



## ارزیابی عملکرد سازه‌های فولادی قاب خمشی با اهمیت زیاد با دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای

بهرخ حسینی‌هاشمی، استادیار پژوهشکده مهندسی سازه پژوهشگاه / فرهاد بهنام‌فر، استادیار دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان /

سیدامیر غریب‌زاده، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی زلزله پژوهشگاه

### ۱- چکیده

در ستونهای طبقات پایین تر از خود نشان می‌دهند. یکی از دلایل این عملکرد، اعمال اثر همزمان مؤلفه‌های زلزله برای سازه‌ها در دستورالعمل بهسازی می‌باشد که این اثر در طراحی با استاندارد ۲۸۰۰ اعمال نشده است.

**کلیدواژه‌ها:** سازه فولادی قاب خمشی، ارزیابی لرزه‌ای، استاندارد ۲۸۰۰، دستورالعمل بهسازی

آیین‌نامه‌های موجود طراحی سازه‌های مقاوم برای طراحی سازه‌های جدید کاربرد دارند؛ اما برای ارزیابی سازه‌های ساخته شده بر اساس آیین‌نامه‌های قبلی نمی‌توان از آیین-نامه‌های طراحی سازه‌ها (آیین ۲۸۰۰) استفاده کرد و باید از دستورالعملهایی مانند FEMA 273، FEMA 356، بهسازی لرزه‌ای ایران، ATC40 و FEMA 351 که با استفاده از مفهوم طراحی بر اساس عملکرد به ارزیابی و بهسازی سازه‌ها می‌پردازند، استفاده نمود.

### ۲- مقدمه

طراحی و ساخت ساختمانها با عملکرد قابل پیش‌بینی تحت اثر زلزله، پیوسته مورد بحث بوده است. زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا با بزرگای ۷/۱ خسارتی در حدود ۸ میلیارد دلار به بار آورد. این خسارت سنگین باعث شد که در سال ۱۹۹۲، گروه تصمیم‌گیرندگان Seac، کمیته Vision 2000 را تشکیل و اساس آیین‌نامه‌های ساختمانی آینده طراحی بر اساس عملکرد را توسعه دهند. علاوه بر آن، مقرر شد این کار تا قبل از سال ۲۰۰۰ انجام شود؛ ولی بجز فعالیتهای محدود اقدامی در این باره صورت نگرفت. در ژانویه سال ۱۹۹۴ زلزله نورتریج با بزرگای ۶/۷ به وقوع پیوست و خساراتی در حدود ۲۰ میلیارد

در این مقاله، ابتدا سازه‌های بیمارستان ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه به روش استاتیکی خطی استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شدند و سپس با دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای، در دو سطح خطر ۱ و ۲ ارزیابی و معیارهای پذیرش اعضا کنترل شد. برای ارزیابی کلیه سازه‌ها از روش استاتیکی غیرخطی و برای سازه ۱۲ طبقه علاوه بر روش استاتیکی غیرخطی از روش دینامیکی خطی نیز استفاده شد.

ارزیابی عملکرد سازه‌های فولادی قاب خمشی، مبین آن است که سازه‌های کوتاه طراحی شده با استاندارد ۲۸۰۰، در ارزیابی با دستورالعمل بهسازی رفتار نسبتاً مناسبی از خود نشان می‌دهند؛ ولی سازه‌های متوسط و بلند عملکرد نامناسبی

دلار به بار آورد (بیش از دو برابر خسارت زلزله لوماپریتا).  
متعاقب این مسأله، طی مدت یک سال، کمیته  
Vision 2000 پیشنهادهایی برای مهندسی زلزله بر اساس  
عملکرد ارائه داد. گزارش این کمیته در سال ۱۹۹۵ منتشر شد.  
گزارش مذکور مباحث مفصل مهندسی زلزله بر اساس عملکرد  
را بیان می کند و در بردارنده طیف وسیعی از نکاتی است که  
باید در طراحی، ساخت و بهره برداری ساختمانها برای  
عملکردهای لرزه ای قابل پیش بینی و قابل کنترل در سطوح  
خطر مورد نظر به کار برده شود [۱].  
برترو در سال ۱۹۹۷ دستورالعملهای Seac برای  
ساختمانهای جدید و NEHRP برای بهسازی لرزه ای  
ساختمانهای موجود (274,1997 و FEMA 273) را بازنگری  
نمود [۲]. بازنگریهای انجام شده توسط برترو یک منبع اصلی  
در رابطه با مهندسی لرزه ای بر اساس عملکرد است و شامل  
پیشنهادها و راهنماییهایی است که می تواند به عنوان منبع اولیه  
برای مهندسی ساختمانهای جدید و بهسازی ساختمانهای  
موجود مورد استفاده قرار گیرد [۱].  
تحقیقات و رفتار ساختمانها در برابر زلزله های اخیر  
نشان داد که مقاومت نمی تواند معیار مناسبی برای طراحی باشد  
و در آیین نامه های جدید به جای معیار مقاومت، از معیار رفتار  
برای طراحی سازه استفاده می شود [۳].  
بر اثر وقوع زلزله های شدید، خسارتهای قابل ملاحظه ای به  
علت رفتار غیر ارتجاعی سازه ها به آنها وارد می شود؛ زیرا با توجه  
به منحنی نیرو- تغییر مکان، سازه بر اثر وقوع زلزله های شدید،  
پس از گذر از محدوده ارتجاعی، وارد محدوده غیر ارتجاعی  
می شود و در این ناحیه تغییرات مقاومت ناچیز می باشد و  
تغییر شکلهای خمیری که ارتباط نزدیکی با خسارت دارند،  
ایجاد می شود؛ لذا، در روش طراحی بر اساس عملکرد،

عملکرد غیرخطی اجزای سازه مورد بررسی قرار می گیرد  
و تغییر مکان به جای نیرو به عنوان مناسبترین شاخص رفتار  
مطرح می شود [۴].

با مفهوم طراحی بر اساس عملکرد، دو روش ارزیابی بر  
اساس منحنی نیرو- تغییر مکان شناخته شده می باشند. یکی از  
آنها روش طیف ظرفیت است که توسط فریمن ارائه شده است  
و در ATC40 وجود دارد [۵] و دیگری روش ضریب  
تغییر مکان است که توسط کراوینکلر توسعه یافته است و در  
دستورالعملهای 356 و FEMA 273 آمده است [۶].

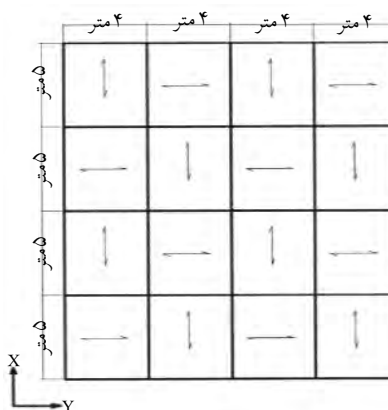
در روش ضریب تغییر مکان، تغییر مکان هدف از طیف  
تغییر مکان ارتجاعی به دست می آید که با استفاده از ضرایبی که  
از تحلیلهای آماری به دست آمده اند اصلاح می شود [۷].

در این مقاله، سازه های فولادی قاب خمشی ارزیابی  
شده است. در این راستا ابتدا سازه های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با  
روش استاتیکی خطی استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شدند. سپس  
این سازه ها با دستورالعمل بهسازی لرزه ای (که مشابه روش  
FEMA 356 می باشد) در سطح خطر ۱ و سطح خطر ۲ ارزیابی  
و معیارهای پذیرش اعضا کنترل شد و نقاط ضعف آیین نامه  
۲۸۰۰ در پیش بینی رفتار سازه ها در برابر زلزله به دست آمد [۸].  
در ارزیابی سازه ها با دستورالعمل بهسازی، تحلیل کلیه  
سازه ها به روش تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام شد؛ اما در  
سازه ۱۲ طبقه با توجه به اینکه برش حاصل از تحلیل دینامیکی  
خطی در طبقه آخر، ۳۰ درصد بیشتر از برش حاصل از مد اول  
بود، از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی همراه با روش  
تحلیل دینامیکی خطی استفاده و معیارهای پذیرش برای هر دو  
روش بررسی شد. با این تفاوت که برای پذیرش اعضای با رفتار  
کنترل شونده توسط تغییر شکل، در روش تحلیل دینامیکی  
خطی ۳۳ درصد کاهش یافت.

### ۳- مشخصات سازه‌های مورد بررسی

ساختمانهای مورد بررسی، بیمارستان با اهمیت زیاد، در تهران و با سیستم باربر جانبی قاب خمشی فولادی ویژه می‌باشد. نوع سقفها تیرچه بلوک سفالی است و اتصالات از نوع صلب جوشی است.

مشخصات پلان ساختمان بیمارستانهای مورد بررسی در شکل (۱) نشان داده شده است و ساختمانهای بیمارستان ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است در پلان مشترک و در تعداد طبقات متفاوت می‌باشند.



شکل (۱): اندازه دهانه‌ها در جهت X و Y و جهت تیرچه ریزی

کمتر (ارتفاع هر طبقه ۳/۲ متر) و پیش تصادفی لحاظ شود.  
- مدلسازی و تحلیل و طراحی بیمارستانها با نرم افزار Sap 2000 و طراحی با روش تنش مجاز و با آیین نامه AISC-ACD انجام شده است؛

- برای طراحی کلیه سازه‌ها از ستون قوطی شکل که با ورق به هم جوش شده‌اند و در طراحی تیرها از مقاطع IPE و پلیت استفاده شده است.

- در طراحی سازه‌ها به صورت قاب خمشی باید معیارهای ویژه‌ای رعایت شود. این معیارها در سازه‌های مورد مطالعه مدنظر قرار گرفته است [۵]. از جمله معیارهای ویژه در تیرها رعایت ضوابط پایداری موضعی مربوط به مقطع فشرده است. علاوه بر آن، باید:

$$(F_y = 2400) \quad \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{435}{\sqrt{F_y}} = 8.9 \quad (1)$$

باشد. در هر گره، مجموع مقاومت خمشی ستونها از تیرها و چشمه اتصال کمتر نباشد:

$$\sum Z_c (f_{yc} - f_a) \geq \sum Z_b f_{yb} \quad (2)$$

$$\sum Z_c (f_{yc} - f_a) \geq 1.25 M_{pz} \quad (3)$$

در رابطه‌های (۲) و (۳)،  $Z_c$  اساس خمیری ستون،  $f_{yc}$  تنش تسلیم ستون،  $f_a$  قدرمطلق بیشترین تنش محوری ایجاد شده در هنگام زلزله،  $Z_b$  اساس خمیری تیر،  $f_{yb}$  تنش تسلیم تیر،  $M_{pz}$  لنگر نظیر تسلیم برش چشمه اتصال است.

- با توجه به اینکه سیستم باربر جانبی سازه‌ها، قاب خمشی می‌باشد، نسبت تنش طراحی در تیرها و ستونها مقادیر کوچکی (۰/۷-۰/۵) هستند که نشان می‌دهد جابه‌جایی نسبی بین طبقاتی ملاک طراحی بوده است.

#### ۴-۱- نتایج طراحی سازه‌ها با استاندارد ۲۸۰۰

پس از طراحی سازه‌ها با استاندارد ۲۸۰۰ اعضای سازه‌های

#### ۴- نکات مشترک در طراحی ساختمانهای ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با استاندارد ۲۸۰۰

نکاتی که باید در تحلیل و طراحی ساختمانهای ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با استاندارد ۲۸۰۰ [۸] به روش استاتیکی خطی، مدنظر قرار گیرند عبارتند از:

- ضریب اهمیت (I) برابر ۱/۲، شتاب مبنای طرح (A) برابر ۰/۳۵ و  $T_0=0.5$  (خاک نوع II) می‌باشد و با توجه به سیستم باربر جانبی (قاب خمشی ویژه)،  $R=10$  است.

- در طراحی بیمارستانها باید تغییر مکان کنترل، جابه‌جایی

$$\text{نسبی بین طبقاتی در همه طبقات از } \frac{0.03h}{R} = 0.96 \text{ cm}$$

۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه به صورت جدولهای (۱)، (۲)، (۳) و (۴) به دست آمد.

جدول (۱): مشخصات سازه سه طبقه

طبقه	مقاطع ستونها	مقاطع تیرها
۳	BOX30×10	IPE 270
۱ و ۲	BOX30×15	IPE 270

جدول (۲): مشخصات سازه شش طبقه

طبقه	مقاطع ستونها	مقاطع تیرها
۶	BOX30×10	IPE 270
۵	BOX30×10	PL30×10/15×10
۳ و ۴	BOX35×12	PL30×10/15×10
۱ و ۲	BOX40×12	PL30×10/15×15

جدول (۳): مشخصات سازه نه طبقه

طبقه	مقاطع ستونها	مقاطع تیرها
۷ و ۸ و ۹	BOX35×12	PL30×8/15×8
۴ و ۵ و ۶	BOX40×12	PL30×15/15×20
۱ و ۲ و ۳	BOX40×15	PL40×8/20×12

جدول (۴): مشخصات سازه دوازده طبقه

طبقه	مقاطع ستونها	مقاطع تیرها
۱۰ و ۱۱ و ۱۲	BOX40×10	PL30×8/15×12
۹	BOX40×12	PL30×8/15×12
۷ و ۸	BOX40×12	PL40×8/20×12
۴ و ۵ و ۶	BOX40×15	PL40×8/20×12
۱ و ۲ و ۳	BOX45×15	PL40×8/20×12

## ۵- نکات مهم در ارزیابی عملکرد سازه های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با دستورالعمل بهسازی

در مدل سازی، تحلیل و ارزیابی ساختمانهای ۳، ۶، ۹ و ۱۲

طبقه با دستورالعمل بهسازی لرزه ای، نکاتی باید مدنظر قرارگیرد که در بخشهای بعد مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

### ۵-۱- هدف بهسازی

بیمارستان باید پس از زلزله قابلیت استفاده بدون وقفه داشته باشد و سطح عملکرد خوبی برای آن در نظر گرفته شود؛ لذا در مورد بیمارستانهای مورد اشاره در این مقاله بهسازی ویژه ای انجام گرفته است. با توجه به جدول (۵) و جمله مندرج در دستورالعمل (بهسازی ویژه باید سطوح عملکرد K و P هر دو با هم بعلاوه یکی از سطوح n، j و i تأمین گردد و یا تأمین یکی از سطوح o، n و m به تنهایی نیز بهسازی ویژه محسوب می گردد [۹])، می توان نتیجه گیری کرد که اگر در سطح خطر ۱ سازه عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه داشته باشد (سطح عملکرد j) و در سطح خطر ۲ عملکرد ایمنی جانی داشته باشد (سطح عملکرد o)، هدف بهسازی ویژه تأمین می شود. در کنترل معیارهای پذیرش اگر در سطح خطر ۱ سازه عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه (سطح عملکرد j) و در سطح خطر ۲ عملکرد آستانه فروریزش داشته باشد (سطح عملکرد P) آنگاه با توجه به جمله دستورالعمل بهسازی بازم می توان گفت هدف بهسازی ویژه تأمین است [۸].

جدول (۵): سطح عملکرد ساختمان [۹]

سطح عملکرد ساختمان			
سطح خطر زلزله	آستانه فروریزش (E-5)	ایمنی جانی (C-3)	قابلیت استفاده بی وقفه (B-1)
			خدمت رسانی (A-1)
۱۰ درصد در ۵۰ سال (سطح خطر ۱)	i	j	k
۲ درصد در ۵۰ سال (سطح خطر ۲)	m	n	o

## ۵-۲- طیف طرح

در این مقاله، طیف طرح از حاصل ضرب مقادیر طیف ضریب بازتاب ساختمان (B) و شتاب مبنای طرح (A) حاصل شده است (شکل ۱ استاندارد ۲۸۰۰ ایران).

شتاب مبنای طرح (A) در سطح خطر ۱ برای تهران مقدار ۰/۳۵ است که از نقشه پهنه‌بندی شتاب با دوره بازگشت ۴۷۵ سال استفاده شده است و برای سطح خطر ۲ مقدار A برابر ۰/۶ در نظر گرفته شده است [۸].

## ۵-۳- توزیع بار جانبی در تحلیل استاتیکی غیر خطی

مطابق دستورالعمل، دو توزیع بار جانبی به مدل سازه اعمال می‌گردد. در این مقاله، برای سازه ۳ طبقه که پیوند آن از ۱ ثانیه کمتر می‌باشد، برای توزیع نوع اول از توزیع متناسب با شکل مد اول و برای سازه‌های ۶، ۹ و ۱۲ طبقه که زمان تناوب اصلی آنها از ۱ ثانیه بیشتر می‌باشد و اثر مدهای ارتعاشی بالاتر قابل توجه است، از توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی استفاده شد. برای توزیع نوع دوم برای کلیه سازه‌ها، از توزیع یکنواخت که در آن بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می‌شود، استفاده شد. یکی از نتایج حاصله این بود که اثر توزیع یکنواخت در ستونهای طبقات پایین بیشتر از اثر توزیع نوع اول می‌باشد و توزیع یکنواخت برای بررسی حالت‌های بحرانی در طبقات پایین در نظر گرفته شده است.

## ۵-۴- اثر همزمان مؤلفه‌های زلزله

اثر مؤلفه‌های مختلف زلزله از جمع آثار ناشی از تغییر شکل سازه به اندازه تغییر مکان هدف در یک امتداد با آثار ناشی از تغییر شکل سازه به اندازه ۳۰ درصد تغییر مکان هدف در امتداد عمود بر آن حاصل می‌شود. برای رسیدن به این مهم در نرم‌افزار

Sap 2000 در حالات بارگذاری، برای هر توزیع و در هر جهت Push جدید تعریف می‌شود که در آن الگوی بار در جهت x با ضریب ۱ و همان الگوی بار در جهت y با یک ضریب اولیه ۰/۳ داده می‌شود. سپس برنامه را اجرا نموده، تغییر مکان سازه در گره اصلی بام در مرحله آخر مشاهده می‌شود. در این نقطه، تغییر مکان در جهت x برابر تغییر مکان هدف می‌باشد؛ ولی تغییر مکان گره اصلی بام در جهت y، کمتر یا برابر با ۰/۳ تغییر مکان هدف است که اگر کمتر از ۰/۳ تغییر مکان هدف باشد باید با سعی و خطا مقدار ضریب ۰/۳ آنقدر زیاد شود تا پس از اجرای برنامه، تغییر مکان گره اصلی بام در جهت y به ۰/۳ تغییر مکان هدف برسد.

در یک سازه منظم قاب خمشی فولادی باید اثر همزمان مؤلفه‌های زلزله را طبق دستورالعمل بهسازی لحاظ کرد و این اثر همزمان بویژه در ستونهای گوشه و کناری اثر می‌گذارد و حالت بحرانی ایجاد می‌کند؛ ولی لحاظ این اثر در آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای ساختمانهای منظم لازم نیست و باید به آن توجه شود [۸].

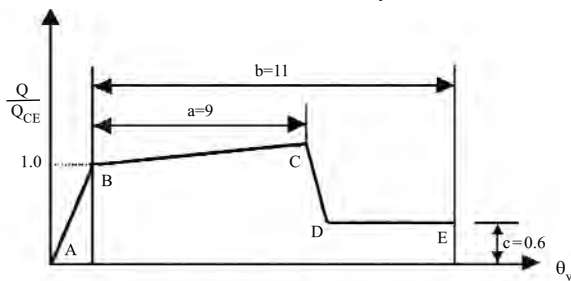
## ۵-۵- تغییر مکان هدف با روش منحنی طیف ظرفیت

روش طیف ظرفیت یکی از روشهای به‌دست آوردن تغییر مکان هدف می‌باشد. در این روش، تغییر مکان هدف از تلاقی منحنی ظرفیت (منحنی نیرو - تغییر مکان جانبی) با طیف پاسخ تعیین می‌شود؛ اما در Sap 2000 از مرجع ATC 40 برای این موضوع استفاده شده است و منحنی طیف پاسخ از روش تحلیل خطری که برای آمریکا انجام شده (با به‌دست آوردن دو مقدار CA و CV)، رسم می‌شود که این طیف پاسخ با طیف آیین‌نامه ایران همخوانی ندارد؛ لذا نمی‌توان از روش طیف ظرفیت که در Sap 2000 انجام می‌شود، مقدار

تغییر مکان هدف را به دست آورد (شکل ۲) [۸].

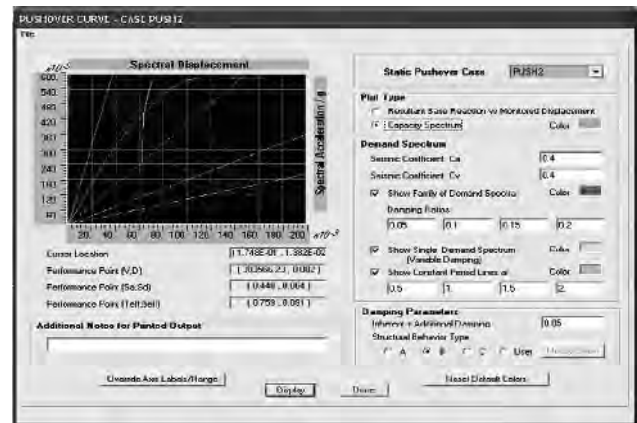
عدد ۱ را اضافه نمود (در FEMA 273 عدد معیار پذیرش، جمع مقدار چرخش ارتجاعی و خمیری می باشد؛ در صورتی که در دستورالعمل FEMA 356 عدد معیار پذیرش را به صورت ضریبی از  $\theta_p$  داده است و فقط شامل چرخش خمیری می باشد).

ب) روش به دست آوردن منحنی  $M-\theta$  برای مفاصل خمیری تعریف شده برای تیرها و ستونها با استفاده از پارامترهای مدل سازی در دستورالعمل بهسازی به این صورت است که با توجه به نسبت  $\frac{b}{2t}$  و  $\frac{h}{t}$  در تیرها و ستونها مقادیر پارامترهای مدل سازی (زاویه چرخش خمیری  $a$  و  $b$  و نسبت تنش پسماند  $c$ ) به دست می آید، که با توجه به منحنی داده شده در دستورالعمل، مختصات نقاط A، B، C، D، E و  $M$  به دست می آید. در به دست آوردن مختصات نقطه C باید دقت کرد که شیب خط B-C،  $0.3$  می باشد و باید مقدار  $\frac{M}{M_y} \leq 1/1$  باشد و هر جا این نسبت از  $1/1$  بیشتر



	$M/M_y$	$\theta/\theta_y$
A	۰	۰
B	۱	۱
C	$1/1 \rightarrow 0.27$	۱۰
D	۰/۶	۱۰
E	۰/۶	۱۲

شکل (۳): پارامترهای منحنی رفتاری



شکل (۲): تغییر مکان هدف باروش طیف ظرفیت در نرم افزار Sap 2000 [۱۰]

## ۵-۶- تعریف ویژگیهای مفصل در تیرها و ستونها در روش استاتیکی غیرخطی

برای سازه های قاب خمشی فولادی دو نوع مفصل تعریف می شود:

۱- مفاصل ستونها که به تعداد انواع ستونها مختلف با توجه به نسبت  $\frac{P}{P_{CL}}$  در هر نوع ستون و با توجه به منحنی رفتاری ستونها تعداد مفاصل PMM که باید برای ستونها تعریف شود به دست می آید.

۲- به تعداد انواع تیرهای موجود در سازه و منحنی های رفتاری تیرها (منحنی  $M-\theta$ )، تعداد مفاصل M3 که باید تعریف شود به دست می آید.

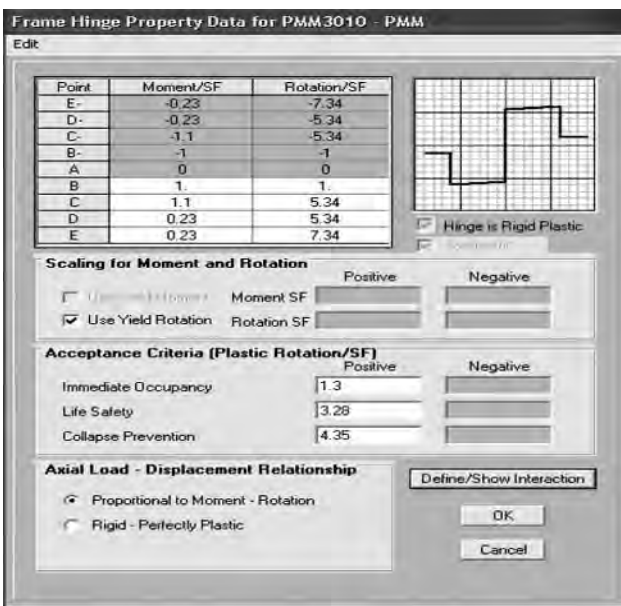
## ۵-۶-۱- نکات مهم و مورد توجه در تعریف مفاصل در تیرها و ستونها [۸]

نکات مهم در تعریف مفاصل تیرها و ستونها عبارتند از:  
الف) نرم افزار Sap 2000 بر اساس FEMA 273 طراحی شده است و با توجه به اینکه در این دستورالعمل اعداد معیارهای پذیرش یکی بیشتر از اعداد داده شده در دستورالعمل و FEMA 356 می باشد، برای استفاده از نرم افزار Sap 2000 باید به اعداد معیارهای پذیرش دستورالعمل بهسازی لرزه ای

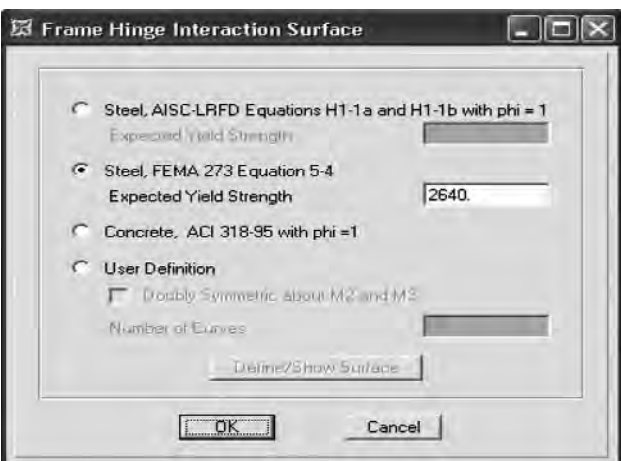
با استفاده از رابطه (۴) اندرکنش P و M را به دست آورد عدد  $F_{ye}$  را نیز باید روبروی Expected Yield Strength قرار داد:

$$M_{CE} = 1.18 ZF_{ye} \left[ 1 - \frac{P}{P_{ye}} \right] < ZF_{ye} \quad (۴)$$

به عنوان مثال، برای سازه‌های فولادی مقدار  $F_{ye}$  برابر  $1.1F_y$  است که اگر  $F_y$  برابر  $2400 \text{ kg/cm}^2$  باشد، مقدار  $F_{ye}$  برابر  $2640 \text{ kg/cm}^2$  به دست می‌آید (شکلهای ۵ و ۶).

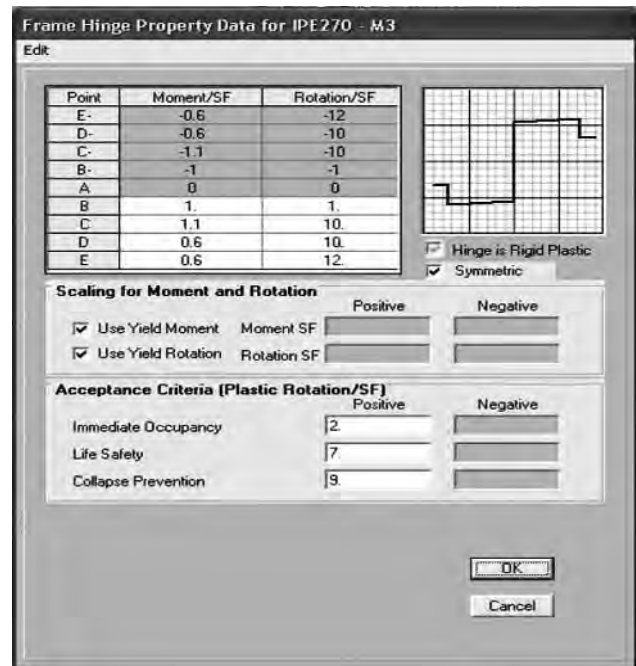


شکل (۵): نمونه‌ای از تعریف مفصل ستونها در نرم‌افزار Sap2000



شکل (۶): نحوه ایجاد اندرکنش P و M مفصل ستونها

بود باید آن را برابر ۱/۱ قرار داد. در شکل (۳) با فرض  $E$  و  $D, C, B, A$  مختصات نقاط  $c=0.6$  و  $b=11$ ،  $a=9$  به دست می‌آید. در شکل (۴) محل واردکردن مختصات نقاط در Sap 2000 نشان داده شده است.



شکل (۴): مفصل تیرها در نرم‌افزار Sap 2000

پ) در قسمت Scaling for Moment and Rotation تیرها باید Use Yield Moment و Use Yield Rotation را فعال کرد تا خود برنامه مقدار  $\theta_y$  را با رابطه  $M_y = ZF_{ye} \frac{L}{6EI_b}$  و مقدار  $\theta_y$  را با رابطه  $\theta_y = \frac{ZF_{ye} L}{6EI_b}$  حساب کند (شکل ۴).

ت) در قسمت Scaling for Moment and Rotation ستونها باید Use Yield Rotation را فعال کرد تا برنامه مقدار  $\theta_y$  را با رابطه  $\theta_y = \frac{ZF_{ye} L_c}{6EI_c} \left[ 1 - \frac{P}{P_{ye}} \right]$  حساب کند (شکل ۵).

ث) در مفصل ستونها در قسمت Define / Show Interaction باید در حالت Steel، Fema 273 Equation 5-4 قرارداد تا نرم‌افزار

## ۶- ارزیابی عملکرد سازه‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای

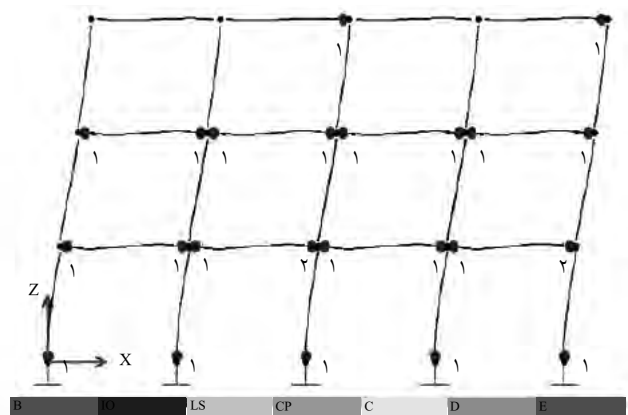
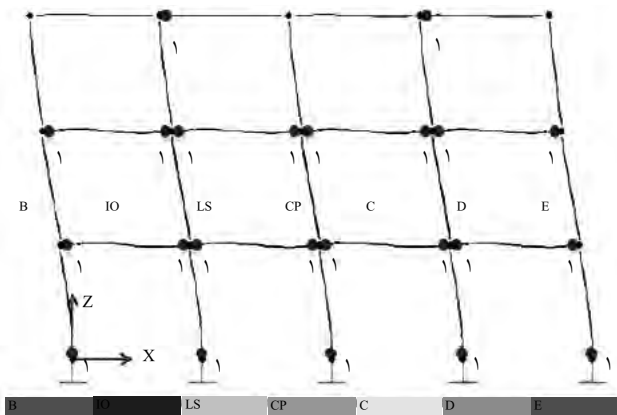
پس از طراحی سازه‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با استاندارد ۲۸۰۰، سازه‌های مذکور با دستورالعمل بهسازی ارزیابی شد. نتایج ارزیابی عملکرد و کنترل معیارهای پذیرش سازه‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه در بخش‌های بعدی آورده شده است.

### ۶-۱- ارزیابی عملکرد سازه سه طبقه با روش استاتیکی غیرخطی با دستورالعمل بهسازی

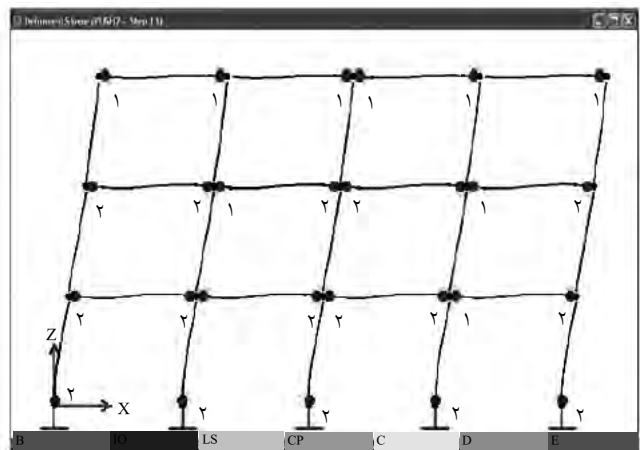
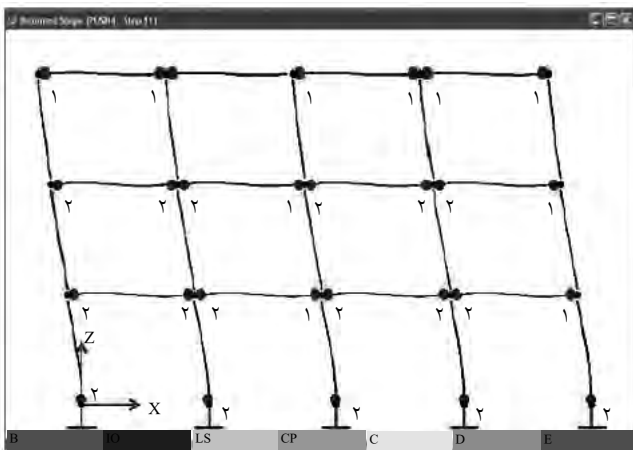
اعضای کنترل شونده توسط تغییر شکل با استفاده از نرم‌افزار Sap 2000 کنترل می‌شوند که تغییر شکل‌های حاصل از تحلیل غیرخطی بیشتر از ظرفیت آنها نباشد و با توجه به معیارهای پذیرش داده شده در نرم‌افزار، محدوده رفتار سازه با

تغییر دادن رنگ مفصل‌های تیر و ستونها، نشان داده می‌شود. در این مقاله رنگها با شماره مشخص شده‌اند؛ بدین گونه که رنگ بنفش بیانگر عبور از نقطه B (شکل ۳) با عدد ۱، رنگ آبی بیانگر عبور از عملکرد IO با عدد ۲، رنگ فیروزه‌ای بیانگر عبور از عملکرد LS با عدد ۳، رنگ سبز بیانگر عبور از عملکرد CP با عدد ۴، رنگ زرد بیانگر عبور از نقطه C با عدد ۵، رنگ نارنجی بیانگر عبور از نقطه D با عدد ۶ و رنگ قرمز بیانگر عبور از نقطه E و نشان دهنده گسیختگی کامل مفصل با عدد ۷ نشان داده شده‌اند.

با توجه به اینکه در کلیه ستونها در تغییر مکان هدف مقدار  $\frac{P}{P_{CL}} < 0.5$  می‌باشد، رفتار خمشی همراه با نیروی محوری ستونها، توسط تغییر شکل کنترل می‌شود (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل (۷): عملکرد تیرها و ستونها در جهت x در سازه سه طبقه در سطح خطر ۱ تحت ترکیب بارگذاری [A] Push (6, 8)



شکل (۸): عملکرد تیرها و ستونها در جهت x در سازه سه طبقه در سطح خطر ۲، تحت ترکیب بارگذاری [A] Push (2,4)



جدول (۷): حالات مختلف بارگذاری جانبی و مقدار تغییر مکان هدف در سطح خطر [۸]

حالات بارگذاری جانبی	نوع توزیع بار جانبی	B جهت تغییر مکان و جهت توزیع بار جانبی	C <sub>o</sub>	T <sub>e</sub>	B	S <sub>a</sub>	δ <sub>t cm</sub>
Push2	aec <sub>x</sub> توزیع یکنواخت	x	۱/۲	۱/۲	۱/۳۹	۰/۸۳۷	۳۶
Push3	aec <sub>y</sub> توزیع یکنواخت	y	۱/۲	۱/۲	۱/۳۹	۰/۸۳۷	۳۶
Push4	اثر acc <sub>x</sub> و k acc <sub>y</sub> همزمان مؤلفه‌های توزیع یکنواخت	x	-	-	-	-	δ <sub>x</sub> =36 δ <sub>y</sub> =10.8
Push5	اثر acc <sub>y</sub> و k acc <sub>x</sub> همزمان مؤلفه‌های توزیع یکنواخت	y	-	-	-	-	δ <sub>y</sub> =36 δ <sub>x</sub> =10.8
Push6	F <sub>x</sub> توزیع نوع اول	x	۱/۳	۱/۲	۱/۳۹	۰/۸۳۷	۳۹
Push7	F <sub>y</sub> توزیع نوع اول	y	۱/۳	۱/۲	۱/۳۹	۰/۸۳۷	۳۹
Push8	اثر F <sub>x</sub> و k F <sub>y</sub> همزمان مؤلفه‌های توزیع نوع اول	x	-	-	-	-	δ <sub>x</sub> =39 δ <sub>y</sub> =11.7
Push9	اثر همزمان F <sub>y</sub> و k F <sub>x</sub> مؤلفه‌های نوع اول	y	-	-	-	-	δ <sub>y</sub> =39 δ <sub>x</sub> =11.79

### ۶-۲-۱- کنترل معیارهای پذیرش در سازه ۶ طبقه

در سطح خطر ۱، رفتار سازه در حالت IO و در سطح خطر ۲، سازه در حالت CP یا LS مورد انتظار است.

با توجه به اینکه در کلیه ستونها، در تغییر مکان هدف مقدار  $P/P_{CL} < 0.5$  است، رفتار ستونها توسط تغییر شکل کنترل می‌شود و نتایج ارزیابی نرم افزار Sap 2000 به تنهایی برای قضاوت رفتار ستونها کافی است (شکلهای ۹ تا ۱۲). دیده می‌شود که در سطح خطر ۲، مفاصل برخی از ستونها در محل اتصال به شالوده به رنگ نارنجی (عدد ۶) رسیده اند که نشان دهنده خرابی کامل این ستونها و ضعف طراحی با استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد.

در کلیه تیرهای ساختمان شش طبقه، نیروهای طراحی از کرانه پایین مقاومت اعضاء کوچکتر می‌باشند و تیرها در برش وضعی ندارند و با توجه به شکلهای (۹) تا (۱۲) عملکرد تیرها از نظر خمشی نسبتاً خوب است.

برش تیرها توسط نیرو کنترل می‌شوند. در کلیه تیرها مقدار برش از کرانه پایین مقاومت برشی تیرها کمتر بود و از نظر برش تیرها، نیز وضعی در سازه وجود ندارد.

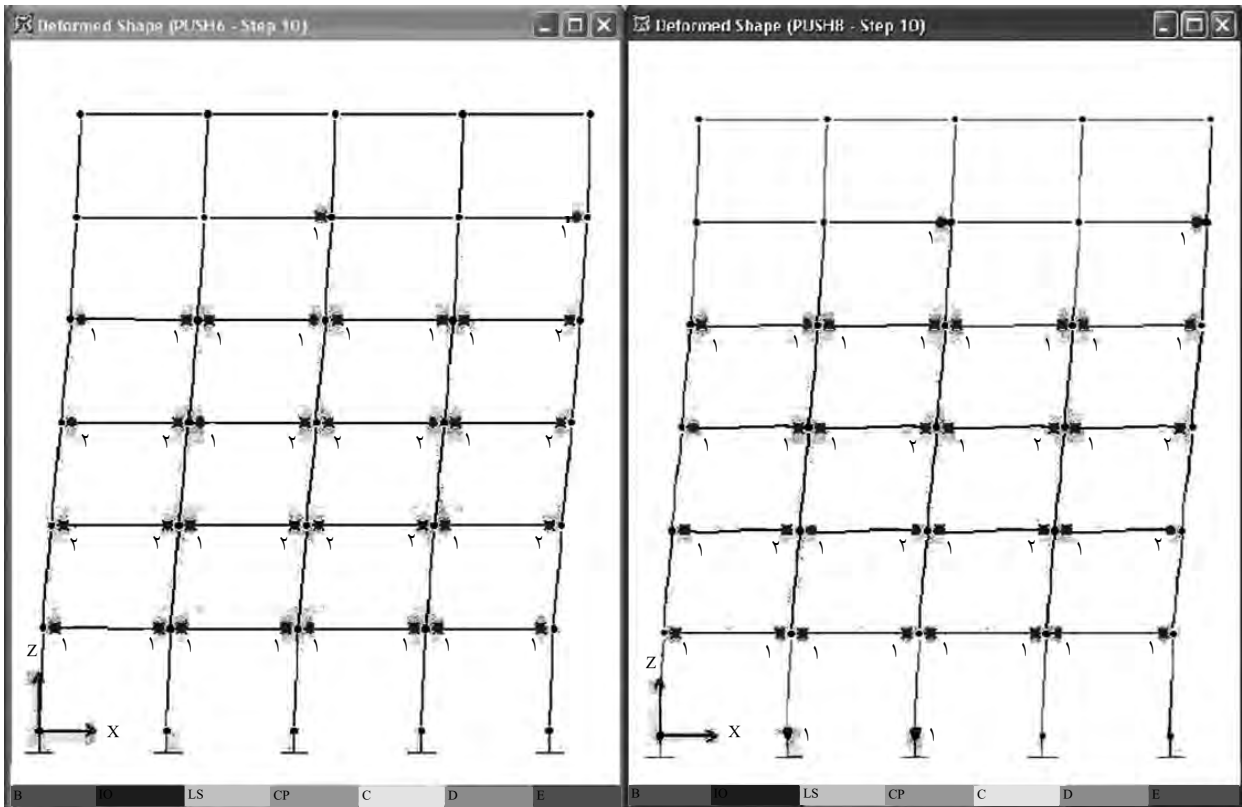
با توجه به اینکه، هم اعضای کنترل شونده توسط نیرو و هم اعضای کنترل شونده توسط تغییر شکل در محدوده رفتاری مطلوب برای سطح خطر ۱ و ۲ قرار دارند، می‌توان نتیجه گرفت که سازه سه طبقه طراحی شده با استاندارد ۲۸۰۰ عملکرد خوبی دارد. لازم به ذکر است که در طراحی سازه‌های قاب خمشی فولادی با استاندارد ۲۸۰۰، جابه‌جایی نسبی بین طبقاتی، کنترل کننده می‌باشد و بدین ترتیب اهمیت کنترل تغییر مکان بین طبقه‌ای (در استاندارد ۲۸۰۰ آمده است)، معلوم می‌شود.

### ۶-۲- ارزیابی عملکرد سازه شش طبقه باروش استاتیکی غیر خطی با دستورالعمل بهسازی

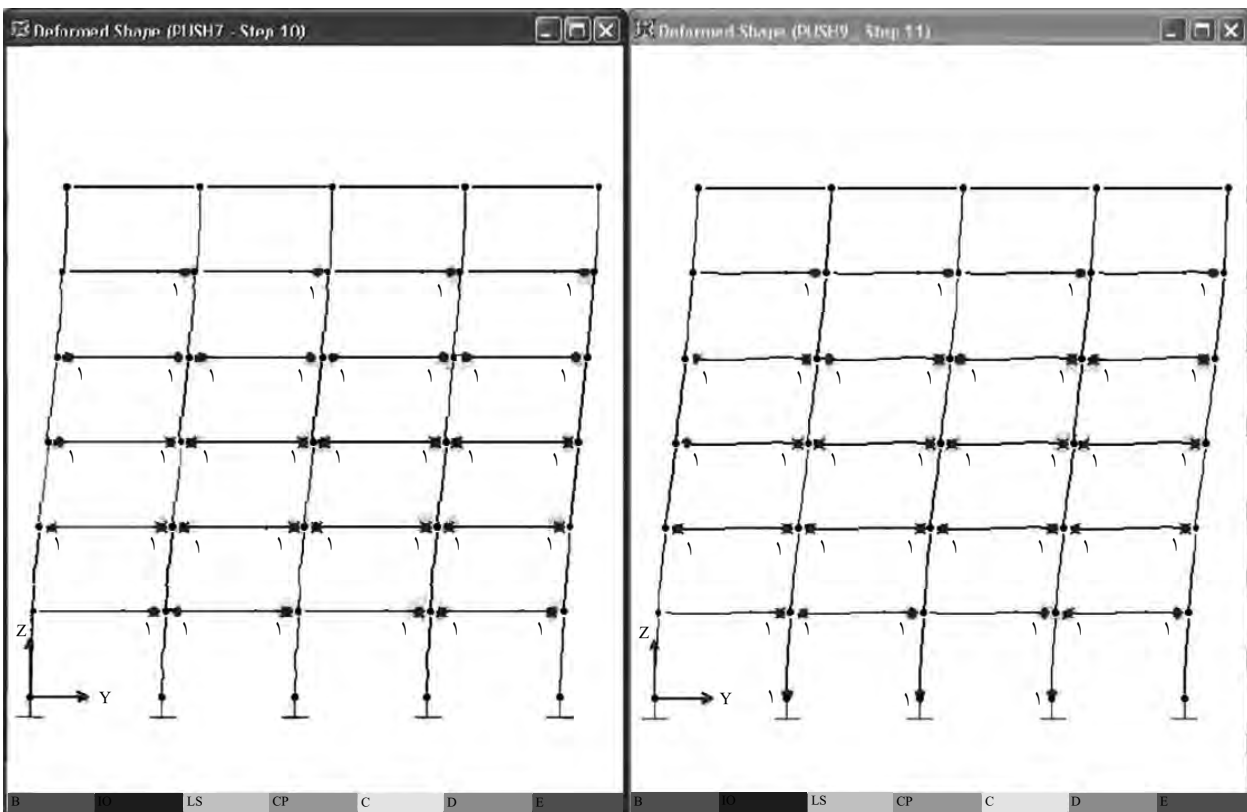
در جدولهای (۶) و (۷) حالات مختلف بارگذاری جانبی و مقدار تغییر مکان هدف در سطح خطر ۱ و ۲ برای سازه ۶ طبقه نشان داده شده است.

جدول (۶): حالات مختلف بارگذاری جانبی و مقدار تغییر مکان هدف در سطح خطر [۸]

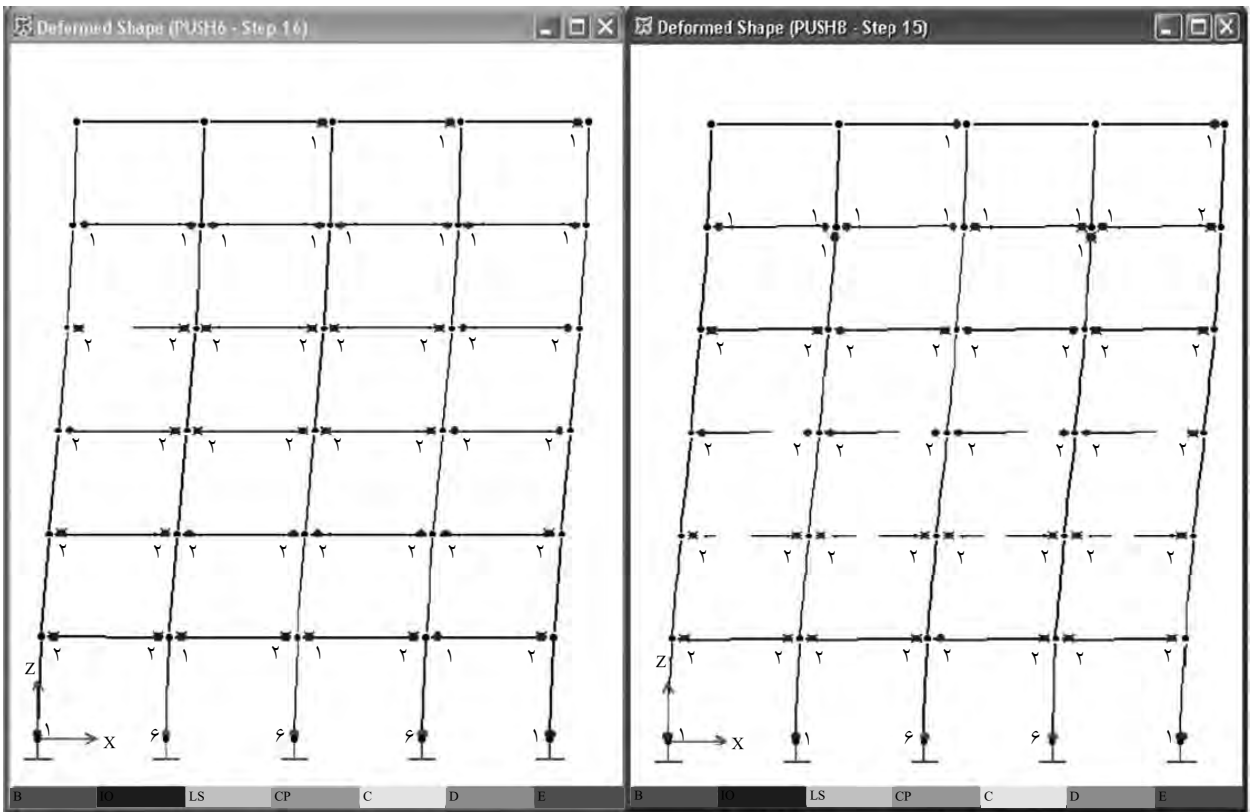
حالات بارگذاری جانبی	نوع توزیع بار جانبی	C <sub>o</sub>	T <sub>e</sub>	B	S <sub>a</sub>	δ <sub>t cm</sub>	جهت تغییر مکان و جهت توزیع بار جانبی
Push2	aec <sub>x</sub> توزیع یکنواخت	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۰/۴۹	۲۱	x
Push3	aec <sub>y</sub> توزیع یکنواخت	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۰/۴۹	۲۱	y
Push4	اثر acc <sub>x</sub> و k acc <sub>x</sub> همزمان مؤلفه‌های توزیع یکنواخت	-	-	-	-	δ <sub>x</sub> =21 δ <sub>y</sub> =6.3	x
Push5	اثر acc <sub>y</sub> و k acc <sub>y</sub> همزمان مؤلفه‌های توزیع یکنواخت	-	-	-	-	δ <sub>y</sub> =21 δ <sub>x</sub> =6.3	Y
Push6	F <sub>x</sub> توزیع نوع اول	۱/۳	۱/۲	۱/۴	۰/۴۹	۲۳	x
Push7	F <sub>y</sub> توزیع نوع اول	۱/۳	۱/۲	۱/۴	۰/۴۹	۲۳	y
Push8	اثر F <sub>x</sub> و k F <sub>y</sub> همزمان مؤلفه‌های توزیع نوع اول	-	-	-	-	δ <sub>x</sub> =23 δ <sub>y</sub> =6.9	X
Push9	اثر همزمان F <sub>y</sub> و k F <sub>x</sub> مؤلفه‌های نوع اول	-	-	-	-	δ <sub>y</sub> =23 δ <sub>x</sub> =6.9	Y



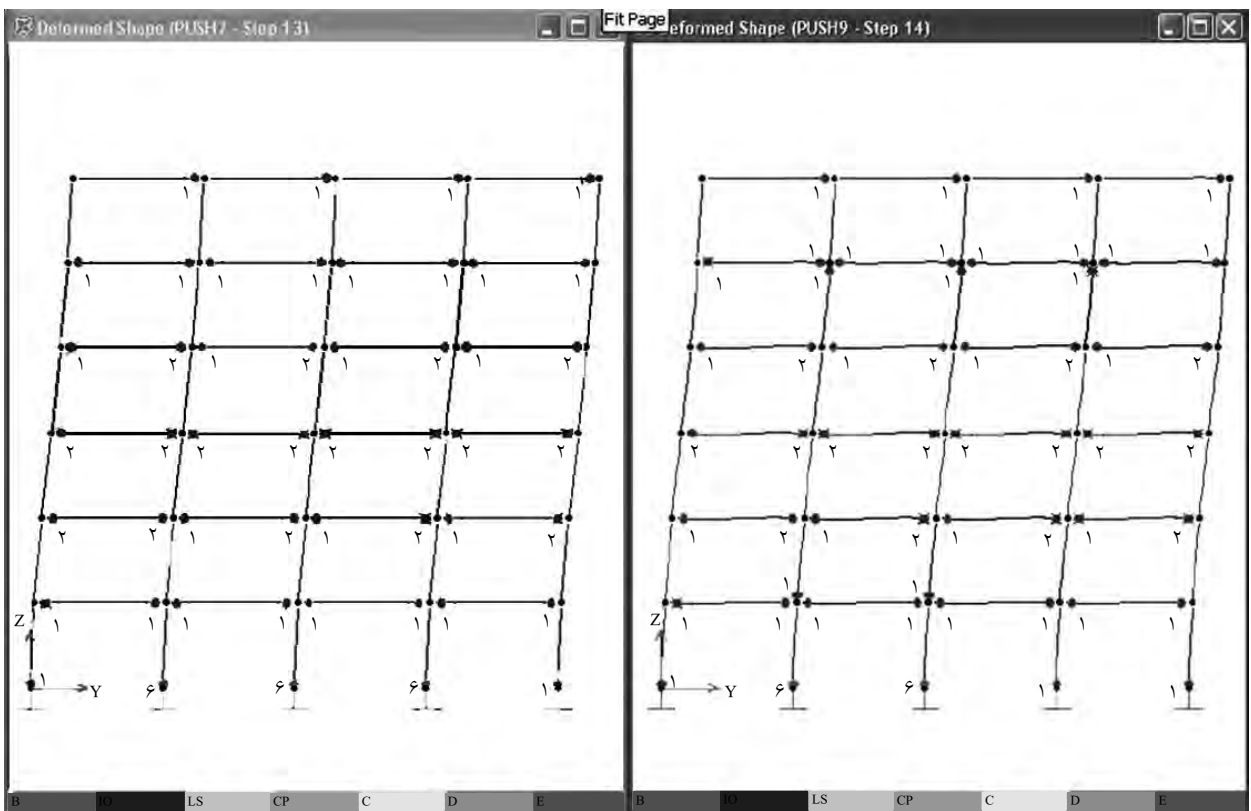
شکل (۹): عملکرد تیرها و ستونها در جهت  $x$  در سازه شش طبقه در سطح خطر ۱ تحت ترکیب بارگذاری 6,8 Push [A]



شکل (۱۰): عملکرد تیرها و ستونها در جهت  $y$  در سازه شش طبقه در سطح خطر ۱ تحت ترکیب بارگذاری 7, 9 Push [A]



شکل (۱۱): عملکرد تیرها و ستونها در جهت  $x$  در سازه شش طبقه در سطح خطر ۲ تحت ترکیب بارگذاری ۶, ۸ [A]



شکل (۱۲): عملکرد تیرها و ستونها در جهت  $y$  در سازه شش طبقه در سطح خطر ۲، تحت ترکیب بارگذاری ۷, ۹ [A]

### ۶-۳- ارزیابی عملکرد سازه ۹ طبقه با روش استاتیکی غیرخطی با دستورالعمل بهسازی

در این بخش عملکرد سازه ۹ طبقه با استفاده از روش استاتیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

#### ۶-۳-۱- عملکرد تیرها در سازه ۹ طبقه

کنترل تیرها از نظر برش در دو سطح خطر ۱ و ۲ انجام شده است. شکل‌های (۱۳)، (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) نشان می‌دهد که تیرهای سازه ۹ طبقه از نظر برش عملکرد خوبی دارد و از نظر خمش با توجه به نتایجی که از شکل‌های Sap 2000 به دست آمده، مشخص می‌باشد (شکل‌های ۱۳ تا ۱۶).

در سطح خطر ۱، مفاصل تیرهای طبقات ۱، ۲ و ۳ به رنگ آبی (عدد ۲) از IO فراتر رفته‌اند و در سطح خطر ۲، مفاصل تیرهای طبقات ۱، ۲ و ۳ به رنگ فیروزه‌ای (عدد ۳) رسیده‌اند (از حالت LS فراتر رفته‌اند)؛ لذا در مجموع رفتار خمشی تیرها برای سطح عملکرد مورد نظر در دو سطح خطر ۱ و ۲ نسبتاً

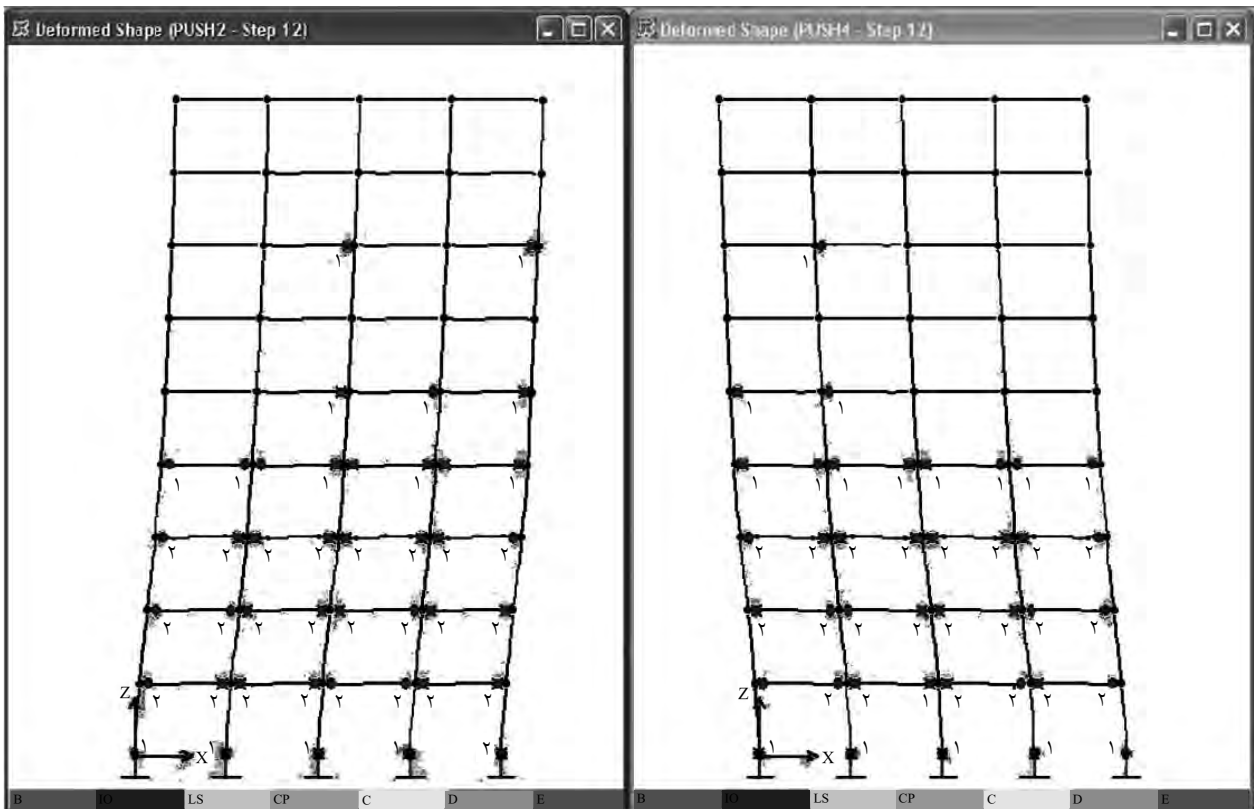
ضعیف است.

#### ۶-۳-۲- عملکرد ستونها در سازه ۹ طبقه

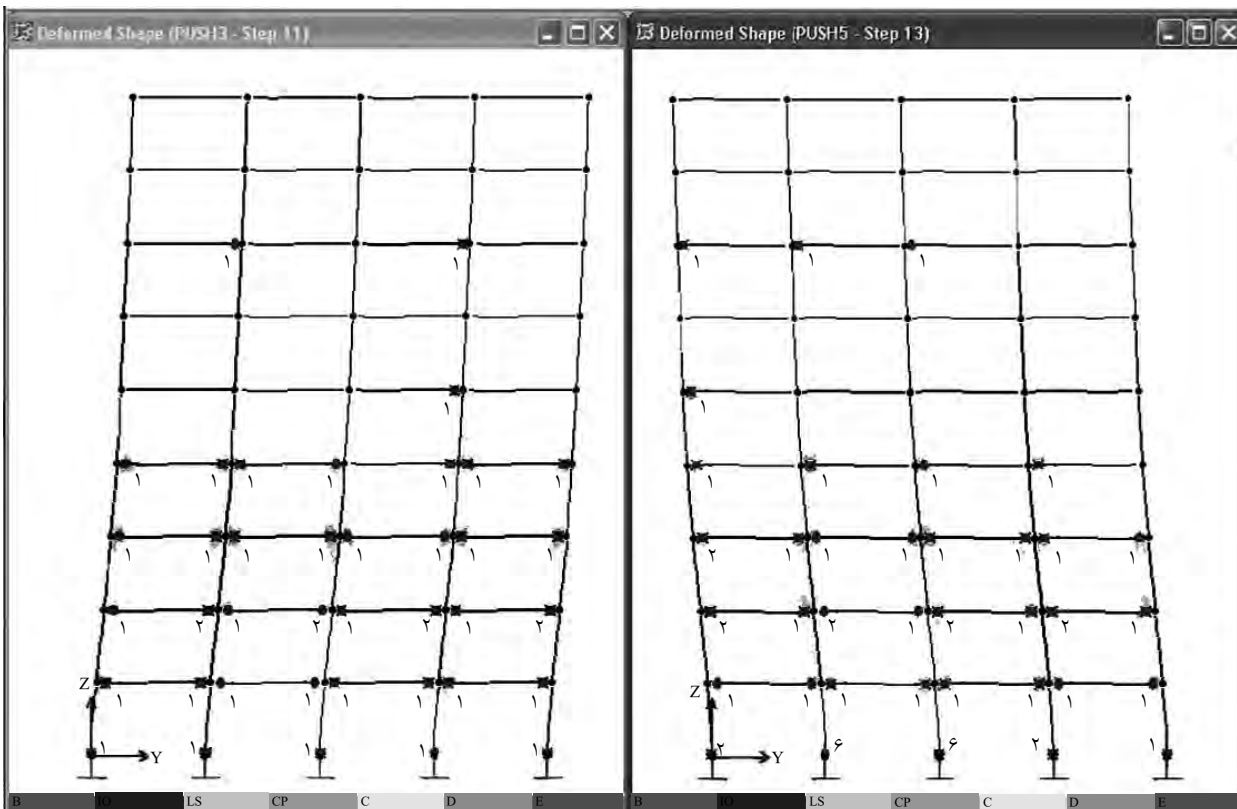
مقدار  $\frac{P}{P_{CL}}$  کلیه ستون‌های سازه ۹ طبقه در سطح خطر ۱ و ۲ از ۰/۵ کمتر می‌باشد و رفتار خمشی همراه با نیروی محوری ستونها، توسط تغییر شکل کنترل می‌شوند و با نتایجی که از شکل‌های (۱۳) تا (۱۶) به دست آمده عملکرد ستونها مشخص می‌باشد. دیده می‌شود که تعداد زیادی از ستون‌های طبقه همکف به رنگ نارنجی (عدد ۶) رسیده‌اند؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت که ستون‌های سازه ۹ طبقه در طبقه همکف ضعیف می‌باشند.

### ۶-۴- ارزیابی عملکرد سازه ۱۲ طبقه با روش استاتیکی غیرخطی با دستورالعمل بهسازی

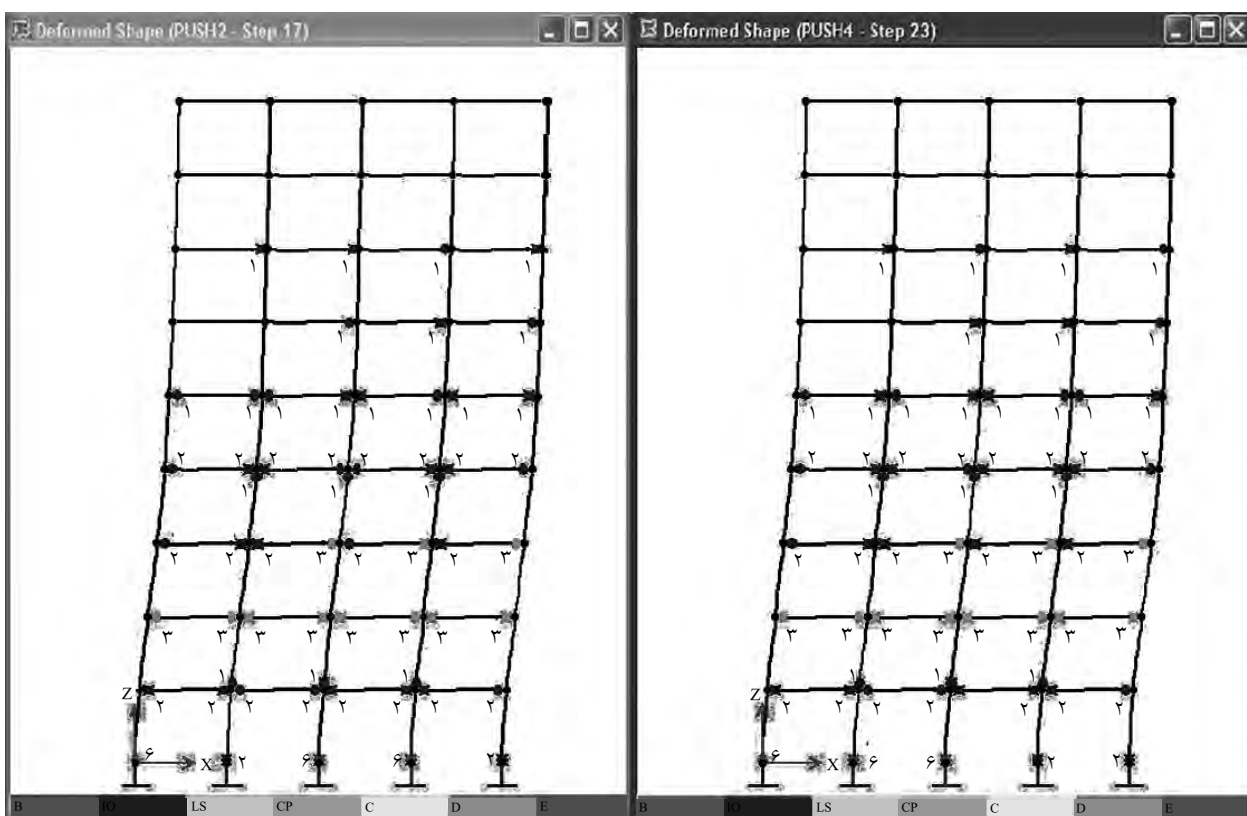
پس از طراحی سازه ۱۲ طبقه با استاندارد ۲۸۰۰، با دستورالعمل بهسازی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی عملکرد و کنترل معیارهای پذیرش سازه ۱۲ طبقه در بخش‌های بعدی آورده شده است.



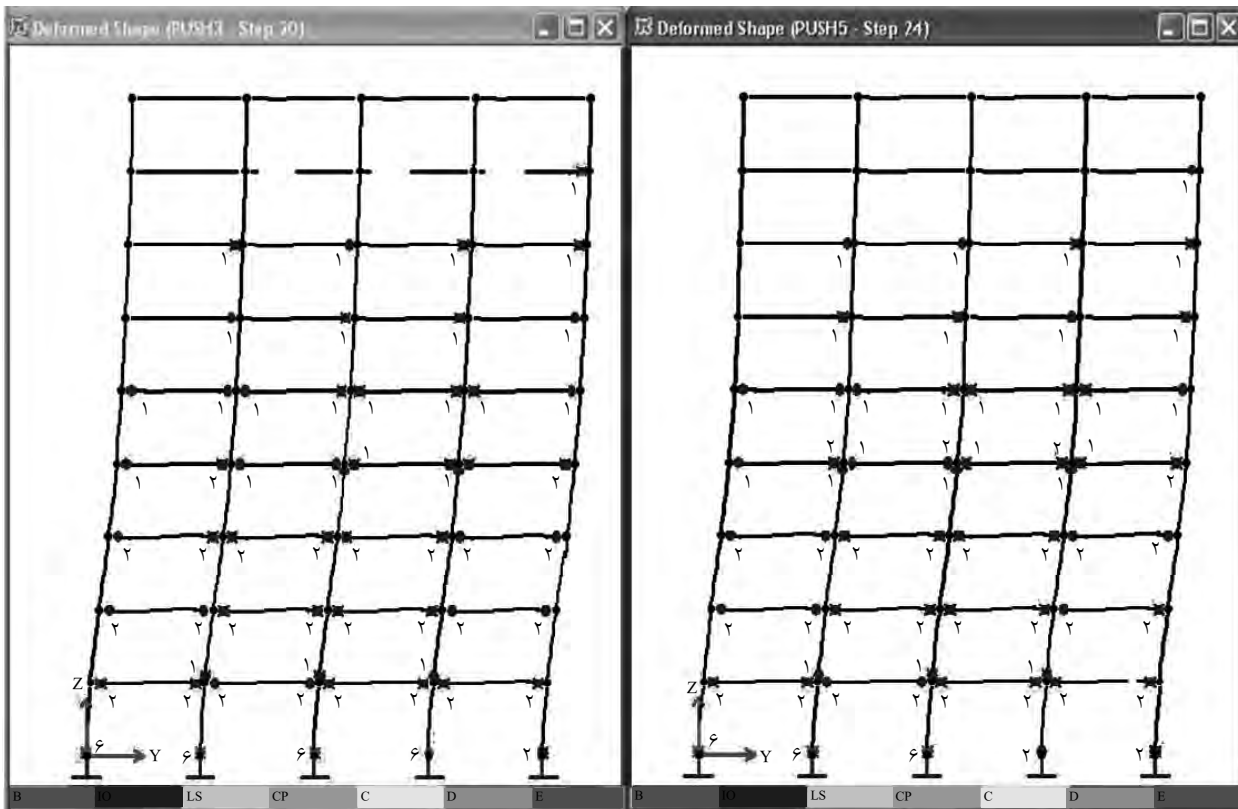
شکل (۱۳): عملکرد تیرها و ستونها در جهت x در سازه ۹ طبقه در سطح خطر ۱ تحت ترکیب بارگذاری 4, 2 Push [۸]



شکل (۱۴): عملکرد تیرها و ستونها در جهت  $y$  در سازه نه طبقه در سطح خطر ۱ تحت ترکیب بارگذاری ۳, ۵ Push [۸]



شکل (۱۵): عملکرد تیرها و ستونها در جهت  $x$  در سازه نه طبقه در سطح خطر ۲ تحت ترکیب بارگذاری ۲, ۴ Push [۸]



شکل (۱۶): عملکرد تیرها و ستونها در جهت y در سازه نه طبقه در سطح خطر ۲ تحت ترکیب بارگذاری ۵, 3 Push [A]

رفتار خمشی همراه با نیروی محوری ستونها، توسط تغییر شکل کنترل می شوند و بارنگ مفاصل که از نرم افزار Sap 2000 به دست آمده است عملکرد این ستونها مشخص است (مطابق شکل‌های ۱۷ تا ۲۰).

برای ستونهایی از سازه ۱۲ طبقه که مقدار  $0.5 < \frac{P}{P_{CL}}$  دارند، رفتار ستون چه از نظر خمشی و چه از نظر نیروی محوری توسط نیرو کنترل می شوند و در ترکیب تنشها، معادله اندرکنش به صورت روابط (۵ و ۶) خواهد شد:

$$U = \frac{P_{UF}}{kP_{CL}} + \frac{C_{Mx} M_{UF}}{k \left[ 1 - \frac{P_{UF}}{kP_{ex}} \right] M_{CLx}} + \frac{C_{My} M_{UFy}}{k \left[ 1 - \frac{P_{UF}}{kP_{ey}} \right] M_{CLy}} \leq 1 \quad (5)$$

$$V = \frac{P_{UF}}{AF_{ye}} + 0.85 \left[ \frac{M_{UFx}}{kM_{PCLx}} + \frac{M_{UFy}}{kM_{PCLy}} \right] \leq 1, M_{UFx} \leq 1, M_{PCLx}, M_{UFy} \leq kM_{PCLy} \quad (6)$$

#### ۶-۴-۱- کنترل معیارهای پذیرش در سازه ۱۲ طبقه باروش استاتیکی غیرخطی

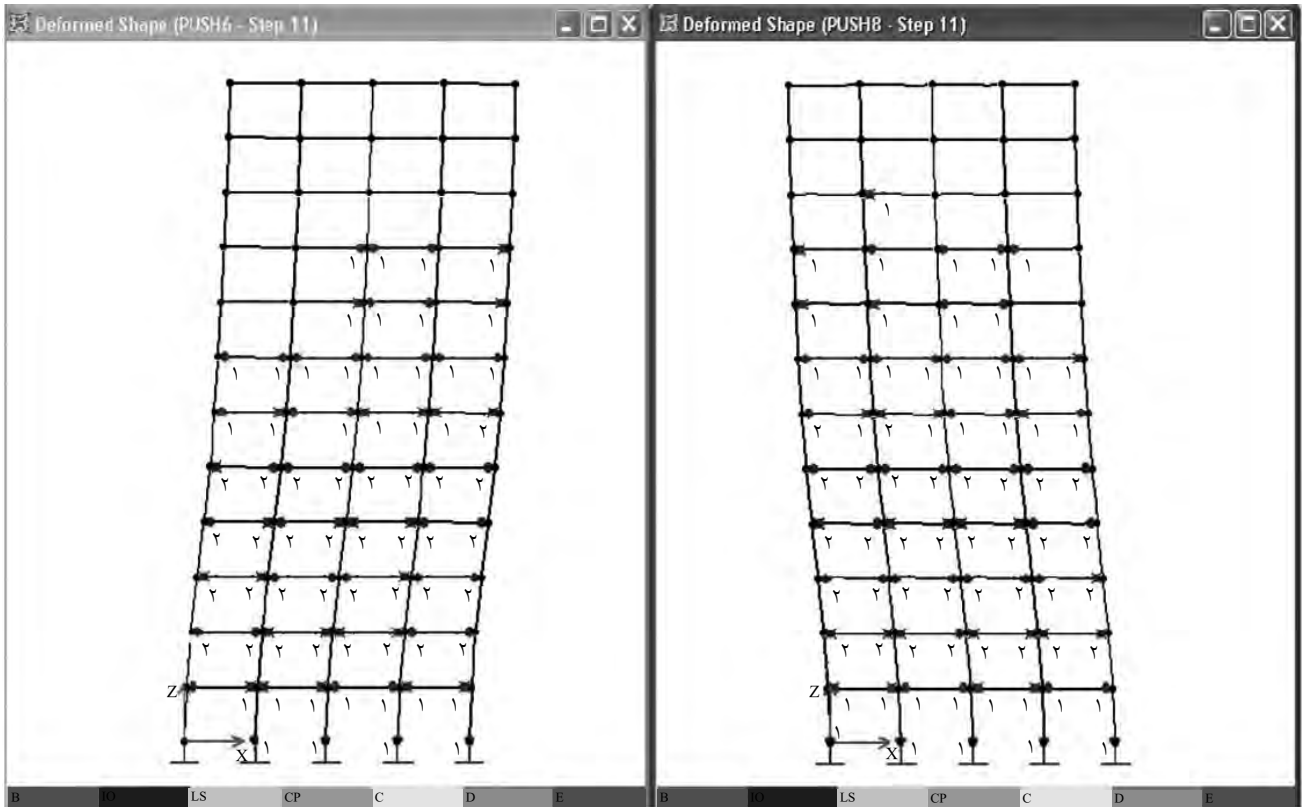
کنترل معیارهای پذیرش در سازه ۱۲ طبقه باروش استاتیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

#### ۶-۴-۱-۱- عملکرد تیرها در سازه ۱۲ طبقه

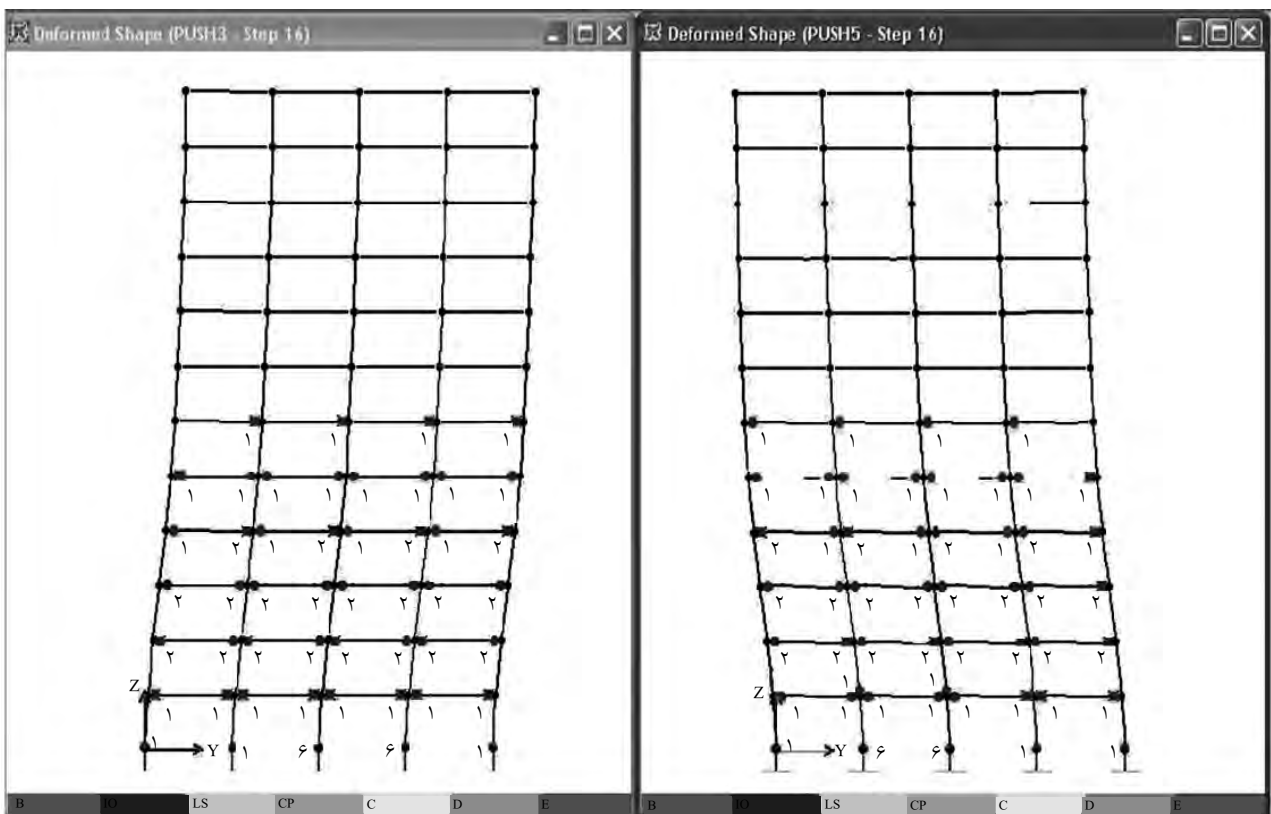
تیرهای سازه ۱۲ طبقه از نظر برش، در سطح خطر ۱ و ۲ وضعی ندارند. با مشاهده رفتار خمشی تیرها از شکل‌های (۱۷) تا (۲۰) دیده می شود که در سطح خطر ۱ رنگ مفاصل برخی از تیرها به رنگ آبی (عدد ۲) درآمده اند (از IO فراتر رفته اند) و در سطح خطر ۲ رنگ مفاصل برخی از تیرها به رنگ فیروزه ای (عدد ۳) رسیده اند (از LS فراتر رفته اند) و در مجموع عملکرد خمشی تیرها نسبتاً ضعیف می باشد.

#### ۶-۴-۱-۲- عملکرد ستونها در سازه ۱۲ طبقه

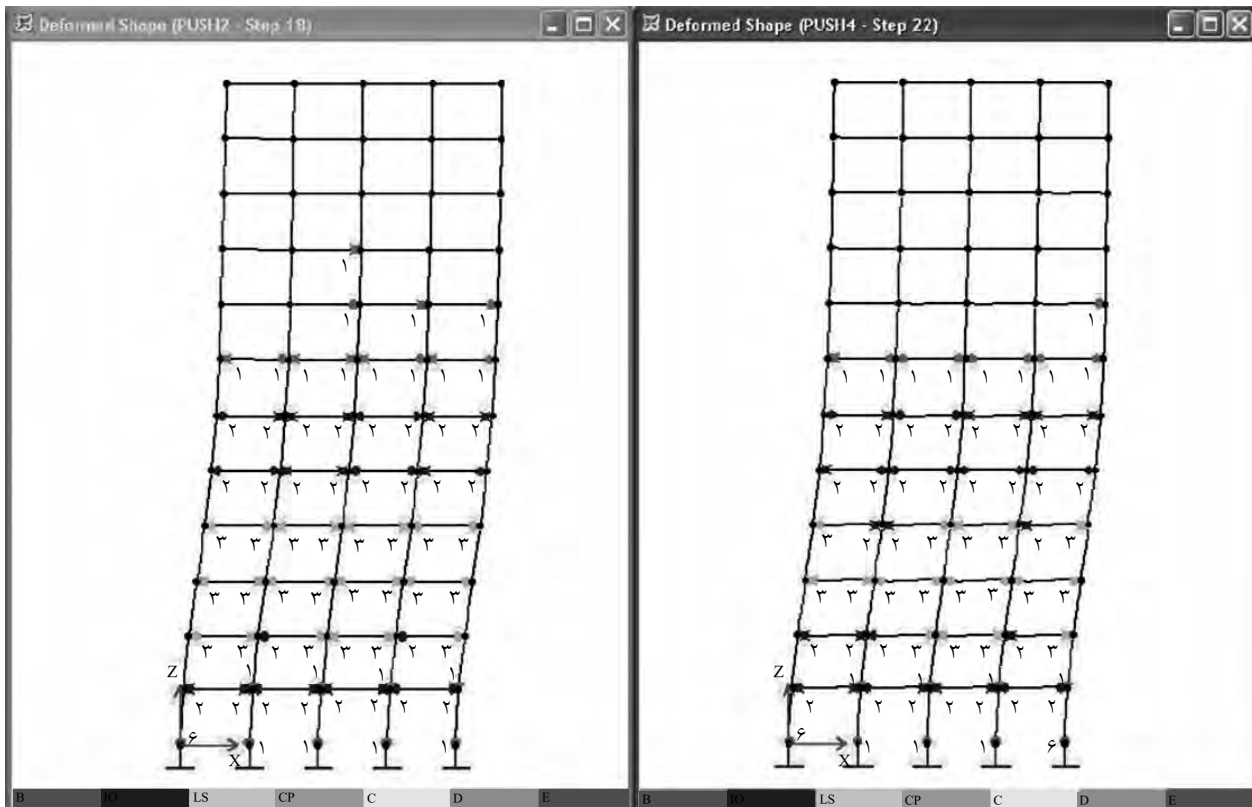
برای ستونهایی از سازه ۱۲ طبقه که مقدار  $0.5 < \frac{P}{P_{CL}}$  دارند،



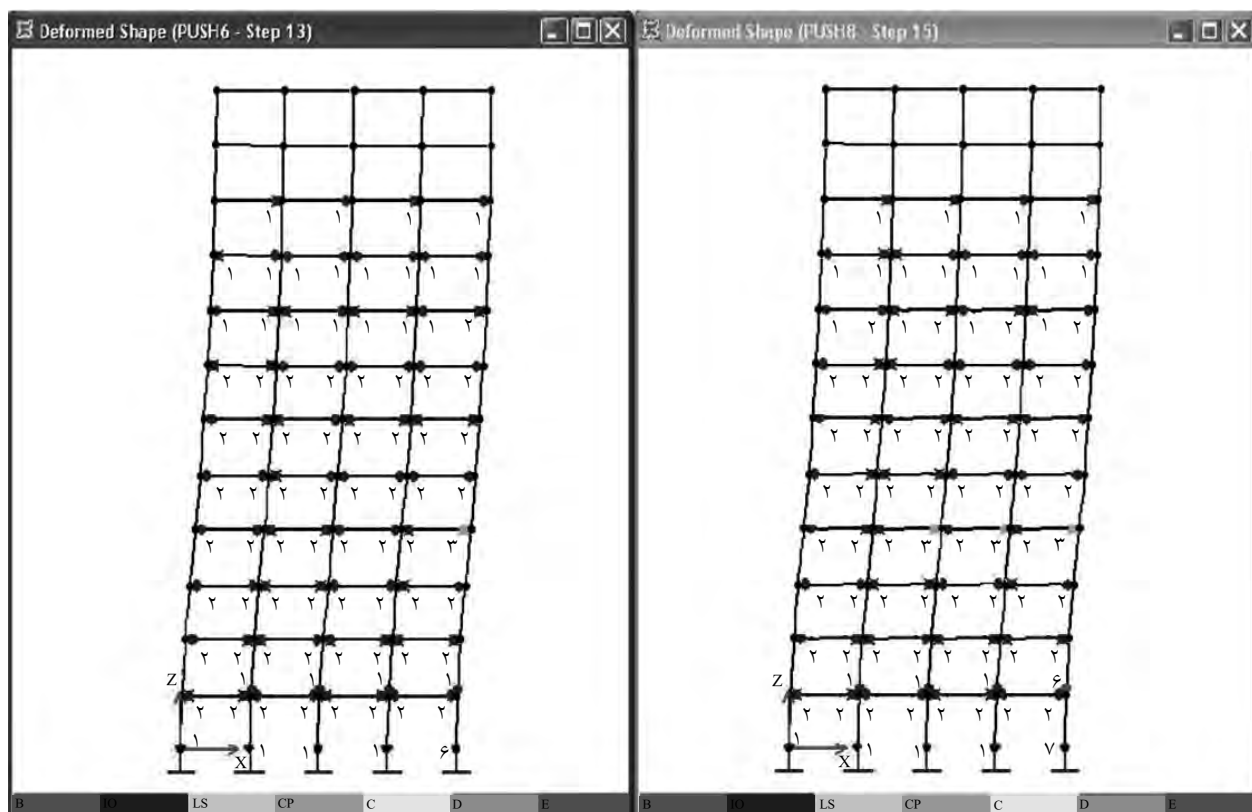
شکل (۱۷): عملکرد تیرها و ستونها در جهت x در سازه دوازده طبقه در سطح خطر ۱ تحت ترکیب بار 8, 6 Push



شکل (۱۸): عملکرد تیرها و ستونها در جهت y در سازه دوازده طبقه در سطح خطر ۱ تحت ترکیب بار 5, 3 Push



شکل (۱۹): عملکرد تیرها و ستونها در جهت x در سازه دوازده طبقه در سطح خطر ۲ تحت ترکیب بار ۲, 4 Push



شکل (۲۰): عملکرد تیرها و ستونها در جهت x در سازه دوازده طبقه در سطح خطر ۲ تحت ترکیب بار ۸, 6 Push

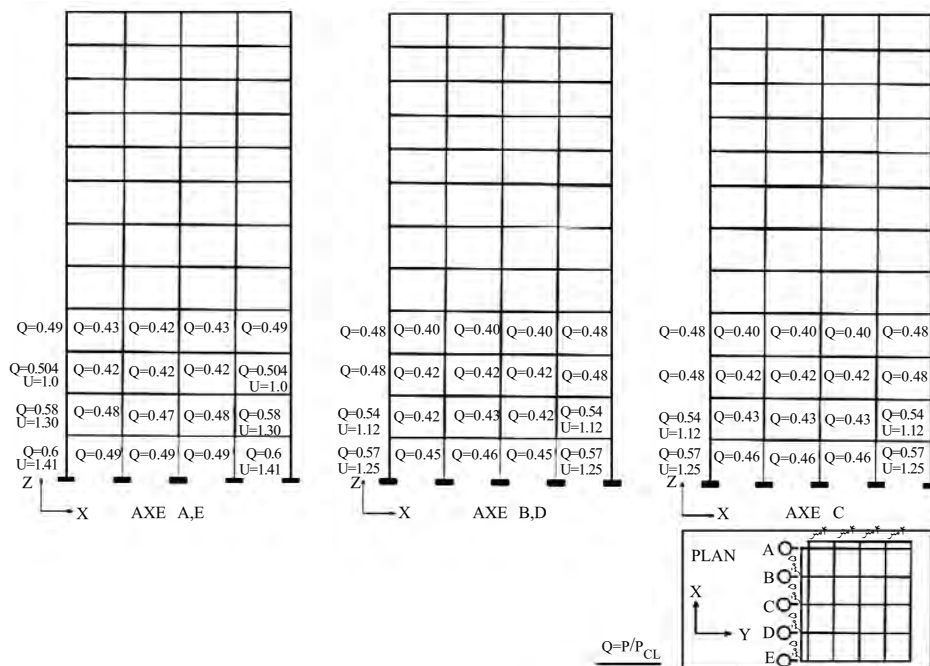


## ۷- ارزیابی لرزه‌ای سازه ۱۲ طبقه با روش دینامیکی خطی با دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای

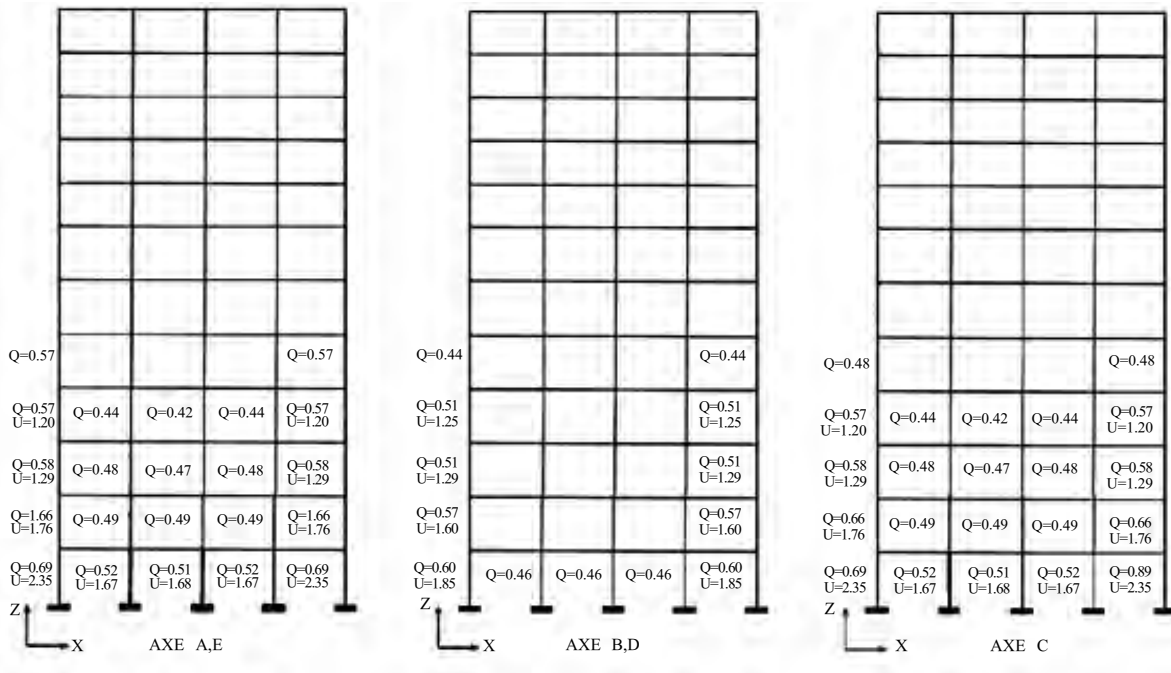
با توجه به اینکه در سازه ۱۲ طبقه، برش حاصل از تحلیل دینامیکی خطی در طبقه آخر با در نظر گرفتن ۹۰ درصد جرم مؤثر، ۳۰ درصد بیشتر از برش حاصل از مد اول است، روش تحلیل استاتیکی غیرخطی همراه با روش تحلیل دینامیکی خطی به کار گرفته می‌شود و برای پذیرش اعضای با رفتار کنترل‌شونده توسط تغییر شکل در روش تحلیل دینامیکی خطی ۳۳ درصد تخفیف داده شد [۸].

برخلاف آیین‌نامه طرح ساختمانهای جدید، در دستورالعمل نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی خطی برای مساوی قراردادن برش پایه با برش پایه روش تحلیل استاتیکی خطی اصلاح نمی‌گردند. به این دلیل معمولاً برش پایه در روش تحلیل دینامیکی خطی به دلیل مشارکت مدهای بالاتر، کوچکتر از روش استاتیکی خطی به دست می‌آید [۱۰].

برای بررسی ستونهایی که مقدار  $\frac{P}{P_{CL}} < 0.5$  دارند، نمی‌توان از نتایج نرم‌افزار Sap 2000 استفاده کرد و باید بیشینه نیروی محوری هر ستون استخراج شود (بین ۹ حالت ترکیب بار) و سپس لنگرهای متناظر این نیروی محوری بیشینه را از حالت بارگذاری مربوطه استخراج کرد و حاصل رابطه (۵) و (۶) را به دست آورد و اگر این مقدار بیشتر از یک باشد آن ستون ضعیف است. در شکلهای (۲۱) و (۲۲) نتایج ارزیابی ستونهایی که مقدار  $\frac{P}{P_{CL}} < 0.5$  دارند در دو سطح خطر ۱ و ۲ نشان داده شده است و مشاهده می‌شود که برخی ستونها و بویژه ستونهای گوشه (به دلیل اثر همزمان مؤلفه‌های زلزله) رفتار نامناسبی دارند و مقدار رابطه (۵) از عدد یک بزرگتر است و نتیجه می‌شود که در سطح خطر ۱ عملکرد IO را ندارد و یا در سطح خطر ۲ عملکرد LS یا CP را ندارد و رفتار ستونها در طبقات پایین مطلوب نیست و ضعف روش استاندارد ۲۸۰۰ در تخمین رفتار سازه در برابر زلزله مشخص است.



شکل (۲۱): عملکرد ستونهای سازه دوازده طبقه در تحلیل استاتیکی غیرخطی در سطح خطر ۱ [۸]



شکل (۲۲): عملکرد ستونهای سازه دوازده طبقه در تحلیل استاتیکی غیرخطی در سطح خطر ۲

خطر ۲ مقدار  $z=2$  می باشد.

برای بررسی عملکرد ستونها باید نسبت  $\frac{P}{P_{CL}}$  هر ستون را پیدا و مقدار  $m$  را برای عملکرد IO یا LS پیدا کرد. برای ارزیابی عملکرد ستونها اگر مقدار  $0.5 < \frac{P}{P_{CL}}$  باشد، رفتار خمشی آن ستون توسط تغییر شکل کنترل می شود و مقدار ترکیب تنش ستون با رابطه (۵-۱۳) با مقدار  $G$  نشان داده شده است و هرگاه مقدار  $G$  بزرگتر از ۱ باشد آن ستون در سطح خطر مورد بررسی عملکرد مطلوب را ندارد.

هرگاه مقدار  $0.5 < \frac{P}{P_{CL}}$  باشد رفتار خمشی ستون توسط نیرو کنترل می شود و مقدار ترکیب تنش ستون با رابطه ۱ و ۲ به دست می آید که حاصل رابطه ۱ با مقدار  $U$  نشان داده شده است و هرگاه مقدار  $U$  بزرگتر از ۱ باشد آن ستون عملکرد مطلوبی ندارد.

در شکل (۲۴) در محور  $C$  مشاهده می شود که مقدار  $G$  در طبقات ۷، ۸ و ۹ بیشتر از ۱ است. علت آن است که مقاطع طراحی در طبقات ۷، ۸ و ۹، قوطی  $12 \times 40$  و  $10 \times 40$  و مقدار  $m$  به دست آمده برای این مقاطع  $1/2$  می باشد. به دلیل اینکه

## ۷-۱- کنترل معیارهای پذیرش سازه ۱۲ طبقه در

### تحلیل دینامیکی خطی دستورالعمل بهسازی

معیارهای پذیرش برای روشهای خطی در اعضای کنترل شونده توسط نیرو و تغییر شکل به صورت (روابط ۷ و ۸) می باشد [۹]:

$$kQ_{CL} > Q_{UF} \quad (7)$$

$$mkQ_{CE} \geq Q_{UD} \quad (8)$$

عملکرد برشی و خمشی کلیه تیرهای ساختمان ۱۲ طبقه در سطح خطر ۱ و ۲ کنترل شد و تیرها عملکرد خوبی نشان دادند.

## ۷-۲- کنترل معیارهای پذیرش ستونها در سازه ۱۲

### طبقه باروش دینامیکی خطی

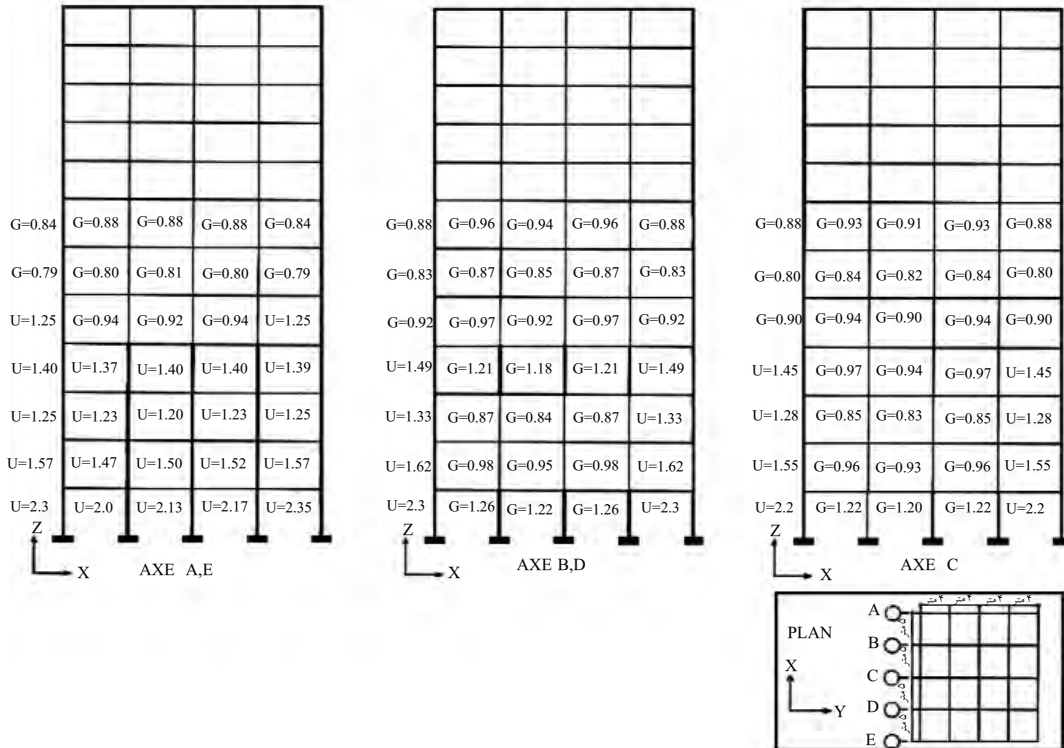
در برآورد نیروهای طراحی در اعضای که توسط نیرو کنترل می شوند  $Q_{UF}$  با رابطه (۹) تعیین می گردد:

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{C_1 C_2 C_3 \times j}, C_1 C_2 C_3 = 1 \Rightarrow Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{j} \quad (9)$$

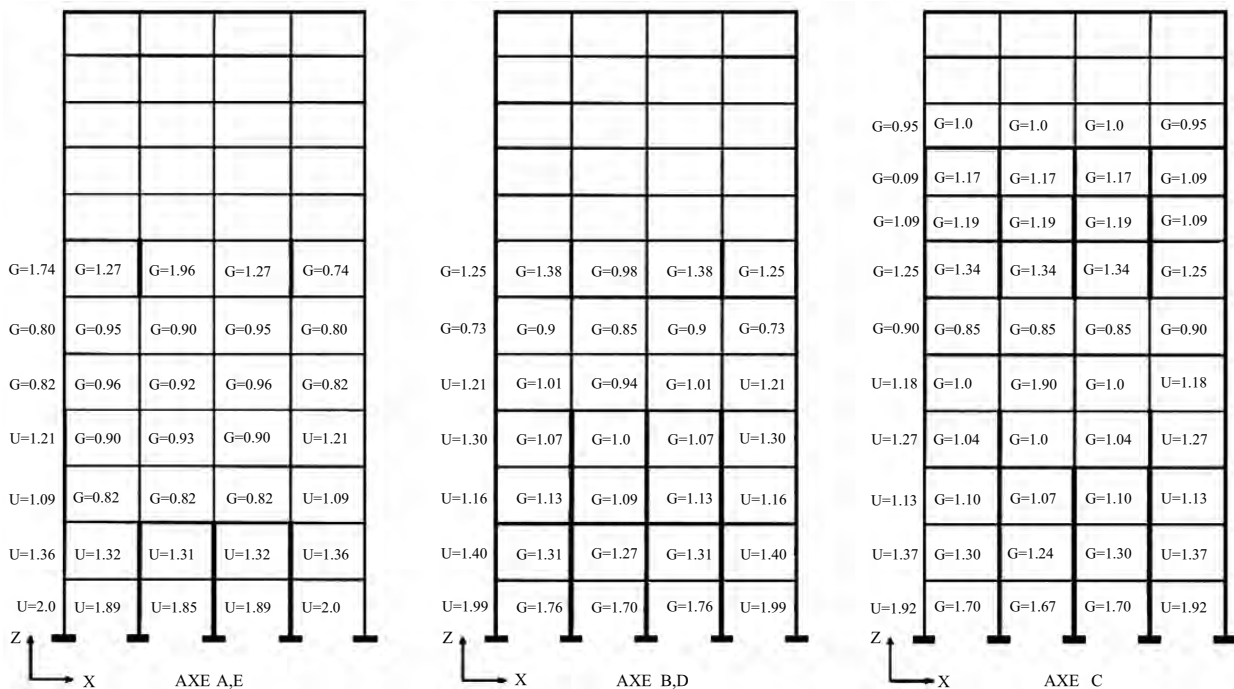
در این رابطه،  $z$  ضریب کاهش بار و در سطح خطر ۱ که رفتار سازه در حالت IO مورد انتظار است، مقدار  $z=1$  و در سطح

بهتر است در طراحی فولادی برای نسبت ستونهای قوطی شکل محدودیت بیشتری لحاظ شود تا طرح به جای استفاده از مقطع  $40 \times 10$  قوطی از قوطی  $35 \times 12$  استفاده کند.

نسبت  $\frac{b}{t}$  زیاد است عدد  $m$  کمی به دست می آید و چون ستونها در طبقات بالا  $0.5 < \frac{P}{P_{CL}}$  دارند، بعضی از ستونها در طبقات بالا هم مشکل دارند و می توان از این موضوع نتیجه گرفت که



شکل (۲۳): عملکرد ستونهای سازه دوازده طبقه در تحلیل دینامیکی خطی در سطح خطر ۱ [۸]



شکل (۲۴): عملکرد ستونهای سازه دوازده طبقه در تحلیل دینامیکی خطی در سطح خطر ۲

اهم نتایج این تحقیق عبارتند از:

- ۱- سازه‌های کوتاه که با استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند، در ارزیابی با دستورالعمل بهسازی، رفتار نسبتاً مناسبی از خود نشان می‌دهند؛ ولی سازه‌های متوسط و بلند، عملکرد نامناسبی در ستونهای طبقات پایین دارند. یکی از علت‌های این مسأله اعمال اثر همزمان مؤلفه‌های زلزله برای سازه‌ها در دستورالعمل بهسازی می‌باشد که این اثر در طراحی با استاندارد ۲۸۰۰ اعمال نشد.
- ۲- با توجه به اینکه در سازه ۳ طبقه نتایج دستورالعمل بهسازی برای عملکرد سازه‌ها نسبتاً مطلوب است و برای سازه‌های ۶، ۹ و ۱۲ طبقه نتایج ضعیفی (مخصوصاً در عملکرد ستونها) دیده می‌شود، بهتر است ضریب اهمیت I برای سازه‌های با اهمیت زیاد مرتفع بیشتر شود. علاوه بر آن، ضابطه کنترل تغییر مکان نسبی در سازه‌های مرتفع از  $\frac{0.03h}{R}$  کمتر و برای تمام سازه‌ها، این ضابطه در طبقه همکف محدودتر از بقیه طبقات شود تا ستونها در طبقه همکف عملکرد مطلوبتری داشته باشند.

۵- با ارزیابی سازه ۱۲ طبقه باروش استاتیکی غیرخطی و دینامیکی خطی، مشاهده می‌شود که روش دینامیکی خطی سخت‌گیرانه‌تر از روش استاتیکی غیر خطی می‌باشد.

۶- با توجه به نتایجی که از تیرهای سازه ۱۲ طبقه در تحلیل استاتیکی غیرخطی حاصل شده به نظر می‌رسد بهتر است در طراحی فولادی به جای مقاطع فشرده، از مقاطع خمیری استفاده شود و ضابطه  $\frac{b_t}{2t_f} < \frac{545}{\sqrt{F_y}}$  به  $\frac{b_t}{2t_f} < \frac{420}{\sqrt{F_y}}$  و  $\frac{h}{t_w} < \frac{1590}{\sqrt{F_y}}$  به  $\frac{h}{t_w} < \frac{920}{\sqrt{F_y}}$  تبدیل شود؛ زیرا هنگامی که از مقاطع فشرده استفاده شود، در هنگام تشکیل مفصل، قبل از اینکه چرخش خمیری کامل شود، کمانش موضعی اتفاق می‌افتد.

۷- در ارزیابی لرزه‌ای سازه‌های این مقاله، اثر دیوارها و تیغه‌ها دیده نشده است و در صورتی که اثر دیوارهای پیرامونی در نظر گرفته شود (بویژه هنگامی که طبقه همکف باشد) وضعیت ستونهای طبقه همکف و رفتار سازه متفاوت خواهد بود که باید به آن توجه شود.

## ۹- مراجع

1. Bertero, V.V. Performance-based seismic engineering: conventional VS. Innovative approaches. *Proc. 12th WCEE Newzealand*.
2. Bertero, V.V. (1997). Performance-based seismic engineering: A critical review of proposed guidelines. In seismic Design methodologies for the next generation of. codes, 1-31
3. ATC. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol. 1*, ATC 40.
4. Krawinkler, H. (1997). Advancing performance-based earthquake engineering. National Information

- ۳- اثر همزمان مؤلفه‌های زلزله در استاندارد ۲۸۰۰ برای سازه‌های منظم لازم نیست لحاظ شود؛ ولی در دستورالعمل بهسازی این اثر باید اعمال شود و به عنوان یک کاستی در استاندارد ۲۸۰۰ می‌توان به آن اشاره کرد.
- ۴- برای به دست آوردن تغییر مکان هدف نمی‌توان از روش طیف ظرفیت که در نرم افزار Sap2000 وجود دارد استفاده کرد.

Service for Earthquake Engineering.

۵- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۷۸). آیین نامه

طراحی ساختمانها در برابر زلزله. تهران: مؤلف.

6. Krawinkler, H. (1995). New trends in seismic design methodology. *Proceedings of 10<sup>th</sup> European conference on earthquake engineering*, 2. 821-830. A. A. Balkema: Rotterdam.

7. Yu-Yuan lin, Kuo-chun chang and Yuan-Li wang. (2004). Comparison of displacement coefficient method and capacity spectrum method with experimental results of RC columns. *Earthquake Engineering and structural dynamics*, 33-48.

۸- غریب زاده، سیدامیر. (۱۳۸۳). بررسی عملکرد سازه‌های

فولادی قاب خمشی با دستورالعملهای FEMA 356 و

FEMA 351. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی

زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

۹- پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

(۱۳۸۱). دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای

موجود. تهران: مؤلف.

۱۰- غریب زاده، سیدامیر. (۱۳۸۳). بررسی ضوابط طراحی بر

اساس عملکرد در دستورالعملهای بهسازی. سمینار

کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین المللی

زلزله شناسی و مهندسی زلزله. ►