

روشی برای همگرایی نتایج طراحی ویرایش ۴ استاندارد ۲۸۰۰ و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای بر پایه اصلاح ضریب رفتار

فرهاد بهنام فر

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
farhad@cc.iut.ac.ir

حسین دستان میرک

کارشناس ارشد مهندسی زلزله، تهران، ایران
hosein.dastan@yahoo.com

کلید واژه‌ها: استاندارد ۲۸۰۰، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای، ضریب رفتار، تحلیل دینامیکی غیر خطی

چکیده

روشی برای اصلاح طراحی سازه‌های مقاوم به زلزله طبق استاندارد ۲۸۰۰ طوریکه تأمین رفتار موردنظر آنها طبق تحلیل دقیق دینامیکی غیرخطی و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ممکن باشد ارائه می‌گردد. در این روش، به سادگی مقادیر ضریب رفتار طوری اصلاح می‌شود که میانگین واکنش غیرخطی ساختمان طراحی شده، سطح عملکرد ایمنی جانی را در همه اعضا برآورده سازد. ساختمانهای ۲ تا ۱۰ طبقه قاب خمشی در نظر گرفته شده و طراحی آنها طبق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ انجام می‌گردد. سپس این ساختمانها به صورت غیر خطی در نرم افزار Opensees مدل سازی شده و تحت یک مجموعه ۱۰ تایی از رکوردهای مقیاس شده مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار داده می‌شوند. در نتیجه تحلیل، سازه با استفاده از دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ارزیابی می‌گردد. با توجه به پاسخگو نبودن برخی از اعضای طراحی سازه مجدداً با ضریب رفتار کوچکتر تکرار می‌شود تا پس از چند بار تکرار نتیجه مطلوب حاصل گردد. یک روال تحلیلی بر مبنای اصول تحلیل غیر خطی نیز برای تخمین ضریب رفتار بدون نیاز به تکرار چندباره محاسبات ارائه می‌گردد. در نهایت مقادیر ضرایب رفتار اصلاح شده برای قابهای خمشی پیشنهاد می‌شود.

مقدمه

دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای (دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای، ۱۳۹۲) برای اولین بار در کشور ضوابط تحلیل و ارزیابی دینامیکی غیرخطی را ارائه کرد که دقیق‌ترین روش تحلیلی، در صورت استفاده از شتاب نگاشت‌های مناسب، به شمار می‌رود. از سوی دیگر، طراحی ساختمانهای جدید در کشور از سال ۱۳۶۷، مقارن با انتشار اولین ویرایش آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰، ۱۳۹۳)، طبق این استاندارد انجام می‌گیرد. از زمان انتشار دستورالعمل همواره این سؤال مطرح بوده است که آیا بین دستورالعمل و استاندارد ۲۸۰۰ هماهنگی وجود دارد؟ به عبارت دیگر، ساختمانهایی که طبق استاندارد طراحی شده‌اند آیا طبق دستورالعمل، که مبنای رسمی ارزیابی طراحی ساختمانهاست، جوابگو خواهند بود؟

اصولاً طراحان سازه از دو معیار مقاومت و سختی در طراحی استفاده می‌نمایند به طوریکه ابتدا نیروهای داخلی طراحی سازه از تحلیل آن به دست آمده و معیار مقاومت با انتخاب مقاطع مناسب تأمین می‌گردد. سپس تغییر مکان نسبی طبقات برای کنترل غیر مستقیم ظرفیت شکل پذیری سازه کنترل شده و در صورت نیاز طراحی اعضا اصلاح می‌شود. در مقاله حاضر، روشی برای اصلاح مرحله اصلی طراحی (معیار مقاومت) بر اساس اصلاح ضریب رفتار آیین نامه‌ای که در استاندارد ۲۸۰۰ ارائه شده است، ارائه می‌گردد. در این روش با بسط روابط ساده، مبتنی بر اصول تحلیل غیرخطی، ضریب رفتار لازم برای تأمین سطح عملکرد موردنظر به سادگی تخمین زده می‌شود. سپس نتیجه این تخمین با انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی تطبیق می‌گردد و در نهایت ضرایب رفتار اصلاح شده برای کاربردهای آئین نامه‌ای و طراحی حاصل می‌شود.



سازه های مورد بررسی

برای محاسبه ضرایب رفتار مناسب تعدادی ساختمان فولادی با قاب خمشی متوسط در نظر گرفته می شود. این ساختمان ها ۵ عدد با تعداد طبقات ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه، سه دهانه در هر سمت، با طول هر دهانه مساوی ۵ متر، ارتفاع کف تا کف ۳ متر، کاربری مسکونی، و واقع بر زمین نوع II در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد در نظر گرفته می شوند. ضریب رفتار در تراز نهایی طبق ویرایش (۴) استاندارد ۲۸۰۰، برابر ۵ می باشد. پس از طراحی این ساختمانها طبق مباحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان با استفاده از مقطع IPE برای تیرها و مقطع جعبه ای برای ستونها، مقاطع اعضای ساختمانها به صورت ذکر شده در جدول (۱) بدست می آید.

جدول ۱: مقاطع اعضای سازه های ۲، ۴ و ۶ طبقه.

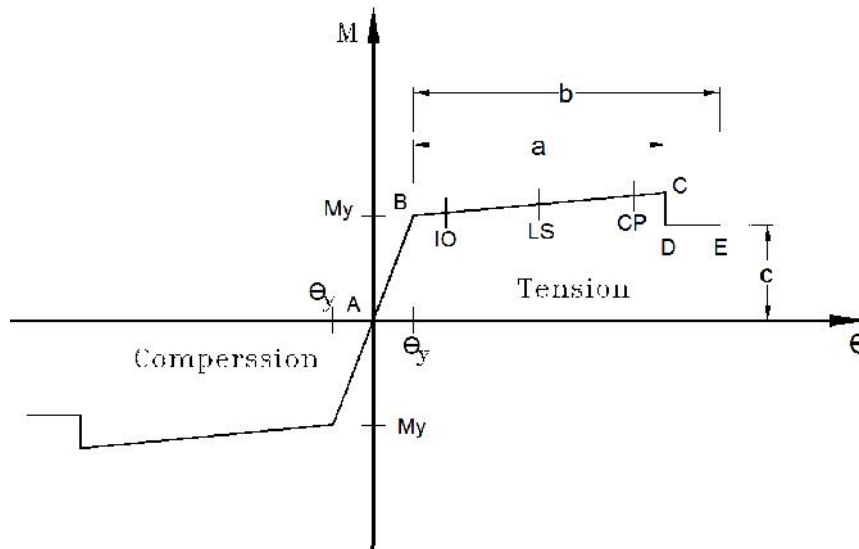
طبقه	دو طبقه		چهار طبقه		طبقه	شش طبقه	
	مقاطع تیرها	مقاطع ستونها	مقاطع تیرها	مقاطع ستونها		مقاطع تیرها	مقاطع ستونها
1-2	IPE270 IPE270	BOX 160*12.5 BOX 160*12.5	IPE360 IPE360	BOX 200*20 BOX 180*20	1-3	IPE 360 IPE 360 IPE 360	BOX 240*20 BOX 220*20 BOX 220*16
3-4	-	-	IPE360 IPE270	BOX 180*12.5 BOX 160*16	3-6	IPE 360 IPE 300 IPE 270	BOX 200*16 BOX 180*16 BOX 180*12.5

جدول ۲: مقاطع اعضای سازه های ۶ و ۸ طبقه.

طبقه	هشت طبقه		طبقه	شش طبقه	
	مقاطع تیرها	مقاطع ستونها		مقاطع تیرها	مقاطع ستونها
1-3	IPE400 IPE400 IPE400	BOX 300*20 BOX 260*16 BOX 240*16	1-4	IPE 450 IPE 450 IPE 400 IPE 400	BOX 320*17.5 BOX 300*16 BOX 280*16 BOX 240*16
4-6	IPE400 IPE360 IPE360	BOX 220*16 BOX 200*16 BOX 180*25	5-7	IPE 400 IPE 360 IPE 360	BOX 240*16 BOX 220*16 BOX 200*16
7-8	IPE300 IPE270	BOX 160*16 BOX 160*12.5	8-10	IPE 330 IPE 300 IPE 270	BOX 200*16 BOX 180*16 BOX 160*16

مدلسازی غیر خطی ساختمان ها

پس از طراحی ساختمانها، لازم است به منظور ارزیابی غیرخطی این سازه ها به طور مناسبی مدل سازی شوند. برای مدل سازی و تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه ها در این تحقیق از نرم افزار OpenSEES استفاده می شود (OpenSEES, 2014). در این نرم افزار برای مدل سازی غیرخطی اعضا می توان از روشهای مختلفی استفاده نمود. متداول ترین روش مورد استفاده که در عین حال برای ارزیابی طبق دستورالعمل بهسازی هم مناسبیت بیشتری دارد، تعریف مفاصل خمیری متمرکز در دو انتهای اعضاست. در این روش فرض می شود رفتار غیرخطی به صورت خمشی و متمرکز در انتهای عضو روی می دهد. قانون رفتاری غیرخطی این مفصل به صورت منحنی $M - \theta$ است که در شکل (۱) نشان داده شده است. در شکل ۱، نقطه B نظیر تسلیم و C نظیر کاهش مقاومت شدید آن به دلیل ناپایداریهای موضعی و نهایتاً نقطه E نقطه انهدام عضو می باشد که محل هر یک با پارامترهای a, b و c در شکل مشخص شده است. منحنی رفتاری شکل ۱ در واقع پوش حلقه های هیستریزس $M - \theta$ است که با توجه به تقارن مقاطع اعضا، در نواحی ۱ و ۳ مثلثاتی (مربوط به لنگرهای مثبت و منفی) یکسان می باشد با این فرض، می توان از شکل ۱ در تحلیل های رفت و برگشتی این تحقیق نیز استفاده نمود.



شکل ۱: منحنی $M - \theta$ برای فنر غیرخطی متمرکز در انتهای عضو

زلزله‌های منتخب

استفاده از شتاب نگاشت‌های مناسب به منظور به حداقل رساندن پراکندگی پاسخ‌های دینامیکی سازه بین زلزله‌های مختلف از اهمیت ضروریات یک تحلیل دینامیکی غیرخطی می‌باشد. در این تحقیق، از بانک اطلاعاتی PEER NGA (PEER, 2014)، استفاده می‌گردد. این منبع، یکی از کاملترین و به روزترین بانکهای اطلاعاتی زلزله‌ها در دنیاست که توسط دانشگاه برکلی در کالیفرنیا اداره می‌گردد. با رجوع به این بانک، رکوردهای زلزله این تحقیق با مشخصات زیر انتخاب می‌شود:

$$375 \leq V_s \leq 750 \text{ m/s}, 20 \leq R \leq 50 \text{ km}, 5 \leq M \leq 7 \text{ (خاک نوع II)}$$

در این مرحله ۴۸ رکورد زلزله با مشخصات فوق در بانک اطلاعاتی یافت می‌شود. سپس با استفاده از روش طیف میانگین شرطی (CMS) (Baker, 2011)، برای هر ساختمان ۱۰ رکورد با مشخصات مناسب برای تحلیل دینامیکی غیرخطی همان ساختمان از بین ۴۸ رکورد فوق انتخاب می‌گردد.

به طور خلاصه، در روش CMS، با توجه به اینکه هیچ زلزله‌ای به تنهایی نمی‌تواند تمام محدوده طیف طرح را پوشش دهد، یک طیف هدف ساخته می‌شود که اولاً در یک پریود خاص مقدار آن با طیف طرح یکی است؛ و ثانیاً در زمان تناوبهای دیگر احتمال فراگذشت کما بیش یکسانی داشته و اغلب در زیر طیف طرح قرار می‌گیرد. پس از ساخته شدن طیف هدف یا CMS، طیف پاسخ زلزله موردنظر در محدوده 0.2T تا 1.5T با طیف مقایسه شده و زلزله‌های با شباهت بیشتر به CMS انتخاب می‌گردند. T زمان تناوب اصلی ساختمان موردنظر است. در این روش میزان تطابق طیف پاسخ هر زلزله با طیف میانگین شرطی بررسی می‌گردد. به طور عددی، میزان تطابق با پارامترهای ضریب مجموع مربعات خطاها (SSE) و ضریب مقیاس (SF) تعیین می‌شود که از روابط (۱) و (۲) بدست می‌آیند.

$$SSE = \sum_{j=1}^n (\ln Sa(T_j) - \ln Sa_{CMS}(T_j))^2 \quad (1)$$

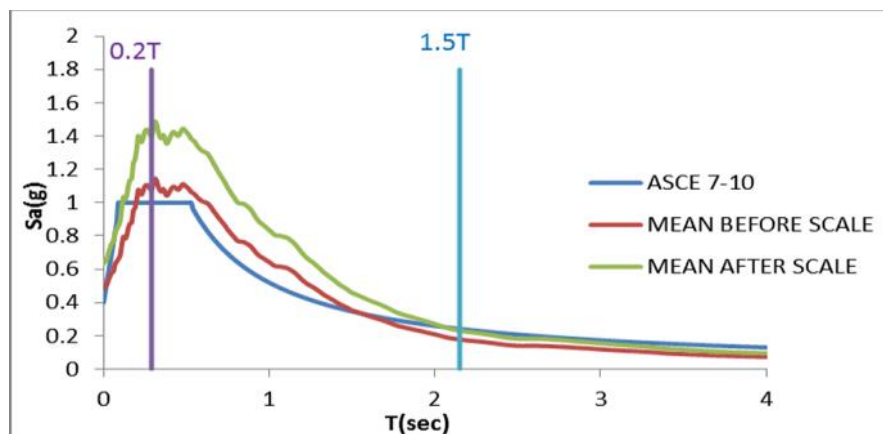
$$Scale Factor = \frac{\sum_{j=1}^n Sa_{CMS}(T_j)}{\sum_{j=1}^n Sa(T_j)} \quad (2)$$

در رابطه فوق $Sa_{CMS}(T_j)$ و $Sa(T_j)$ به ترتیب شتابهای طیفی در طیف میانگین شرطی و رکورد مورد نظر در زمان تناوب T_j هستند. به این ترتیب هر چه SSE به صفر و SF به یک نزدیکتر باشد، رکورد مربوطه مناسبتر خواهد بود (بهنام فر و همکاران، ۱۳۹۲). زلزله‌های منتخب برای هر ساختمان باید طوری مقیاس شوند که طیف میانگین آنها در محدوده 0.2T تا 1.5T پایین‌تر از طیف طرح قرار نگیرد (ASCE-7, 2010). ۱۰ زلزله منتخب برای هر ساختمان در جدول ۲ ذکر شده‌اند.

جدول ۳: زلزله‌های منتخب برای هر ساختمان و ضرایب مقیاس آنها.

ردیف	سازه ۲ طبقه		سازه ۴ طبقه		سازه ۶ طبقه		سازه ۸ طبقه		سازه ۱۰ طبقه	
	NGA	S.F	NGA	S.F	NGA	S.F	NGA	S.F	NGA	S.F
۱	0265	1.152	0265	1.183	0265	1.222	0265	1.344	0755	1.379
۲	0755	1.152	0755	1.183	0755	1.222	0755	1.344	0787	1.379
۳	0787	1.152	0787	1.183	0787	1.222	0787	1.344	0864	1.379
۴	0864	1.152	0864	1.183	0864	1.222	0864	1.344	0952	1.379
۵	1010	1.152	1010	1.183	1010	1.222	0952	1.344	1198	1.379
۶	1198	1.152	1198	1.183	1198	1.222	1010	1.344	1202	1.379
۷	1506	1.152	1487	1.183	1787	1.222	1198	1.344	1485	1.379
۸	1487	1.152	1506	1.183	1487	1.222	1485	1.344	1487	1.379
۹	1787	1.152	1787	1.183	1506	1.222	1487	1.344	1787	1.379
۱۰	2627	1.152	2627	1.183	2627	1.222	2627	1.344	2627	1.379

به طور مثال، طیف میانگین زلزله‌های منتخب برای ساختمان ۱۰ طبقه قبل و بعد از مقیاس کردن به همراه طیف طرح در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- طیف پاسخ میانگین، زلزله‌های منتخب برای ساختمان ۱۰ طبقه به همراه طیف طرح، قبل و بعد از مقیاس کردن.

تحلیل دینامیکی غیر خطی

با استفاده از ده زلزله معرفی شده در بخش ۳، ساختمانهایی که در بخش ۲ ذکر شدند مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار داده می‌شوند. در نتیجه این تحلیل، میزان چرخش مفاصل خمیری هر سازه تحت هر زلزله تعیین می‌گردد. با تکرار تحلیل برای همه زلزله‌ها مقادیر متفاوتی برای چرخش هر مفصل در هر سازه به دست می‌آید. با توجه به اینکه هر گاه تحلیل دینامیکی حداقل تحت هفت زلزله انجام شود می‌توان از میانگین نتایج استفاده کرد (دستورالعمل بهسازی لرزه ای، ۱۳۹۲)، از مقادیر مطلق چرخش هر مفصل در زلزله‌ها میانگین گیری شده و سطح عملکرد آن تعیین می‌گردد. چون حجم محاسبات عددی بسیار زیاد بوده و خارج از حوصله این مقاله می‌باشد، روال مطالعات به طور نمونه در ادامه برای ساختمان ۱۰ طبقه ذکر می‌گردد.

در جدول ۴ نتایج میانگین حداکثر واکنش‌های سازه شامل تغییر مکان جانبی و نسبی و برش طبقات و میزان چرخش مفاصل خمیری سازه ۱۰ طبقه که بین ۱۰ زلزله مختلف محاسبه شده ذکر گردیده است. با توجه به سه دهانه بودن سازه، در هر طبقه سه تیر و چهار ستون موجود می‌باشد. در جدول ۵ سطوح عملکرد متناظر با جدول ۴ ذکر شده است.

جدول ۴: میانگین حداکثر واکنش‌های سازه ۱۰ طبقه تحت ۱۰ زلزله.

Floor	Dis	Drift	Shear	Beam						Column							
				1		2		3		1		2		3		4	
				ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای
1	0.011	0.011	62.722	0.000	0.000	-	-	-	0.000	0.002	-	0.000	-	0.002	-	-	0.002
2	0.031	0.020	59.842	0.001	0.000	-	0.000	0.000	0.002	-	-	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
3	0.063	0.032	57.038	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	-	-	0.002	-	0.002	-	0.000	-
4	0.098	0.035	53.020	0.004	0.001	0.001	0.001	0.000	0.005	-	-	0.001	0.004	0.001	0.003	-	-
5	0.136	0.038	48.420	0.004	-	-	0.000	-	0.004	-	-	0.003	0.004	0.004	0.004	-	-
6	0.181	0.045	43.795	0.006	0.000	-	0.000	0.002	0.006	0.000	-	0.005	0.004	0.077	0.119	0.000	-
7	0.235	0.054	41.799	0.004	-	-	-	0.001	0.004	-	0.001	0.006	0.006	0.012	0.007	0.000	0.001
8	0.282	0.047	36.484	0.004	0.001	0.000	0.001	0.000	0.006	-	-	0.004	0.003	0.004	0.003	-	-
9	0.329	0.047	29.431	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.000	-	0.003	0.003	0.004	0.003	0.000	-
10	0.365	0.036	18.520	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	0.001	0.000	0.001	-	-

جدول ۵: سطوح عملکرد مفاصل خمیری اعضای سازه ۱۰ طبقه در میانگین زلزله‌ها.

Floor	Beam						Column							
	1		2		3		1		2		3		4	
	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای
1	B	B	-	-	-	B	IO	-	B	-	IO	-	-	IO
2	B	B	-	B	B	IO	-	-	B	B	B	B	-	-
3	IO	IO	IO	IO	IO	IO	-	-	IO	LS	IO	-	B	-
4	IO	B	B	B	B	IO	-	-	B	IO	B	IO	-	-
5	IO	-	-	B	-	IO	-	-	IO	IO	IO	IO	-	-
6	IO	B	-	B	IO	IO	B	-	IO	IO	CP	C	B	-
7	IO	-	-	-	B	IO	-	B	IO	IO	LS	IO	B	B
8	IO	B	B	B	B	IO	-	-	IO	IO	IO	IO	-	-
9	IO	B	B	B	B	IO	B	-	IO	IO	IO	IO	B	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	B	B	B	B	-	-

همچنین در جدول ۶، سطوح عملکرد جدید مفاصل خمیری پس از طراحی مجدد سازه با ضریب رفتار ۴.۵ نشان داده شده است.



جدول ۶: سطوح عملکرد جدید مفاصل خمیری سازه ۱۰ طبقه پس از طراحی با $R=4.5$

Floor	Beam						Column							
	1		2		3		1		2		3		4	
	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای	ابتدا	انتهای
1	B	B	-	-	-	B	B	-	B	-	B	-	B	-
2	IO	B	-	B	B	IO	-	-	B	B	B	B	-	-
3	IO	IO	IO	IO	IO	B	-	-	LS	LS	IO	B	B	-
4	IO	IO	IO	IO	IO	IO	-	-	B	B	B	B	-	-
5	IO	-	-	B	-	B	-	-	B	IO	B	IO	-	-
6	IO	B	B	B	B	IO	B	-	IO	IO	LS	LS	B	-
7	IO	B	-	-	-	IO	-	B	IO	IO	IO	IO	-	B
8	IO	B	B	B	B	IO	-	-	IO	IO	IO	IO	-	-
9	IO	B	B	B	B	IO	-	-	IO	IO	IO	IO	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	B	B	B	B	-	-

بررسی نتایج

همانگونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، برخی از مفاصل خمیری سطح عملکرد ایمنی جانی را برآورده نمی‌کنند بطوریکه مفصل پلاستیک با چرخش غیرمجاز در بعضی از اعضای ساختمان‌های مورد بررسی تشکیل شده است. به نظر می‌رسد روش پیشنهادی برای رفع این مشکل اصلاح ضریب رفتار به شرح زیر است.

فرض می‌شود که طراحی اولیه سازه با استفاده از ضریب رفتار R' به جای R اصلاح شده است. از سوی دیگر، ضریب رفتار در حالت نهایی برابر است با:

$$R = \Omega_0 R_{_} \quad , \quad R' = \Omega_0 R'_{_} \quad (۳)$$

در رابطه (۳)، Ω_0 ضریب اضافه مقاومت وابسته به نوع سیستم باربر جانبی است که با فرض استفاده از یک سیستم در هر دو حالت با هم برابر است. $R_{_}$ ضریب رفتار در اثر شکل پذیری مورد نیاز سیستم می‌باشد. در نتیجه:

$$\frac{R'}{R} = \frac{R'_{_}}{R_{_}} \quad (۴)$$

توجه شود که رابطه (۴) در هر دو حالتی که ضرایب رفتار سمت چپ تساوی در تراز مقاومت نهایی یا تنش مجاز تعریف شده باشند برقرار است؛ یعنی این رابطه نسبت ضرایب رفتار را در هر دو حالت به دست می‌دهد.

با استفاده از رابطه برش پایه استاندارد ۲۸۰۰ و با فرض اینکه سطح زیر منحنی رفتاری سازه در هر دو حالت طراحی فوق تقریباً یکسان باشد، می‌توان نشان داد (بهنام فر و دستان، ۱۳۹۳):

$$\frac{R'}{R_{_}} \cong \frac{u'_u}{u_u} \frac{S'_a}{S_a} \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، $\frac{u'''}{u''}$ مساوی نسبت حداکثر تغییر مکان قابل قبول در سطح عملکرد موردنظر به حداکثر تغییر مکان موجود (در متوسط

نتایج زلزله‌ها) در بام سازه است. از آن جایی که تغییر مکان جانبی بام مساوی جمع تغییر مکان‌های نسبی (دریفت) طبقه بوده و دریفت هر طبقه مساوی حاصلضرب ارتفاع طبقه در بیشترین میزان چرخش مفصل خمیری در طبقه می‌باشد، u'' با تقریب خوب مساوی دریفت متناسب با حداکثر چرخش قابل قبول در مفصل خمیری بحرانی کل سازه در متوسط نتایج زلزله‌ها خواهد بود. مفصل خمیری بحرانی در اینجا مفصلی است که از همهٔ مفاصل سازه در میانگین زلزله‌ها بیشتر چرخیده باشد. از جدول ۴ مفصل بحرانی (مفصلی که به بیشترین مقدار از حد قابل قبول گذشته است) تعیین شده و از نسبت چرخش مجاز به چرخش آن به جای جمله $\frac{u'''}{u''}$ در رابطه (۵) استفاده می‌گردد تا ضریب رفتار جدید به دست آید. با این ضریب رفتار جدید، سازه مزبور مجدداً طراحی شده و روال فوق از ابتدا عیناً برای آن تکرار می‌گردد. ضریب رفتاری که مجدداً بدست می‌آید با ضریب رفتار محاسبه شده در گام قبل مقایسه می‌شود و در صورت عدم تغییر زیاد، همگرایی و طرح نهایی سازه حاصل می‌گردد. این ضریب رفتار به عنوان ضریب رفتار اصلاح شده ذکر خواهد شد. بدین ترتیب مقادیر ضریب رفتار برای ساختمان‌های مورد نظر از روابط (۳ و ۵) محاسبه شده و در جدول ۷ ارائه گردیده است.

جدول ۷: ضرایب رفتار اصلاح شده.

تعداد طبقات	ضریب رفتار آیین نامه	ضریب رفتار جدید	چرخش بحرانی قبل از اصلاح ضریب رفتار	چرخش بحرانی بعد از اصلاح ضریب رفتار
۲	۵	۴.۳	C	IO
۴		۴.۳	C	IO
۶		۴.۴	CP	LS
۸		۴.۶	C	LS
۱۰		۴.۶	C	LS

همانگونه که جدول فوق نشان می‌دهد، لازم است به جای ضریب رفتار آیین‌نامه‌ای که برای قاب‌های فولادی خمشی متوسط بدون توجه به ارتفاع آنها همیشه برابر ۵ در نظر گرفته می‌شود، از ضریب رفتاری برابر ۴.۳ در ساختمان‌های تا شش طبقه و ۴.۶ در ساختمان‌های بلندتر تا ۱۰ طبقه استفاده شود.

خلاصه و نتیجه‌گیری

در این پژوهش نشان داده شد که ساختمان‌های قاب خمشی فولادی متوسط در نواحی کشور با لرزه‌خیزی بسیار زیاد رفتار مناسبی در زلزله ندارند و رفتاری غیرخطی فراتر از حد قابل قبول برای تأمین ایمنی جانی از خود نشان می‌دهند. روشی برای اصلاح طراحی ساختمانها بر اساس تعیین ضریب رفتار اصلاح شده ارائه گردید که کلیت داشته و برای ساختمانها با سیستم‌های باربر مختلف قابل کاربرد می‌باشد. این ضریب رفتار برای ساختمانهای بلندتر بزرگتر بوده و به ضریب رفتار آیین‌نامه‌ای نزدیکتر می‌باشد. بنابراین ساختمانهای فولادی کوتاهتری که طبق ویرایش ۴ استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند نسبت به ساختمانهای بلندتر ایمنی لرزه‌ای کمتری دارند. با طراحی مجدد ساختمانها با ضریب رفتار اصلاح شده نشان داده شد که رفتار لرزه‌ای ساختمانها در این حالت در محدودهٔ ایمن قرار می‌گیرد.

مراجع

- آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (۱۳۹۳)، استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- بهنام فر ف، دستان ح. (۱۳۹۳)، همگراسازی نتایج طراحی استاندارد ۲۸۰۰ و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای بر پایه اصلاح ضریب رفتار، ارائه شده به مجله شریف



- بهنام فر ف، نورایی و، طالبی ولنی م (۱۳۹۲)، روش سه مرحله ای انتخاب شتاب نگاشتهای زلزله برای تحلیل دینامیکی سازه ها، ارائه شده به نشریه علمی و پژوهشی دانشگاه امیرکبیر

- دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود (۱۳۹۲)، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، تجدید نظر اول، نشریه شماره ۳۶۰

ASCE Standard ASCE/SEI 7-10 (2010) Minimum design loads for buildings and other structures, ISBN 978-0-7844-1085-1.

Baker JW (2011) Conditional Mean Spectrum: A tool for ground motion selection, Journal of Structural Engineering, 137(3), 322-331

Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) (2014). Evaluation of Ground Motion Selection and Modification Methods: Predicting Median Interstory Drift Response of Buildings

PEER NGA Strong Motion Database(2010), Available from URL : <http://peer.berkeley.edu/nga>

