مهندسی عمران شریف، (پاییز ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۲ - ۳۱، شماره‌ی ۳/۱، ص. ۹۳-۱۰۳

Original Article

بررسی مقایسه‌یی و ارائه‌ی پیشنهاد برای بهبود دقت ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌یی ساختمان‌های بنایی

فرهاد بهنام‌فر* **(دانشیار)**
رسول شاهقلیان (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

ارزیابی‌های کیفی، که به ارزیابی سریع نیز معروف هستند، معمولاً برای تعداد زیادی از ساختمان‌ها تعریف می‌شوند. از آنجا که باید اطلاعات زیادی در این روش‌ها جمع‌آوری شود، نیاز به فرم‌ها و چک‌لیست‌هایی است که برای ساختمان‌های مورد بررسی باید تکمیل شود. در این نوشتار با توجه به حجم گسترده‌ی ساختمان‌های بنایی و ضعف‌های متداول موجود در آن‌ها، این نوع ساختمان‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. دو روش مختلف FEMA۱۵۴ و نشریه‌ی ۳۷۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور برای ارزیابی سریع و تفصیلی تعداد زیادی ساختمان‌های بنایی مدارس با تأکید بر نشریه‌ی ۳۷۶ استفاده و ارکان هر یک تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان داده است که هماهنگی مناسبی بین نتایج ارزیابی‌های سریع و تفصیلی در نشریه‌ی ۳۷۶ وجود دارد. همچنین پیشنهادهایی برای اصلاح رابطه‌ی اساسی ارزیابی سریع در نشریه‌ی ۳۷۶ ارائه شده است، که به مشابهت کاملی بین نتایج دو نشریه‌ی ۳۷۶ و FEMA۱۵۴ انجامیده است.

واژگان کلیدی: ارزیابی سریع، ساختمان بنایی، FEMA۱۵۴، FEMA۳۵۶، نشریه‌ی ۳۷۶.

farhad@cc.iut.ac.ir
rasol.shahgholian@yahoo.com

۱. مقدمه

با انتشار دستورالعمل بهسازی لرزه‌یی ساختمان‌های موجود (نشریه‌ی ۳۶۰)،[۱] مطالعات مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود به طور جدی از سال ۱۳۸۱ در کشور شروع شده است. از این نشریه برای ارزیابی جامع و تفصیلی ساختمان‌ها استفاده می‌شود و امروز پس از گذشت ۹ سال، تجربیات ارزشمندی در این زمینه در اختیار مهندسان کشور قرار گرفته است. پس از آن، دستورالعمل بهسازی لرزه‌یی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح موجود (نشریه‌ی ۳۷۶)،[۲] در سال ۱۳۸۶ منتشر شده است؛ که ضوابطی را به تفکیک برای ارزیابی سریع و نیز تفصیلی ساختمان‌های بنایی ارائه کرده است. این در حالی است که نشریه‌ی FEMA۱۵۴،[۳] در آمریکا و کشورهای دیگر از سال‌های قبل برای ارزیابی سریع ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. کاربرد روش‌های ارزیابی سریع برای بررسی عملکرد لرزه‌یی ساختمان‌ها در سال‌های اخیر موضوع مطالعات متعددی بوده است. از جمله در ایران، در پژوهشی در سال ۱۹۹۷ ساختمان‌ها به ۴ دسته‌ی فولادی، بتنی، بنایی غیرمسلح و مختلط تقسیم‌بندی شده‌اند و برای هر کدام با استفاده از بازدیدهای عینی و تکمیل فرم‌های تفصیلی، عملکرد لرزه‌یی بررسی شده‌اند.[۴] همچنین در پژوهش دیگری به ارائه‌ی مدلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌یی ساختمان‌ها در مناطق مختلف ایران پرداخته و نمونه‌یی از کاربرد آن در شهر اهواز ارائه شده است.[۵] پژوهشگر دیگری با استفاده از روش ارزیابی آریا برای ساختمان‌های بنایی و تعمیم آن به انواع ساختمان‌ها، ساختمان‌های شهر قزوین را مورد ارزیابی سریع قرار داده و میزان آسیب‌پذیری هر گروه ساختمانی را در مناطق مختلف این شهر مشخص کرده است.[۶] در خارج از کشور قدیمی‌ترین فعالیت‌ها در این زمینه به اوائل دهه‌ی هفتاد میلادی بر می‌گردد، زمانی که مدل‌های غیرخطی جهت شناسایی رفتار ساختمان‌ها پیشنهاد شده است. اولین پژوهش برای برآورد خسارت لرزه‌یی در سال ۱۹۷۲ بود. ارزیابی سریع ساختمان‌ها برای تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌یی با عنوان گزارش FEMA۱۵۴ اولین بار در سال ۱۹۸۸ منتشر شده است. این دستورالعمل برای استفاده‌ی گسترده و ساده برای مهندسان ساختمان تا افراد غیرمتخصص آموزش‌دیده تهیه شده بود. این نشریه در سال ۲۰۰۲ مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت، به گونه‌یی که ویرایش جدید آن توانست نتایج قابل قبولی را ارائه و قابلیت کاربرد بیشتری برای انواع ساختمان‌ها پیدا کند.[۳]

براساس تجربیات اخیر مشاهده شده است که در مورد تعداد قابل توجهی از ساختمان‌هایی که مورد مطالعات تفصیلی مقاوم‌سازی قرار گرفته‌اند، پس از انجام مرحله‌ی تحلیل آسیب‌پذیری مشخص شده است به علت وجود مشکلات سازه‌یی متعدد، مقاوم‌سازی ساختمان موردنظر به صرفه نیست. در بسیاری از موارد نیز مسائلی از قبیل موانع اجرایی باعث ایجاد مشکلاتی در اجرای طرح بهسازی شده

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۵/۲۷، اصلاحیه ۱۳۹۲/۸/۱۲، پذیرش ۱۳۹۲/۱۰/۹.

Archive of SID
www.SID.ir

است. این در حالی است که هزینه‌ی بسیار زیادی صرف انجام مطالعات آسیب‌پذیری لرزه‌یی و همچنین تهیه‌ی طرح بهسازی شده است. استفاده از یک روش ارزیابی مقدماتی و سریع، که با دقت قابل قبول در زمان کوتاه‌تر ارزش و امکان مقاوم‌سازی را برای ساختمان‌های مورد مطالعه روشن کند، می‌تواند بسیاری از هزینه‌های نامعقول مقاوم‌سازی را کاهش دهد. این امر نیازمند کسب اطمینان از نتیجه‌ی یک ارزیابی سریع است.

در این نوشتار، تعداد زیادی از ساختمان‌های بنایی واقعی به طور جداگانه طبق FEMA۱۵۴ و نشریه‌ی ۳۷۶ مورد ارزیابی سریع قرار گرفته‌اند. تعداد منتخبی از این ساختمان‌ها نیز طبق نشریه‌ی ۳۷۶ و FEMA۳۵۶ مورد ارزیابی تفصیلی قرار داده شده‌اند. با مقایسه و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل، پیشنهادی برای اصلاح روال ارزیابی سریع در نشریه‌ی ۳۷۶ ارائه شده است، که مشابهت کاملی بین نتایج آن و نتایج FEMA۱۵۴ برقرار می‌کند.

۲. روش‌های ارزیابی سریع ساختمان‌های بنایی

۱.۲. روش ارزیابی سریع در نشریه‌ی ۳۷۶

در این روش، با بازدید از ساختمان و بررسی اجزاء مختلف آن، کیفیت هر یک از این اجزا مشخص می‌شود. در این ارتباط، ۱۰ شاخص کلی در میزان آسیب‌پذیری ساختمان، مؤثر در نظرگرفته می‌شود. پس از بازدید از ساختمان و برداشت مشخصات و ویژگی‌های آن، از جدول مربوط به هر یک از پارامترهای این روش، مقداری به آن شاخص نسبت داده می‌شود. از ترکیب این مقادیر طبق رابطه‌ی ۱، شاخص آسیب‌پذیری هر ساختمان (L_R) به‌دست می‌آید:

$$L_R = ۰٫۴۵ \times [L_۳ + L_۴ + L_۵ + L_۶ + L_۷] \times L_۱ \times L_۲ \times L_۸ \times L_۹ \times L_{۱۰} \times (۷٫۵A - ۱) \leq ۱۰۰ \qquad (۱)$$

که در آن، L_i $(i = ۱, ..., ۱۰)$ مقدار هر یک از شاخص‌های ۱۰ گانه طبق جدول ۱ و A نسبت شتاب مبنای طرح ارائه‌شده توسط استاندارد ۲۸۰۰ برای منطقه‌ی مورد مطالعه و L_R شاخص آسیب‌پذیری ساختمان است.

وضعیت کلی آسیب‌پذیری ساختمان، با استفاده از رابطه‌ی ۱ به این شرح مشخص می‌شود:

- آسیب‌پذیری کم: $L_R > ۲۵٪$؛
- آسیب‌پذیری متوسط: $۲۵٪ \geq L_R > ۵۰٪$؛
- آسیب‌پذیری زیاد: $۵۰٪ \geq L_R > ۷۵٪$؛
- احتمال فروریزش ساختمان: $L_R \leq ۷۵٪$.

۲.۲. ارزیابی سریع چشمی در نشریه‌ی FEMA۱۵۴

ارزیابی سریع در نشریه‌ی FEMA۱۵۴ با کمک فرم‌های مخصوصی برای ۳ منطقه با لرزه‌خیزی کم، متوسط و زیاد انجام می‌شود. در فرم‌های مذکور به عواملی نظیر: میزان خطر زلزله در ساخت‌گاه ساختمان، شرایط خاک محل، تیپ و نوع ساختمان و سازه‌ی آن، انواع نامنظمی‌های موجود در پلان و ارتفاع و اهمیت ساختمان توجه شده است. براساس نوع ساختمان، امتیازی برای هر ساختمان در نظرگرفته شده است، که امتیاز پایه نام دارد. سپس با کمک جداولی به هر ویژگی ساختمان امتیاز اصلاحی به‌صورت عددی مثبت یا منفی داده می‌شود. از جمع امتیاز پایه و امتیازهای اصلاحی

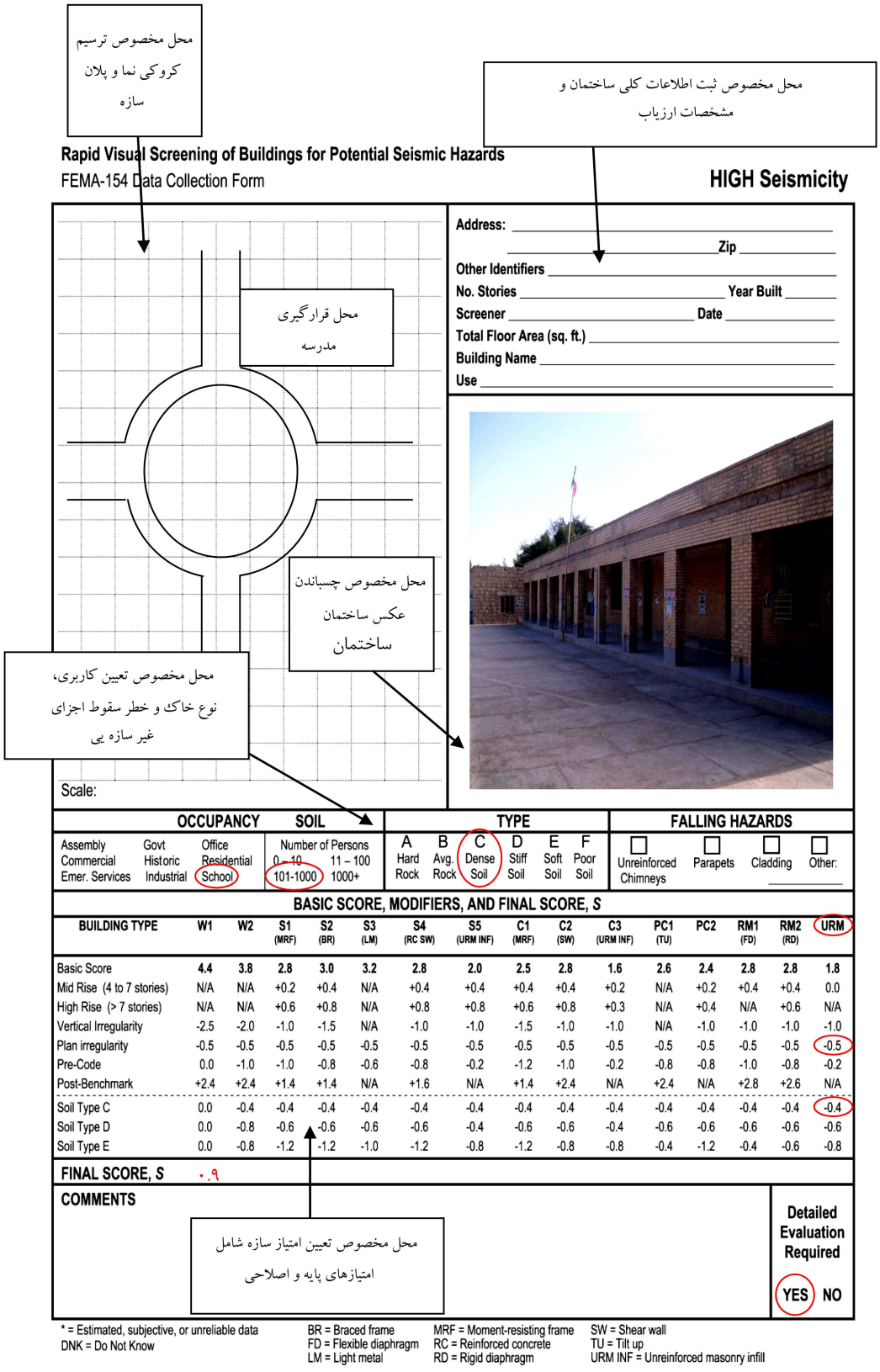
جدول ۱. شاخص‌های ارزیابی سریع ساختمان‌های بنایی و نمرات آسیب‌پذیری به روش نشریه‌ی ۳۷۶.[۲]

ردیف	پارامتر موردنظر	مقدار یا وضعیت پارامتر	ضریب خسارت (L_i)
۱	شیب زمین (θ)	$۰ \leq \theta \leq ۱۵$	۱
		$۱۵ \leq \theta \leq ۳۰$	۱٫۱
		$\theta > ۳۰$	۱٫۲
۲	نوع خاک	I	۱
		II	۱٫۰۵
		III	۱٫۱
		IV	۱٫۱۵
۳	پی	مناسب	۵
		نامناسب	۲۰
۴	دیوار سازه‌یی	با کلاف افقی و قایم	۱۵
		با کلاف افقی	۲۵
		بدون کلاف	۳۵
۵	سقف	دال بتن مسلح	۵
		تیرچه بلوک	۱۵
		تاق ضربی	۲۰
		تیر چوبی	۲۵
۶	پیشامدگی	تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۰
		عدم تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۱۰
۷	پلان ساختمان	متقارن	۰
		نامتقارن	۱۰
۸	بازشوها	تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۱
		عدم تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۱٫۲
۹	تعداد طبقات	یک طبقه	۱
		دو طبقه	۱٫۱
		سه طبقه و بیشتر	۱٫۲
۱۰	کیفیت مصالح	خوب	۱
		متوسط	۱٫۲
		بد	۱٫۳

مربوط به ویژگی‌های آن ساختمان، امتیاز کلی ساختمان تعیین می‌شود. در برخی فرم‌ها نیز به اجزاء غیرسازه‌یی توجه شده است. شاخصی برای وضعیت این اعضا نیز حاصل می‌شود، که در نهایت با ترکیب امتیازهای سازه‌یی و غیرسازه‌یی، امتیاز لرزه‌یی آن ساختمان خاص تعیین می‌شود. این امتیاز به‌دست‌آمده برای طبقه‌بندی و رده‌بندی ساختمان مناسب است. شکل ۱، نمونه‌یی از این فرم‌ها را برای منطقه‌یی با میزان خطر زلزله‌ی زیاد نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards

FEMA-154 Data Collection Form

HIGH Seismicity

Address: _____

Zip _____

Other Identifiers _____

No. Stories _____ Year Built _____

Screener _____ Date _____

Total Floor Area (sq. ft.) _____

Building Name _____

Use _____

Scale:

OCCUPANCY			SOIL	TYPE						FALLING HAZARDS			
Assembly	Govt	Office	Number of Persons	A	B	C	D	E	F	☐	☐	☐	☐
Commercial	Historic	Residential	0 – 10 / 11 – 100	Hard Rock	Avg. Rock	Dense Soil	Stiff Soil	Soft Soil	Poor Soil	Unreinforced Chimneys	Parapets	Cladding	Other:
Emer. Services	Industrial	School	101-1000 / 1000+										

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, *S*

BUILDING TYPE	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM
Basic Score	4.4	3.8	2.8	3.0	3.2	2.8	2.0	2.5	2.8	1.6	2.6	2.4	2.8	2.8	1.8
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	N/A	+0.2	+0.4	N/A	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.2	N/A	+0.2	+0.4	+0.4	0.0
High Rise (> 7 stories)	N/A	N/A	+0.6	+0.8	N/A	+0.8	+0.8	+0.6	+0.8	+0.3	N/A	+0.4	N/A	+0.6	N/A
Vertical Irregularity	-2.5	-2.0	-1.0	-1.5	N/A	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Plan Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pre-Code	0.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.8	-0.2	-1.2	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-1.0	-0.8	-0.2
Post-Benchmark	+2.4	+2.4	+1.4	+1.4	N/A	+1.6	N/A	+1.4	+2.4	N/A	+2.4	N/A	+2.8	+2.6	N/A
Soil Type C	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Soil Type D	0.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Soil Type E	0.0	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-0.8	-1.2	-0.8	-0.8	-0.4	-1.2	-0.4	-0.6	-0.8

FINAL SCORE, *S* ۰.۹

COMMENTS

Detailed Evaluation Required

YES **NO**

* = Estimated, subjective, or unreliable data
DNK = Do Not Know

BR = Braced frame
FD = Flexible diaphragm
LM = Light metal

MRF = Moment-resisting frame
RC = Reinforced concrete
RD = Rigid diaphragm

SW = Shear wall
TU = Tilt up
URM INF = Unreinforced masonry infill

شکل ۱. نمونه‌یی از فرم ارزیابی سریع چشمی برای یک ساختمان طبق FEMA۱۵۴.

www.SID.ir

برای محاسبه‌ی کمینه‌ی امتیاز قابل قبول، باید آنالیز سود ـ هزینه[1] انجام شود. تعیین امتیاز پایین به‌عنوان نمره‌ی قبولی، نشان‌دهنده‌ی پذیرفتن تعداد بالای خرابی پس از زلزله و انجام هزینه‌های کمتر بهسازی است و از سوی دیگر، با درنظرگرفتن عدد بالا، هزینه‌های بهسازی افزایش و میزان خسارت کاهش می‌یابد. چنانچه امتیاز کلی ساختمان ازکمینه‌ی امتیاز قابل قبول بیشتر باشد، سازه نیازی به ارزیابی دقیق‌تر جهت بررسی توان لرزه‌یی ندارد، در غیر این صورت باید مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد. در هنگام استفاده از ارزیابی کیفی به روش FEMA۱۵۴، این فرضیات برای تعیین نوع آسیب‌پذیری هر ساختمان به‌منظور تعیین میزان خرابی اختیار می‌شود:

- امتیاز ساختمان $\leq$ ۳: آسیب‌پذیری کم (آسیب در اعضای سازه‌یی به‌وجود نمی‌آید و در اعضای غیرسازه‌یی قابل چشم‌پوشی است)؛
- ۳ > امتیاز ساختمان $\leq$ ۲: آسیب‌پذیری متوسط (آسیب در اعضای سازه‌یی قابل چشم‌پوشی و در اعضای غیرسازه‌یی متوسط)؛
- ۲ > امتیاز ساختمان $\leq$ ۱: آسیب‌پذیری زیاد (آسیب در اعضای سازه‌یی متوسط و در اعضای غیر سازه‌یی زیاد)؛
- ۱ > امتیاز ساختمان $\leq$ ۰: آسیب‌پذیری خیلی زیاد (آسیب در اعضای سازه‌یی زیاد و در اعضای غیرسازه‌یی خیلی زیاد).

۳. معرفی ساختمان‌های مورد مطالعه

ساختمان‌های مورد بررسی در این مطالعه ۷۱ ساختمان مدرسه بودند، که در شهرهایی از استان خوزستان قرار داشتند. با پُرکردن فرم ارزیابی کیفی سریع برای هر ساختمان یک بار طبق نشریه‌ی ۳۷۶ و یک بار طبق FEMA۱۵۴، میزان آسیب‌پذیری هر ساختمان طبق هر یک از دو نشریه‌ی مذکور مشخص شده است. نتایج این بررسی در بخش بعد ارائه شده است.

۴. ارزیابی سریع ساختمان‌های مورد مطالعه

۱.۴. ارزیابی سریع طبق نشریه‌ی ۳۷۶

ویژگی‌های شاخص‌های مؤثر در آسیب‌پذیری این ساختمان‌ها طبق نشریه‌ی ۳۷۶ به این صورت است:

الف) شیب زمین: مشاهده شده است که کل این ساختمان‌ها در مناطقی با شیب کم ($۰ \leq \theta \leq ۱۵$) واقع شده بودند.

ب) نوع خاک: ۶۸ ساختمان معادل ۹۶٪ کل ساختمان‌ها روی خاک نوع III و ۳ ساختمان دیگر روی خاک نوع II واقع بودند.

پ) پی‌ساختمان‌ها: ۶۷ ساختمان (۹۴٪کل ساختمان‌ها) پی مناسب و ۴ ساختمان دیگر پی نامناسب داشتند، یعنی پلکانی یا با عرض کم بودند.

ت) نوع دیوارها: ۴۳ ساختمان (۶۱٪کل ساختمان‌ها) کلاف افقی تنها، ۱۱ مدرسه (۱۶٪ ساختمان‌ها) کلاف افقی و قائم و بقیه‌ی ساختمان‌ها (۱۷ ساختمان یا ۲۳٪)، نه کلاف افقی و نه کلاف قائم داشتند.

ث) پیشامدگی ساختمان‌ها: پیشامدگی ۴۰ ساختمان (۵۵٪ کل ساختمان‌ها) با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ مطابقت داشت و ۳۱ ساختمان دیگر با ضوابط این استاندارد ناسازگار بودند.

ج) سقف ساختمان‌ها: ۳۳ ساختمان (۴۷٪ کل ساختمان‌ها) سقف تاق ضربی، ۲۶ ساختمان (۳۷٪) سقف تیرچه بلوک، ۱۰ ساختمان (۱۳٪) سقف تیر چوبی و ۲ مورد دیگر، سقف دال بتن مسلح داشتند.

چ) پلان ساختمان: ۳۱ ساختمان (۴۴٪) پلان نامتقارن و ۴۰ ساختمان دیگر (۵۶٪) پلان متقارن داشتند.

ح) بازشوهای موجود در ساختمان‌ها: ۶۲ مدرسه (۸۷٪) بازشوهایی داشتند که ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ را برآورده نمی‌کردند و ۹ ساختمان (۱۳٪) بازشوهایی داشتند که ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ را تأمین کرده بودند.

خ) تعداد طبقات ساختمان‌ها: ۵۶ ساختمان (۷۸٪) ۱ طبقه، ۱۴ ساختمان (۲۰٪) ۲ طبقه و یک ساختمان ۳ طبقه نیز وجود داشت.

د) کیفیت مصالح: ۴۶ ساختمان (۶۶٪) مصالحی با کیفیت متوسط، ۱۹ مدرسه (۲۷٪) مصالحی با کیفیت ضعیف و ۶ مدرسه‌ی دیگر مصالحی با کیفیت خوب داشتند.

ذ) شتاب مبنای طرح: ۳۱ ساختمان (۴۴٪) در مناطقی با خطر زلزله‌خیزی زیاد، ۳۵ ساختمان (۴۷٪) در مناطقی با خطر زلزله‌خیزی متوسط و ۵ ساختمان دیگر در مناطقی با خطر زلزله‌خیزی کم قرار داشتند.

بعد از اختصاص مقادیر مناسب به هر یک از پارامترهای ذکرشده در ساختمان‌های مورد بررسی طبق جدول ۱، آسیب‌پذیری کلی هر ساختمان به‌دست آمده است. خلاصه‌ی نتیجه‌ی ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد بررسی طبق نشریه‌ی ۳۷۶ در شکل ۲ نشان داده شده است.

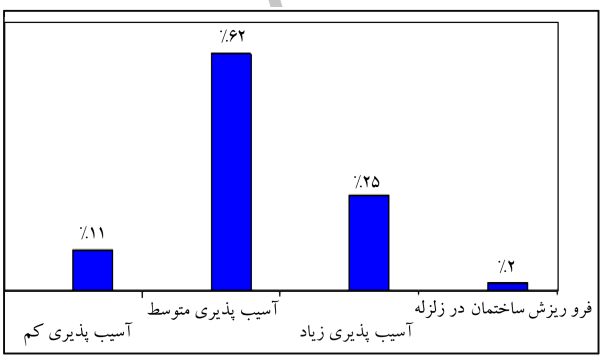
۲.۴. تجزیه و تحلیل نتایج ارزیابی سریع توسط نشریه‌ی ۳۷۶

در این بخش تأثیر وزنی هر یک از عوامل تشکیل‌دهنده‌ی رابطه‌ی ۱، در نتیجه‌ی تعیین آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد بررسی محاسبه شده است. تأثیروزنی هریک از اجزاء رابطه‌ی ۱ در مقدار آن به‌صورت روابط ۲ الی ۷ تعیین می‌شود:

$$L_R = ۰/۴۵ L'_R \quad (۲)$$

$$L'_R = L_۱ L_۲ L_{۳-۷} L_۸ L_۹ L_{۱۰} (۷/۵A - ۱) \quad (۳)$$

$$L_{۳-۷} = L_۳ + L_۴ + L_۵ + L_۶ + L_۷ \quad (۴)$$



شکل ۲. میزان آسیب‌پذیری ۷۱ ساختمان بنایی طبق نشریه‌ی ۳۷۶.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. درصد مشارکت هر پارامتر در میزان آسیب‌پذیری در هر بازه‌ی آسیب‌پذیری برای ۷۱ ساختمان مورد بررسی طبق نشریه‌ی ۳۷۶.

پارامتر آسیب‌پذیری	$۲۵ > L_R$	$۵۰ > L_R \geq ۲۵$	$۷۵ > L_R \geq ۵۰$	$۷۵ \leq L_R$
دیوار سازه‌یی	۴۹٫۰	۳۹٫۱	۳۳٫۸	۳۷٫۳
سقف	۳۳٫۱	۲۷٫۳	۲۶٫۸	۲۱٫۳
پلان ساختمان	۰٫۰	۷٫۰	۷٫۳	۱۰٫۷
پیشامدگی	۰٫۰	۷٫۳	۷٫۳	۱۰٫۷
پی	۹٫۸	۸٫۳	۹٫۹	۵٫۳
کیفیت مصالح	۲٫۹	۴٫۲	۴٫۶	۵٫۱
منطقه‌ی لرزه‌خیزی	۰٫۰	۰٫۷	۴٫۲	۴٫۳
بازشوها	۲٫۹	۳٫۴	۳٫۷	۳٫۵
نوع خاک	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۰	۱٫۸
تعداد طبقات	۰٫۲۰	۰٫۷	۰٫۴	۰٫۰
شیب زمین	۰٫۰	۰٫۰	۰٫۰	۰٫۰

$$Ln(L'_R) = Ln(L_۱) + Ln(L_۲) + Ln(L_{۳-۷}) + Ln(L_۸) + Ln(L_۹) + Ln(L_{۱۰}) + Ln(۷٫۵A - ۱) \quad (۵)$$

$$a_i = \frac{Ln(L_i)}{Ln(L'_R)}, \quad for \quad i = ۱, ۲, ۳ - ۷, ۸, ۹, ۱۰ \quad (۶)$$

$$a_i = \frac{L_i}{L_{۳-۷}} \times \frac{Ln(L_{۳-۷})}{Ln(L'_R)}, \quad for \quad i = ۳, ۴, ۵, ۶, ۷ \quad (۷)$$

که در آن‌ها، a_i درصد مشارکت پارامتر آسیب‌پذیری مربوط در آسیب‌پذیری کلی ساختمان است.[۷] جدول ۲، درصد مشارکت هر پارامتر را برای ۷۱ ساختمان مورد مطالعه طبق نشریه‌ی ۳۷۶ نشان می‌دهد.

همان‌طورکه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در هنگام محاسبه‌ی میزان آسیب‌پذیری طبق نشریه‌ی ۳۷۶ برای ساختمان‌های مورد مطالعه، مهم‌ترین علت آسیب‌پذیری ابتدا وضعیت دیوارهای سازه‌یی و سقف‌ها و سپس عواملی مانند شکل پلان (نامنظمی، پیشامدگی) و وضعیت پی‌ها بوده است.

۳.۴. نتایج ارزیابی سریع براساس FEMA۱۵۴

ویژگی‌های شاخص‌های مؤثر در آسیب‌پذیری ساختمان‌های مذکور طبق FEMA۱۵۴ به این صورت است:

الف) امتیاز مبنا: ۵ ساختمان (۷٪ کل ساختمان‌ها) امتیاز مبنای ۴٫۶، ۳۱ ساختمان (۴۴٪) امتیاز مبنای ۳٫۴ و ۳۵ ساختمان دیگر (۵۲٪) امتیاز مبنای ۱٫۸ داشتند.

ب) پلان ساختمان: ۳۱ ساختمان پلان نامنظم (۴۴٪ کل ساختمان‌ها) و ۴۰ ساختمان پلان منظم (۵۶٪) داشتند.

پ) ساختمان های بین ۴ تا ۷ طبقه: ساختمانی با این تعداد طبقات وجود نداشت.

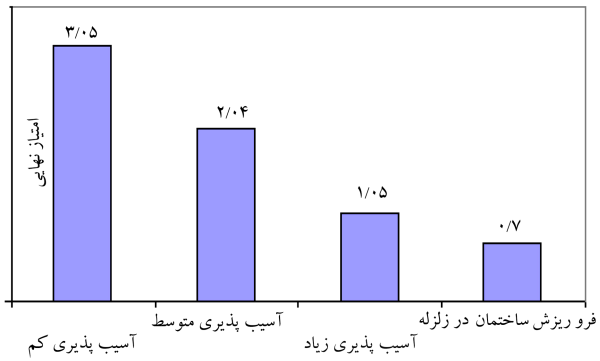
ت) ساختمان‌های بیش از ۷ طبقه: ساختمانی با این تعداد طبقات وجود نداشت.

ث) نامنظمی در ارتفاع ساختمان: بین ساختمان‌های مورد بررسی، ساختمانی نامنظم در ارتفاع وجود نداشت.

ج) آیین‌نامه‌های قبلی: فرض شده است از هیچ آیین‌نامه‌یی برای ساخت این ساختمان‌ها استفاده نشده است.

چ) آیین‌نامه‌ی مبنا: برای این ساختمان‌ها مصداق ندارد.

ح) نوع خاک: ۶۸ ساختمان معادل ۹۶٪ کل ساختمان‌ها روی خاک نوع E و ۳ ساختمان دیگر روی خاک نوع D واقع بودند.



شکل ۳. امتیاز نهایی برای ساختمان‌های مورد بررسی در انواع آسیب‌پذیری طبق FEMA۱۵۴.

بعد از مشخص‌شدن هر یک از شاخص‌های مذکور برای هر ساختمان، امتیاز نهایی در هر محدوده‌ی آسیب‌پذیری، ازکسر و یا اضافه کردن امتیازهای اصلاحی از امتیاز مبنا به‌دست آمده است. امتیاز نهایی ساختمان ها در هر محدوده‌ی آسیب‌پذیری مطابق شکل ۳ مشخص شده است.

۵. مدل‌سازی تحلیلی و ارزیابی کمّی

برای بررسی میزان دقت نتایج ارزیابی کیفی سریع لازم است از مدل‌سازی و تحلیل دقیق (ارزیابی کمّی) استفاده شود. در این قسمت تعدادی از ساختمان‌های بررسی‌شده در مراحل پیشین مورد ارزیابی کمی قرارگرفته‌اند. در انتخاب این ساختمان‌ها سعی شده است از انواع ساختمان‌های آسیب‌پذیر نمونه‌هایی وجود داشته باشد و عوامل منشأ آسیب‌پذیری در آن‌ها نیز تفاوت‌هایی با همدیگر داشته باشند. آن‌گونه که از ارزیابی کیفی هم مشخص شد، مهم‌ترین شاخص‌های وزنی تأثیرگذار در آسیب‌پذیری ساختمان‌های بنایی، وضعیت دیوارهای سازه‌یی و سقف ساختمان بودند که در مجموع بیش از ۷۰٪ میزان آسیب‌پذیری هر ساختمان را به خود اختصاص می‌دادند. طبق نشریه‌ی ۳۷۶، آسیب‌پذیری دیوارها عمدتاً به کلاف‌دار بودن یا نبودن آن‌ها مربوط می‌شود.

بنابراین در انتخاب ساختمان‌ها برای ارزیابی کمّی، تنوع در این مورد رعایت شده است. همچنین از نظر سیستم سقف، ساختمان‌هایی با سقف تاق ضربی، تیرچه

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. ساختمان‌های انتخاب‌شده برای ارزیابی کمّی.

شماره‌ی ساختمان	شاخص									
	شیب زمین	نوع خاک	نوع پی	دیوار سازه‌یی	سقف	پیشامدگی	نوع پلان	بازشوها	تعداد طبقات	کیفیت مصالح	شتاب مبنای طرح	شاخص آسیب‌پذیری
۱	کم	۳	مناسب	کلاف افقی	تاق ضربی	عدم تطابق	نا متقارن	عدم تطابق	۱	بد	۰٫۳۰	۷۷
۲	کم	۳	مناسب	بدون کلاف	تیرچه بلوک	تطابق	متقارن	عدم تطابق	۱	متوسط	۰٫۳۰	۶۲
۳	کم	۳	مناسب	کلاف افقی	تاق ضربی	عدم تطابق	نا متقارن	عدم تطابق	۱	متوسط	۰٫۲۵	۶۰
۴	کم	۳	مناسب	بدون کلاف	تاق ضربی	عدم تطابق	نا متقارن	عدم تطابق	۱	متوسط	۰٫۳۰	۵۸
۵	کم	۳	مناسب	کلاف افقی	تیرچه بلوک	عدم تطابق	نا متقارن	عدم تطابق	۱	متوسط	۰٫۳۰	۵۸
۶	کم	۳	مناسب	بدون کلاف	تاق ضربی	عدم تطابق	نا متقارن	عدم تطابق	۱	متوسط	۰٫۳۰	۵۳٫۵
۷	کم	۳	مناسب	کلاف افقی	تیرچه بلوک	تطابق	نا متقارن	عدم تطابق	۲	متوسط	۰٫۲۵	۴۵
۸	کم	۳	مناسب	کلاف افقی و عمودی	تاق ضربی	عدم تطابق	متقارن	عدم تطابق	۱	متوسط	۰٫۳۰	۴۵
۹	کم	۳	مناسب	بدون کلاف	تاق ضربی	عدم تطابق	متقارن	عدم تطابق	۱	متوسط	۰٫۲۵	۴۴
۱۰	کم	۳	مناسب	کلاف افقی و عمودی	تیرچه بلوک	عدم تطابق	متقارن	عدم تطابق	۲	متوسط	۰٫۲۵	۴۱
۱۱	کم	۳	مناسب	کلاف افقی	تاق ضربی	عدم تطابق	متقارن	تطابق	۱	متوسط	۰٫۲۵	۴۰٫۵
۱۲	کم	۳	مناسب	کلاف افقی	تیرچه بلوک	عدم تطابق	نا متقارن	عدم تطابق	۱	متوسط	۰٫۲۵	۳۸
۱۳	کم	۳	مناسب	کلاف افقی	دال	عدم تطابق	متقارن	عدم تطابق	۱	متوسط	۰٫۲۵	۱۸

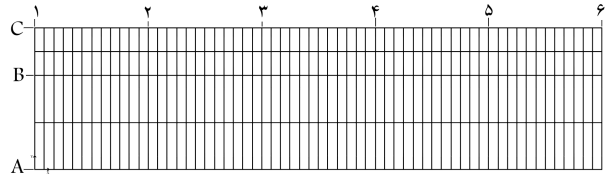
بلوک و دال بتن مسلح انتخاب شده‌اند. با توجه به موارد ذکرشده، ساختمان‌های مورد بررسی برای ارزیابی کمّی در جدول ۳ مشخص شده‌اند. برای مدل‌سازی به منظور ارزیابی کمّی، سقف‌های ساختمان با جزئیات کامل مدل شده است، ولی به منظور پرهیز از بزرگ‌شدن بیش از حد هر مدل، دیوارها به‌صورت فنرهای افقی محدودکننده‌ی حرکت سقف‌ها مدل شده‌اند. جزئیات امر در بندهای بعدی ذکر شده است.

۱.۵. مدل‌سازی سقف‌ها

سقف‌ها به‌صورت دو بُعدی در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ Ver.۱۱.۰.۸ با استفاده از اجزاء محدود خطی مدل‌سازی شده‌اند. در ساختمان‌های با سقف تاق ضربی، تیرچه‌های سقف که از نوع IPE هستند، در محل خود مدل شده و بین تیرچه‌ها از المان پوسته استفاده شده است، که ضخامت آن برابر ۱۱ سانتی‌متر است.

ضریب ارتجاعی المان پوسته از آزمایش‌های انجام‌شده برابر $\mathrm{daN/cm^2}$ ۲۲۰۰۰ و ضریب پواسون آن مساوی ۰٫۲۵ است.

تنش‌های فشاری وکششی نهایی مصالح بنایی سقف به ترتیب برابر $\mathrm{daN/cm^2}$ ۴۰ و $\mathrm{daN/cm^2}$ ۰٫۷ است.[۲] وزن حجمی مصالح سقف $\mathrm{daN/cm^3}$ ۱۵۵۰ فرض شده است. شکل ۴، یک نمونه سقف تاق ضربی مدل‌شده را نشان می‌دهد. هر تیرچه در طول خود به ۲ المان تقسیم شده است. ابعاد المان‌های کوچک پوسته‌ی سقف (در محل راهروهای ورودی) ۸۰ × ۱۵۰ سانتی‌متر و المان‌های بزرگ‌تر (محل کلاس و دفتر مدرسه) ۸۰ × ۲۵۰ سانتی‌متر است. نتایج تحلیل‌ها نشان‌دهنده‌ی آن است که در این سقف‌ها تحت بار جانبی تنش کششی مهمی به‌وجود نمی‌آید و تنش‌های فشاری بیشینه‌ی کسری از تنش فشاری نهایی مصالح هستند. در ساختمان با سقف تیرچه بلوک، تیرچه‌های سقف به‌صورت تیرهای بتنی ۳۰ × ۱۰ سانتی‌متر تعریف و روی آن‌ها از بتن با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر استفاده شده است. وزن حجمی بتن مسلح $\mathrm{daN/cm^3}$ ۲۵۰۰ و ضریب پواسون آن برابر ۰٫۲۵ فرض شده است. در این سقف‌ها نیز هر تیرچه در طول خود به ۲ المان تقسیم شده و ابعاد المان‌های پوسته‌ی سقف مشابه حالت تاق ضربی است.



شکل ۴. نمونه‌یی از سقف تاق ضربی مدل‌شده در نرم‌افزار SAP ۲۰۰۰.

در ساختمان‌های با سقف دال بتن مسلح، ضخامت سقف برابر ۱۵ سانتی‌متر است و در محل تمامی دیوارها، کلاف افقی به‌صورت تیر بتنی ۳۰ × ۳۰ سانتی‌متر قرارگرفته است. سقف در طول دیوارهای کناری به ۴ المان ۱۵۰ × ۱۵۰ سانتی‌متری تقسیم شده است. بار مرده‌ی سقف‌ها، در سقف‌های تاق ضربی $\mathrm{daN/cm^2}$ ۵۱۰، تیرچه بلوک $\mathrm{daN/cm^2}$ ۶۳۰ و سقف دال بتن مسلح $\mathrm{daN/cm^2}$ ۵۶۰ در نظر گرفته شده است. بار زنده در طبقات $\mathrm{daN/cm^2}$ ۲۰۰ و در روی بام $\mathrm{daN/cm^2}$ ۱۵۰ در نظرگرفته شده است. نیروی جانبی وارد بر هر سقف از رابطه‌ی ۸ به‌دست می‌آید:[۲]

$$F_i = \frac{w_i h_i}{\sum_{j=1}^{n} W_j h_j} C_1 S_a W \qquad (۸)$$

که در آن، w_i وزن هر طبقه، h_i ارتفاع سقف طبقه از تراز پایه و $S_a = A(1+S)$ که A و S به ترتیب شتاب مبنای طرح و پارامتر لرزه‌خیزی طبق استاندارد ۲۸۰۰ است.

C_1 ضریب تصحیح برای تغییرمکان‌های غیرارتجاعی سیستم است و از رابطه‌ی ۹ به‌دست می‌آید:[۱]

$$C_1 = 1 + \frac{T_S - T}{2T_S - 0.2} \qquad (۹)$$

که در آن، T زمان تناوب اصلی سازه است و از رابطه‌ی $T = 0.05H^{3/4}$ به‌دست می‌آید. T_s زمان تناوب مشترک بین دو ناحیه‌ی سرعت ثابت و شتاب ثابت در طیف

Archive of SID
www.SID.ir

بازتاب طرح است و مقدار آن براساس جدول ۳ استاندارد ۲۸۰۰ تعیین می‌شود. این نیروی جانبی به‌صورت یکنواخت در امتداد عمود بر لبه‌ی سقف توزیع می‌شود.

۲.۵. مدل‌سازی دیوارها

در تحلیل‌های خطی، سختی جانبی درون‌صفحه‌ی دیوارهای با مصالح بنایی غیرمسلح متناسب با خصوصیات هندسی سطح مقطع ترک‌نخورده، بدون درنظرگرفتن پوشش نما محاسبه می‌شود. بر این اساس سختی جانبی هر دیوار از رابطه‌ی ۱۰ تعیین می‌شود:

$$K = \frac{۱}{\frac{h^۳}{۳EI_g} + \frac{h}{GA}} \qquad (۱۰)$$

که در آن، h ارتفاع دیوار، E ضریب ارتجاعی مصالح دیوار و برابر f'_m ۵۵۰ است،[۲] که در آن f'_m مقاومت فشاری مصالح دیوار است. معمولاً مقدار f'_m برای مصالح خوب برابر ۶۰ $\mathrm{daN/cm^۲}$، برای مصالح متوسط ۴۰ $\mathrm{daN/cm^۲}$ و برای مصالح بد برابر ۲۰ $\mathrm{daN/cm^۲}$ در نظر گرفته می‌شود. مقاومت فشاری مصالح دیوار برای کلیه‌ی ساختمان‌ها با توجه به آزمایش مقاومت فشاری انجام‌شده برابر ۴۰ $\mathrm{daN/cm^۲}$ در نظر گرفته شده است. همچنین G مدول برشی مصالح دیوار است که مقدار آن برای $\nu = ۰/۲۵$ برابر $۰/۴E$ است، و نیز A سطح مقطع دیوار و I_g ممان اینرسی برای سطح کل مقطع ترک‌خورده است.

هر یک از دیوارها با توجه به محل قرارگیری خود در پلان، به‌صورت یک فنر افقی در مدل سازه در محل اتصال خود به دیافراگم‌های سقف مدل شده‌اند.

۳.۵. نیروی برشی مقاوم هر دیوار طبق FEMA۳۵۶ و نشریه‌ی ۳۷۶

چون نتایج تحلیل‌ها نشان‌دهنده‌ی نازل‌بودن سطح نیروهای موجود در مقاطع سقف‌هاست، ارزیابی کمّی ساختمان‌ها عمدتاً به‌صورت مقایسه‌ی ظرفیت برشی دیوارها با نیروی برشی هر یک (یعنی نیروی عکس‌العمل هر فنر افقی) خواهد بود. ظرفیت برشی هر دیوار براساس مودهای شکست درون‌صفحه‌ی دیوارهای بنایی غیرمسلح براساس FEMA۳۵۶،[۴] به‌صورت بحرانی‌ترین مقدار حاصل از این ۴ معیار محاسبه می‌شود.

الف) شکست در اثر لغزش درز ملات

مقاومت برشی براساس لغزش درز ملات در دیوارهای بنایی غیرمسلح به‌صورت رابطه‌ی ۱۱ در نظر گرفته می‌شود:

$$V_s = \nu_{me} A \qquad (۱۱)$$

که در آن، A مساحت مقطع خالص در بر دارنده‌ی ملات و ν_{me} مقاومت برشی مورد انتظار است، که از طریق رابطه‌ی ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$\nu_{me} = ۰/۳۷۵\,\nu_{te} + ۰/۵\,f_a \qquad (۱۲)$$

که در آن، ν_{te} مقدار متوسط نتایج حاصل از مقاومت برشی ملات ساختمان است، که مقدار آن نباید از ۷ $\mathrm{daN/cm^۲}$ بیشتر در نظر گرفته شود و $f_a = \frac{P_{D+L}}{A}$ است که در آن، $P_{D+L} = ۱/۱(D+L)$ و مقدار آن براساس نیروی محوری حاصل از بارهای مرده (D) و بارهای زنده (L) در تراز بالای دیوار محاسبه می‌شود. V_S نیز مقاومت مورد انتظار برشی دیوار براساس لغزش درز ملات است.

ب) شکست در اثر واژگونی

مقاومت برشی براساس واژگونی دیوار به‌صورت رابطه‌ی ۱۳ در نظرگرفته می‌شود:

$$V_r = ۰/۹\alpha\, P_{D+L}\, \frac{L}{h} \qquad (۱۳)$$

که در آن، L برابر طول دیوار، h ارتفاع دیوار، a ضریب محل دیوار است که مقدار آن برای دیوارهای طبقه‌ی آخر برابر ۰/۵ و V_r مقاومت برشی دیوار براساس واژگونی است.

ج) شکست در اثر کشش قطری

مقاومت برشی براساس کشش قطری در دیوار از رابطه‌ی ۱۴ تعیین می‌شود:

$$V_t = \nu_{me}\, A \left(\frac{L}{h}\right) \sqrt{۱ + \frac{f_a}{\nu_{me}}} \qquad (۱۴)$$

که در آن، V_t مقاومت برشی دیوار براساس کشش قطری در دیوار است و بقیه‌ی پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

د) شکست در اثر فشار در پنجه

مقاومت برشی براساس خردشدگی و فشار در پنجه‌ی دیوار از رابطه‌ی ۱۵ محاسبه می‌شود:

$$V_c = \alpha\, P_D \left(\frac{L}{h}\right) \left(۱ - \frac{f_a}{۰/۷\, f'_m}\right) \qquad (۱۵)$$

که در آن، $P_D = ۰/۹D$ و V_c برابر مقاومت برشی دیوار برای خردشدگی در پنجه‌ی دیوار است و بقیه‌ی پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

اما در نشریه‌ی ۳۷۶، ظرفیت برشی هر دیوار براساس مودهای شکست درون‌صفحه‌ی دیوارهای بنایی غیرمسلح براساس بند ۴.۴. این نشریه به‌صورت بحرانی‌ترین مقدار حاصل از این دو معیار محاسبه می‌شود:

الف) شکست در اثر لغزش درز ملات: مقاومت برشی براساس لغزش درز ملات در دیوارهای بنایی غیرمسلح در نشریه‌ی ۳۷۶ از همان رابطه‌ی ۱۱ به‌دست می‌آید و ν_{me} مقاومت برشی مورد انتظار از رابطه‌ی ۱۶ محاسبه می‌شود:

$$\nu_{me} = ۰/۵۶\,\nu_{te} + ۰/۷۵\,f_a \qquad (۱۶)$$

که در آن، ν_{te} مقدار متوسط نتایج حاصل از مقاومت برشی ملات ساختمان است، که مقدار آن نباید از ۷ $\mathrm{daN/cm^۲}$ بیشتر در نظر گرفته شود و $f_a = \frac{P_{D+L}}{A}$ است که در آن، P_{D+L} نیروی محوری حاصل از بارهای مرده (D) و بارهای زنده (L) است و در تراز بالای دیوار محاسبه می‌شود.

ب) شکست در اثر کشش قطری: مقاومت برشی براساس کشش قطری دیوار در نشریه‌ی ۳۷۶ از همان رابطه‌ی ۱۴ مشابه با FEMA۳۵۶ تعیین می‌شود.

۴.۵. معیارهای پذیرش طبق FEMA۳۵۶ و نشریه‌ی ۳۷۶

رفتار جانبی دیوارها، در صورتی‌که مقاومت جانبی مورد انتظار تحت رابطه‌ی مربوط به برش در اثر لغزش درز ملات (رابطه‌ی ۱۱) کمتر از مقاومت مربوط به کشش قطری (رابطه‌ی ۱۴) باشد، به‌صورت کنترل‌شونده توسط تغییرشکل است، یعنی اتلاف انرژی قابل توجه است. در غیر این‌صورت رفتار دیوار به صورت کنترل‌شونده توسط نیرو در نظرگرفته می‌شود، یعنی اتلاف انرژی ناچیز است و اجازه‌ی رفتار غیرخطی داده نمی‌شود. رفتار فشار محوری در دیوارها به صورت کنترل‌شونده توسط نیرو فرض می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

برای ارزیابی، باید مقاومت برشی بحرانی دیوار به‌صورت مقاومت برشی مورد انتظار دیوار (V_{CE}) یا کرانه‌ی پائین مقاومت برشی (V_{CL}) طبق این روابط محاسبه شود.

به این منظور، ابتدا مقاومت‌های برشی V_1 و V_2 مطابق با رابطه‌های ۱۷الف و ۱۷ب به‌دست می‌آید:

$$V_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{مقاومت برشی ناشی از لغزش و واژگونی (روابط ۱۱ و ۱۳)} \\ \text{در هنگام ارزیابی طبق FEMA۳۵۶} \end{array} \right\}$$

$$V_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{مقاومت برشی ناشی از لغزش درز ملات (رابطه‌ی ۱۶)} \\ \text{در هنگام ارزیابی طبق نشریه‌ی ۳۷۶} \end{array} \right\} \quad \text{(۱۷الف)}$$

$$V_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{مقاومت برشی ناشی ازکشش و خردشدگی (روابط ۱۴ و} \\ \text{۱۵) در هنگام ارزیابی طبق FEMA۳۵۶} \end{array} \right\}$$

$$V_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{مقاومت برشی ناشی ازکشش قطری (رابطه‌ی ۱۴)} \\ \text{در هنگام ارزیابی طبق نشریه‌ی ۳۷۶} \end{array} \right\} \quad \text{(۱۷ب)}$$

آنگاه باید شرایط ذکرشده در روابط ۱۸الف و ۱۸ب برقرار باشد:

$$if\ V_1 \le V_2 \Rightarrow V_{CE} = V_1 \quad \text{(۱۸الف)}$$

$$if\ V_1 > V_2 \Rightarrow V_{CL} = V_2 \quad \text{(۱۸ب)}$$

پس از تعیین مقاومت برشی دیوار، ارزیابی دیوار طبق روابط ۱۹الف و ۱۹ب انجام می‌شود:

$$\frac{V_{UD}}{V_{CE}} \le m \quad \text{(۱۹الف)}$$

$$\frac{V_{UF}}{V_{CL}} \le 1 \quad \text{(۱۹ب)}$$

که در آن‌ها، V_{UD} نیروی برشی دیوار (نیروی فنر) حاصل از اعمال نیروی جانبی طبق رابطه‌ی ۸ بر سازه و V_{UF} نیروی اصلاح‌شده‌ی فنر است که از رابطه‌ی ۲۰ به‌دست می‌آید:

$$V_{UF} = \frac{V_{UD}}{C_1 J} \quad (20)$$

که در آن، پارامتر J نشان‌دهنده‌ی سطح احتمال وقوع تغییرشکل‌های غیر ارتجاعی است و در مناطق با لرزه‌خیزی کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد به ترتیب برابر ۱، ۱٫۵ و ۲ است. پارامتر m در رابطه‌ی ۱۸الف، ضریب اصلاح مقاومت و وابسته به شکل‌پذیری دیوار است. مقادیر این پارامتر در جدول ۴ ارائه شده است.

۶. بررسی نتایج ارزیابی و تعیین سطح عملکرد هر ساختمان

سطح عملکرد هر ساختمان در ارزیابی کیفی به روش نشریه‌ی ۳۷۶،[۲] با این فرض‌ها تعیین می‌شود:

آسیب‌پذیری کم: $L_R > 25\%$، معادل با تأمین سطح عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی وقفه (IO)؛

آسیب‌پذیری زیاد: $L_R \le 75\%$، معادل با تأمین سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش (CP)؛

آسیب‌پذیری متوسط: $25\% \le L_R < 75\%$، معادل با تأمین سطح عملکرد ایمنی جانی (LS).

در هنگام استفاده از ارزیابی کیفی به روش FEMA۱۵۴،[۳] با توجه به توضیحات بند ۲-۲، این فرضیات برای تعیین سطح عملکرد هر ساختمان اختیار می‌شود:

- امتیاز ساختمان ≤ 3: معادل با سطح عملکرد (IO)؛
- $3 <$ امتیاز ساختمان ≤ 2: معادل با سطح عملکرد (LS)؛
- $2 <$ امتیاز ساختمان ≤ 0: معادل با سطح عملکرد (CP).

سطح عملکرد هر دیوار در ارزیابی کمّی طبق رابطه‌ی ۱۹ و جدول ۳ تعیین می‌شود. برای تعیین سطح عملکرد ساختمان حاصل از ارزیابی کمّی، از میانگین‌گیری وزنی آسیب‌پذیری دیوارها استفاده می‌شود. برای این کار، بعد از مشخص‌کردن سطح آسیب‌پذیری هر دیوار، دیوارهای در محدوده‌ی IO با عدد ۱، دیوارهای محدوده‌ی LS با عدد ۲ و دیوارهای محدوده‌ی CP با عدد ۳ مشخص می‌شوند. تعداد دیوارهای هر محدوده در عدد موردنظر ضرب می‌شود و با تقسیم عدد به‌دست‌آمده به تعداد کل دیوارها در پلان، میزان آسیب پذیری ساختمان به‌صورت IO، LS یا CP به‌دست می‌آید. در مورد دیوار کنترل‌شونده توسط نیرو، در صورت برقراری رابطه‌ی ۱۹ب سطح عملکرد IO و در غیر این‌صورت CP منظور می‌شود. برای مثال برای ساختمان شماره‌ی ۱ آسیب‌پذیری به این صورت به‌دست می‌آید:

- تعداد کل دیوارها: ۸۳ عدد
- تعداد دیوارهای محدوده‌ی IO: ۲۴ عدد
- تعداد دیوارهای محدوده‌ی LS: ۲۱ عدد
- تعداد دیوارهای محدوده‌ی CP: ۳۸ عدد
- میزان آسیب‌پذیری کلی ساختمان:

$$\frac{(24 \times 1) + (21 \times 2) + (38 \times 3)}{83} = 2{,}16 \Rightarrow CP$$

جدول ۴. ضریب اصلاح مقاومت (m) دیوارهای بنایی در نشریه‌ی ۳۷۶.[۲]

نوع رفتار	سطح عملکرد				
	قابلیت استفاده‌ی بی وقفه	اعضای اصلی		اعضای غیراصلی	
		ایمنی جانی	آستانه‌ی فروریزش	ایمنی جانی	آستانه‌ی فروریزش
لغزش درز ملات برای ساختمان باکلاف‌بندی	۱	۳	۴	۶	۸
لغزش درز ملات برای ساختمان بدون کلاف‌بندی	۱	۱٫۵	۲	۳	۴

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵. مقایسه‌ی نتایج تعیین سطح عملکرد ساختمان‌های مورد ارزیابی.

شماره‌ی ساختمان	ارزیابی سریع		ارزیابی کمی	
	نشریه‌ی ۳۷۶	FEMA۱۵۴	نشریه‌ی ۳۷۶	FEMA۳۵۶
۱	CP	CP	CP	CP
۲	LS	CP	LS	CP
۳	LS	CP	LS	CP
۴	LS	CP	LS	CP
۵	LS	CP	LS	CP
۶	LS	CP	LS	CP
۷	LS	LS	LS	LS
۸	LS	LS	LS	LS
۹	LS	LS	LS	LS
۱۰	LS	LS	LS	LS
۱۱	LS	LS	LS	LS
۱۲	LS	LS	LS	LS
۱۳	IO	IO	LS	LS

به این ترتیب سطح عملکرد هر ساختمان از ۴ روش (ارزیابی سریع نشریه‌ی ۳۷۶ و FEMA۱۵۴، ارزیابی کمّی نشریه‌ی ۳۷۶ و FEMA۳۵۶) محاسبه و در جدول ۵ ذکر شده است. در جدول مشاهده می‌شود که نتایج ارزیابی سریع و کمّی طبق نشریه‌ی ۳۷۶ یکسان هستند.

این موضوع نشان‌دهنده‌ی هماهنگی مناسب بین دو رویکرد ارزیابی لرزه‌یی سریع و تفصیلی در نشریه‌ی ۳۷۶ است. مشابه همین موضوع در نشریات FEMA۱۵۴ و FEMA۳۵۶ نیز مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، نشریه‌ی ۳۷۶ در پاره‌یی موارد نسبت به FEMA۱۵۴ یا FEMA۳۵۶ غیرمحافظه‌کارانه‌تر عمل کرده و آسیب‌پذیری کمتری را برای ساختمان‌های مربوط محاسبه کرده است. اینکه کدامیک از این دوگروه دستورالعمل‌ها، نتایج واقع‌بینانه‌تری به‌دست داده‌اند، خود موضوع مهم و قابل بحثی است.

اما با توجه به سابقه‌ی بیشتر دستورالعمل‌های FEMA و FEMA۱۵۴، که اولین بار در سال ۱۹۸۸ منتشر و براساس تجارب عملی در زلزله‌های پس از آن در سال ۲۰۰۲ ویرایش شده است، می‌توان روابط نشریه‌ی ۳۷۶ را طوری اصلاح کرد که نتایج آن به هر دلیل تطابق بیشتری با FEMA۱۵۴ یا FEMA۳۵۶ داشته باشد. روش‌های پیشنهادی برای اصلاح رابطه‌ی ارزیابی نشریه‌ی ۳۷۶ در بخش ۷ ارائه شده است.

۷. اصلاح رابطه‌ی ارزیابی در نشریه‌ی ۳۷۶

برای اصلاح رابطه‌ی ارزیابی در نشریه‌ی ۳۷۶ (رابطه‌ی ۱)، دو راهکار در نظرگرفته می‌شود:

۱. ضریب عددی رابطه‌ی آسیب‌پذیری (۰٫۴۵) طبق نتایج به‌دست‌آمده تغییر داده شود.

۲. نقش پارامترهای مؤثر در نتایج ارزیابی سریع، با توجه به شاخص وزنی آن‌ها (بند ۴-۲) مورد بررسی قرارگیرد و هر عامل متناسب با شاخص وزنی خود، نمره‌ی ارزیابی جدیدی دریافت کند.

جدول ۶. نتایج ارزیابی سریع با رابطه‌ی اصلاح‌شده و مقایسه با نتایج ارزیابی طبق FEMA۳۵۶.

شماره‌ی ساختمان	ارزیابی سریع در نشریه‌ی ۳۷۶ توسط رابطه‌ی اصلاحی ۲۱	ارزیابی کمّی طبق FEMA۳۵۶
۱	CP	CP
۲	CP	CP
۳	CP	CP
۴	CP	CP
۵	CP	CP
۶	LS	CP
۷	LS	LS
۸	LS	LS
۹	LS	LS
۱۰	LS	LS
۱۱	LS	LS
۱۲	LS	LS
۱۳	LS	LS

۱.۷. راهکار اصلاح ضریب عددی رابطه‌ی آسیب‌پذیری در نشریه‌ی ۳۷۶

همان‌طورکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود، ارزیابی کمّی توسط FEMA۳۵۶، در موارد اختلاف، آسیب‌پذیری بیشتری را نسبت به ارزیابی کیفی نشریه‌ی ۳۷۶ نشان داده است.

لذا با فرض ثابت‌بودن عوامل دیگر، با میانگین‌گیری از شاخص آسیب‌پذیری در یک محدوده‌ی آسیب‌پذیری ضریب عددی جدید به‌صورت رابطه‌ی ۲۱ به‌دست می‌آید:

$$\text{ضریب عددی جدید} = ۰٫۴۵ \times \frac{۵۰}{۳۷٫۵} = ۰٫۶۰ \qquad (۲۱)$$

که در آن، ۵۰ و ۳۷٫۵ به ترتیب مقادیر بیشینه و متوسط شاخص آسیب‌پذیری برای ساختمان‌ها با آسیب‌پذیری متوسط است. مقدار ضریب عددی جدید در دو سطح آسیب‌پذیری دیگر نیز مشابه است. در نتیجه پیشنهاد می‌شود رابطه‌ی ارزیابی سریع در نشریه‌ی ۳۷۶ به‌صورت رابطه‌ی ۲۲ اصلاح شود:

$$L_R = ۰٫۶۰(L_۳ + L_۴ + L_۵ + L_۶ + L_۷) \times L_۱ L_۲ L_۸ L_۹ L_{۱۰}(۷٫۵A - ۱) \qquad (۲۲)$$

بعد از اصلاح رابطه‌ی ارزیابی به‌صورت رابطه‌ی ۲۲، دوباره ساختمان‌ها مورد بررسی قرار داده می‌شوند تا مشاهده شود راهکار پیشنهادی تا چه حد توانسته است مؤثر واقع شود.

نتایج بررسی دوباره در جدول ۶ ارائه شده است. مقایسه‌ی جدول‌های ۵ و ۶، نشان‌دهنده‌ی اصلاح قابل ملاحظه‌ی نتایج است و به جز یک مورد، در سایر موارد انطباق کامل وجود دارد.

۲.۷. اصلاح نمرات آسیب‌پذیری در نشریه‌ی ۳۷۶

در این حالت باید جدول نمرات آسیب‌پذیری (جدول ۱) اصلاح شود. برای اصلاح نمرات آسیب‌پذیری، با توجه به شاخص‌های وزنی مشخص‌شده در جدول ۲ و با

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۷. نمرات آسیب‌پذیری اصلاح‌شده‌ی پیشنهادی برای شاخص‌های ارزیابی سریع در نشریه‌ی ۳۷۶.

ردیف	پارامتر موردنظر	مقدار یا وضعیت پارامتر	ضریب خسارت (L_i) نمره‌ی قبلی	نمره‌ی جدید
۱	شیب زمین (θ)	$0 \le \theta \le 15$	۱	۱
		$15 \le \theta \le 30$	۱٫۱	۱٫۱
		$\theta > 30$	۱٫۲	۱٫۲
۲	نوع خاک	I	۱	۱٫۰۵
		II	۱٫۰۵	۱٫۱۰
		III	۱٫۱	۱٫۱۵
		IV	۱٫۱۵	۱٫۲۰
۳	پی	مناسب	۵	۶
		نامناسب	۲۰	۲۲
۴	دیوار سازه‌یی	با کلاف افقی و قایم	۱۵	۲۰
		با کلاف افقی	۲۵	۳۵
		بدون کلاف	۳۵	۵۰
۵	سقف	دال بتن مسلح	۵	۷
		تیرچه بلوک	۱۵	۲۰
		طاق ضربی	۲۰	۲۵
		تیر چوبی	۲۵	۳۲
۶	پیشامدگی	تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۰	۰
		عدم تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۱۰	۱۲
۷	پلان ساختمان	متقارن	۰	۰
		نامتقارن	۱۰	۱۲
۸	بازشوها	تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۱	۱٫۰۵
		عدم تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۱٫۲	۱٫۲۵
۹	تعداد طبقات	یک طبقه	۱	۱
		دو طبقه	۱٫۱	۱٫۱
		سه طبقه و بیشتر	۱٫۲	۱٫۲
۱۰	کیفیت مصالح	خوب	۱	۱٫۰۵
		متوسط	۱٫۲	۱٫۲۵
		بد	۱٫۳	۱٫۳۵

میانگین‌گیری از شاخص‌های وزنی در مورد هر عامل (مثلاً وضعیت سقف‌ها)، متوسط شاخص وزنی هر عامل در کل گروه‌های آسیب‌پذیر مشخص و بر ۱۰۰ تقسیم می‌شود. سپس حاصل‌جمع عدد حاصل با عدد ۱، در نمره‌ی آسیب‌پذیری قبلی ضرب می‌شود. نمره‌ی جدید به‌دست‌آمده، همان نمره‌ی اصلاح‌شده‌ی موردنظر است. این کار برای تک تک عامل‌های مؤثر در آسیب‌پذیری انجام می‌شود. فقط برای عامل مؤثر شتاب مبنای طرح، این‌کار به‌صورت تغییر عدد ضرب‌شده در شتاب مبنا

جدول ۸. نتایج آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد ارزیابی بعد از اصلاح نمرات آسیب‌پذیری در نشریه‌ی ۳۷۶.

شماره‌ی ساختمان	نتیجه ارزیابی سریع با نمرات اصلاح‌شده درنشریه‌ی ۳۷۶	نتیجه ارزیابی کمی طبق FEMA۳۵۶
۱	CP	CP
۲	CP	CP
۳	CP	CP
۴	CP	CP
۵	CP	CP
۶	CP	CP
۷	LS	LS
۸	LS	LS
۹	LS	LS
۱۰	LS	LS
۱۱	LS	LS
۱۲	LS	LS
۱۳	LS	LS

صورت می‌گیرد. نتایج در جدول ۷ ارائه شده است. برای نمونه، نمره‌ی آسیب‌پذیری جدید برای سقف تاق ضربی به این صورت حساب می‌شود:

میانگین شاخص وزنی سقف در آسیب‌پذیری ساختمان‌های بررسی‌شده:

$$\frac{۳۳٫۱ + ۲۷٫۳ + ۲۶٫۸ + ۲۱٫۳}{۴} = \frac{۱۰۸٫۵}{۴} = ۲۷$$

نمره‌ی آسیب‌پذیری جدید برای سقف تاق ضربی:

$$(۱ + ۰٫۲۷) \times ۲۰ = ۲۵٫۴ \approx ۲۵$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، پس از اصلاح نمرات آسیب‌پذیری، انطباق کاملی بین نتایج ارزیابی سریع در نشریه‌ی ۳۷۶ و ارزیابی کمی در نشریه‌ی FEMA۳۵۶ حاصل شده است. به این ترتیب به نظر می‌رسد راهکار پیشنهادی دوم توانسته است مشابهت کاملی را بین نتایج ارزیابی لرزه‌یی در نشریات ۳۷۶ و FEMA۱۵۴ یا FEMA۳۵۶ ایجاد کند.

با استفاده از نمرات آسیب‌پذیری اصلاح‌شده مجدداً آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد بررسی محاسبه شده است، که نتایج آن در جدول ۸ مشاهده می‌شود.

۸. نتیجه‌گیری

در این نوشتار، با انجام ارزیابی سریع و ارزیابی تفصیلی در مورد ۷۱ ساختمان بنایی موجود درکشور مشاهده شده است که تطابق بسیار خوبی بین نتایج ارزیابی سریع و تفصیلی در نشریه‌ی ۳۷۶ وجود دارد. اگر چه مشابه همین هماهنگی بین نشریات FEMA۱۵۴ و FEMA۳۵۶ نیز مشاهده می‌شود، اما در مجموع نشریه‌ی ۳۷۶ محافظه‌کاری کمتری نسبت به نشریات مزبور در بر دارد. دو روش برای اصلاح رابطه‌ی تعیین آسیب‌پذیری در نشریه‌ی ۳۷۶ براساس وزن نسبی شاخص‌های موجود در رابطه ارائه شده است که با استفاده از هریک از آنها می‌توان به نتایجی مشابه با نشریات FEMA رسید. از بین دو راهکار پیشنهادی، راهکار اصلاح نمرات در ساختمان‌های مورد مطالعه انطباق کاملی با ارزیابی تفصیلی طبق FEMA۳۵۶ را نشان می‌دهد، که می‌تواند به‌طور مؤثری در نشریه‌ی ۳۷۶ مورد استفاده قرار گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

پانوشت

1. cost-benefit

منابع (References)

1. *Regulations for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, Document 360, President Deputy of Planning and Strategic Inspection, 2nd Ed. (2006).
2. *Regulations for Seismic Rehabilitation of Existing Unreinforced Masonry Buildings*, Document 376, President Deputy of Planning and Strategic Inspection, 2nd Ed. (2007).
3. FEMA154, *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*, A Handbook, Federal Emergency Management Agency (May 2002).
4. FEMA356, *Seismic Rehabilitation Prestandard*, Federal Emergency Management Agency (2000).
5. Shakib, H. and Bayat, H. "Evaluation of buildings", Performances in Ghaenaat Earthquake, Iranian Center for Mitigation of Natural Hazards (1997).
6. Zahraei, S.M. "Study on the seismic vulnerability of buildings in Ghazvin city", Building and Housing Research Center (2004).
7. Behnamfar, F. "Common weakpoints of school and hospital buildings in Iran", Reduction of Earthquake Risk Seminar, Sharif University of Technology (Spring 2008).

Archive of SID

www.SID.ir