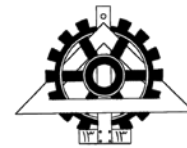




قطب علمی مهندسی و
مدیریت زیرساختها

مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساختها
دانشکده فنی دانشگاه تهران - آبان ماه ۱۳۸۸



پردیس دانشکده های فنی
دانشکده مهندسی عمران

بررسی منحنی ظرفیت و سطح عملکرد قابهای خمشی فولادی طراحی شده با استفاده از آئین نامه های ایران، اروپا و ژاپن

جلال فلاح اصغری

کارشناس ارشد رشته مهندسی زلزله، دانشگاه تبریز Email: Jalal.fallah@gmail.com

امیر کیانی، یاسر چایچی، الهام مودب

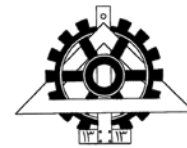
Email: amirkianii@yahoo.com, chaichiy@yahoo.com, queenelham2001@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی آیین نامه های مختلف در یک زمینه بخصوص در طراحی لرزه ای سازه ها، طراحی قابهای خمشی فولادی دو بعدی مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور با استفاده از آیین نامه های ژاپن، اروپا و نیز آیین نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) قابهای ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه به طور کامل و مطابق ضوابط هر آیین نامه طراحی لرزه ای شده و رفتار سازه های طراحی شده با جزییات، مورد بررسی قرار گرفته است. در این رابطه پس از طراحی سازه ها به روش خطی (الاستیک) و با استفاده از آیین نامه مورد نظر، رفتار سازه به روش تحلیل استاتیکی غیرخطی در حوزه غیرخطی بررسی گردیده است. سازه های طراحی شده به کمک هر سه آیین نامه تحت شرایط یکسان و با استفاده از دستورالعمل تحلیل استاتیکی غیرخطی ATC 40 در حوزه غیر خطی آنالیز شده اند. نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی نشان می دهند که جابجایی تسلیم برای سازه های طراحی شده به کمک هر سه آیین نامه در محدوده های پیرودی مختلف (کوتاه، متوسط و بلند) همخوانی نسبتاً زیادی با هم دارند. به لحاظ مقاومتی، مقاومت کلی سازه های پیرود کوتاه و متوسط تحت هر سه آیین نامه با هم برابری می کنند. این در حالی است که اختلاف مقاومتی برای سازه های بلند بیشتر شده که کاملاً مرتبط با اختلاف عرض های طیفی در محدوده بلند پیرود است.

کلمات کلیدی

تحلیل استاتیکی خطی و غیر خطی، منحنی ظرفیت، طراحی براساس عملکرد، قابهای خمشی فولادی، آیین نامه ۲۸۰۰، آیین نامه EC8 اروپا، آیین نامه BCJ ژاپن



مقدمه

اساساً در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها که یکی از فعال‌ترین بخش‌های مهندسی در سراسر دنیا می‌باشد، راه‌حل‌های تئوری بسیار سریع توسعه داده می‌شوند. این در حالی است که فقط قسمتی از روش‌های تئوری (به علت محدودیت‌های مختلف) قابلیت ورود به فضای عملی (مهندسی) را دارند. کاربردی کردن نظریه‌های جدید در رشته مهندسی عمران بر عهده آیین‌نامه‌های طراحی می‌باشد. در سالهای اخیر با توجه به اینکه تغییرات بسیاری در آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف صورت گرفته است، لذا به نظر می‌رسد مقایسه‌ی کلی میان سه آیین‌نامه ایران (۲۸۰۰)، ژاپن (BCJ) و اروپا (EC8)، می‌تواند مفید واقع شود.

در این تحقیق چهار نوع قاب خمشی فولادی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه تحت یک شتاب مبنا، تیپ خاک یکسان و شکل پذیری متوسط مطابق ضوابط هر یک از سه آیین‌نامه زلزله و طراحی ایران، ژاپن و اروپا طراحی شده و در نهایت طبق دستورالعمل FEMA-356 و ATC-40 سطح عملکرد هر سه آیین‌نامه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت نتایج بدست آمده برای بررسی تفاوتها، تشابه‌ها، مزیت‌ها و نقص‌های احتمالی هر یک از آیین‌نامه‌ها مقایسه شده است و نتایج قابل توجهی بدست آمده است.

به نظر می‌رسد با مقایسه مناسب نتایج حاصل از تحلیل و طراحی سازه‌ها تحت آیین‌نامه‌های مختلف دیدی مناسب از موارد تشابه و یا تفاوت‌های آیین‌نامه‌ها و همچنین نحوه تأثیر آن در رفتارهای مختلف سازه به دست آورد.

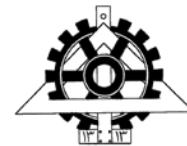
بررسی کاربردی آیین‌نامه لرزه‌ای BCJ ژاپن، EC8 اروپا و استاندارد ۲۸۰۰ ایران

کشور ژاپن در وسط چندین ناحیه لرزه‌خیز قرار گرفته است. دو ناحیه با لرزه‌خیزی بالا و متوسط در سمت اقیانوس آرام و یک ناحیه با لرزه‌خیزی متوسط در جهت دریای ژاپن وجود دارد. پس از زلزله فاجعه بار Kanto در سال ۱۹۲۳، چندین زلزله شدید دیگر نیز در ژاپن رخ داده که موجب خسارات قابل توجهی در بناها و ساختمانها شده است. پس از زلزله Kanto، برای اولین بار نیروهای ناشی از زلزله در طراحی ساختمانها در نظر گرفته شد و سپس این روش در طراحی سایر سازه‌ها نیز به کار گرفته شد.

ژاپن دارای آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای است که در سال ۱۹۸۱ پذیرفته شده و بانام BCJ شناخته می‌شود. در این آیین‌نامه دو سطح نیروهای لرزه‌ای در نظر گرفته شده است، یکی برای سطح بهره‌برداری و دیگر برای سطح ایمنی جانی. آیین‌نامه BCJ، بازتوزیع نیرو بعد از تسلیم را که به علت نامعینی سازه رخ می‌دهد را در نظر می‌گیرد و بین مقاومت و شکل‌پذیری، مطابق با شکل‌پذیری مورد انتظار سازه ارتباط برقرار می‌کند. اعتبار اکثر روشهای موجود در آیین‌نامه BCJ در طی ۲۰ سال تجربیات عملی، آزمایش شده است، همچنین اکثر سازه‌هایی که توسط این آیین‌نامه‌ها طراحی شده‌اند چندین زلزله مهم نظیر زلزله کوبه سال ۱۹۹۵ را تجربه کرده‌اند.

EC8 در سالهای اخیر وضعیت خود را از حالت Pre-Standard به حالت استاندارد اروپایی تغییر داده است این آیین‌نامه جدید که می‌بایست بعضی از استانداردهای لرزه‌ای ملی مخصوص بعضی از کشورها را تغییر دهد، چندین رویکرد طراحی لرزه‌ای اروپایی را به صورت جدید و ابداعی برای سازه‌های فولادی نظیر معیار طراحی براساس ظرفیت (capacity design criteria) و یا ضرایب کاهش نیروی لرزه‌ای که به طور واضح و آشکاری با شکل‌پذیری مورد انتظار سازه همبسته می‌شوند را معرفی می‌کند.

ایران در یکی از سه ناحیه زلزله خیز جهان قرار دارد که این موضوع سبب شده است تا در طول چند سال اخیر



تلفات جانی فراوانی حاصل از پدیده زلزله در ایران اتفاق بیفتد. این امر سبب شده است تا مسوولان ذیربط با همکاری جمعی از مشاوران فنی، اقدام به گردآوری و بررسی ضوابط خاصی برای در نظر گرفتن و تاثیر دادن نیروهای زمین لرزه بر ساختمان ها کنند.

بررسی موارد تشابه و تفاوت آیین نامه های مورد استفاده

طبق بررسی های انجام یافته تشابهات فراوانی بین روشهای پذیرفته شده در EC8، BCJ و ۲۸۰۰ دیده شده است. البته مقایسه سطحی آیین نامه ها، گمراه کننده خواهد بود. در ادامه به بررسی تفاوتها و تشابهات موجود در این سه آیین نامه می پردازیم.

هر سه آیین نامه اروپا، ژاپن و ایران دو سطح نیروی لرزه ای را تعریف می کنند، نیروی لرزه ای مرجع (با احتمال تجاوز ۱۰٪ در ۵۰ سال با دوره ی بازگشتی برابر با ۴۷۵ سال مطابق با آیین نامه های اروپا و ژاپن و ایران) که بیانگر حرکات قوی و شدید زمین می باشد. سطح نیروی دیگر (احتمال تجاوز برابر ۹۹/۵٪ در ۵۰ سال برای استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ۱۰٪ در ۱۰ سال و دوره بازگشت ۹۵ سال برای EC8 و ۵۰٪ در ۳۰ سال و دوره بازگشت ۴۳ سال برای BCJ) بیانگر حرکات ملایم و نسبتاً متوسط زمین می باشد.

حرکت زمین در هر سه آیین نامه توسط طیف پاسخ شبه شتاب الاستیک بدست آمده است این طیف توسط بعضی خواص خاک پی همبسته شده اند. انواع خاک هایی که در آیین نامه های EC8، BCJ و ۲۸۰۰ تعریف شده اند در جدول (۱) با هم مقایسه شده اند، چون از پارامترهای مختلفی در سه آیین نامه برای طبقه بندی خاک پی استفاده شده است، ($V_{s,30}$ در EC8 و استاندارد ۲۸۰۰ و T_g در BCJ) مقایسه توسط یک خاک مرجع یکتا و منحصر به فرد با ضخامت ۳۰ متر که بر روی خاک بستر قرار گرفته انجام می گیرد.

جدول ۱: مقایسه نوع خاک های متفاوت در آیین نامه های ژاپن و اروپا

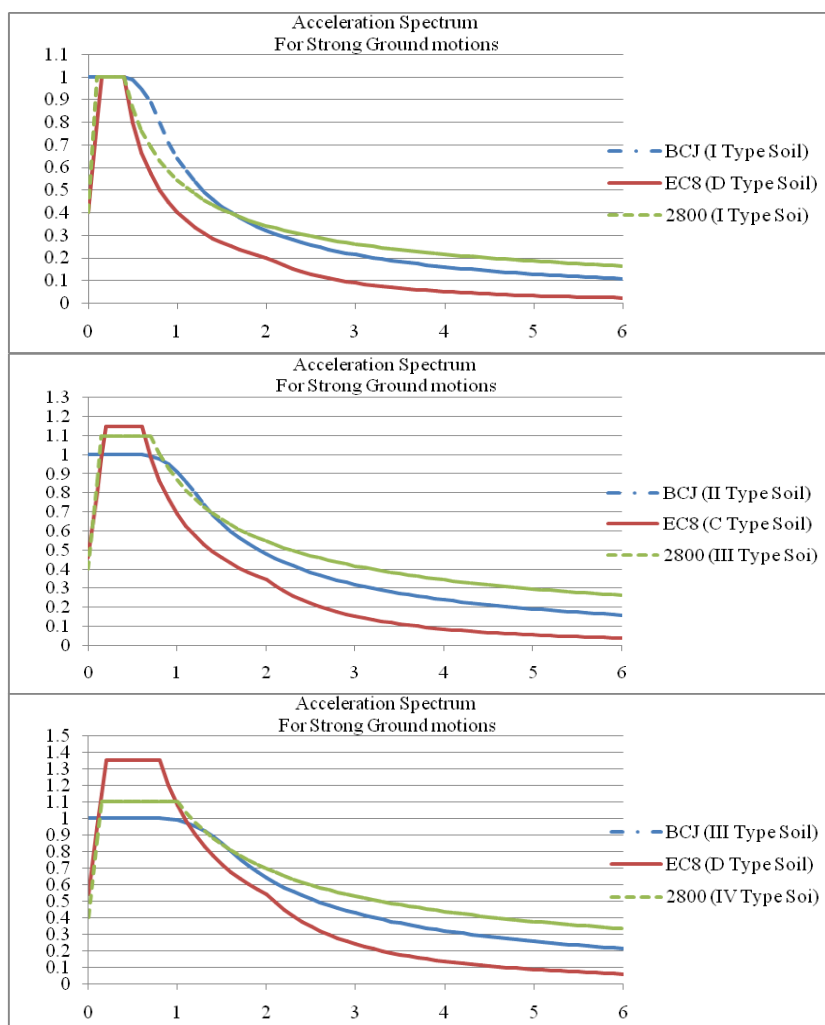
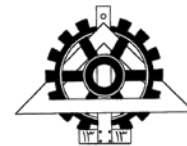
2800	Type I	Type II	Type III	Type IV
EC8	Type A	Type D	Type C	Type D
BCJ	Type I	Type II	Type III	
	0.2	0.4	0.6	0.8

T_g (sec)

همانگونه که مشاهده می شود انواع خاک سخت (A در EC8 و I در ۲۸۰۰ و BCJ) در هر سه آیین نامه دارای خاک مشابه می باشند. همچنین خاک متوسط آیین نامه BCJ، II شامل خاک نوع B و C در EC8 و II و III در ۲۸۰۰ می باشد و سرانجام آنکه خاک نرم BCJ، III شامل خاک نوع D در EC8 و IV در استاندارد ۲۸۰۰ می باشد.

طیف شتاب آیین نامه زلزله ایران (۲۸۰۰)، اروپا (EC8) و ژاپن (BCJ) برای زلزله های شدید

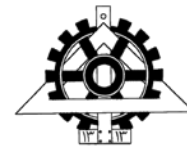
در مطالعه حاضر تمامی سازه ها برای شتاب مبنای 0.40g طراحی شده اند. شکل (۱) طیف الاستیک BCJ، EC8 و ۲۸۰۰ را برای زلزله قوی مقایسه کرده است. به منظور مقایسه کردن، طیف های EC8 و ۲۸۰۰ می بایست در 0.4g ضرب گردند. (مساوی با مقداری شده که در BCJ وضع شده است). با مرجع قرار دادن حرکات قوی زمین، طیف EC8 و BCJ تقریباً کوچک تر از طیفی است که ۲۸۰۰ بدست آورده است.



شکل ۱: طیف طرح آیین نامه ۲۸۰۰، BCJ و EC8 برای زلزله های شدید در خاکهای سخت، متوسط و نرم

مشخصات مدل های مورد مطالعه و نتایج تحلیل و طراحی

یک گروه قاب فولادی با سیستم قاب خمشی با شکل پذیری متوسط برای تحقیق موجود انتخاب شده است. این گروه دارای طبقات ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه می باشند. طراحی قاب های مورد مطالعه طبق آیین نامه فولاد ایران، اروپا و ژاپن صورت گرفته است. تعداد دهانه ها برای همه قاب ها یکسان و برابر ۳ دهانه می باشد. طول دهانه ها ۵ متر و عرض بارگیر نیز ۵ متر در نظر گرفته شده است. ارتفاع طبقات ساختمان برابر ۳/۲ متر انتخاب شده است. برای بارگذاری ثقلی نمونه ها از بارهای رایج در عمل استفاده شده است و برای بارگذاری جانبی سازه های این مطالعه از استاندارد ۲۸۰۰ ایران و آیین نامه لرزه ای BCJ ژاپن و آیین نامه EC8 اروپا استفاده شده است. سازه های مورد مطالعه در این بررسی از نوع ساختمانهای منظم می باشند و چون ارتفاع قاب های مورد نظر کمتر از محدودیت اشاره شده در هر سه آیین نامه است، سازه های قابی شکل موجود را می توان به روش استاتیکی معادل مورد تحلیل قرار داد. سازه های مذکور هر کدام طبق بارگذاری اشاره شده مورد تحلیل قرار گرفته، سپس تک تک سازه ها با استفاده از آیین نامه طراحی سازه های فولادی ایران [2,9]، اروپا [5] و ژاپن [1] طراحی شده اند. برای مدلسازی و طراحی قاب های

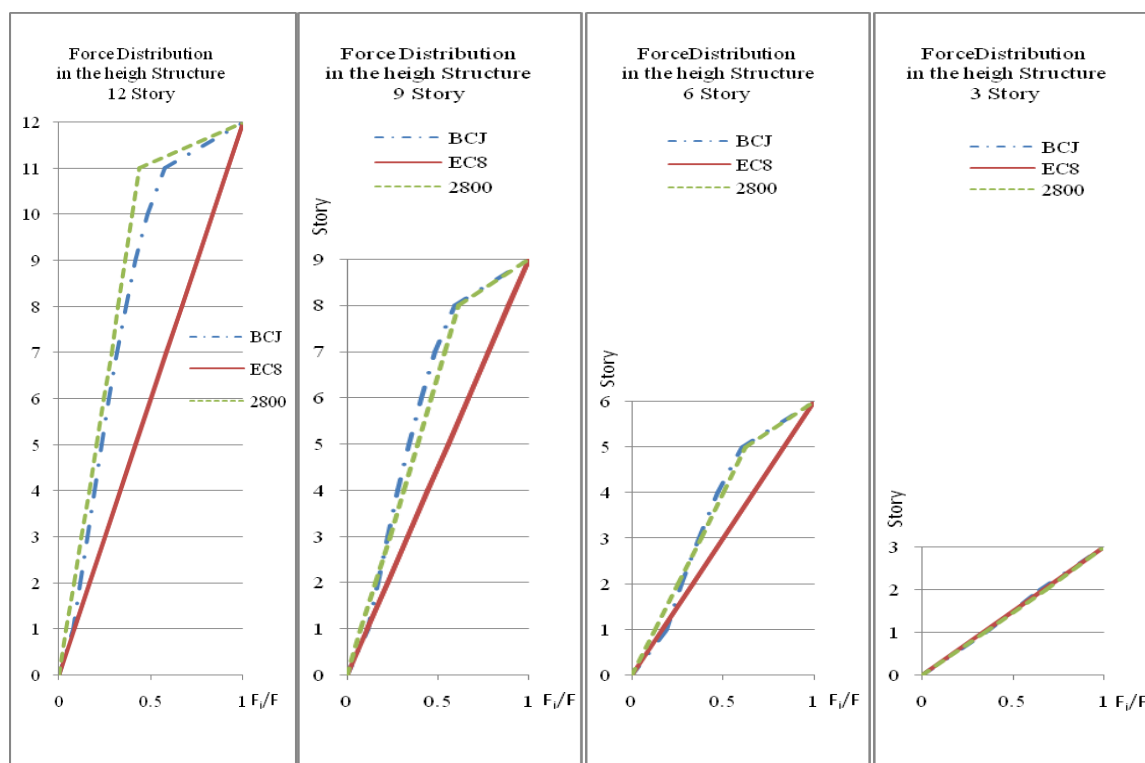


خمش شامل تیر و ستون، از از پروفیل های IPE و IPB استاندارد استفاده شده است. در شکل (۲) برای نمونه نتایج طراحی سازه ۶ طبقه تحت سه آیین نامه آورده شده است.

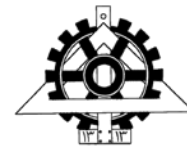
IPE360			IPE330			IPE360		
HE220B	IPE500	HE220B	HE220B	IPE360	HE220B	HE220B	IPE400	HE220B
HE280B	IPE500	HE280B	HE280B	IPE400	HE280B	HE280B	IPE500	HE280B
HE300B	IPE550	HE300B	HE280B	IPE500	HE400B	HE400B	IPE500	HE400B
HE300B	IPE550	HE300B	HE300B	IPE500	HE450B	HE300B	IPE500	HE400B
HE360B	IPE400	HE360B	HE360B	IPE500	HE450B	HE500B	IPE500	HE500B
HE450B	IPE400	HE450B	HE450B	IPE500	HE450B	HE600B	IPE500	HE600B

شکل ۲: مدل تحلیلی و نتایج طراحی سازه ۶ طبقه آیین نامه EC8, BCI و ۲۸۰۰ (به ترتیب از راست به چپ)

برای چهار سازه ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با توزیع جرم متقارن، توزیع نیرو در ارتفاع سه آیین نامه به صورت شکل های زیر بدست آمده است.



شکل ۳: توزیع نیروی افقی زلزله در سه آیین نامه ۲۸۰۰، BCI و EC8 برای سازه ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه

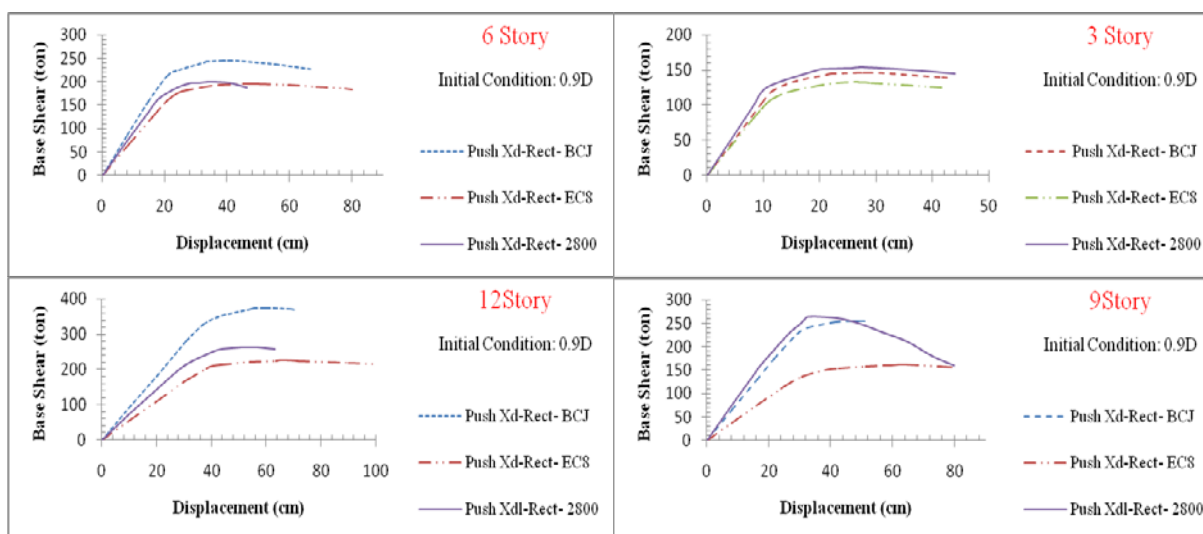


همان گونه که مشاهده می شود EC8 به غیر از سازه هایی که دارای پریود بزرگ می باشند (بزرگتر از 2.0 sec) و یا بی نظمی قائم دارند، اثرات مودهای بالاتر را در نظر نمی گیرد. در این حالات، این آئین نامه تحلیل مودال را لازم و ضروری می داند. در آئین نامه BCJ تاثیر ضریب توزیع A_i که اثرات مود بالاتر را در نظر می گیرد مشهود است. در آئین نامه ۲۸۰۰ ایران برای سازه ۳ طبقه که پریود اساسی سازه کمتر از ۰/۷ می باشد توزیع نیرو به صورت مثلی بوده و با افزایش پریود سازه (سازه های ۶ طبقه به بالا) تاثیر نیروی شلاقی اعمال شده به وضوح دیده می شود.

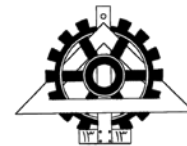
نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی و بررسی منحنی های ظرفیت و تغییر مکان سازه ها

سازه های طراحی شده در نرم افزار Sap 2000 به روش تحلیل استاتیکی غیرخطی و با استفاده از دستورالعمل FEMA-356 و ATC-40 به صورت غیر خطی آنالیز شده اند و نتایج در ادامه آورده می شوند. با توجه به مقدار برش پایه و تغییر مکان در هر مرحله از تحلیل استاتیکی غیرخطی منحنی ظرفیت (منحنی برش پایه-تغییر مکان نقطه کنترل) برای سازه های مورد بررسی تحت الگوهای مختلف توزیع بار جانبی رسم گردیده و جهت اختصار و مقایسه فقط منحنی ظرفیت سازه های طراحی شده با آئین نامه های مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. منحنی ظرفیت هر سازه در موارد زیر رسم گردیده است:

- منحنی ظرفیت با الگوی بار متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی، با ۰/۹ بار مرده. (Push X_d -Spec)
 - منحنی ظرفیت با الگوی بار توزیع یکنواخت و در ترکیب با ۰/۹ بار مرده. (Push X_d -Rectangular)
- در آنالیز Pushover بار جانبی ناشی از زلزله به تدریج و بصورت فزاینده تحت الگوی بار مشخص به سازه اعمال می شود تا آنجا که تغییر مکان نقطه کنترل تحت اثر بار جانبی به حد تغییر مکان هدف برسد در این نقطه سطوح عملکرد مفصل ها مورد بررسی قرار می گیرد. برای نمونه در جداول (۲) تعداد مفصل ها در هر سطح عملکرد برای همه حالت های الگوی بار برای سازه ۶ طبقه آورده شده است.



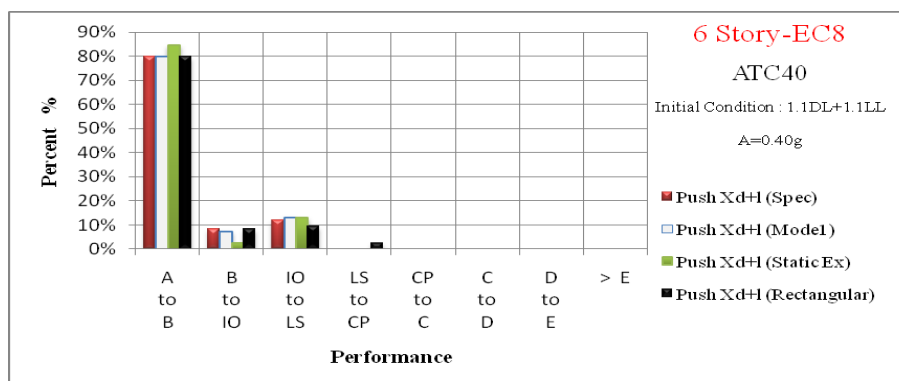
شکل ۴: مقایسه منحنی ظرفیت سازه های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه آئین نامه ۲۸۰۰، BCJ و EC8



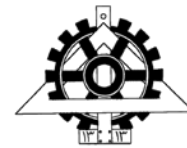
جدول ۲: تعداد مفاصل در هر سطح عملکرد برای سازه ۶ طبقه در آئین نامه ۲۸۰۰، EC8 و BCJ

6 Story - 2800	A = 0.40g (10% - 50y)										
	ATC 40		A to B	B to IO	IO to LS	LS to CP	CP to C	C to D	D to E	Beyond E	Total
	Base shear(ton)	d _{target} (cm)									
Push X _D (Static Ex)	169.29	28.8	67	1	13	2	0	1	0	0	84
Push X _{D+L} (Static Ex)	167.16	28.7	66	2	10	3	0	3	0	0	84
Push X _D (Rectangular)	186.95	24.2	68	2	10	3	0	1	0	0	84
Push X _{D+L} (Rectangular)	183.82	24.0	70	1	6	4	0	3	0	0	84
6 Story - BCJ	A = 0.40g (10% - 50y)										
	ATC 40		A to B	B to IO	IO to LS	LS to CP	CP to C	C to D	D to E	Beyond E	Total
	Base shear(ton)	d _{target} (cm)									
Push X _D (Static Ex)	183.15	27.7	58	8	18	0	0	0	0	0	84
Push X _{D+L} (Static Ex)	182.40	27.7	60	3	20	1	0	0	0	0	84
Push X _D (Rectangular)	219.10	22.5	65	2	17	0	0	0	0	0	84
Push X _{D+L} (Rectangular)	218.60	22.5	65	3	16	0	0	0	0	0	84
6 Story - EC8	A = 0.40g (10% - 50y)										
	ATC 40		A to B	B to IO	IO to LS	LS to CP	CP to C	C to D	D to E	Beyond E	Total
	Base shear(ton)	d _{target} (cm)									
Push X _D (Static Ex)	136.83	26.4	69	5	10	0	0	0	0	0	84
Push X _{D+L} (Static Ex)	134.56	26.2	71	2	11	0	0	0	0	0	84
Push X _D (Rectangular)	168.80	22.7	69	9	6	0	0	0	0	0	84
Push X _{D+L} (Rectangular)	165.90	22.6	67	7	8	2	0	0	0	0	84

برای درک بهتر وضعیت مفاصل در سه آیین نامه، نمودارهای ستونی زیر که درصدی از کل مفاصل سازه در یک محدوده عملکردی در سازه ۶ طبقه برای الگوهای مختلف توزیع بار برای آئین نامه EC8 را نشان می دهند آورده شده اند. به عبارت دیگر محور قائم این نمودارهای ستونی نشان دهنده درصدی است که از تقسیم تعداد مفاصلی که در یک محدوده عملکردی قرار دارند بر تعداد کل مفصل ها بدست آمده است.



شکل ۵: وضعیت مفاصل در الگوهای مختلف بار، برای سازه ۶ طبقه در آئین نامه ۲۸۰۰، EC8 و BCJ



نتیجه گیری

- از بین هر سه آیین نامه، آیین نامه ۲۸۰۰ ایران نیروی طراحی لرزه ای سازه های بلند پریود را در سطح نسبتاً زیادی در نظر می گیرد.
- جابجایی تسلیم برای سازه های طراحی شده به کمک هر سه آیین نامه در محدوده های پریودی مختلف (کوتاه، متوسط و بلند) همخوانی نسبتاً زیادی با هم دارند.
- به لحاظ مقاومتی، مقاومت کلی سازه های پریود کوتاه و متوسط تحت هر سه آیین نامه با هم برابری می کنند. این در حالی است که اختلاف مقاومتی برای سازه های بلند بیشتر شده که کاملاً مرتبط با اختلاف عرض های طیفی در محدوده بلند پریود است.
- به لحاظ پایداری کلی سازه ها، به نظر می رسد که سازه های طراحی شده با آیین نامه EC8 رفتار بسیار مناسب و یکنواختی در کلیه مراحل تغییر شکلی سازه از جمله قبل از تسلیم، تسلیم و بعد از تسلیم از خود نشان می دهد. به گونه ای که حتی در مراحل نهایی رفتار سازه، پایداری کاملاً مناسبی بدون ایجاد سختی منفی در سازه دیده می شود. چنین شرایطی مستقیماً به نحوه توزیع مقاومت در سازه (و نه مقادیر مقاومت مطلق سازه) مربوط می شود.
- ایجاد سختی منفی در مراحل نهایی در سازه های طراحی شده به کمک استاندارد ۲۸۰۰ نگران کننده است. آنچه که در بررسی منحنی ها دیده می شود مؤید این مطلب است که گرچه تراز مقاومتی سازه های طراحی شده به روش استاندارد ۲۸۰۰ نسبتاً بالا می باشد، اما در عین حال توزیع مقاومت در ارتفاع سازه به گونه ای است که امکان ایجاد یک رفتار کاملاً یکنواخت و مناسب را در کلیه مراحل رفتاری فراهم نمی آورد. پایداری در آیین نامه ژاپن نیز مناسب بوده و به خوبی از بررسی نتایج دیده می شود.
- قابهای خمشی فولادی طراحی شده با آیین نامه ۲۸۰۰ در این تحقیق، عموماً سطح عملکرد ایمنی جانی براساس ATC-40 را تامین نمی کند ولی قابهای خمشی فولادی طراحی شده با آیین نامه BCJ و EC8 عموماً سطح عملکرد ایمنی جانی براساس ATC-40 را تامین می کند.

مراجع

1. AIJ. Design standard for steel structures. Tokyo: Architectural Institute of Japan; 1973 [in Japanese].
2. AISC (1989) "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings" AISC, Inc., Chicago.
3. ATC 40, 1996, Seismic evaluation and retrofit of steel buildings, ATC 40, Redwood City, CA.
4. BCJ. Structural provisions for building structures. 1997 edition Tokyo: Building Center of Japan; 1997
5. CEN. EuroCode 8: Final draft of EuroCode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Bruxelles: European Committee for Standardization
6. FEMA 356, 2002, Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
7. Performance-based seismic design concepts and implementation. In: Proceedings of an international workshop. PEER Report 2004/15. Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center; 2004.

۸. آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰-۸۴، ویرایش سوم.

۹. طرح و اجرای ساختمان های فلزی. (مبحث دهم مقررات ملی ساختمان)