

Promoting Seismic Vulnerability Assessment Checklist in Buildings

Sara Naghavi¹, Abdolreza S. Moghadam^{2*} , Hamed Seyri³, Mohammad Yekrangnia⁴

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 Rajaei 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

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*} ID، 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 رجایی، تهران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	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 مهندسين سازه‌ای مجرب، معیارهای موثرتری به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های مدارس، شناسایی و وزن‌دهی شدند. به منظور بررسی دقت معیارهای وزن-دهی شده بیش از ۱۰۰ مدرسه مورد ارزیابی مجدد قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که فرم‌های طراحی شده، نواقص کارشناسی شده فرم‌های مدارس موجود را برطرف نموده است.
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.	

استناد: نقوی، سارا، سروقد مقدم، عبدالرضا، سیری، حامد، یکرنگ‌نیا، محمد. (۱۴۰۳). ارتقای فرم‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها.

مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۱)، ۱۳۱-۱۵۰. DOI: 10.22111/jneh.2024.47223.2000



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

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

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، FEMA (2002) ۱۵، NRCC (1993)، BIA (1996)، CEN (1996)، CEN (2001).

(2001) (JBDPA, UNDP hospital safety index evaluators), نشریه‌های ۳۶۴ (۱۳۸۶) و ۳۷۶ (۱۳۸۷) ایران و دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور مطابق 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 (FEMA ۱۵۴) 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. از جمله این دستورالعمل‌ها می‌توان به FEMA (1992) ۱۷۸ و FEMA ۱۵۴ اشاره نمود. FEMA ۱۷۸ 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 در نظر گرفته‌شده در FEMA ۱۵۴، 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 در نظر 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 در نظر 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:

$$S = -\log_{10}(\text{Probability of Collapse}) \quad (1)$$

جدول ۱: پارامترهای تاثیرگذار در نظر گرفته شده در FEMA

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

جدول ۲: انواع نامنظمی‌های در نظر گرفته شده در (فرم شماره ۱) FEMA 154, FEMA P154

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

جدول ۳: پارامترهای تاثیرگذار در نظر گرفته شده در (فرم شماره ۲) FEMAP154

کیفی	نامنظمی در ارتفاع	نامنظمی در پلان	نامنظمی در ارتفاع
			کیفی
			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 هندسی
			نامنظمی پیچشی
			نامنظمی سیستم‌های غیر موازی
			بازشوهای بزرگ
			عدم هم‌ترازی تیرها و ستون‌ها
			وجود سیستم مقاوم بار بر جانبی حداقل در دو دهانه (افزونی)
			ضربه
			ملاحظات مربوط به اضافه بنا
			مقاوم سازی
			برخی شرایط خاص برای ساختمان‌ها
			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 از ۳/۲ مقادیر MCE (حداکثر زلزله در نظر گرفته شده (زلزله نادر)) محاسبه می‌شوند. در این راهنما سیستم‌های مقاوم جانبی به ۱۵ دسته طبقه‌بندی می‌شوند. نسخه بازنگری شده FEMA در سال ۲۰۱۵ تغییرات قابل توجهی 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 از مقادیر کامل MCER (حداکثر زلزله در نظر گرفته ریسک‌محور) محاسبه می‌شود. این نسخه از FEMA برای ۵ منطقه با لرزه‌خیزی کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد و بسیار زیاد در نظر گرفته می‌شود. سیستم‌های ساختمانی در این نسخه از FEMA به ۱۷ نوع مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند که برای اولین بار در (ATC (1987) ۱۴) تعریف شده‌اند. در ویرایش سوم FEMA

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

روند موجود در دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور

در روش ارائه شده در دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس کشور، برای هر یک از پارامترها وزنی به صورت شاخص عددی در نظر گرفته می‌شود. پارامترهای در نظر گرفته شده 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 تعیین شده در جدول ۴ به کمک رابطه ۲ با یکدیگر ترکیب شده و عددی را که معرف آسیب‌پذیری ساختمان است، به دست می‌آید. این رابطه بر اساس مشاهدات به عمل آورده شده بر روی تعدادی از ساختمان‌های با مصالح بنایی پیشنهاد شده است. در این رابطه اگر مقدار $R \leq 25$ ساختمان آسیب‌پذیر نخواهد بود و نیازی به بهسازی ندارد. اگر $R > 25$ ساختمان آسیب‌پذیر است؛ ولی برای بهسازی توجیه اقتصادی دارد و اگر $R \geq 75$ ساختمان آسیب‌پذیری زیادی دارد و برای بهسازی توجیه اقتصادی ندارد.

$$R = [L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5] \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (2)$$

جدول ۴: پارامترهای تاثیرگذار در نظر گرفته شده در دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس برای ساختمان‌های بنایی

کمی	کیفی	پارامترهای در نظر گرفته شده	
✓	x	پی	L_1
✓	x	کلاف بندی	L_2
✓	✓	سقف	L_3
✓	x	پیشامدگی	L_4
✓	x	تقارن	L_5
✓	✓	مصالح	$k_1 - 1$
✓	x	دیوارهای باربر	$k_1 - 2$
✓	x	پوشش سقف‌ها	$k_1 - 3$
✓	x	سایر موارد	$k_1 - 4$
✓	x	بازشوها	k_2
✓	x	تعداد طبقات	k_3
✓	✓	خطر نسبی زلزله در محل	k_4
x	✓	مساحت کل ساختمان	
x	✓	وضعیت ساختمان از نظر دسترسی	
x	✓	وضعیت ساختمان به لحاظ حریق	
x	✓	وضعیت ساختمان از نظر همسایگی	
x	✓	نوع سازه ساختمان	
x	✓	وضعیت وجود نقشه‌ها	
x	✓	توپوگرافی محل	
x	✓	آسیب‌دیدگی ساختمان	
x	✓	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 در نظر گرفته شده در دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس برای ساختمان‌های اسکلتی

کمی	کیفی	پارامترهای در نظر گرفته شده		
✓	x	وزن سقف		
✓	x	انسجام و یکنواختی سقف- صلبیت دیافراگم		
✓	x	بازشوهای بزرگ در دیافراگم		
✓	x	خیز سقف		
✓	x	سیستم سازه‌ای و کیفیت دستگاه پله		
✓	x	درز انقطاع در پلان		
✓	x	درز بین دو ساختمان مجاور		
✓	x	ستون کوتاه		
✓	x	تقارن در پلان نسبت به محورهای اصلی		
✓	x	وجود پیش‌آمدگی یا پس‌رفتگی		
✓	x	توزیع یکنواخت جرم در ارتفاع		
✓	x	نشست پی		
✓	x	نشست کف		
✓	x	کیفیت ظاهری آجر و ملات مصرفی		
✓	x	ترک خوردگی	بتنی	کیفیت ظاهری و نقاط ضعف اعضاء
		وادادگی		
		پوسیدگی	فولادی	
		نقص جوش		
✓	x	اتصال بین دیوار و نما		
✓	x	پایداری و نسبت ضخامت به ارتفاع تیرها		
✓	x	پایداری جانپناه و دودکش‌ها		
✓	x	وضعیت پنجره‌ها و شیشه‌ها		
✓	x	نفوذ رطوبت از زمین به ساختمان		
✓	x	وضعیت تاسیسات برق و مکانیک		
✓	x	وضعیت لوله‌های آب باران - نم بام		
✓	x	تاثیر مرمت موضعی ساختمان در بهبود وضعیت		
x	✓	مساحت کل ساختمان		
x	✓	وضعیت ساختمان از نظر دسترسی		
x	✓	وضعیت ساختمان به لحاظ حریق		
x	✓	وضعیت ساختمان از نظر همسایگی		
x	✓	وضعیت وجود نقشه‌ها		
x	✓	نوع سازه ساختمان		
x	✓	مصالح		
x	✓	نوع سقف		
x	✓	توپوگرافی محل		
x	✓	آسیب دیدگی ساختمان		
x	✓	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 در نظر گرفته شده مطابق با سند NRCC می‌باشد که با قانون ملی ساختمان کانادا سازگار می‌باشد. روش تصویب شده 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 ارائه شده 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. از این رو 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 به دست می‌آید. روابط ارائه شده امتیاز نهایی شاخص الویت لرزه‌ای، برای سازه مورد بررسی را نتیجه می‌دهند، به این ترتیب که اگر $SPI > 10$ تقدم لرزه‌ای پایین، $SPI > 20$ تقدم لرزه‌ای متوسط و $SPI < 20$ تقدم لرزه‌ای بالا را برای سازه مورد نظر نشان می‌دهند.

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

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

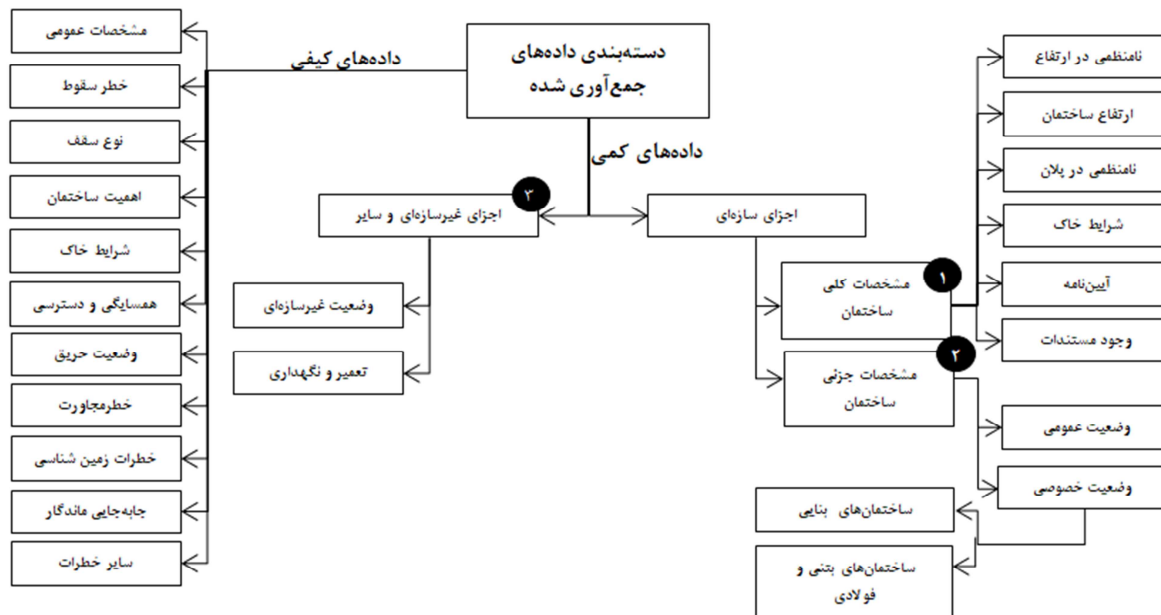
$$SPI = \text{SEISMIC PRIORITY INDEX} = SI + NSI \quad (۵)$$

جدول ۶: پارامترهای تاثیرگذار در نظر گرفته شده در NRCC

عددی	کیفی	پارامترهای در نظر گرفته شده	
✓	✓	سطح لرزه‌خیزی	A
✓	x	نوع خاک	B
✓	✓	نوع سیستم باربر جانبی	C
✓	✓	نامنظمی در ارتفاع (تغییر ناگهانی اندازه پلان در ارتفاع مانند پیش‌آمدگی، پس‌رفتگی، شیب)	D Max=4
		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			
✓	x	اهمیت ساختمان (تراکم جمعیت در ساختمان × مساحت × میانگین ساعات اشغال = N)	E
✓	✓	خطرات سقوط اجزای غیرسازه‌ای (داخلی و خارجی) و خطرات موجود در ساختمان‌های خاص	F

دسته‌بندی داده‌های جمع‌آوری شده

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 همان‌طور که 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 مهندسين سازه‌ای مجرب با کمک پارامترهای دسته‌بندی شده 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

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

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

وضعیت نامناسب و نشست پی	وضعیت عمومی ساختمان	SI _G		
			وضعیت نامناسب و نشست پی	وضعیت عمومی ساختمان
نشست کف				
عدم وجود درز بین دوساختمان مجاور و امکان برخورد سازه‌های مجاور در حرکت دینامیکی				
وزن نامناسب سقف	سقف			
عدم انسجام و یکنواختی سقف				
وجود خیز در سقف				
جداگر	استفاده از تجهیزات استهلاک انرژی زمین‌لرزه			
میراگر				
عدم کیفیت سیستم سازه‌ای و دستگاه پله	ساختمان‌های بتنی و فولادی			
عدم کیفیت ظاهری آجر و ملات مصرفی المان‌های جدا کننده و میانقاب‌ها				
ترک خوردگی وادادگی پوسیدگی نقص جوش			بتنی	کیفیت ظاهری و نقاط ضعف اعضا
			فولادی	
وجود دیوارهای سازه‌ای با کلاف بندی افقی و قائم	کلاف بندی			
وجود دیوارهای سازه‌ای بدون هرگونه کلاف‌بندی				
عدم رعایت طول تکیه‌گاهی کافی برای تیرهای سقف	سقف			
عدم کیفیت واحدهای بنائی: آجر، بلوک سیمانی و سنگی	مصالح			
کیفیت نامناسب ملات ماسه سیمان یا باتارد (ملات گل - آهک قابل قبول نیست)				
عدم رعایت درصد دیوار نسیبی و توزیع متعادل دیوارهای برابر در پلان	دیوارهای برابر			
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 پر بودن درزهای قائم	سایر موارد			
نامناسب بودن اتصال بین دیوارهای برابر و سقف				
نامناسب بودن اتصال بین دیوارهای برابر و تیغه‌ها				
عدم رعایت حفظ مسیر انتقال بار بین دیوارهای قائم				
عدم رعایت فاصله یک صدم ارتفاع ساختمان از ساختمان مجاور				
	وضعیت خصوصی ساختمان	SI _G		

روند ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در فرم ارائه‌شده

روش ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های در نظر گرفته‌شده در این پژوهش همانند روش‌های موجود یک روش تخصیص نمره است که اطلاعات مختلفی از جمله 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 سایر عوامل ساختمان و نمرات اصلاحی ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی فولادی بر اساس سطح لرزه‌خیزی زیاد و بسیار زیاد

-۰/۰۶	تغییر کاربری		تعمیر و نگهداری	SI _R
۰/۲	تعیین بازرس تعمیر و نگهداری و انجام بازرسی دوره‌ای و مستندسازی فرآیند			
-۰/۰۸	تیغه	رطوبت	تعمیر و نگهداری	SI _R
	سقف			
	بام			
	پوسیدگی			
-۰/۲۴	تاثیر مرمت موضعی ساختمان در بهبود وضعیت			
-۰/۱۳	اتصال نامناسب بین دیوار و نما			وضعیت غیرسازه‌ای
-۰/۱۳	عدم پایداری و عدم رعایت نسبت ضخامت به ارتفاع تیغه‌ها			
-۰/۱۳	وضعیت نامناسب دیوار محوطه			
-۰/۱۳	وضعیت نامناسب سقف کاذب			
-۰/۰۲	وضعیت نامناسب راه پله			
-۰/۰۸	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			

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؛

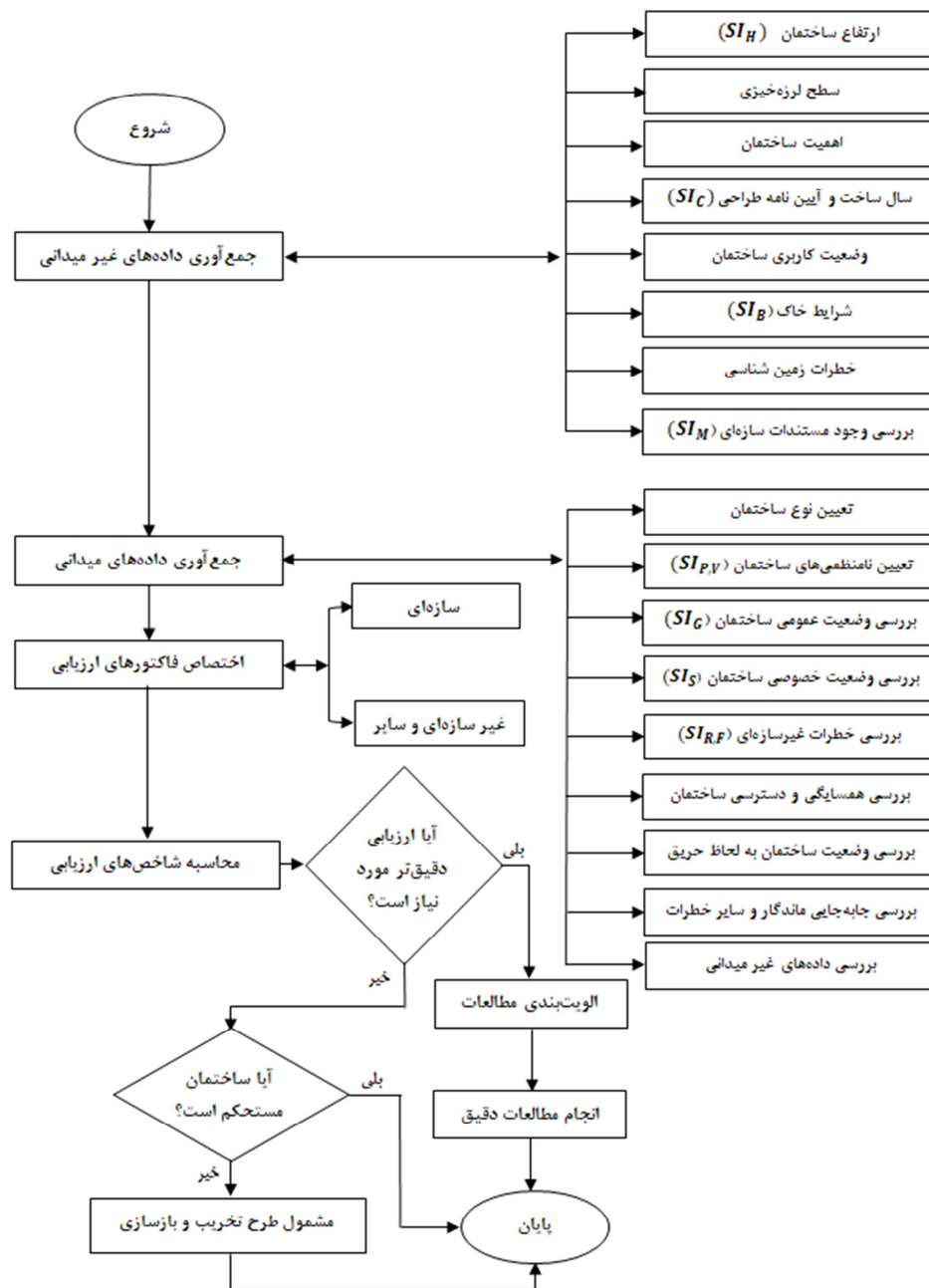
ب- تعیین شاخص ارزیابی لرزه‌ای پایه؛

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 تغییر کاربری، 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) به منظور 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) به منظور 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 در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۱۰ زیر گروه‌بندی ساختمان‌ها براساس شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای و روند انجام مطالعات بهسازی نشان داده شده است.

جدول ۱۰: گروه‌بندی ساختمان‌ها براساس شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای و روند انجام مطالعات بهسازی

آسیب‌پذیری ساختمان کم است. نیازی به انجام ارزیابی کیفی دقیق (مطابق نشریه ۲۵۱) نیست. پیشنهاد می‌شود ساختمان از اولویت مطالعات بهسازی لرزه‌ای خارج شود.	$SPI > SPI_U$	آسیب‌پذیری کم
آسیب‌پذیری ساختمان متوسط است. با الویت پایین‌تر ارزیابی کیفی (مطابق نشریه ۲۵۱) به منظور شناسایی ساختمان انجام شده و ادامه مطالعات بهسازی لرزه‌ای در سطح کمی (مطابق نشریه ۲۵۱) صورت گیرد.	$SPI_B < SPI < SPI_U$	آسیب‌پذیری متوسط
آسیب‌پذیری ساختمان زیاد است با الویت بالاتر ارزیابی کیفی (مطابق نشریه ۲۵۱) به منظور شناسایی ساختمان انجام شده و ادامه مطالعات بهسازی لرزه‌ای در سطح کمی (مطابق نشریه ۲۵۱) صورت گیرد.	$SPI_L < SPI < SPI_B$	آسیب‌پذیری زیاد
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.	$Spl < SPI_L$	آسیب‌پذیری بسیار زیاد

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 در نظر 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 باربر جانبی 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

در فرم ارائه شده قسمتی با عنوان سایر خطرات مطابق جدول ۱۳ در نظر 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 در نظرگیری سایر المان‌های شهرسازی در ساختمان می‌باشد. همه این عوامل شرایطی هستند که در نمره ارزیابی در نظر گرفته نمی‌شوند، اما می‌توانند تاثیر منفی بر عملکرد ساختمان داشته باشند. اگر هریک از شرایط در نظر گرفته شده 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	
<input type="checkbox"/>	احراز ایمنی (تاب‌آوری) ساختمان پس از کنترل پلان جانمایی از دیدگاه مهندسی باد و آتش
<input type="checkbox"/>	احراز ایمنی (تاب‌آوری) ساختمان در برابر مخاطره سیل
<input type="checkbox"/>	احراز ایمنی (تاب‌آوری) ساختمان در برابر سوانح طبیعی که اثر آنها در طراحی ساختمان در نظر گرفته نشده است.
<input type="checkbox"/>	احراز ایمن‌سازی تجهیزات و ادوات آموزشی الحاقی
<input type="checkbox"/>	احراز ضوابط مکان‌یابی صحیح با در نظرگیری سایر المان‌های شهرسازی در ساختمان (پمپ بنزین، راه‌آهن، قبرستان، بیمارستان، ...)

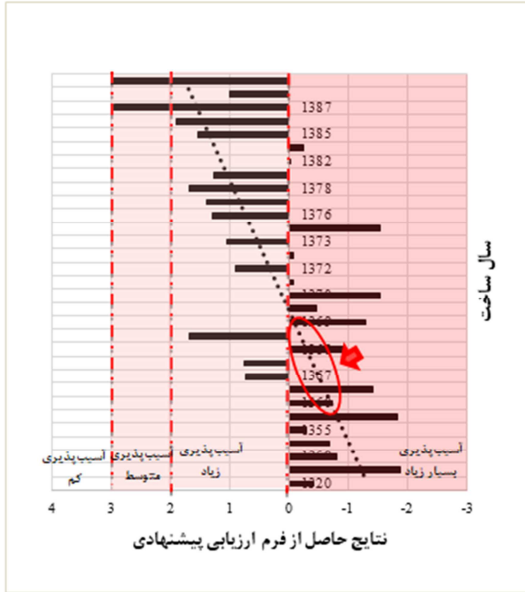
همچنین قسمتی با عنوان ملاحظات در فرم مطابق جدول ۱۴ تعیین شده است که برای مواردی که در فرم نیاز به توضیح دارند، درج توضیحات در این قسمت ضروری است. در این قسمت به موارد حائز اهمیت دیگری که در فرم و عکس مشاهده نمی‌شوند ولی در ارزیابی ساختمان موثر هستند، نظیر ضعف در مقاومت و خوردگی اجزا، بروز ترک‌های عمیق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

جدول ۱۴: قسمت ملاحظات در فرم پیشنهادی

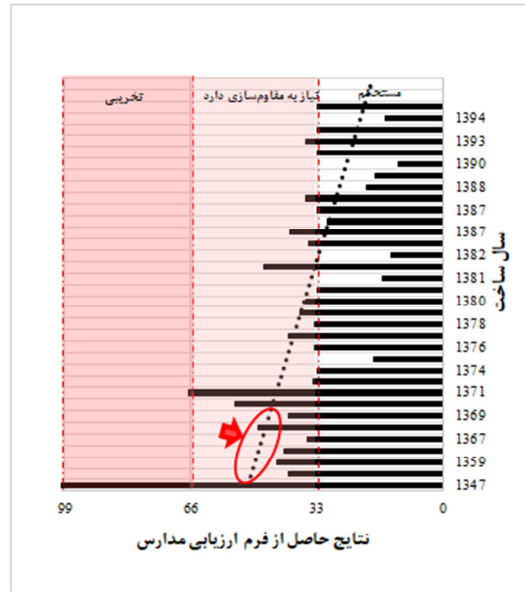
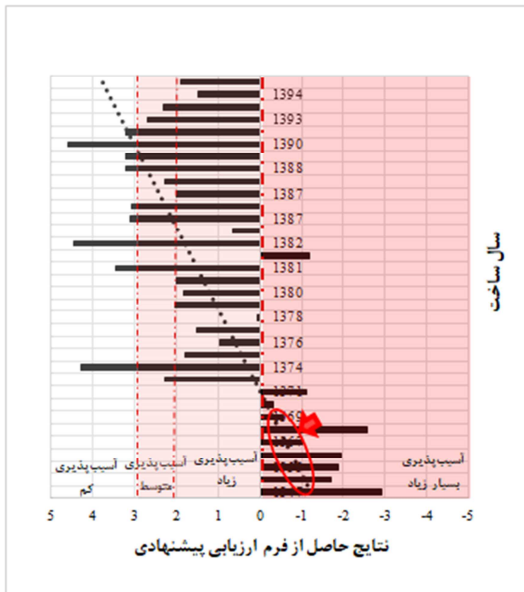
ارزیابی کیفی نیاز دارد؟		ملاحظات:
<input type="checkbox"/> خیر	<input type="checkbox"/> بله	

نتایج و بحث

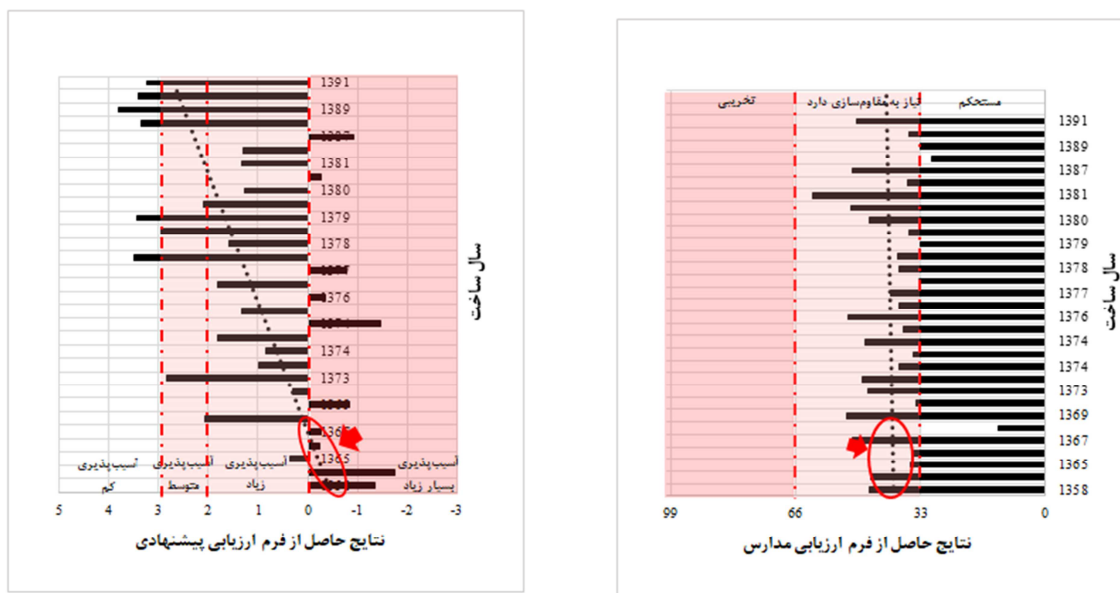
در این پژوهش به منظور بررسی دقت فرم‌های ارائه شده، با استفاده از اطلاعات برداشت‌های میدانی حاصل از ارزیابی‌های پیشین مدارس اسکلت‌دار و بنایی کشور، به حل ۱۰۰ مثال مختلف پرداخته شد. نتایج به دست آمده از حل مثال‌ها برای ساختمان‌های بنایی در شکل ۳ برای ساختمان‌های فولادی در شکل ۴ و برای ساختمان‌های بتنی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



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



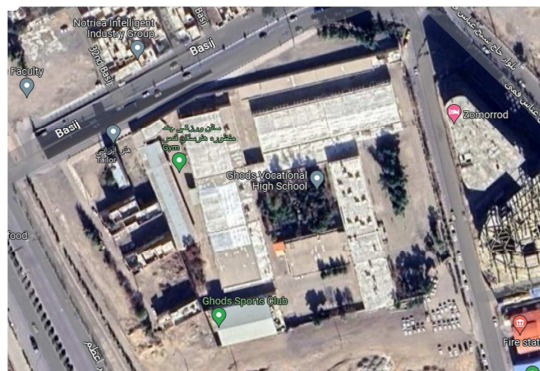
شکل ۴: مقایسه نتایج حاصل از فرم ارزیابی پیشنهادی با فرم ارزیابی دستورالعمل مقاوم‌سازی مدارس در ساختمان‌های بتنی



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

همان‌طور که 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 استاندارد ۲۸۰۰ بیش از پیش مورد توجه عموم قرار گرفته است 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. همان‌طور که در نمودارهای حاصل از فرم‌های جدید مشاهده می‌شود، تقریباً از سال ۱۳۶۹ نتایج ارزیابی رو به بهبود می‌باشند و ساختمان‌هایی که قبل از این تاریخ ساخته شده‌اند در دسته مدارس با آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته‌اند؛ ولی در فرم‌های قدیمی تعدادی از مدارس ساخته شده قبل از سال ۱۳۶۹ در دسته مدرسی که نیاز به مقاوم‌سازی دارند، قرار گرفته‌اند. در فرم‌های ارائه شده اهمیت سال ساخت و نامنظمی‌ها طبق دستورالعمل‌های ارائه شده بیشتر از فرم‌های پیشین می‌باشد که همان‌طور که مشاهده گردید نتایج منطقی‌تر و دقیق‌تری را ارائه داده است. 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 قابل مشاهده 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 به دست آمد که وضعیت ساختمان طبق این اعداد در وضعیت مناسبی می‌باشد. نظرات کارشناسی شده 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 ارائه شده به منظور استفاده بالقوه در ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها نامناسب هستند. همچنین مشاهده گردید که رویکردهای موجود در دستورالعمل FEMA 154 و NRCC می‌توانند به طور 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 آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف همه عوامل تاثیرگذار شناسایی و متناسب با ویژگی‌های ساخت‌وساز مدارس در ایران وزن‌دهی شوند. از جمله 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 کاملاً 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 ارائه پیشنهاد برای بهبود دقت ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی. مجله ی مهندسی عمران شریف، ۳۱.۲ (۳۰.۱)، 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 شماره ۳۶۴. (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.

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.