Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.13, Issue 41, October 2024

Promoting Seismic Vulnerability Assessment Checklist in Buildings

Sara Naghavi[1], Abdolreza S. Moghadam[2*], Hamed Seyri[3], Mohammad Yekrangnia[4]

1. M.Sc. Graduate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. *Corresponding Author*, Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran.
3. Head of Retrofit Unit, Organization for Development, Renovation and Equipping Schools of I.R.Iran.
4. Associate Professor, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 18 November 2023
Revised: 19 April 2024
Accepted: 13 May 2024

Keywords:
Rapid seismic vulnerability assessment, Prioritization of retrofitting projects, Identification of effective criteria, Seismic vulnerability assessment checklists.

ABSTRACT

It is critical to determine a building's vulnerability by understanding structural weaknesses and consumable materials to prioritize retrofit projects. If these assessments are not done well; there can be great financial damage. Surveys have shown that some of the criteria used to make decisions about building priorities in Iran are ineffective. Given the importance of this issue, the present study aimed to identify the weaknesses of seismic vulnerability assessment checklists in existing buildings across Iran, especially the seismic assessment checklists of school buildings, to provide more effective criteria for prioritizing school projects. To this aim, a review of existing building vulnerability assessment guidelines and resources, as well as a survey of professors and experienced structural engineers, led to the presentation of more effective criteria for assessing the vulnerability of school buildings. These criteria were evaluated. Over 100 schools were evaluated to determine the accuracy of the scored criteria. The results concluded that the designed checklists eliminated the shortcomings of existing school checklists.

Cite this article: Naghavi, S., S.Moghadam, A., seyri, H., & Yekrangnia, M. (2024). Promoting Seismic Vulnerability Assessment Checklist in Buildings. Journal of Natural Environmental Hazards, 13(41), 131-150. DOI: 10.22111/jneh.2024.47223.2000

© Abdolreza S. Moghadam
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.47223.2000

* Corresponding Author Email: moghadam@iiees.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۱، مهر ۱۴۰۳

ارتقای فرم‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها

سارا نقوی[۱]، عبدالرضا سروقد مقدم[۲*]، حامد سیری[۳]، محمد یکرنگ‌نیا[۴]

۱. کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
۲. دانشیار، گروه سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران (نویسنده مسئول)
۳. رئیس واحد مقاوم‌سازی سازمان توسعه، نوسازی و تجهیز مدارس جمهوری اسلامی ایران، تهران
۴. دانشیار، گروه سازه و زلزله، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۱/۳۱

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۲/۲۴

واژه‌های کلیدی:
ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سریع، اولویت‌بندی پروژه‌های مقاوم‌سازی، شناسایی معیارهای تاثیرگذار، فرم‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای.

چکیده

تعیین میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، با استفاده از شناخت نقاط ضعف سازه و مصالح مصرفی با هدف اولویت‌بندی پروژه‌های مقاوم‌سازی حائز اهمیت بسیاری است و در صورتی که این ارزیابی با دقت و ظرافت خاصی صورت نپذیرد، خسارت‌های مالی زیادی را برجا خواهد گذاشت. بررسی‌ها به وضوح نشان می‌دهند که برخی از معیارهای تاثیرگذار در تصمیم‌گیری در راستای اولویت‌بندی ساختمان‌ها در ایران نامناسب هستند. با توجه به اهمیت این موضوع در این مقاله سعی شده است با شناسایی نقاط ضعف فرم‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود در ایران به‌خصوص فرم‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های مدارس، معیارهای موثرتری در تصمیم‌گیری در راستای اولویت‌بندی مدارس شناسایی شوند. بدین منظور با بررسی دستورالعمل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود و سایر منابع مرتبط و همچنین نظرسنجی از اساتید و مهندسین سازه‌ای مجرب، معیارهای موثرتری به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های مدارس، شناسایی و وزن‌دهی شدند. به منظور بررسی دقت معیارهای وزن-دهی‌شده بیش از ۱۰۰ مدرسه مورد ارزیابی مجدد قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که فرم‌های طراحی‌شده، نواقص کارشناسی‌شده فرم‌های مدارس موجود را برطرف نموده است.

استناد: نقوی، سارا، سروقد مقدم، عبدالرضا، سیری، حامد، یکرنگ نیا، محمد. (۱۴۰۳). ارتقای فرم‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۱)، ۱۳۱-۱۵۰. DOI: 10.22111/jneh.2024.47223.2000

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© سارا نقوی، عبدالرضا سروقد مقدم*، حامد سیری، محمد یکرنگ‌نیا.

*- عبدالرضا سروقد مقدم (نویسنده مسئول) Email: moghadam@iiees.ac.ir

مقدمه

ایران با قرارگیری در مسیر کمربند زلزله آلپ – هیمالیا، یکی از مناطق زلزله‌خیز جهان شناخته شده است. تطبیق نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله کشور با وضعیت پراکندگی جمعیت در مناطق مختلف آن، نشان می‌دهد که ۸۴ درصد مدارس ایران در پهنه با خطر نسبی زلزله زیاد و یا خیلی زیاد قرار دارند و حدود ۶۷ درصد مدارس قبل از ایجاد هرگونه الزامات لرزه‌ای ساخته شده‌اند (یکرنگ‌نیا، ۲۰۲۳). مدارس قدیمی که مطابق با الزامات استانداردهای لرزه‌ای مربوط به آن زمان ساخته شده‌اند، با الزامات لرزه‌ای استانداردهای جدید مطابقت ندارند. همه این عوامل سبب آسیب‌های عظیم ناشی از زلزله‌های اخیر به ساختمان‌های مدارس بوده است. یکی از گام‌های اساسی جهت حفظ سرمایه‌های مالی و کاهش خطر زلزله، مطالعه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و شناخت نقاط ضعف آنها در برابر بارهای وارده و سعی در برطرف نمودن نواقص آن قبل از وقوع زلزله به‌شمار می‌رود.

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده مشخص شده است که روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود در کشورهای مختلف گسترش یافته است (یغفوری و همکاران، ۱۴۰۰). اکثر روش‌ها سه مرحله ارزیابی را دنبال می‌کنند: (الف) ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع، (ب) ارزیابی اولیه و (ج) ارزیابی دقیق. ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع ساختمان‌ها اولین گام از ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان است. این مرحله از مطالعات به منظور دستیابی به اطلاعات کلی از آسیب‌پذیری ساختمان انجام می‌شود و هدف آن جداسازی ساختمان‌هایی است که آسیب‌پذیری آنها زیاد بوده و برای بهسازی توجیه اقتصادی ندارند. این مطالعات در واقع نوعی غربالگری اولیه محسوب می‌شوند و در آن سرعت در عملیات مدنظر قرار می‌گیرد. (ناندا و ماجهی، ۲۰۱۳؛ موزلی و دریتسوس، ۲۰۱۶)

بر اساس تجربیات اخیر، پس از انجام مرحله تحلیل آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، مشاهده شده است که در مورد تعداد قابل‌توجهی از ساختمان‌هایی که مورد مطالعات کیفی مقاوم‌سازی قرار گرفته‌اند، به‌علت وجود مشکلات سازه‌ای متعدد، مقاوم‌سازی ساختمان‌های موردنظر به صرفه نمی‌باشند و در بسیاری از موارد مسائلی از قبیل موانع اجرایی باعث ایجاد مشکلاتی در اجرای طرح بهسازی می‌شود. این درحالی است که در اغلب موارد، هزینه بسیار زیادی صرف انجام مطالعات آسیب‌پذیری لرزه‌ای و همچنین تهیه طرح بهسازی می‌شود. به همین دلیل یک روش ارزیابی مقدماتی و سریع که با دقت قابل‌قبول 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 نتیجه یک ارزیابی سریع است (بهنام فر و شاهقلیان، ۱۳۹۴؛ سینها و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به اهمیت این موضوع، بررسی فرم‌های ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع مدارس (زاهدی و هنربخش، ۱۳۸۷) در دستور کار قرار گرفت. نظرات کارشناسی‌شده در مورد فرم‌های ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع مدارس، نشان می‌دهند که این فرم‌ها تمام عوامل تاثیرگذار در ارزیابی آسیب‌پذیری مدارس را به‌درستی در نظر نمی‌گیرند. همین عامل سبب شده است که برخی از مدارس که قدمت بالای ۳۰ سال دارند و تخریبی بودن آن‌ها مسجل می‌باشد، در محدوده مقاوم‌سازی قرار گیرند. با توجه به اهمیت صحت نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، معیارهای تاثیرگذاری که با معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری اسناد ارائه شده در کشورهای مختلف همچون معیارهای موجود در FEMA (2002)۱۵۴، FEMA P- (2015)۱۵۴، FEMA (2002)۱۵، FEMA P- (2015)۱۵، NRCC (1993)، BIA (1996)، CEN (1996)، CEN (2001)،

(UNDP hospital safety index evaluators (2015 ،JBDPA (2001)، نشریه‌های ۳۶۴ (۱۳۸۶) و ۳۷۶ (۱۳۸۷) ایران و دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور مطابقت داشته باشند، جمع‌آوری و وزن‌دهی شدند.

داده‌ها و روش‌ها

بررسی روند ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در کشورهای مختلف

با توجه به مطالعات صورت‌گرفته بر روی منابع در دسترس به نظر می‌رسد که رویکردهای آژانس مدیریت اضطراری فدرال (FEMA۱۵۴) و موسسه تحقیقات ساختمانی شورای ملی کانادا (NRCC) (با هدف افزایش دقت نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری مدارس) و دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور (با هدف حفظ اطلاعات موجود از ارزیابی‌های پیشین) می‌توانند به‌طور مناسب برای ایجاد یک روش شفاف، نسبتاً دقیق و عمومی برای ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های مدارس در ایران ترکیب شوند. در ادامه شرح مختصری از روند ارزیابی منابع یادشده بیان می‌شود.

روند ارزیابی آسیب‌پذیری موجود در FEMA

به منظور ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای و بازسازی ساختمان‌ها، دستورالعمل‌هایی توسط آژانس فدرال مدیریت شرایط اضطراری (FEMA) منتشر شد. ازجمله این دستورالعمل‌ها می‌توان به FEMA (1992)۱۷۸ و FEMA۱۵۴ اشاره نمود. FEMA۱۷۸ اولین بار در سال ۱۹۸۹ منتشر شد و در سال ۱۹۹۲ مورد تجدیدنظر قرار گرفت که FEMA ۳۱۰ (1998)) به‌عنوان یک نسخه تجدید نظرشده از این نشریه می‌باشد. FEMA ۱۵۴، اولین بار در سال ۱۹۸۸ منتشر شد و در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ مورد بازبینی و تجدیدنظر قرار گرفت. هدف از انتشار این اسناد، ارزیابی آسیب‌پذیری سریع ساختمان‌ها می‌باشد. در روش ارزیابی درنظر گرفته‌شده درFEMA۱۵۴، بر اساس نوع سیستم مقاوم جانبی ساختمان‌ها، یک نمره اولیه که نمره پایه نام دارد و مربوط به احتمال سقوط ساختمان در فاصله یک زلزله مشخص می‌باشد، برای هر ساختمان درنظر گرفته می‌شود. سپس یک نمره اصلاح عملکرد با توجه به نقص‌های لرزه‌ای که می‌توانند در ارزیابی مشاهده شوند نظیر تعداد طبقات، شرایط خاک محل، انواع نامنظمی‌های موجود در پلان و ارتفاع، و آیین‌نامه با کمک جداولی به‌صورت اعداد مثبت یا منفی به ساختمان اختصاص داده می‌شود. در جداول ۱ تا ۳ پارامترهای تاثیرگذار درنظر گرفته‌شده در FEMA ۱۵۴ که در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ منتشر شده است، قابل-مشاهده می‌باشند. در این جداول عواملی که دارای وزن می‌باشند و در نمره ارزیابی تاثیرگذار می‌باشند، در ردیف پارامترهای کمی و عواملی که دارای وزن نمی‌باشند و به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرند، در ردیف پارامترهای کیفی قرار گرفته‌اند. از جمع امتیاز پایه و امتیاز اصلاحی مربوط به ویژگی ساختمان، امتیاز کلی ساختمان تعیین می‌شود. نمرات نهایی به‌طور معمول از ۰ تا ۷ به‌دست می‌آیند. نمرات بالاتر مربوط به عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار بهتر و با پتانسیل فروریزش پایین‌تر می‌باشند. امتیاز قابل‌قبول در این روش عدد ۲ می‌باشد. این روش، نتایج یک رتبه‌بندی از ساختمان‌های بازدیدشده را می‌دهد و ساختمان‌ها را به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌کند: (۱) ساختمان‌هایی که انتظار می‌رود عملکرد لرزه‌ای قابل‌قبولی داشته باشند و (۲) ساختمان‌هایی که ممکن است از نظر

لرزه‌ای بحرانی باشند و باید با جزئیات بیشتری توسط یک مهندس حرفه‌ای که در طراحی لرزه‌ای دارای تجربه است، بررسی شوند. نمرات پایه و اصلاحی با تعیین احتمال فروریزش ساختمان محاسبه می‌شوند و سپس طبق رابطه ۱ تبدیل به نمره S می‌گردند:

$$S = -log_{10}(\text{Probability of Collapse}) \quad (۱)$$

جدول ۱: پارامترهای تاثیرگذار درنظر گرفته‌شده در FEMA

پارامترهای درنظر گرفته‌شده	کیفی	کمی	کیفی	کمی
	FEMA 154		FEMA P154 (فرم شماره ۱)	
نوع کاربری	✓	×	✓	×
تراکم جمعیت در ساختمان	✓	×	×	×
مساحت	✓	×	✓	×
خطرات سقوط	✓	×	×	×
سال ساخت	✓	×	✓	×
خطر مجاورت	×	×	✓	×
خطرات زمین‌شناسی	×	×	✓	×
اضافه بنا	×	×	✓	×
خطرات سقوط	×	×	✓	×
خطر لرزه‌خیزی منطقه	×	✓	×	✓
نوع سیستم باربر جانبی	×	✓	×	✓
نوع خاک	✓	✓	×	×
تعداد طبقات	✓	✓	×	×
نوع خاک و تعداد طبقات	×	×	✓	✓
نامنظمی در ارتفاع	×	✓	✓	✓
نامنظمی پلان	×	✓	✓	✓
سال آیین‌نامه	×	✓	✓	✓

جدول ۲: انواع نامنظمی‌های در نظرگرفته شده در (فرم شماره ۱) FEMA 154. FEMA P154

FEMA 154	انواع نامنظمی در ارتفاع		انواع نامنظمی در پلان
	شیب		نامنظمی هندسی
	طبقه نرم		نامنظمی پیچشی
	پیش‌آمدگی و پس‌رفتگی		نامنظمی سیستم‌های غیر موازی
	ستون کوتاه		———
	دیوارهای شیب‌دار		———
FEMAP 154	طبقه ضعیف و طبقه نرم	شدید	نامنظمی هندسی
	پیش‌آمدگی و پس‌رفتگی		نامنظمی پیچشی
	ستون کوتاه		نامنظمی سیستم‌های غیر موازی
	شیب در سایت	متوسط	بازشوهای بزرگ
	قطع سیستم باربر جانبی		عدم هم‌ترازی تیرها و ستون‌ها
	وجود اختلاف تراز (نیم طبقه یا دوبلکس)		———

جدول ۳: پارامترهای تاثیرگذار درنظر گرفته‌شده در (فرم شماره ۲) FEMAP154

کمی	نامنظمی در ارتفاع	طبقه ضعیف و طبقه نرم
		پیش‌آمدگی و پس‌رفتگی
		ستون کوتاه
		شیب در سایت
		نامنظمی قطع سیستم باربر جانبی
		وجود اختلاف تراز (نیم طبقه یا دوبلکس)
	نامنظمی در پلان	نامنظمی هندسی
		نامنظمی پیچشی
		نامنظمی سیستم‌های غیر موازی
		بازشوهای بزرگ
		عدم هم‌ترازی تیرها و ستون‌ها
	وجود سیستم مقاوم بار بر جانبی حداقل در دو دهانه (افزونگی)	
	ضربه	
	ملاحظات مربوط به اضافه بنا	
	مقاوم سازی	
	برخی شرایط خاص برای ساختمان‌ها	
کیفی	خطرات غیر سازه‌ای	

ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع در FEMA ۱۵۴ به کمک فرم‌های مخصوصی برای ۳ منطقه با لرزه‌خیزی کم، متوسط و زیاد انجام می‌شود. مقادیر نمرات پایه و اصلاحی با استفاده از۳/۲ مقادیر MCE (حداکثر زلزله درنظر گرفته‌شده (زلزله نادر)) محاسبه می‌شوند. در این راهنما سیستم‌های مقاوم جانبی به ۱۵ دسته طبقه‌بندی می‌شوند. نسخه بازنگری‌شده FEMA در سال ۲۰۱۵ تغییرات قابل‌توجهی نسبت به نسخه قبلی خود دارد. در این نسخه تمام نمرات پایه و اصلاحی به‌روزرسانی شده است و مقادیر نمرات پایه و اصلاحی با استفاده ازمقادیر کامل MCER (حداکثر زلزله درنظر گرفته ریسک‌محور) محاسبه می‌شود. این نسخه از FEMA برای ۵ منطقه با لرزه‌خیزی کم، متوسط، نسبتا زیاد، زیاد و بسیار زیاد در نظر گرفته می‌شود. سیستم‌های ساختمانی در این نسخه از FEMA به ۱۷نوع مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند که برای اولین بار در ۱۴ ATC (1987) تعریف شده‌اند. در ویرایش سوم FEMA

برای هر یک از ساختمان‌هایی که در برنامه ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع درنظر گرفته می‌شوند، علاوه بر یک ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع سطح ۱، یک ارزیابی اختیاری سطح ۲ نیز درنظر گرفته می‌شود که به‌وسیله فرم اختیاری سطح ۲ انجام می‌شود. ارزیابی سطح ۲ برای به‌دست آوردن اطلاعات اضافی ارزشمند و ارزیابی دقیق‌تر بدون افزایش قابل‌توجهی در تلاش یا زمان تهیه شده است.

روند موجود در دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور

در روش ارائه‌شده در دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور، برای هر یک از پارامترها وزنی به‌صورت شاخص عددی در نظر گرفته می‌شود. پارامترهای درنظر گرفته‌شده در دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور در دو فرم مجزا مخصوص ساختمان‌های اسکلتی (فولادی و بتن آرمه) و ساختمان‌های بنایی ارائه شده است. در ساختمان‌های بنایی شاخص‌های عددی تعیین‌شده در جدول ۴ به کمک رابطه ۲ با یکدیگر ترکیب شده و عددی را که معرف آسیب‌پذیری ساختمان است، به‌دست می‌آید. این رابطه بر اساس مشاهدات به‌عمل آورده‌شده بر روی تعدادی از ساختمان‌های با مصالح بنایی پیشنهاد شده است. در این رابطه اگر مقدار R≤25 ساختمان آسیب‌پذیر نخواهد بود و نیازی به بهسازی ندارد. اگر ۲۵<R<75 ساختمان آسیب پذیر است؛ ولی برای بهسازی توجیه اقتصادی دارد و اگر R≥75 ساختمان آسیب‌پذیری زیادی دارد و برای بهسازی توجیه اقتصادی ندارد.

$$\mathbf{R} = [\boldsymbol{L_1} + \boldsymbol{L_2} + \boldsymbol{L_3} + \boldsymbol{L_4} + \boldsymbol{L_5}] \times \boldsymbol{K_1} \times \boldsymbol{K_2} \times \boldsymbol{K_3} \times \boldsymbol{K_4} \quad (۲)$$

جدول ۴: پارامترهای تاثیرگذار درنظرگرفته‌شده در دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس برای ساختمان‌های بنایی

	پارامترهای درنظر گرفته‌شده	کیفی	کمی
L_1	پی	×	✓
L_2	کلاف بندی	×	✓
L_3	سقف	✓	✓
L_4	پیشامدگی	×	✓
L_5	تقارن	×	✓
$k_1 - 1$	مصالح	✓	✓
$k_1 - 2$	دیوارهای باربر	×	✓
$k_1 - 3$	پوشش سقف‌ها	×	✓
$k_1 - 4$	سایر مواردد	×	✓
k_2	بازشوها	×	✓
k_3	تعداد طبقات	×	✓
k_4	خطر نسبی زلزله در محل	✓	✓
مساحت کل ساختمان		✓	×
وضعیت ساختمان از نظر دسترسی		✓	×
وضعیت ساختمان به لحاظ حریق		✓	×
وضعیت ساختمان از نظر همسایگی		✓	×
نوع سازه ساختمان		✓	×
وضعیت وجود نقشه‌ها		✓	×
توپوگرافی محل		✓	×
آسیب‌دیدگی ساختمان		✓	×
مشخصات لرزه ای محل		✓	×

ارزیابی ساختمان‌های اسکلتی بر روی پارامترهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، متمرکز است در جدول ۵ پارامترهای مورد توجه در این ساختمان‌ها آورده شده است. پارامترهای موثر در جدول با استفاده از اطلاعات اولیه و با نظر کارشناسی تنظیم و تکمیل می‌گردد. چنانچه جمع شاخص‌های آسیب‌پذیری در این جدول بیشتر از ۶۶ درصد باشد، ساختمان برای بهسازی توجیه اقتصادی ندارد و باید مشمول برنامه تخریب و بازسازی گردد.

جدول ۵: پارامترهای تاثیرگذار درنظر گرفته‌شده در دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس برای ساختمان‌های اسکلتی

پارامترهای درنظر گرفته‌شده			کیفی	کمی
وزن سقف			×	✓
انسجام و یکنواختی سقف- صلبیت دیافراگم			×	✓
بازشوهای بزرگ در دیافراگم			×	✓
خیز سقف			×	✓
سیستم سازه‌ای و کیفیت دستگاه پله			×	✓
درز انقطاع در پلان			×	✓
درز بین دوساختمان مجاور			×	✓
ستون کوتاه			×	✓
تقارن در پلان نسبت به محورهای اصلی			×	✓
وجود پیش‌آمدگی یا پس‌رفتگی			×	✓
توزیع یکنواخت جرم در ارتفاع			×	✓
نشست پی			×	✓
نشست کف			×	✓
کیفیت ظاهری آجر و ملات مصرفی			×	✓
کیفیت ظاهری و نقاط ضعف اعضاء	بتنی	ترک خوردگی	×	✓
		وادادگی		
	فولادی	پوسیدگی		
		نقص جوش		
اتصال بین دیوار و نما			×	✓
پایداری و نسبت ضخامت به ارتفاع تیغه‌ها			×	✓
پایداری جانپناه و دودکش‌ها			×	✓
وضعیت پنجره‌ها و شیشه‌ها			×	✓
نفوذ رطوبت از زمین به ساختمان			×	✓
وضعیت تاسیسات برق و مکانیک			×	✓
وضعیت لوله‌های آب باران - نم بام			×	✓
تاثیر مرمت موضعی ساختمان در بهبود وضعیت			×	✓
مساحت کل ساختمان			✓	×
وضعیت ساختمان از نظر دسترسی			✓	×
وضعیت ساختمان به لحاظ حریق			✓	×
وضعیت ساختمان از نظر همسایگی			✓	×
وضعیت وجود نقشه‌ها			✓	×
نوع سازه ساختمان			✓	×
مصالح			✓	×
نوع سقف			✓	×
توپوگرافی محل			✓	×
آسیب دیدگی ساختمان			✓	×
خطر نسبی زلزله و مشخصات لرزه‌ای در محل			✓	×

روند موجود در NRCC

موسسه تحقیقات ساختمانی شورای ملی کانادا برای کمک به صاحبان ساختمان‌ها در برآورد کاستی‌های لرزه‌ای، روش ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع ساختمان‌های موجود را ابداع نمود و آن را در کتابچه راهنما منتشر کرد. این کتابچه راهنما روش ارزیابی سریع را برای رتبه‌بندی ساختمان‌ها به منظور ارزیابی لرزه‌ای دقیق‌تر، ارائه می‌دهد. روش درنظر گرفته‌شده مطابق با سند NRCC می‌باشد که با قانون ملی ساختمان کانادا سازگار می‌باشد. روش تصویب‌شده در این راهنما براساس شناسایی ویژگی اصلی هر ساختمان که در خطرات لرزه‌ای موثر هستند و همچنین اهمیت ساختمان بر اساس کاربری و استفاده از آن می‌باشد. در این راهنما از یک سیستم نمره‌دهی عددی استفاده شده است که مرتبط با الزامات لرزه‌ای آیین‌نامه کانادا می‌باشد. روش ارئه‌شده در NRCC، یک روش ارزیابی برای تعیین کفایت لرزه‌ای ساختمان‌ها نمی‌باشد، بلکه صرفاً یک روش ارزیابی برای طبقه‌بندی ساختمان‌هایی می‌باشد که باید با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار گیرند. فرآیند ارزیابی ساختمان در این روش شامل بررسی ساختمان از بیرون و داخل یا بازرسی نقشه‌های معماری و سازه‌ای به منظور تسریع در مشخص نمودن مقاومت ساختمان در برابر نیروی محتمل لرزه‌ای و همچنین بررسی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها می‌باشد. نتیجه فرآیند ارزیابی به تعیین این موضوع که آیا ساختمان باید تحت بررسی‌های دقیق‌تری در رابطه با کفایت لرزه‌ای قرار بگیرد، نیز کمک می‌کند. عوامل اصلی مورد استفاده برای تعیین نمره ارزیابی در جدول ۶ نشان داده شده است.

مقادیر عددی هر عامل با کشیدن دایره ساده در فرم مشخص می‌شود. مقادیر عددی برای هر عامل با مقدار رضایت بخش ۱، مقایسه می‌شود. هر چه این عامل بیشتر باشد، منجر به خطرات لرزه‌ای بیشتری می‌شود. ازاین‌رو ساختمان در الویت ساختمان‌هایی که نیاز به بررسی دقیق‌تر لرزه‌ای دارد، قرار می‌گیرد. مقادیر عددی برای تعیین نمرات اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای در هم ضرب می‌شوند. پس از آن نمرات اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای با هم جمع می‌شوند تا امتیاز نهایی ساختمان را تعیین کنند. با توجه به این عوامل، یک شاخص سازه‌ای (structural Index)، یک شاخص غیرسازه‌ای (Non-structural Index) و در نهایت از مجموع شاخص‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای، شاخصی به نام شاخص الویت لرزه‌ای (Seismic Priority Index) به ترتیب مطابق روابط ۳، ۴ و ۵ به‌دست می‌آید. روابط ارائه‌شده امتیاز نهایی شاخص الویت لرزه‌ای، برای سازه مورد بررسی را نتیجه می‌دهند، به این ترتیب که اگرSPI<۱۰ تقدم لرزه‌ای پایین، ۱۰<SPI<۲۰ تقدم لرزه‌ای متوسط و SPI>۲۰ تقدم لرزه‌ای بالا را برای سازه مورد نظر نشان می‌دهند.

$$SI = \text{Structure Index} = A.B.C.D.E \quad (۳)$$

$$NSI = \text{Non.Structure Index} = B.E.F \quad (۴)$$

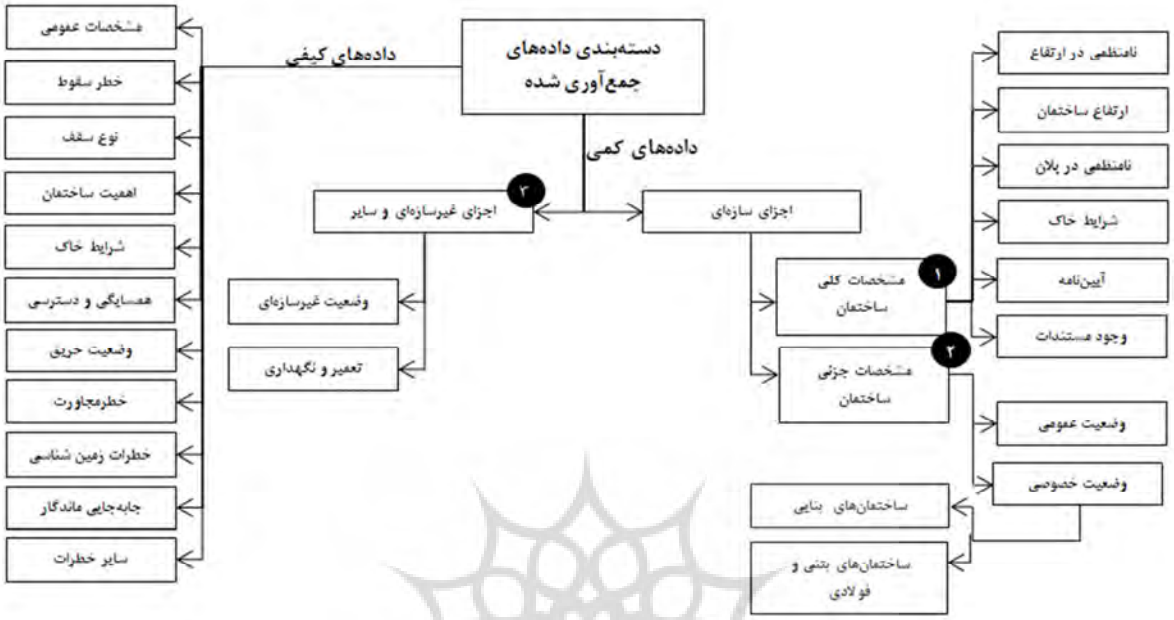
$$SPI = \text{SEISMIC PRIORITY INDEX} = SI + NSI \quad (۵)$$

جدول ۶: پارامترهای تاثیرگذار درنظرگرفته‌شده در NRCC

	پارامترهای درنظر گرفته‌شده	کیفی	عددی
A	سطح لرزه‌خیزی	✓	✓
B	نوع خاک	×	✓
C	نوع سیستم باربر جانبی	✓	✓
D Max=4	نامنظمی در ارتفاع (تغییر ناگهانی اندازه پلان در ارتفاع مانند پیش‌آمدگی، پس‌رفتگی، شیب)	✓	✓
	نامنظمی در پلان (پیچش، نامنظمی هندسی)		
	ستون کوتاه		
	طبقه نرم		
	اثر ضربه		
	وجود آسیب در ساختمان		
	هر تغییری که باعث افزایش وزن یا بارگذاری شود (تغییر کاربری، اضافه بنا و ..)		
	عدم وجود نامنظمی		
E	اهمیت ساختمان (تراکم جمعیت در ساختمان× مساحت× میانگین ساعات اشغال = N)	×	✓
F	خطرات سقوط اجزای غیرسازه‌ای (داخلی و خارجی) و خطرات موجود در ساختمان‌های خاص	✓	✓

دسته‌بندی داده‌های جمع‌آوری‌شده

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 ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، بسیار مشکل می‌باشد. بدین منظور در این پژوهش همان‌طورکه در قسمت قبل اشاره شد، پس از بررسی دستورالعمل‌های ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌ها و سایر منابع مرتبط پارامترهای تاثیرگذار در ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع ساختمان‌های مدارس شناسایی و مطابق شکل ۱ دسته‌بندی شدند. سپس پرسشنامه‌ای به منظور استفاده از روش AHP و نظرسنجی از اساتید و مهندسین سازه‌ای مجرب با کمک پارامترهای دسته‌بندی‌شده تهیه گردید. پس از سیر نظرسنجی، عوامل به پارامترهای جزئی‌تر دسته‌بندی و وزن‌دهی شدند تا امکان ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها میسر شود. جزئیات دقیق‌تر پارامترهای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در جداول ۷ تا ۹ قابل مشاهده می‌باشند. در این جداول نمرات اصلاحی پارامترهای تاثیرگذار قاب خمشی فولادی برای ۱- مشخصات کلی ساختمان ۲- مشخصات جزئی ساختمان ۳- اجزای غیر سازه‌ای و سایر عوامل در سطح لرزه‌خیزی زیاد و بسیار زیاد به‌عنوان نمونه آورده شده است.



جدول ۷: مشخصات کلی و نمرات اصلاحی ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی فولادی بر اساس سطح لرزه‌خیزی زیاد و بسیار زیاد

SI_H	ارتفاع ساختمان	ساختمان‌های با ارتفاع متوسط (بین ۴ تا ۷ طبقه)	۰/۲
		ساختمان‌های با ارتفاع زیاد (بیش از ۷ طبقه)	۰/۶
SI_V	نامنظمی در ارتفاع	عدم توزیع یکنواخت جرم در ارتفاع	-۰/۸۳
		پیش‌آمدگی	-۰/۸۳
		پس‌رفتگی	-۰/۴۲
		نامنظمی هندسی در ارتفاع	-۰/۲۵
		نامنظمی قطع سیستم باربر جانبی	-۰/۲۵
		شیب	-۰/۲۵
		وجود اختلاف تراز (نیم طبقه یا دوبلکس)	-۰/۴۲
		ستون کوتاه	
		نامنظمی مقاومت یا سختی جانبی — طبقه نرم یا طبقه ضعیف	-۰/۷۵
		نامنظمی مقاومت یا سختی جانبی — طبقه خیلی نرم یا طبقه خیلی ضعیف	-۰/۴۲
SI_P	نامنظمی در پلان	بازشوهای بزرگ در دیافراگم	-۰/۰۹
		نامنظمی پیچشی	-۰/۳۲
		سیستم‌های غیر موازی	-۰/۱۸
		انحراف خارج از پلان	-۰/۱۸
		نامنظمی هندسی در پلان	-۰/۱۸
SI_C		عدم رعایت ویرایش اول ۲۸۰۰	-۱
		رعایت ویرایش اول ۲۸۰۰	-۰/۲
		رعایت ویرایش دوم یا بالاتر ۲۸۰۰	-۰/۴
SI_B		نوع خاک تیپ ۲	-۰/۴
		نوع خاک تیپ ۳	-۰/۶
		نوع خاک تیپ ۴	-۱/۲
SI_M		عدم وجود مشاور و ناظر (عدم وجود مستندات سازه‌ای)	-۰/۷

جدول ۸ : مشخصات جزئی و نمرات اصلاحی ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی فولادی بر اساس سطح لرزه‌خیزی زیاد و بسیار زیاد

SI_G	وضعیت عمومی ساختمان	وضعیت نامناسب و نشست پی				-۰/۱۳
		نشست کف				-۰/۰۸
		عدم وجود درز بین دوساختمان مجاور و امکان برخورد سازه‌های مجاور در حرکت دینامیکی				-۰/۰۸
		سقف	وزن نامناسب سقف			-۰/۱۳
			عدم انسجام و یکنواختی سقف			-۰/۱۳
			وجود خیز در سقف			-۰/۰۸
		استفاده از تجهیزات استهلاک انرژی زمین‌لرزه	جداگر			۱/۵
			میراگر			۱
SI_S	وضعیت خصوصی ساختمان	ساختمان‌های بتنی و فولادی	عدم کیفیت سیستم سازه‌ای و دستگاه پله			-۰/۱۳
			عدم کیفیت ظاهری آجر و ملات مصرفی المان‌های جدا کننده و میانقاب‌ها			-۰/۱۳
			بتنی	کیفیت ظاهری و نقاط ضعف اعضاء	ترک خوردگی	-۰/۲۵
					وادادگی	
			فولادی		پوسیدگی	
					نقص جوش	
		ساختمان‌های بنایی	کلاف بندی	وجود دیوارهای سازه‌ای با کلاف بندی افقی و قائم		
				وجود دیوارهای سازه‌ای بدون هرگونه کلاف‌بندی		
			سقف	عدم رعایت طول تکیه‌گاهی کافی برای تیرهای سقف		
			مصالح	عدم کیفیت واحدهای بنائی : آجر ، بلوک سیمانی و سنگی		
				کیفیت نامناسب ملات ماسه سیمان یا باتارد (ملات گل – آهک قابل قبول نیست)		
			دیوارهای باربر	عدم رعایت درصد دیوار نسبی و توزیع متعادل دیوارهای باربر در پلان		
				عدم رعایت نسبت ده به یک ارتفاع به ضخامت دیوار		
				عدم رعایت حداکثر ارتفاع ۴ متر در دیوار یا اجرای کلاف		
				عدم رعایت حداکثر طول آزاد ۵ متر بین دو مهار جانبی در دیوار		
				کیفیت نامناسب چیدمان واحدهای بنائی و پربودن درزهای قائم		
			سایر موارد	نامناسب بودن اتصال بین دیوارهای باربر و سقف		
				نامناسب بودن اتصال بین دیوارهای باربر و تیغه‌ها		
				عدم رعایت حفظ مسیر انتقال بار بین دیوارهای قائم		
				عدم رعایت فاصله یک صدم ارتفاع ساختمان از ساختمان مجاور		

روند ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در فرم ارائه‌شده

روش ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های درنظر گرفته‌شده در این پژوهش همانند روش‌های موجود یک روش تخصیص نمره است که اطلاعات مختلفی ازجمله انواع نامنظمی‌ها، ارتفاع ساختمان، آیین‌نامه، نوع خاک، شالوده خاک زیر پی، اسکلت، دیافراگم، معماری، میانقاب‌ها، تعمیر و نگهداری، اجزای غیرسازه‌ای، انواع مخاطرات طبیعی و ... را در بر می‌گیرد. در ادامه شرح مختصری از روند ارزیابی ارائه‌شده به منظور بهبود روش ارزیابی دستورالعمل

مقاوم‌سازی مدارس کشور ارائه شده است. همچنین روند کلی انجام ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در شکل ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۹: مشخصات غیر سازه‌ای و سایرعوامل ساختمان و نمرات اصلاحی ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی فولادی بر اساس سطح لرزه‌خیزی زیاد و بسیار زیاد

SI_R	تعمیر و نگهداری	تغییر کاربری		-۰/۰۶
		تعیین بازرس تعمیر و نگهداری و انجام بازرسی دوره‌ای و مستندسازی فرآیند		۰/۲
		رطوبت	تیغه	-۰/۰۸
			سقف	
			بام	
		پوسیدگی		
		تاثیر مرمت موضعی ساختمان در بهبود وضعیت		-۰/۲۴
SI_F	وضعیت غیرسازه‌ای	اتصال نامناسب بین دیوار و نما		-۰/۱۳
		عدم پایداری و عدم رعایت نسبت ضخامت به ارتفاع تیغه‌ها		-۰/۱۳
		وضعیت نامناسب دیوار محوطه		-۰/۱۳
		وضعیت نامناسب سقف کاذب		-۰/۱۳
		وضعیت نامناسب راه پله		-۰/۰۲
		وضعیت آسانسورها و مسیرهای تخلیه اضطراری و راه‌های فرار		-۰/۰۸
		عدم پایداری جان‌پناه و خرپشته		-۰/۰۸
		عدم پایداری دودکش‌ها و نرده‌ها		-۰/۰۸
		وضعیت نامناسب درها، پنجره‌ها و شیشه‌ها		-۰/۰۸

اولین گام در ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های موجود مدارس، تبیین برخی مبانی و تعیین بعضی از مشخصات ساختمان می‌باشد. اطلاعاتی که در این مرحله باید جمع‌آوری و مشخص شود عبارتند از:

الف- تعیین کرانه بالا و پایین شاخص ارزیابی لرزه‌ای؛

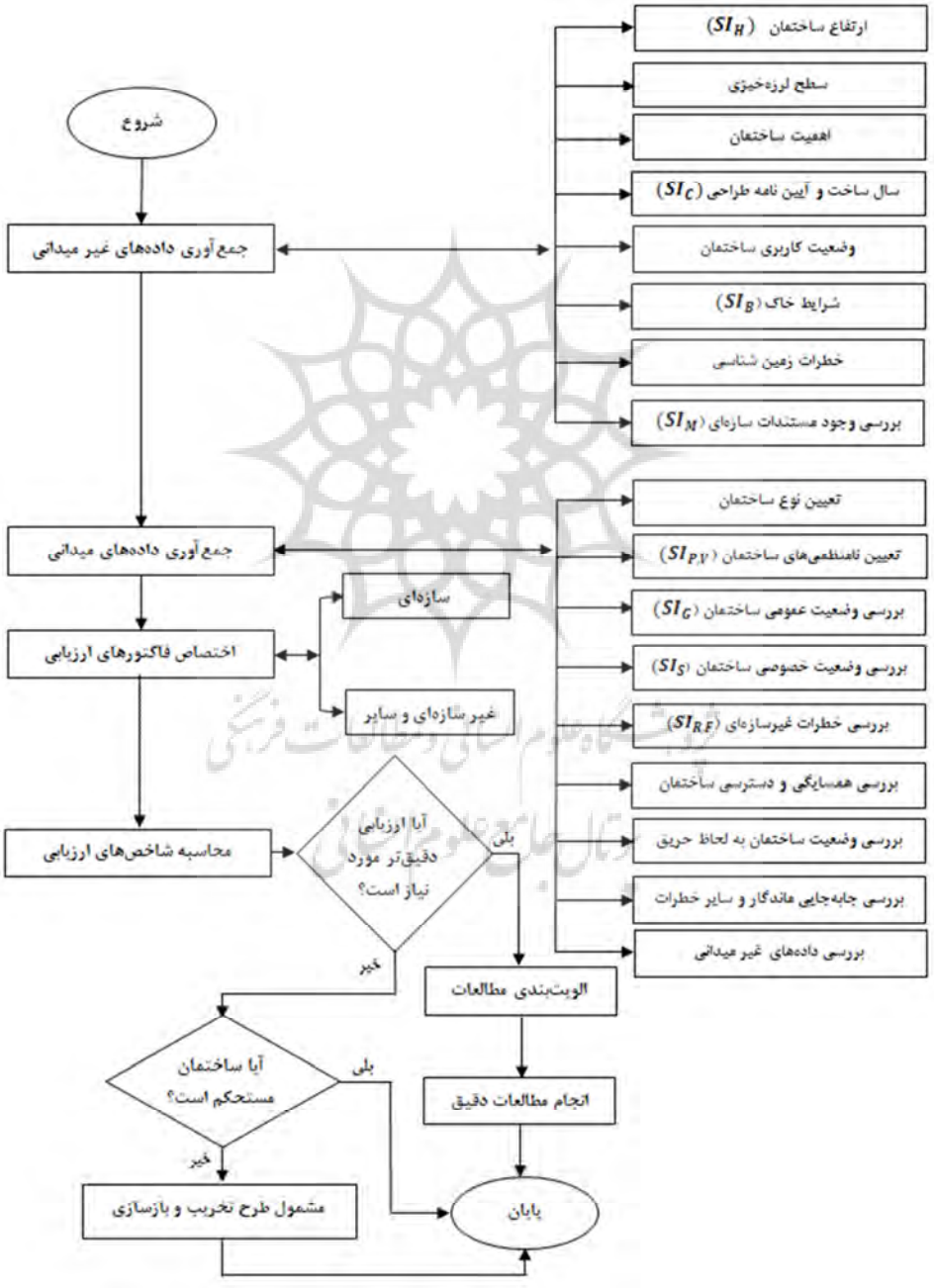
ب- تعیین شاخص ارزیابی لرزه‌ای پایه؛

ج- تعیین نوع ساختمان.

تعیین کرانه بالا (SPIU) و پایین (SPIL) شاخص ارزیابی لرزه‌ای

در صورتی که شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان از کرانه پایین شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای (SPIL) پایین‌تر باشد، رفتار لرزه‌ای ساختمان نامطلوب ارزیابی شده و تنها با ارایه توجیه فنی، اقتصادی و ... ادامه مطالعات بهسازی لرزه‌ای امکان‌پذیر است. در این حالت باید مطالعه و بررسی گزینه‌ها و راه‌کارهای دیگر از قبیل تغییرکاربری، تخریب و نوسازی و ... مورد توجه قرار گیرد. در این روش ارزیابی عدد ۰ به‌عنوان کرانه پایین شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای لحاظ می‌شود. در صورتی که شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای از کرانه بالای شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای (SPIU) فراتر رود، نشانه پایداری نسبی و مناسب ساختمان در برابر زلزله است. در این حالت به منظور تخصیص مناسب‌تر و بهینه

امکانات و اعتبارات، توصیه می‌شود ساختمان‌هایی که دارای شاخص ارزیابی لرزه‌ای بالایی هستند، از اولویت مطالعات بهسازی لرزه‌ای خارج شوند. در این روش ارزیابی عدد ۳ به‌عنوان کرانه بالای شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای لحاظ می‌شود. کرانه پایین و بالا شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای می‌تواند طی مشورت با متخصصین و با توجه به سیاست‌های کشور و تایید کارفرما تغییر یابد.



شکل ۲: فلوچارت روند ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی سریع مدارس

شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایه (SPIB)

کلیه ساختمان‌هایی که شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها بین کرانه پایین و بالای شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای قرار گیرند، برای تعیین سطح آسیب‌پذیری لرزه‌ای نیازمند انجام مطالعات ارزیابی کیفی (مطابق نشریه ۲۵۱ (۱۳۸۶)) هستند. برای تعیین سطح مورد نیاز در مطالعات کیفی، شاخصی تحت عنوان شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایه تعریف می‌شود. ساختمان‌هایی که شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها از شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایه کوچک‌تر باشد، آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها زیاد بوده و با الویت بالاتر، ارزیابی کیفی (مطابق نشریه ۲۵۱) به‌منظور شناسایی بهتر رفتار لرزه‌ای ساختمان صورت می‌گیرد. در ساختمان‌هایی که شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای از شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایه بزرگ‌تر باشد، با الویت پایین‌تر، ارزیابی کیفی (مطابق نشریه ۲۵۱) به‌منظور شناسایی بهتر رفتار لرزه‌ای ساختمان صورت می‌گیرد. در صورتی که نتایج ارزیابی کیفی نشانگر آسیب‌پذیری لرزه‌ای کم این ساختمان‌ها باشد، نیازی به انجام مطالعات دقیق‌تر بهسازی لرزه‌ای نیست. عدد ۲ برای شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایه درنظر گرفته می‌شود. در جدول ۱۰ زیر گروه‌بندی ساختمان‌ها براساس شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای و روند انجام مطالعات بهسازی نشان داده شده است.

جدول۱۰: گروه‌بندی ساختمان‌ها براساس شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای و روند انجام مطالعات بهسازی

آسیب‌پذیری کم	$SPI > \mathbf{SPI}_U$	آسیب‌پذیری ساختمان کم است. نیازی به انجام ارزیابی کیفی دقیق (مطابق نشریه ۲۵۱) نیست. پیشنهاد می‌شود ساختمان از اولویت مطالعات بهسازی لرزه‌ای خارج شود.
آسیب‌پذیری متوسط	$\mathbf{SPI}_B < \mathbf{SPI} < \mathbf{SPI}_U$	آسیب‌پذیری ساختمان متوسط است. با الویت پایین‌تر ارزیابی کیفی (مطابق نشریه ۲۵۱) به‌منظور شناسایی ساختمان انجام شده و ادامه مطالعات بهسازی لرزه‌ای در سطح کمی(مطابق نشریه ۲۵۱) صورت گیرد.
آسیب پذیری زیاد	$\mathbf{SPI}_L < \mathbf{SPI} < \mathbf{SPI}_B$	آسیب‌پذیری ساختمان زیاد است با الویت بالاتر ارزیابی کیفی (مطابق نشریه ۲۵۱) به‌منظور شناسایی ساختمان انجام شده و ادامه مطالعات بهسازی لرزه‌ای در سطح کمی (مطابق نشریه ۲۵۱) صورت گیرد.
آسیب‌پذیری بسیار زیاد	$SpI < \mathbf{SPI}_L$	آسیب‌پذیری ساختمان بسیار زیاد است و نیازی به انجام ارزیابی کیفی نیست. ادامه مطالعات بهسازی لرزه‌ای تنها در صورت ارایه توجیه فنی و اقتصادی امکان‌پذیر است. پیشنهاد می‌شود سایر گزینه‌ها از جمله تخریب، نوسازی و ... مورد توجه قرار گیرند.

تعیین نوع ساختمان

در روش ارائه‌شده، ساختمان‌های متداول براساس نوع سیستم باربر جانبی به ۹ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که برای ۴ منطقه با سطح لرزه‌خیزی کم، متوسط و زیاد و بسیار زیاد درنظر گرفته می‌شوند. با توجه به رفتار لرزه‌ای متفاوت هر یک از سیستم‌های باربر جانبی در برابر زلزله، آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها نیز در برابر زلزله متفاوت خواهد بود. سیستم‌های رایج ساختمانی در ایران، ملاک تخصیص نمره پایه برای ساختمان هستند. نمره پایه در جدول ۱۱ مشخص شده است. قسمت اصلی و کلیدی در ارزیابی لرزه‌ای سریع هر ساختمان، تعیین سیستم باربر جانبی است. در صورتی که اطلاعات و مدارک مستندی از ساختمان موجود باشد، تعیین سیستم باربر جانبی به راحتی امکان‌پذیر است. اما در صورتی که چنین اطلاعاتی موجود نباشد، با بازرسی ساختمان از داخل و خارج آن باید نوع سیستم باربر جانبی را شناسایی کرد. در مواردی که در تعیین سیستم باربرجانبی در ساختمان ابهام وجود داشته باشد، مراحل ارزیابی برای تمام سیستم‌های محتمل طی می‌شود و کمترین نمره حاصل به‌عنوان شاخص ارزیابی لرزه‌ای لحاظ می‌گردد. اگر نوع سیستم قابل‌شناسایی نباشد، تمام سیستم‌های باربر جانبی که با توجه به شواهد برای ساختمان

مزبور غیرممکن است، حذف می‌شود و نمره برای بقیه سیستم‌ها محاسبه می‌شود. در این حالت نیز کمترین نمره حاصل به‌عنوان شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای لحاظ خواهد شد. در مورد ساختمان‌های نیمه اسکلت و دوگانه (ترکیبی) نیز مراحل ارزیابی برای سیستم‌های محتمل طی شده و کمترین نمره حاصل به‌عنوان شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای لحاظ خواهد شد. معمولاً بدون برداشتن نازک‌کاری، سازه در برخی نقاط قابل‌مشاهده می‌باشد. البته بدیهی است، تجربه در تعیین سیستم باربر جانبی نقش مهمی را ایفا می‌کند.

جدول ۱۱: بخش تعیین سیستم باربر جانبی و نمره پایه در فرم

کنترل امتیاز مجاز	سیستم‌های فولادی									سیستم‌های بتنی									سیستم‌های بنایی		
	S1 (قاب خمشی)			S2 (قاب ساده با مهاربندی)			S3 (قاب ساده با دیوار برشی)			S4 (قاب ساده با میانقاب)			C1 (قاب خمشی)			C2 (قاب خمشی با دیوار برشی)			C3 (قاب با میانقاب)			PC (قاب پیش‌ساخته)			URM (بنایی غیر مسلح)		
	منطقه با خطرنسبی کم	منطقه با خطرنسبی متوسط	منطقه با خطرنسبی زیاد و بسیار زیاد	منطقه با خطرنسبی کم	منطقه با خطرنسبی متوسط	منطقه با خطرنسبی زیاد و بسیار زیاد	منطقه با خطرنسبی کم	منطقه با خطرنسبی متوسط	منطقه با خطرنسبی زیاد و بسیار زیاد	منطقه با خطرنسبی کم	منطقه با خطرنسبی متوسط	منطقه با خطرنسبی زیاد و بسیار زیاد	منطقه با خطرنسبی کم	منطقه با خطرنسبی متوسط	منطقه با خطرنسبی زیاد و بسیار زیاد	منطقه با خطرنسبی کم	منطقه با خطرنسبی متوسط	منطقه با خطرنسبی زیاد و بسیار زیاد	منطقه با خطرنسبی کم	منطقه با خطرنسبی متوسط	منطقه با خطرنسبی زیاد و بسیار زیاد	منطقه با خطرنسبی کم	منطقه با خطرنسبی متوسط	منطقه با خطرنسبی زیاد و بسیار زیاد	منطقه با خطرنسبی کم	منطقه با خطرنسبی متوسط	منطقه با خطرنسبی زیاد و بسیار زیاد
	(High)	(Moderate)	(Low)	(High)	(Moderate)	(Low)	(High)	(Moderate)	(Low)	(High)	(Moderate)	(Low)	(High)	(Moderate)	(Low)	(High)	(Moderate)	(Low)	(High)	(Moderate)	(Low)	(High)	(Moderate)	(Low)	(High)	(Moderate)	(Low)
	۲۸	۲۶	۴۶	۳	۲۶	۴۸	۲۸	۲۶	۴۸	۲	۲۶	۵	۲۰۵	۳	۴۴	۲۸	۲۶	۴۸	۲۴	۲۲	۴۶	۲۴	۲۲	۴۶	۲۲	۲۵	۴۷

تعیین شاخص‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای و تصمیم‌گیری در مورد ادامه فرآیند ارزیابی

مقادیر عددی که از مجموع نمرات مربوط به نمره پایه (مطابق با جدول ۱۱) قسمت‌های ارتفاع ساختمان (SIH)، نامنظمی در ارتفاع (SIV)، نامنظمی در پلان (SIP)، آیین‌نامه (SIC)، نوع خاک (SIB)، عدم وجود مشاور و ناظر (SIM)، وضعیت عمومی ساختمان (SIG) و وضعیت خصوصی ساختمان(SIS) و همچنین مقادیر عددی که از قسمت ارزیابی سریع اجزای غیرسازه‌ای و سایر موارد مشخص شده‌اند یعنی مجموع نمرات مربوط به قسمت‌های تعمیر و نگهداری (SIR) و وضعیت غیرسازه‌ای (SIF) برای تعیین نمرات شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ای (SI) و شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای غیرسازه‌ای و سایر عوامل (NSI) با هم جمع می‌شوند. با توجه به این عوامل، یک شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ای و یک شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای غیرسازه‌ای و سایر عوامل تعیین می‌شود و در نهایت از مجموع شاخص‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ای و غیرسازه‌ای و سایر عوامل، شاخصی به نام شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای کل (SPI) به ترتیب مطابق روابط تعیین‌شده در جدول ۱۲ به‌دست می‌آید، سپس تصمیم‌گیری در مورد ادامه فرآیند ارزیابی در سطح کیفی مطابق جدول ۱۰ صورت می‌گیرد.

جدول ۱۲: قسمت تعیین شاخص‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان در فرم پیشنهادی

شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ای ($SI=SI_H+SI_V+SI_P+SI_C+SI_B+SI_M+SI_G+SI_S$):
شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای غیرسازه‌ای و سایر عوامل ($NSI=SI_R+SI_F$):
امتیاز شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای کل ($SPI = SI + NSI$):

در فرم ارائه‌شده قسمتی با عنوان سایر خطرات مطابق جدول ۱۳ درنظر گرفته شده است. این قسمت شامل کنترل پلان جانمایی ساختمان‌ها از دیدگاه مهندسی باد و آتش، تاب‌آوری سازه در برابر سیلاب، تاب‌آوری سازه نسبت به سوانح طبیعی، ایمن‌سازی تجهیزات و ادوات آموزشی الحاقی و ضوابط مکان‌یابی صحیح با درنظرگیری سایر المان‌های شهرسازی در ساختمان می‌باشد. همه این عوامل شرایطی هستند که در نمره ارزیابی درنظر گرفته نمی‌شوند، اما می‌توانند تاثیر منفی بر عملکرد ساختمان داشته باشند. اگر هریک از شرایط درنظر گرفته‌شده در قسمت سایر خطرات وجود داشته باشد، حتی اگر نمره ارزیابی بالاتر از نمره پایه تعیین شده باشد، ساختمان ممکن است بحرانی باشد؛ بنابراین ارزیابی ساختاری دقیق مورد نیاز می‌باشد.

جدول ۱۳: قسمت تعیین سایر خطرات در فرم پیشنهادی

سایر خطرات	
کلیات بررسی امکان وقوع سایر مخاطرات	
احراز ایمنی (تاب‌آوری) ساختمان پس از کنترل پلان جانمایی از دیدگاه مهندسی باد و آتش	☐
احراز ایمنی (تاب‌آوری) ساختمان در برابر مخاطره سیل	☐
احراز ایمنی (تاب‌آوری) ساختمان در برابر سوانح طبیعی که اثر آنها در طراحی ساختمان درنظر گرفته نشده است.	☐
احراز ایمن‌سازی تجهیزات و ادوات آموزشی الحاقی	☐
احراز ضوابط مکان‌یابی صحیح با درنظرگیری سایر المان‌های شهرسازی در ساختمان (پمپ بنزین، راه‌آهن، قبرستان،.بیمارستان،...)	☐

همچنین قسمتی با عنوان ملاحظات در فرم مطابق جدول ۱۴ تعیین شده است که برای مواردی که در فرم نیاز به توضیح دارند، درج توضیحات در این قسمت ضروری است. در این قسمت به موارد حائز اهمیت دیگری که در فرم و عکس مشاهده نمی‌شوند ولی در ارزیابی ساختمان موثر هستند، نظیر ضعف در مقاومت و خوردگی اجزا، بروز ترک‌های عمیق در اعضا، خیز بیش از اندازه تیرها، وجود نقص در جزئیات اجرایی ساختمان و ... اشاره می‌شود.

با جمع‌بندی موارد مطرح‌شده در ملاحظات و با توجه به شاخص ارزیابی لرزه‌ای و سایر خطرات، توصیه‌های در خصوص ادامه فرایند مطالعات ارزیابی لرزه‌ای برای ساختمان یادشده و لزوم انجام ارزیابی کیفی (مطابق نشریه ۲۵۱) در قسمت تعیین‌شده، بیان می‌شود.

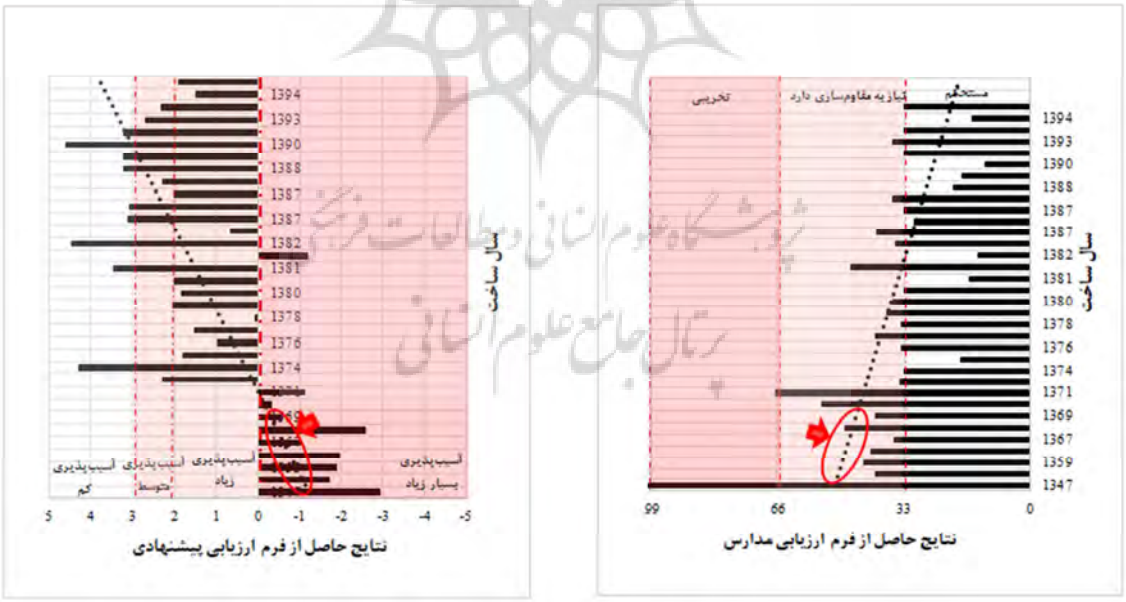
جدول ۱۴: قسمت ملاحظات در فرم پیشنهادی

ملاحظات:	ارزیابی کیفی نیاز دارد؟	
	بله ☐	خیر ☐

نتایج و بحث

در این پژوهش به منظور بررسی دقت فرم‌های ارائه‌شده، با استفاده از اطلاعات برداشت‌های میدانی حاصل از ارزیابی‌های پیشین مدارس اسکلت‌دار و بنایی کشور، به حل ۱۰۰ مثال مختلف پرداخته شد. نتایج به‌دست‌آمده از حل مثال‌ها برای ساختمان‌های بنایی در شکل ۳ برای ساختمان‌های فولادی در شکل ۴ و برای ساختمان‌های بتنی در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۳: مقایسه نتایج حاصل از فرم ارزیابی پیشنهادی با فرم ارزیابی دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس در ساختمان‌های بنایی



شکل ۴: مقایسه نتایج حاصل از فرم ارزیابی پیشنهادی با فرم ارزیابی دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس در ساختمان‌های بتنی

شکل ۵: مقایسه نتایج حاصل از فرم ارزیابی پیشنهادی با فرم ارزیابی دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس در ساختمان‌های فولادی

همان‌طورکه در نمودارهای بالا مشاهده می‌شود، بین سال ساخت ساختمان‌ها و نتایج حاصل از ارزیابی رابطه منطقی برقرار است. یعنی هرچه ساختمان قدیمی‌تر باشد و قبل از انتشار آیین‌نامه‌های معتبر داخلی ساخته شده باشد آسیب‌پذیری بیشتری خواهد داشت. لازم به یادآوری است که در فرم‌های قدیمی هرچه اعداد مربوط به ارزیابی به عدد ۱۰۰ نزدیک‌تر شوند شدت آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد و در فرم‌های جدید هرچه عدد منفی‌تر شود شدت آسیب‌پذیری بیشتر خواهد بود. پس از بررسی روند پیشرفت استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۹۴) در ایران مشاهده گردید که از سال ۱۳۶۹، اهمیت و نقش استاندارد۲۸۰۰ بیش از پیش مورد توجه عموم قرار گرفته‌است و در ساختمان‌هایی که پروانه ساخت از شهرداری اخذ می‌کردند، استاندارد ۲۸۰۰ مورد استفاده قرار گرفته است. این مورد در خصوص مدارس کشور نیز صدق می‌کند. همان‌طورکه در نمودارهای حاصل از فرم‌های جدید مشاهده می‌شود، تقریبا از سال ۱۳۶۹ نتایج ارزیابی رو به بهبود می‌باشند و ساختمان‌هایی که قبل از این تاریخ ساخته شده‌اند در دسته مدارس با آسیب‌پذیری زیاد قرارگرفته‌اند؛ ولی در فرم‌های قدیمی تعدادی از مدارس ساخته‌شده قبل از سال ۱۳۶۹ در دسته مدارسی که نیاز به مقاوم‌سازی دارند، قرار گرفته‌اند. در فرم‌های ارائه‌شده اهمیت سال ساخت و نامنظمی‌ها طبق دستورالعمل‌های ارائه‌شده بیشتر از فرم‌های پیشین می‌باشد که همان‌طورکه مشاهده گردید نتایج منطقی‌تر و دقیق‌تری را ارائه داده‌است. به منظور بررسی بیشتر، مدرسه‌ای طبق هر دو فرم ارزیابی شد. این بررسی در یکی از هنرستان‌های شهر قم (هنرستان قدس) که نمای کلی آن در شکل ۶ قابل‌مشاهده می‌باشد، انجام شد. هنرستان فنی قدس در سال ۱۳۵۰ در زمینی به مساحت دو هکتار تاسیس شده است که شامل یک ساختمان اداری در دو طبقه، تعداد ۲۰ کلاس درس، یک سالن سمعی و بصری - سالن اجتماعات، سالن امتحانات با گنجایش ۴۰۰ نفر، سایت کامپیوتری، یک کلاس هوشمند، اتاق دبیران- اتاق نقشه‌کشی و تعداد هفت کارگاه مجهز می‌باشد. با توجه به قدمت این هنرستان، انتظار می‌رفت ساختمان مدرسه در فرم قدیم عددی بین ۶۷-۱۰۰ را به خود اختصاص دهد و در فرم جدید جزو مدارس با آسیب‌پذیری زیاد و یا بسیار زیاد باشد. پس از تکمیل فرم قدیمی، نتیجه نهایی عددی بین ۲۱

تا ۳۴ به‌دست آمد که وضعیت ساختمان طبق این اعداد در وضعیت مناسبی می‌باشد. نظرات کارشناسی‌شده نشان می‌دهند که اعداد غیر واقعی می‌باشند و با آنچه در واقعیت مشاهده شده است، تناقض دارند. فرم ارزیابی جدید مجدد برای یکی از ساختمان‌های اصلی پر شد. در فرم جدید با توجه به افزایش دقت فرم، مدرسه در دسته مدارس با آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار گرفت که با توجه به وجود نامنظمی و قدمت ساختمان و نظر کارشناسی، منطقی می‌باشد.

شکل ۶: عکس هوایی از هنرستان فنی قدس در شهر قم

نتیجه‌گیری

با بررسی دستورالعمل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های کشورهای مختلف، مشاهده شد که برخی از روش‌های ارائه‌شده به منظور استفاده بالقوه در ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها نامناسب هستند. همچنین مشاهده گردید که رویکردهای موجود در دستورالعمل FEMA 154 و NRCC می‌توانند به‌طور مناسب برای ایجاد یک روش شفاف، نسبتاً دقیق و تعمیم‌یافته برای ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های مدارس در ایران ترکیب شوند. با بررسی دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور، مشاهده گردید که اولویت‌بندی پروژه‌های مقاوم‌سازی در صورتی می‌توانند موثر واقع شوند که معیارهای تاثیرگذار در تصمیم‌گیری به‌درستی شناسایی و وزن‌دهی شوند و تمام عوامل همزمان بررسی و کارشناسی شوند. در فرم دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور دامنه کمتری از عوامل موثر مشاهده و شناسایی شدند. ولی در فرم جدید سعی بر آن شد با مطالعه آیین نامه‌های کشورهای مختلف همه عوامل تاثیر گذار شناسایی و متناسب با ویژگی‌های ساخت‌وساز مدارس در ایران وزن‌دهی شوند. ازجمله عواملی که در فرم‌های موجود مشاهده نگردید ولی در فرم جدید ارائه شده است عوامل مرتبط با اجزای غیرسازه‌ای، تعمیر و نگهداری، سیستم‌های نوین در ساختمان‌ها (جداسازها) و .... می‌باشند. طبق نظرات کارشناسی، در ساختمان‌های مدارس کشور، بین سال ساخت و الویت‌بندی آنها رابطه منطقی وجود دارد که در فرم آیین کاربرد مدارس کشور مشاهده نشد ولی در فرم جدید کاملا اصلاح گردید.

تقدیر و تشکر

از همکاران و اساتید سازمان نوسازی توسعه و تجهیز مدارس کشور که به نحوی با نویسندگان این مقاله همکاری داشته‌اند تشکر می‌شود.

منابع

استاندارد ۲۸۰۰. (۱۳۹۴). آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش ۴، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

بهنام فر، فرهاد؛ شاهقلیان، رسول. (۱۳۹۴). بررسی مقایسه‌ای و ارایه پیشنهاد برای بهبود دقت ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی. مجله ی مهندسی عمران شریف،۳۱.۲ (۳.۱)، ۹۳-۱۰۳.

زاهدی، مرتضی، هنربخش، تیمور. (۱۳۸۷). دستورالعمل مقاوم سازی مدارس ایران، سازمان نوسازی توسعه و تجهیز مدارس ایران.

نشریه شماره ۳۷۶. (۱۳۸۶). دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیر مسلح موجود، معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی، تهران، ایران.

نشریه شماره۳۶۴. (۱۳۸۷). دستورالعمل ارزیابی لرزه ای سریع ساختمان های موجود، معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی، تهران، ایران.

نشریه شماره ۲۵۱. (۱۳۸۶). فهرست خدمات مطالعات بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی، تهران، ایران.

یغفوری، علی؛ میری، سید محمد؛ یغفوری، حسین. (۱۴۰۰). ارزیابی کیفی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مدارس شهر ایرانشهر. مجله *مخاطرات محیط طبیعی. ۱۰ (۲۹)، ۱۸۵-۲۰۲.*

BIA. (1996). New Zealand National Society for Earthquake Engineering. The Assessment and Improvement of the Structural Performance of Earthquake Risk Buildings: Draft for General Release.

CEN. (1996). Eurocode 8: Design Provisions for Earthquake Resistance Structures-Part 1-4: General Rules-Strengthening and Repair of Buildings, ENV 1998-1.4.

CEN. (2001). Eurocode 8:Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures-Part 3.

FEMA 178. (1992).NEHRP handbook for the seismic evaluation of existing buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C, USA.

FEMA-154. (2002). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook, 2nd edn. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.

FEMA-P154.(2015). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook, 3rd edn. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.

FEMA-155. (2002). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards supporting documentation: a handbook, 2nd edn, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.

FEMA-P155.(2015). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards supporting documentation: a handbook, 3rd edn, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA, 2015.

JBDPA. (2001). Seismic Evaluation and Retrofit. The Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo.

Moseley, J., & Dritsos, S. (2016, November). Next-Generation Rapid Visual Screening for RC Buildings to Assess Earthquake Resilience. In Proceedings of the 17th International Conference on Concrete Structures, Thessaloniki, Greece (pp. 10-12).

NRCC. (1993). Manual for screening of buildings for seismic investigation by the Institute for Research in Construction. National Research Council Canada, Ottawa.

Nanda, R. P., & Majhi, D. R. (2013). Review on rapid seismic vulnerability assessment for the bulk of buildings. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, 94, 187-197.

Sinha, A. K., Sinha, A., Singh, S., & Kumar, S. (2017). Rapid seismic vulnerability assessment of school buildings. Technology, 8(2), 547-557.

World Health Organization. (2015). Hospital safety index: Guide for evaluators. World Health Organization.

Yekrangnia, M. (2023). Seismic Vulnerability Assessment of Masonry Residential Buildings in the Older Parts of Tehran through Fragility Curves and Basic RVS Scores. Buildings, 13(2), 302.

Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Behnamfar, F., & Shahgholian, R. (2015). A comparative study and proposal for enhancement of rapid seismic evaluation of masonry buildings, 31.2(3.1), pp 93-103. [In Persian]

Code 376.(2012). Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Unreinforced Masonry Buildings, Management and Planning Organization, Office of Deputy for Technical Affairs, Tehran, Iran. [In Persian]

Code 364. (2008). Instruction for Rapid Seismic Evaluation of Existing Buildings, Management and Planning Organization, Office of Deputy for Technical Affairs, Tehran, Iran. [In Persian]

Code 251.(2007). Term of Reference for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (1st Edition), Office of Deputy for Technical Affairs, Tehran, Iran. [In Persian]

Standard 2800. (2015). Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, 4th ed, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran. [In Persian]

Yaghfoori, A., Miri, S. M., & Yaghfoori, H. (2021). Qualitative Seismic vulnerability evaluation of schools in Iranshahr city. Journal of Natural Environmental Hazards, 10(29), pp185-202. [In Persian]

References (in English)

BIA. (1996). New Zealand National Society for Earthquake Engineering. The Assessment and Improvement of the Structural Performance of Earthquake Risk Buildings: Draft for General Release.

CEN. (1996). Eurocode 8: Design Provisions for Earthquake Resistance Structures-Part 1-4: General Rules-Strengthening and Repair of Buildings, ENV 1998-1.4.

CEN. (2001). Eurocode 8:Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures-Part 3.

FEMA 178. (1992).NEHRP handbook for the seismic evaluation of existing buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C, USA.

FEMA-154. (2002). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook, 2nd edn. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.

FEMA-P154.(2015). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook, 3rd edn. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.

FEMA-155. (2002). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards supporting documentation: a handbook, 2nd edn, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.

FEMA-P155.(2015). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards supporting documentation: a handbook, 3rd edn, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA, 2015.

JBDPA. (2001). Seismic Evaluation and Retrofit. The Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo.

Moseley, J., & Dritsos, S. (2016, November). Next-Generation Rapid Visual Screening for RC Buildings to Assess Earthquake Resilience. In Proceedings of the 17th International Conference on Concrete Structures, Thessaloniki, Greece (pp. 10-12).

NRCC. (1993). Manual for screening of buildings for seismic investigation by the Institute for Research in Construction. National Research Council Canada, Ottawa.

Nanda, R. P., & Majhi, D. R. (2013). Review on rapid seismic vulnerability assessment for the bulk of buildings. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, 94, 187-197.

Sinha, A. K., Sinha, A., Singh, S., & Kumar, S. (2017). Rapid seismic vulnerability assessment of school buildings. Technology, 8(2), 547-557.

World Health Organization. (2015). Hospital safety index: Guide for evaluators. World Health Organization.

Yekrangnia, M. (2023). Seismic Vulnerability Assessment of Masonry Residential Buildings in the Older Parts of Tehran through Fragility Curves and Basic RVS Scores. Buildings, 13(2), 302.