم اینکه مرز نامنظمی جرم و سختی طبق استاندارد ۲۸۰۰ رعایت شده، بر اساس تحلیل دینامیکی غیرخطی مفصلهای پلاستیک در طبقه ششم از محدوده ایمنی جانی تا آستانه فروریزش تجاوز کرده‌اند، در حالیکه تحلیل استاتیکی غیرخطی نشان داد مفصلها از محدوده مزبور تجاوز نکرده‌اند. این نکته نشان می‌دهد در مورد این نوع ساختمانها نتایج تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی الزاماً هم‌سو نیستند.

**کلیدواژه‌ها:** تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی، اثر هم‌زمان مؤلفه‌ها، ساختمانهای فولادی، قاب خمشی

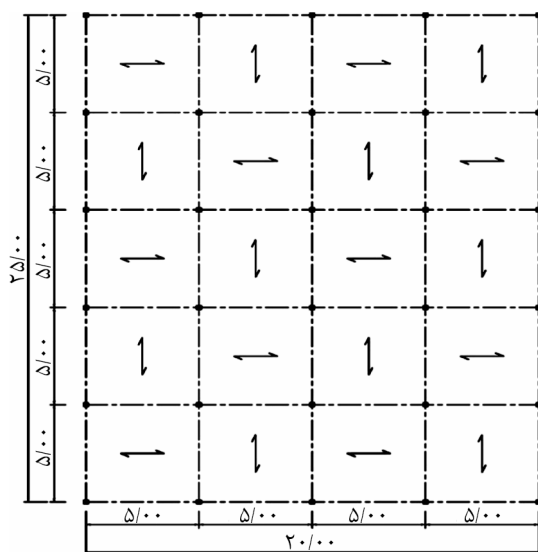
## ۱- مقدمه

با توجه به فراوانی و گسترش روزافزون ساختمانهای دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع از یک سو و عدم شمول زلزله‌های حوزه نزدیک در استاندارد ۲۸۰۰ ایران، که نامنظمی در جرم و سختی را تا حدودی معین اجازه می‌دهند، لازم است میزان مجاز نامنظمی‌ها برای زلزله‌های حوزه نزدیک نیز مورد بررسی قرار گیرد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر میزان نامنظمی در مرز استاندارد ۲۸۰۰ در عملکرد لرزه‌ای ساختمانهای ده طبقه فولادی دارای قاب خمشی انجام شده است.

تاکنون تحقیقاتی چند در مورد تأثیرات مؤلفه قائم زلزله بر ساختمانهای فولادی و نیز اثر نامنظمی در رفتار لرزه‌ای ساختمانها در داخل و خارج کشور صورت گرفته است. در تحقیقی توسط حسینی و فیروزی نظام‌آبادی [۱]، اثر مؤلفه قائم زلزله بر روی سازه فولادی بررسی و مشخص شد که اثر این مؤلفه بر روی ستونهای میانی بیشتر از ستونهای کناری و گوشه است. به عنوان نمونه‌ای از مطالعات انجام شده در مورد اثر نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع ساختمان می‌توان به تحقیق سونی و میستری [۲] اشاره نمود. آنها با استفاده از سه زمین‌لرزه که هر یک به دو مقدار  $PGA$  ( $0.3g$  و  $0.6g$ ) مقیاس شده بودند، پی بردند که افزایش تغییرمکان نسبی طبقات در سازه دارای نامنظمی جرم در طبقات پایین نسبت به سازه منظم به طور میانگین برای زلزله‌های با بیشینه شتاب  $0.3g$  در حدود ۲۸ درصد و برای زلزله‌های با بیشینه شتاب  $0.6g$  در حدود ۱۹۹ درصد بود. افزایش تغییرمکان نسبی طبقات برای سازه دارای نامنظمی در طبقات بالا برای زلزله‌های با بیشینه شتاب  $0.3g$  و  $0.6g$  به ترتیب در حدود ۲۳ و ۳۲ درصد بود.

سختی هستند و این نامنظمی در آن مرز استاندارد ۲۸۰۰ که ضابطه آن برای نامنظمی جرم در ارتفاع به این صورت می‌باشد که توزیع جرم در ارتفاع ساختمان، به استثنای بام و خرپشته بام نسبت به جرم طبقه زیر خود بیشتر از ۵۰ درصد تغییرات نداشته باشد و در مرز نامنظمی سختی هم، سختی هیچ طبقه‌ای کمتر از ۷۰ درصد سختی طبقه تحتانی یا فوقانی خود نباشد، رعایت شده است. لازم به ذکر است طبق استاندارد ۲۸۰۰، در هر طبقه فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی در هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان از ۲۰ درصد بعد ساختمان در آن امتداد بیشتر نباشد می‌توان ساختمان را منظم در پلان در نظر گرفت که با ضابطه ذکر شده سه سازه  $P1$ ،  $P2$  و  $P3$  منظم در پلان تلقی می‌شود. مشخصات ساختمانها به این صورت می‌باشد که ارتفاع طبقات ۳ متر و سقفها از نوع تیرچه بلوک فرض شده است. بارگذاری ثقلی ساختمانهای مورد نظر بر اساس ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان صورت گرفته است. جهت تعیین بار مرده ثقلی از یک دیتیل سقف تیرچه بلوک که عموماً در ساختمانهای موجود در ایران استفاده می‌گردد، استفاده شده است. این سه سازه به نامهای  $P1$ ،  $P2$  و  $P3$  که در شکلهای (۱) تا (۵) قابل مشاهده هستند، نامگذاری شده‌اند.

بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ مدل‌ها جزء ساختمانهای نامنظم در ارتفاع محسوب شده، لذا می‌توان در تحلیل و طراحی سازه‌ها تحت بار جانبی زلزله از روش تحلیل طیفی استفاده نمود.



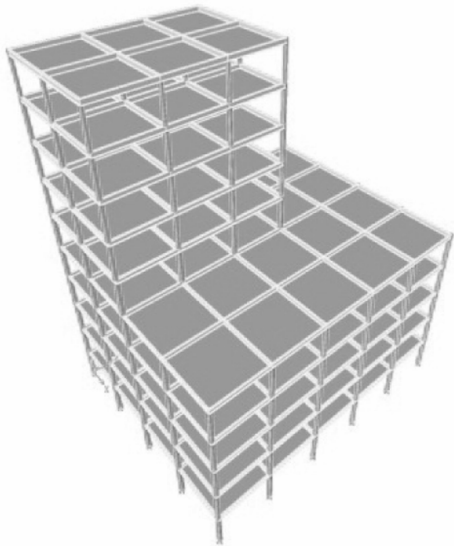
شکل (۱): پلان طبقات ۱ تا ۵.

در تحقیقی دیگر، کاراواسیلیس و همکاران [۳] به بررسی رفتار غیرارتجاعی قاب خمشی فولادی با نامنظمی جرم در ارتفاع پرداخته و به این نتیجه رسیدند که نامنظمی در جرم و سختی در ارتفاع سازه باعث می‌شود که چرخش مفاصل خمیری در طبقه‌ای که دارای نامنظمی جرم و سختی است نسبت به سایر طبقات بسیار بیشتر شود و در واقع طبقه نرم به وجود آید. آنها همچنین نتیجه گرفتند چرخش مفاصل خمیری در حالتی که نامنظمی جرم و سختی در طبقات بالاتر قرار گرفته باشد نسبت به حالتی که نامنظمی‌ها در طبقات میانی و پایینی باشد تا حدود ۳۰ درصد افزایش می‌یابد.

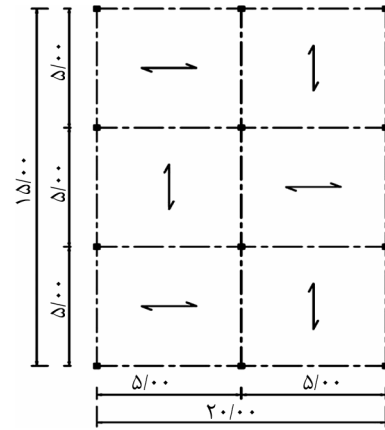
در پژوهشی دیگر، فیروزی نظام‌آبادی و همکارانش [۴] در مورد تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر پاسخ لرزه‌ای سیستم‌های دارای حرکت توأم پیچشی-جانبی به این نتیجه رسیدند که منحنی پاسخ قائم مرکز سختی برای خروج از مرکزیت  $e_r = 0/15$  در محدوده پریودی صفر تا  $1/0$  ثانیه به هم نزدیک هستند. همچنین پاسخ تغییر مکان لبه‌ها با خروج از مرکزیت  $e_r = 0/15$  به یکدیگر نزدیک هستند در حالی که منحنی پاسخ مربوط به مدل دارای خروج از مرکزیت  $e_r = 0/3$  بسیار بیشتر است و پاسخ لبه‌ها در این حالت بیش از ۲۴ درصد افزایش می‌یابد. با توجه به مطالب ذکر شده، به منظور رفتار ساختمانهای دارای نامنظمی جرم در ارتفاع، سه ساختمان فولادی ده طبقه با سیستم قاب خمشی متوسط فولادی که هر کدام در طبقه ششم به یک شکلی متفاوت نسبت به هم دارای نامنظمی جرم و سختی هستند و این نامنظمی در آن مرز ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۵] رعایت شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار *ETABS 2000 V.9* طراحی شده که مقادیر پیوندها، برش پایه، خروج از مرکزیت و جزئیات طراحی در پایان‌نامه کارشناسی ارشد [۶] قابل دستیابی است و پس از طراحی، هر سه سازه را در نرم‌افزار *PERFORM 3D V4* مدل کرده و بر روی آنها تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیرخطی انجام می‌دهیم.

## ۲- معرفی سازه‌ها

در این مطالعه، سه ساختمان فولادی ده طبقه با سیستم قاب خمشی متوسط که هر کدام در طبقه ششم به یک شکلی متفاوت نسبت به هم دارای نامنظمی جرمی و

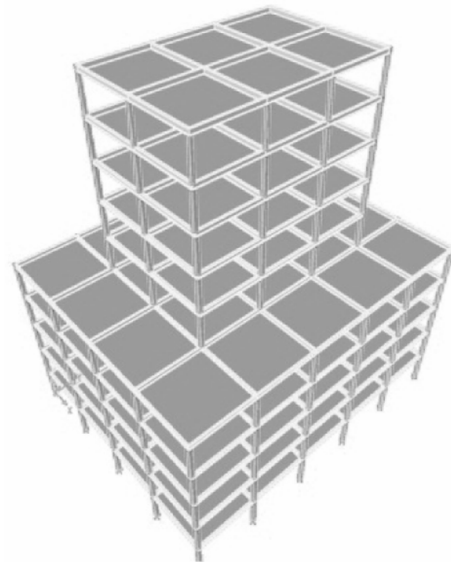


شکل (۵): نمای سه بعدی سازه P3.



شکل (۲): پلان طبقات ۶ تا ۱۰.

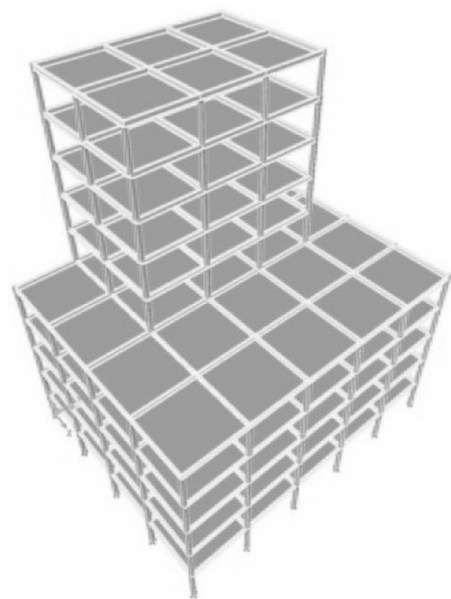
طراحی سازه‌ها بر اساس طیف استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم در زمین نوع سوم و در مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد صورت گرفته است. طراحی ساختمانها با استفاده از نرم‌افزار ETABS 2000 V.9 صورت گرفته است. برای طراحی تیرها از مقاطع IPE و برای طراحی ستونها از مقاطع BOX استفاده شده است. مقاطع تیرها و ستونهای ساختمانها در جدول (۱) آمده است.



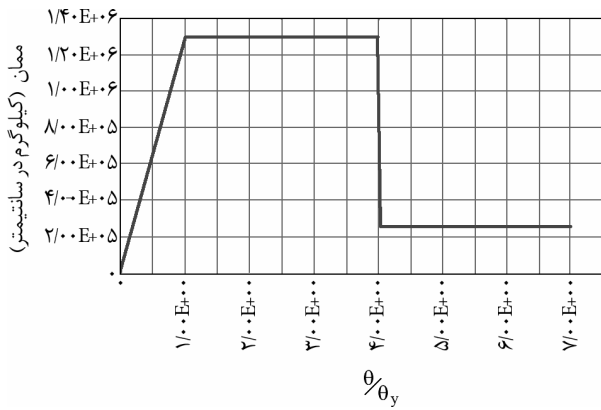
شکل (۳): نمای سه بعدی سازه P1.

جدول (۱): جدول مقاطع ستونها و تیرها.

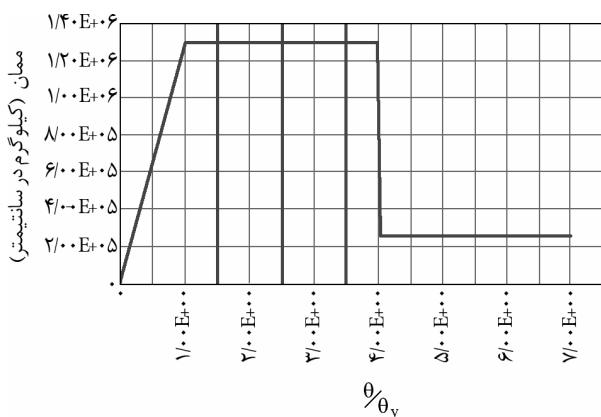
مقطع ستونها	مقطع ستونها خارجی	مقطع ستونها داخلی	شماره طبقات	ساختمانها
IPE360	BOX250X250X12	BOX300X300X13	۳-۱	سازه P1
IPE380	BOX250X250X12	BOX300X300X13	۵-۴	
IPE340	BOX250X250X12	BOX300X300X13	۶	
IPE340	BOX250X250X12	BOX250X250X12	۹-۷	
IPE340	BOX200X200X10	BOX200X200X10	۱۰	
IPE360	BOX250X250X12	BOX300X300X13	۳-۱	سازه P2
IPE380	BOX250X250X12	BOX300X300X13	۵-۴	
IPE340	BOX250X250X12	BOX300X300X13	۶	
IPE340	BOX250X250X12	BOX250X250X12	۹-۷	
IPE340	BOX200X200X10	BOX200X200X10	۱۰	
IPE360	BOX300X300X13	BOX300X300X13	۳-۱	سازه P3
IPE380	BOX250X250X12	BOX300X300X13	۵-۴	
IPE340	BOX250X250X12	BOX300X300X13	۶	
IPE340	BOX250X250X12	BOX250X250X12	۹-۷	
IPE340	BOX200X200X10	BOX200X200X10	۱۰	



شکل (۴): نمای سه بعدی سازه P2.



شکل (۸): منحنی نیرو-تغییر شکل تعمیم یافته برای یک نمونه از ستونها.



شکل (۹): نحوه قرارگیری معیارهای پذیرش در مفاصل پلاستیک برای یک نمونه از ستونها.

لازم به ذکر است مدلسازی و معیارهای پذیرش روشهای غیرخطی برای اعضای با رفتار کنترل شونده توسط تغییر شکل می باشد. رفتار تیرها کلاً و ستونها اگر  $\frac{P}{P_{CL}} < 0.5$  باشد، رفتارشان کنترل شونده توسط تغییر شکل

می باشد، که در نسبت  $\frac{P}{P_{CL}}$  مقدار  $P$ ، برابر نیروی محوری عضو در آغاز محاسبات در تحلیل دینامیک غیرخطی می باشد و  $P_{CL}$  از رابطه (۱) به دست می آید:

$$P_{CL} = 1.7 \times AF_a \quad (1)$$

$A$ : سطح مقطع ستون

$F_a$ : تنش مجاز محوری فشاری که مطابق با مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان ایران محاسبه می شود.

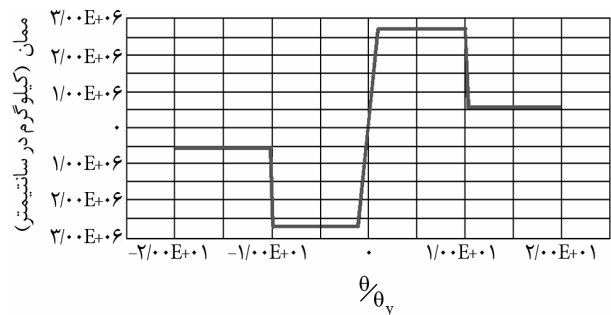
در تمامی ستونهای ساختمانهای مورد مطالعه  $\frac{P}{P_{CL}} < 0.5$

می باشد.

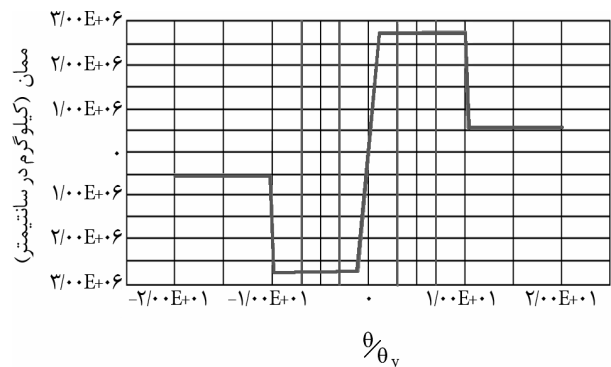
### ۳- مدلسازی سازه ها در برنامه PERFORM 3D V4

پس از طراحی، ساختمانها برای انجام آنالیزهای دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی در برنامه PERFORM مدلسازی شده اند. برای مدلسازی رفتار غیرخطی تیرها و ستونها در برنامه PERFORM روشهای مختلفی وجود دارد. یکی از این روشها استفاده از مدل چرخشی- خمشی آئین نامه های FEMA-273/356 است. مزیت استفاده از این روش این است که می توان منحنی رفتاری اعضای را بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود ایران تنظیم نمود [۷].

برای تعریف رفتار غیرخطی تیرها و ستونها از روش الاستوپلاستیک کامل با کاهش مقاومت استفاده شده است. نمونه ای از مدلسازی رفتار غیرخطی تیرها و ستونها در شکل های (۶) تا (۹) آمده است. در تعریف رفتار غیرخطی تیرها و ستونها معیارهای پذیرش تیرها و ستونها که شامل سه سطح عملکرد ۱- استفاده بی وقفه (Immediate Occupancy) IO، ۲- ایمنی جانبی (Life Safety) LS و ۳- آستانه فروریزش (Collapse Prevention) CP می باشد، تعریف شده است.



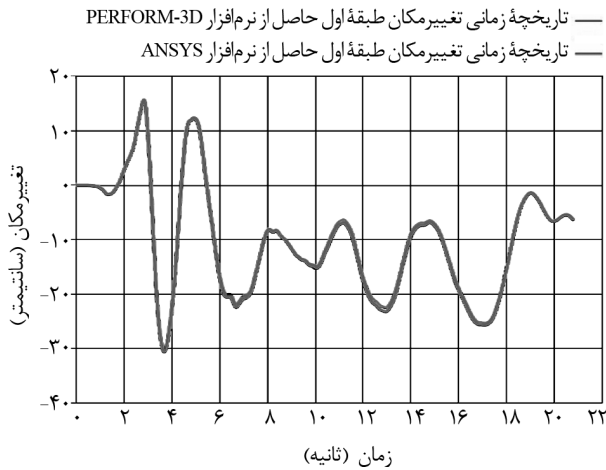
شکل (۶): منحنی نیرو-تغییر شکل تعمیم یافته برای یک نمونه از تیرها.



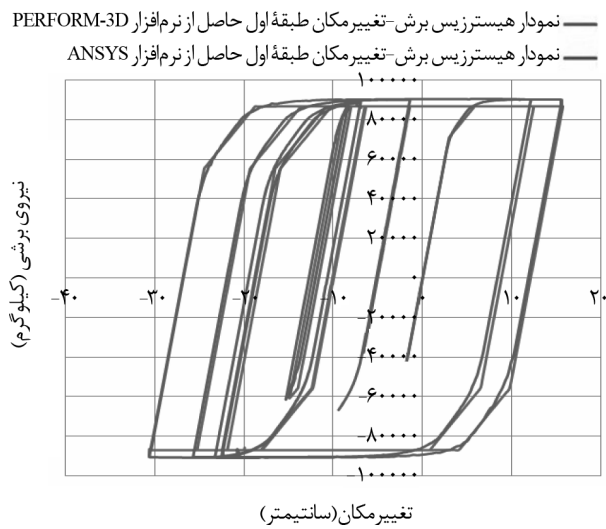
شکل (۷): نحوه قرارگیری معیارهای پذیرش در مفاصل پلاستیک برای یک نمونه از تیرها.

#### ۴- راستی سنجی نرم‌افزار PERFORM-3D به کمک نرم‌افزار ANSYS

قبل از تحلیل هر سه سازه با نرم‌افزار *PERFORM-3D*، می‌بایست این نرم‌افزار راستی‌سنجی شود؛ لذا برای راستی-سنجی مدلسازی عددی، یک قاب خمشی فولادی مطابق شکل (۱۰) یکبار با نرم‌افزار *PERFORM-3D* که در آن المانها در ابتدا و انتهای خود دارای مفصل خمیری می‌باشند تحت شتابنگاشت شکل (۱۱) در جهت *X* مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار گرفت. سپس همین قاب در نرم‌افزار *ANSYS* مدل شد. با این تفاوت که در آن المانها از نوع *SOLID45* و مصالح از نوع فولاد غیرارتجاعی بودند. قاب دوباره با شتابنگاشت شکل (۱۱) در جهت *X* مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار گرفت. سپس نتایج برش-تغییرمکان طبقه اول و نمودار تاریخچه زمانی طبقه اول حاصل از دو نرم‌افزار مقایسه گردید که به ترتیب در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) قابل مشاهده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند نتایج حاصل از نرم‌افزار *PERFORM-3D* که در آن از مفصل‌های خمیری استفاده شده است، به نتایج حاصل از نرم‌افزار *ANSYS* که بر مبنای اجزای محدود می‌باشد،



شکل (۱۲): تاریخچه زمانی تغییرمکان طبقه اول حاصل از دو نرم‌افزار.

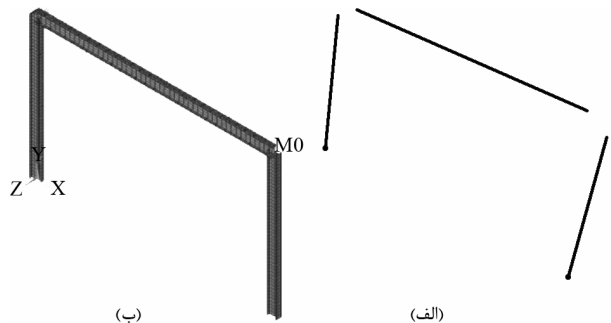


شکل (۱۳): نمودار هیستریزیس برش-تغییرمکان طبقه اول حاصل از دو نرم‌افزار.

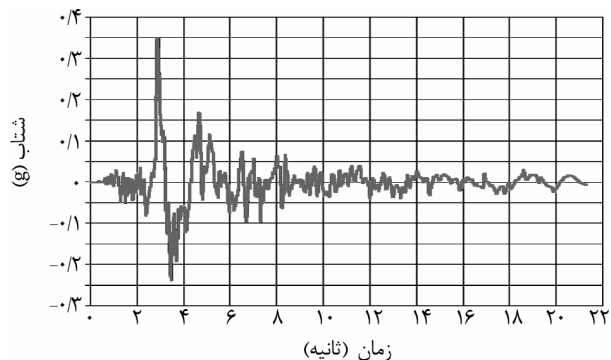
بسیار نزدیک است. بر این اساس، استفاده از نرم‌افزار *PERFORM-3D* برای تحلیل‌های دینامیکی بلامانع است.

#### ۵- تحلیل استاتیکی غیرخطی

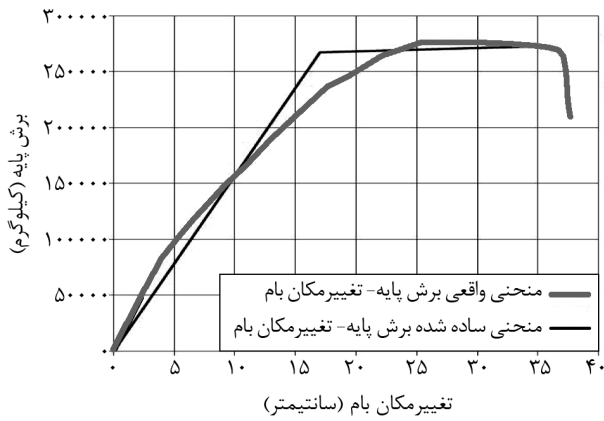
به منظور بررسی اثر نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع، می‌توان با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی این اثر را بررسی کرد. در ابتدا می‌بایست تغییرمکان هدف را با استفاده از دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای به دست آورد که برای هر سه سازه با توجه به مشخصات آن و با توجه به مودهای ارتعاشی آن به صورت زیر به دست می‌آیند. لازم به ذکر است برای نحوه تعیین پارامترهای تغییرمکان هدف، می‌توان به بخش ۳-۳ دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای رجوع کرد.



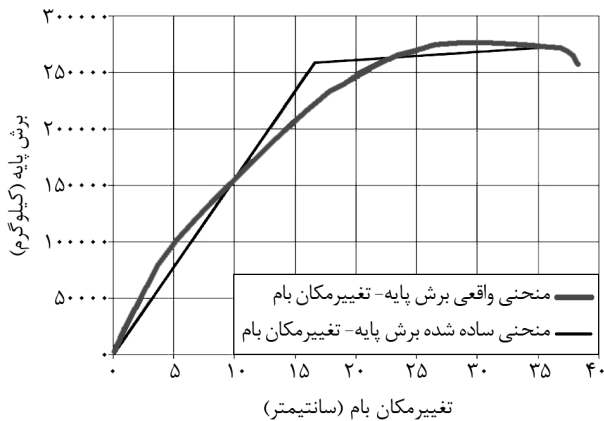
شکل (۱۰): (الف) مدل در نرم‌افزار *PERFORM-3D* و (ب) مدل در نرم‌افزار *ANSYS*.



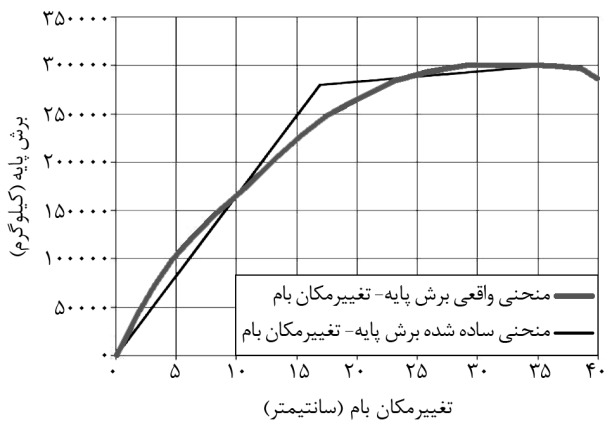
شکل (۱۱): شتابنگاشت مورد استفاده در هر دو نرم‌افزار.



شکل (۱۵): منحنی نیرو-تغییر مکان برای سازه P1 در جهت X.



شکل (۱۶): منحنی نیرو-تغییر مکان برای سازه P2 در جهت X.



شکل (۱۷): منحنی نیرو-تغییر مکان برای سازه P3 در جهت X.

شایان ذکر است کلیه مفصلهای کنترل شده توسط تغییر شکل و مفصلهای کنترل شده توسط نیرو با توجه به جدولهای (۲) تا (۴) در محدوده عملکرد ایمنی جانی تا آستانه فروریزش می باشند و با توجه به معیارهای پذیرش دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای قابل پذیرش هستند.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 C_a S_a \frac{T^2}{4\pi^2} g$$

Structure P1 →

$$\delta_t \cong 1.5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.728 \times \frac{1.066^2}{4\pi^2} \times 981 \cong 30.84 \text{ cm}$$

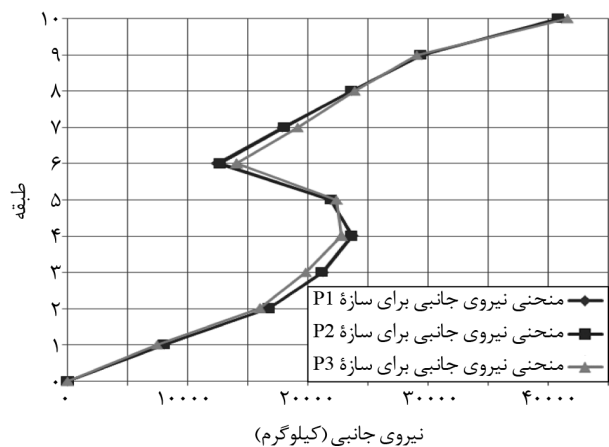
Structure P2 →

$$\delta_t \cong 1.5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.721 \times \frac{1.079^2}{4\pi^2} \times 981 \cong 31.3 \text{ cm}$$

Structure P3 →

$$\delta_t \cong 1.5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.7161 \times \frac{1.091^2}{4\pi^2} \times 981 \cong 31.77 \text{ cm}$$

طبق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای، می‌بایست برای سازه‌هایی که دارای زمان تناوب اصلی بزرگتر از یک ثانیه هستند، فقط از توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی استفاده کرد که در شکل (۱۴) توزیع نیروی جانبی برای سه سازه P1، P2 و P3 قابل مشاهده است. شایان ذکر است برای این منظور باید تعداد مودهای ارتعاشی مورد بررسی برای تحلیل طیفی چنان انتخاب شود که حداقل ۹۰ درصد جرم سازه در تحلیل مشارکت کند. در این تحقیق، از ضابطه ذکر شده برای توزیع نیروی جانبی در تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. شکل‌های (۱۵) تا (۱۷) نمودار پوش‌آور و جدول‌های (۲) تا (۴) عملکرد مفصل پلاستیک را برای سازه‌های P1، P2 و P3 را نشان می‌دهد.



شکل (۱۴): توزیع نیروی جانبی برای تحلیل استاتیکی غیرخطی در سه سازه P1، P2 و P3.

## ۶- تحلیل دینامیکی غیر خطی

بر اساس مطالعات انجام گرفته، نیرویی که در طی یک زلزله واقعی نسبتاً بزرگ بر سازه وارد می‌شود چند برابر نیرویی است که ما در تحلیل استاتیکی در نظر می‌گیریم. لذا در اثر نیروی وارده توسط زلزله، سازه وارد محدوده غیرارتجاعی (غیرالاستیک) می‌شود. در اثر ورود سازه به این محدوده و تشکیل مفاصل خمیری، سختی و به تبع آن رفتار سازه تغییر می‌کند؛ لذا برای مدلسازی واقعی سازه و درک رفتار واقعی آن، استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی ضروری می‌نماید. در روش تحلیل دینامیکی غیرخطی، پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و رفتار غیرخطی هندسی سازه محاسبه می‌شود. به این صورت رفتار واقعی هر سه سازه که در آن نامنظمی جرم در طبقه ششم وجود دارد، مشخص می‌شود.

### ۶-۱- زلزله‌های مورد استفاده

با توجه به اینکه زمین ساختگاه نوع سوم فرض شده است، زلزله‌های انتخابی نیز مربوط به خاک نوع سوم می‌باشند. هر سه سازه با هفت زلزله که دارای سه شتابنگاشت (دو مؤلفه افقی و یک مؤلفه قائم) می‌باشد و در هر زلزله یکی از شتابنگاشتها  $PGA$  (شتاب اوج زمین) آن حداکثر برابر  $0.35g$  است. همین‌طور شتابنگاشتها برای زمین نوع سه می‌باشد. سپس نتایج حداکثر هر زلزله را به دست آورده و از این نتایج حداکثر برای هر زلزله جداگانه متوسط‌گیری نموده و پاسخ به دست آمده به عنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته می‌شود. برای ارزیابی اثر نامنظمی جرم در ارتفاع هر سه سازه  $PI$ ،  $P2$  و  $P3$  با استفاده از هفت زلزله که مشخصات لرزه‌ای آن در جدول (۵) مشخص است تحلیل دینامیکی غیرخطی شدند.

### ۶-۲- مراحل تشکیل مفصلهای خمیری اعضای سازه $P1$

همان‌طور که در شکل (۱۸) مشاهده می‌شود، مفاصل خمیری در طبقات ششم و هفتم از محدوده عملکرد  $CP$  تجاوز کرده است و با توجه به اینکه از هفت زلزله استفاده شده، لذا طبق استاندارد ۲۸۰۰ باید برای نتیجه نهایی از نتایج هفت زلزله متوسط‌گیری نمود که این متوسط‌گیری در جدول (۶) برای سازه  $PI$  مشخص شده است.

جدول (۲): عملکرد مفصلهای پلاستیک برای سازه  $P1$  در جهت  $X$

Step	تغییر مکان (سانتیمتر)	نیروی پایه (تن)	A to B	B to IO	IO to LS	LS to CP	CP to C	مجموع
۰	۰	۰	۱۰۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۱	۱۰/۶	۱۶۶	۱۰۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۲	۱۴/۳۲	۲۰۵	۱۰۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۳	۱۷/۳۵	۲۳۳	۱۰۷۸	۲	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۴	۱۹/۲۳	۲۴۴	۱۰۳۴	۳۶	۱۰	۰	۰	۱۰۸۰
۵	۲۰/۳۳	۲۵۱	۹۵۸	۵۰	۷۰	۲	۰	۱۰۸۰
۶	۲۱/۶۲	۲۶۰	۹۰۸	۶۸	۹۷	۳	۰	۱۰۸۰
۷	۲۳/۸۱	۲۶۹	۸۵۰	۷۰	۱۵۴	۶	۰	۱۰۸۰
۸	۲۵/۷۰	۲۷۵	۸۲۶	۷۸	۱۶۸	۸	۰	۱۰۸۰
۹	۲۸/۷۶۶	۲۷۵	۸۱۴	۶۰	۱۸۸	۱۰	۰	۱۰۸۰
۱۰	۳۳/۲۵	۲۷۴	۷۹۰	۶۷	۲۱۰	۱۳	۰	۱۰۸۰
۱۱	۳۵/۴۵	۲۷۲	۷۸۳	۵۴	۲۲۶	۱۷	۰	۱۰۸۰
۱۲	۳۶/۶۲	۲۰۹	۷۷۲	۵۹	۲۲۸	۲۱	۰	۱۰۸۰

جدول (۳): عملکرد مفصلهای پلاستیک برای سازه  $P2$  در جهت  $X$

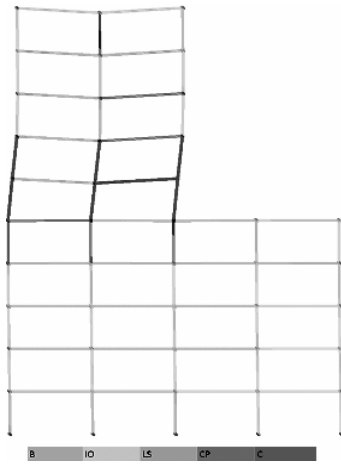
Step	تغییر مکان (سانتیمتر)	نیروی پایه (تن)	A to B	B to IO	IO to LS	LS to CP	CP to C	مجموع
۰	۰	۰	۱۰۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۱	۱۱/۵۶	۱۷۲	۱۰۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۲	۱۶/۳۲	۲۲۰	۱۰۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۳	۱۸/۳۵	۲۳۶	۱۰۷۵	۵	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۴	۲۰/۲۱	۲۴۶	۱۰۶۵	۷	۳	۰	۰	۱۰۸۰
۵	۲۳/۳۷	۲۶۵	۱۰۱۱	۴۵	۲۰	۴	۰	۱۰۸۰
۶	۲۵/۴۳	۲۷۱	۹۶۵	۶۲	۴۸	۵	۰	۱۰۸۰
۷	۲۷/۳۲	۲۷۶	۹۰۶	۷۳	۹۲	۹	۰	۱۰۸۰
۸	۳۰/۲۱	۲۷۵	۸۷۵	۵۷	۱۴۵	۱۳	۰	۱۰۸۰
۹	۳۳/۵۴	۲۷۴	۸۴۶	۳۶	۱۸۱	۱۷	۰	۱۰۸۰
۱۰	۳۵/۴۵	۲۷۳	۸۰۶	۴۷	۲۰۴	۲۳	۰	۱۰۸۰
۱۱	۳۶/۰۳	۲۷۲	۷۸۷	۵۷	۲۰۷	۲۹	۰	۱۰۸۰

جدول (۴): عملکرد مفصلهای پلاستیک برای سازه  $P3$  در جهت  $X$

Step	تغییر مکان (سانتیمتر)	نیروی پایه (تن)	A to B	B to IO	IO to LS	LS to CP	CP to C	مجموع
۰	۰	۰	۱۰۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۱	۱۲/۲۳	۱۹۲	۱۰۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۲	۱۷/۷۲	۲۵۰	۱۰۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۳	۱۹/۵۹	۲۶۲	۱۰۷۴	۶	۰	۰	۰	۱۰۸۰
۴	۲۲/۵۴	۲۸۱	۱۰۶۷	۸	۵	۰	۰	۱۰۸۰
۵	۲۴/۳۸	۲۸۸	۱۰۳۷	۲۰	۲۱	۲	۰	۱۰۸۰
۶	۲۶/۸۷	۲۹۵	۹۹۵	۳۴	۴۵	۶	۰	۱۰۸۰
۷	۲۹/۶۳	۲۹۹	۹۳۲	۵۳	۸۵	۱۰	۰	۱۰۸۰
۸	۳۲/۱۹	۳۰۱	۸۸۷	۴۱	۱۳۸	۱۴	۰	۱۰۸۰
۹	۳۳/۳۴	۳۰۱	۸۰۶	۶۳	۱۹۲	۱۹	۰	۱۰۸۰
۱۰	۳۴/۷۲	۳۰۰	۷۸۳	۶۵	۲۰۷	۲۵	۰	۱۰۸۰
۱۱	۳۶/۱۱	۲۹۹	۷۶۵	۷۷	۲۰۹	۲۹	۰	۱۰۸۰

جدول (۶): نتایج نهایی حاصل از متوسط‌گیری از عملکرد مفصلهای پلاستیک هفت زلزله گروه ۰/۳۵g برای اعضای سه سازه P1، P2 و P3

مجموع	Beyond C	Cp to C	LS to CP	IO to LS	B to IO	A to B	محدوده عملکرد
							اعضاء
۱۰۸۰	۸	۶	۱۱۹	۲۱۴	۸۲	۶۵۱	سازه P1
۱۰۸۰	۹	۴	۱۱۵	۱۹۸	۸۷	۶۶۷	سازه P2
۱۰۸۰	۷	۵	۱۱۶	۲۱۱	۷۹	۶۶۱	سازه P3

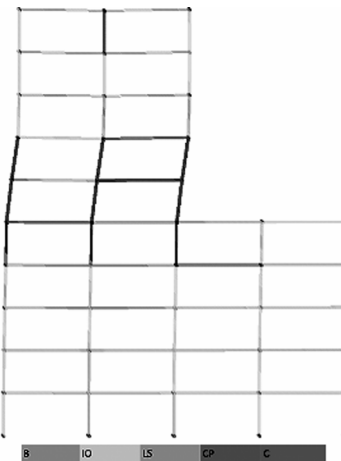


شکل (۱۹): تشکیل مفاصل خمیری سازه P2 در اثر زلزله کوبه.

استاندارد ۲۸۰۰ می‌بایست برای نتیجه نهایی از نتایج هفت زلزله متوسط‌گیری کرد که این متوسط‌گیری در جدول (۶) برای سازه P2 مشخص شده است.

#### ۶-۴- مراحل تشکیل مفصلهای خمیری اعضای سازه P3

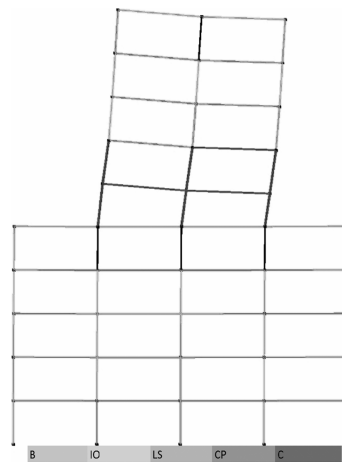
با توجه به شکل (۲۰)، مفاصل خمیری در طبقات ششم و هفتم از محدوده عملکرد CP تجاوز کرده است. همین‌طور در طبقه چهارم تیرها از محدوده عملکرد CP تجاوز نموده‌اند.



شکل (۲۰): تشکیل مفاصل خمیری سازه P3 در اثر زلزله کوبه.

جدول (۵): مشخصات لرزه‌ای برای زلزله گروه ۰/۳۵g.

گروه زلزله ۰/۳۵g			
زلزله	جهت مؤلفه	PGA	پریود غالب
کوالینگا	صفر درجه	۰/۳۵g	۰/۱۵s
	نود درجه	۰/۳۲g	۰/۱۶s
	قائم	۰/۱۰g	۰/۳۶g
السنترو	صفر درجه	۰/۳۶g	۰/۲۰s
	نود درجه	۰/۲۸g	۰/۴۰s
	قائم	۰/۲۵g	۰/۱۰s
کوکائیلی	صفر درجه	۰/۳۶g	۰/۲۱s
	نود درجه	۰/۲۸g	۰/۴۸s
	قائم	۰/۱۲g	۰/۱۰s
مورگان	صفر درجه	۰/۳۵g	۰/۳۰s
	نود درجه	۰/۳۳g	۰/۴۰s
	قائم	۰/۲۵g	۰/۱۰s
نورثریج	صفر درجه	۰/۳۶g	۰/۲۴s
	نود درجه	۰/۲۳g	۰/۲۵s
	قائم	۰/۲۵g	۰/۱۹s
کوبه	صفر درجه	۰/۳۶g	۰/۱۰s
	نود درجه	۰/۳۵g	۰/۲۰s
	قائم	۰/۱۴g	۰/۱۰s
ایرپینیا	صفر درجه	۰/۳۵g	۰/۱۸s
	نود درجه	۰/۲۴g	۰/۱۷s
	قائم	۰/۱۴g	۰/۱۲s

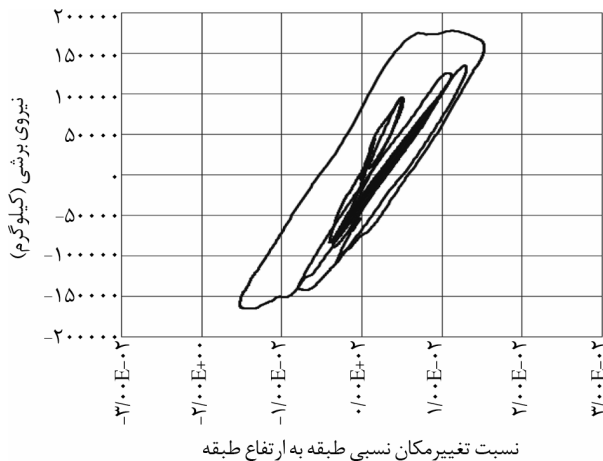


شکل (۱۸): تشکیل مفاصل خمیری سازه P1 در اثر زلزله کوبه.

#### ۶-۳- مراحل تشکیل مفصلهای خمیری اعضای سازه P2

با توجه به شکل (۱۹)، مفاصل خمیری در طبقه ششم و هفتم از محدوده عملکرد CP تجاوز کرده است و همین‌طور در طبقه هشتم تیرها از محدوده عملکرد CP تجاوز کرده‌اند. با توجه به اینکه از هفت زلزله استفاده شده، لذا طبق





شکل (۲۳): نمودار هیستریزس نسبت دررفت- برش طبقه ششم زلزله کوبه در سازه P3.

### ۶-۶- نتایج نهایی حاصل از متوسط‌گیری از عملکرد مفصلهای خمیری هفت زلزله گروه ۰/۳۵g برای

#### اعضای سازه‌های P1، P2 و P3

نتایج نهایی حاصل از متوسط‌گیری از عملکرد مفصلهای خمیری هفت زلزله گروه ۰/۳۵g برای اعضای سه سازه P1، P2 و P3 در جدول (۶) نشان داده شده است. علی‌رغم اینکه هر سه سازه طبق استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند و نیز مرز نامنظمی جرم و سختی طبق استاندارد ۲۸۰۰ در طبقه ششم برای هر سه سازه رعایت شده است، جدول (۶) نشان می‌دهد تعدادی از مفصلهای پلاستیک هر سه سازه از محدوده عملکرد LS تا CP تجاوز کرده‌اند. با توجه به اینکه در طراحی هر سه سازه در برابر زلزله ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ رعایت شده و معیارهای پذیرش طبق این استاندارد برای ایمنی جانی می‌باشد یا به عبارت دیگر عملکرد مفصلهای پلاستیک طبق این استاندارد از محدوده LS تا CP نباید تجاوز کند، لذا می‌توان نتیجه گرفت مرز نامنظمی جرم و سختی طبق استاندارد ۲۸۰۰ مناسب نمی‌باشد.

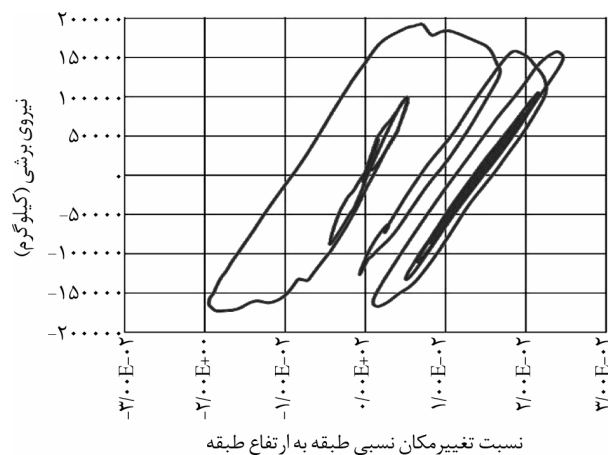
### ۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سه ساختمان فولادی ده طبقه با قاب خمشی متوسط، که هر یک در طبقه ششم دارای یک نوع نامنظمی جرم و سختی می‌باشد، بر اساس تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

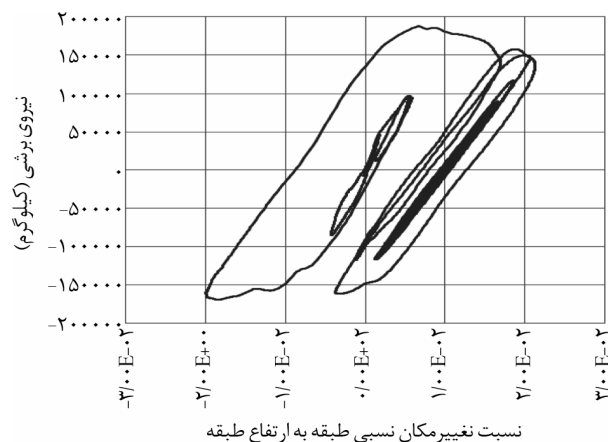
با توجه به این که از هفت زلزله استفاده شده است، لذا طبق استاندارد ۲۸۰۰ بایستی برای نتیجه نهایی از نتایج هفت زلزله متوسط‌گیری نمود که این متوسط‌گیری در جدول (۶) برای سازه P3 مشخص شده است.

### ۵-۶- خصوصیات حلقه‌های هیستریزس سازه‌های P1، P2 و P3

در شکل‌های (۲۱) تا (۲۳)، نمودار هیستریزس نسبت دررفت- برش طبقه ششم زلزله در سه سازه P1، P2 و P3 نمایش می‌دهد. همان طور که قابل مشاهده است، برش در طبقه ششم (دارای نامنظمی جرم و سختی) سازه P2 نسبت به دو سازه P1 و P3 بیشتر است. ولی نسبت دررفت سازه P1 نسبت به دو سازه P2 و P3 بیشتر می‌باشد. با توجه به نمودارها مشخص است که مقدار انرژی جذب شده در طبقه ششم سازه P1 نسبت به دو سازه P2 و P3 بیشتر است.



شکل (۲۱): نمودار هیستریزس نسبت دررفت- برش طبقه ششم زلزله کوبه در سازه P1.



شکل (۲۲): نمودار هیستریزس نسبت دررفت- برش طبقه ششم زلزله کوبه در سازه P2.

- acceleration on the seismic response of steel buildings, *Proceedings of the 13<sup>th</sup> World Conf. on Earthquake Engineering (13WCEE)*, Vancouver, British Columbia, Canada.
2. Soni, D.P. and Mistry, B. (2006). Qualitative review of seismic response of vertically irregular building frames, *ISSET Journal of Earthquake Technology*, **43**(4), 121-132.
  3. Karavasilis, T.L., Bazos, N., and Beskos, D.E. (2008). Estimation of seismic inelastic deformation demands in plane steel MRF with vertical mass irregularities, *Engineering Structures*, **30**(11), 3265-3275.
  4. Nezamabadi, M.F., Moghadam, A.S., and Hosseini, M. (2008). The effect of vertical component of earthquake on seismic response of torsionally coupled systems, *Journal of Applied Sciences*, **8**(22), 4029-4039.
  ۵. آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم (۱۳۸۴). مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ساختمانها در برابر زلزله.
  ۶. طاهری، عباس (۱۳۸۹). *اثر مؤلفه قائم زلزله در ساختمانهای دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.
  ۷. دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود (۱۳۸۵). دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، نشریه شماره ۳۶۰.

مهمترین یافته‌های حاصل از این تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- نتایج به دست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی نشان داد که مفاصل پلاستیک از محدوده ایمنی جانی تا آستانه فروریزش تجاوز نمی‌کنند، در حالیکه بر اساس نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی مفاصل از این محدوده تجاوز می‌نمایند. بنابراین می‌توان گفت که نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی برای سازه‌های دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع قابل قبول نمی‌باشند و لازم است الگوی بار جانبی در تحلیل استاتیکی غیرخطی برای چنین سازه‌هایی اصلاح گردد تا رفتار واقعی سازه را نشان دهد.
- ۲- نتایج نهایی حاصل از متوسط‌گیری از عملکرد مفصلهای خمیری هفت زلزله با بیشینه شتاب  $0.35g$  برای اعضای سازه مورد مطالعه در تحلیل دینامیکی غیرخطی نشان داد که مرز نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع طبق استاندارد ۲۸۰۰ برای این سه سازه قابل قبول نمی‌باشد، چون تعدادی از مفصلهای پلاستیک در طبقات ششم و هفتم از محدوده معیار پذیرش  $LS$  تا  $CP$  (ایمنی جانی تا آستانه فروریزش) تجاوز کرده‌اند.
- ۳- نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی نشان داد که طبقات ششم و هفتم دارای تغییرشکل‌های بزرگتری نسبت به سایر طبقات می‌باشند و همین‌طور این طبقات به حالت مکانیزم یا طبقه نرم رفتار کرده‌اند.

## ۸- مراجع

1. Hosseini, M. and Firoozi Nezamabadi, M. (2004). A study on the effect of vertical ground