

# ارزیابی لرزه‌ای سیستم قاب خمشی بتنی با تیرهای کم ارتفاع

علی خیرالدین<sup>۱\*</sup>، سعید فامیلی<sup>۲</sup>

۱. دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سمنان

\*سمنان، صندوق پستی ۳۵۱۹۶-۴۵۳۹۹

akheyroddin@semnan.ac.ir

(دریافت مقاله: اردیبهشت ۱۳۸۶، پذیرش مقاله: مرداد ۱۳۸۸)

**چکیده** - ارتفاع کوتاه تیرها در سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی بتن آرمه، می‌تواند موجب ناکارآمدی تیرها در کنترل تغییر مکان‌های جانبی سازه شود. از این رو در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و به تبع آن در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، ضابطه‌ای به منظور محدود ساختن ارتفاع ساختمان‌های با سقف تیرچه بلوک و سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی و تیرهای با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده تا ارتفاع این‌گونه سازه‌ها به سه طبقه یا ۱۰ متر محدود شود.

بر همین اساس در این مطالعه ساختمان‌های بتنی با ضخامت سقف و ارتفاع تیر ۳۰ سانتی‌متر و سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط، بادر نظر گرفتن تعداد مختلف طبقات بر اساس ویرایش‌های دوم و سوم استاندارد ۲۸۰۰ مورد تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی خطی و سپس طراحی قرار گرفته و سرانجام با تحلیل استاتیکی غیرخطی و با استفاده از هر دو روش محاسبه نقطه عملکرد (روش ضرایب تغییر مکان و روش طیف ظرفیت) - در دستورالعمل بهسازی و تفسیر آن تشریح شده - برای چند سطح خطر لرزه‌ای مختلف، مورد ارزیابی و آسیب‌پذیری لرزه‌ای قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که فقط ساختمان‌های یک و دو طبقه طراحی شده بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰، ایمنی لازم را در برابر زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ داشته و برای ساختمان‌های بلندتر، عملیات مقاوم‌سازی باید انجام شود.

**کلیدواژه‌گان:** ساختمان‌های بتن آرمه، تحلیل غیرخطی استاتیکی، سطح عملکرد، قاب خمشی، تغییر مکان‌های جانبی.

## ۱- مقدمه

سرانجام در سال ۱۳۸۴ ویرایش سوم [۳] این آیین‌نامه منتشر شد. در مهندسی زلزله با ورود و جایگزینی شیوه‌های طراحی بر اساس عملکرد به جای روش معمول طراحی بر اساس نیرو، بسیاری از آیین‌نامه‌های جهان دستخوش تغییرات بنیادی شده و تغییر تمرکز آنها از موضوع مقاومت به عملکرد را در پی داشته است. در ۷۰ سال گذشته که روش‌های طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله توسط آیین‌نامه‌هاییان شده، مفاهیم

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران) برای اولین بار در سال ۱۳۶۶ [۱] برای اجرا به جامعه مهندسی عمران ایران معرفی شد. این آیین‌نامه مورد استقبال مهندسان قرار گرفت؛ با توجه به ضعف‌های موجود، در سال ۱۳۷۸ ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ [۲] به چاپ رسید. سپس تحقیقات و مطالعات بسیاری، به منظور بررسی و اصلاح ضعف و ابهام‌های آن صورت گرفت و

سختی تیرها و در نتیجه افزایش چشمگیر تغییر مکان‌های جانبی سازه به‌ویژه با توجه به ضوابط لرزه‌ای به‌مراتب سخت‌گیرانه‌تر ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۳] است. مشکلات فوق موجب شد که با انتشار مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۸] در سال ۱۳۸۰ (یعنی دو سال پس از انتشار ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ [۲]) ضابطه مربوط به محدودیت ارتفاع سازه‌های با سیستم دال‌های تخت، برای سقف تیرچه بلوک نیز تکرار شود. این ضابطه که به تبع مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۳] نیز تکرار شد به شرح ذیل است: در ساختمان‌های بتن آرمه که در آنها از سیستم تیرچه و بلوک برای پوشش سقف‌ها استفاده می‌گردد و ارتفاع تیرها برابر ضخامت سقف در نظر گرفته می‌شود، در صورتی که ارتفاع تیرها کمتر از ۳۰ سانتی‌متر باشد، سیستم سقف به منزله دال تخت محسوب شده و برای سازه‌های با ارتفاع بلندتر از سه طبقه و یا ده متر، برای مقابله با نیروی جانبی زلزله، باید از دیوار برشی یا قابهای مهاربندی شده استفاده شود.

### ۳- معرفی ساختمان‌های مورد مطالعه

مدل‌های مورد مطالعه بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ [۲] و ضوابط آیین‌نامه بتن ایران (آبا) [۹] تحلیل و طراحی شده و سپس یک‌بار براساس روش‌های قدیم مقاوم‌سازی (آخرین ویرایش استاندارد ۲۸۰۰ [۳]) و یک‌بار بر اساس آیین‌نامه‌های جدید (دستورالعمل بهسازی [۷] و تفسیر آن [۱۰]) مورد ارزیابی لرزه‌ای قرار گرفته‌اند. محل ساختمانها در شهر تهران، با خطر نسبی زلزله بسیار زیاد بوده و زمین منطقه بر طبق گروه‌بندی استاندارد ۲۸۰۰، نوع III در نظر گرفته شده است. همچنین ساختمان‌ها مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران جز ساختمان‌های با اهمیت متوسط بوده و سیستم باربر جانبی آنها نیز قاب خمشی بتنی با شکل‌پذیری متوسط است. سیستم سقف مدل‌ها تیرچه بلوک با ضخامت ۳۰ سانتی‌متر بوده و ارتفاع تیرها نیز به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر (وضعیت بدون آویز) محدود شده‌اند. در تحلیل استاتیکی غیرخطی،

مقاومت و عملکرد معمولاً به یک معنا به کار برده شده اما در ۲۵ سال اخیر با شناخت این موضوع که افزایش مقاومت لزوماً نمی‌تواند به افزایش ایمنی سازه‌ها و یا کاهش خسارت منجر گردد، این دیدگاه تغییر کرده است. امروزه برای مقاوم‌سازی ساختمان‌ها مراجع متعددی مانند: FEMA440 [6] و FEMA356 [5]، ATC40 [4]، و... ارائه شده است، اما دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها [۷] تنها مرجع موجود برای مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در ایران بوده است، ارزیابی لرزه‌ای مدل‌های ارائه شده در این مطالعه بر اساس این مرجع صورت گرفته و نتایج آن تشریح شده است.

### ۲- معرفی موضوع تحقیق و اهمیت آن

یکی از محدودیت‌های سیستم دال تخت، محدودیت ارتفاع سازه‌هایی است که از این سیستم سقف استفاده می‌کنند، به‌گونه‌ای که بر اساس ضوابط لرزه‌ای استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۲] و [۳]، برای سازه‌هایی که از سیستم دال تخت استفاده می‌کنند و هیچ سیستم مقاوم جانبی دیگری مانند انواع مهاربندی یا دیوار برشی در آنها وجود ندارد، حداکثر تا ارتفاع سه طبقه و یا ۱۰ متر می‌تواند طراحی و اجرا شوند، زیرا نوار نازکی از دال که بین ستون‌های سازه قرار می‌گیرد، نمی‌تواند کارایی لازم را مانند تیرهای سیستم قاب خمشی در کنترل تغییر مکان‌های جانبی سازه داشته باشد. اما با صرف‌نظر از این محدودیت، استفاده از سیستم دال تخت، مزایای قابل توجهی نظیر افزایش ارتفاع مفید طبقات، امکان حذف سقف کاذب و زیباتر شدن نمای زیرین سقف‌ها و... را نیز برای سازه فراهم می‌کند. همین مسأله در گذشته موجب شده که بسیاری از معماران و کارفرمایان به سمت طراحی و اجرای ساختمان‌های با سقف تیرچه بلوک با تیرهای محدود شده به ضخامت سقف (۳۰ سانتی‌متر یعنی بدون آویز) روی آورند. اما اجرای تیرهای ضعیف مشکلاتی را نیز برای ساختمان‌ها ایجاد می‌کند. برخی از این مشکلات افزایش حجم فولاد مصرفی و عدم تأمین طول مهاری لازم برای آرماتور تیرها به‌ویژه در ساختمان‌های بلندتر بوده و مهمتر از آن، کاهش

#### ۴- ارزیابی سازه‌ها بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰

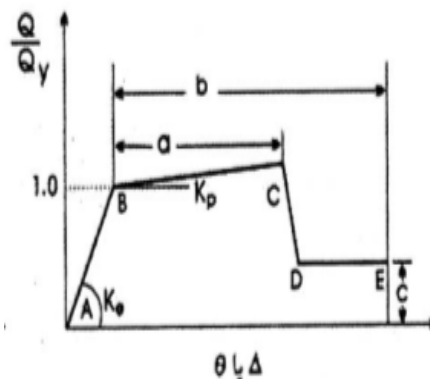
از آنجا که ضابطه محدودیت ارتفاع ساختمان‌های بتن آرمه با سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی و سقف تیرچه بلوک با تیرهای بدون آویز در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۳] اضافه شده است، بسیاری از سازه‌ها بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ [۲] بدون رعایت این محدودیت ارتفاع، در تعداد طبقات مختلف ساخته شده‌اند. اما قابل توجه است که علاوه بر این ضابطه، رعایت ضوابط محدودکننده دیگری نیز در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ الزامی شده [۱۲] که وضعیت این سازه‌ها را به مراتب بحرانی‌تر می‌کند. این ضوابط به شرح ذیل (بند ۴-۱) است.

#### ۴-۱- تغییر مکان جانبی نسبی طبقات و اثر ترک خوردگی در ساختمان‌های بتن آرمه

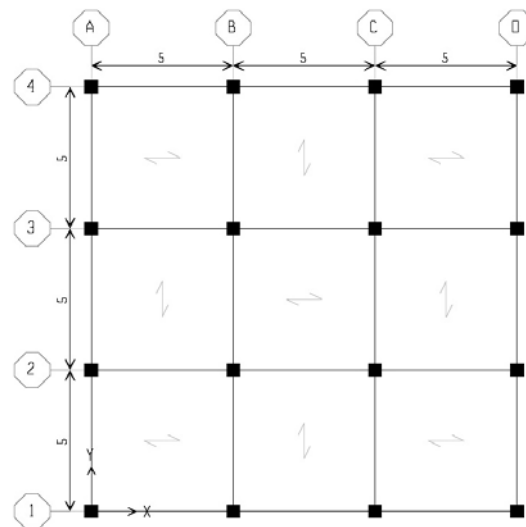
در ویرایش دوم [۲]، برای تعیین تغییر مکان‌های جانبی غیرخطی، تغییر مکان‌های حاصل از تحلیل خطی را با ضریب  $0.4R$  افزایش می‌داد، اما این ضریب در ویرایش سوم [۳] به  $0.7R$  تغییر یافته است. به بیان دیگر، از آنجا که در هنگام زلزله شدید، تغییر شکل‌های غیرالاستیکی به وجود می‌آید، که به مراتب بزرگتر از مقادیری است که توسط تحلیل الاستیک محاسبه می‌شود، بدین منظور آیین‌نامه ضرایب بزرگنمایی  $0.4R$  یا  $0.7R$  را برای به دست آوردن تغییر مکان‌های واقعی سازه‌ها معرفی می‌کند. جدول (۱) ضوابط تغییر مکان‌های جانبی نسبی طبقات را ارائه می‌دهد که در آن ارتفاع طبقه مورد نظر و  $R$  ضریب رفتار و  $T$  زمان تناوب اصلی ساختمان است. در ضمن بر طبق ویرایش سوم آیین‌نامه، ملحوظ کردن اثر  $P-\Delta$  و مقاطع ترک خورده در محاسبه تغییر مکان جانبی سازه الزامی است.

ضمناً در صورتی که نسبت تغییر مکان نسبی طبقه به ارتفاع آن از  $(0.02/R)$  کمتر شود، ویرایش دوم [۲] اجازه می‌داد تا از اثر  $P-\Delta$  صرف‌نظر شود، اما این بند در ویرایش سوم [۳]

مفاصل تیرها و ستونها بر اساس رابطه بار-تغییر شکل (شکل ۱) و مشخصات ارائه شده جدول‌های ۶-۷ و ۶-۸ دستورالعمل بهسازی [۷] مدل‌سازی شده‌اند و همچنین برای یافتن نقطه عملکرد سازه‌ها از طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۳] استفاده شده است. ساختمان‌ها با تعداد طبقات ۲ تا ۱۰ در نرم‌افزار SAP2000ver10.10 [11] بر اساس پلان شکل (۲) بصورت سه‌بعدی مدل‌سازی شده‌اند.



شکل ۱ رابطه بار تغییر شکل کلی برای اعضای بتنی [۷]



شکل ۲ پلان طبقات در ساختمان‌های بتن آرمه

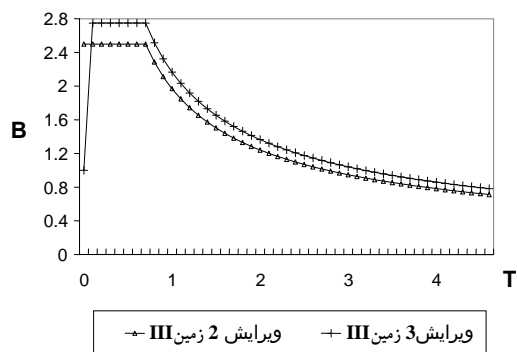
مقاومت فشاری استوانه‌ای بتن برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقاومت تسلیم فولاد برابر ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر گرفته شده است.

الف) کاهش ضریب رفتار سیستم قاب خمشی بتنی با شکل پذیری متوسط از  $R=8$  به  $R=7$  در ویرایش سوم [۳].

ب) تغییرات ضریب طیف بازتاب زمین نوع III در دو ویرایش: ویرایش دوم ( $T_0=0.7$ )

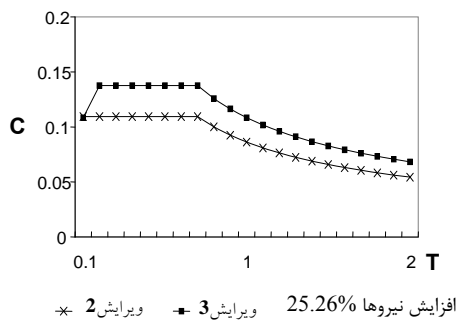
$$\text{ویرایش سوم } (T_0=0.15, T_S=0.7, S=1/75)$$

مطابق رابطه ( $MAX B=1+S=2/75$ )، حداکثر مقدار ضریب بازتاب از  $2/5$  در ویرایش دوم به  $2/75$  در ویرایش سوم افزایش یافته است. شکل (۳) افزایش ضریب بازتاب را به ازای پیوندهای مختلف سازه‌ای نمایش می‌دهد.



شکل ۳ مقایسه ضریب بازتاب برای زمین نوع III [۱۴]

با در نظر گرفتن فقط دو عامل فوق، با توجه به شکل (۴)، نیروهای برش پایه ویرایش سوم [۳] در حدود ۲۵٪ بیشتر از محاسبات ویرایش دوم [۲]، به دست خواهد آمد.



شکل ۴ افزایش ضریب برش پایه در ویرایش سوم

حذف شده و شاخص پایداری سازه تنها پارامتر تعیین کننده در اثرگذاری  $P-\Delta$  است. علاوه بر موارد مذکور تغییراتی در محاسبه  $P-\Delta$  و همچنین پیچش تصادفی و سایر موارد در ویرایش سوم انجام شده که به علت محدودیت فضا از ذکر آنها در این جا خودداری اما در مرجع [۱۴] به طور کامل بررسی شده است.

جدول ۱ ضوابط تغییر مکان‌های جانبی نسبی طبقات در

ویرایش دوم و سوم استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۱۳]

استاندارد ۲۸۰۰	تغییر مکان مجاز	تغییر مکان‌های سازه
ویرایش دوم	$(0.03/R) \times h$	تغییر مکان نسبی هر طبقه
ویرایش سوم	$T < 0.7 \rightarrow 0.025h$ $T \geq 0.7 \rightarrow 0.020h$	(تغییر مکان جانبی نسبی طرح در مرکز جرم طبقه) $0.07R$

مطابق آیین نامه بتن ایران (آبا) [۹] همواره اثر ترک خوردگی برای اعضای خمشی ( $I_g 0.35$  برای تیرها و  $I_g 0.7$  برای ستون‌ها) در تحلیل سازه و محاسبه نیروهای داخلی و طراحی سازه در نظر گرفته می‌شود. اما با توجه به مسکوت بودن لزوم اعمال اثر ترک خوردگی در ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ [۲] برای کنترل تغییر مکان نسبی طبقات در ساختمان‌های بتنی، عموماً این عمل بدون اعمال اثر ترک خوردگی انجام می‌شد. البته اعمال اثر ترک خوردگی در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۳] برای تمامی موارد تحلیل و طراحی و کنترل تغییر مکان الزامی شده و قابل توجه است که این ضابطه تأثیر بسیار قابل توجهی بر افزایش ابعاد اعضای سازه‌ای در ساختمان‌های بتن آرمه دارد.

#### ۴-۲- تغییرات برش پایه ساختمان

عوامل مؤثر در تغییرات برش پایه ساختمان در ساختمان‌های مورد مطالعه به شرح ذیل است. برای اطلاع بیشتر از تغییرات نیروی برش پایه در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۳] به [۱۴] می‌توان مراجعه کرد.

## ۴-۳- مقایسه ابعاد اعضای خمشی

نتایج تحلیل‌های استاتیکی خطی و طراحی‌های انجام شده مطابق جدول ۲ است.

جدول ۲. بررسی و مقایسه ابعاد اعضای خمشی در ویرایش دوم و سوم استاندارد ۲۸۰۰

ابعاد اعضای خمشی		ساختمان بتن
بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰	بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰	آرمه
2S2ELS-C35AB30	2S3ELS-C35AB30	دو طبقه
3S2ELS-C35AB30	3S3ELS-C50AB40 3S3ELS-C45 IB30XLB35YLB30 3S3ELS-C50AB30	سه طبقه
4S2ELS-C45AB30	4S3ELS-C45AB45 4S3ELS-C50 IB30XLB45YLB40 4S3ELS-C50 IB30LB45 4S3ELS-C50AB40 4S3ELS-C55 IB30XLB40YLB30 4S3ELS-C55AB35 4S3ELS-C60AB30	چهار طبقه
5S2ELS-C55AB30	5S3ELS-C50AB45 5S3ELS-C55 IB30XLB55YLB40 5S3ELS-C55AB40 5S3ELS-C60 IB30XLB45YLB35 5S3ELS-C60AB40 5S3ELS-C65 IB30XLB40YLB30 5S3ELS-C65AB35 5S3ELS-C70 IB30XLB35YLB30 5S3ELS-C75AB30	پنج طبقه

ذکر شده است. تمامی تیرها نیز هم‌عرض ستون‌ها بوده و بنابراین فقط ارتفاع آنها گزارش شده است: (IB<sup>۳</sup> و LB<sup>۴</sup> به ترتیب ارتفاع تیرهای داخلی و پیرامونی سازه است.)، (XLB<sup>۵</sup> و YLB<sup>۶</sup> به ترتیب ارتفاع تیرهای پیرامونی جهت X و Y است.)، (AB<sup>۷</sup> معرف ارتفاع تمامی تیرهای سازه است.)

در هر ردیف جدول، آخرین سطر بیانگر شرایطی است، که آویز تمامی تیرها حذف شده و ارتفاع آنها به ۳۰

نامگذاری سازه‌ها در جداول و نمودارها بدین صورت است که دو حرف اول شناسه سازه، نمایانگر تعداد طبقات ساختمان است (مثال: 3S یعنی ساختمان ۳ طبقه)، دو حرف دوم (2E یا 3E) به ترتیب بیانگر ویرایش دوم [۲] یا سوم [۳] استاندارد ۲۸۰۰ است که سازه بر اساس آن طراحی و محاسبه شده، دو حرف سوم بیانگر نوع تحلیل انجام شده برای طراحی سازه است (LS<sup>۱</sup> و LD<sup>۲</sup> به ترتیب تحلیل استاتیکی خطی و دینامیکی طیفی است) پس از آن با یک خط تیره ابعاد تیر و ستون‌های سازه بیان می‌شود. تمامی ستون‌ها مربعی بوده و بعد از حرف C ابعاد آنها

3. Interior Beam  
4. Lateral Beam  
5. Lateral Beam in X Direction  
6. Lateral Beam in Y Direction  
7. All Beam

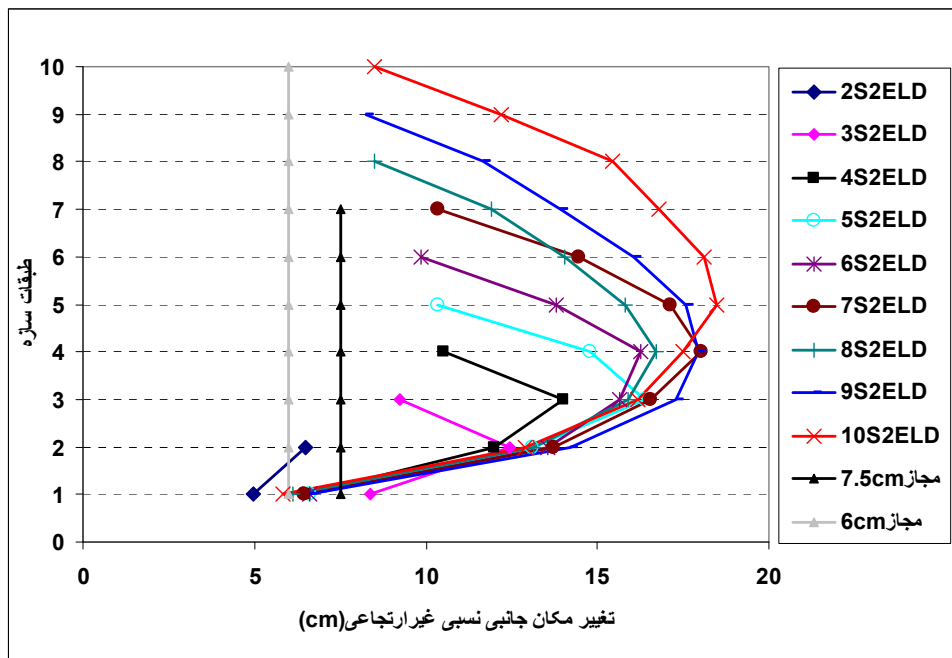
1. Linear Static Analysis  
2. Linear Dynamic Analysis

#### ۴-۴- بررسی درصد خطای تغییر مکان‌های جانبی نسبی غیر ارتجاعی طبقات

اگر سازه‌های محاسبه و طراحی شده بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ [۲] را در نظر گرفته و ضوابط کنترل تغییر مکان، ترک‌خوردگی، تغییر برش پایه و غیره از ویرایش سوم بر آنها اعمال شود، می‌توان درصد خطای به‌وجود آمده در محاسبه تغییر مکان‌های نسبی طبقات آنها را محاسبه کرد.

در این مرحله از مطالعات به‌منظور توزیع مناسب‌تر نیروها در طبقات و همچنین کاهش نسبی آنها، مدل‌ها مورد تحلیل دینامیکی خطی قرار گرفتند. با اعمال ضوابط لرزه‌ای ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۳] بر سازه‌های جدول (۳) که بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ [۲] تحلیل و طراحی شده‌اند، تغییر مکان‌های جانبی نسبی غیر ارتجاعی سازه‌ها به‌میزان چشمگیری بیش از حدود مجاز ویرایش سوم خواهند شد. این تغییر مکان‌ها در شکل (۵) نمایش داده شده است.

سانتی‌متر (ضخامت سقف تیرچه بلوک) محدود شده است. به بیان دیگر، در ساختمان‌های سه‌طبقه باید ستون‌هایی با ابعاد  $50 \times 50$  و در چهار طبقه  $60 \times 60$  و پنج طبقه  $75 \times 75$  ساخته شود، تا جبران کمبود ارتفاع تیرها شده و تغییر مکان‌های جانبی سازه کنترل شود. در سطوح بالاتر هر ردیف جدول، با آویز دادن به تیرهای جانبی در جهت‌های X یا Y یا هر دو جهت و در مرحله بعدی با رعایت نکردن محدودیت ارتفاع برای تیرها (در نظر گرفتن آویز برای تمامی تیرها)، مدل‌ها بر اساس ویرایش سوم [۳] تحلیل و طراحی شده است. این موارد به‌خوبی تأثیر تعیین‌کننده تیرها بر کنترل تغییر مکان جانبی سازه و کاهش ابعاد ستون‌ها را نمایش می‌دهد. برای مثال در ساختمان ۴ طبقه با استفاده از ۱۵ سانتی‌متر آویز در تمامی تیرها (تیرها با ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر)، ابعاد ستون‌ها را از  $(60 \times 60)$  تا حدود  $(45 \times 45)$  می‌توان کاهش داد. (برای اطلاع بیشتر به [۱۳] مراجعه شود).

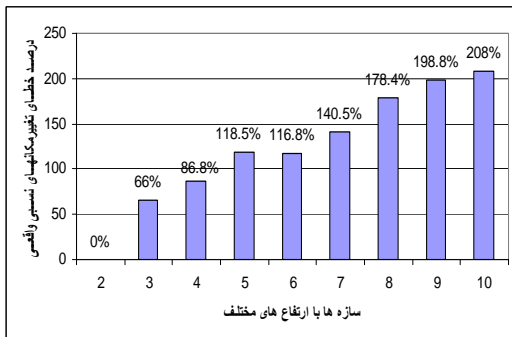
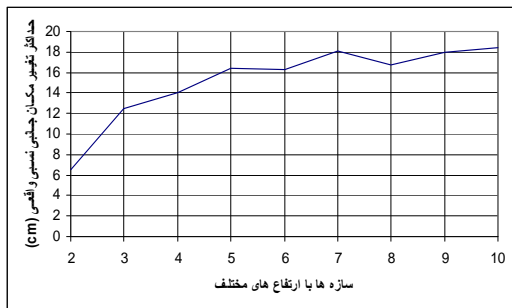


شکل ۵ نمودار تغییر مکان‌های جانبی نسبی غیر ارتجاعی سازه‌ها بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰

جدول ۳ ابعاد ستون‌ها در ساختمان‌های تحلیل و طراحی شده بر اساس ویرایش دوم (ارتفاع تیرها برابر ۳۰ سانتیمتر)

طبقات سازه	2S2ELD	3S2ELD	4S2ELD	5S2ELD	6S2ELD	7S2ELD	8S2ELD	9S2ELD	10S2ELD
طبقه دهم	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	۴۵×۴۵
طبقه نهم	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	۴۵×۴۵	۴۵×۴۵
طبقه هشتم	-----	-----	-----	-----	-----	-----	۴۵×۴۵	۴۵×۴۵	۴۵×۴۵
طبقه هفتم	-----	-----	-----	-----	-----	۴۵×۴۵	۴۵×۴۵	۵۵×۵۵	۵۵×۵۵
طبقه ششم	-----	-----	-----	-----	۴۵×۴۵	۴۵×۴۵	۵۵×۵۵	۵۵×۵۵	۵۵×۵۵
طبقه پنجم	-----	-----	-----	۴۰×۴۰	۴۵×۴۵	۵۰×۵۰	۵۵×۵۵	۵۵×۵۵	۵۵×۵۵
طبقه چهارم	-----	-----	۳۵×۳۵	۴۰×۴۰	۴۵×۴۵	۵۰×۵۰	۵۵×۵۵	۶۰×۶۰	۶۵×۶۵
طبقه سوم	-----	۳۵×۳۵	۳۵×۳۵	۴۰×۴۰	۵۵×۵۵	۶۰×۶۰	۶۰×۶۰	۶۰×۶۰	۶۵×۶۵
طبقه دوم	۳۵×۳۵	۳۵×۳۵	۴۵×۴۵	۵۰×۵۰	۵۵×۵۵	۶۰×۶۰	۶۰×۶۰	۶۰×۶۰	۶۵×۶۵
طبقه یکم	۳۵×۳۵	۳۵×۳۵	۴۵×۴۵	۵۰×۵۰	۵۵×۵۵	۶۰×۶۰	۶۰×۶۰	۶۰×۶۰	۶۵×۶۵

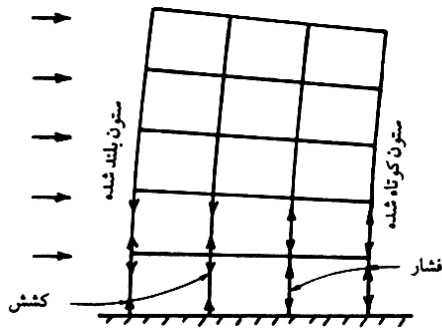
طبقه، طبقه سوم، در شش، هفت، هشت و نه طبقه، طبقه چهارم، و در ساختمان ده طبقه، طبقه پنجم سازه، بیشترین تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی را خواهند داشت.



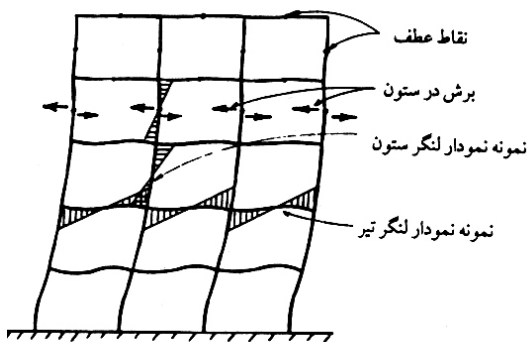
شکل ۶ و ۷ حداکثر تغییر مکان‌های جانبی نسبی غیر ارتجاعی طبقات در هر سازه و درصد خطای آنها نسبت به حدود مجاز تغییر مکان در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰

همانطور که شکل (۵) نشان می‌دهد، در نظر گرفتن اثر ترک خوردگی سازه‌ها و تغییر ضوابط کنترل تغییر مکان‌های جانبی سازه، افزایش ضریب  $0.4R$  به  $0.7R$  در به دست آوردن تغییر مکان‌های غیر ارتجاعی سازه، تغییرات طیف بازتاب و ضریب رفتار سازه‌ها موجب بحرانی شدن تمامی طبقات ساختمان‌های بلندتر از دو طبقه شده است. جدول شماره (۳) ابعاد ستون‌های این سازه‌ها را که با تیرهای بدون آویز تحلیل و طراحی شده نمایش می‌دهد. شکل‌های (۶) و (۷) حداکثر تغییر مکان‌های جانبی نسبی غیر ارتجاعی طبقات را در هر سازه و درصد خطای آنها را نسبت به حدود مجاز تغییر مکان در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ [۳] نمایش می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع سازه، درصد خطای بیشتری بدست آمده و سازه‌ها بحرانی‌تر می‌شوند.

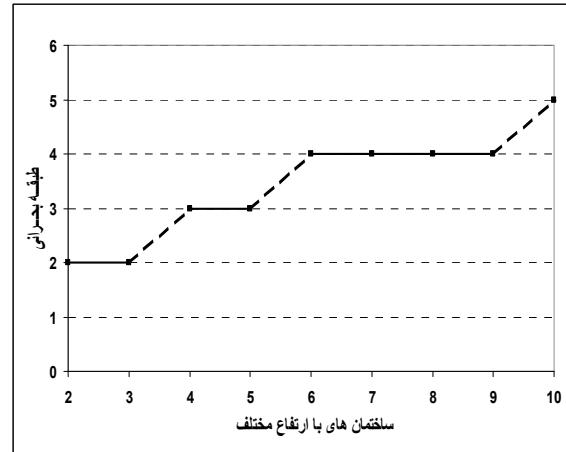
اگر در هر یک از سازه‌ها، طبقه‌ای که بیشترین تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی را دارد، طبقه بحرانی نامگذاری شود، مطابق شکل (۸) در ساختمان‌های بتن آرمه با سیستم مقاوم قاب خمشی و تیرهای بدون آویز، با افزایش ارتفاع سازه، طبقه بحرانی ساختمان به سمت طبقات بالاتر حرکت می‌کند. به بیان دیگر مطابق شکل (۸) در ساختمان‌های دو و سه طبقه، طبقه دوم؛ در چهار و پنج



شکل ۹ رفتار خمشی سازه [۱۵]



شکل ۱۰- رفتار برشی سازه [۱۵]



شکل ۸ تعیین بحرانی ترین طبقه در ساختمان های بدون آویز با ارتفاع های مختلف

قابل ذکر است که دو عامل در تغییر مکان های سیستم قاب خمشی مؤثر است [۱۵]: ۱- جابه جایی ناشی از خمش کلی سازه (رفتار خمشی سازه - شکل ۹)، ۲- جابه جایی ناشی از خمش اعضای قاب (رفتار برشی سازه - شکل ۱۰).

کاهش ارتفاع تیرها و محدود کردن ارتفاع آنها به ۳۰ سانتی متر، موجب کاهش سختی تیرها می شود به گونه ای که با افزایش ارتفاع سازه، تیرها بیشتر کارایی خود را از دست می دهند. از آنجا که در سیستم قاب خمشی خمش ها و تغییر شکل های تیرها نقشی اساسی در رفتار برشی سازه دارند، ضعیف کردن این عضو حیاتی در سیستم قاب خمشی، موجب می شود که ابعاد ستون ها بزرگ شود.

تیرهای ضعیف و ستون های قوی در سیستم قاب خمشی، موجب می شود که خمش کلی سازه مطابق شکل (۹) در رفتار ساختمانها تقویت شده یا به بیان دیگر رفتار برشی قابها به سمت خمشی میل کرده و طبقات بالاتر سازه بحرانی شوند.

قابل توجه است که از هر دو دیدگاه فوق (مقایسه ابعاد اعضای خمشی دو و ویرایش و محاسبه درصد خطای تغییر مکانها)، ایمن بودن ساختمان های یک و دو طبقه طراحی شده بر اساس ویرایش دوم [۲]، مورد تایید است. اما با بلندتر شدن سازه ها تغییر مکان های جانبی افزایش چشمگیری یافته و سازه ها در مقابل زلزله طرح استاندارد [۳] ۲۸۰۰ بسیار ضعیف ارزیابی می شوند.

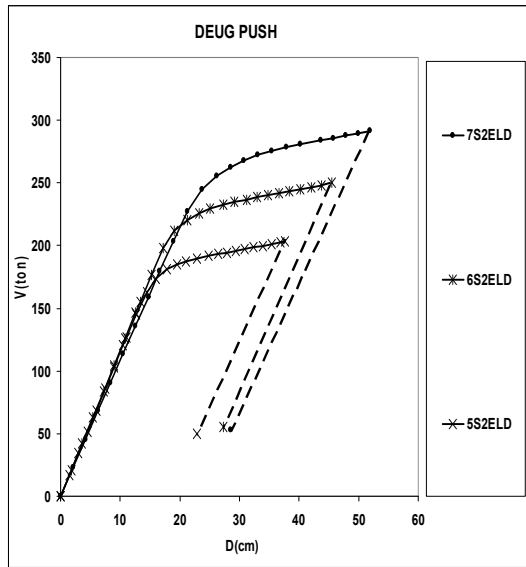
## ۵- ارزیابی سازه ها بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه ای

مدل های تحلیل و طراحی شده بر اساس ویرایش دوم استاندارد [۲] ۲۸۰۰ مورد تحلیل استاتیکی غیر خطی قرار گرفتند. با توجه به منظم و متقارن بودن پلان شکل ۲ در یک جهت پوش کردن سازه و همین طور در یک جهت در نظر گرفتن پیچش تصادفی کفایت می کند. در مجموع برای هر مدل چهار پوش مطابق جدول (۴) انجام شده است. نامگذاری پوش ها در جدول (۴) بدین صورت است که دو حرف اول نحوه توزیع بار جانبی زلزله و حرف دوم ترکیب بار ثقلی استفاده شده در آن پوش را نشان می دهد.

جدول ۴ پوش های انجام شده برای هر مدل

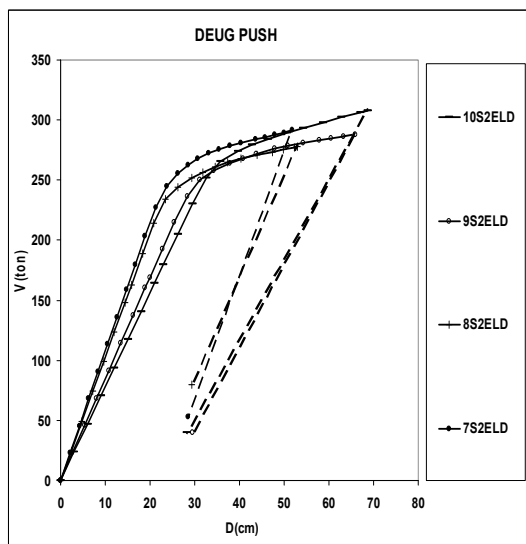
نام پوش	پوش ثقلی	پوش جانبی
REUG	$1/1D+1/1L$	توزیع یکنواخت
RELG	$0/9D$	توزیع یکنواخت
DEUG	$1/1D+1/1L$	توزیع دینامیکی
DELG	$0/9D$	توزیع دینامیکی





شکل ۱۲- مقایسه منحنی ظرفیت سازه‌های پنج تا هفت طبقه

بر اساس پوش DEUG



شکل ۱۳ مقایسه منحنی ظرفیت سازه‌های هفت تا ده طبقه بر

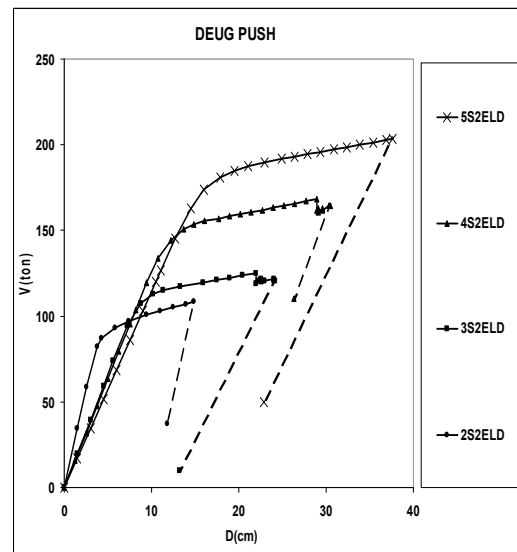
اساس پوش DEUG

خطر ۱۰٪ در ۵۰ سال، با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله،  
 $A=0/35$ ، ج) زلزله با سطح خطر ۲۰٪ در ۵۰ سال، با  
 دوره بازگشت ۲۲۵ ساله،  $A=0/25$ ، د) زلزله با سطح  
 خطر ۵۰٪ در ۵۰ سال، با دوره بازگشت ۷۵ ساله،  
 $A=0/15$ ، باتوجه به محدودیت فضا، دو نمونه از  
 نمودارهای تعیین نقطه عملکرد سازه به دو روش مذکور  
 که در [۱۳] بطور کامل موجود است، در شکل‌های (۱۴)  
 و (۱۵) ارائه شده است.

### ۵-۱- مقایسه منحنی ظرفیت سازه‌ها

منحنی‌های ظرفیت مدل‌های دو تا ده طبقه بر اساس پوش DEUG در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) و (۱۳) ترسیم شده است.

همان‌طور که در این نمودارها مشهود است با افزایش ارتفاع سازه برش پایه حد تسلیم آنها ( $V_y$ ) و همچنین تغییر مکانهای غیرارتجاعی سازه‌ها افزایش می‌یابد، اما ارتفاع کوتاه تیرها و ضعف آنها در میزان تغییر شکل دهی و کنترل تغییر مکان‌های جانبی سازه، با افزایش ارتفاع سازه نمود بیشتری پیدا کرده و روند کاهش سختی در منحنی‌های ظرفیت به‌خوبی این مطلب را نمایش می‌دهد.



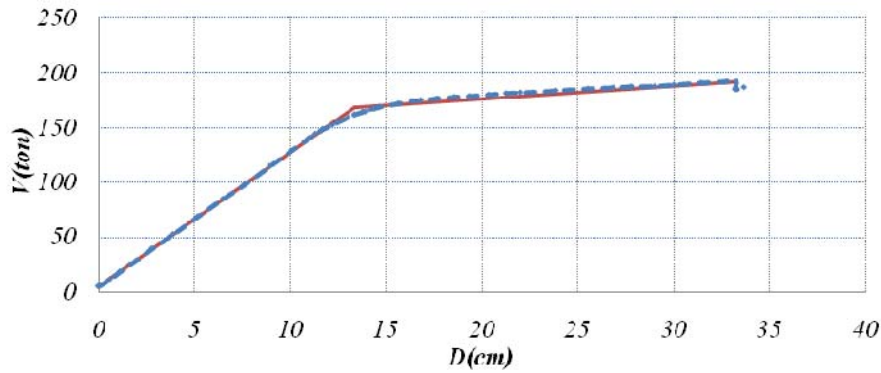
شکل ۱۱ مقایسه منحنی ظرفیت سازه‌های دو تا پنج طبقه بر

اساس پوش DEUG

### ۵-۲- تعیین نقطه عملکرد سازه‌ها

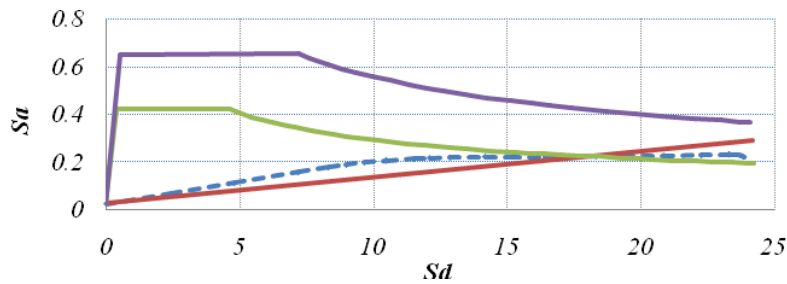
با انتخاب چهار سطح خطر لرزه‌ای مختلف و با استفاده از هر دو روش طیف ظرفیت و ضرایب تغییر مکان، نقطه عملکرد سازه‌ها محاسبه شد. سطوح خطر لرزه‌ای انتخاب شده با توجه به تحلیل خطر انجام شده توسط قدرتی امیری برای شهر تهران [۱۶] به شرح ذیل انتخاب شد.

الف) زلزله با سطح خطر ۲٪ در ۵۰ سال، با دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله،  $A=0/55$ ، ب) زلزله با سطح



A	C0	C1	C2	C3	Cm	B	Sa	Te
۰/۲۵	۱/۳	۱	۱	۱	۰/۹	۱/۶۴۴۳	۰/۴۱۱۲	۱/۵۱۴
Ti	Ki	Ke	Alpha	R	Vy	Weight	Vtarget	Dtarget
۱/۵۱۴	۱۱/۴۴۳۹	۱۱/۴۴۳۹	۰/۱۰۳۲	۲/۵۶۴۴	۱۷۶/۲۷۶۱	۱۲۲۱/۶	۱۹۴/۳۴۶	۳۰/۷۰۴

شکل ۱۴ تعیین نقطه عملکرد ساختمان 2S5ELD در سطح خطر ۲۰٪ در ۵۰ سال برای پوش DELG و با استفاده از روش ضرایب تغییر مکان



A	Teff	Beff	Sa	Sd	Vtarget	Dtarget
۰/۲۵	۱/۹۷۹	۰/۲۱۵	۰/۲۱۹	۲۱/۳۲۷	۱۹۳/۵۲۳	۲۹/۷۳۳

شکل ۱۵ تعیین نقطه عملکرد ساختمان 2S5ELD در سطح خطر ۲۰٪ در ۵۰ سال برای پوش DELG و با استفاده از روش طیف ظرفیت

### ۳-۵- ارزیابی عملکرد ساختمان

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ساختمان باید در زلزله‌های شدید (زلزله طراحی) ایستایی خود را حفظ کرده و تلفات جانی را به حداقل برساند. از آنجا که استاندارد ۲۸۰۰ بر مبنای مفاهیم طراحی بر اساس عملکرد تدوین نشده، انطباق دقیقی بین اهداف عملکردی آن با روش‌های عملکردی وجود ندارد. اما نزدیکترین تعبیر، تأمین سطح

عملکرد ایمنی جانی در زلزله طرح استاندارد [۳]۲۸۰۰ (هدف بهسازی مینا) است.

به منظور ارزیابی سازه‌ها در سطوح مختلف خطر، مدل‌ها بار دیگر تا رسیدن به نقطه عملکرد، مورد تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته و سپس نیروها و تغییرشکل‌های اعضای آن بر اساس معیارهای پذیرش دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای [۷]، بررسی شد. منحنی ظرفیت سازه‌ها در شکل‌های (۱۱) و

(مفاصل فعال)، تعداد مفاصلی را که در اعضای سازه تغییرشکل‌هایی فراتر از ناحیه خطی داده‌اند را نشان می‌دهد. (مفاصلی که از محدوده خطی خارج شده و در ناحیه غیرخطی در شکل (۱)، یا در محدوده B تا E قرار گرفته‌اند.)، ستون چهارم، درصد مفاصل فعال نسبت به کل مفاصل است و نشان می‌دهد که چند درصد از مفاصل وارد ناحیه غیرخطی شده‌اند. ستون سوم جدول نشان می‌دهد که با افزایش تعداد طبقات سازه‌ها، با توجه به کاهش سختی آنها، تعداد بیشتری از مفاصل تشکیل شده در اعضای سازه به ناحیه غیرخطی وارد می‌شود. ستون چهارم جدول نشان می‌دهد که در نقطه عملکرد سازه‌های مختلف، فقط در سطح خطر ۲۰٪ در ۵۰ سال که از زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ [۳] پایین‌تر بوده و زلزله متوسطی محسوب می‌شود، به‌طور متوسط ۲۵٪ از مفاصل سازه به ناحیه غیرخطی وارد می‌شوند. در نهایت سطوح عملکرد به‌دست آمده برای اعضای سازه‌ای ساختمان‌ها، مطابق جدول (۶) است.

(۱۲) و (۱۳)، به‌خوبی نشان می‌دهد که در تمامی حالت‌ها، برش پایه در نقاط عملکرد از ۸۰٪ (وحتی ۱۰۰٪) برش پایه حد تسلیم بیشتر است.

همانطور که در مقایسه منحنی ظرفیت سازه‌های با ارتفاع مختلف - از سیستم قاب خمشی با تیرهای با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری در آنها استفاده شده - اشاره شد، با افزایش ارتفاع سازه‌ها، از مقاومت جانبی آنها کاسته شده و وضعیت سازه‌ها بحرانی‌تر می‌شود. در این قسمت نتیجه مذکور با مطالعه دقیق‌تر یعنی با مطالعه مفاصل پلاستیک سازه‌ها، تبیین می‌شود. برای مثال جدول (۵) وضعیت مفاصل اعضای سازه‌ای را در نقطه عملکرد سازه‌ها در سطح خطر ۲۰٪ در ۵۰ سال نمایش می‌دهد. ستون‌های جدول از سمت چپ مطابق ذیل تشریح می‌شوند.

ستون اول، شناسه سازه‌های دو تا ده طبقه را نمایش می‌دهد. ستون دوم، تعداد کل مفاصلی را که در تیر و ستون‌های سازه تشکیل شده نشان می‌دهد (مفاصلی که در محدوده A تا E در شکل (۱) قرار می‌گیرند). ستون سوم،

جدول ۵ وضعیت مفاصل اعضای سازه‌ای در نقطه عملکرد سازه‌ها در سطح خطر ۲۰٪ در ۵۰ سال

سازه‌ها	تعداد کل مفاصل	تعداد مفاصل فعال	درصد مفاصل فعال
2S2ELD	۲۰۸	۶۴	٪۳۰/۷
3S2ELD	۳۱۲	۸۴	٪۲۶/۹۰
4S2ELD	۴۱۶	۱۱۳	٪۲۷/۱۶
5S2ELD	۵۲۰	۱۳۸	٪۲۶/۵۰
6S2ELD	۶۲۴	۱۶۰	٪۲۵/۶۰
7S2ELD	۷۲۸	۱۸۲	٪۲۵
8S2ELD	۸۳۲	۲۰۹	٪۲۵/۱۰
9S2ELD	۹۳۶	۲۳۲	٪۲۴/۸۰
10S2ELD	۱۰۴۰	۲۵۰	٪۲۴/۰۰
مفاصل فعال		درصد میانگین	٪۲۵/۶۳

سازه‌ها برای سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی در سطوح عملکرد مختلف به‌گونه‌ای است که تغییرمکان‌های جانبی نسبی سازه برای سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه به

#### ۵-۴- مطالعه تغییرمکان جانبی نسبی طبقات در نقاط عملکرد سازه

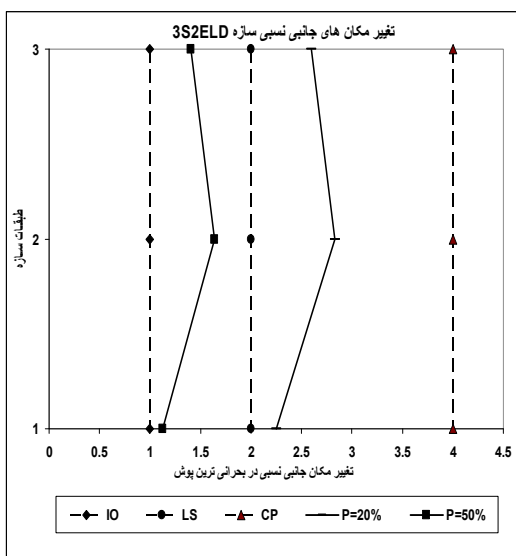
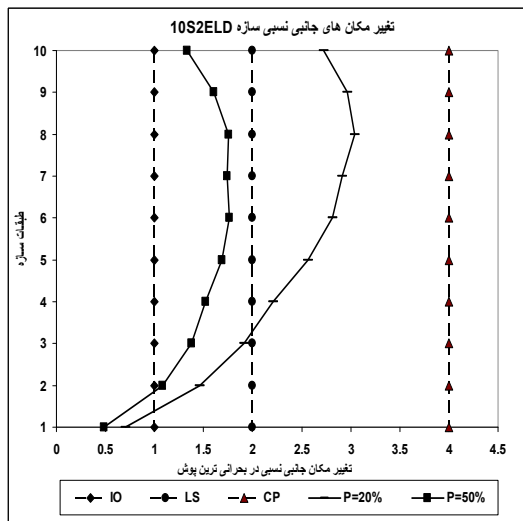
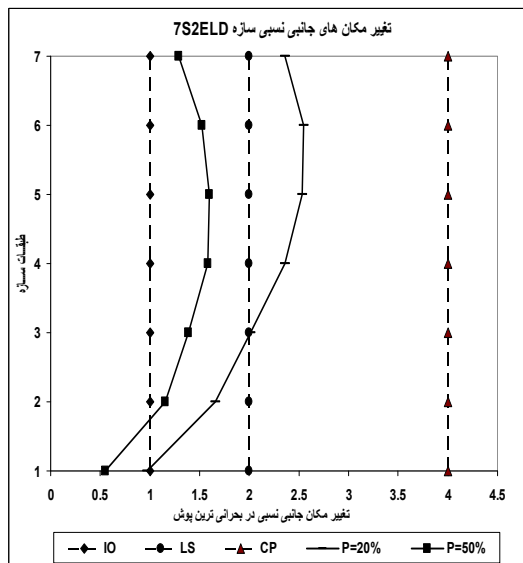
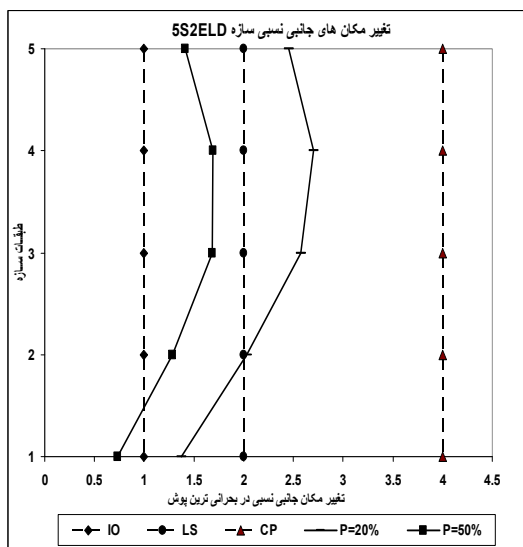
مطابق تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای [۱۰]، وضعیت

۱٪، برای سطح عملکرد ایمنی جانی به ۲٪ و برای سطح عملکرد آستانه فروریزش به ۴٪ محدود می‌شود. (تغییر مکان‌های جانبی نسبی سازه‌ها در شکل (۱۶) با مقادیر مجاز آن مقایسه شده است.)

جدول ۶ سطوح عملکرد اعضای سازه‌ای در سطوح مختلف خطر

سازه‌ها	P=۲٪	P=۱۰٪	P=۲۰٪	P=۵۰٪
2S2ELD	----	CP	LS-CP	IO-LS
3S2ELD	----	----	LS-CP	IO-LS
4S2ELD	----	----	LS-CP	IO
5S2ELD	----	----	LS-CP	IO
6S2ELD	----	----	LS-CP	IO
7S2ELD	----	----	LS-CP	IO
8S2ELD	----	----	LS-CP	IO-LS
9S2ELD	----	----	LS-CP	IO
10S2ELD	----	----	LS-CP	IO

مطابق تفسیر دستورالعمل بهسازی [۱۰]، نمودارهای شکل (۱۶) فقط برای ساده‌سازی تجسم عملکرد ساختمان در سطوح مختلف بوده و نباید مبنای ارزیابی ساختمان‌ها قرار گیرد. بنابراین در این قسمت فقط سطوح عملکرد ساختمان‌ها (که در بنده ۳-۵ با استفاده از معیارهای پذیرش دستورالعمل بهسازی [۷] به دست آمده بود)، با سطوح عملکرد حاصل از ضابطه کنترل تغییر مکان مقایسه می‌شود.



شکل ۱۶ تغییر مکان جانبی نسبی طبقات در نقطه عملکرد سازه‌ها برای ساختمان‌های سه و پنج و هفت و ده طبقه

۲- مطالعه سیستم قاب خمشی با تیرهای بدون آویز نشان داد که با افزایش ارتفاع سازه، طبقه بحرانی (طبقه‌ای که از حداکثر تغییرمکان‌های جانبی نسبی غیرارتجاعی، برخوردار است) به طبقات بالاتر منتقل می‌شود. بطوریکه، در ساختمان‌های (دو و سه طبقه، طبقه دوم)، (چهار و پنج طبقه، طبقه سوم)، (شش و هفت و هشت و نه طبقه، طبقه چهارم) و (ده طبقه، طبقه پنجم) طبقات بحرانی سازه خواهند بود و این بدان علت است که با افزایش ارتفاع سازه، اثر تیرها - که مهمترین عامل در رفتار برشی قابهای خمشی هستند - کم‌رنگ شده و ستونها با ابعاد بزرگ خود، تغییرمکان‌های سازه را کنترل می‌کنند. این موجب می‌شود که رفتار برشی قابها به سمت رفتار خمشی میل کرده و طبقات بالاتر سازه، بحرانی شوند.

۳- مطالعات نشان داد که ساختمان‌های بتن‌آرمه با سقف تیرچه بلوک و سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی بدون آویز که بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ تحلیل و طراحی شده‌اند، بر اساس ضوابط لرزه‌ای ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، تا ارتفاع دو طبقه (۶ متر) ایمنی لازم را در مقابل زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ داشته و به مقاوم‌سازی نیاز ندارند. اما در مورد ساختمان‌های مرتفع به‌علت ضعف جدی در سختی و مقاومت تیرها، عدم کنترل تغییرمکان‌های جانبی نسبی طبقات با در نظر گرفتن ترک‌خوردگی در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، تغییرمکان‌های بسیار زیادی در آنها مشاهده می‌شود به‌گونه‌ای که بسته به ارتفاع سازه، تغییرمکان‌ها از ۶۶٪ تا حتی ۲۰۰٪ بیش از تغییرمکان‌های جانبی نسبی مجاز سازه به‌دست می‌آید.

۴- مطالعات ساختمان‌های بتن آرمه با سقف تیرچه بلوک بر اساس ضوابط دستورالعمل بهسازی و سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی بدون آویز طراحی شده بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰، نتایج به‌دست آمده از کنترل این سازه‌ها بر اساس ضوابط لرزه‌ای ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ را تأیید می‌کند. مطابق این دستورالعمل

نمودارهای شکل (۱۶) نشان می‌دهند که در سطح خطر ۲۰٪ در ۵۰ سال، اعضای سازه‌ای تمامی ساختمان‌ها در ناحیه ایمنی جانی محدود قرار می‌گیرند (LS-CP). بنابراین سطوح عملکردی که برای آنها در جدول (۶) ارائه شد توسط این ضابطه نیز تأیید می‌شود و تمامی آنها در سطح خطر ۲۰٪ در ۵۰ سال، در سطح عملکرد آستانه فروریزش قرار می‌گیرند.

ضابطه کنترل تغییرمکان‌های جانبی نسبی سازه، برای سطح خطر ۵۰٪ در ۵۰ سال، اعضای سازه‌ای تمامی ساختمان‌ها را در محدوده خرابی محدود (IO-LS) قرار می‌دهد. بنابراین سطوح عملکرد به‌دست آمده از این روش (ضابطه کنترل تغییر مکان)، نسبت به سطوح عملکرد به دست آمده در جدول (۶)، برای تعدادی از سازه‌ها یکسان و برای تعدادی از آنها کمی پایین‌تر (محافظه‌کارانه‌تر) ارزیابی شده است.

## ۶- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات انجام شده به‌طور خلاصه به شرح ذیل است:

۱- از آنجا که در سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی، تیرها نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل تغییرمکان‌های سازه دارند، استفاده نکردن از ارتفاع مؤثر تیرها (اجرای تیرها بدون آویز با عمق ۳۰ سانتی‌متر)، تغییرمکان‌های سازه‌ای را به‌شدت افزایش می‌دهد و اگر ضوابط لرزه‌ای ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ نیز در نظر گرفته شود، کنترل تغییرمکان‌های جانبی سازه به‌مراتب مشکل‌تر می‌شود به‌گونه‌ای که باید برای ساختمان‌های سه‌طبقه، ستون‌های ۵۰ سانتیمتری، چهارطبقه ۶۰ سانتیمتری و پنج طبقه ۷۵ سانتیمتری استفاده شود. البته قابل ذکر است که اگر از تخفیفات تحلیل دینامیکی طیفی هم استفاده شود، این ابعاد سرانجام برای ساختمان‌های سه‌طبقه و پنج‌طبقه، یک‌سایز (۵ سانتیمتر) کوچکتر می‌شوند. اما در هر صورت ابعاد بزرگ ستون‌ها عملاً ساخت چنین سازه‌هایی را غیراقتصادی خواهند کرد.

[6] Applied Technology Council (ATC-55), "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", FEMA440, Redwood City, California, 2004 .

[7] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۱.

[۸] بارهای وارد بر ساختمان، مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۰ .

[۹] آیین‌نامه بتن ایران (آبا)، نشریه شماره ۱۲۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، چاپ ششم، ۱۳۸۲.

[۱۰] تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۱.

[11] SAP 2000 Manual, "Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design Of Three Dimentional Structures", SAP2000 Nonlinear 10.10, Computers and Structures, Inc.Berkeley, California, September 2005 .

[۱۲] خیرالدین، علی - فامیلی، سعید، «مقایسه و بررسی ابهامات ویرایش دوم و سوم استاندارد ۲۸۰۰ ایران»، ماهنامه فنی و مهندسی راه و ساختمان، شماره ۳۵، آبان و آذر ۱۳۸۵.

[۱۳] فامیلی، سعید، «بررسی محدودیت ابعاد اعضای خمشی در ساختمان‌های بتن آرمه»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی دانشگاه سمنان، ۱۳۸۵.

[۱۴] خیرالدین، علی، فامیلی، سعید، «مطالعه و ارزیابی نیروهای طراحی بر اساس ویرایش‌های دوم و سوم استاندارد ۲۸۰۰ ایران»، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، اردیبهشت ۱۳۸۶.

[۱۵] حاجی کاظمی، حسن. (مترجم)، «آنالیز و طراحی سازه‌های بلند»، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۵.

[16] G.Ghodrati Amiri & A.Razavian Amrei, "Seismic Hazard of Tehran Based on Seismic Rehabilitation Code for Existing Buildings in Iran", First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Switzerland, September2006 .

فقط ساختمان‌های دوطبقه با سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی و تیرهای بدون آویز که با ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند، در هنگام بروز زلزله طراحی (سطح خطر ۱۰٪ در ۵۰ سال) فرو نمی‌ریزند و ساختمان‌های بلندتر از آن (سه طبقه و بلندتر) در مقابل زلزله طراحی ضعیف بوده و حتما تخریب می‌شوند.

۵- تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل‌های این مطالعه نشان داد که به‌طور متوسط، ساختمان‌های سه تا ده طبقه - که با تیرهای بدون آویز و سیستم مقاوم قاب خمشی بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ طراحی و اجرا شده‌اند - برای سطوح پایتتر خطر نسبت به زلزله استاندارد طراحی ۲۸۰۰ یعنی در سطح خطر ۲۰٪ در ۵۰ سال با دوره بازگشت ۲۲۵ ساله در محدوده ایمنی جانی محدود قرار گرفته و در سطح خطر ۵۰٪ در ۵۰ سال با دوره بازگشت ۷۵ ساله در سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه قرار می‌گیرند.

## ۷- منابع

[۱] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) ویرایش اول، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۶۶.

[۲] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) ویرایش دوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸.

[۳] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.

[4] Applied Technology Council (ATC), "Seismic Evaluation and Retrofit Of Existing Concrete Building", ATC40, Redwood City, California, 1996 .

[5] American Society Of Civil Engineers (ASCE), "Prestandard Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings", prepared for Federal Emergency Management Agency (FEMA), FEMA356, 2000.