

معرفی برنامه تعیین نقطه عملکرد سازه به روش طیف ظرفیت

جواد فهندژ سعدی، کارشناس ارشد سازه

نشانی الکترونیک: javadfs2002@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق سعی شده است برای سهولت تعیین نقطه عملکرد سازه، برنامه‌ی نوشته شده تحت برنامه اکسل به مهندسان معرفی شود؛ زیرا که به کار بردن فرمولها، حدود و شروط ذکر شده در تفسیر دستورالعمل بهسازی جهت تعیین نقطه عملکرد به روش طیف ظرفیت و انجام سعی خطاهای فراوان برای یافتن نقطه عملکرد کاری دشوار، زمان بر و احتمالاً با خطا همراه خواهد بود، لذا کاربران استفاده از روشهای ساده‌تر همچون روش ضرایب که در دستورالعمل بهسازی پیشنهاد شده اما دارای دقت پایین‌تری نسبت به روش طیف ظرفیت می‌باشد را ترجیح می‌دهند. بنابراین می‌توان از این برنامه (به روش طیف ظرفیت) که هم از سرعت بالا و هم دقت بیشتر برخوردار است به جای روش‌های ساده اما کم دقت در تعیین نقطه عملکرد استفاده نمود.

کلید واژه: نقطه عملکرد، طیف ظرفیت، تغییر مکان هدف، بار افزون، نرم‌افزار EXCEL

۱- مقدمه:

کشور ایران بر روی کمربند زلزله آلپ- هیمالیا قرار دارد و در طی سالیان گذشته همواره در معرض زلزله‌های ویران کننده قرار داشته است [۱].

سهم ایران از زلزله‌های دنیا ۱۷٫۶ درصد می‌باشد [۲]، که به علت عدم رعایت ساخت و سازی ایمن و با کیفیت، تلفات و خسارات جانی و مالی فراوانی داشته‌ایم که می‌توان به زلزله‌های اخیر در استان کرمان از جمله منطقه بم در دی ماه ۸۲ و منطقه زرنند در اسفند ماه ۸۳ اشاره کرد.

شرایط طبیعی ایران و نحوه احداث بناهای کشور ایجاب می‌کند مسئله مصون سازی جامعه از هر لحاظ در مقابل آثار زلزله به طور جدی در دستور کار قرار گیرد. نابودی سرمایه‌های ملی و انسانی بر اثر زلزله‌های مخرب لزوم توجه به مقاوم سازی (یا به عبارتی صحیح‌تر بهسازی) سازه‌های موجود در برابر زلزله اجتناب - ناپذیر است.

جدیدترین و معتبرترین منابع جهت انجام ارزیابی کمی و بهسازی، شماره‌های مختلف شبهه آیین نامه‌های ATC^۱ و FEMA^۲ می‌باشند.

^۱ Applied Technology Council

^۲ Federal Emergency Management Agency

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور طی قراردادی در سال ۱۳۷۹ پروژه تدوین دستورالعمل ملی جهت بهسازی ساختمانهای موجود را به پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIIES) واگذار کرد. در تهیه دستورالعمل اصول فلسفه طراحی براساس عملکرد به عنوان چهار چوب کلی کار برگزیده شده است. چهار چوب پیش نویس اولیه دستورالعمل، بر اساس گزارشات FEMA بخصوص FEMA273، FEMA274، FEMA356 و FEMA357 قرار داشت.

۲- روش استاتیکی غیر خطی (NSP)^۳

در شیوه‌های آنالیز استاتیکی غیر خطی، عملکرد سازه فقط در وضعیت حداکثر پاسخ سازه زلزله طرح و ارزیابی می‌گردد. برای رسیدن به این وضعیت، ابتدا برش پایه سازه در برابر جابجایی یک نقطه از سازه در ساختمانها معمولاً بام تعیین می‌گردد. این رابطه بصورت یک منحنی ظاهر می‌گردد که به آن اصطلاحاً منحنی ظرفیت یا منحنی بار افزون (پوش آور - Pushover) گفته می‌شود و آنالیز استاتیکی مربوطه را آنالیز بار افزایش یافته یا آنالیز پوش آور می‌گویند. بعد از بدست آمدن منحنی ظرفیت (منحنی پوش آور) نقطه‌ای بر روی منحنی ظرفیت تعیین می‌گردد که سازگار با جابجایی نیاز زلزله طرح می‌باشد. نقطه مذکور را نقطه عملکرد و جابجایی متناظر با آن را جابجایی نیاز یا جابجایی هدف می‌نامند.

نقطه عملکرد (p.p)^۴ بیانگر شرایطی است که در آن ظرفیت لرزه‌ای سازه برابر با نیاز لرزه‌ای تحمیل شده به سازه تحت یک زمین لرزه مشخص می‌باشد. به عبارت بهتر نقطه عملکرد سازه نقطه توقف سازه در طول منحنی ظرفیت سازه می‌باشد، یعنی اینکه این سازه تحت زلزله طرح یا هر زلزله بکار رفته دارای پاسخی است که نشان دهنده نقطه عملکرد سازه می‌باشد. در شبه‌آئین‌نامه ATC40 سه روش (روش‌های A, B, C که از A تا C از دقت روش کاسته می‌شود) برای تعیین نقطه عملکرد و جابجایی نیاز ارائه شده است. در دستورالعمل بهسازی برای تعیین نقطه عملکرد روش ضرایب ارائه شده است، اما در تفسیر دستورالعمل بهسازی روش طیف ظرفیت (روش A در آئین‌نامه ATC) نیز ارائه شده که دقیق‌تر از روش ضرایب می‌باشد.

۲-۱ - تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی (Pushover Analysis):

روش کنونی طراحی سازه‌ها، بر مبنای طراحی به روش مقاومت است که شامل تخمین برش پایه در سازه و توزیع آن در ارتفاع و تعیین مقاومت مورد نیاز اجزای سازه‌ای در برابر این بار می‌باشد. صرفنظر از کاستیهایی که در این روش وجود دارد، بیان رفتار اجزای سازه‌ای از طریق تک پارامتر مقاومت (مقاومت تسلیم یا مقاومت طراحی بسته به روش طراحی) در بسیاری موارد منطقی به نظر نمی‌رسد. تعیین ظرفیتها بر این اساس، رفتار واقعی سازه را مشخص نمی‌کند؛ زیرا رفتار سازه، ترکیب به هم آمیخته و در هم تنیده اجزای آن است و اجزای سازه هر کدام بسته به کارایی مورد نظر و جنس خود دارای

³ - Non-Linear Static Procedure.

⁴ - Performance Point.

ویژگیهای رفتاری متفاوتی هستند (رفتار هیسترتیک، مقاومت، شکل پذیری، خستگی کم چرخه و...) بدین ترتیب، یافتن روشی هماهنگ با این ویژگیها ضروری می باشد، همانگونه که مد نظر قرار دادن پارامترهای بیان کننده عملکرد و قابلیت سازه اهمیت بسزایی دارد [۳].

آئین نامه های FEMA و ATC روش تحلیل غیر خطی استاتیکی ((Push Over)) را جهت مطالعه رفتار سازه در حوزه رفتار غیر خطی پیشنهاد می کنند، این روش در عین سادگی از دقت بالایی برخوردار است و فرضیات اولیه در محاسبات به راحتی قابل اعمال می باشند [۴].

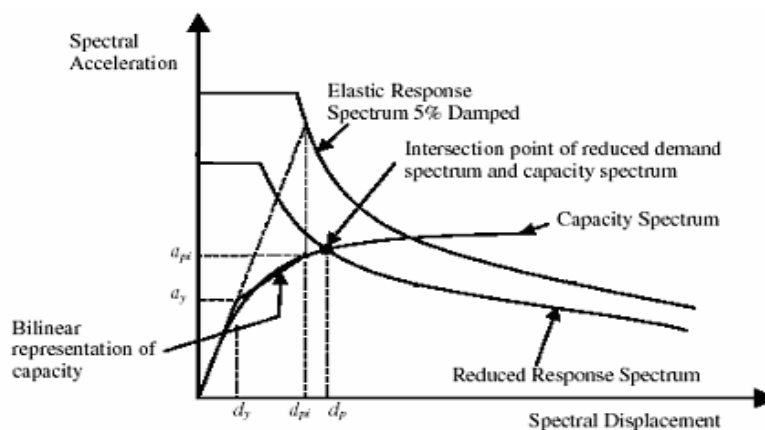
۲-۲ - روش گام به گام تعیین نقطه عملکرد به روش طیف ظرفیت (روش A)

ابتدا طیف ظرفیت و طیف نیاز سازه را بدست می آوریم.

- (گام ۱) نقطه ای بر روی طیف ظرفیت سازه به عنوان نقطه عملکرد سازه حدس می زنیم.
- (گام ۲) بر اساس روابط تفسیر دستورالعمل بهسازی، ضریب میرایی موثر و ضرایب کاهش طیف نیاز با میرایی ۵٪ را بدست می آوریم.
- (گام ۳) پس از بدست آوردن ضرایب SR_A و SR_V طیف نیاز زلزله مربوطه را کاهش می دهیم.
- (گام ۴) محل تلاقی طیف نیاز کاهش یافته با طیف ظرفیت سازه را بدست می آوریم.
- (گام ۵) پس از بدست آوردن نقطه برخورد منحنی نیاز کاهش یافته و منحنی ظرفیت آنرا با نقطه ای که در گام ۱ به عنوان نقطه عملکرد سازه در نظر گرفته ایم مقایسه می کنیم، اگر درصد خطای بدست آمده قابل قبول باشد این نقطه، نقطه عملکرد سازه است. در غیر اینصورت، سعی و خطا ادامه می یابد تا نقطه عملکرد سازه بدست آید [۵].

۳-۲ - درصد خطای قابل قبول در آئین نامه

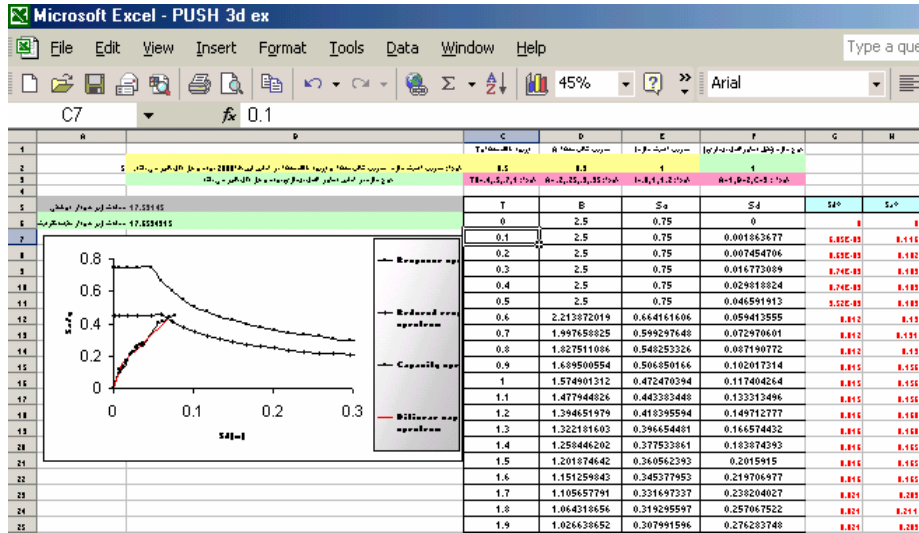
آئین نامه ATC40 درصد خطای مجاز جهت قابل قبول بودن نقطه عملکرد سازه را ۵٪ می داند، یعنی اینکه اگر اختلاف نقطه اولیه حدس زده شده در گام ۱ با نقطه بدست آمده پس از تلاقی منحنی نیاز کاهش یافته با طیف ظرفیت گام ۴ کمتر از ۵٪ باشد، نقطه بدست آمده نقطه عملکرد خواهد بود و گرنه این روند ادامه می یابد [۵].



شکل ۱: طیف نیاز و ظرفیت

۳- معرفی برنامه:

انجام مراحل و گام‌های فوق‌الذکر و استفاده از فرمول‌ها و حدود ذکر شده در تفسیر دستورالعمل بهسازی برای تعیین نقطه عملکرد مشکل و زمان‌بر است و امکان خطا و اشتباه در انجام محاسبات نیز وجود دارد. جهت سهولت برای بدست آوردن نقطه عملکرد، استفاده از برنامه اکسل (Excel) امری اجتناب ناپذیر است. با نوشتن برنامه و وارد کردن فرمولها و شروط (شروط ذکر شده در تفسیر دستورالعمل بهسازی) در برنامه‌ی اکسل تنها با جابجایی دو نقطه می‌توان نقطه عملکرد سازه را بدست آورد.



شکل ۲: نمای کلی از برنامه و پارامترهای نوشته شده در اکسل

این برنامه از چند قسمت تشکیل شده است:

قسمت ۱: قسمتی از برنامه که قابل تغییر به مقادیر آیین نامه ۲۸۰۰ و تفسیر دستورالعمل بهسازی می‌باشند که شامل پریود خاک، ضریب شتاب منطقه، ضریب اهمیت سازه و نوع سازه می‌باشند.

نوع سازه (طبق دستورالعمل بهسازی)	ضریب اهمیت سازه	ضریب شتاب منطقه A	پریود خاک منطقه T0
نوعه : A=1, B=2, C=3	نوعه : I=8, 1, 1, 2	نوعه : A= 2, 25, 3, 35	نوعه : T0= 4, 5, 7, 1

شکل ۳: ضرایب قابل تغییر مطابق آیین نامه مربوطه

قسمت ۲: این قسمت شامل طیف پریود و ضریب بازتاب ساختمان B، T، مطابق آیین نامه ۲۸۰۰، طیف شتاب و جابجایی (نیاز سازه) (Sd, Sa) بدست آمده از ضریب بازتاب و طیف شتاب کاهش یافته که مطابق فرمولها و شروط دستورالعمل و جابجایی طیف ظرفیت دو خطی حاصل می‌شود (جابجایی طیف ظرفیت دو خطی توسط کاربر انجام می‌گیرد).
مقادیر عددی این قسمت متناسب با ورود ضرایب ذکر شده در قسمت ۱ تغییر می‌کنند و نیاز به وارد کردن مقدار و یا دستکاری نمی‌باشد.

T	B	Sa	Sd
0	2.5	0.75	0
0.1	2.5	0.75	0.001863677
0.2	2.5	0.75	0.007454706
0.3	2.5	0.75	0.016773089
0.4	2.5	0.75	0.029818824
0.5	2.5	0.75	0.046591913
0.6	2.213872019	0.664161606	0.059413555
0.7	1.997658825	0.599297648	0.072970601
0.8	1.827511086	0.548253326	0.087190772
0.9	1.689500554	0.506850166	0.102017314
1	1.574901312	0.472470394	0.117404264
1.1	1.477944826	0.443383448	0.133313496

شکل ۴: ضرایب پریود خاک، ضریب بازتاب، طیف شتاب و طیف جابجایی

Sa(k)
0.466921505
0.466921505
0.466921505
0.466921505
0.466921505
0.466921505
0.466921505
0.471087634

شکل ۵: طیف شتاب کاهش یافته

قسمت ۳: قسمت فرمول نویسی ها و شروط دستورالعمل می باشد که نیاز به تعویض و تغییر در آنها نیست.

Ax	Ay	Bx	By	x	B0	K	Bef	Sra	Srv
0.0294	0.207	0.084	0.395	0.1745	11.114	1	16.1135	0.622562	0.7093
0	0					0		0	0
						0		0	0

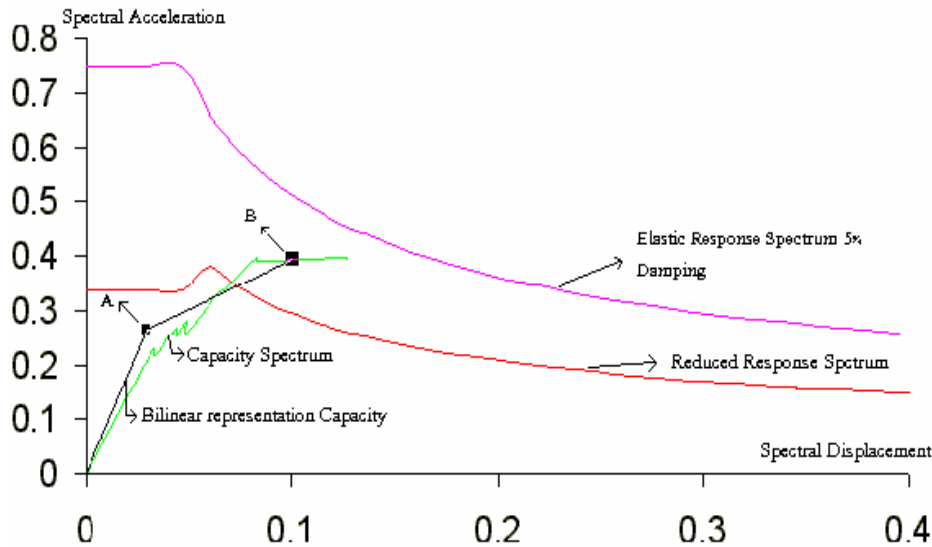
شکل ۶: فرمولها و شروط مطابق تفسیر دستورالعمل بهسازی

قسمت ۴: در این قسمت لازم است طیف شتاب و جابجایی (ظرفیت سازه) ($Sd@$ و $Sa@$) به برنامه منتقل شود. این مقادیر از طریق برنامه ای که قادر به تحلیل استاتیکی غیر خطی است (همانند برنامه های SAP2000 و ETABS) قابل استخراج و وارد کردن به برنامه می باشد. بایستی توجه داشت که واحد طیف جابجایی بر حسب متر باشد.

Sd@	Sa@
0	0
6.85E-03	0.116
8.69E-03	0.102
8.74E-03	0.103
8.74E-03	0.103
9.52E-03	0.109
0.012	0.13

شکل ۷: مقادیر طیف ظرفیت سازه، استخراج شده از برنامه Etabs

قسمت ۵: این قسمت شامل نمودارهای طیف نیاز و ظرفیت سازه می‌باشند، طیف نیاز زمین منطقه و طیف نیاز کاهش یافته آن و نیز نمودار دو خطی ظرفیت، مطابق پیش فرضهای برنامه در صفحه نمودار ترسیم شده‌اند و طیف ظرفیت سازه پس از وارد کردن $(S_d \odot)$ و $(S_a \odot)$ در صفحه نمودار ظاهر خواهد شد.



شکل ۸: طیف نیاز، نیاز کاهش یافته، ظرفیت دو خطی و ظرفیت سازه

نمودار دو خطی طیف ظرفیت که به صورت پیش فرض در صفحه نمودار می‌باشد بایستی مطابق دستورالعمل بهسازی تنظیم شود، بدین صورت که نقطه A را چنان جابجا می‌کنیم که شیب نمودار دو خطی با شیب طیف ظرفیت منطبق بر هم شود و برای برابری سطح زیر دو منحنی طیف ظرفیت و نمودار دو خطی ظرفیت (در قسمت ۶ به آن اشاره شده)، نقطه A را بر روی شیب بدست آمده جابجا می‌کنیم و نقطه B را چنان بر روی طیف ظرفیت جابجا می‌کنیم که طیف نیاز کاهش یافته در نقطه B با طیف ظرفیت سازه با یکدیگر برخورد کنند.

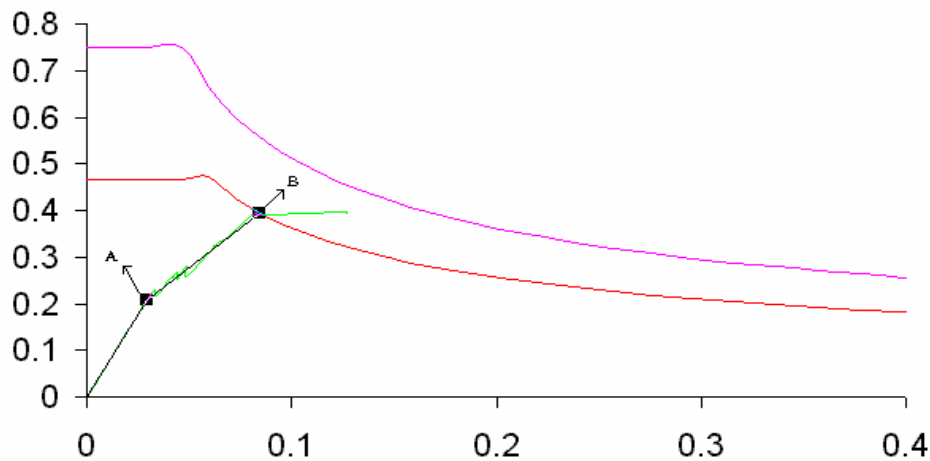
قسمت ۶: این قسمت مساحت زیر نمودار طیف ظرفیت و مساحت زیر نمودار طیف دو خطی ظرفیت را نمایش می‌دهد. برای رعایت تساوی این دو مساحت طبق تفسیر دستورالعمل بهسازی تنها لازم است هنگام جابجایی دو نقطه A, B خانه‌های مربوط به این دو مساحت را مشاهده کنیم، زمانی که این دو مقدار تا یک رقم اعشار برابر شدند جابجایی نقاط مذکور را متوقف می‌کنیم. لازم به ذکر است که مساحت‌های نشان داده شده در خانه‌های مربوطه جهت بزرگنمایی هزار برابر شده‌اند.

17.59145 مساحت زیر نمودار دوخطی

17.6534915 مساحت زیر نمودار طیف ظرفیت

شکل ۹: نمایش مساحت زیر دو نمودار طیف ظرفیت و دوخطی

نقطه B، نقطه عملکرد سازه براحتی بدست خواهد آمد.



شکل ۱۰: نقطه B نقطه عملکرد سازه

۴- نتیجه گیری:

در برنامه‌های SAP2000 و ETABS برای تعیین نقطه عملکرد از روش B آیین‌نامه ATC استفاده شده است که با دادن دو ضریب منطقه‌ای C_v و C_a به برنامه‌های مذکور نقطه عملکرد سازه بدست خواهد آمد، این ضرایب از طریق آیین‌نامه UBC قابل استخراج بوده که برای شهر شیراز با زمین نوع دو مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران $C_v = 0.45$ و $C_a = 0.33$ می‌باشد. نتایج تعیین نقطه عملکرد چند نمونه سازه فلزی با هر دو روش فوق‌الذکر در جدول ۱ آمده است [۶ و ۷].

جدول ۱: مقایسه نقطه عملکرد و تغییر مکانهای چند سازه

شماره سازه	تعداد طبقات سازه	نقطه عملکرد سازه Etabs		نقطه عملکرد سازه Excel		تغییر مکان هدف سازه Etabs cm	تغییر مکان هدف سازه Excel cm
		sd	sa	sd	sa		
1	5	.067	.387	.073	.359	10.86	10.86
2	5	.068	.408	.072	.403	9.53	10
3	5	.062	.353	.073	.353	8.73	9.6
4	6	.077	.31	.093	.31	11.86	13.5
5	7	.073	.359	.085	.397	10.7	12.25

با توجه به نتایج حاصله از جدول ۱ و با علم به این که تعیین نقطه عملکرد به روش A آیین‌نامه ATC دارای دقت بیشتری نسبت به روش B این آیین‌نامه می‌باشد، لذا صحت نتایج با کمک برنامه ویرایش شده در Excel تصدیق می‌شود.

۵- منابع:

- ۱- ناطقی الهی، فریرز، راهنمای مقاوم سازی ساختمانهای فولادی موجود، کمیته فرعی - تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه های زمین، ۱۳۷۸.
- ۲- فرجودی، جمشید و میر قادری، رسول و جوهرزاده، عبدالمجید، ارزیابی آسیب پذیری ساختمانهای فلزی موجود و نحوه مقاوم سازی آنها در برابر زلزله، طرح بسیج توان فنی کشور در باز سازی مناطق زلزله زده کشور، بهار ۱۳۷۵.
- ۳- ملکی، هاله، نگاهی اجمالی بر فلسفه های طراحی مقاوم، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، بهار ۱۳۷۹.
- ۴- مولایی، علیرضا و پور زینلی، سعید و حاجتی مدارائی، عطا...، تعیین ضریب رفتار موثر در طراحی سازه های مهاربندی شده، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت ۱۳۸۳.
- ۵- پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، مهرماه ۱۳۸۱.

6- FEMA 273(Federal Emergency Management Agency), Techniques for Seismicaly Rehabilitation Existing Building, march 1997.

7- Robert E. Bachman, M. EERI and David R. Bonneville, M.EERI, The Seismic Provisions of the 1997 Uniform Building Code.