ارائه روشی سریع برای ارزیابی لرزه‌ای ساختمانهای موجود در ایران

حمیدرضا وثوقی‌فر، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
مهدی فیروزبخت، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران- مهندسی زلزله، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
افشین کلانتری، استادیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

چکیده

در دهه‌های اخیر تلاش فزاینده‌ای برای ارزیابی مقاومت لرزه‌ای ساختمانهای موجود به عمل آمده است؛ اما با توجه به تنوع ساختمانها و پیچیده بودن اثر عوامل و پارامترهای مختلف در آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانها، تهیه و تدوین استانداردهای سنجش ضعف، بسیار مشکل می‌باشد.

بدین منظور در این تحقیق پس از بررسی دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود و همچنین برداشتهای میدانی از ۱۱۶ ساختمان موجود در منطقه ۸ تهران به روش سیستماتیک و نظرسنجی از اساتید و مهندسین سازه‌ای مجرب، روشی نوین برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود در ایران ارائه گردیده است.

این روش دارای پرسشنامه‌ای است که اطلاعات مختلفی از جمله شالوده و خاک زیر پی، اسکلت و دیافراگم، معماری، اتصالات، میانقابها، نما و تأسیسات را در بر می‌گیرد. برای تهیه این پرسشنامه، یک فرم نظرسنجی بر اساس عوامل منظور شده در دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای ساختمانهای موجود و همچنین اشکالات موجود در نمونه‌های گرفته شده از ساختمانهای منطقه ۸ تهران تنظیم شد و با ارسال به ۵۰ نفر از اساتید و مهندسین سازه‌ای مجرب، از آنها خواسته شد تا تأثیر این عوامل را به صورت درصد در رفتار لرزه‌ای ساختمانها مشخص کنند. از آنجا که ملاک این نظرسنجی روش دلفی (*Delphi*) می‌باشد؛ بعد از سیر نظرسنجی، از تحلیل نظرات کارشناسان و همچنین وجه اشکالات ساختمانها در ناحیه مورد مطالعه، وزنهایی برای فاکتورهای ارزیابی لرزه‌ای پرسشنامه پیشنهادی در نظر گرفته شد. در نهایت با پیشنهاد حدود بازه‌های آسیب‌پذیری، راهکارهای مدیریتی در مورد نحوه برخورد با ساختمانهای مورد ارزیابی ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: ساختمانهای موجود، برداشت میدانی، ارزیابی لرزه‌ای سریع، روش دلفی، مقاوم‌سازی

۱- مقدمه

آسیب‌پذیری لرزه‌ای به میزانی از خرابی یا خسارت که به مجموعه‌ای از عوامل در معرض زلزله وارد می‌شود، اطلاق می‌گردد و معمولاً از روی مقیاس از صفر (عدم خرابی یا خسارت) تا یک (خرابی یا خسارت کلی) بیان می‌شود.

در پهنه‌های بزرگ به دلیل مشکلاتی از قبیل مطالعات زمان بر و پر هزینه از روشهای ارزیابی لرزه‌ای سریع به عنوان غربال اولیه جهت اولویت‌بندی کردن سازه‌ها برای انجام مطالعات دقیقتر استفاده می‌شود. در این روشها فرمهای مخصوصی تهیه می‌شوند و مهندسینی که در این زمینه تجربه و مهارت کافی دارند به عنوان بازرسان ساختمان با مراجعه به محل و بازدید از ساختمان؛ با استفاده از فرمهایی که حاوی مواردی همچون ارتفاع ساختمان، وضعیت پلان، نوع و اهمیت سازه، وضعیت خاک محل احداث ساختمان، کیفیت ساخت ساختمان و ... است، به جمع‌آوری این اطلاعات پرداخته و در نهایت به کمک این اطلاعات، ساختمانها را امتیازبندی می‌کنند [۱].

در زمینه ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود، تحقیقات مفصلی در خارج از کشور و در ایران انجام پذیرفته است. در این زمینه می‌توان به تحقیقات آریا [۲]، پژوهشگران ونزوئلایی [۳]، آژانس فدرال مدیریت شرایط اضطراری (*Federal Emergency Management Agency*) [۴]، کمیته فن‌آوری کاربردی (*Applied Technology Council*) [۵]، مؤسسه تحقیقات ساختمانی شورای ملی کانادا (*National Research Council of Canada*) [۶] در خارج

از کشور و به تحقیقات شکیب و قطعی برای ساختمانهای آجری استانهای گیلان و آذربایجان شرقی [۷]، تسنیمی و معصومی برای ساختمانهای بتنی و آجری تهران [۸]، فیروزی برای ساختمانهای فولادی منطقه ۲۰ تهران [۹]، رهگذر و همکاران برای ساختمانهای بتنی بندرعباس [۱۰]، صاحبی و مسلمی برای ساختمانهای استان مازندران [۱۱]، زهرایی و همکاران برای ساختمانهای شهر قزوین [۱۲] و به انتشار دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود (نشریه ۳۶۴) توسط دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور [۱۳] در داخل کشور اشاره نمود.

در این روشها سعی بر این بوده است تا با ارائه روشی، کمیتهایی به کیفیتهای برداشت شده از ساختمان نسبت داده شود تا بتوان برآوردی کمی از میزان آسیب‌پذیری ساختمان به دست آورد.

بعید نیست که نتایج ارزیابی لرزه‌ای سریع در یک ساختمان با توجه به بازدیدهای گروه‌های متفاوت بازرسی با یکدیگر تفاوت داشته باشند؛ بنابراین قضاوت در مورد تقویت یا تخریب ساختمان با استفاده از این روش بسیار دشوار است. در اغلب اوقات اگر تغییر عملکرد ساختمان امکان پذیر باشد و مقاومت ساختمان از حد مطلوب، فاصله زیادی نداشته باشد می‌توان به ترمیم و بهسازی ساختمان اقدام کرد و در مواردی که مقاومت ساختمان به هیچ وجه رضایت بخش و مقاوم‌سازی آن نیز امکان‌پذیر نباشد به ناچار باید در مورد تخریب و ساخت مجدد آن تصمیم‌گیری نمود [۱۴].

در این مطالعه پس از بررسی مقایسه‌ای دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود و همچنین برداشتهای میدانی از ۱۱۶ ساختمان موجود در منطقه ۸ تهران به روش سیستماتیک و نظرسنجی از اساتید و مهندسین سازه‌ای مجرب، روشی نوین و سریع برای ارزیابی لرزه‌ای ساختمانهای موجود در ایران ارائه گردیده است.

۲- دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود

برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود، می‌توان به دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای سریع آژانس فدرال مدیریت شرایط اضطراری، دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای سریع کمیته فن‌آوری کاربردی، دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای سریع مؤسسه تحقیقات ساختمانی شورای ملی کانادا و دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود (نشریه ۳۶۴) اشاره نمود. در ادامه به بررسی جزئیات این روشهای ارزیابی پرداخته می‌شود.

۲-۱- روش ارزیابی لرزه‌ای سریع آژانس فدرال مدیریت شرایط اضطراری [۴]

آژانس فدرال مدیریت شرایط اضطراری برای بررسی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانها، راهنمایی را تحت عنوان *FEMA 154* منتشر کرد. این راهنما گامهای ارزیابی لرزه‌ای چشمی ساختمانها را به صورت زیر خلاصه می‌کند:

۱- تأمین بودجه و برآورد هزینه؛
۲- پیش برنامه‌ریزی منطقه مورد ارزیابی؛
۳- انتخاب فرم جمع‌آوری اطلاعات با توجه به لرزه‌خیزی منطقه؛
۴- انتخاب ارزیاب‌ها و آموزش آنها؛
۵- بازنگری اطلاعاتی که باید گردآوری شوند و تعیین نوع خاک منطقه با توجه به بانکهای اطلاعاتی ژئوتکنیک؛
۶- بازنگری نقشه‌های ساختمانهای موجود در صورت در دسترس بودن به منظور تعیین زمان ساخت و نوع سازه و نامنظمی؛
۷- مشاهده ساختمان از خارج از کلیه جهات ممکن و ترسیم کروکی‌های مربوطه؛
۸- وارسی نوع سیستم و نامنظمی‌های موجود در پلان، در صورتی که بازدید از داخل سازه ممکن باشد؛
۹- گرفتن عکس از ساختمان به صورت فوری یا دیجیتال؛
۱۰- نگهداری اطلاعات برداشت شده در سیستم بایگانی مناسب.

مدت زمانی که باید برای ارزیابی هر ساختمان در نظر گرفته شود، ۱۰ الی ۳۰ دقیقه است؛ البته در شرایط استثنایی و بزرگی سازه این زمان ممکن است به یک ساعت هم برسد.

در این راهنما سیستم‌های مقاوم جانبی به ۱۵ دسته طبقه‌بندی شده‌اند. در صورت تردید نسبت به نوع سیستم باربر، هر دو امتیاز روی فرم ارزیابی محاسبه شده و کمترین امتیاز به عنوان نمره نهایی ساختمان در نظر گرفته می‌شود.

برای یک ساختمان معین، امتیاز نهایی سازه (S)، از جمع جبری امتیاز پایه و امتیازهای اصلاحی تعیین می‌شود و در نهایت در جواب این سؤال که آیا ساختمان به بررسی دقیقتر نیاز دارد یا خیر، گزینه (بله) یا (خیر) علامت زده می‌شود. در این راهنما، ساختمانها پس از ارزیابی، امتیازی بین صفر تا ۷ کسب می‌کنند که این امتیاز مُعرف مقاومت و عملکرد آنها در هنگام زلزله می‌باشد. امتیاز قابل قبول برای ساختمانهای معمولی عدد ۲ یا به عبارتی پذیرفتن ۰/۰۱ خرابی این نوع سازه‌ها پس از وقوع زلزله توصیه گردیده است. چنانچه امتیاز ساختمان از حداقل امتیاز قابل قبول بیشتر باشد، سازه نیاز به ارزیابی دقیقتر توان لرزه‌ای ندارد، ولی در غیر این صورت باید مورد ارزیابی دقیقتر قرار گیرد.

در صورت تردید نسبت به نوع سیستم باربر، هر دو امتیاز روی فرم ارزیابی محاسبه می‌گردد و کمترین امتیاز به عنوان نمره نهایی ساختمان در نظر گرفته می‌شود.

فرمهای گردآوری اطلاعات سازه‌ای در سه گروه لرزه خیزی زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی شده‌اند و تفاوت آنها در میزان امتیاز پایه و امتیازهای اصلاحی برای سیستم‌های مختلف سازه‌ای می‌باشد. در ادامه برای نمونه، فرم گردآوری اطلاعات برای منطقه با لرزه‌خیزی زیاد در جدول (۱) آورده شده است.

***جدول (۱)**. فرم گردآوری اطلاعات برای منطقه با لرزه‌خیزی زیاد.*

آدرس: ..... کد پستی: ..... مشخصات دیگر: ..... تعداد طبقات: ..... سال ساخت: .....

ارزیاب: ..... تاریخ: ..... سطح کل زیر بنا (فوت مربع): ..... نام ساختمان: ..... کاربری: .....

محل درج عکس ساختمان	ترسیم کروکی پلان و نمای ساختمان مقیاس: .....

خطر سقوط اجزای غیرسازه‌ای: دودکشهای مهار نشده☐ نمای سنگین☐ جان پناه☐ سایرموارد☐

نوع خاک: ☐A ☐B ☐C ☐D ☐E ☐F

نوع کاربری: مسکونی☐مردمی☐صنعتی☐اداری☐مدرسه☐تجاری☐تاریخی☐اضطراری☐دولتی☐

تعداد ساکنین: ۱۰ - ۰☐ ۱۰۰ - ۱۱☐ ۱۰۰۰ - ۱۰۱☐ ۱۰۰۰+☐

امتیازهای پایه، اصلاحی و امتیاز نهایی

نوع ساختمان	W1	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM
امتیاز پایه	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
بین ۴ تا ۷ طبقه	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
بیش از ۷ طبقه	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
نامنظمی در ارتفاع	−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
نامنظمی در پلان	−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
طراحی قبل از تدوین آیین نامه	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
طراحی پس از تغییرات ویژه در آیین نامه	+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
نوع خاک تیپ 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
نوع خاک تیپ 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
نوع خاک تیپ 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

امتیاز نهایی(S): .....

آیا ساختمان نیاز به ارزیابی با جزئیات بیشتری دارد؟ بله☐ خیر☐

توضیحات: .....

توضیح: W1، W2، S1، S2، S3، S4، S5، C1، C2، C3، PC1، PC2، RM1، RM2 و URM به ترتیب عبارتند از: ساختمانهای مسکونی یا تجاری با قاب سبک چوبی کوچکتر یا مساوی با ۵۰۰۰ فوت مربع، ساختمانهای دارای قاب چوبی بزرگتر از ۵۰۰۰ فوت مربع، ساختمانهای دارای قاب خمشی فولادی، ساختمانهای دارای قاب فولادی مهاربندی شده، ساختمانهای فلزی سبک، ساختمانهای اسکلت فلزی با دیوارهای برشی بتنی در جا، ساختمانهای اسکلت فلزی با دیوارهای برکننده مصالح بنایی غیر مسلح، ساختمانهای با قاب خمشی بتنی، ساختمانهای بتنی با دیوار برشی، ساختمانهای اسکلت بتنی با دیوارهای پر کننده مصالح بنایی غیر مسلح، ساختمانهای پیش ساخته در محل، ساختمانهای بتنی پیش ساخته، ساختمانهای مصالح بنایی مسلح با دیافراگم کف و بام انعطاف‌پذیر، ساختمانهای مصالح بنایی مسلح با دیافراگم صلب و ساختمانهای دیوار باربر مصالح بنایی غیر مسلح.

۲-۲- روش ارزیابی لرزه‌ای سریع کمیته فن‌آوری کاربردی [۵]

بعد از اینکه آژانس فدرال مدیریت شرایط اضطراری، یک برنامه ملی را برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود پایه‌ریزی نمود، کمیته فن‌آوری کاربردی تحت نظارت آژانس فدرال مدیریت شرایط اضطراری به منظور توسعه روشهای ارزیابی لرزه‌ای سریع، یک گروه برای پروژه *ATC*-21 تشکیل داد.

اساس این روش، طبقه‌بندی ساختمان از نظر نوع سیستم باربر جانبی و تعیین یک درجه خسارت‌پذیری سازه‌ای پایه برای آن می‌باشد. سپس این درجه خسارت‌پذیری سازه‌ای با اضافه و کم کردن ضرایب تصحیح عملکرد اصلاح می‌شود تا درجه سازه‌ای نهایی (S) به دست آید.

$$S = -log\ (\text{احتمال ضرر و زیان}) \geq ۰/۶ \qquad (۱)$$

درجه سازه‌ای نهایی (S) در بازه‌ای بین صفر و شش در نظر گرفته شده است؛ که درجات بالاتر نشان‌گر عملکرد لرزه‌ای بهتر می‌باشند. تیم محققین این روش توصیه کردند که مهندسین مجرب طراحی لرزه‌ای، ساختمانهای با درجه سازه‌ای نهایی کمتر از ۲ را بازنگری نمایند.

این دستورالعمل، برای جمع‌آوری اطلاعات سازه‌ای، سه فرم جداگانه؛ مطابق محدوده‌هایی که آیین‌نامه *NEHRP* (*National Earthquake Hazards Reduction Program*) از نظر لرزه‌خیزی مشخص کرده، مطابق دسته‌بندی زیر در نظر گرفته است:

۱- مناطق با خطر لرزه‌خیزی بالا (مناطق ۵، ۶ و ۷)؛

۲- مناطق با خطر لرزه‌خیزی متوسط (مناطق ۳ و ۴)؛

۳- مناطق با خطر لرزه‌خیزی کم (مناطق ۱ و ۲).

در ادامه برای نمونه، فرم جمع‌آوری اطلاعات سازه‌ای برای مناطق لرزه‌خیزی بالا در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): *فرم جمع‌آوری اطلاعات و درجه‌بندی سازه برای مناطق لرزه‌خیزی بالا.*

آدرس:.....
مشخصات:.....
تعداد طبقات:.....سال ساخت:.....
بازرس:.....تاریخ:.....
زیر بنا:.....
نام ساختمان:.....
کاربری:.....

شکل پلان ساختمان

مقیاس:.....

عکس فوری از ساختمان

امتیازهای پایه و اصلاحی ساختمان‌ها:

نوع سازه	W	S1	S2	S3	S4	C1	C2	C3/S5	PC1	PC2	FM	URM
نمره اصلی	4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	2.0	3.0	1.5	2.0	1.5	3.0	1.0
سازه بلند	N/A	-2.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-0.5	N/A	-0.5	-1.0	-0.5
شرایط ضعیف	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
نامنظمی در ارتفاع	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1.0	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5	-0.5
طبقه نرم	-1.0	-2.5	-2.0	-1.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.0
پیچش	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
بی نظمی در پلان	-1.0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
ضربه	N/A	-0.5	-0.5	N/A	-0.5	-0.5	N/A	N/A	N/A	-0.5	N/A	N/A
پوشش سنگین	N/A	-2.0	N/A	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A
ستون کوتاه	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	N/A	N/A
سال آئین‌نامه بکار رفته در طراحی ساختمان	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	N/A	2.0	2.0	2.0	N/A
پروفیل خاک نوع ۲	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
پروفیل خاک نوع ۳	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
پروفیل خاک نوع ۳ و ۸ تا ۲۰ طبقه	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8

نوع کاربری:
مسکونی
تجاری
اداری
صنعتی
مردمی
مدرسه
دولتی
اضطراری
تاریخی

تعداد ساکنین:
۰-۱۰
۱۱-۱۰۰
۱۰۰+

نمره نهایی:.....

خطر ریزش اجزای غیرسازه‌ای ☐ اطمینان به داده‌ها: غیر قابل اطمینان، ذهنی، محاسبه شده= * بی اطلاعی=DNK

آیا بازرسی مفصل احتیاج است؟ بلی ☐ خیر ☐ پیشنهادات:.....

۲-۳- روش ارزیابی لرزه‌ای سریع مؤسسه تحقیقات ساختمانی شورای ملی کانادا [۶]

بسیاری از ساختمانها در مناطق فعال لرزه‌ای کانادا همچون دیگر کشورها، پیش از آن که معیارهای مناسب طرح لرزه‌ای ارائه گردند، ساخته شده و بالقوه در برابر حرکات لرزه‌ای زمین آسیب‌پذیرند.

مؤسسه تحقیقات ساختمانی شورای ملی کانادا برای کمک به صاحبان ساختمانها در برآورد کاستی‌های لرزه‌ای، روش ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود را ابداع نمود که بر اساس ملاحظات *FEMA 154* و *ATC-21* استوار است.

عوامل اصلی که در این روش مورد توجه قرار گرفته‌اند عبارتند از: لرزه‌خیزی در محل سازه (A)، شرایط خاک (B)، نوع سازه (C)، نامنظمی‌های ساختمان (D)، اهمیت ساختمان (E) و خطرات مربوط به اجزای غیرسازه‌ای (F).

با توجه به این عوامل، یک شاخص سازه‌ای (*Structural Index*)، یک شاخص غیر سازه‌ای (*Non-Structural Index*) و در نهایت از مجموع شاخصهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، شاخصی به نام شاخص اولویت لرزه‌ای (*Seismic Priority Index*) به ترتیب مطابق روابط (۲) تا (۴) به دست می‌آیند.

$$SI = A \times B \times C \times D \times E \qquad (۲)$$

$$NSI = B \times E \times F \qquad (۳)$$

$$SPI = SI + NSI \qquad (۴)$$

که شاخص اولویت لرزه‌ای، نمره کلی برای سازه مورد بررسی را نتیجه می‌دهد. $SP \le ۱۰$، $۱۰ < SP \le ۲۰$ و $SP \ge ۲۰$ به ترتیب تقدم لرزه‌ای پایین، متوسط و بالا را برای سازه مورد نظر نشان می‌دهند.

برای جمع‌آوری اطلاعات سازه‌ای از فرم ارزیابی لرزه‌ای شماره ۲ که در جدول (۳) نشان داده شده، استفاده می‌شود.

۲-۴- روش ارزیابی لرزه‌ای سریع نشریه ۳۶۴ [۱۳]

این دستورالعمل برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود تهیه شده است. ساختمانهایی که بر اساس آخرین ویرایش استاندارد ۲۸۰۰ ایران طراحی لرزه‌ای و اجرا شده‌اند و کاربری فعلی آنها منطبق بر کاربری در نظر گرفته شده در طراحی اولیه است، نیازی به انجام مراحل این دستورالعمل ندارند. ساختمانهای بنایی سنگی و خشتی، ساختمانهای بدون ملات یا با ملات گِل، ساختمانهای بنایی مسلح و غیرمسلح، ساختمانهای قاب سبک فولادی و ساختمانهای چوبی از حیطه این دستورالعمل خارج هستند.

این روش ارزیابی طی یک فرآیند دو مرحله‌ای که شامل ارزیابی لرزه‌ای چشمی و کیفی است، صورت می‌پذیرد. با توجه به نتایج حاصل شده از ارزیابی چشمی، ممکن است نیازی به ادامه روند ارزیابی در مرحله دوم یعنی انجام ارزیابی کیفی نباشد.

در این دستورالعمل یک کرانه بالا (S_U) و پایین (S_L) برای تعیین محدوده مناسب برای انجام مطالعات بهسازی در نظر گرفته شده است. کرانه‌های بالا و پایین شاخص ارزیابی لرزه‌ای به ترتیب برابر ۳ و صفر لحاظ شده‌اند.

همچنین برای کلیه ساختمانهایی که شاخص ارزیابی لرزه‌ای آنها بین کرانه‌های پایین و بالای شاخص ارزیابی لرزه‌ای قرار می‌گیرند، سطح آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها نیازمند مطالعات ارزیابی کیفی در دو سطوح اولیه و تکمیلی هستند. برای تعیین سطح مورد نیاز در مطالعات کیفی شاخصی تحت عنوان شاخص ارزیابی لرزه‌ای پایه (S_B) تعریف شده است. عدد ۲ برای شاخص ارزیابی لرزه‌ای پایه در نظر گرفته شده است. در جدول (۴) سطح آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانها و نحوهٔ ادامه روند بهسازی لرزه‌ای نشان داده شده است.

ارزیابی لرزه‌ای چشمی این دستورالعمل همانند دیگر روشهای ارزیابی سریع دارای فرمهای مخصوصی برای گردآوری اطلاعات سازه است. در جدول (۵)، نمونه‌ای از این فرمها برای مناطق با لرزه‌خیزی زیاد و بسیار زیاد نشان داده شده است.

۳- مقایسه بین دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود

می‌توان در یک نگاه کلی؛ مطابق جدول (۶) با در کنار هم گذاشتن پارامترهای لحاظ شده در دستورالعملهای مختلف ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود مشاهده کرد که این دستورالعملها چه عواملی را برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود در نظر گرفته‌اند و از آنها در تنظیم فاکتورهای ارزیابی پرسشنامه روش پیشنهادی الهام گرفت.

جدول (۳): فرم ارزیابی لرزه‌ای شماره ۲.

فرم ارزیابی لرزه‌ای	فرم شماره ۲
شاخص اولویت لرزه‌ای: دور مقدار مناسب دایره بکشید. هر نتیجه را در سمت چپ یادداشت کنید و زمانی که از آن اطمینان ندارید در جلوی آن * بگذارید.	

A	لرزه‌خیزی	سال طراحی	ناحیه لرزه‌ای مؤثر ۲	۳	۴	۵	۶	A =.....
		قبل از سال ۱۹۶۵	۱	۱/۵	۲	۳	۴	
		۱۹۸۴-۱۹۶۵	۱	۱	۱/۳	۱/۵	۲	
		بعد از سال ۱۹۸۵	۱	۱	۱	۱	۱	

B	نوع خاک	سال طراحی	شرایط خاک: سنگ یا خاک سخت	خاک سخت با عمق بیش از ۵۰ متر	خاک نرم با عمق بیش از ۵۰ متر	خاک خیلی نرم	خاک نامشخص	B = ...
		قبل از سال ۱۹۶۵	۱	۱/۳	۱/۵	۲	۱/۵	
		بعد از سال ۱۹۸۵	۱	۱	۱	۱/۵	۱/۵	

C	نوع سازه	سال طراحی	جنس سازه و نشانه آن (فرم شماره ۱ را نگاه کنید): چوبی WLF	چوبی WPB	فولادی SLF	فولادی SMF	فولادی SBF	فولادی SCW	بتنی CMF	بتنی CSW	بتنی پیش‌ساخته PCF	بتنی پیش‌ساخته PCW	میانقاب بنایی S,W,C,W	بنایی (آجری) RML,RMC	بنایی (آجری) URM	C = ...
	BM سال مبداء (فرم شماره ۱ را نگاه کنید)	قبل از سال ۱۹۷۰	۱/۲	۲	۱	۱/۲	۱/۵	۲	۲/۵	۲	۲/۵	۲	۳	۲	۳/۵	
		۱۹۷۰-BM	۱/۲	۲	۱	۱/۲	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۸	۱/۵	۲	۱/۵	۳/۵	
		BM	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	-	

D	نامنظمی سازه	سال طراحی	۱. قائم	۲. افقی	۳. ستونهای کوتاه	۴. طبقه نرم	۵. ضربه زدن	۶. تغییر عملکرد	۷. فرسودگی	۸. هیچکدام	D = ...
		قبل از سال ۱۹۷۰	۱/۳	۱/۵	۱/۵	۲	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱	حاصلضرب اعداد دایره زده که باید از ۴ بیشتر باشد.
		بعد از سال ۱۹۷۰	۱/۳	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱	۱/۳	۱	

E	اهمیت سازه	سال طراحی	تراکم کم (N<۱۰)	تراکم معمولی (N=۱۰-۳۰۰۰)	اشغال زیاد (مدرسه)	اشغال خیلی زیاد و مورد نیاز پس از زلزله (N>۱۰)	کاربری ویژه	E =.....
		قبل از سال ۱۹۷۰	۰/۷	۱	۱/۵	۲	۳	
		بعد از سال ۱۹۷۰	۰/۷	۱	۱/۲	۱/۵	۲	

..... = سطح اشغال شده*تراکم جمعیت* عامل زمان = N

عامل زمان برابر است با اشغال افراد بر حسب ساعت در هفته، تقسیم بر صد و بیش از یک نمی‌باشد.

تراکم جمعیت (متر مربع)	متوسط ساعات اشغال افراد در هفته
۱	۵-۵۰
۰/۲	۵۰-۸۰
۰/۱	۵۰-۶۰
۰/۰۶	۱۰۰
۰/۰۱ -۰/۰۲	۱۰۰

..... = SI =A.B.C.D.E (شاخص سازه‌ای)

F		خطرات غیر سازه ای	شرح		هیچکدام	بلی*	بلی	F =Max (F1, F2) =.....
	F1	خطرات جانی مرتبط با سقوط	به فرم شماره ۱ مراجعه کنید.	قبل از سال ۱۹۷۰	۱	۳	۶	
				بعد از سال ۱۹۷۰	۱	۲	۳	
	F2	خطر برای کارکردهای حیاتی	به فرم شماره ۱ مراجعه کنید.	هر تاریخ	۱	۳	۶	
	*زمانی کاربرد دارد که یک و یا بیش از یک مورد در فرم ارزیابی شماره ۱ دایره خورده باشد.							

NSI = ...	NSI =B.E.F (شاخص غیرسازه‌ای)
SPI = ...	SPI =SI+NSI (شاخص اولویت لرزه‌ای)

جدول (۴): *سطح آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانها و نحوهٔ ادامه روند بهسازی لرزه‌ای.*

سطح آسیب‌پذیری لرزه‌ای	شاخص ارزیابی لرزه‌ای	ادامه روند مطالعات بهسازی لرزه‌ای
آسیب‌پذیری کم	$S > S_U$	ساختمان از پایداری نسبی برخوردار است و پیشنهاد می‌شود از اولویت مطالعات بهسازی لرزه‌ای خارج شود. بنابراین نیازی به انجام مرحله ارزیابی کیفی نیست.
آسیب‌پذیری متوسط	$S_B < S < S_U$	ارزیابی دقیق آسیب‌پذیری ساختمان نیازمند مطالعات بیشتر است. پیشنهاد می‌شود پس از انجام ارزیابی کیفی اولیه، فرآیند بهسازی لرزه‌ای در سطح تفضیلی صورت پذیرد و یا در صورت وجود مدارک فنی و پیشنهاد مشاور، ارزیابی کیفی در دو سطح اولیه و تکمیلی صورت گیرد و در صورت عدم مشاهده موارد نقص عمده، ساختمان از اولویت مطالعات بهسازی لرزه‌ای خارج شود.
آسیب‌پذیری زیاد	$S_L < S < S_B$	آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان زیاد است. پیشنهاد می‌شود ارزیابی کیفی در سطح اولیه صرفاً به منظور شناخت بهتر ساختمان صورت گیرد و فرآیند بهسازی لرزه‌ای در سطح تفضیلی ادامه یابد.
آسیب‌پذیری بسیار زیاد	$S < S_L$	آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان بسیار زیاد است و نیازی به انجام ارزیابی کیفی نیست. پیشنهاد می‌شود ضمن بررسی راهکارهای دیگر ادامه فرآیند بهسازی لرزه‌ای در سطح تفضیلی تنها با ارائه توجیه فنی و اقتصادی صورت پذیرد.

جدول (۵): *فرم جمع‌آوری اطلاعات و درجه‌بندی سازه برای مناطق لرزه‌خیزی زیاد و بسیار زیاد.*

نام ساختمان و بهره بردار:.....
آدرس:.....
کد پستی(پلاک ثبتی):..... افراد ساکن در ساختمان:.....
سال طراحی:..... سال ساخت:.....
تعداد طبقات زیر زمین:..... تعداد کل طبقات:.....
کاربری طراحی:..... کاربری فعلی:.....
مساحت کُل (متر مربع):..... اضافه بنای الحاقی (متر مربع):.....
وضعیت موجود نقشه‌ها: .....
تاریخ بازدید:.....
نام و مشخصات ارزیاب:.....

ترسیم کروکی پلان و نمای ساختمان

محل درج عکس

توضیحات:

نوع سقف: ○طاق ضربی ○تیرچه بلوک ○سایر — خطر سقوط اجزای غیرسازه‌ای: ○نماسازی ○دست انداز ○تجهیزات الحاقی ○غیره

اهمیت ساختمان بر اساس استاندارد ۲۸۰۰: گروه ۱○ گروه ۲○ گروه ۳○ گروه ۴○ — نوع خاک بر اساس استاندارد ۲۸۰۰: ۱○ ۲○ ۳○ ۴○

نوع سیستم سازه / امتیاز	سیستم‌های فولادی				سیستم‌های بتنی			
	S1	S2	S3	S4	C1	C2	C3	C4
	قاب خمشی	قاب ساده با مهاربندی	قاب ساده با دیوار برشی	قاب ساده میانقاب	قاب خمشی	قاب خمشی با دیوار برشی	قاب با میانقاب	قاب پیش ساخته
امتیاز پایه	۲/۸	۳	۲/۸	۲	۲/۵	۲/۸	۱/۶	۲/۴
بین ۴ تا ۷ طبقه	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۲	۰/۲
بیش از ۷ طبقه	۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۶	۰/۸	۰/۳	۰/۴
نامنظمی در ارتفاع	−۱/۰	−۱/۵	−۱/۰	−۱/۰	−۱/۵	−۱/۰	−۱/۳	−۱/۰
نامنظمی در پلان	−۰/۵	−۰/۵	−۰/۵	−۰/۵	−۰/۵	−۰/۵	−۰/۵	−۰/۵
عدم رعایت ویرایش اول ۲۸۰۰	−۱/۰	−۰/۸	−۰/۸	−۰/۲	−۱/۲	−۱/۰	−۰/۲	−۰/۲
رعایت ویرایش اول ۲۸۰۰	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۱	۰/۱	۰/۷	۰/۱	۰/۱
رعایت ویرایش دوم یا بالاتر ۲۸۰۰	۱/۴	۱/۴	۱/۶	۰/۲	۱/۴	۲/۴	۰/۲	۰/۲
نوع خاک تیپ ۲	−۰/۴	−۰/۴	−۰/۴	−۰/۴	−۰/۴	−۰/۴	−۰/۴	−۰/۴
نوع خاک تیپ ۳	−۰/۶	−۰/۶	−۰/۶	−۰/۶	−۰/۶	−۰/۶	−۰/۴	−۰/۶
نوع خاک تیپ ۴	−۱/۲	−۱/۲	−۱/۲	−۰/۸	−۱/۲	−۰/۸	−۰/۸	−۱/۲
عدم وجود مشاور و ناظر	−۰/۷	−۰/۵	−۰/۵	−۰/۴	−۰/۸	−۰/۶	−۰/۴	−۰/۴

شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای (S): .....

کرانه پایین شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای (S_L)..... | کرانه بالای شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای (S_U)..... | شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایه (S_B).....

ملاحظات:..... ارزیابی کیفی نیاز دارد؟ بله خیر

همان طور که در جدول (۶) ملاحظه می‌شود، در هیچکدام از دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود، تمام عواملی که در ارزیابی لرزه‌ای ساختمانها نقش دارند، در نظر گرفته نشده‌اند.

جدول (۶): *پارامترهای لحاظ شده در دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود در یک نگاه کلی.*

پارامترهای در نظر گرفته شده در دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود	نام روش ارزیابی لرزه‌ای سریع			
	۱*	۲*	۳*	۴*
آسیبهای قبلی ساختمان		■	■	
اثر ضربه		■	■	
احتمال پیچش		■		
پوشش سنگین		■	■	
تراکم جمعیت در ساختمان			■	
تعداد طبقات	■	■		■
تقارن در ارتفاع	■	■	■	■
تقارن در پلان	■	■	■	■
خطر لرزه‌خیزی منطقه	■	■	■	■
سال آیین‌نامه به کار رفته در طراحی ساختمان	■	■	■	■
نوع خاک زمین محل ساختمان	■	■	■	■
نوع سیستم قاب سازه‌ای	■	■	■	■
نوع کاربری			■	
وجود ستون کوتاه		■	■	
وجود طبقه نرم		■	■	
وجود مشاور و ناظر				■

۱*: دستورالعمل *FEMA 154*

۲*: دستورالعمل *ATC-21*

۳*: دستورالعمل مؤسسه تحقیقات ساختمانی شورای ملی کانادا

۴*: دستورالعمل نشریه ۳۶۴

۴- معرفی ناحیه مورد مطالعه و بررسی وضعیت ساختمانهای مسکونی در آن

ناحیه مورد مطالعه در منطقه ۸ شهرداری تهران واقع شده است. این ناحیه در حد فاصل خیابان جانبازان (شرقی و غربی) از جنوب، بزرگراه رسالت از شمال، خیابان سمنگان از غرب و خیابان دردشت از شرق قرار گرفته است. ناحیه مورد نظر دارای بافتی ناهمگون از ساختمانهای مسکونی قدیمی و جدید است؛ به گونه‌ای که در کنار بسیاری از ساختمانهای جدیدالاحداث، نمونه‌هایی از ساختمانهای با عمر بیش از ۲۵ سال نیز وجود دارند. شکل (۱) ناحیه مورد مطالعه را به تصویر کشیده است.

بر اساس آمار اخذ شده از معاونت شهرسازی شهرداری منطقه ۸ تهران، در این ناحیه حدود ۱۱۰۰ واحد مسکونی قرار دارد که بر اساس نمونه‌گیری به روش سیستماتیک تعداد ۱۱۶ نمونه مورد بررسی قرار گرفتند.

پس از بررسی وضعیت ساختمانهای مسکونی، نتیجه وضعیت آنها به لحاظ نوع اسکلت به شرح جدول (۷) می‌باشد.

شکل (۱): *معرفی ناحیه مورد مطالعه.*

جدول (۷): *تقسیم‌بندی ساختمانهای مورد مطالعه بر اساس نوع سازه.*

ردیف	نوع اسکلت	درصد
۱	فلزی	۴۲
۲	بتنی	۱۱
۳	ساختمانهای با مصالح بنایی	۴۷

در جدول (۸) وجه اشتراک اشکالات ساختمانها در ناحیه مورد مطالعه نشان داده شده است. این اشکالات حائز اهمیت بوده و می‌تواند موجب تصمیم‌گیری‌های مهمی گردد.

جدول (۸): *وجه اشتراک اشکالات نمونه‌ها.*

ردیف	نوع اشکال	تعداد	درصد
۱	شالوده و خاک زیر آن	۲۳	۲۰
۲	سیستم باربر جانبی	۵۱	۴۴
۳	سیستم باربر قائم	۳۲	۲۷/۵
۴	دیافراگم (سقف)	۷۰	۶۰
۵	ستون کوتاه	۱۱۶	۱۰۰
۶	طبقه نرم	۳	۲/۵
۷	نامنظمی در پلان	۴۰	۳۴/۵
۸	نامنظمی در ارتفاع	۳۸	۳۳
۹	نامناسب بودن توزیع جرم در ارتفاع	۲	۱/۵
۱۰	رعایت نشدن درز انقطاع	۵۸	۵۰
۱۱	اتصالات نامناسب	۹۹	۸۵
۱۲	تأثیر میانقاب‌ها	۱۰۱	۸۷
۱۳	تأثیر نما	۱۱۶	۱۰۰
۱۴	تأثیر تأسیسات داخلی ساختمان	۱۱۶	۱۰۰

۵- نظرسنجی از اساتید و مهندسین سازه‌ای مجرب به روش دلفی

۵-۱- روش دلفی [۱۵]

روش دلفی، اجماع صاحبنظران در مورد مسأله‌ای خاص است. در این روش؛ مدیر یا فرد مسؤول حل مسأله، فرمی را تهیه نموده و سؤال مورد نظر را روی آن درج می‌کند و این فرم را برای کلیه افراد صاحبنظر ارسال کرده و از آنها می‌خواهد در مدت زمان مشخصی به سؤال پاسخ گویند. پس از بازگشت پاسخها، مدیر آنها را تلخیص و دسته‌بندی می‌کند و مجدداً آنها را به تمام افراد صاحبنظر برمی‌گرداند؛ بدون آنکه مشخص گردد که نظرات توسط چه کسانی ارائه گردیده است. در این روش افراد فرصت بازنگری در نظرات خود را پیدا خواهند نمود و این چرخه آنقدر ادامه پیدا خواهد کرد تا کارشناسان فرصت بازنگری در پیش‌بینی‌های خود را پیدا نموده و نهایتاً به نظر واحدی درخصوص موضوع مورد نظر برسند.

۵-۲- فرم نظرسنجی مورد استفاده در این تحقیق

برای تهیه پرسشنامه روش پیشنهادی، یک فرم نظرسنجی بر اساس پارامترهای دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود و همچنین اشکالات موجود در نمونه‌های گرفته شده از ساختمانهای موجود در منطقه ۸ تهران مطابق جدول (۹) تهیه و با ارسال به ۵۰ نفر از اساتید و مهندسین سازه‌ای مجرب، از آنها خواسته شد تا تأثیر این عوامل را به صورت درصد در رفتار لرزه‌ای ساختمانها مشخص کنند.

جدول (۹): *فرم نظرسنجی مورد استفاده در این تحقیق.*

ردیف	سؤال	درصد تأثیر بر خرابی ساختمانها
۱	اشکالات فونداسیون؛ مواردی مانند: طراحی نادرست و اجرای نامناسب	؟
۲	اشکالات اسکلت و دیافراگم؛ مواردی مانند: طراحی نادرست و اجرای نادرست	؟
۳	اشکالات معماری؛ مواردی مانند: عدم تقارن در پلان و ارتفاع، ایجاد ستون کوتاه، ایجاد طبقه نرم، درز انقطاع و توزیع جرم در ارتفاع	؟
۴	اشکالات در اتصالات؛ مواردی مانند: جوشکاری نادرست، عدم رعایت وصله آرماتورها و عدم تطبیق فرضیات طراحی و اجرا	؟
۵	اشکالات در میانقاب‌ها، نما و تأسیسات	؟

۶- پیشنهاد روشی سریع برای ارزیابی لرزه‌ای ساختمانهای موجود در ایران

از آنجا که ملاک این نظرسنجی روش دلفی می‌باشد؛ بعد از سیر نظرسنجی، از تحلیل نظرات کارشناسان و همچنین وجه اشکالات ساختمانها در ناحیه مورد مطالعه، وزنهایی برای عوامل مورد ارزیابی در پرسشنامه پیشنهادی مطابق جدول (۱۰) در نظر گرفته شد.

در نهایت می‌توان با مقایسه ضرایب متعلقه (شاخص نهایی آسیب‌پذیری) حاصل شده از روش پیشنهادی با جدول (۱۱)، در مورد نحوهٔ برخورد با ساختمان مورد ارزیابی، تصمیم‌گیری نمود.

جدول (۱۰): *پرسشنامه روش پیشنهادی.*

موارد بازرسی	درصد تعلق گرفته	نوع بازرسی	درصد مؤثر	وزن	وضعیت	دامنه آسیب‌پذیری	ضریب متعلقه
شالوده و خاک زیر پی	۲۰	طراحی	۳۰	۰/۰۶	مناسب متوسط نامناسب	۰-۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۳ ۰/۰۴ -۰/۰۶	.....
		اجرا	۵۰	۰/۱۰	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۲ ۰/۰۲ - ۰/۰۵ ۰/۰۵ - ۰/۱۰	.....
		بلندشدگی ستون	۲۰	۰/۰۴	مناسب متوسط نامناسب	۰-۰/۰۱ ۰/۰۱-۰/۰۲ ۰/۰۲-۰/۰۴	.....
اسکلت و دیافراگم	۱۷	سیستم بار جانبی	۵۰	۰/۰۸۵	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۲ ۰/۰۲ - ۰/۰۴ ۰/۰۴ - ۰/۰۸۵	.....
		سیستم باربر قائم	۲۰	۰/۰۳۴	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۲ ۰/۰۲ - ۰/۰۳۴	.....
		سقف	۳۰	۰/۰۵۱	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱۵ ۰/۰۱۵ - ۰/۰۳ ۰/۰۳ - ۰/۰۵۱	.....
معماری	۲۵	نامنظمی در پلان	۱۲/۵	۰/۰۳۱۲۵	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱ /۰۱ - ۰/۰۱۵ ۰/۰۱۵ - ۰/۰۳۱۲۵	.....
		طبقه نرم	۲۵	۰/۰۶۲۵	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۲۵ ۰/۰۲۵ - ۰/۰۶۲۵	.....
		ستون کوتاه	۳۰	۰/۰۷۵	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۲ ۰/۰۲ - ۰/۰۷۵	.....
		نامنظمی در ارتفاع	۱۲/۵	۰/۰۳۱۲۵	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۱۵ ۰/۰۱۵ - ۰/۰۳۱۲۵	.....
		توزیع جرم در ارتفاع	۱۰	۰/۰۲۵	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۱۵ ۰/۰۱۵ - ۰/۰۲۵	.....
		درز انقطاع	۱۰	۰/۰۲۵	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۰۵ ۰/۰۰۵ - ۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۲۵	.....
اتصالات	۳۳	طراحی	۳۰	۰/۰۹۹	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۳ ۰/۰۳ - ۰/۰۹۹	.....
		اجرا	۷۰	۰/۲۳۱	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۷ ۰/۰۷ - ۰/۲۳۱	.....
میانقاب‌ها	۳		۱۰۰	۰/۰۳	مناسب متوسط نامناسب	۰ - ۰/۰۱ ۰/۰۱ - ۰/۰۲ ۰/۰۲ - ۰/۰۳	.....
نما	۱	طراحی	۲۰	۰/۰۰۲	مناسب نامناسب	۰ - ۰/۰۰۱ ۰/۰۰۱ - ۰/۰۰۲	.....
		اجرا	۸۰	۰/۰۰۸	مناسب نامناسب	۰ - ۰/۰۰۲ ۰/۰۰۲ - ۰/۰۰۸	.....
تأسیسات	۱	مهاربندی	۱۰۰	۰/۰۱	مناسب نامناسب	۰ - ۰/۰۰۵ ۰/۰۰۵ - ۰/۰۱	.....
	Σ =۱۰۰						.....= مجموع ضرایب متعلقه

جدول (11): *حدود بازه‌های آسیب‌پذیری و پیشنهاد شیوه برخورد با ساختمانهای مورد ارزیابی [۳].*

حدود تغییرات	راهکار
۰ -۰/۲	بدون نیاز به تقویت سازه‌ای
۰/۲ -۰/۴	مقاوم‌سازی الزامی است.
۰/۴ -۰/۸	مقاوم‌سازی الزامی است، لیکن لازم است مسأله اقتصادی بودن طرح نیز مد نظر قرار بگیرد.
۰/۸ و بزرگتر	ساختمان باید تخریب و از نو بنا شود.

شایان ذکر است به منظور نشان دادن قابلیت اطمینان روش پیشنهادی این تحقیق، نخست تعدادی از ساختمانهای منطقه ۸ تهران با روش ارائه شده، مورد ارزیابی لرزه‌ای سریع و در مرحله بعد با استفاده از روابط ارزیابی لرزه‌ای کمی مورد مطالعه قرار گرفتند. از مقایسه نتایج ارزیابی لرزه‌ای تحلیلی و سریع برای دو ساختمان بتنی و فولادی مورد مطالعه مطابق جدول (۱۲) مشخص گردید که اختلاف نتایج ارزیابی لرزه‌ای تحلیلی و روش ارزیابی لرزه‌ای سریع پیشنهادی به ترتیب برابر ۱۰/۵۷٪ و ۱/۸۷٪ می‌باشد. از آنجا که به منظور مدیریت در مقاوم‌سازی یک منطقه تنها محدوده‌های خطر برای تصمیم‌گیری کفایت می‌کند، این اختلاف جزئی به هیچ وجه مهم نمی‌باشد. این نتایج مؤید آن است که روش پیشنهادی برای استفاده در سطح وسیع، مناسب می‌باشد. علاقمندان می‌توانند برای جزئیات بیشتر در این زمینه به مرجع شماره [۱۶] مراجعه کنند.

جدول (۱۲): *مقایسه نتایج ارزیابی‌های لرزه‌ای تحلیلی و سریع ساختمانهای مورد مطالعه.*

	ساختمان بتنی (الف)	ساختمان فولادی (ب)
نتیجه ارزیابی لرزه‌ای تحلیلی	۰/۷۱۰۴	۰/۵۵۳۲
نتیجه ارزیابی لرزه‌ای روش سریع	۰/۶۴۲۵	۰/۵۶۳۵
درصد میزان خطا	٪۱۰/۵۷	٪۱/۸۷

۷- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق عبارتند از:

۱- پس از بررسی دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود و همچنین برداشتهای میدانی از ۱۱۶ ساختمان موجود در منطقه ۸ تهران به روش سیستماتیک و نظرسنجی از اساتید و مهندسین سازه‌ای مجرب، روشی نوین برای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود در ایران ارائه گردید. به این منظور با ارسال یک فرم نظرسنجی؛ مطابق جدول (۹) به ۵۰ نفر از اساتید و مهندسین سازه‌ای مجرب، از آنها خواسته شد تا تأثیر عوامل ذکر شده در فرم را به صورت درصد در رفتار لرزه‌ای ساختمانها مشخص کنند. از آنجا که ملاک این نظرسنجی روش دلفی می‌باشد؛ بعد از سیر نظرسنجی به روش فوق، از تحلیل نظرات کارشناسان و همچنین وجه اشکالات ساختمانها در ناحیه مورد مطالعه، وزنهایی برای عوامل ارزیابی لرزه‌ای پرسشنامه در نظر گرفته شد. در نهایت با پیشنهاد حدود بازه‌های آسیب‌پذیری، راهکارهای مدیریتی در مورد نحوه برخورد با ساختمان مورد ارزیابی ارائه شد.

۲- همان‌طور که در بخش سوم مقاله ملاحظه می‌شود، در هیچکدام از دستورالعملهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود، تمام عواملی که در ارزیابی لرزه‌ای ساختمانها نقش دارند، در نظر گرفته نشده‌اند.

۳- روش پیشنهادی نسبت به روشهای مشابه، عوامل لرزه‌ای بیشتری را در نمره‌دهی به ساختمانها لحاظ کرده که این عوامل نقش بسیار مهمی در آسیب رساندن به ساختمانها دارند. مهمتر آن که عوامل ارزیابی پرسشنامه روش پیشنهادی، وجه اشتراک اشکالات ساختمانهای موجود در کشور را در خود دیده است.

۴- از آنجا که کاربرد روش پیشنهادی این تحقیق، بسیار کم هزینه بوده و نیاز به زمان زیاد و تخصص بالایی ندارد، روش پیشنهادی می‌تواند برای ارزیابی اولیه و سریع ساختمانها مفید باشد. در صورتی که تعداد ساختمانهای مورد نظر زیاد باشد، عملیات ارزیابی می‌تواند در غالب یک پروژه توسط تیمهای کارشناسی انجام شود.

۵- همان‌طور که در جدول (۸) ملاحظه می‌شود، وجه اشتراک ساختمانها در ناحیه مورد مطالعه به لحاظ اشکالات موجود در آنها حائز اهمیت است و می‌تواند موجب تصمیم‌گیری‌های مهمی گردد.

۸- تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند بدینوسیله از زحمات سرکار خانم مهندس م. قنبری جهت ترسیم جداول موجود در مقاله تشکر و قدردانی کنند.

۹- مراجع

۱. فیروزبخت، مهدی، وثوقی‌فر، حمیدرضا و حسینی، محمود (۱۳۸۹). بررسی مقایسه‌ای روشهای ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود در دستورالعملهای ارزیابی آمریکا، کانادا، هند و ایران. *نشریه علمی- ترویجی بنا*، شماره ۴۳.

2. Arya, A.S. (2008). Seismic assessment of masonry buildings, *Journal of South Asia Disaster Studies*, **1**(1), 23-43.

3. Rodriguez, M. and Leon, M. (1992). Retrofitting existing reinforced concrete structures, *Proc. of 10th World Conference Earthquake Engineering*, Spain, Madrid, 5177-5182.

4. Federal Emergency Management Agency (2002). FEMA 154: Rapid visual screening of building for potential seismic hazard, Washington, D.C.

5. Applied Technology Council (1988, 1996, 2004). ATC-21: Rapid Visual Screening of Building for Potential Seismic Hazard, California, Redwood City.

6. National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction (NRCC/IRC). (1992). Manual for screening of buildings for seismic investigation, Ottawa, Ontario.

۷. شکیب، حمزه و قطعی، پیمان (۱۳۷۵). ارائه ضوابط ساخت و ساز جهت بهسازی ساختمانهای بنایی روستایی مناطق زلزله‌خیز، *مجموعه مقالات سمینار استان فارس (زلزله، کاهش آسیب‌پذیری و الگوهای بازسازی)*، شیراز، دانشگاه شیراز.

۸. تسنیمی، عباسعلی و معصومی، علی (۱۳۷۸). *شناسنامه فنی ساختمانهای بتن مسلح و آجری*، تهران، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، مرکز پژوهش و مطالعات سوانح طبیعی.

۹. فیروزی، مریم (۱۳۷۸). *تعیین آسیب‌پذیری ساختمانهای فولادی منتخب با روشهای عینی و تحلیل دینامیکی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

۱۰. رهگذر، رضا، صفاری، حامد و عادل‌پور، افشین (۱۳۸۲). ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمانهای بتن آرمه بندرعباس، *ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران*، اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۱. محمودی‌صاحبی، موسی و مسلمی، همایون (۱۳۸۳). ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمانهای متداول ساخته شده در استان مازندران، *اولین کنگره ملی مهندسی عمران*، تهران: دانشگاه صنعتی شریف.

۱۲. زهرایی، مهدی، وطنی اسکویی، اصغر و ارشاد، ل. (۱۳۸۳). *بررسی آسیب پذیری لرزه‌ای ساختمانهای شهر قزوین* (نشریه شماره گ-۴۱۹)، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۱۳. دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (۱۳۸۷). *دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمانهای موجود* (نشریه ۳۶۴)، تهران: مؤلف.

۱۴. ناطقی‌الهی، فریبرز و حسینی، محمود (۱۳۷۱). ارزیابی ساختمانهای موجود به روش بازدید عینی، *اولین کنفرانس بین‌المللی مقابله با بلایای طبیعی در مناطق شهری*، تهران: دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران.

15. Rowe, G. and Wright, G. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis, *International Journal of Forecasting*, **15**(4), 353-375.

۱۶. فیروزبخت، مهدی (۱۳۸۹). *بررسی و ارائه شاخص خرابی لرزه‌ای کیفی برای ساختمانهای مسکونی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.