

بررسی مقایسه‌ی و ارائه‌ی پیشنهاد برای بهبود دقت ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ی ساختمان‌های بنایی

فرهاد بهنام‌فر* (دانشیار)

رسول شاه‌غلیان (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

مهندسی عمران شریف، (پاییز ۱۳۹۴)
دوری ۲ - ۳۱، شماره ۱/۳، ص. ۳-۹۳

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 FEMA ۱۵۴ 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 FEMA ۱۵۴ انجامیده است.

واژگان کلیدی: ارزیابی سریع، ساختمان بنایی، FEMA ۱۵۴، FEMA ۳۵۶،

نشریه ۳۷۶.

farhad@cc.iut.ac.ir

rasol.shahgholian@yahoo.com

۱. مقدمه

با انتشار دستورالعمل بهسازی لرزه‌ی ساختمان‌های موجود (نشریه 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 لرزه‌ی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح موجود (نشریه 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 نشریه FEMA ۱۵۴^[۳] در آمریکا و کشورهای دیگر از سال‌های قبل برای ارزیابی سریع ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. کاربرد روش‌های ارزیابی سریع برای بررسی عملکرد لرزه‌ی 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 بازبدهای عینی و تکمیل فرم‌های تفصیلی، عملکرد لرزه‌ی بررسی شده‌اند.^[۴] همچنین در پژوهش دیگری به ارائه‌ی مدلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ی ساختمان‌ها در مناطق مختلف ایران پرداخته و نمونه‌ی

* نویسنده مسئول

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

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

ردیف	پارامتر مورد نظر	مقدار یا وضعیت پارامتر	ضریب خسارت (L_i)
		$0 \leq \theta \leq 15$	۱
۱	شیب زمین (θ)	$15 \leq \theta \leq 30$	۱٫۱
		$\theta > 30$	۱٫۲
		I	۱
		II	۱٫۰۵
۲	نوع خاک	III	۱٫۱
		IV	۱٫۱۵
		مناسب	۵
۳	پی	نامناسب	۲۰
		با کلاف افقی و قائم	۱۵
۴	دیوار سازه‌یی	با کلاف افقی	۲۵
		بدون کلاف	۳۵
		دال بتن مسلح	۵
		تیرچه بلوک	۱۵
۵	سقف	تاق ضربی	۲۰
		تیر چوبی	۲۵
		تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۰
۶	پیشامدگی	عدم تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۱۰
		مقتارن	۰
۷	پلان ساختمان	نامقتارن	۱۰
		تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۱
۸	بازشوها	عدم تطابق با استاندارد ۲۸۰۰	۱٫۲
		یک طبقه	۱
		دو طبقه	۱٫۱
		سه طبقه و بیشتر	۱٫۲
		خوب	۱
		متوسط	۱٫۲
۱۰	کیفیت مصالح	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.

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 FEMA ۱۵۴ و نشریه‌ی ۳۷۶ مورد ارزیابی سریع قرار گرفته‌اند. تعداد منتخبی از این ساختمان‌ها نیز طبق نشریه‌ی ۳۷۶ و FEMA ۳۵۶ 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 FEMA ۱۵۴ برقرار می‌کند.

۲. روش‌های ارزیابی سریع ساختمان‌های بنایی

۲.۱. 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 نظر گرفته 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:

$$L_R = 0.45 \times [L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9 + L_{10}] \times (0.75A - 1) \leq 100 \quad (1)$$

که در آن، (L_i ($i = 1, \dots, 10$)) 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: $L_R > 25\%$;
- آسیب‌پذیری متوسط: $25\% \leq L_R < 50\%$;
- آسیب‌پذیری زیاد: $L_R \geq 50\%$ و $L_R > 75\%$;
- احتمال فروریزش ساختمان: $L_R \leq 75\%$.

۲.۲. ارزیابی سریع چشمی در نشریه‌ی FEMA ۱۵۴

ارزیابی سریع در نشریه‌ی FEMA ۱۵۴ 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، تپ 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 نظر گرفته 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

محل مخصوص ترسیم
کروکی نما و پلان
سازه

محل مخصوص ثبت اطلاعات کلی ساختمان و
مشخصات ارزیاب

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA-154 Data Collection Form

HIGH Seismicity

محل قرارگیری
مدرسه

محل مخصوص چسباندن
عکس ساختمان
ساختمان

محل مخصوص تعیین کاربری،
نوع خاک و خطر سقوط اجزای
غیر سازه‌یی

Scale: _____

Address: _____
Zip _____

Other Identifiers _____

No. Stories _____ Year Built _____

Screener _____ Date _____

Total Floor Area (sq. ft.) _____

Building Name _____

Use _____

OCCUPANCY			SOIL		TYPE						FALLING HAZARDS					
Assembly	Govt	Office	Number of Persons	0 - 40	11 - 100	A Hard Rock	B Avg. Rock	C Dense Soil	D Stiff Soil	E Soft Soil	F Poor Soil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Commercial	Historic	Residential										101-1000	1000+	Unreinforced Chimneys	Parapets	Cladding
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	+0.2	N/A	+0.2	+0.4	+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	0.9															
COMMENTS																Detailed Evaluation Required <input checked="" type="radio"/> YES <input type="radio"/> NO
محل مخصوص تعیین امتیاز سازه شامل امتیازهای پایه و اصلاحی																

* = 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 FEMA ۱۵۴.

برای محاسبه‌ی کمیته‌ی امتیاز قابل قبول، باید آنالیز سود - هزینه انجام شود. تعیین امتیاز پایین به عنوان نمره‌ی قبولی، نشان‌دهنده‌ی پذیرفتن تعداد بالای خرابی پس از زلزله و انجام هزینه‌های کمتر بهسازی است و از سوی دیگر، با در نظر گرفتن عدد بالا، هزینه‌های بهسازی افزایش و میزان خسارت کاهش می‌یابد. چنانچه امتیاز کلی ساختمان از کمیته‌ی امتیاز قابل قبول بیشتر باشد، سازه نیازی به ارزیابی دقیق‌تر جهت بررسی توان لرزه‌ی ندارد، در غیر این صورت باید مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد. در هنگام استفاده از ارزیابی کیفی به روش FEMA ۱۵۴، این فرضیات برای تعیین نوع آسیب‌پذیری هر ساختمان به‌منظور تعیین میزان خرابی اختیار می‌شود:

- امتیاز ساختمان ≤ 3 : آسیب‌پذیری کم (آسیب در اعضای سازه‌ی به‌وجود نمی‌آید و در اعضای غیرسازه‌ی قابل چشم‌پوشی است)؛
- $3 < \text{امتیاز ساختمان} \leq 2$: آسیب‌پذیری متوسط (آسیب در اعضای سازه‌ی قابل چشم‌پوشی و در اعضای غیرسازه‌ی متوسط)؛
- $2 < \text{امتیاز ساختمان} \leq 1$: آسیب‌پذیری زیاد (آسیب در اعضای سازه‌ی متوسط و در اعضای غیرسازه‌ی زیاد)؛
- $1 < \text{امتیاز ساختمان} \leq 0$: آسیب‌پذیری خیلی زیاد (آسیب در اعضای سازه‌ی زیاد و در اعضای غیرسازه‌ی 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 برگردن فرم ارزیابی کیفی سریع برای ساختمان یک بار طبق نشریه‌ی ۳۷۶ و یک بار طبق FEMA ۱۵۴، 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 ($0 \leq \theta \leq 15$) 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) پی ساختمان‌ها: 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) پیش‌سازگی ساختمان‌ها: پیش‌سازگی 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 ذکر شده 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.

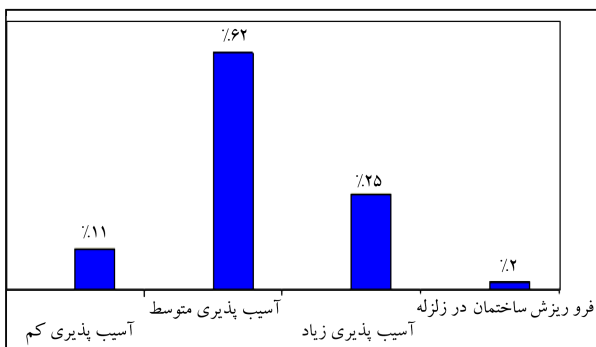
۲.۴. تجزیه و تحلیل نتایج ارزیابی سریع توسط نشریه‌ی ۳۷۶

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

$$L_R = 0.45 L'_R \quad (2)$$

$$L'_R = L_1 L_2 L_{3-7} L_8 L_9 L_{10} (V/5A - 1) \quad (3)$$

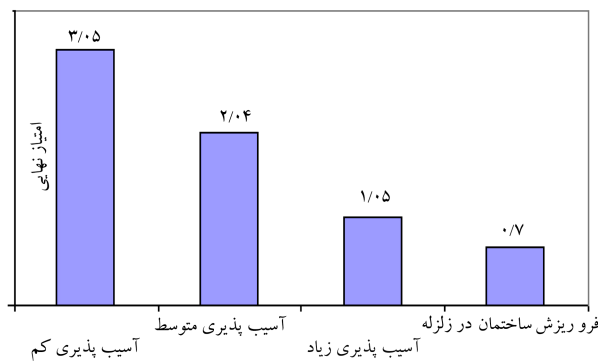
$$L_{3-7} = L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 \quad (4)$$



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

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

پارامتر آسیب پذیری	$۲۵ > L_R$	$۵^\circ > L_R \geq ۲۵$	$۷۵ > L_R \geq ۵^\circ$	$۷۵ \leq L_R$
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



شکل ۳. امتیاز نهایی برای ساختمان‌های مورد بررسی در انواع آسیب پذیری طبق FEMA ۱۵۴.

بعد از مشخص شدن هر یک از شاخص‌های مذکور برای هر ساختمان، امتیاز نهایی در هر محدوده‌ی آسیب پذیری، از کسر و یا اضافه کردن امتیازهای اصلاحی از امتیاز مبنای بدست آمده است. امتیاز نهایی ساختمان‌ها در هر محدوده‌ی آسیب پذیری مطابق شکل ۳ مشخص شده است.

۵. مدل سازی تحلیلی و ارزیابی کمی

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

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

$$Ln(L'_R) = Ln(L_1) + Ln(L_2) + Ln(L_{3-7}) + Ln(L_8) + Ln(L_9) + Ln(L_{10}) + Ln(7/5A - 1) \quad (5)$$

$$a_i = \frac{Ln(L_i)}{Ln(L'_R)}, \quad \text{for } i = 1, 2, 3 - 7, 8, 9, 10 \quad (6)$$

$$a_i = \frac{L_i}{L_{3-7}} \times \frac{Ln(L_{3-7})}{Ln(L'_R)}, \quad \text{for } i = 3, 4, 5, 6, 7 \quad (7)$$

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

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در هنگام محاسبه‌ی میزان آسیب پذیری طبق نشریه‌ی ۳۷۶ برای ساختمان‌های مورد مطالعه، مهم‌ترین علت آسیب پذیری 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 FEMA ۱۵۴

ویژگی‌های شاخص‌های مؤثر در آسیب پذیری ساختمان‌های مذکور طبق FEMA ۱۵۴ به این صورت است:

(الف) امتیاز مبنای: 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) ساختمان‌های 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.

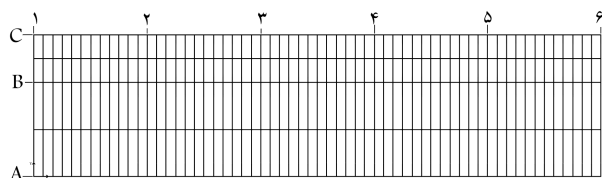
(ج) آیین‌نامه‌های قبلی: فرض شده است از هیچ آیین‌نامه‌یی برای ساخت این ساختمان‌ها استفاده نشده است.

(چ) آیین‌نامه‌ی مینا: 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.

جدول ۳. ساختمان‌های انتخاب شده برای ارزیابی کمی.

شماره ساختمان	شیب زمین	نوع خاک	نوع پی	دیوار سازه‌یی	سقف	پیشامدگی	نوع پلان	بازشوها	تعداد طبقات	کیفیت مصالح	شتاب مبنای طرح	شاخص
												آسیب پذیری
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



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

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

۱.۵. مدل‌سازی سقف‌ها

سقف‌ها به صورت دو بُعدی در نرم‌افزار SAP ۲۰۰۰ 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 انجام شده برابر 1 daN/cm^2 و ضریب پواسون آن مساوی 0.25 است.

تنش‌های فشاری و کششی نهایی مصالح بنایی سقف به ترتیب برابر 155 daN/cm^2 و 40 daN/cm^2 است.^[۱] وزن حجمی مصالح سقف 155 daN/cm^3 فرض شده است. شکل ۴، یک نمونه سقف تاق ضربی مدل شده را نشان می‌دهد. هر تیرچه در طول خود به ۲ المان تقسیم شده است. ابعاد المان‌های کوچک پوسته‌ی سقف (در محل راهروهای ورودی) 150×80 سانتی‌متر و المان‌های بزرگ‌تر (محل کلاس و دفتر مدرسه) 250×80 سانتی‌متر است. نتایج تحلیل‌ها نشان‌دهنده آن است که در این سقف‌ها تحت بار جانبی تنش کششی مهمی به وجود نمی‌آید و تنش‌های فشاری بیشینه‌ی کسری از تنش فشاری نهایی مصالح هستند. در ساختمان با سقف تیرچه بلوک، تیرچه‌های سقف به صورت تیرهای بتنی 30×10 سانتی‌متر تعریف و روی آن‌ها از بتن با ضخامت 10 سانتی‌متر استفاده شده است. وزن حجمی بتن مسلح 250 daN/cm^3 و ضریب پواسون آن برابر 0.25 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.

در ساختمان‌های با سقف دال بتن مسلح، ضخامت سقف برابر 15 سانتی‌متر است و در محل تمامی دیوارها، کلاف افقی به صورت تیر بتنی 30×30 سانتی‌متر قرار گرفته است. سقف در طول دیوارهای کناری به 4 المان 150×150 سانتی‌متری تقسیم شده است. بار مرده‌ی سقف‌ها، در سقف‌های تاق ضربی 510 daN/cm^2 ، تیرچه بلوک 630 daN/cm^2 و سقف دال بتن مسلح 560 daN/cm^2 در نظر گرفته شده است. بار زنده در طبقات 200 daN/cm^2 و در روی بام 150 daN/cm^2 در نظر گرفته شده است. نیروی جانبی وارد بر هر سقف از رابطه‌ی ۸ به دست می‌آید:^[۲]

$$F_i = \frac{w_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} C_1 S_a W \quad (8)$$

که در آن، w_i وزن هر طبقه، h_i ارتفاع سقف طبقه از تراز پایه و S_a که در آن، A و S به ترتیب شتاب مبنای طرح و پارامتر لرزه‌خیزی طبق استاندارد 2800 است.

C_1 ضریب تصحیح برای تغییر مکان‌های غیرارتجاعی سیستم است و از رابطه‌ی ۹ به دست می‌آید:^[۱]

$$C_1 = 1 + \frac{T_S - T}{2T_S - 0.7} \quad (9)$$

که در آن، T زمان تناوب اصلی سازه است و از رابطه‌ی $T = 0.5 H^{0.75}$ به دست می‌آید. T_S زمان تناوب مشترک بین دو ناحیه‌ی سرعت ثابت و شتاب ثابت در طیف

ب) شکست در اثر واژگونی

مقاومت برشی براساس واژگونی دیوار به صورت رابطه‌ی ۱۳ در نظر گرفته می‌شود:

$$V_r = 0.9 \alpha P_{D+L} \frac{L}{h} \quad (13)$$

که در آن، L برابر طول دیوار، h ارتفاع دیوار، a ضریب محل دیوار است که مقدار آن برای دیوارهای طبقه‌ی آخر برابر 0.5 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:

$$V_t = \nu_{me} A \left(\frac{L}{h} \right) \sqrt{1 + \frac{f_a}{\nu_{me}}} \quad (14)$$

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:

$$V_c = \alpha P_D \left(\frac{L}{h} \right) \left(1 - \frac{f_a}{0.7 \sqrt{f'_m}} \right) \quad (15)$$

که در آن، $P_D = 0.9 D$ 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 به صورت بحرانی‌ترین مقدار حاصل از این دو معیار محاسبه می‌شود:

$$V_{me} = 0.56 \nu_{te} + 0.75 f_a \quad (16)$$

که در آن، ν_{te} مقدار متوسط نتایج حاصل از مقاومت برشی ملات ساختمان است، که مقدار آن نباید از 7 daN/cm^2 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 FEMA ۳۵۶ تعیین می‌شود.

۴.۵. معیارهای پذیرش طبق FEMA ۳۵۶ و نشریه‌ی ۳۷۶

رفتار جانبی دیوارها، در صورتی که 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، به صورت کنترل‌شده توسط تغییرشکل است، یعنی اتلاف انرژی قابل توجه است. در غیر این صورت رفتار دیوار به صورت کنترل‌شده توسط نیرو در نظر گرفته می‌شود، یعنی اتلاف انرژی ناچیز است و اجازتی رفتار غیرخطی داده نمی‌شود. رفتار فشار محوری در دیوارها به صورت کنترل‌شده توسط نیرو فرض می‌شود.

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

۲.۵. مدل سازی دیوارها

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

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{12EI_g} + \frac{h}{GA}} \quad (10)$$

که در آن، h ارتفاع دیوار، E ضریب ارتجاعی مصالح دیوار و برابر f'_m 55° است. f'_m که در آن f'_m مقاومت فشاری مصالح دیوار است. معمولاً مقدار f'_m برای مصالح خوب برابر 60 daN/cm^2 ، برای مصالح متوسط 40 daN/cm^2 و برای مصالح بد برابر 20 daN/cm^2 در نظر گرفته می‌شود. مقاومت فشاری مصالح دیوار برای کلیه‌ی ساختمان‌ها با توجه به آزمایش مقاومت فشاری انجام شده برابر 40 daN/cm^2 در نظر گرفته شده است. همچنین G مدول برشی مصالح دیوار است که مقدار آن برای $\nu = 0.25$ برابر $0.4E$ 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، به صورت یک فنر افقی در مدل سازه در محل اتصال خود به دیافراگم‌های سقف مدل شده‌اند.

۳.۵. نیروی برشی مقاوم هر دیوار طبق FEMA ۳۵۶ و نشریه‌ی ۳۷۶

چون نتایج تحلیل‌ها نشان‌دهنده‌ی نازل بودن سطح نیروهای موجود در مقاطع سقف‌هاست، ارزیابی کمی ساختمان‌ها عمدتاً به صورت 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 FEMA ۳۵۶،^[۱] به صورت 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 به صورت رابطه‌ی ۱۱ در نظر گرفته می‌شود:

$$V_s = \nu_{me} A \quad (11)$$

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:

$$\nu_{me} = 0.375 \nu_{te} + 0.5 f_a \quad (12)$$

که در آن، ν_{te} مقدار متوسط نتایج حاصل از مقاومت برشی ملات ساختمان است، که مقدار آن نباید از 7 daN/cm^2 بیشتر در نظر گرفته شود و $f_a = \frac{P_{D+L}}{A}$ است، که $P_{D+L} = 0.9(D + L)$ 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.

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

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

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

-- امتیاز ساختمان $3 \leq$ معادل با سطح عملکرد (IO)؛

-- $3 <$ امتیاز ساختمان $2 \leq$ معادل با سطح عملکرد (LS)؛

-- $2 <$ امتیاز ساختمان $0 \leq$ معادل با سطح عملکرد (CP).

سطح عملکرد هر دیوار در ارزیابی کمی طبق رابطه‌ی ۱۹ و جدول ۳ تعیین می‌شود. برای تعیین سطح عملکرد ساختمان حاصل از ارزیابی کمی، از میانگین‌گیری وزنی آسیب‌پذیری دیوارها استفاده می‌شود. برای این کار، بعد از مشخص کردن 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 به دست آمده به تعداد کل دیوارها در پلان، میزان آسیب‌پذیری ساختمان به صورت IO، LS یا CP به دست می‌آید. در مورد دیوار کنترل‌شده توسط نیرو، در صورت برقراری رابطه‌ی ۱۹ سطح عملکرد IO و در غیر این صورت CP منظور می‌شود. برای مثال برای ساختمان شماره‌ی ۱ آسیب‌پذیری به این صورت به دست 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:

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

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

نوع رفتار	سطح عملکرد			
	قابلیت استفاده‌ی بی وقفه	اعضای اصلی	اعضای غیراصلی	استفاده‌ی ایمنی آستانه‌ی
لغزش درز ملات برای ساختمان با کلاف‌بندی	۱	۳	۴	۶
لغزش درز ملات برای ساختمان بدون کلاف‌بندی	۱	۱,۵	۲	۳

برای ارزیابی، باید مقاومت برشی بحرانی دیوار به صورت 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 ۱۷ الف و ۱۷ ب به دست می‌آید:

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

$$V_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{مقاومت برشی ناشی از لغزش درز ملات (رابطه‌ی ۱۶)} \\ \text{در هنگام ارزیابی طبق نشریه‌ی ۳۷۶} \end{array} \right. \quad (17 \text{ الف})$$

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

$$V_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{مقاومت برشی ناشی از کشش قطری (رابطه‌ی ۱۴)} \\ \text{در هنگام ارزیابی طبق نشریه‌ی ۳۷۶} \end{array} \right. \quad (17 \text{ ب})$$

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

$$if \ V_1 \leq V_2 \Rightarrow V_{CE} = V_1 \quad (18 \text{ الف})$$

$$if \ V_1 > V_2 \Rightarrow V_{CL} = V_2 \quad (18 \text{ ب})$$

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

$$\frac{V_{UD}}{V_{CE}} \leq m \quad (19 \text{ الف})$$

$$\frac{V_{UF}}{V_{CL}} \leq 1 \quad (19 \text{ ب})$$

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 به دست می‌آید:

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

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 ۱۸ الف، ضریب اصلاح مقاومت و وابسته به شکل‌پذیری دیوار است. مقادیر این پارامتر در جدول ۴ ارائه شده است.

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 کمی طبق FEMA۳۵۶
۱	CP	CP
۲	CP	CP
۳	CP	CP
۴	CP	CP
۵	CP	CP
۶	LS	CP
۷	LS	CP
۸	LS	CP
۹	LS	CP
۱۰	LS	CP
۱۱	LS	CP
۱۲	LS	CP
۱۳	LS	CP

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

شماره‌ی ساختمان	ارزیابی سریع		ارزیابی کمی	
	FEMA۱۵۴	نشریه‌ی ۳۷۶	FEMA۳۵۶	نشریه‌ی ۳۷۶
۱	CP	CP	CP	CP
۲	CP	LS	CP	LS
۳	CP	LS	CP	LS
۴	CP	LS	CP	LS
۵	CP	LS	CP	LS
۶	CP	LS	CP	LS
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	IO	IO

۱.۷. راهکار اصلاح ضریب عددی رابطه‌ی آسیب‌پذیری در

نشریه‌ی ۳۷۶

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

لذا با فرض ثابت بودن عوامل دیگر، با میانگین‌گیری از شاخص آسیب‌پذیری در یک محدوده‌ی آسیب‌پذیری ضریب عددی جدید به صورت رابطه‌ی ۲۱ به دست می‌آید:

$$(21) \quad 0.76 = \frac{50}{37.5} \times 0.45 = \text{ضریب عددی جدید}$$

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 به صورت رابطه‌ی ۲۲ اصلاح شود:

$$(22) \quad L_R = 0.76(L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) \times L_6 L_7 L_8 L_9 L_{10} (7.5A - 1)$$

بعد از اصلاح رابطه‌ی ارزیابی به صورت 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

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

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

اما با توجه به سابقه‌ی بیشتر دستورالعمل‌های FEMA۱۵۴ 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 نظر گرفته می‌شود:

۱. ضریب عددی رابطه‌ی آسیب‌پذیری (۰/۴۵) طبق نتایج به دست آمده تغییر داده شود.

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

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

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

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

شماره‌ی ساختمان	نتیجه ارزیابی سریع با نمرات اصلاح‌شده در نشریه‌ی ۳۷۶	نتیجه ارزیابی کمی طبق FEMA ۳۵۶
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:

$$\frac{33/1 + 27/3 + 26/8 + 21/3}{4} = \frac{108/5}{4} = 27$$

نمره‌ی آسیب‌پذیری جدید برای سقف تاق ضربی:

$$(1 + 0,27) \times 20 = 25,4 \approx 25$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، پس از اصلاح نمرات آسیب‌پذیری، انطباق کاملی بین نتایج ارزیابی سریع در نشریه‌ی ۳۷۶ و ارزیابی کمی در نشریه‌ی FEMA ۳۵۶ حاصل شده است. به این ترتیب به نظر می‌رسد راهکار پیشنهادی دوم توانسته است مشابهت کاملی را بین نتایج ارزیابی لزره‌ی در نشریات ۳۷۶ و FEMA ۱۵۴ یا FEMA ۳۵۶ 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 بتایی موجود در کشور 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 FEMA ۱۵۴ و FEMA ۳۵۶ 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 هر یک از آنها می‌توان به نتایج مشابه با نشریات FEMA رسید. از بین دو راهکار پیشنهادی، راهکار اصلاح نمرات در ساختمان‌های مورد مطالعه انطباق کاملی با ارزیابی تفصیلی طبق FEMA ۳۵۶ را نشان می‌دهد، که می‌تواند به‌طور مؤثری در نشریه‌ی ۳۷۶ مورد استفاده قرار گیرد.

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 حاصل جمع عدد حاصل با عدد ۱، در نمره‌ی آسیب‌پذیری قبلی ضرب می‌شود. نمره‌ی جدید به‌دست‌آمده، همان نمره‌ی اصلاح‌شده‌ی مورد نظر است. این کار برای تک تک عامل‌های مؤثر در آسیب‌پذیری انجام می‌شود. فقط برای عامل مؤثر شتاب مبنای طرح، این کار به‌صورت تغییر عدد ضرب‌شده در شتاب مبنای

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).